

PD 9100



003077662

COBISS

NSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

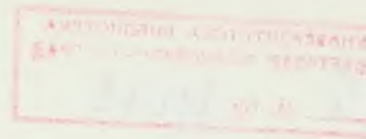
Mr DIMITRIJE AVAKUMOVIĆ, dipl. inž.

PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U CEVNIM
MREŽAMA SA ZATVORENIM KONTURAMA

- DOKTORSKA DISERTACIJA -

Beograd, 1982.

PD 9100



GRADJEVINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

Mr DIMITRIJE AVAKUMOVIĆ, dipl.inž.

PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U CEVNIM MREŽAMA SA ZATVORENIM
KONTURAMA



- DOKTORSKA DISERTACIJA -

BEOGRAD, 1982.

УНИВЕРЗИТЕТСКА БИБЛИОТЕКА
СВЕТЦАР МАРКОВИЋ - БЕОГРАД
И. Бр. 17662



S A D R Ž A J

strana

OZNAKE	1
UVOD	4
GLAVA I - PREGLED POSTOJEĆIH METODA PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA	10
GLAVA II - METOD PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA - OSNOVNI ODNOSI ZA SASTAV RAČUNSKOG ALGORITMA	20
1. OSNOVNE JEDNAČINE PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA	20
2. GRANIČNI USLOVI ZA JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA	44
3. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA ZA ČVOROVE	56
3.1. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA KOD ZANEMARIVANJA TRENJA	56
3.2. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA SA UZIMANJEM U RAČUN TRENJA	77
4. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA ZA RAZNE GRANIČNE USLOVE	94
4.1. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA KOD ZANEMARIVANJA TRENJA	94
4.2. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA SA UZIMANJEM U RAČUN TRENJA	102
4.3. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U PUMPNIM CEVOVODIMA ...	108
GLAVA III - ALGORITAM PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA	119
1. UVOD	119
2. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MAGISTRALNOM CEVOVODU	121
3. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U CEVOVODU PRI RADU HID- RANATA ZA NAVODNJAVANJE	130
4. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U ZATVORENOM CEVOVODU ..	141
5. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA SA GRAFOM OBLIKA DRVETA	144
6. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA SA ZATVORENIM KONTURAMA	149
7. KARAKTERISTIKE PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽA- MA SA ZATVARAČEM NA CEVI	159
8. KORIŠĆENJE OSNOVNIH JEDNAČINA U SISTEMU SA VIŠE IZVORA HIDRAULIČKOG UDARA	170

LITERATURA	175
PRILOZI	
UVOD	176
1. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U PROSTOM CEVOVODU	
PRIMER 1	177
2. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U PROSTOM CEVOVODU	
PRIMER 2	193
3. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MAGISTRALNOM CEVOVODU	217
4. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U ZATVORENOM CEVOVODU ..	231
5. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U SISTEMU ZA NAVODNJAVA- NJE	244
6. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U IRIGACIONOJ MREŽI SLO- ŽENE KONFIGURACIJE SA GRAFOM OBLIKA DRVETA	296
7. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U IRIGACIONOJ MREŽI SLO- ŽENE KONFIGURACIJE SA ZATVORENIM KONTURAMA	346

Najtoplije se zahvaljujem Prof. Dr. Mladenu Boreliju rukovodiocu ove teze na mnogobrojnim razgovorima koje smo vodili o suštinskim problemima hidrauličkog udara. Zajvaljujući svim tim razgovorima rad je dobio odgovarajuću dimenziju.

Veliku zahvalnost dugujem Prof. Dr. N.A. Kartvelišviliju iz Moskve, koji je na mene snažno uticao, pružio mi podršku da istrajem u ovoj mojoj ideji i u ovim naporima.

Posebno sam zahvalan što je pažljivo pročitao rukopis ovog rada i pružio mi više dragocenih uputstava i sugestija.

Zahvaljujem se Prof. Dr. Zvonimiru Janežiću za sve razgovore koje sam imao sa njim o ovoj tezi, što je pažljivo pročitao rukopis i dao mi vrlo korisne savete.

Zahvalan sam Prof. Dr. Vladimiru Mičiću na dragocenoj pomoći iz matematike.

Prof. Dr. Manetu Šašiću dugujem zahvalnost na sugestijama i korisnim razgovorima oko konačnog završetka ovog rada.

Za neprocenjivu pomoć u kucanju teksta i u tehničkoj obradi disertacije najtoplije se zahvaljujem Ljiljani Stanković, Aleksandru Uroševiću i Miodragu Saviću.

Autor

OZNAKE

A - površina poprečnog preseka cevi

$$b = \frac{Q_0}{Q_*}$$

C - brzina talasa udara u cevi (brzina zvuka u cevi)

D - prečnik kružne cevi

D_i - prečnik inercije

E_t - zapreminski modul elastičnosti tačnosti

E - modul elastičnosti cevi

e - osnova prirodnog logaritma

g - gravitaciono ubrzanje

i - hidraulički pad

I - konstantna inercija agregata (moment inercije)

L - dužina cevi, udaljenost između dve tačke

m - masa

M, N - oznaka čvora

M - moment hidrauličke mašine

M_e - moment električne mašine

M_0 - masa obrtnih delova agregata

$p = \gamma h$ - pritisak u datom preseku u nestacionarnom režimu

$p_0 = \gamma h_0$ - vrednost p u stacionarnom režimu

$h_z^M = h(x_M, t)$ - vrednost pritiska h u preseku cevovoda sa apscisom x_M u trenutku vremena t .

$$h_{t+\mu}^M = h(x_M, t+\mu)$$

$$h_{t-\mu}^M = h(x_M, t-\mu)$$

$$h_{t+\frac{\mu}{2}}^M = h(x_M, t+\frac{\mu}{2})$$

$$h_{t-\frac{\mu}{2}}^M = h(x_M, t-\frac{\mu}{2})$$

$$h_{t+\frac{\mu}{2}}^N = h(x_N, t)$$

$$h_{t-\frac{\mu}{2}}^N = h(x_N, t)$$

$$V_t^M = V(x_M, t)$$

$$V_{t+\frac{\mu}{2}}^M = V(x_M, t+\frac{\mu}{2})$$

$$V_{t-\frac{\mu}{2}}^M = V(x_M, t-\frac{\mu}{2})$$

$$V_{t-\mu}^M = V(x_M, t-\mu)$$

$$V_t^N = V(x_N, t)$$

$$Y_t^M = Y(x_M, S)$$

$$U_t^M = U(x_M, S)$$

S - parametar koji karakteriše stepen otvaranja (zatvaranja) zatvarača - regulacionog organa.

S_0 - vrednost S pri stacionaranom režimu pri potpuno otvorenom regulacionom organu.

S - operacioni parametar

Q - protok u nestacionarnom režimu

Q_0 - vrednost Q u stacionarnom režimu

t - vreme

t_z - vreme otvaranja ili zatvaranja regulacionog organa

X - apscisa

V - srednja brzina u poprečnom preseku za nestacionarni režim kretanja tečnosti

V_0 - vrednost V u stacionarnom režimu

H_*, Q_*, T_* - potpuno proizvoljne konstante pritiska, protoka i vremena

S_i^M - koeficijent prenošenja udarnih talasa za cevovod i u tački M

τ_i^M - koeficijent odbijanja udarnih talasa za cevovod i u tački M

$\alpha = \frac{S}{S_0}$ - hidrauličko otvaranje ili zatvaranje zatvarača - regulacionog organa

α_0 - početna vrednost α

δ - debljina zida cevi

ϵ - deformacija

λ - koeficijent hidrauličkog trenja

σ - napon

$\delta(t)$ - impulsna funkcija

U, Q, τ, ν - bezdimenzionalne veličine pritiska, protoka, vremena i faze udara

ρ - gustina tečnosti

γ - zapreminska težina tečnosti

$$\rho = \frac{cQ_*}{gAH_*} = \frac{cV_*}{gH_*}$$

$$\psi = \frac{H_*}{h_0}$$

$$\mu = \frac{2L}{c} \quad - \text{faza udara}$$

ω, ω_0 - stvarna i nominalna ugaona brzina obrtanja

μ_0 - dinamička viskoznost

$\nu_0 = \frac{\mu_0}{\rho}$ - kinematički koeficijent viskoznosti

Za ostale upotrebljene oznake objašnjenje je dato u tekstu.

UVOD

U današnje vreme praksa gradjenja i eksploatacije savremenih složenih sistema pod pritiskom snabdevanja vodom industrije, naselja i poljoprivrede stalno potvrđuje da je problem nestacionarnog režima hidrauličkih sistema pod pritiskom još nedovoljno i na zadovoljavajući način ispitan i proučen.

Nestacionarni procesi u cevovodima pod pritiskom susreću se u različitim oblastima tehnike: brodogradnji, energetici, hidrotehnici, mašinogradnji, kod projektovanja sistema pod pritiskom hidroelektrana, u pojedinim elementima hidrotehničkih gradjevina, hidrauličkim sistemima prenosa, hidropogonima, u cevovodima kod transporta vode, nafte itd.

Hidraulički udar je proces nastao brzim promenama kretanja vode u cevima pod pritiskom pri čemu se dešavaju znatna povišenja pritiska i mogu se izazvati različitim uzrocima: iznenadnim punim ili parcijalnim zatvaranjem, odnosno, otvaranjem cevovoda zatvaračem, zatvaranjem ili otvaranjem hidranata na mreži, iznenadnim zaustavljanjem pumpe, puštanjem pumpe u pogon automatizovanih pumpnih stanica, kretanjem nagomilanog vazduha i njegovom evakuacijom iz cevovoda, prestankom rada ili puštanjem u rad uređaja za navodnjavanje, brzim pražnjenjem pri raznim havarijama cevovoda itd.

Sistemi pod pritiskom u vodoprivredi, naprimer kod navodnjavanja, imaju mnoge prednosti u odnosu na otvorenu kanalsku mrežu. Njihova izgradnja se stalno povećava i osavremenjuje.

Uporedo sa izgradnjom novih sistema rekonstruišu se i postojeći, jer se sve više primenjuje nova tehnika, koja obezbeđuje visoko proizvodno korišćenje vode za navodnjavanje. Irigacioni sistemi u današnje vreme još rade u režimima u kojima se nedovoljno koriste mogućnostima tehničkog progresa. Prirodno je da se pri ovome ne postižu oni efekti korišćenja vode za navodnjavanje, koji se mogu dobiti kod besprekornih metoda eksploatacije vodoprivrednih sistema i objekata. U ovo vreme tehničkog napretka nastaje neophodnost razrade u vodoprivredi takvih metoda upravljanja koji dozvoljavaju maksimalno iskorišćenje potencijalne mogućnosti irigacionih objekata, obezbeđenje optimalnih normi i rokova potrošnje vode za odgovarajuće poljoprivredne kulture, smanjenja neproizvodnih gubitaka vode.

Tehnički napredak u vodoprivredi, kao i u drugim oblastima privrede, dovodi do stalnog rasta potrebe u automatskom upravljanju tehnološkim procesima. Irigacioni sistemi počinju da se automatizuju. Automatsko upravljanje zahteva uvodjenje mehanizovanog sistema za navodnjavanje sa zatvorenim razgranatim i prstenastim mrežama. Treba napomenuti da je uvodjenje automatizacije sistema za navodnjavanje, odnosno, mehanizacije i automatizacije navodnjavanja kišenjem, uslovljeno nizom važnih faktora. Osim ekonomisanja vodom i njenog racionalnijeg korišćenja, postiže se i povišenje produktivnosti rada i bolje korišćenje savremene tehnike za navodnjavanje, kao i isključenje ili svodjenje na minimum neproizvodnih gubitaka vode. Ovo nam govori da se obim automatskog upravljanja objektima postepeno povećava i da će se stalno povećavati. Poslednjih godina u svetu ovome se posvećuje velika pažnja. Postignuti su određeni uspesi u oblasti razrade sredstava i metoda automatizacije irigacionih objekata.

Sistemi za navodnjavanje sa automatskim upravljanjem stvaraju i mnoge tehničke probleme, koji se ranije nisu javljali ili su se pojavljivali u blažim oblicima. Ovi sistemi danas traže svestrano proučavanje, jer kod eksploatacije cevni mreža sa zatvorenim konturama dešavaju se vrlo česta, mnogobrojna pucanja cevi i razaranja sistema, a prekidi u snabdevanju vodom polja

donose gubitke prinosa poljoprivrednih kultura. Osposobljavanje cevovoda posle pucanja izaziva znatne materijalne troškove. Kao osnovni uzrok ovakvih havarija jeste hidraulički udar i, kako pokazuje praksa eksploatacije cevnih mreža, glavni problem hidrauličke analize hidrotehničkih sistema je njegovo proučavanje. U vezi sa ovim ponikla je neophodnost razrade metoda proračuna hidrauličkog udara u cevnim mrežama sa zatvorenim konturama, jer se postojećim metodima proračuna ovi sistemi ne mogu obuhvatiti. Ti metodi su nastali u vezi sa potrebama hidrotehničke prakse u vreme kada je praksa zahtevala sisteme sa otvorenim konturama i tada se nije ni postavljalo pitanje proračuna hidrauličkog udara u sistemima sa zatvorenim konturama, jer ih jednostavno nije ni bilo.

Izučavanje režima nestacionarnog kretanja vode u cev-
nim mrežama dosta je teško i kod postojanja sa malim brojem gra-
na vezanih međjusobno čvorovima, kao i uređajima različitog ti-
pa, namene i konstrukcionog izvodenja.

Razrada teorije hidrauličkog udara uslovljena je pre
svega teškim posledicama koje nanose mrežama. Zato, da bi se mog-
lo uspešno zaštititi od hidrauličkih udara, nameće se potreba
njihovog tačnog proračunavanja da bi pravilno, tehnički i ekonom-
ski postavili i rešili protivudarne uređaje, kako na postojećim,
tako isto i na novoprojektovanim hidrotehničkim objektima. Zato
se uporedo sa proučavanjem same njegove pojave razmatra i pita-
nje zaštite cevovoda. Ovaj problem sigurnosne zaštite hidroteh-
ničkih sistema pod pritiskom za snabdevanje vodom je jedan od
najvažnijih u inženjerskoj hidraulici, jer su takvi problemi mno-
go rasprostranjeni, a rušenja su česta i opasna. Borba sa hidra-
uličkim udarima neposredno je vezana sa pitanjem njihovog nastan-
ka. Zato se sve mere zaštite razmatraju u uzajamnom dejstvu sa
uzrocima nastanka i rasprostiranja udarnih talasa.

Prema tome, sve ovo nam govori da se mreže moraju na
odgovarajući način proračunati i zaštititi od hidrauličkih uda-
ra. Uzgred rečeno, izgradnja i eksploatacija protivudarnih ure-
djaja ne košta mnogo, u odnosu na koštanje hidrotehničkog siste-
ma, a daje značajan ekonomski efekat i sigurnost u radu. Zato
za određivanje veličine povišenja pritiska i izbora odgovaraju-
ćih mera zaštite, neophodno je sprovesti proračune hidrauličkog

udara. U većini slučajeva, ako se uzmu odgovarajuće mere zaštite, pritisak pri hidrauličkom udaru može se ograničiti na potrebnu veličinu, koja ne traži primenu cevi veće čvrstoće, nego što je to neophodno za uslove normalnog rada cevovoda.

Cilj proračuna je određivanje maksimalnih veličina pritiska pri hidrauličkim udarima, kao i nalaženje mesta prekida kontinuiteta toka u cevovodima.

Bez obzira na veliki broj razradjenih metoda za proračun hidrauličkog udara, praktično ti metodi, izuzev metoda karakteristika, mogu se primeniti na veoma ograničenom broju slučajeva hidrauličkih sistema.

Broj metoda za proračun vodnog udara u složenim sistemima pod pritiskom je srazmerno mali u odnosu na broj metoda za proste cevovode, kojih je znatno više. Ograničen broj metoda proračuna hidrauličkog udara u složenim sistemima vodosnabdevanja objašnjava se složenošću procesa prolaženja i odbijanja talasa poremećaja u mreži. Nastali poremećaj - impuls - dolazi do čvora u mreži, delimično se odbija od njega a delimično prolazi. Neka se u čvoru grananja nalaze, naprimer, četiri grane, impuls, nastao u nekom delu mreže, dolazi do čvora. U čvoru nastaju još četiri poremećaja, koji slično prvome od koga su nastali, prolaziće i odbijaće se, obrazujući poremećaje treće generacije. Dobija se neki lančani proces, koga je fizički vrlo teško pratiti. Za svaki poremećaj, koji je došao u čvor, treba poznavati predistoriju, koja sadrži nekoliko brojeva. Na osnovu lančanog karaktera procesa, broj poremećaja veoma brzo raste.

Iz ovoga je jasno zašto grafički metodi, koji su se mnogo koristili u prostim cevovodima za proračun hidrauličkog udara, nisu našli svoje mesto i za proračune u složenim sistemima.

Dugo godina hidraulički udar u irigacionim mrežama pod pritiskom nije se računao. Projektanti su primenjivali ili koeficijent - multiplikator ili paušalno uvećanje. Ove različite formule nije bilo moguće objasniti, jer su sadržavale netačnosti.

Dovoljno je reći da pri postojanju znatnog broja zat-



vorenih krakova u sistemu za snabdevanje (što je vrlo čest slučaj u navodnjavanju, jer svi razvodni cevovodi sistema ne rade u isto vreme) stvaraju se ponekad velike teškoće kod njihovih proračuna na hidraulički udar. Kada udarni talas udje u zatvoreni krak cevi, njegovo dejstvo se oseća na zatvorenom kraju. Znak se pri tome ne menja, a vrednost mu se udvostručava, što može biti veoma ozbiljno. Uzimajući u obzir, da zatvoreni kraci u određenim uslovima povećavaju pritiske ocena njihovog uticaja na veličinu pritiska u magistralnom cevovodu, predstavlja praktičan interes. Odredjene teškoće pri ovome nadovezuju se i željom da se uzme u obzir i uticaj sila trenja na veličinu povišenja pritiska usled udara. U starijim metodama proračuna hidrauličkog udara obično se nisu uzimali u obzir uticaji gubitaka pritiska, koji su smanjivali pritiske. Uzimanje u obzir gubitaka pritiska u znatnoj meri komplikuje proračune hidrauličkog udara i zato se nastojalo da se sheme proračuna uproste, tako što su se gubici pritiska na trenje, koji su neprekidno raspoređeni po dužini, uslovno zamenjivali skoncentrisanim. Često ne sme se dozvoliti da se zanemari pritisak, koji je izgubljen na savladjivanju hidrauličkih otpora, jer veličina ovih otpora može biti znatna u odnosu na veličinu talasa pritiska kod hidrauličkog udara.

Veliku važnost za praksu predstavlja odredjivanje zona niskog pritiska, koje izazivaju gubitak stabilnosti oblika cevovoda. Ocena oscilacija pritiska dozvoljava da se isključe efekti zamora i da se poveća trajnost cevovoda. Osim toga, može se tačno odrediti mesto gde treba preduzeti mere predostrožnosti.

Tačna analiza hidrauličkog udara treba da da sigurnu ocenu maksimalnih i minimalnih veličina pritiska po čitavoj dužini cevovoda pod pritiskom, odnosno u celoj oblasti mreže. *Ovo isključuje preterane rezerve* u gradjenju cevovoda. U tom cilju treba usavršavati i upotpunjavati savremene metode za proračun hidrauličkog udara.

Veliki broj postojećih metoda proračuna hidrauličkog udara može se primeniti samo u uslovima ručnih sredstava prora-

čuna, što je praćeno velikim teškoćama i dugotrajnim radom. Primena računskih mašina dozvoljava ne samo znatno skraćivanje vremena proračuna i troškova proračuna u odnosu na ručni, već takodje uzima taćnije pojedine faktore, koji utiću na proces hidrauličkog udara.

Proraćun hidrauličkog udara u mrežama sa zatvorenim konturama (prstenaste mreže) je veoma složen i ne može se obuhvatiti postojećim metodama. Bilo je pokušaja proračuna hidrauličkog udara u srazmerno prostim razgranatim i prstenastim mrežama numeričkim metodama. Tipični programi proračuna su bili napravljani od pojedinih istraživaća, ali većina ih je bila napravljena zato, da bi rešavali specijalne probleme. Zato neretko, čak i u ovakvim slučajevima, kada takav proraćun može da da neophodno rešenje, on se ne iskorišćava zbog velike složenosti u pisanju jednaćina i zbog velikog utroška vremena.

Zato je, u ovome radu, postavljen osnovni zadatak da se dodje do rešenja koja će imati praktićnu primenu i da ih praksa prihvati. Potrebno je dati osnove jednog univerzalnog matematičkog modela proračuna hidrauličkog udara u cevnim mrežama sa zatvorenim konturama, a u isto vreme potrebno je da se taj model primeni i na druge hidrotehničke sisteme pod pritiskom kao što su prosti i magistralni cevovodi i mreže sa otvorenim konturama, i to uspešnije i lakše nego što je to moguće sa postojećim dosadašnjim metodama.

Treba imati u vidu samo praktićnu stranu ovog problema i potrebno je dati takva rešenja koja će moći da koristi svaki inženjer-praktićar bez nekog naroćitog prethodnog teorijskog znanja iz ove oblasti.

Ako se ova teznja ostvari biće to najznaćajnija nagrada autoru za uloženi trud i rad i njegov doprinos u izučavanju problema hidrauličkog udara u složenim hidrotehničkim sistemima.

GLAVA I

PREGLED POSTOJEĆIH METODA PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA

U ovome delu dat je kratak pregled metoda proračuna nestacionarnih tečenja tečnosti u cevima. Prva osnovna ispitivanja u ovoj oblasti pripadaju N.E.Žukovskom koji je postavio temelje ovoj teoriji.

Do 1930 godine proračuni hidrauličkog udara sprovodili su se pomoću aritmetičkih metoda u kojima se nisu uzimali otpori na trenje i primenjuju se koeficijenti odbijanja od krajeva elemenata cevovoda. Aritmetičko integrisanje po metodi Alievi za proste cevovode sastoji se u nalaženju formula za određivanje povišenja pritiska u preseku kod zatvarača za faze udara, polazeći od osnovnih jednačina nestacionarnog kretanja pod pritiskom i jednačina za brzine isticanja kroz krajnji presek kod zatvarača.

Posle 1930 godine počinju da se primenjuju grafički metodi. Grafički metodi proračuna hidrauličkog udara u prostim cevovodima razradjeni su dosta detaljno od strane mnogih autora. Počinjući od metoda Alievi, koji danas ima samo istorijsku vrednost, poznati su radovi *L.Beržerona*, *O.Šnidera*, *P.Andriusa*, *M.A.Mostkova*, *N.T. Meleščenka* i dr. Poneki od ovih autora razmatrao je i proračun hidrauličkog udara u složenim cevovodima, takodje grafičkim putem. Svi oni su razradili i popularizovali grafički metod i obezbedili mu mogućnost praktične primene.

Grafički metod zasniva se na jednačinama Alievi, odnosno na osnovnim jednačinama hidrauličkog udara:

$$h_n + h_{n-1} - 2h_0 = \frac{c}{g} (V_{n-1} - V_n) \quad (1.1)$$

Neka je druga jednačina jednačina isticanja (granični uslov):

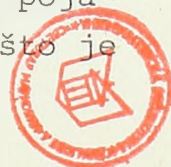
$$V_{\eta} = B_{\eta} \sqrt{h_{\eta}} \quad (1.2)$$

Sistem jednačina (1.1) i (1.2) može se rešiti i numeričkim putem. Medjutim, u grafičkim metodama ove dve jednačine rešavaju se grafičkim putem. Pri poznatom zakonu zatvaranja ili otvaranja zatvarača, u datom slučaju pri linearnom zakonu promene preseka ispusnog organa, određuje se veličina B_{η} elementarnim računanjem.

I Šnider i Beržeron i Mostkov grade svoje metode proračuna takodje na osnovnim jednačinama hidrauličkog udara, tj. grade ih na osnovu takozvanih "veznih" jednačina hidrauličkog udara, koje povezuju u vremenu brzine i pritiske za svake dve tačke po dužini cevi i jednačina isticanja kroz zatvarač ili neki drugi regulacioni organ.

Proračun hidrauličkog udara u složenim cevovodima i cevnim mrežama jako je složen i komplikovan. Beržeron je davno dao izvanrednu metodu za analizu hidrauličkog udara. Medjutim, upotreba ove grafičke metode u cevnim mrežama je vrlo komplikovana i pri praktičnom proračunu vrlo zamršena. Prema tome, nije se mogla uspešno i nesmetano primenjivati i u slučaju složenijih mreža. Takodje, grafički metod Šnidera - Beržerona ima bitnih nedostataka i metod je neprimenljiv, jer se veoma teško primenjuje na cevne sisteme sa složenom konfiguracijom. I ovaj metod kao i svi grafički metodi inženjerskih proračuna uopšte, pripadaju prošlosti i izgubili su svoje značenje sa pojavom savremenih računskih mašina.

Opšti osnovni nedostatak svih grafičkih metoda proračuna hidrauličkog udara jeste velika teškoća pri crtanju i zahteva naročitu tačnost za sve konstrukcije. Kontrola proračuna je teška, jer onaj ko kontroliše, mora ponovo da uradi i ne dobijaju se objektivna rešenja. Moguće je da se pojavi razlika u rezultatu između proračuna onoga ko je uradio i onoga ko je kontrolisao. Obično se postavlja pitanje šta je tačno pa prema tome i rešenja nose subjektivan karakter. Zatim mora se detaljno upoznati mehanizam pojave hidrauličkog udara i fizička slika u svakom trenutku, što je

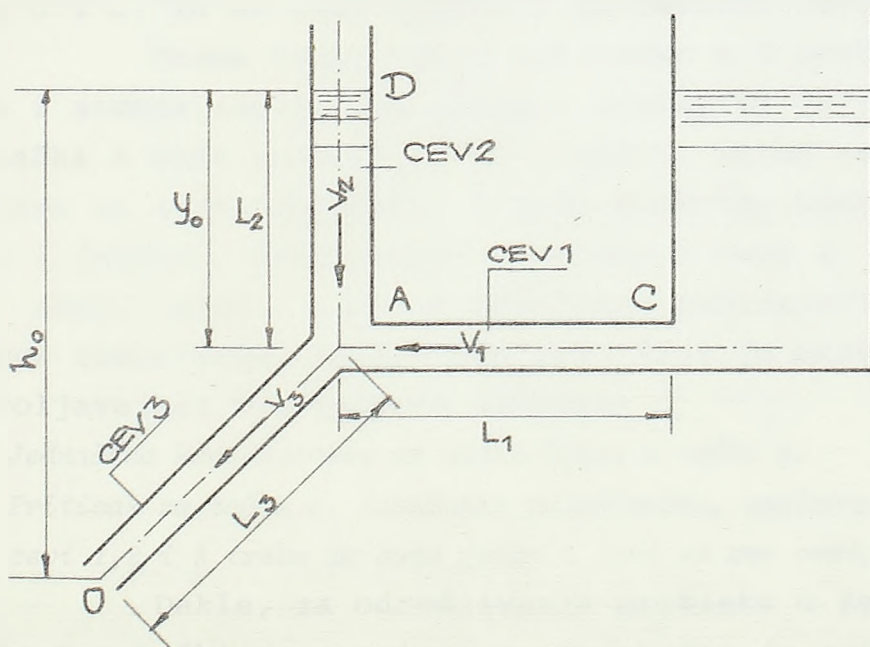


veoma teško za složene sisteme, a ovo je već istaknuto i u uvodu ovoga rada.

Prema tome, grafički metodi su danas potpuno preživeli. Algoritam, koji je dobijen na osnovu ove teorije za računске mašine, nije zadovoljavajući. Nepraktičan je i glomazan. Ovim metodom ne mogu se računati hidraulički udari u cevnim mrežama sa zatvorenim konturama.

Dok se grafičke metode mogu upotrebiti kao pomoćno sredstvo u pojedinim praktičnim slučajevima, a naročito u proračunima prostih cevovoda sa linearnim zakonom promene otvaranja, dotle su numeričke metode pogodne za analizu različitih računskih shema i u većini slučajeva ne zahtevaju primenu drugih računskih postupaka. Prvi značajni radovi proračuna hidrauličkog udara u složenim sistemima pojavili su se 1935.godine (Šarl Jeger) odnosno 1938. (M.A. Mostkov).

Proračun složenih cevovoda metodom Jegera takodje sledi iz opštih jednačina teorije Alievi, dopunjenih graničnim uslovima u čvoru. U svojstvu računске sheme uzeće se sistem (Sl. 1.1) sa tri grane, koje polaze iz čvora A.



Sl. 1.1

Sistem "štolna - vodostan - cevovod" može se predsta-

viti tako da se sastoji iz tri cevi različitog prečnika i dužine, spojenih zajedno u jednoj tački, kad se dve od njih završavaju kod velikih slobodnih površina.

Kako u opštem, tako i u posebnom slučaju, osim odbijanja od slobodnih površina pojavljuju se i delimična odbijanja u tački A. Neophodno je pratiti odbijene i prolazne talase i dalja njihova odbijanja od zatvorenog i slobodnog kraja i njihovu interferenciju. Jeger je potpuno iskoristio teoriju i metodiku Alievi, koja se odnosi na konstantne karakteristike $\rho = \frac{cV_0}{2g\eta_0}$ i $\mu = \frac{2L}{c}$ i dao je rešenje tog problema sa tri cevi koje se susstiču u jednom čvoru.

Impuls pritiska, nastao u tački O, kreće se po cevovodu 3 u pravcu čvora A. U ovom čvoru on se delimično odbija, jer presek u tački A nije beskonačno veliki. Pošto je delimično odbijen, preostali deo prvobitnog talasa kretaće se po cevima 1 i 2 do njihovog potpunog odbijanja od slobodnih površina. U tački C talas se potpuno odbija sa suprotnim znakom, isto u tački D. Talas, odbijen u tački D, se kreće ka A i ponovo se delimično odbija u pravcu D, i delimično će produžavati rasprostiranje prema O i C. To se isto dešava i sa talasom koji se odbija od C.

Prema tome, talas obrazovan u O pretrpi mnogo odbijanja i stvara oscilacije udara u svakoj od cevi 1, 2 i 3. Pritisak u tački A biće promenljiv po vremenu, usled sabiranja osnovnog talasa sa svim odbijenim, i biće funkcija oscilacija u cevima 1 i 2 i dejstva, ostvarenog u otvoru O cevi 3. Mogao bi se pratiti svaki talas i njegovo odbijanje, sabirajući sve talase, ali Jeger iskorišćava analitički put, čiji je pravac dao Alievi, zadovoljavajući dva osnovna zahteva:

1. Jednačina kontinuiteta se zadovoljava u tački A.
2. Pritisak za tačku A, izračunat pojedinačno, saglasno teoriji Alievi, za cevi 1, 2 i 3 treba da bude jedan i isti za sve cevi.

Dakle, za određivanje pritiska u nekom trenutku vremena t u tački sa apscisom x , neophodno je sabrati impulse pritiska, koji prolaze kroz ovu tačku od O ka A u tome momentu, a takodje odbijene impulse od tačaka A, C i D. Jeger ne sabira te talase, već se koristi opštim rešenjem Alievi, uvodeći uslove

kontinuiteta i jednakost pritiska u tački A. Za početni trenutak vremena on uzima momenat prolaska impulsa kroz presek čvorra. Uvodeći relativno povišenje pritiska, relativne faze putovanja talasa u cevovodu 1 i 3 u odnosu na cevovod 2 i zamenjujući uslov nepotpunog odbijanja impulsa pritiska u tački A, Jeger za cev 1 i 2 (ukoliko se u njima dešava potpuno odbijanje) daje jednačine za rešavanje zadatka.

Za cev 2:

$$\xi_i^2 + \xi_{i+1}^2 - 2 = 2 \rho_2 \left(\frac{V_{2i}}{V_{20}} - \frac{V_{2i+1}}{V_{20}} \right) \quad (1.3)$$

Za cev 1:

$$\xi_i^2 + \xi_{i+n_1}^2 - 2 = 2 \rho_1 \left(\frac{V_{1i}}{V_{10}} - \frac{V_{1i+n_1}}{V_{10}} \right) \quad (1.4)$$

gde je:

$$\eta_1 = \frac{\mu_1}{\mu_2} ; \quad \xi^2 = \frac{h}{h_0}$$

Ako se proračunaju sumarni koeficijenti odbijanja α_i i ako se uvedu u opštu jednačinu Alievi iz serije "veznih" dobija se:

$$\alpha_k (h_k - h_0) + (h_{k+1} - h_0) = \frac{c_3}{g} \left[\alpha_k (V_k - V_0) - (V_{k+1} - V_0) \right] \quad (1.5)$$

Kad se uvedu u jednačinu (1.5) relativne veličine i kad se reši u odnosu na ξ_{k+1} , dobija se:

$$\xi_{k+1} = -\rho \eta_{k+1} + \sqrt{\rho^2 \eta_{k+1}^2 + 1 + 2\rho \left[\alpha_k \eta_k \xi_k + \frac{V_0}{V_0} (1 - \alpha_k) \right] - \alpha_k (\xi_k^2 - 1)} \quad (1.6)$$

gde je

V_0 - brzina stacionarnog kretanja tačnosti pri potpunom otvaranju zatvarača.

$$\eta_k = \frac{V_n}{V_0} \sqrt{\frac{h_0}{h_n}}$$

Kao što se vidi proračun po ovom metodu je vrlo složen i ovaj metod nije bio perspektivan.

Sušтина prvog metoda Mostkova iz 1938. godine [4] ili

metoda "ekvivalentnih dužina" sastoji se u zameni složenog sistema cevovoda ekvivalentnim prostim cevovodom sa jednakom veličinom ordinate udara u datom trenutku vremena.

Uvodi se

$$L_e = \lambda_e L \quad (1.7)$$

Ovde je:

L_e - dužina ekvivalentnog prostog cevovoda,

λ_e - koeficijent ekvivalentne dužine,

L - dužina dela složenog cevovoda.

U opštem obliku izraz za koeficijent ekvivalentne dužine složenog cevovoda M.A. Mostkov daje:

$$\lambda_e = \eta_0^i (\theta - \alpha_0^i) + \eta_0^{i-1} (\theta - \alpha_0^{i-1}) + \dots + \eta_0^1 (\theta - \alpha_0^1) \quad (1.8)$$

U ovoj jednačini veličina η_0^{i-1} odgovara odnosu $\frac{\alpha_0^i}{\alpha_0^{i-1}}$, a α je koeficijent odbijanja od odgovarajućih cevi složenog cevovoda, $\theta = \frac{t}{\mu}$ - vreme od početka regulisanja, izmereno u delovima faze krajnjeg dela cevovoda.

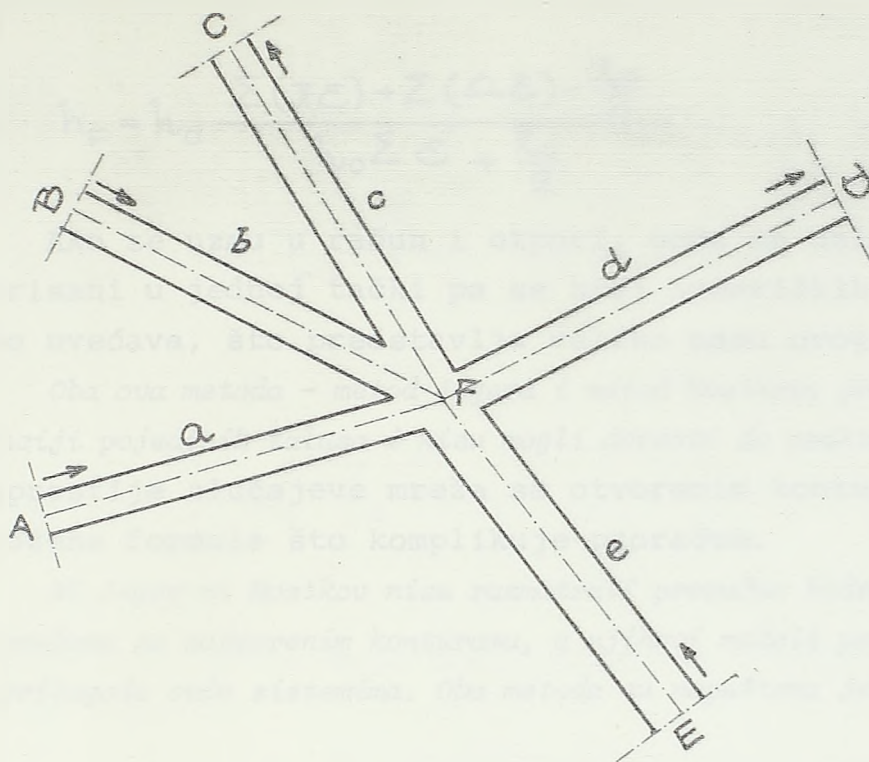
Metod "ekvivalentnih dužina" ne uzima u obzir sile trenja. Nalaženje koeficijenta ekvivalentne dužine je jako složeno, a sa povećanjem trajanja zatvaranja zatvarača naglo raste broj članova koji ulaze u izraz za λ_e .

Metod "ekvivalentnih dužina" nema nikakvih preimućstava u odnosu na metod Š. Jegera, jako je glomazan, traži složene izraze za određivanje λ_e , nejasan je u proračunu. Iz ovih razloga nije našao svoje mesto u projektantskoj praksi.

M.A. Mostkov je predložio 1943. godine opšti numerički metod proračuna hidrauličkog udara, a razradio ga je i primenio za vodovodne mreže 1947. godine.

Osnovi opšteg numeričkog metoda proračuna hidrauličkog udara leže u karakteristikama diferencijalnih jednačina. Prema tome on pripada metodi karakteristika.

Za složene sisteme M.A. Mostkov [5] razmatra čvor mreže F, od koga odlazi niz cevi a, b, c (Sl. 1.2) u opštem slučaju različitih dimenzija i elastičnih svojstava.



Sl. 1.2

Pravac kretanja tečnosti pri stacionarnom režimu pokazan je strelicama.

Treba uzeti dužine delova cevi AF, BF,, takvih dimenzija, da je vreme putovanja talasa udara jednako na tim delovima, tj. treba da bude $\mu_a = \mu_b = \dots (\mu = \frac{L}{c})$. Kad je protok vode koji dolazi u čvor pozitivan, pritisak u čvoru F se određuje po formuli:

$$h_F = \frac{\sum(\mathcal{T}\mathcal{E}) + \sum(\Omega\mathcal{E})}{\sum\mathcal{E}} \quad (1.9)$$

gde je:

$$\mathcal{E}_j = \left(\frac{gA}{c}\right)_j$$

a \mathcal{T} i Ω su veličine direktnog i suprotnog talasa pritiska u čvoru.

Ako iz čvora F postoji isticanje u atmosferu, pritisak u čvoru F se određuje prema:

$$h_F = h_0 \frac{\sum(\pi E) + \sum(\Omega E) - \frac{z_0}{2}}{h_0 \sum E + \frac{z_0}{2}} \quad (1.10)$$

Ako se uzmu u račun i otpori, onda se uzima da su oni skoncentrisani u jednoj tački pa se broj numeričkih operacija dvostruko uvećava, što predstavlja veliku manu ovog metoda.

Oba ova metoda - metod Jegera i metod Mostkova gradjeni su na interferenciji pojedinih talasa i nisu mogli dovesti do praktičnih ciljeva. I za najprostije slučajeve mreža sa otvorenim konturama dobijaju se složene formule što komplikuje proračun.

Ni Jeger ni Mostkov nisu razmatrali proračun hidrauličkog udara u cevnim mrežama sa zatvorenim konturama, a njihovi modeli proračuna ne mogu da se prilagode ovim sistemima. Oba metoda su napuštena jer su neperspektivna.

Za dobijanje metoda proračuna hidrauličkog udara u složenim mrežama veliki značaj imaju jednačine Šnidera - Beržerona:

$$h_{t+\frac{\Delta t}{2}}^M - h_t^N = -\frac{c}{g} (V_{t+\frac{\Delta t}{2}}^M - V_t^N) \quad (1.11)$$

$$h_{t-\frac{\Delta t}{2}}^M - h_t^N = \frac{c}{g} (V_{t-\frac{\Delta t}{2}}^M - V_t^N) \quad (1.12)$$

Ove jednačine su tačna rešenja jednačina hidrauličkog udara, napisane u konačnim razlikama. One su, ustvari, jednačine karakteristika hiperboličkih jednačina hidrauličkog udara i sve metode koje su gradjene na njihovom korišćenju, u konačnom slučaju proističu iz teorije karakteristika.

Na ovim jednačinama (Šnidera - Beržerona) gradjen je i metod proračuna N.A.Kartvelišvili.

N.A.Kartvelišvili je dao veoma perspektivan metod za proračun hidrauličkog udara [1]. On polazi od spregnutih jednačina Šnidera - Beržerona.

Ako se sa F označi tačka grananja cevovoda, a suprotne strane sa S, onda se pritisak u čvoru F usled hidrauličkog udara, određuje izrazom:

$$\begin{aligned}
 h_t^F = & -S_1 \left(\sum_{i=1}^F h_{t-i\mu_1}^F - \sum_{i=0}^{S_1} h_{t-\frac{\mu_1}{2}-i\mu_1}^{S_1} \right) - \\
 & -S_2 \left(\sum_{i=1}^F h_{t-i\mu_2}^F - \sum_{i=0}^{S_2} h_{t-\frac{\mu_2}{2}-i\mu_2}^{S_2} \right) - \\
 & \dots \\
 & -S_n \left(\sum_{i=1}^F h_{t-i\mu_n}^F - \sum_{i=0}^{S_n} h_{t-\frac{\mu_n}{2}-i\mu_n}^{S_n} \right)
 \end{aligned}
 \tag{1.13}$$

gde je:

S_i - koeficijent prolaženja udarnih talasa u tački F, i određuje se po formuli:

$$S_i = \frac{2 \frac{A_i}{C_i}}{\sum_{k=1}^n \frac{A_k}{C_k}}
 \tag{1.14}$$

$$\mu_i = \frac{2L_i}{C_i} - \text{faza udara}$$

n - broj cevovoda.

Ovaj algoritam daje mogućnost uzastopnog proračuna hidrauličkog udara u svim čvorovima, ukoliko cevovod nema zatvorenih kontura.

Mana ovog proračuna je što se uvek mora prethodno izračunati suma i ona uvek zavisi od \dot{v} , i što se metod ne može primeniti za proračun cevnih mreža sa zatvorenim konturama. Pod izvesnim uslovima metod bi se mogao adaptirati i za mreže sa zatvorenim konturama, ali pri tome dobijene jednačine bile bi jako glomazne i složene. Dalje, ovaj metod ne može da se upotrebi u slučajevima kada u sistemu ima više od jednog izvora hidrauličkog udara.

Iz datog pregleda postojećih metoda vidi se da ne postoji skoro nijedan metod koji bi mogao da proračuna hidraulički udar u cevnim mrežama sa zatvorenim konturama. To je i razumljivo, jer su svi gornji metodi pravljeni za određene praktične probleme, rešavani u vremenu kada se mreže sa zatvorenim

konturama nisu upotrebljavale. Zatvorene, prstenaste mreže su novijeg datuma i grade se u današnje vreme, u vreme automatizacije hidrotehničkih sistema.

Ipak predlagani metodi proračuna predstavljaju dosta težak rad čak i za srazmerno proste hidrauličke sisteme sa otvorenim konturama. Gore izloženo dovodi do zaključka o neophodnoj potrebi da se napravi program za proračun složenih sistema i mreža bilo kakve složene konfiguracije. Takav program treba da bude univerzalan, da se pomoću njega mogu proračunati različite sheme, koje se sastoje od velikog broja čvorova i grana.

U ovome radu učinjen je pokušaj da se da jedan takav univerzalan matematički model proračuna hidrauličkog udara i za najslabije hidrauličke sisteme, koji u sebi sadrže i zatvorene konture.

Takav matematički model oslobodjen svih gornjih nedostataka postojećih metoda daje se u ovome radu na narednim stranicama.

GLAVA II

METOD PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA - OSNOVNI ODNOSI ZA SASTAV RAČUNSKOG ALGORITMA

1. OSNOVNE JEDNAČINE PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA

Hidraulički udar opisan je sistemom parcijalnih diferencijalnih jednačina jednodimenzionalnog nestacionarnog kretanja realne homogene stišljive tečnosti u cevovodu.

Osnovne jednačine nestacionarnog kretanja u linijskim sistemima pod pritiskom su:

- jednačina održanja količine kretanja:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + 1 = 0 \quad (2.1)$$

- jednačina održanja mase:

$$\frac{\partial m}{\partial x} + \frac{\partial(\rho A)}{\partial t} = 0 \quad (2.2)$$

Jednačina (2.2), koja predstavlja princip održanja materije, odnosno nepromenljivost mase, uz uslov neprekidnosti fluida dovodi do jednačine kontinuiteta i može se napisati u obliku:

$$\frac{\partial(\rho Q)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho A)}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

Diferenciranjem izraza (2.3), dobija se:

$$Q \frac{\partial \rho_v}{\partial x} + \rho_v \frac{\partial Q}{\partial x} + A \frac{\partial \rho_v}{\partial t} + \rho_v \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Pošto je

$$Q \frac{\partial \rho_v}{\partial x} \ll \rho_v \frac{\partial Q}{\partial x},$$

to se ovaj član može zanemariti i zamenom:

$$Q = VA$$

ovaj izraz piše se u obliku:

$$\frac{V}{A} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{1}{\rho_v} \frac{\partial \rho_v}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.4)$$

Jednačina (2.4) predstavlja jednačinu kontinuiteta za bilo kakav poprečni presek A. Kao što je rečeno u ovome radu se razmatraju samo kružni cevovodi, pa je $\frac{V}{A} \frac{\partial A}{\partial x} = 0$.

Jednačina kretanja (2.1) može se napisati u obliku:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} + \lambda \frac{v^2}{2gD} = 0 \quad (2.5)$$

odnosno
$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\lambda |v|}{2D} v \right) = 0$$

ili

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + 2 \zeta v \right) = 0 \quad (2.6)$$

gde se za prvu aproksimaciju uzima [7]:

$$2\zeta = \frac{\lambda v_0}{2D} \quad (2.7)$$

a u sledećim $2\zeta = \left(\frac{\lambda |v|}{2D} \right)_{or} = \text{const} > 0$

Pošto se razmatraju samo cevi kružnog poprečnog preseka, jednačina (2.4) će biti u drugom obliku.

Treći član na levoj strani jednačine (2.4), za cevi kružnog preseka, je:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{2}{D} \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.8)$$

Za tečnost koja sledi Hukov zakon, veza izmedju pritiska p i gustine ρ_v je:

$$p - p_0 = E_t \frac{\rho_v - \rho_{v0}}{\rho_{v0}} \quad (2.9)$$

Ovde je ρ_{v0} - vrednost ρ_v pri $p = p_0$.
Odatavde sledi, da je:

$$\frac{1}{\rho_v} \frac{\partial \rho_v}{\partial t} = \frac{1}{E_t} \frac{\rho_{v0}}{\rho_v} \frac{\partial \rho_v}{\partial t} \quad (2.10)$$

Kako je $E_t \gg p - p_0$, ne treba praviti razliku izmedju ρ_v i ρ_{v0} i može se smatrati da je $\rho_v = \text{const}$, pa se izraz (2.10) piše kao:

$$\frac{1}{\rho_v} \frac{\partial \rho_v}{\partial t} = \frac{1}{E_t} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (2.11)$$

Veza izmedju deformacije i prečnika kružne cevi data je izrazom:

$$\frac{1}{D} \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial \epsilon}{\partial t} \quad (2.12)$$

Ako se izrazi (2.8), (2.11) i (2.12) unesu u (2.4) dobija se:

$$\frac{\partial v}{\partial x} + 2 \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\gamma}{E_t} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.13)$$

Jednačine (2.6) i (2.13) su opšte jednačine za proračun hidrauličnog udara u kružnim cevovodima, bez obzira na karakteristike materijala od koega su napravljene. Ove jednačine važe, kako za elastične materijale koji slede Hukov zakon, tako isto i za one materijale na koje se ovaj zakon ne može primeniti.

Za cevi napravljene od elastičnog materijala važi Hukov zakon. Veza između napona i deformacija je linearna i data je izrazom:

$$\sigma = E \epsilon \quad (2.14)$$

Jednačinu (2.14) treba diferencirati po t pa se dobija:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = E \frac{\partial \epsilon}{\partial t}$$

odnosno,

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} = \frac{1}{E} \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (2.15)$$

Napon, izazvan unutrašnjim pritiskom $p = \gamma h$, određuje se kotlovskom formulom:

$$\sigma = \frac{\gamma h D}{2s} \quad (2.16)$$

koja se diferencira po t , pa se dobija izraz:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = \frac{\gamma D}{2s} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.17)$$

Iz (2.15) i (2.17) proizilazi:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} = \frac{\gamma D}{2sE} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{E} \frac{\gamma h}{2s} \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.18)$$

pošto je $\frac{\partial D}{\partial t} \ll \frac{\partial h}{\partial t}$ to se drugi izraz na desnoj strani može

zanemariti.

Izraz (2.18) unosi se u (2.13), pa se dobija:

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \left(\frac{\gamma D}{\delta E} + \frac{\gamma}{E_t} \right) \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

odnosno,

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{g}{c^2} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.19)$$

gde je:

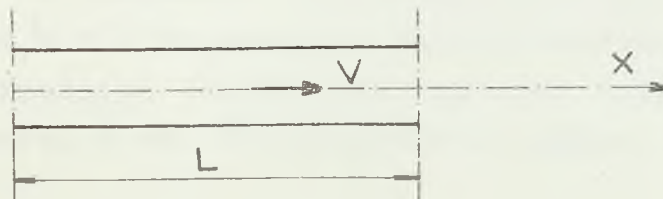
$$c = \frac{C_0}{\sqrt{1 + \frac{E_t D}{E \delta}}} \quad (2.20)$$

$C_0 = 1425$ m/s - brzina rasprostiranja zvuka u tečnosti.

Jednačina (2.19) je dobro poznata jednačina kontinuiteta za elastične cevovode. Za razliku od drugih autora, ona je ovde dobijena na drugi način, polazeći od opšte jednačine (2.13). Vidi se da je ona specijalni slučaj jednačine (2.13) i važi samo za elastične materijale, tj. materijale koji slede Hukov zakon.

Znači, za proračun hidrauličkog udara u cevima od elastičnog materijala važe jednačine (2.6) i (2.19), poznate u nauci kao klasične jednačine hidrauličkog udara.

Jednačine (2.6) i (2.19) su izvedene za slučaj prema (Sl. 2.1), tj. osa x i brzina v su usmerene na istu stranu.



Sl. 2.1

Ako se zanemari trenje jednačine hidrauličkog udara (2.6) i (2.19) dobiju oblik:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{g}{c^2} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.19)$$

Iz ovih jednačina može se eliminisati v ili h , pa se dobija:

$$c^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 h}{\partial t^2} \quad (2.22)$$

ili

$$c^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (2.23)$$

Ovo su poznate u matematici kao talasne jednačine. Često se ove jednačine za cilindrične cevovode mogu integrisati na razne načine. Kao što je poznato D'Alamber je dao opšte rešenje parcijalnih diferencijalnih jednačina (2.22) i (2.23).

Rešenja jednačina (2.22) i (2.23) sa određivanjem proizvoljnih konstanti glase u obliku D'Alamberta:

$$h - h_0 = F\left(t - \frac{x}{c}\right) + f\left(t + \frac{x}{c}\right) \quad (2.24)$$

$$v - v_0 = \frac{g}{c} \left[F\left(t - \frac{x}{c}\right) - f\left(t + \frac{x}{c}\right) \right] \quad (2.25)$$

Indeks "o" odgovara stacionarnom režimu, odnosno h_0 i v_0 su vrednosti h i v do nastanka nestacionarnog režima.

Kad razmotrimo jedinstveno rešenje, koje odgovara funkciji F treba staviti $f = 0$. U ovom slučaju izrazi (2.24) i (2.25) će biti:

$$h - h_0 = F\left(t - \frac{x}{c}\right) \quad (2.26)$$

$$V - V_0 = \frac{g}{c} F \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad (2.27)$$

Funkcije F i f predstavljaju parcijalna rešenja diferencijalnih jednačina hidrauličkog udara i zato u pojedinačnom slučaju jedna od njih može biti ravna nuli, gde je u početku uzeto:

$$f \left(t + \frac{x}{c} \right) = 0$$

Neka je u trenutku vremena t_0 u nekom preseku cevovoda sa apscisom X_0 proizašla neka promena pritiska (povećanje ili smanjenje) $\Delta h = h - h_0$ i brzine $\Delta V = V - V_0$. U proizvoljnom preseku X ista promena pritiska i brzine nastupa u momentu vremena t (tj. promena pritiska i brzine došla je bez promene u sledećem trenutku t do preseka sa apscisom X), koja se na osnovu formula (2.26) i (2.27) određuje iz uslova:

$$F \left(t_0 - \frac{x_0}{c} \right) = F \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

odakle je:

$$t_0 - \frac{x_0}{c} = t - \frac{x}{c}$$

tj.

$$t = t_0 + \frac{x - x_0}{c} \quad (2.28)$$

Odavde je:

$$x - x_0 = c(t - t_0)$$

Pošto je $c(t - t_0)$ pozitivna veličina izlazi da je $x > x_0$. Ovo ukazuje, da funkcija F izražava promenu pritiska i brzine, koja se rasprostire po cevovodu u pravcu ose x sa brzinom c . Te promene pritiska nazivaju se direktnim talasom hidrauličkog udara. Potpuno na isti način može se pokazati da funkcija f izražava promenu pritiska i brzine, koja se rasprostire po cevovodu sa brzinom c u pravcu suprotnom od

pravca X - ose, tj. suprotni talas hidrauličnog udara:

$$\mp(t - \frac{x}{c}) = 0$$

$$h - h_0 = f(t + \frac{x}{c}) \quad (2.29)$$

$$v - v_0 = -\frac{g}{c} f(t + \frac{x}{c}) \quad (2.30)$$

$$t_0 + \frac{x_0}{c} = t + \frac{x}{c}$$

tj.

$$t = t_0 - \frac{x - x_0}{c} \quad (2.31)$$

Oдавде je:

$$x - x_0 = -c(t - t_0)$$

Prema tome, sledi da je $x < x_0$, pa se talas kreće u suprotnom pravcu.

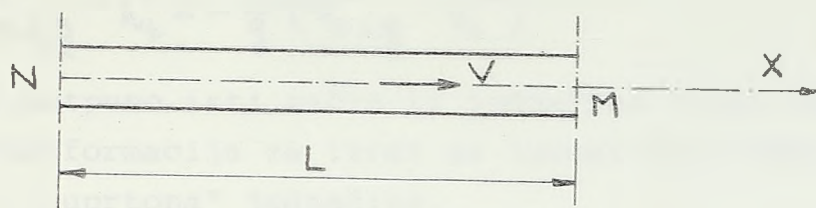
Skup dva talasa: direktnog $F_m(t - \frac{x}{c})$ i suprotnog $f_m(t + \frac{x}{c})$ obrazuje takozvanu η -tu fazu promene pritiska, koja traje, kao i uopšte bilo koja faza $\mu = \frac{2L}{c}$.

Pisanje opšteg integrala diferencijalnih jednačina nestacionarnog kretanja u obliku (2.24) i (2.25) povoljno je za kvalitativnu analizu pojava, ali u mnogim drugim zadacima praktičan je oblik opšteg integrala, koji ne sadrži proizvoljne funkcije. Iz izraza (2.24) i (2.25) dobija se:

$$2F(t - \frac{x}{c}) = h - h_0 + \frac{c}{g}(v - v_0) \quad (2.32)$$

$$2f(t + \frac{x}{c}) = h - h_0 - \frac{c}{g}(v - v_0) \quad (2.33)$$

Na delu cevovoda izdvojiće se dva preseka N i M na rastojanju L jedan od drugog (Sl. 2.2).



Sl. 2.2

Sa $h_{t_M}^M$ i $V_{t_M}^M$ označiće se vrednosti h i V u preseku cevovoda M sa apscisom x_M u trenutku vremena t_M , a sa $h_{t_N}^N$ i $V_{t_N}^N$ - vrednosti h i V u preseku cevovoda N sa apscisom x_N u trenutku vremena t_N . Treba izabrati t_M i t_N tako da levi delovi jednačina (2.32) i (2.33) budu jednaki, tj.:

$$t_M - \frac{x_M}{c} = t_N - \frac{x_N}{c} \quad (2.34)$$

ili

$$x_M - x_N = c(t_M - t_N)$$

Na osnovu ovoga jednačina (2.32) se može napisati:

$$2F\left(t_N - \frac{x_N}{c}\right) = h_{t_N}^N - h_0 + \frac{c}{g}(V_{t_N}^N - V_0) \quad (2.35)$$

$$2F\left(t_M - \frac{x_M}{c}\right) = h_{t_M}^M - h_0 + \frac{c}{g}(V_{t_M}^M - V_0) \quad (2.36)$$

Na osnovu ovih jednačina i izraza (2.34) piše se:

$$h_{t_M}^M + \frac{c}{g} V_{t_M}^M = h_{t_N}^N + \frac{c}{g} V_{t_N}^N \quad (2.37)$$

Treba smatrati da je $x_M > x_N$. Ako se označi sa $L = x_M - x_N$ tada je faza udara na delu cevovoda MN data sa $\mu = \frac{2L}{c}$. Veličina μ je vreme predjenog puta udarnog talasa dela MN cevovoda u direktnom i suprotnom pravcu. Ako se u jednačinu (2.34) stavi $t_N = t$, tada je $t_M = t + \frac{\mu}{2}$ i jednačina (2.37) dobija drugi oblik:

$$h_{t+\frac{M}{2}}^M - h_t^N = -\frac{C}{g} (V_{t+\frac{M}{2}}^M - V_t^N) \quad (2.38)$$

Na potpuno isti način iz jednačine (2.33) posredstvom analognih transformacija za izraz sa funkcijom f dobija se druga takozvana "suprtona" jednačina.

$$h_{t-\frac{M}{2}}^M - h_t^N = \frac{C}{g} (V_{t-\frac{M}{2}}^M - V_t^N) \quad (2.39)$$

Traženi oblik opšteg integrala (2.19) i (2.21) koji ne sadrži proizvoljne funkcije, napisan je jednačinama u konačnim razlikama (2.38) i (2.39). One se zovu spregnute jednačine hidrauličkog udara ili jednačine šnidera-Beržerona, iste one koje se primenjuju i za grafički proračun hidrauličkog udara u cevovodima. One su odigrale veliku ulogu u razvitku teorije hidrauličkog udara.

Ove jednačine nisu približne, već tačni integrali jednačina hidrauličkog udara u elastičnom cilindričnom cevovodu pri odsustvu hidrauličkih otpora, napisane u konačnim razlikama.

Proračun hidrauličkog udara u složenim cevovodima i razgranatim mrežama je veoma složen i numeričko rešenje je vrlo teško.

Jednačine (2.38) i (2.39) poslužiće kao osnova za dalju praktičnu analizu hidrauličkog udara u mrežama i iste treba transformisati i učiniti ih pogodnim za numeričko rešenje.

Njihova primena u grafičkom rešavanju hidrauličkog udara u mrežama, kao što je već rečeno, je zbog komplikovanosti metoda praktično neprihvatljiva, a vrlo često i nemoguća.

Može se pokazati da jednačine (2.38) i (2.39) nisu ništa drugo, do jednačine karakteristika. Neka su zadate vrednosti h i V duž neke krive $x = x(t)$ u ravni (x, t) . Treba odrediti vrednosti parcijalnih izvoda $\frac{\partial h}{\partial x}$ i $\frac{\partial V}{\partial x}$ duž te krive. Potpuni diferencijali od h i V predstavljaju se izrazima:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\partial h}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial h}{\partial t} ; \quad \frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial V}{\partial t}$$

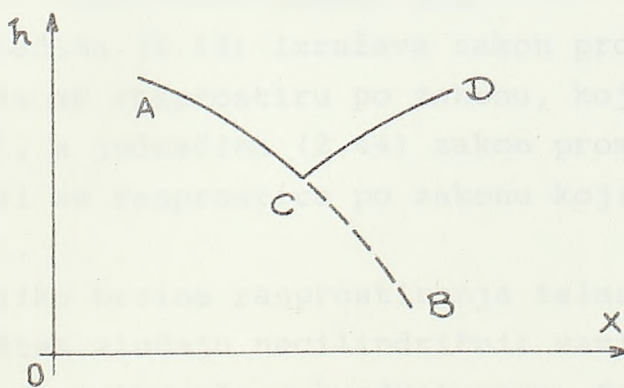
Iz ovih izraza i jednačina (2.19) i (2.21) dobija se:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\frac{c^2}{g} \frac{dv}{dt} + \frac{dx}{dt} \frac{dh}{dt}}{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 - c^2} \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{g \frac{dh}{dt} + \frac{dx}{dt} \frac{dv}{dt}}{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 - c^2} \quad (2.41)$$

Kad se razmatra fizička strana pojave hidrauličkog udara u cilindričnom cevovodu pri odsustvu sila trenja, dolazi se do zaključka, da se ta pojava karakteriše postojanjem talasa, koji se rasprostiru duž cevovoda po uzajamno suprotnim pravcima. Takav karakter pojave održava se i za slučaj necilindričnog cevovoda sa trenjem.

Neka u nekom trenutku t u cevovodu postoji talas AB (Sl. 2.3) i drugi talas CD, koji narušava talas AB. U okolini tačke C, koja se naziva front talasa, parcijalni izvodi $\frac{\partial h}{\partial x}$ i $\frac{\partial v}{\partial x}$ imaće potpuno određene vrednosti, ali u samoj toj tački oni imaju prekid kontinuiteta i njihove vrednosti su neodredjene.



Sl. 2.3

Poslednje može postojati samo kada brojitelji i imenitelji desnih delova izraza (2.40) i (2.41) jednovremeno prelaze u nulu.

Kad se imenitelj tih izraza izjednači sa nulom, dobija se:

$$\frac{dx}{dt} = c \quad \text{ili} \quad \frac{dx}{dt} = -c. \quad (2.42)$$

Te jednačine daju zakone rasprostiranja frontova talasa, koji narušavaju dati talas: prva jednačina - za talase koji se rasprostiru u pravcu ose X , koji se nazivaju direktnim talasima, a druga - za talase, koji se rasprostiru suprotno osi X , i nazivaju se suprotnim talasima.

Kad se izjednači sa nulom brojitelj izraza (2.40), dobija se:

$$\frac{c^2}{g} \frac{dV}{dt} + \frac{dx}{dt} \frac{dh}{dt} = 0.$$

Kad se zameni ovde vrednost $\frac{dx}{dt}$ prvo iz prve, a zatim iz druge jednačine (2.42) dolazi se do odnosa:

$$dh + \frac{c}{g} dV = 0 \quad (2.43)$$

$$dh - \frac{c}{g} dV = 0. \quad (2.44)$$

Lako se proverava da je pri ovim vrednostima brojitelj jednačine (2.41) identički jednak nuli.

Jednačina (2.43) izražava zakon promene h i V na frontu talasa, koji se rasprostiru po zakonu, koji je dat prvom jednačinom (2.42), a jednačina (2.44) zakon promene h i V na frontu talasa, koji se rasprostiru po zakonu koji je dat drugom jednačinom (2.42).

Ukoliko brzina rasprostiranja talasa udara C za dati cevovod (u opštem slučaju necilindrični) zavisi samo od X , jednačine (2.42) se integrišu u kvadraturama. Kad se izvrši to integrisanje, dobija se jednačina rasprostiranja fronta talasa:

$$t = \Psi(x) + C_1 \quad (2.45)$$

$$dh + \frac{c}{g} dV = 0 \quad (2.46)$$

za direktan talas, i

$$t = -\Psi(x) + C_2 \quad (2.47)$$

$$dh - \frac{c}{g} dV = 0 \quad (2.48)$$

za suprotni talas.

Ovde su C_1 i C_2 - proizvoljne konstante, i

$$\Psi(x) = \int \frac{dx}{c} \quad (2.49)$$

Ove jednačine (2.45) - (2.48) nazivaju se jednačinama karakteristika. Pri njihovom izvodjenju pošlo se od toga, da na frontu talasa, izvodi $\frac{\partial h}{\partial x}$ i $\frac{\partial v}{\partial x}$ imaju prekid kontinuiteta. Ipak mogući su talasi, na čijem frontu imaju prekid kontinuiteta same funkcije h i V , naprimer, talasi, stvoreni pri trenutnom zatvaranju zatvarača. U opštoj teoriji karakteristika, izlaganoj u kursovima teorije parcijalnih diferencijalnih jednačina, dokazuje se, da će se i u tim slučajevima zakon rasprostiranja frontova talasa davati jednačinama (2.45) - (2.48).

U opštem slučaju jednačine karakteristika se ne integrišu u konačnom obliku. U posebnom slučaju cilindričnog cevovoda ($C = \text{const}$, $A = \text{const}$) integrisanje jednačina (2.45), (2.46), (2.47) i (2.48), daje:

$$x = ct + \text{const} \quad (2.50)$$

$$h + \frac{c}{g} v = \text{const} \quad (2.51)$$

$$x = -ct + \text{const} \quad (2.52)$$

$$h - \frac{c}{g} v = \text{const} \quad (2.53)$$

Neka se u trenutku t_M front talasa nalazi u preseku X_M , a u trenutku t_N - u preseku X_N . Iz jednačine (2.50) sledi:

$$(2.54)$$

a na osnovu jednačine (2.51), dobija se:

$$h(x_M, t_M) + \frac{c}{g} V(x_M, t_M) = h(x_N, t_N) + \frac{c}{g} V(x_N, t_N) \quad (2.55)$$

Iz jednačina (2.54) i (2.55) neposredno proističe jednačina (2.38). Potpuno analogno iz jednačina (2.52) i (2.53) može da se dobije jednačina (2.39).

Na taj način spregnute jednačine hidrauličkog udara ili jednačine Šnidera - Beržerona nisu ništa drugo već integrali diferencijalnih jednačina karakteristika, što je i trebalo dokazati. Na taj način sve metode građene na korišćenju jednačina Šnidera - Beržerona ustvari proističu iz teorije karakteristika.

Za dobijanje računskog algoritma autor ovog rada polazi od jednačina (2.38) i (2.39).

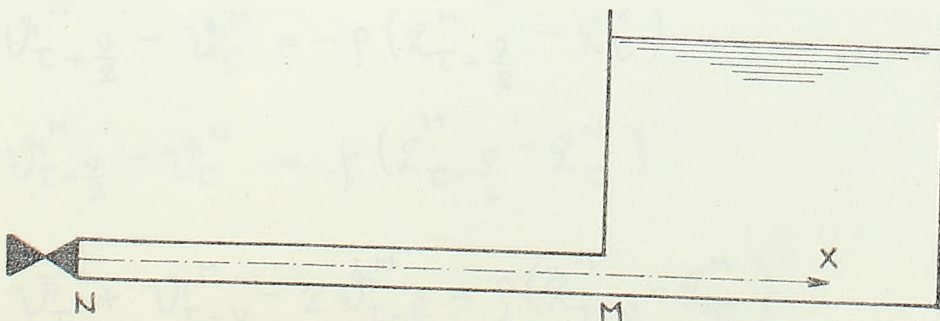
Sabiranjem ovih jednačina dobija se jedna jednačina koja igra bitnu ulogu u metodu proračuna hidrauličkog udara koga autor predlaže:

$$h_{t+\frac{\mu}{2}}^M + h_{t-\frac{\mu}{2}}^M - 2h_t^N = -\frac{c}{g} (V_{t+\frac{\mu}{2}}^M - V_{t-\frac{\mu}{2}}^M) \quad (2.56)$$

Ova jednačina može se napisati i u ovom obliku:

$$h_t^M + h_{t-\mu}^M - 2h_{t-\frac{\mu}{2}}^N = -\frac{c}{g} (V_t^M - V_{t-\mu}^M) \quad (2.57)$$

Ako se za prost cevovod (Sl. 2.4) uzme presek M na kraju cevovoda a presek N na početku,



Sl. 2.4

tada je $h_{t-\mu}^N = h_0^N = \text{const}$. Ako se izostavi nepotreban indeks M , dobija se jednačina, poznata u literaturi pod nazivom jednačina Alievi:

$$h_t + h_{t-\mu} - 2h_0 = \frac{c}{g} (V_{t-\mu} - V_t) \quad (2.58)$$

koja povezuje piezometrijsku visinu h i brzinu tečenja V ispred zatvarača.

Za metod proračuna hidrauličkog udara u mrežama, koji se predlaže u ovome radu, koristi se jednačina (2.57) kao polazna i na njenoj osnovi se razvija računski algoritam.

Jednačine (2.38), (2.39) i (2.57) mogu se napisati i u bezdimenzionalnom obliku, ako se prethodno uvedu sledeće oznake:

$$\psi = \frac{h - h_0}{H_*}, \quad \lambda = \frac{Q}{Q_*} = \frac{V}{V_*}, \quad \rho = \frac{cQ_*}{gAH_*} = \frac{cV_*}{gH_*} \quad (2.59)$$

$$\tau = \frac{t}{T}, \quad \nu = \frac{\mu}{T} = \frac{2L}{CT}$$

gde su:

H_*, Q_*, T - potpuno proizvoljne konstante pritiska, protoka i vremena.

Sa ovim oznakama jednačine (2.38), (2.39) i (2.57) će biti:

$$\psi_{\tau+\frac{\nu}{2}}^M - \psi_{\tau}^N = -\rho (\lambda_{\tau+\frac{\nu}{2}}^M - \lambda_{\tau}^N) \quad (2.60)$$

$$\psi_{\tau-\frac{\nu}{2}}^M - \psi_{\tau}^N = \rho (\lambda_{\tau-\frac{\nu}{2}}^M - \lambda_{\tau}^N) \quad (2.51)$$

$$\psi_{\tau}^M + \psi_{\tau-\nu}^M - 2\psi_{\tau-\frac{\nu}{2}}^N = \rho (\lambda_{\tau-\nu}^M - \lambda_{\tau}^M) \quad (2.62)$$

Dobijene su jednačine za slučaj zanemarivanja trenja. Sada treba rešiti isti ovaj problem uzimajući u proračun i trenje. Polazi se od jednačine održanja količine kretanja (2.5) i jednačine održanja mase, odnosno jednačine kontinuiteta (2.19).

Jednačina (2.5) je nelinearna i njeno analitičko rešenje veoma teško se može dobiti. Integrisanje nelinearnih parcijalnih jednačina je izvodljivo (numerička integracija) ali je dosta teško, naročito ako se posmatra proces sa znatnim intervalom vremena. Zato se prilazi uprošćenju tih jednačina ukoliko je moguće linearizovati član $\lambda \frac{V^2}{2gD}$, odnosno da se uzme množitelj $\frac{\lambda |v|}{2D}$ konstantnim, koji je ravan njegovoj srednjoj vrednosti po dužini i vremenu. Ovo nije jedini mogući način.

Smatra se da je λ za nestacionarno kretanje ista funkcija Reynoldsovog broja Re i stepena rapavosti, kao i za stacionarno. Red veličine ili sama veličina λ može se uvek odrediti ukoliko je poznata rapavost cevi i režim tečenja. Karakteristike otpora, utvrđjene za stacionarna kretanja, važe i za nestacionarna tj. otpori kod nestacionarnog kretanja određuju se istim zavisnostima kao i kod stacionarnog. Ova pretpostavka je poznata kao *hipoteza kvazistacionarnosti*. Strogo objašnjenje ove pretpostavke opravdava se, u opštem slučaju, zadovoljavajućom saglasnošću teorije i opita.

Jednačina (2.5) se linearizuje uvodjenjem izraza (2.7).

Veličina $\frac{\lambda V}{2D}$ može se izračunati potpuno tačno za laminarni režim jer je λ obrnuto proporcionalna Reynoldsovom broju:

$$\lambda = \frac{K}{Re} = \frac{K \nu_0}{VD}$$

gde je K - konstantan broj

$\nu_0 = \frac{\mu_0}{\rho}$ - kinematički koeficijent viskoznosti,

μ_0 - dinamička viskoznost

Pošto se razmatraju samo kružne cevi, onda je za laminarni režim $K = 64$, pa je u ovom slučaju:

$$2\zeta = \frac{\lambda V}{2D} = \frac{32 \nu_0}{D^2}$$

Bez neke praktične greške, može se smatrati da ν_0 ne zavisi od pritiska i uslov $2\zeta = \frac{\lambda V}{2D} = \text{const}$ je potpuno tačan za laminaran tok. Pri turbulentnom tečenju, treba osrednjiti član $\frac{\lambda V}{2D}$ saglasno drugom od izraza (2.7). Na taj način dobija se linearizovana jednačina (6).

U literaturi se mogu naći i drugi načini proračuna koeficijenta 2ζ . Eksperimentalni rezultati raznih autora su različiti. Hipoteza kvazistacionarnosti koja se primenjuje sve do današnjih dana još ni jedanput nije dovela do značajnih greški [2]. Linearizacija jednačina hidrauličkog udara omogućuje da se iskoriste linearne metode što znatno uprošćava teoriju hidrauličkog udara i dozvoljava da se dobiju pogodna rešenja u veoma složenim slučajevima. Ovu mogućnost je mnogo koristio I.A.Čarni [7].

Zavisnost λ još nije dovoljno izučena da bi se danas moglo odstupiti od hipoteze kvazistacionarnosti.

Za opravdanje hipoteze kvazistacionarnosti može se pozvati na rad Daily i Deemer-a [2] u kome se na osnovu eksperimentalnih podataka ona potvrđuje, ukoliko apsolutna veličina ubrzanja tečnosti ne prelazi 7 m/s^2 . Ako se podje od tog tvrdjenja, to treba zaključiti, da se hipotezom kvazistacionarnosti može koristiti u ogromnom broju slučajeva. Na primer, ako se uzme da je brzina tečenja u cevovodu hidroelektrane pri punom opterećenju ravna 7 m/s , to da bi bili na granici primene ove hipoteze, treba zatvoriti regulacioni organ turbine za jednu sekundu. U stvarnosti brzina tečenja u cevovodu retko dostiže 7 m/s a vreme regulisanja turbine je veće od jedne sekunde. Ubrzanje u cevovodima pumpnih stanica u vodovodnim i u irigacionim sistemima je manje od 7 m/s^2 .

Iz navedenih rezultata sledi, da je linearizacija jednačine:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\lambda |v|}{2D} v \right) = 0$$

potpuno dopustiva. Stvarno, pri malim vrednostima 2ζ greška je mala, a pri velikim vrednostima 2ζ proces se brzo gasi i tada ne predstavlja veći interes.

Prema tome, mnogi autori daju preporuku da se koristi hipotezom kvazistacionarnosti, jer bilo kakva druga hipoteza u današnjim uslovima nije dovoljno dokazana.

Na osnovu zavisnosti (2.7) nelinearna jednačina (2.5) se transformiše u linearnu parcijalnu diferencijalnu jednačinu (2.6). Za proračun hidrauličkog udara, kod uzimanja u račun i trenja koristi se jednačina (2.6) i (2.19), koje su linearne parcijalne diferencijalne jednačine hiperboličkog tipa (telegrafске jednačine).

Iz jednačina (2.6) i (2.19) može se dobiti sledeća jednačina, ako se prethodno prva diferencira po x a druga po t :

$$c^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 h}{\partial t^2} - 2\zeta \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.63)$$

Na sličan način dobija se i :

$$c^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - 2\zeta \frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (2.64)$$

Rešenja jednačina (2.63) i (2.64) treba tražiti u obliku D'Alamberta, jer on odgovara metodu proračuna računskog algoritma koji se predlaže u ovome radu.

Da bi se rešile jednačine (2.63) i (2.64) D'Alambertovim metodom, uvode se nove nepoznate funkcije.

Uvodi se sledeća funkcija:

$$h(x,t) = z(x,t) e^{-at - bx} \quad (2.65)$$

Treba izabrati a i b tako da nestanu prvi izvodi. Kao rezultat ovoga dobija se:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + \frac{\xi^2}{c^2} z = 0 \quad (2.66)$$

gde je:

$$a = \xi, \quad b = 0, \quad h(x, t) = z(x, t) e^{-\xi t} \quad (2.67)$$

Na sličan način uvodeći smenu:

$$V(x, t) = u(x, t) e^{-at - bx} \quad (2.68)$$

u jednačinu (2.64) i posle poznatih istih transformacija dobija se jednačina oblika:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{\xi^2}{c^2} u = 0 \quad (2.69)$$

$$a = \xi, \quad b = 0$$

$$V(x, t) = u(x, t) e^{-\xi t} \quad (2.70)$$

Tačno rešenje jednačina (2.66) i (2.69) može da se dobije ali ono za ovaj predlagani metod proračuna hidrauličnog udara u mrežama ne bi moglo da se primeni. Ovaj način ima samo principijelno teorijsko značenje. On je naročito složen i trošenje snage na savladjivanje teškoća, kako matematičkog, tako i računskog karaktera, ne opravdava se takvim tačnijim odredjivanjem koje bi on mogao dati u nekim slučajevima po uporedjenju sa običnim praktičnim uprošćenim prilazom. Odnos $\frac{\xi^2}{c^2} u$ je vrlo mali pa u praktičnim slučajevima može se zanemariti ξ^2 kao mala veličina jer ista ne utiče bitno na tačnost. Na ovaj način dobijaju se sledeće jednačine:

$$c^2 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = 0 \quad (2.71)$$

$$c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (2.72)$$

Ovo su talasne jednačine po obliku slične jednačinama (2.22) i (2.23). Kao što je poznato D'Alamber je dao opšte rešenje parcijalnih diferencijalnih jednačina oblika (2.71) i (2.72)

Na osnovu izraza (2.24), (2.25), (2.67) i (2.70) rešenja jednačina (2.63) i (2.64) pišu se u obliku:

$$h - h_0 = e^{-\zeta t} \left[F\left(t - \frac{x}{c}\right) + f\left(t + \frac{x}{c}\right) \right] \quad (2.73)$$

$$V - V_0 = \frac{g}{c} e^{-\zeta t} \left[F\left(t - \frac{x}{c}\right) - f\left(t + \frac{x}{c}\right) \right] \quad (2.74)$$

I ovde su funkcije F i f parcijalna rešenja diferencijalnih jednačina hidrauličkog udara. Funkcija F takodje predstavlja promenu pritiska i brzine, koji se rasprostiru po cevovodu u pravcu ose X sa brzinom C - direktan talas, a funkcija f je isto samo u suprotnom pravcu X - ose - suprotni talas.

Operisati sa izrazima (2.73) i (2.74) u teoriji i metodu proračuna hidrauličkog udara nije povoljno. Kao što je i prethodno uradjeno ove izraze treba svesti na oblik, koji ne sadrži proizvoljne funkcije, a neposredno povezuje h i V na krajevima cevi.

Treba rešiti sistem (2.73) i (2.74) u odnosu na F i f

Iz ovih izraza dobija se:

$$2F\left(t - \frac{x}{c}\right) = e^{\zeta t} \left[(h - h_0) + \frac{c}{g} (V - V_0) \right] \quad (2.75)$$

$$2f\left(t + \frac{x}{c}\right) = e^{\zeta t} \left[(h - h_0) - \frac{c}{g} (V - V_0) \right] \quad (2.76)$$

Neka su, kao i u prethodnom slučaju, $h_{t_M}^M$ i $V_{t_M}^M$ - vrednosti h i V u trenutku t_M u preseku M sa apscisom X_M , a $h_{t_N}^N$ i $V_{t_N}^N$ - to isto za presek N u trenutak t_N . Treba izabrati X_M , X_N , t_M i t_N tako da bude:

$$t_M - \frac{x_M}{c} = t_N - \frac{x_N}{c} \quad (2.77)$$

Iz (2.75) i (2.76) dobija se:

$$2F\left(t_N - \frac{x_N}{c}\right) = e^{st_N} \left[h_{t_N}^N - h_0^N + \frac{c}{g} (v_{t_N}^N - v_0^N) \right] \quad (2.78)$$

$$2F\left(t_M - \frac{x_M}{c}\right) = e^{st_M} \left[h_{t_M}^M - h_0^M + \frac{c}{g} (v_{t_M}^M - v_0^M) \right] \quad (2.79)$$

Na osnovu ovih jednačina i izraza (2.77) piše se:

$$e^{st_N} \left[h_{t_N}^N - h_0^N + \frac{c}{g} (v_{t_N}^N - v_0^N) \right] = e^{st_M} \left[h_{t_M}^M - h_0^M + \frac{c}{g} (v_{t_M}^M - v_0^M) \right]$$

Oдавде se dobija:

$$(h_{t_M}^M - h_0^M) e^{st_M} - (h_{t_N}^N - h_0^N) e^{st_N} = -\frac{c}{g} \left[(v_{t_M}^M - v_0^M) e^{st_M} - (v_{t_N}^N - v_0^N) e^{st_N} \right]$$

Ako se uvede:

$$t = t_M, \quad \mu = \frac{2L}{c}, \quad L = x_M - x_N, \quad x_M > x_N,$$

dobija se:

$$(h_t^M - h_0^M) e^{st} - (h_{t-\frac{\mu}{2}}^N - h_0^N) e^{s(t-\frac{\mu}{2})} = \quad (2.80)$$

$$= -\frac{c}{g} \left[(v_t^M - v_0^M) e^{st} - (v_{t-\frac{\mu}{2}}^N - v_0^N) e^{s(t-\frac{\mu}{2})} \right]$$

Na isti način iz jednačine (2.76) dobija se

$$(h_t^M - h_0^M) e^{st} - (h_{t+\frac{\mu}{2}}^N - h_0^N) e^{s(t+\frac{\mu}{2})} = \quad (2.81)$$

$$= \frac{c}{g} \left[(v_t^M - v_0^M) e^{st} - (v_{t+\frac{\mu}{2}}^N - v_0^N) e^{s(t+\frac{\mu}{2})} \right]$$

U ovim jednačinama je $V_o^N = V_o^M = V_o$

Jednačine (2.80) i (2.81) treba podeliti sa $e^{\frac{\xi}{2}t}$ pa se dobija:

$$\left[h_t^M - h_o^M + \frac{c}{g} (V_t^M - V_o) \right] = \left[h_{t-\frac{\mu}{2}}^N - h_o^N + \frac{c}{g} (V_{t-\frac{\mu}{2}}^N - V_o) \right] \beta \quad (2.82)$$

$$\beta \left[h_t^M - h_o^M - \frac{c}{g} (V_t^M - V_o) \right] = \left[\left(h_{t+\frac{\mu}{2}}^N - h_o^N \right) - \frac{c}{g} (V_{t+\frac{\mu}{2}}^N - V_o) \right] \quad (2.83)$$

gde je

$$\beta = e^{-\xi \frac{\mu}{2}} \quad (2.84)$$

Jednačina (2.83) može se napisati u ovom obliku:

$$\beta \left[\left(h_{t-\mu}^M - h_o^M \right) - \frac{c}{g} (V_{t-\mu}^M - V_o) \right] = \left[\left(h_{t-\frac{\mu}{2}}^N - h_o^N \right) - \frac{c}{g} (V_{t-\frac{\mu}{2}}^N - V_o) \right] \quad (2.85)$$

Kad saberemo jednačine (2.82) i (2.85), prethodno množimo (2.85) sa β dobijamo:

$$h_t^M - h_o^M + \beta^2 \left(h_{t-\mu}^M - h_o^M \right) + \frac{c}{g} \left[V_t^M - V_o - \beta^2 (V_{t-\mu}^M - V_o) \right] = 2\beta \left(h_{t-\frac{\mu}{2}}^N - h_o^N \right). \quad (2.86)$$

Ovde je (Sl. 2.5)

$$h_o^M = h_o - h_{TR}^M$$

$$h_o^N = h_o - h_{TR}^N$$

Traženi oblik opšteg integrala jednačina (2.5) i (2.19), koji ne sadrži proizvoljne funkcije napisan je sa jednačinama (2.82) i (2.85), odnosno jednačinom (2.86). Jednačina (2.86) koristiće se u našem metodu proračuna hidrauličkog udara u mrežama kad se uzme u obzir i trenje.

Ako se u jednačini (2.86) zanemari trenje, tada je $\beta = 1, h_o^M = h_o^N = h_o$ dobija se jednačina (2.57). Množitelj β izaziva amortizaciju oscilacija, tim brže, što je veći stepen ξ - logaritamski dekrement amortizacija.

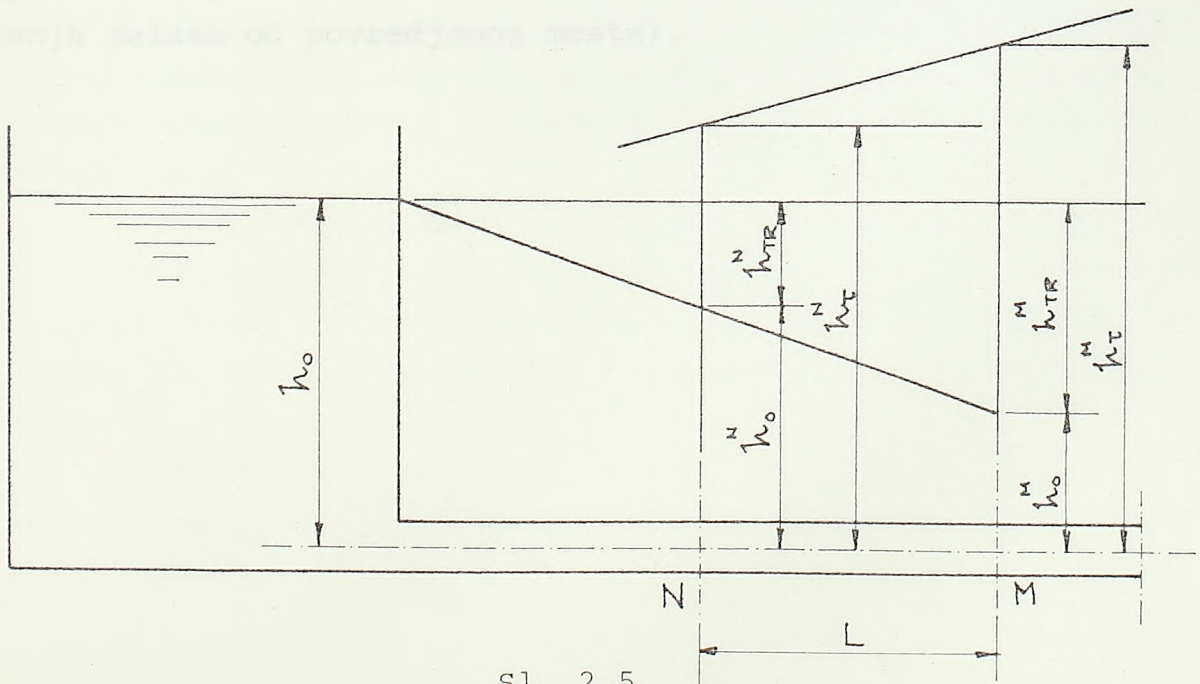
Jednačina (2.86) može se napisati i u bezdimenzionalnom obliku, uvodeći oznake (2.59). U ovom slučaju je:

$$\psi_{\tau}^M = \frac{h_{\tau}^M - h_o^M}{H_*} = \frac{\Delta h_{\tau}^M}{H_*} \quad (2.87)$$

$$\psi_{\tau}^N = \frac{h_{\tau}^N - h_o^N}{H_*} = \frac{\Delta h_{\tau}^N}{H_*}$$

Jednačina (2.86) sa ovim oznakama dobija oblik:

$$\psi_{\tau}^M + \beta^2 \psi_{\tau-\nu}^N + \rho [q_{\tau}^M - q_o - \beta^2 (q_{\tau-\nu}^N - q_o)] = 2\beta \psi_{\tau-\frac{\nu}{2}} \quad (2.88)$$



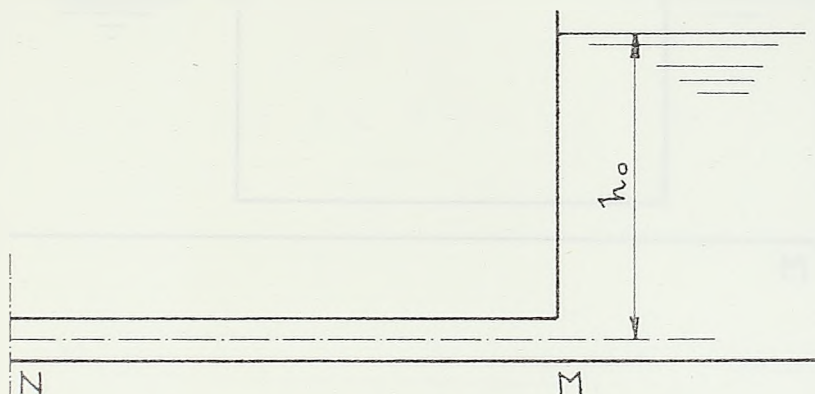
Sl. 2.5

Jednačine (2.38) i (2.39) ili opštije jednačine (2.82) i (2.85) daju odmah sumarni efekat dejstva svih talasa

hidrauličkog udara, sadržanih u funkcijama F i f . Odgovarajući metodi proračuna, zasnovani na tim jednačinama, nisu u stanju da razmatraju pojedine talase hidrauličkog udara i njihova odbijanja i prolaženja u tačkama grananja cevovoda. Ipak 30-ih godina pokušavano je sa stvaranjem metoda proračuna na osnovu analiza ponašanja pojedinih talasa i njihovim uzastopnim sabiranjem. Radovi toga pravca, koji se odnose na cevovode kod zanemarivanja trenja, pripadaju Jegeru i Mostkovu. Taj prilaz nije se proširio zbog svoje velike glomaznosti. Pri uzimanju u obzir nelinearnosti hidrauličkih otpora, on je principijelno neprimenljiv, jer se princip superpozicije ne može primeniti u nelinearnim sistemima, a pri linearizaciji otpora daje toliko glomazne rezultate, da u literaturi nema čak ni pokušaja da se on iskoristi za samo malo složenije probleme. Sve ovo što je rečeno, ne znači da se treba uopšte odreći analize ponašanja pojedinih talasa. Takva analiza je u svoje vreme otkrila fizičke detalje procesa hidrauličkog udara i u nizu slučajeva pomaže da se ustanovi kvalitativna osobina toga procesa (pronalaženje mesta povrede - pucanja cevovoda na osnovu odbijanja talasa od povredjenog mesta).

2. GRANIČNI USLOVI ZA JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA

- a) Rezervoar na kraju cevovoda
(Sl. 2.6)



Sl. 2.6

Na početku cevovoda može da se nalazi jezero ili rezervoar, čije su zapremine velike. Ovo jezero ili rezervoar snabdeva mrežu vodom. Takođe na jednom kraju cevovoda-grane na izlazu može da postoji rezervoar velike zapremine koji se snabdeva vodom.

Pritisak u preseku rezervoara i cevovoda M određuje se visinom sloja vode iznad težišta preseka, tj. on ostaje konstantan za vreme hidrauličkog udara. Nivo vode u rezervoaru se ne menja. Zanimaruje se brzinski napor na izlazu (ulazu) basen-cevovod.

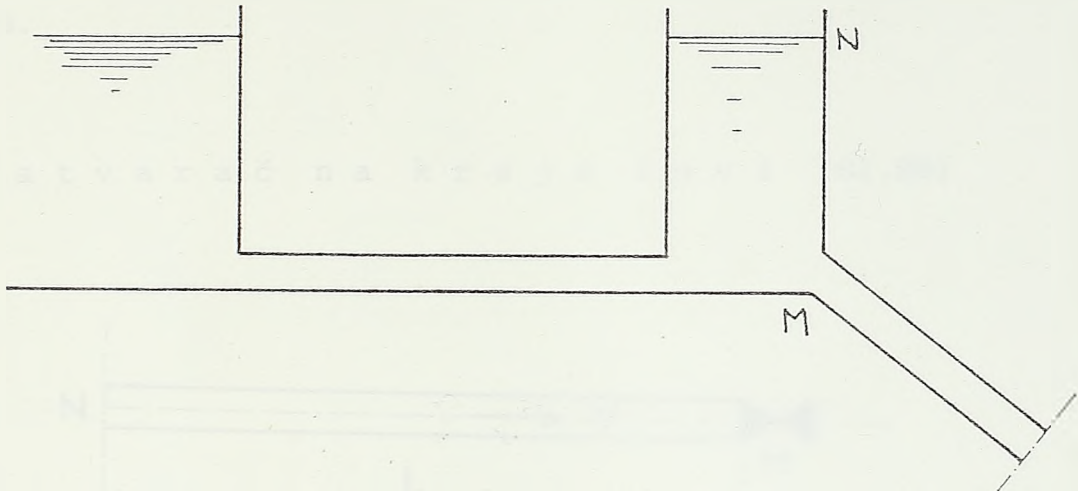
Druga formulacija ovog uslova je: promena pritiska u razmatranom preseku kod nestacionarnog režima je ravna nuli.

Znači, granični uslov u tački M je:

$$\frac{\partial p^M}{\partial t} = 0$$

(2.89)

b) Slobodna površina u vodostanu



Sl. 2.7

Pritisak na slobodnoj površini vodostana (Sl. 2.7) ravan je atmosferskom, tj. promena pritiska ravna je nuli, pa prema tome je:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (2.90)$$

Pri nestacionarnom režimu slobodna površina se pomera, tj. brzina na njoj nije ravna nuli. Visina stuba tečnosti u rezervoaru se pri tome menja, ali te promene su spore. Nestacionarno kretanje hidrauličkih sistema sa vodostanom može se podeliti na dva dela:

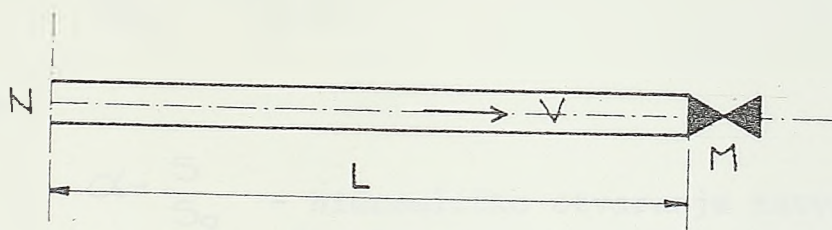
1. Hidraulički udar, tj. brze promene brzina i pritiska u sistemu pri otvaranju ili zatvaranju zatvarača u prvim trenucima vremena, i

2. Spore oscilacije vodenih masa u sistemu u kasnijim trenucima vremena, kada je brz proces hidrauličkog udara praktično ugašen.

Pri proračunu hidrauličkog udara, zanemaruje se promena visine stuba tečnosti u vodostanu (ali ne i brzina pomeranja slobodne površine, tj. ne izvod visine stuba po vremenu).

Primetićemo da se spoj vodostana, cevovoda pod pritiskom i derivacije smatra kao čvor (čvor sa tri grane) - grananje.

c) Z a t v a r a č n a k r a j u c e v i (Sl.28)



Sl.28

Na kraju razmatrane cevi postoji zatvarač i voda ističe u atmosferu. Neka je N i M početak i kraj cevi, koja je priključena na zatvarač. Granični uslovi, stvoreni zatvaračem, izražavaju se na sledeći način - zakon isticanja:

$$Q = S\sqrt{h} \quad (2.91)$$

gde je:

Q - protok tečnosti koja protiče kroz zatvarač,
 h - pritisak, pod kojim se dešava isticanje (tj. razlika piezometrijskih pritisaka sa raznih strana zatvarača),

S - parametar, koji karakteriše stepen otvaranja zatvarača i zavisi od njegove konstrukcije. Pri stacionarnom kretanju, kada je zatvarač potpuno otvoren (ne uzima se u obzir trenje), je:

$$h = h_0 \quad , \quad S = S_0$$

U ovim uslovima zatvarač propušta protok:

$$Q_0 = S_0 \sqrt{h_0} \quad (2.92)$$

Dalje se može napisati:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{S}{S_0} \sqrt{\frac{h}{h_0}}$$

odnosno,

$$\frac{Q}{Q_0} = \alpha \sqrt{\frac{h}{h_0}} \quad (2.93)$$

gde je:

$$\alpha = \frac{S}{S_0} \quad \text{- hidrauličko otvaranje zatvarača.}$$

Da bi se potpuno odredili granični uslovi, stvoreni zatvaračem, treba osim formule (2.93) zadati još zakon zatvaranja ili otvaranja zatvarača, tj. zakon promene α . Ovaj zakon može biti zadan ili u obliku funkcije $\alpha = \alpha(t)$, ili sistemom jednačina koje određuju dejstvo uređjaja, koji upravljaju zatvaračem.

Smatra se da je zakon promene linearan kao i u većini radova, tj.

$$\text{zatvaranje: } \alpha = \alpha(t) = \alpha_0 - \frac{t}{t_z} \quad (2.94)$$

$$\text{otvaranje: } \alpha = \alpha(t) = \alpha_0 + \frac{t}{t_z}$$

gde je:

α_0 - početna vrednost α

t_z - vreme zatvaranja (otvaranja) zatvarača.

Ako je zatvarač bio potpuno otvoren pa počinje da se zatvara onda je $\alpha_0 = 1$, a ako je bio potpuno zatvoren pa počinje otvaranje, onda je $\alpha_0 = 0$. Ako je zatvarač na pola zatvoren, odnosno pola otvoren, tada je naravno, $\alpha_0 = 0.5$.

Jednačina (2.93) piše se u drugom obliku:

$$\frac{Q}{Q_0} = \alpha \sqrt{\frac{h_0 + (h - h_0)}{h_0}} \quad (2.95)$$

Ako se uvede bezbimenzionalni oblik pritiska:

$$\psi = \frac{h - h_0}{h_0}$$

dobija se:

$$\frac{Q}{Q_0} = \alpha \sqrt{1 + \psi} \quad (2.96)$$

Ovde je usvojeno: $H_* = h_0$

Izraz (2.96) je nelinearan, i kao takav nije pogodan za dalju analizu. Treba ga razviti u Tejlorov red. Radi jednostavnosti računanja uzeće se samo njegova dva člana:

$$\sqrt{1 + \psi} = 1 + \frac{\psi}{2}$$

tj.

$$\frac{Q}{Q_0} = \alpha \left(1 + \frac{\psi}{2} \right) \quad (2.97)$$

Izraz (2.97) je linearan i kao takav upotrebljava se za dalju analizu. Ovaj izraz se vrlo često uzima u radovima o hidrauličkom udaru. Potiče od De Spara još iz 1915 godine. Proračuni pokazuju, da ako je $|\psi| < 0.5$, ova zamena daje grešku u određivanju ψ manju od 1%.

Uvode se još ovi parametri:

$$b = \frac{Q_0}{Q_*}, \quad z = \frac{Q}{Q_*} = \frac{\psi}{\psi_*} \quad (2.98)$$

Q_* je proizvoljni parametar. U načelu obično se za Q_* uzima neki najveći protok pri stacionarnom režimu u sistemu. Tada je Q_0 - protok u nekom delu sistema (u cevovodu) u stacionarnom režimu.

Dalje se može napisati:

$$q = \frac{Q}{Q_*} = \frac{Q}{Q_*} \cdot \frac{Q_0}{Q_0} = b \frac{Q}{Q_0}$$

Na osnovu ovoga i izraza (2.97) piše se

$$q = b\alpha \left(1 + \frac{v^2}{2}\right) \quad (2.99)$$

u ovom konkretnom slučaju je:

Q_0 - protok tečnosti pri stacionarnom režimu kroz potpuno otvoren zatvarač.

Q - protok tečnosti kroz zatvarač u nekom trenutku vremena (pri zatvaranju-otvaranju zatvarača).

Za neki trenutak vremena $\tau = \frac{t}{T}$ jednačina (2.99) se piše za tačku M:

$$q_{\tau}^M = b^M \alpha_{\tau}^M \left(1 + \frac{v_{\tau}^M}{2}\right) \quad (2.100)$$

Izraz (2.100) važi za slučaj ako se za H_* usvoji h_0 . Međutim, ako se želi usvojiti baš H_* a ne h_0 , onda ovaj izraz treba korigovati. Naime, može se napisati:

$$v_{\tau}^M = \frac{h-h_0}{h_0} = \frac{h-h_0}{h_0} \cdot \frac{H_*}{H_*} = \frac{h-h_0}{H_*} \cdot \frac{H_*}{h_0}$$

Označiće se sa:

$$\psi = \frac{H_*}{h_0}$$

pa se za cev na kojoj se nalazi zatvarač, dobija:

$$v_{\tau}^M = \frac{h-h_0}{H_*} \psi = v_{\tau}^M \psi$$

Na osnovu ovoga, izraz (2.100) sada ima ovaj oblik:

$$q_{\tau}^M = b^M \alpha_{\tau}^M \left(1 + \frac{v_{\tau}^M \psi^M}{2} \right) \quad (2.101)$$

Iz istog razloga uveden je i parametar b . Naime, ako se za određivanje ρ uzme stvarni protok kroz zatvarač Q_0^M onda je $b = 1$, i obratno, ako se izabere neki proizvoljni protok Q_* , onda je $b \neq 1$, tj. treba izvršiti korekciju parametrom b i svesti na protok Q_0^M - kroz zatvarač:

$$b^M \rho = \frac{Q_0^M}{Q_*} \cdot \frac{c Q_*}{g A H_*} = \frac{c Q_0^M}{g A H_*} \quad (2.102)$$

Izraz (2.100), odnosno (2.101) je granični uslov za zatvarač koji se nalazi na kraju cevovoda. Ovaj granični uslov se iskorišćava i za zatvaranje i za otvaranje zatvarača. Razlika postoji samo u parametru α_{τ} , koji se određuje preko izraza:

$$\alpha_{\tau}^M = \alpha_0 \pm \frac{\tau}{v_z}$$

$$\tau_z = \frac{t_z}{T}$$

gde se znak "+" odnosi na otvaranje a znak "-" na zatvaranje zatvarača.

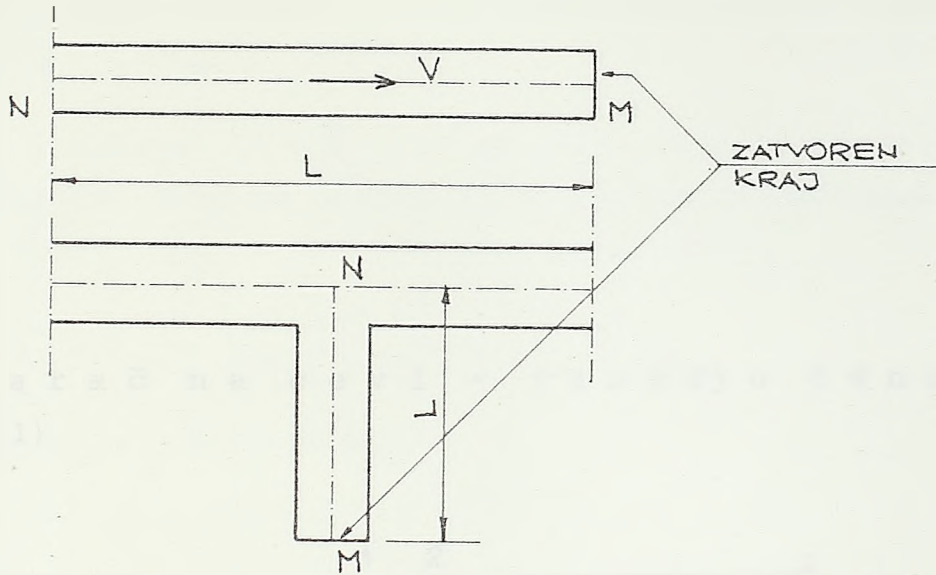
d) T r e n u t n o z a t v a r a n j e z a t v a r a č a

Granični uslov za zatvarač u tački M je:

$$q_{\tau}^M = 0 \quad (2.103)$$

Isti ovaj granični uslov važi i za trenutke vremena posle zatvaranja zatvarača, jer je $\alpha_T = 0$.

e) Cev sa potpuno zatvorenim krajem (Sl. 2.9)

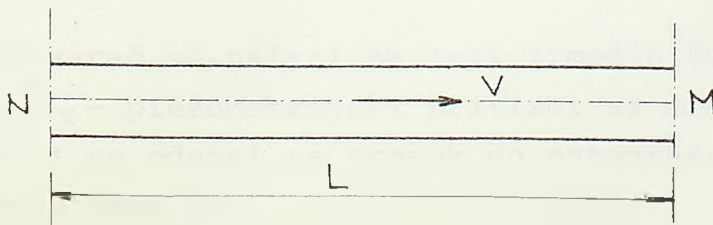


Sl. 2.9

Radi se o cevi čiji je jedan kraj potpuno zatvoren (M - zatvoren kraj). U tački M mora d bude:

$$q_{hT}^M = 0 \quad (2.104)$$

f) Isticanje iz otvorene cevi (Sl2.10)



Sl2.10

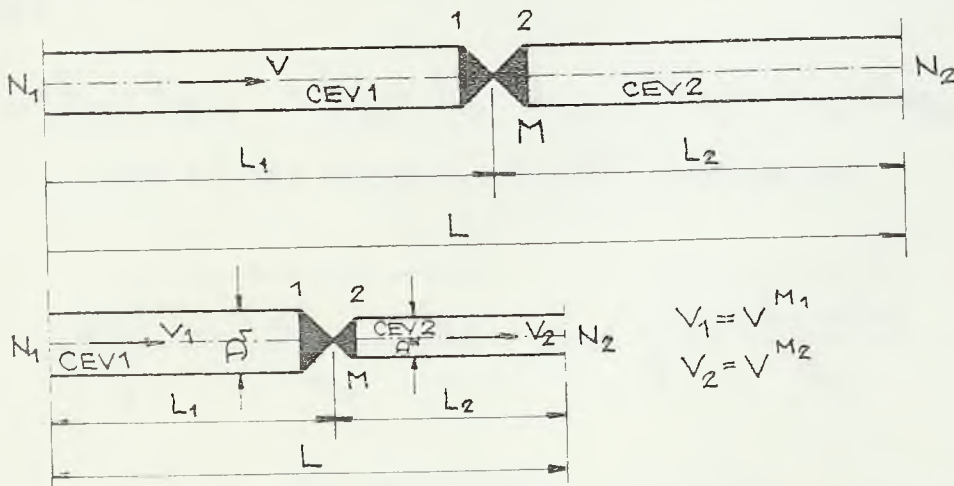
Kraj cevi M je potpuno otvoren i voda slobodno ističe u atmosferu.

Za ovaj slučaj važi granični uslov:

$$v_M^M = 0$$

(2.105)

g) Zatvarač na cevi - između čvorova (Sl. 2.11)



Sl. 2.11

Zatvarač se nalazi na cevi između čvorova N_1 i N_2 . Ako su h_1 i h_2 - piezometrijski pritisci sa raznih strana zatvarača (indeks 1 se odnosi na presek do zatvarača, indeks 2 posle zatvarača), onda je:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q = S \sqrt{h_1 - h_2} \quad (2.106)$$

Neka je pri potpunom otvaranju zatvarača $S = S_0$ i pri vrednosti $h_{10} - h_{20} = h_0$ protok Q_0 . Tada je:

$$\frac{Q}{Q_0} = \alpha \sqrt{\frac{h_1 - h_2}{h_0}} \quad (2.107)$$

gde je kao i ranije $\alpha = \frac{S}{S_0}$ - veličina koja karakteriše položaj zatvarača, koja se naziva hidrauličkim otvaranjem.

Dalje, ova se formula može preurediti:

$$h_1 - h_2 = h_1 - h_{10} + h_{10} - (h_2 - h_{20}) - h_{20}$$

$$h_1 - h_2 = h_0 + \Delta h_1 - \Delta h_2$$

gde je:

$$\Delta h_1 = h_1 - h_{10}; \quad \Delta h_2 = h_2 - h_{20}; \quad h_0 = h_{10} - h_{20}.$$

Ako se ovo unese u (2.107), dobija se:

$$\frac{Q}{Q_0} = \alpha \sqrt{\frac{h_0 + \Delta h_1 - \Delta h_2}{h_0}} = \alpha \sqrt{1 + \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{h_0}} \quad (2.108)$$

Ako se uvedu H_* i Q_* - potpuno proizvoljne konstante pritiska i protoka, tada je:

$$Q = \frac{Q}{Q_*} = \frac{Q_0}{Q_*} \frac{Q}{Q_0} = b \frac{Q}{Q_0} = b \alpha \sqrt{1 + \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{H_*} \frac{H_*}{h_0}}$$

odnosno

$$Q = b\alpha \sqrt{1 + \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{H_*}} \psi \approx b\alpha \left(1 + \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{2H_*} \psi \right)$$

Prema tome, granični uslov za tačku M je dat izrazom:

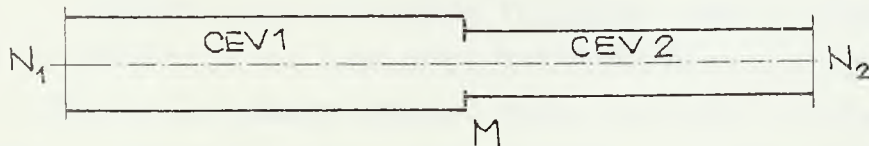
$$Q_{\tau}^M = \underline{b^M} \alpha_{\tau}^M \left(1 + \frac{\Delta h_{\tau}^{M_1} - \Delta h_{\tau}^{M_2}}{2H_*} \psi^M \right) \quad (2.109)$$

gde je:

$$b = \frac{Q_0}{Q_*}; \quad \psi^M = \frac{H_*}{h_0} = \frac{H_*}{h_{1_0} - h_{2_0}}$$

$$(\Delta h_1 = \Delta h_{\tau}^{M_1}; \quad \Delta h_2 = \Delta h_{\tau}^{M_2})$$

d) D i j a f r a g m a (Sl. 2.12)



Sl. 2.12

Poseban slučaj zatvarača je dijafragma (Sl. 2.12), za koju je granični uslov, uslov (2.109), ali pri $S = \text{const}$.

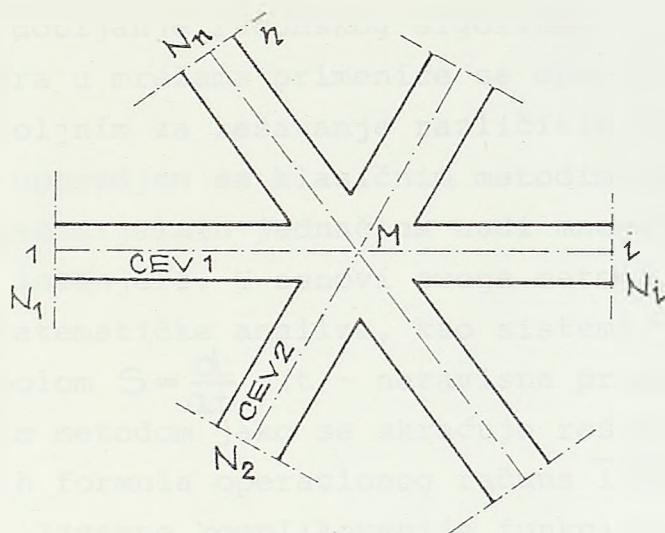
Prema tome granični uslov za ovaj slučaj bi bio izraz (2.109) u kome je:

$$\alpha_{\tau}^M = \frac{S}{S_0} = \text{const},$$

tj.

$$\alpha_{\tau}^M = b^M \alpha_{\tau}^M \left(1 + \frac{\Delta h_{\tau}^{M_1} - \Delta h_{\tau}^{M_2}}{2H_*} \psi^M \right) \quad (2.110)$$

i) G r a n a n j e c e v i - č v o r (Sl. 2.13)



Sl. 2.13

U čvoru M se susstiče n grana. Kao i u ostalim slučajevima, zanemaruju se brzinski pritisci i lokalni gubici, a također i dimenzije samog čvora. Tada pritisci u blizini tačke grananja u preseccima svih grana treba da budu jednaki. Osim toga, suma protoka tečnosti u tim preseccima mora da bude jednaka nuli, ako se za pozitivni pravac tečenja u svim granama smatra pravac ka tački grananja (ili u svim granama pravac od tačke grananja), tj.:

$$\sum_{l=1}^n A_l V_l = 0 \quad (2.111)$$

Čvor može da bude sa dve grane - na mestu prelaza jednog prečnika na drugi prečnik cevi, ili na mestu prelaza jednog materijala od koga je napravljena cev na drugi materijal cevi; zatim čvor može da bude sa tri, četiri ili sa više grana. Čvor sa više od četiri grane je vrlo redak slučaj u praktičnim zadacima.

3. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA ZA ČVOROVE

3.1. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA KOD ZANEMARIVANJA TRENJA

Za dobijanje računskog algoritma, za proračun hidrauličkog udara u mrežama primeniće se operacioni metod. On se pokazao povoljnim za rešavanje različitih zadataka u praksi. Ovaj metod uporedjen sa klasičnim metodima rešavanja integralnih i diferencijalnih jednačina nudi mnogostruke koristi za fizičare i inženjere. U osnovi ovoga metoda proračuna leži gradjenje matematičke analize, kao sistema formalnih operacija nad simbolom $S = \frac{d}{dt}$ (t - nezavisna promenljiva).

Ovim metodom jako se skraćuje rešavanje jednačina primenom opštih formula operacionog računa i ^{postoji} mogućnost korišćenja tabela. Izvesne komplikovanije funkcije realne promenljive mogu se zameniti jednostavnijim operacionim funkcijama.

Engleski elektro - inženjer O.Hevisajd se uspešno koristio ovom metodom u elektro-tehničkim proračunima i on ga je u velikoj meri učinio popularnim u našem veku. Ali teorijska objašnjenja ovog metoda datiraju tek dvadesetih godina našeg veka kada je ovaj metod počeo da se povezuje sa poznatim, iz teorija funkcija kompleksnih promenljivih, metodom integralnih transformacija, kojim su se uspešno koristili Koši, Laplas i drugi matematičari.

Pretpostavlja se, da je potrebno naći neku funkciju (pritisak ili protok-brzinu) $f(t)$ stvarno promenljive t iz neke jednačine, koja sadrži tu funkciju pod znakom izvoda i integrala. Operacioni metod rešavanja ovog problema svodi se na četiri sledeće etape.

1. Od tražene funkcije $f(t)$, koja se zove original, prelazi se pomoću neke poznate transformacije (obično Laplasove) na funkciju $F(s)$ kompleksno promenljive S . Ova funkcija $F(s)$ naziva se likom funkcije $f(t)$.

2. Nad likom $F(s)$ proizvode se operacije, koje odgovaraju zadatim operacijama nad $f(t)$. Dobija se "operaciona jednačina" u odnosu na lik $F(s)$. Pri ovome se operacije nad likom pokazuju znatno prostijim, kao na primer: diferenciranju odgovara množenje sa promenljivom S , integrisanju - delenje sa S itd.
3. Dobijena operaciona jednačina se rešava u odnosu na $F(s)$, što se obično svodi na jednostavne algebarske operacije.
4. Od nadjenog lika $F(s)$ pomoću obratne transformacije prelazi se na original $f_1(t)$, koji se i javlja traženom funkcijom.

Na ovaj način se, složene matematičke operacije rešavanja diferencijalnih jednačina, zamenjuju rešavanjem prostih algebarskih jednačina, napisanim u operacionom obliku. Primenjena operacionog računa može se uporediti sa logaritmovanjem: od brojeva se prelazi na logaritme, nad logaritmima se proizvode jednostavne radnje, a zatim se ponovo od nadjenog logaritma vraća ka broju.

Rešavanje jednačina hidrauličkog udara u mnogome se pojednostavljuje primenom operacionog računa.

Za dobijanje metoda proračuna hidrauličkog udara u mrežama autor je primenio operacioni račun, ali se ovde ne polazi od klasičnog načina operacionog metoda.

U ovome radu se polazi od poznate Karson-Laplasove integralne transformacije, ali se ona ne primenjuje na parcijalne diferencijalne jednačine hidrauličkog udara.

Taj uobičajeni klasični put autor napušta jer ga on ne dovodi do željenog proračuna hidrauličkog udara u mrežama.

Na algebarsku jednačinu (2.57)

$$h_t^M + h_{t-\mu}^M - 2h_{t-\frac{\mu}{2}}^N = \frac{C}{g} (V_{t-\mu}^M - V_t^M)$$

primenjuje se Karson-Hevisajdova (naziva se i Karson-Laplasova) transformacija, što je novo i originalno.

Laplasov integral je vrlo zahvalan matematički pojam za praktične proračune i našao je veliku primenu u tehnici i fizici.

Definisan je izrazom:

$$F(x,s) = \int_0^{\infty} f(x,t) e^{-st} dt \quad (2.112)$$

U mnogim tehničkim problemima povoljnije je primeniti modifikovanu formulu, predloženu od strane Karsona:

$$F(x,s) = s \int_0^{\infty} f(x,t) e^{-st} dt \quad (2.113)$$

Ova formula naziva se Karson-Laplasova ili Karson-Hevisajdova transformacija.

Karson-Laplasov integral se razmatra kao transformacija, podrazumevajući pod tim prelaz od funkcije $f(t)$ ka funkciji $F(s)$. Karson-Laplasova transformacija prevodi funkciju - original $f(t)$ u funkciju - lik $F(s)$ ili kraće original $f(t)$ - u lik $F(s)$. Ova terminologija je vrlo očigledna. U ovome radu, kada je reč o Karson-Laplasovoj transformaciji, originali će se označavati malim slovima, a odgovarajući njima likovi velikim slovima, na primer $f(x,t)$ i $F(x,s)$.

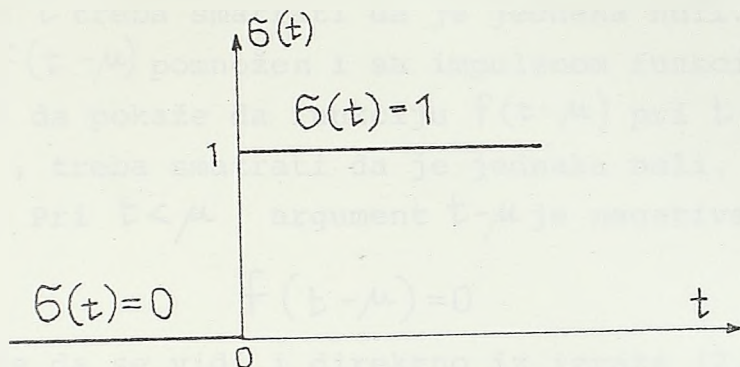
Veza izmedju originala i lika je uzajamno jednoznačna. Svakome originalu $f(x,t)$ odgovara jedan - jedinstveni lik $F(x,s)$ i svakom liku $F(x,s)$ odgovara jedan - jedinstveni original $f(x,t)$.

Rešavanje spomenute jednačine (2.57) u opštem slučaju nije jednostavno. Predloženi operacioni metod pokazao se prilično efikasnim kod računanja hidrauličkog udara u cevnim mrežama (što se vidi iz obradjenih numeričkih primera). Da bi se ovaj metod mogao povoljno primeniti na jednačinu (2.57), potrebno je još uvesti *jedinične funkcije ili impulsne funkcije* [6].

Impulsna (jedinična) funkcija, koja će se označiti sa $\delta(t)$, je definisana:

$$\delta(t) = \begin{cases} 1 & \text{za } t > 0 \\ 0 & \text{za } t < 0 \end{cases} \quad (2.114)$$

Tačka $t=0$ je tačka diskontinuiteta funkcije $\delta(t)$.
Dijagram ove funkcije je predstavljen na Sl. 2.14 .



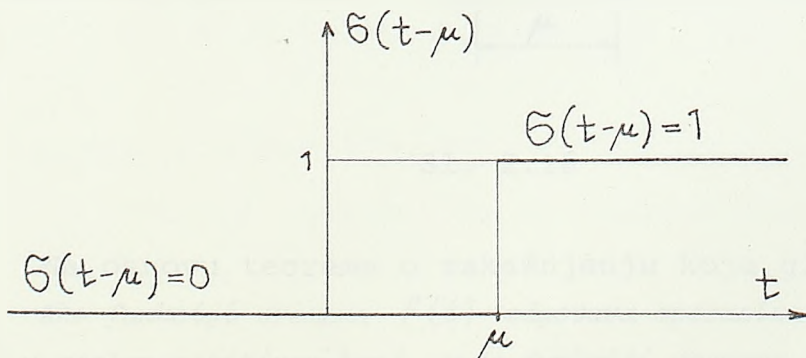
Sl. 2.14

Dijagram impulsne funkcije $\delta(t)$

Impulsna funkcija $\delta(t-\mu)$, gde je $\mu > 0$, je takodje definisana sa:

$$\delta(t-\mu) = \begin{cases} 1 & \text{za } t > \mu \\ 0 & \text{za } t < \mu \end{cases} \quad (2.115)$$

U ovom slučaju, tačka diskontinuiteta je tačka $t=\mu$.
(Sl. 2.15) predstavlja dijagram ove funkcije.



Sl. 2.15

Dijagram impulsne funkcije pomerene za μ : $\delta(t-\mu)$

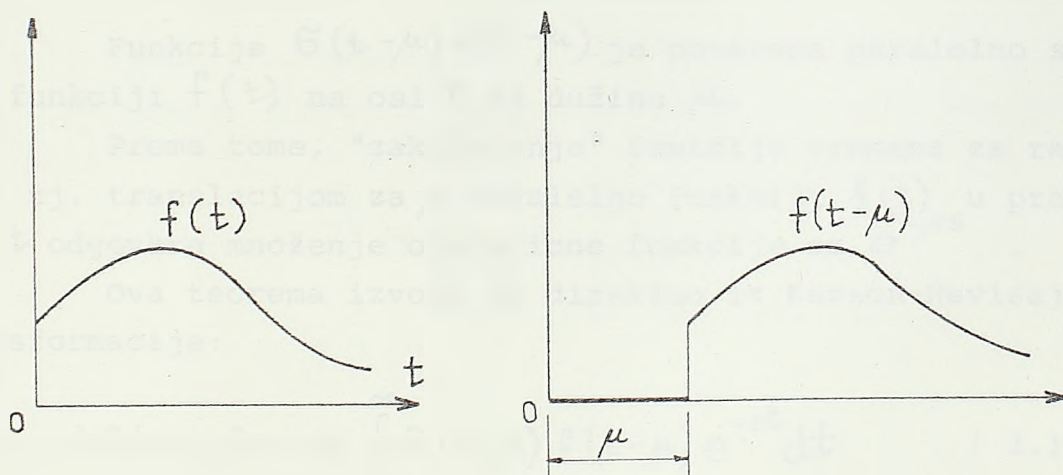
Original $f(t)$ pomnožen sa impulsnom funkcijom $\delta(t)$ ima za cilj da pokaže, da funkciju $f(t)$ pri negativnim vrednostima t treba smatrati da je jednaka nuli. Isto tako, original $f(t-\mu)$ pomnožen i sa impulsnom funkcijom $\delta(t-\mu)$ ima za cilj da pokaže da funkciju $f(t-\mu)$ pri $t-\mu < 0$, odnosno $t < \mu$, treba smatrati da je jednaka nuli.

Pri $t < \mu$, argument $t-\mu$ je negativan pa je zato:

$$f(t-\mu) = 0$$

što može da se vidi i direktno iz izraza (2.114).

Prema tome, dijagram funkcije $f(t-\mu)$ dobija se iz dijagrama funkcije $f(t)$ pomeranjem poslednjeg desno za rastojanje μ i jednovremenom njegovom dopunom na razmaku između 0 i μ odreskom ose t (Sl. 2.16).

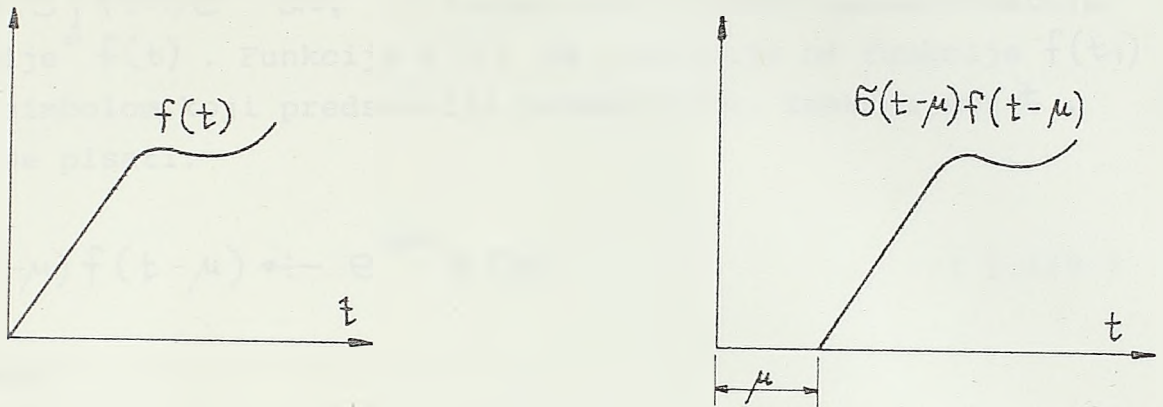


Sl. 2.16

Na osnovu teoreme o zakašnjenju koja glasi [6] :

Ako funkciji vremena $f(t)$ odgovara operaciona funkcija $F(s)$ i ako je μ realan pozitivan broj, onda funkciji vremena definisanoj funkcijom $f(t-\mu)$ za vrednosti $t > \mu$, i jednakoj nuli za vrednosti $0 < t < \mu$ tj. funkciji $\delta(t-\mu)f(t-\mu)$ (Sl. 2.16) odgovara operaciona funkcija (lik) $e^{-\mu s} F(s)$. Prema tome, može se napisati da je:

$$\mathcal{G}(t-\mu) f(t-\mu) \leftrightarrow e^{-\mu s} F(s) \quad (2.116)$$



Sl. 2.17

Funkcija $f(t)$ i pomerena funkcija $\mathcal{G}(t-\mu)f(t-\mu)$

Funkcija $\mathcal{G}(t-\mu)f(t-\mu)$ je pomerena paralelno sličnoj funkciji $f(t)$ na osi t za dužinu μ .

Prema tome, "zakašnjenje" funkcije vremena za razmak μ , tj. translacijom za μ paralelno funkciji $f(t)$ u pravcu ose t odgovara množenje operacione funkcije sa $e^{-\mu s}$.

Ova teorema izvodi se direktno iz Karson-Hevisajdove transformacije:

$$\mathcal{G}(t-\mu) f(t-\mu) \leftrightarrow s \int_0^{\infty} \mathcal{G}(t-\mu) f(t-\mu) e^{-st} dt \quad (2.117)$$

Funkcija $\mathcal{G}(t-\mu)f(t-\mu)$ je jednaka nuli u intervalu $0 < t < \mu$. Može se zameniti donja granica integrala 0 sa μ . Tada se dobija:

$$\mathcal{G}(t-\mu) f(t-\mu) \leftrightarrow s \int_{\mu}^{\infty} f(t-\mu) e^{-st} dt \quad (2.118)$$

Ako se zamene promenljive $t-\mu=t_1$, dobija se:

$$\delta(t-\mu)f(t-\mu) \leftrightarrow s \int_0^{\infty} f(t_1) e^{-\mu s} \cdot e^{-t_1 s} dt_1 = e^{-\mu s} s \int_0^{\infty} f(t_1) e^{-t_1 s} dt_1$$

Izraz $s \int_0^{\infty} f(t_1) e^{-t_1 s} dt_1$ je Karson-Hevisajdova transformacija funkcije $f(t)$. Funkcija $f(t)$ se razlikuje od funkcije $f(t_1)$ samo simbolom koji predstavlja promenljivu, zamenjujući t , može se pisati:

$$\delta(t-\mu)f(t-\mu) \leftrightarrow e^{-\mu s} F(s) \quad (2.119)$$

odnosno

$$f(t-\mu) \leftrightarrow e^{-\mu s} F(s) \quad \text{pri } t > \mu \geq 0 \quad (2.120)$$

što je i trebalo dokazati.

Na osnovu dokazane jednakosti (2.120) uvode se operacioni likovi:

$$h(x, t-\mu) \leftrightarrow e^{-\mu s} Y$$

$$V(x, t-\mu) \leftrightarrow e^{-\mu s} U \quad (2.121)$$

$$h(x, t) \leftrightarrow Y(x, s), \quad V(x, t) \leftrightarrow U(x, s)$$

$$f(x, t-\mu) = f_{t-\mu}$$

odnosno, za parametre jednačine (2.57), uvode se sledeći operacioni likovi:

$$h_t^M \leftrightarrow Y^M; \quad h_{t-\mu}^M \leftrightarrow e^{-\mu s} Y^M;$$

$$h_{t-\frac{\mu}{2}}^N \leftrightarrow e^{-\frac{\mu}{2}s} Y^N \quad (2.122)$$

$$V_t^M \leftarrow U^M ; V_{t-\mu}^M \leftarrow e^{-\mu s} U^M \quad (2.122)$$

Na osnovu ovih izraza, piše se jednačina (2.57) u operacionom obliku:

$$Y^M + Y^M e^{-\mu s} - 2Y^N e^{-\frac{\mu s}{2}} = \frac{c}{g} (U^M e^{-\mu s} - U^M) \quad (2.123)$$

gde je s - operacioni parametar.

Iz jednačine (2.123) dobija se:

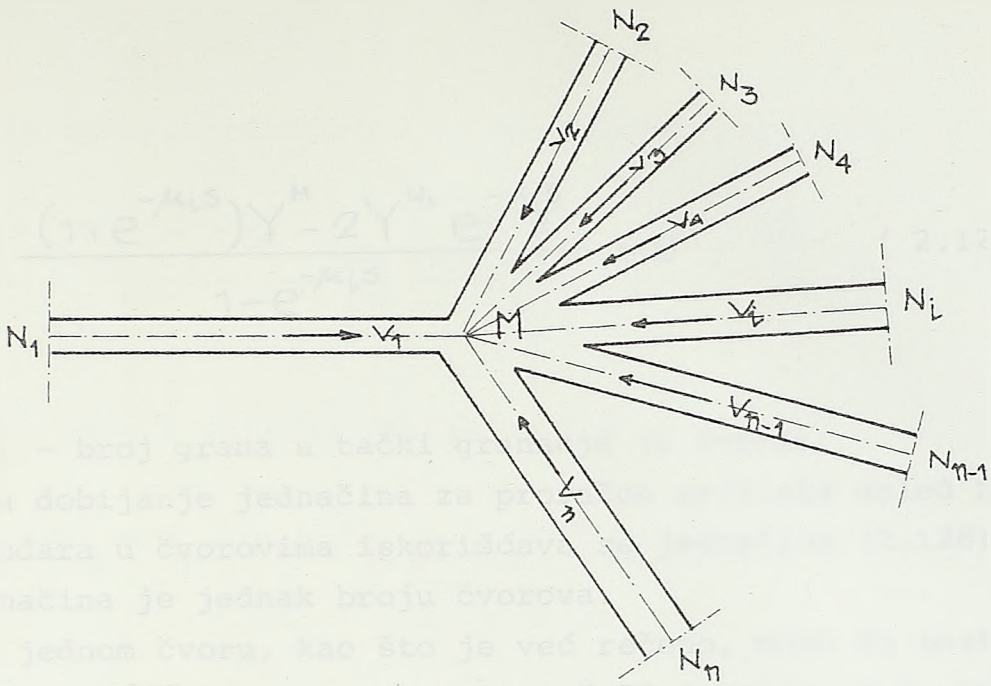
$$(1 - e^{-\mu s}) Y^M - 2Y^N e^{-\frac{\mu s}{2}} = -\frac{c}{g} (1 - e^{-\mu s}) U^M \quad (2.124)$$

Oдавде je:

$$U^M = -\frac{g}{c} \frac{(1 + e^{-\mu s}) Y^M - 2Y^N e^{-\frac{\mu s}{2}}}{1 - e^{-\mu s}} \quad (2.125)$$

Dobijena je jedna od osnovnih jednačina za proračun hidrauličkog udara. U ovoj jednačini su dve nepoznate: brzina U i pritisak Y . Da bi se sistem mogao rešiti mora se napisati još jedna jednačina.

Ova druga jednačina dobija se razmatranjem tačke grananja cevovoda (Sl. 2.18), od koje polazi n grana. Tačka grananja se zove čvor. Čvor je mesto od kog polaze dve ili više grana (Sl. 2.18).



Sl. 2.18

Brzine tečenja u svim granama $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_n$ smatraju se pozitivnim, ako su usmerene ka tački grananja.

Tačka M je tačka grananja cevovoda, a tačke N suprotne tački M i predstavljaju krajeve grana koje odlaze od nje.

Na osnovu graničnog uslova (2.111), tj. uslova kontinuiteta u čvoru M, može se napisati:

$$V_1 A_1 + V_2 A_2 + \dots + V_i A_i + \dots + V_n A_n = 0 \quad (2.126)$$

U operacionom obliku jednačina (2.126) izgleda:

$$A_1 U_1^M + A_2 U_2^M + \dots + A_i U_i^M + \dots + A_n U_n^M = 0 \quad (2.127)$$

Za svaku granu može se napisati jednačina (2.125) i uneti u jednačinu kontinuiteta (2.127), pa se dobija:

$$-g \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{c_i} \frac{(1 + e^{-\mu_i s}) Y^M - 2 Y^{N_i} e^{-\frac{\mu_i s}{2}}}{1 - e^{-\mu_i s}} = 0$$

odnosno

$$\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{c_i} \frac{(1 + e^{-\mu_i s}) Y^M - 2 Y^{N_i} e^{-\frac{\mu_i s}{2}}}{1 - e^{-\mu_i s}} = 0 \quad (2.128)$$

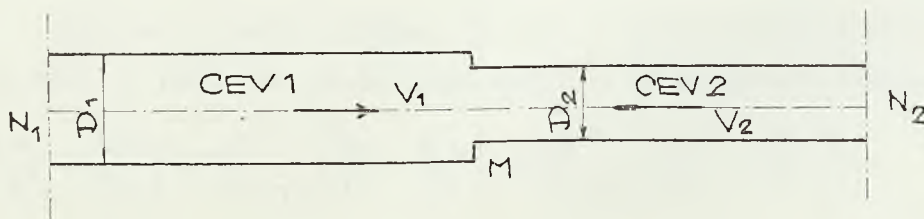
gde je η - broj grana u tački grananja (u čvoru).

Za dobijanje jednačina za proračun pritiska usled hidrauličkog udara u čvorovima iskorišćava se jednačina (2.128). Broj jednačina je jednak broju čvorova.

U jednom čvoru, kao što je već rečeno, mogu da postoje dve grane, tri grane, a vrlo retko i četiri grane. Veći broj od četiri grane u jednom čvoru iz praktičnih razloga se i ne pojavljuje. Za sve ove slučajeve daće se jednačine za proračun pritiska u čvoru usled hidrauličkog udara, a na osnovu date teorije vrlo lako se mogu ispisati i jednačine za čvorove sa više od četiri grane.

a) Č v o r s a d v e g r a n e

Mesto promene prečnika cevovoda jeste čvor sa dve grane (Sl. 2.19).



Sl. 2.19

Na osnovu jednačine (2.128) može se napisati:

$$\frac{A_1 (1+e^{-\mu_1 s}) Y^M - 2Y^{N_1} e^{-\frac{\mu_1 s}{2}}}{c_1 (1-e^{-\mu_1 s})} + \frac{A_2 (1+e^{-\mu_2 s}) Y^M - 2Y^{N_2} e^{-\frac{\mu_2 s}{2}}}{c_2 (1-e^{-\mu_2 s})} = 0 \quad (2.129)$$

Iz izraza (2.129) dobija se lik:

$$\left[\frac{A_1}{c_1} (1+e^{-\mu_1 s} - e^{-\mu_2 s} - e^{-(\mu_1+\mu_2)s}) + \frac{A_2}{c_2} (1-e^{-\mu_1 s} + e^{-\mu_2 s} - e^{-(\mu_1+\mu_2)s}) \right] Y^M =$$

(2.130)

$$= 2 \frac{A_1}{c_1} (e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} - e^{-(\mu_2 + \frac{\mu_1}{2})s}) Y^{N_1} + 2 \frac{A_2}{c_2} (e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} - e^{-(\mu_1 + \frac{\mu_2}{2})s}) Y^{N_2}$$

Iz izraza (2.130) dobija se original:

$$\frac{A_1}{c_1} (h_{t-}^M + h_{t-\mu_1}^M - h_{t-\mu_2}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2}^M) +$$

$$+ \frac{A_2}{c_2} (h_{t-}^M - h_{t-\mu_1}^M + h_{t-\mu_2}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2}^M) =$$

(2.131)

$$= 2 \frac{A_1}{c_1} (h_{t-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_{t-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1}) + 2 \frac{A_2}{c_2} (h_{t-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_{t-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2})$$

Ako se uvedu oznake (2.59) i preuredjivanjem ovog izraza (2.131), isti se može napisati u bezdimenzionalnom obliku:

$$\mathcal{V}_t^M \left(\frac{A_1}{c_1} + \frac{A_2}{c_2} \right) + \mathcal{V}_{t-\nu_1}^M \left(\frac{A_1}{c_1} - \frac{A_2}{c_2} \right) + \mathcal{V}_{t-\nu_2}^M \left(\frac{A_2}{c_2} - \frac{A_1}{c_1} \right) -$$

$$- \mathcal{V}_{t-\nu_1-\nu_2}^M \left(\frac{A_1}{c_1} + \frac{A_2}{c_2} \right) = 2 \frac{A_1}{c_1} \mathcal{V}_{t-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} - 2 \frac{A_1}{c_1} \mathcal{V}_{t-\nu_2-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} + 2 \frac{A_2}{c_2} \left(\mathcal{V}_{t-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \mathcal{V}_{t-\nu_1-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} \right)$$

odnosno,

$$v_{\tau}^M = S_1^M \left(v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - v_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} \right) + S_2^M \left(v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - v_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} \right) -$$

(2.132)

$$- \tau_1^M v_{\tau - v_1}^M - \tau_2^M v_{\tau - v_2}^M + v_{\tau - v_1 - v_2}^M$$

gde je:

$$S_i^M = \frac{2 \frac{A_i}{c_i}}{\sum_{k=1}^n \frac{A_k}{c_k}}$$

(2.133)

$$\tau_i^M = S_i^M - 1$$

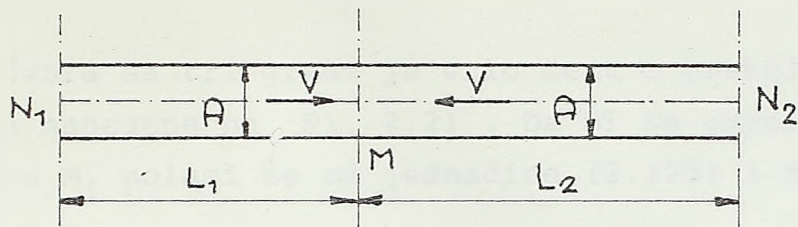
(2.134)

U konkretnom slučaju je:

$$S_1^M = \frac{2 \frac{A_1}{c_1}}{\frac{A_1}{c_1} + \frac{A_2}{c_2}} \quad ; \quad S_2^M = \frac{2 \frac{A_2}{c_2}}{\frac{A_1}{c_1} + \frac{A_2}{c_2}}$$

$$\tau_1^M = \frac{\frac{A_1}{c_1} - \frac{A_2}{c_2}}{\frac{A_1}{c_1} + \frac{A_2}{c_2}} \quad ; \quad \tau_2^M = \frac{\frac{A_2}{c_2} - \frac{A_1}{c_1}}{\frac{A_1}{c_1} + \frac{A_2}{c_2}}$$

Ako treba da se odredi vrednost pritiska usled hidrauličkog udara u preseku M, koji se nalazi između čvorova N_1 i N_2 poslužiće jednačina (2.132). Ovde se radi o jednoj cevi, pa su poprečni preseki grana jednaki tj. $A_1 = A_2$ (Sl. 2.20).



Sl. 2.20

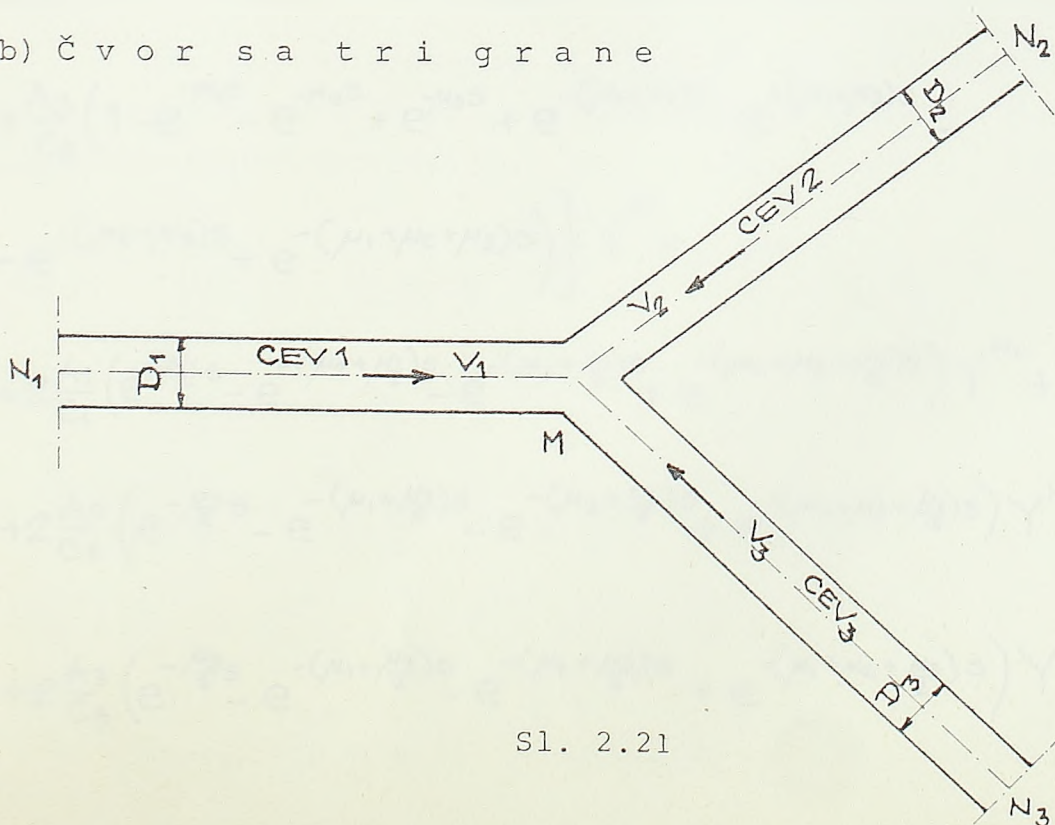
Pritisak u bilo kojoj tački M cevi N_1N_2 (tačka M se smatra za čvor) nalazi se na osnovu izraza (2.132):

$$v_T^M = v_{T-\frac{v_1}{2}}^{N_1} - v_{T-v_2-\frac{v_1}{2}}^{N_1} + v_{T-\frac{v_2}{2}}^{N_2} - v_{T-v_1-\frac{v_2}{2}}^{N_2} + v_{T-v_1-v_2}^M \quad (2.135)$$

Ako se tačka M nalazi u sredini cevi, tj. ako je $A_1=A_2$, $L_1=L_2=L$, tada je i $v_1=v_2=v = \frac{2L}{CT}$, pa je:

$$v_T^M = v_{T-\frac{v}{2}}^N - v_{T-\frac{3v}{2}}^{N_1} + v_{T-\frac{v}{2}}^{N_2} - v_{T-\frac{3v}{2}}^{N_2} + v_{T-2v}^M \quad (2.136)$$

b) Čvor sa tri grane



Sl. 2.21

Slučaj čvora sa tri grane je vrlo čest u praksi. Pozitivne brzine su nanese na Sl. 2.21. Da bi se odredio pritisak u čvoru M, polazi se od jednačine (2.128) i može se napisati:

$$\frac{A_1}{C_1} \frac{(1+e^{-\mu_1 s}) Y^M - 2Y^{N_1} e^{-\frac{\mu_1 s}{2}}}{1-e^{-\mu_1 s}} + \frac{A_2}{C_2} \frac{(1+e^{-\mu_2 s}) Y^M - 2Y^{N_2} e^{-\frac{\mu_2 s}{2}}}{1-e^{-\mu_2 s}} +$$

(2.137)

$$+ \frac{A_3}{C_3} \frac{(1+e^{-\mu_3 s}) Y^M - 2Y^{N_3} e^{-\frac{\mu_3 s}{2}}}{1-e^{-\mu_3 s}} = 0$$

Iz izraza (2.137), dobija se lik:

$$\left[\frac{A_1}{C_1} \left(1+e^{-\mu_1 s} - e^{-\mu_2 s} - e^{-(\mu_1+\mu_2)s} - e^{-\mu_3 s} - e^{-(\mu_1+\mu_3)s} + e^{-(\mu_2+\mu_3)s} + \right. \right.$$

$$\left. + e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s} \right) + \frac{A_2}{C_2} \left(1-e^{-\mu_1 s} + e^{-\mu_2 s} - e^{-\mu_3 s} - e^{-(\mu_1+\mu_2)s} + \right.$$

$$\left. + e^{-(\mu_1+\mu_3)s} - e^{-(\mu_2+\mu_3)s} + e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s} \right) +$$

$$+ \frac{A_3}{C_3} \left(1-e^{-\mu_1 s} - e^{-\mu_2 s} + e^{-\mu_3 s} + e^{-(\mu_1+\mu_2)s} - e^{-(\mu_1+\mu_3)s} - \right.$$

$$\left. - e^{-(\mu_2+\mu_3)s} + e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s} \right) \Big] Y^M =$$

$$= 2 \frac{A_1}{C_1} \left(e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} - e^{-(\mu_2+\frac{\mu_1}{2})s} - e^{-(\mu_3+\frac{\mu_1}{2})s} + e^{-(\mu_2+\mu_3+\frac{\mu_1}{2})s} \right) Y^{N_1} +$$

$$+ 2 \frac{A_2}{C_2} \left(e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} - e^{-(\mu_1+\frac{\mu_2}{2})s} - e^{-(\mu_3+\frac{\mu_2}{2})s} + e^{-(\mu_1+\mu_3+\frac{\mu_2}{2})s} \right) Y^{N_2} +$$

$$+ 2 \frac{A_3}{C_3} \left(e^{-\frac{\mu_3 s}{2}} - e^{-(\mu_1+\frac{\mu_3}{2})s} - e^{-(\mu_2+\frac{\mu_3}{2})s} + e^{-(\mu_1+\mu_2+\frac{\mu_3}{2})s} \right) Y^{N_3} \quad (2.138)$$

Iz izraza (2.138) dobija se original:

$$\begin{aligned}
 & \frac{A_1}{C_1} \left(h_{\tau}^M + h_{\tau-\mu_1}^M - h_{\tau-\mu_2}^M - h_{\tau-\mu_3}^M - h_{\tau-\mu_1-\mu_2}^M - h_{\tau-\mu_1-\mu_3}^M + \right. \\
 & \left. + h_{\tau-\mu_2-\mu_3}^M + h_{\tau-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M \right) + \\
 & + \frac{A_2}{C_2} \left(h_{\tau}^M - h_{\tau-\mu_1}^M + h_{\tau-\mu_2}^M - h_{\tau-\mu_3}^M - h_{\tau-\mu_1-\mu_2}^M + h_{\tau-\mu_1-\mu_3}^M - \right. \\
 & \left. - h_{\tau-\mu_2-\mu_3}^M + h_{\tau-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M \right) + \\
 & + \frac{A_3}{C_3} \left(h_{\tau}^M - h_{\tau-\mu_1}^M - h_{\tau-\mu_2}^M + h_{\tau-\mu_3}^M + h_{\tau-\mu_1-\mu_2}^M - h_{\tau-\mu_1-\mu_3}^M - \right. \\
 & \left. - h_{\tau-\mu_2-\mu_3}^M + h_{\tau-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M \right) = \\
 & = 2 \frac{A_1}{C_1} \left(h_{\tau-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_{\tau-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_{\tau-\mu_3-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + h_{\tau-\mu_2-\mu_3-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} \right) + \\
 & + 2 \frac{A_2}{C_2} \left(h_{\tau-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_{\tau-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_{\tau-\mu_3-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} + h_{\tau-\mu_1-\mu_3-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} \right) + \\
 & + 2 \frac{A_3}{C_3} \left(h_{\tau-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} - h_{\tau-\mu_1-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} - h_{\tau-\mu_2-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} + h_{\tau-\mu_1-\mu_2-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} \right) \quad (2.139)
 \end{aligned}$$

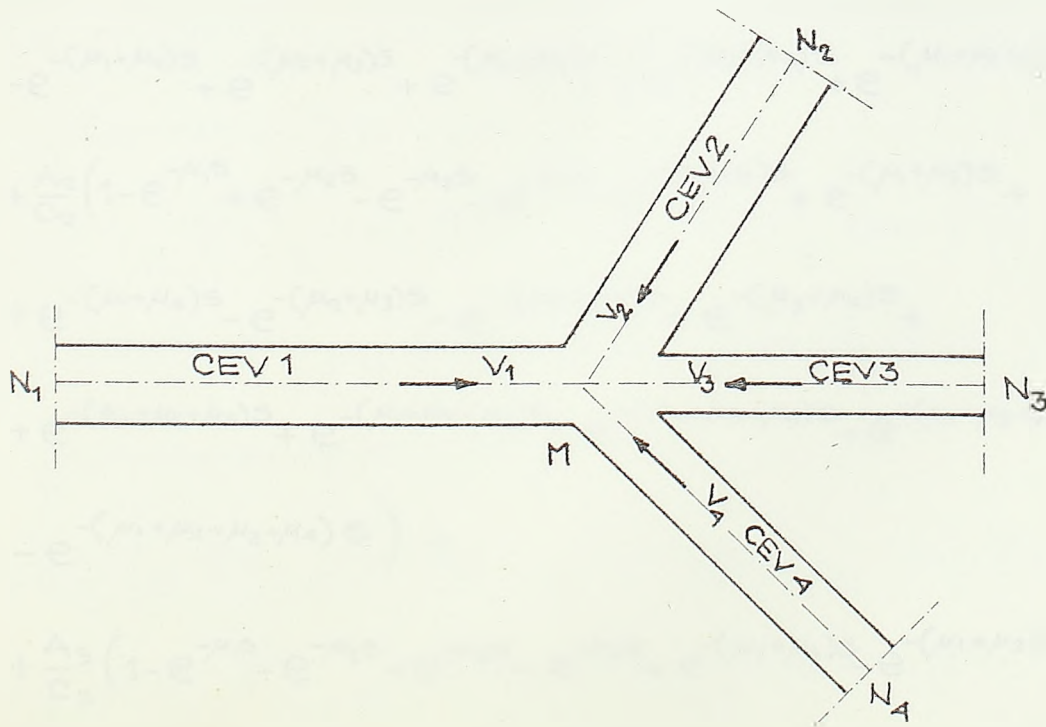
Ako se uvedu oznake (2.59), (2.133), (2.134), iz izraza (2.139) određuje se pritisak u tački grananja $M - v_{\tau}^M$ u bezdimenzionalnom obliku, koji glasi:

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^M &= \sigma_1^M \left(v_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} - v_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} - v_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} + v_{\tau-\nu_2-\nu_3-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} \right) + \\
 & + \sigma_2^M \left(v_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - v_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - v_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} + v_{\tau-\nu_1-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} \right) + \\
 & + \sigma_3^M \left(v_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - v_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - v_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^{N_3} + v_{\tau-\nu_1-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^{N_3} \right) - \\
 & - \tau_1^M \left(v_{\tau-\nu_1}^M + v_{\tau-\nu_2-\nu_3}^M \right) - \tau_2^M \left(v_{\tau-\nu_2}^M + v_{\tau-\nu_1-\nu_3}^M \right) - \\
 & - \tau_3^M \left(v_{\tau-\nu_3}^M + v_{\tau-\nu_1-\nu_2}^M \right) - v_{\tau-\nu_1-\nu_2-\nu_3}^M \quad (2.140)
 \end{aligned}$$

Ako je poprečni presek svih grana isti, tada je pritisak u čvoru M:

$$\begin{aligned}
 v_L^M = & \frac{2}{3} \left(v_{L-v_1}^{N_1} - v_{L-v_2-v_1}^{N_1} - v_{L-v_3-v_1}^{N_1} + v_{L-v_2-v_3-v_1}^{N_1} + \right. \\
 & + v_{L-v_2}^{N_2} - v_{L-v_1-v_2}^{N_2} - v_{L-v_3-v_2}^{N_2} + v_{L-v_1-v_3-v_2}^{N_2} + \\
 & \left. + v_{L-v_3}^{N_3} - v_{L-v_1-v_3}^{N_3} - v_{L-v_2-v_3}^{N_3} + v_{L-v_1-v_2-v_3}^{N_3} \right) + \\
 & + \frac{1}{3} \left(v_{L-v_1}^M + v_{L-v_2-v_3}^M + v_{L-v_2}^M + v_{L-v_1-v_3}^M + \right. \\
 & \left. + v_{L-v_3}^M + v_{L-v_1-v_2}^M \right) - v_{L-v_1-v_2-v_3}^M.
 \end{aligned} \tag{2.141}$$

c) Čvor sa četiri grane



Sl. 2.22

Čvor sa četiri grane se pojavljuje u praksi vrlo retko (Sl. 2.22).

Pritisak u čvoru M nalazi se na osnovu jednačine (2.128):

$$\frac{A_1}{C_1} \frac{(1+e^{-\mu_1 s})Y^M - 2Y^{N_1} e^{-\frac{\mu_1 s}{2}}}{1-e^{-\mu_1 s}} + \frac{A_2}{C_2} \frac{(1+e^{-\mu_2 s})Y^M - 2Y^{N_2} e^{-\frac{\mu_2 s}{2}}}{1-e^{-\mu_2 s}} +$$

(2.142)

$$+ \frac{A_3}{C_3} \frac{(1+e^{-\mu_3 s})Y^M - 2Y^{N_3} e^{-\frac{\mu_3 s}{2}}}{1-e^{-\mu_3 s}} + \frac{A_4}{C_4} \frac{(1+e^{-\mu_4 s})Y^M - 2Y^{N_4} e^{-\frac{\mu_4 s}{2}}}{1-e^{-\mu_4 s}} = 0$$

Iz ovog izraza, dobija se lik:

$$\left[\frac{A_1}{C_1} \left(1 + e^{-\mu_1 s} - e^{-\mu_2 s} - e^{-\mu_3 s} - e^{-\mu_4 s} - e^{-(\mu_1+\mu_2)s} - e^{-(\mu_1+\mu_3)s} - \right. \right.$$

$$\left. - e^{-(\mu_1+\mu_4)s} + e^{-(\mu_2+\mu_3)s} + e^{-(\mu_2+\mu_4)s} + e^{-(\mu_3+\mu_4)s} + e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3+\mu_4)s} \right) +$$

$$+ \frac{A_2}{C_2} \left(1 - e^{-\mu_1 s} + e^{-\mu_2 s} - e^{-\mu_3 s} - e^{-\mu_4 s} - e^{-(\mu_1+\mu_2)s} + e^{-(\mu_1+\mu_3)s} + \right.$$

$$+ e^{-(\mu_1+\mu_4)s} - e^{-(\mu_2+\mu_3)s} - e^{-(\mu_2+\mu_4)s} + e^{-(\mu_3+\mu_4)s} +$$

$$+ e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s} + e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_4)s} - e^{-(\mu_1+\mu_3+\mu_4)s} + e^{-(\mu_2+\mu_3+\mu_4)s}$$

$$\left. - e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3+\mu_4)s} \right) +$$

$$+ \frac{A_3}{C_3} \left(1 - e^{-\mu_1 s} - e^{-\mu_2 s} + e^{-\mu_3 s} - e^{-\mu_4 s} + e^{-(\mu_1+\mu_2)s} - e^{-(\mu_1+\mu_3)s} + \right.$$

$$+ e^{-(\mu_1+\mu_4)s} - e^{-(\mu_2+\mu_3)s} + e^{-(\mu_2+\mu_4)s} - e^{-(\mu_3+\mu_4)s} +$$

$$\begin{aligned}
 &+ e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s} - e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_4)s} + e^{-(\mu_1+\mu_3+\mu_4)s} + e^{-(\mu_2+\mu_3+\mu_4)s} \\
 &- e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3+\mu_4)s} \Big) + \\
 &+ \frac{A_4}{c_4} \left(1 - e^{-\mu_1 s} - e^{-\mu_2 s} - e^{-\mu_3 s} + e^{-\mu_4 s} + e^{-(\mu_1+\mu_2)s} + e^{-(\mu_1+\mu_3)s} \right. \\
 &- e^{-(\mu_1+\mu_4)s} + e^{-(\mu_2+\mu_3)s} - e^{-(\mu_2+\mu_4)s} - e^{-(\mu_3+\mu_4)s} \\
 &- e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s} + e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_4)s} + e^{-(\mu_1+\mu_3+\mu_4)s} + \\
 &\left. + e^{-(\mu_2+\mu_3+\mu_4)s} - e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3+\mu_4)s} \right) \Big] Y^M = \\
 &2 \frac{A_1}{c_1} \left(e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} - e^{-(\mu_2+\frac{\mu_1}{2})s} - e^{-(\mu_3+\frac{\mu_1}{2})s} - e^{-(\mu_4+\frac{\mu_1}{2})s} + \right. \\
 &+ e^{-(\mu_2+\mu_3+\frac{\mu_1}{2})s} + e^{-(\mu_2+\mu_4+\frac{\mu_1}{2})s} + e^{-(\mu_3+\mu_4+\frac{\mu_1}{2})s} \\
 &\left. - e^{-(\mu_2+\mu_3+\mu_4+\frac{\mu_1}{2})s} \right) Y^{N_1} + \\
 &+ 2 \frac{A_2}{c_2} \left(e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} - e^{-(\mu_1+\frac{\mu_2}{2})s} - e^{-(\mu_3+\frac{\mu_2}{2})s} - e^{-(\mu_4+\frac{\mu_2}{2})s} + \right. \\
 &+ e^{-(\mu_1+\mu_3+\frac{\mu_2}{2})s} + e^{-(\mu_1+\mu_4+\frac{\mu_2}{2})s} + e^{-(\mu_3+\mu_4+\frac{\mu_2}{2})s} \\
 &\left. - e^{-(\mu_1+\mu_3+\mu_4+\frac{\mu_2}{2})s} \right) Y^{N_2} + \\
 &+ 2 \frac{A_3}{c_3} \left(e^{-\frac{\mu_3 s}{2}} - e^{-(\mu_1+\frac{\mu_3}{2})s} - e^{-(\mu_2+\frac{\mu_3}{2})s} - e^{-(\mu_4+\frac{\mu_3}{2})s} + \right. \\
 &+ e^{-(\mu_1+\mu_2+\frac{\mu_3}{2})s} + e^{-(\mu_1+\mu_4+\frac{\mu_3}{2})s} + e^{-(\mu_2+\mu_4+\frac{\mu_3}{2})s} \\
 &\left. - e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_4+\frac{\mu_3}{2})s} \right) Y^{N_3} + \\
 &+ 2 \frac{A_4}{c_4} \left(e^{-\frac{\mu_4 s}{2}} - e^{-(\mu_1+\frac{\mu_4}{2})s} - e^{-(\mu_2+\frac{\mu_4}{2})s} - e^{-(\mu_3+\frac{\mu_4}{2})s} + \right. \\
 &+ e^{-(\mu_1+\mu_2+\frac{\mu_4}{2})s} + e^{-(\mu_1+\mu_3+\frac{\mu_4}{2})s} + e^{-(\mu_2+\mu_3+\frac{\mu_4}{2})s} \\
 &\left. - e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3+\frac{\mu_4}{2})s} \right) Y^{N_4}
 \end{aligned}$$

Iz izraza (2.143) dobija se original:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\Delta_1}{C_1} \left(h_{t-\mu_1}^M + h_{t-\mu_2}^M - h_{t-\mu_3}^M - h_{t-\mu_4}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - \right. \\
 & - h_{t-\mu_1-\mu_3}^M - h_{t-\mu_1-\mu_4}^M + h_{t-\mu_2-\mu_3}^M + h_{t-\mu_2-\mu_4}^M + h_{t-\mu_3-\mu_4}^M + \\
 & + h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M + h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^M + h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^M - \\
 & \left. - h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M \right) + \\
 & + \frac{\Delta_2}{C_2} \left(h_{t-\mu_1}^M - h_{t-\mu_2}^M + h_{t-\mu_3}^M - h_{t-\mu_4}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2}^M + \right. \\
 & + h_{t-\mu_1-\mu_3}^M + h_{t-\mu_1-\mu_4}^M - h_{t-\mu_2-\mu_3}^M - h_{t-\mu_2-\mu_4}^M + \\
 & + h_{t-\mu_3-\mu_4}^M + h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M + h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^M - \\
 & \left. - h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^M + h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M \right) + \\
 & + \frac{\Delta_3}{C_3} \left(h_{t-\mu_1}^M - h_{t-\mu_2}^M + h_{t-\mu_3}^M - h_{t-\mu_4}^M + \right. \\
 & + h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - h_{t-\mu_1-\mu_3}^M + h_{t-\mu_1-\mu_4}^M - h_{t-\mu_2-\mu_3}^M + \\
 & + h_{t-\mu_2-\mu_4}^M - h_{t-\mu_3-\mu_4}^M + h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^M + \\
 & \left. + h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^M + h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M \right) + \\
 & + \frac{\Delta_4}{C_4} \left(h_{t-\mu_1}^M - h_{t-\mu_2}^M - h_{t-\mu_3}^M + h_{t-\mu_4}^M + h_{t-\mu_1-\mu_2}^M + \right. \\
 & + h_{t-\mu_1-\mu_3}^M - h_{t-\mu_1-\mu_4}^M + h_{t-\mu_2-\mu_3}^M - h_{t-\mu_2-\mu_4}^M - h_{t-\mu_3-\mu_4}^M -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M + h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^M + h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^M + \\
 & + h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M) = \\
 & = 2 \frac{A_1}{C_1} \left(h_{t-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_{t-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_{t-\mu_3-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_{t-\mu_4-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + \right. \\
 & + h_{t-\mu_2-\mu_3-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + h_{t-\mu_2-\mu_4-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + h_{t-\mu_3-\mu_4-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - \\
 & \left. - h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} \right) + \\
 & + 2 \frac{A_2}{C_2} \left(h_{t-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_{t-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_{t-\mu_3-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_{t-\mu_4-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} + \right. \\
 & + h_{t-\mu_1-\mu_3-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} + h_{t-\mu_1-\mu_4-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} + h_{t-\mu_3-\mu_4-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - \\
 & \left. - h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} \right) + \\
 & + 2 \frac{A_3}{C_3} \left(h_{t-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} - h_{t-\mu_1-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} - h_{t-\mu_2-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} - h_{t-\mu_4-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} + \right. \\
 & + h_{t-\mu_1-\mu_2-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} + h_{t-\mu_1-\mu_4-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} + h_{t-\mu_2-\mu_4-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} - \\
 & \left. - h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} \right) + \\
 & + 2 \frac{A_4}{C_4} \left(h_{t-\frac{\mu_4}{2}}^{N_4} - h_{t-\mu_1-\frac{\mu_4}{2}}^{N_4} - h_{t-\mu_2-\frac{\mu_4}{2}}^{N_4} - h_{t-\mu_3-\frac{\mu_4}{2}}^{N_4} + \right. \\
 & + h_{t-\mu_1-\mu_2-\frac{\mu_4}{2}}^{N_4} + h_{t-\mu_1-\mu_3-\frac{\mu_4}{2}}^{N_4} + h_{t-\mu_2-\mu_3-\frac{\mu_4}{2}}^{N_4} - \\
 & \left. - h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\frac{\mu_4}{2}}^{N_4} \right).
 \end{aligned}$$

(2.144)

Iz izraza (2.144) određuje se pritisak u tački grananja M. U skladu sa oznakama (2.59), (2.133) i (2.134) pritisak u bezdimenzionalnom obliku glasi:

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^M = & S_1^M \left(\psi_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \psi_{\tau - v_3 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \psi_{\tau - v_4 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + \psi_{\tau - v_2 - v_3 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + \right. \\
 & \left. + \psi_{\tau - v_2 - v_4 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + \psi_{\tau - v_3 - v_4 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \psi_{\tau - v_2 - v_3 - v_4 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} \right) + \\
 & + S_2^M \left(\psi_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \psi_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \psi_{\tau - v_3 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \psi_{\tau - v_4 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} + \right. \\
 & \left. + \psi_{\tau - v_1 - v_3 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} + \psi_{\tau - v_1 - v_4 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} + \psi_{\tau - v_3 - v_4 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \psi_{\tau - v_1 - v_3 - v_4 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \right. \\
 & \left. - \psi_{\tau - v_1 - v_3}^M - \psi_{\tau - v_3 - v_4}^M \right) + \\
 & + S_3^M \left(\psi_{\tau - \frac{v_3}{2}}^{N_3} - \psi_{\tau - v_1 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} - \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} - \psi_{\tau - v_4 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} + \psi_{\tau - v_1 - v_2 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} + \right. \\
 & \left. + \psi_{\tau - v_1 - v_4 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} + \psi_{\tau - v_2 - v_4 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} - \psi_{\tau - v_1 - v_2 - v_4 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} - \right. \\
 & \left. - \psi_{\tau - v_1 - v_2}^M - \psi_{\tau - v_1 - v_4}^M - \psi_{\tau - v_2 - v_4}^M \right) + \\
 & + S_4^M \left(\psi_{\tau - \frac{v_4}{2}}^{N_4} - \psi_{\tau - v_1 - \frac{v_4}{2}}^{N_4} - \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_4}{2}}^{N_4} - \psi_{\tau - v_3 - \frac{v_4}{2}}^{N_4} + \psi_{\tau - v_1 - v_2 - \frac{v_4}{2}}^{N_4} + \right. \\
 & \left. + \psi_{\tau - v_1 - v_3 - \frac{v_4}{2}}^{N_4} + \psi_{\tau - v_2 - v_3 - \frac{v_4}{2}}^{N_4} - \psi_{\tau - v_1 - v_2 - v_3 - \frac{v_4}{2}}^{N_4} - \psi_{\tau - v_2 - v_3}^M \right) - \\
 & - \tau_1^M \left(\psi_{\tau - v_1}^M + \psi_{\tau - v_2 - v_3}^M + \psi_{\tau - v_2 - v_4}^M + \psi_{\tau - v_3 - v_4}^M - \psi_{\tau - v_2 - v_3 - v_4}^M \right) - \\
 & - \tau_2^M \left(\psi_{\tau - v_2}^M + \psi_{\tau - v_1 - v_4}^M - \psi_{\tau - v_1 - v_3 - v_4}^M \right) - \\
 & - \tau_3^M \left(\psi_{\tau - v_3}^M - \psi_{\tau - v_1 - v_2 - v_4}^M \right) - \\
 & - \tau_4^M \left(\psi_{\tau - v_4}^M + \psi_{\tau - v_1 - v_2}^M + \psi_{\tau - v_1 - v_3}^M - \psi_{\tau - v_1 - v_2 - v_3}^M \right) + \\
 & + \psi_{\tau - v_1 - v_2 - v_3 - v_4}^M .
 \end{aligned}$$

3.2. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA KOD UZIMANJA U RAČUN TRENJA

I ovde će se primeniti operacioni metod na algebarsku jednačinu, tj. na jednačinu hidrauličkog udara napisanu u konačnim razlikama. Za dlji proračun iskoristiće se uopštena jednačina (2.86) dobijena za slučaj kada se u račun uvede trenje u cevima a koja glasi:

$$\begin{aligned} h_t^M - h_0^M + \beta^2 (h_{t-\mu}^M - h_0^M) + \frac{c}{g} [V_t^M - V_0 - \beta^2 (V_{t-\mu}^M - V_0)] = \\ = 2\beta (h_{t-\frac{\mu}{2}}^N - h_0^N) \end{aligned}$$

Ova jednačina može se napisati u operacionom obliku, uvodeći sledeće operacione likove:

$$\Delta h(x,t) = h(x,t) - h_0 \leftarrow \div Y(x,s); V(x,t) - V_0 = \Delta V(x,t) \leftarrow \div U(x,s) \quad (2.146)$$

odnosno, likovi pojedinih parametara jednačine (2.86) mogu se napisati u sledećem obliku:

$$\begin{aligned} \Delta h_t^M &= h_t^M - h_0^M \leftarrow \div Y^M \\ \Delta h_{t-\mu}^M &= h_{t-\mu}^M - h_0^M \leftarrow \div e^{-\mu s} Y^M \\ \Delta V_t^M &= V_t^M - V_0 \leftarrow \div U^M \\ \Delta V_{t-\mu}^M &= V_{t-\mu}^M - V_0 \leftarrow \div e^{-\mu s} U^M \\ \Delta h_{t-\frac{\mu}{2}}^N &= h_{t-\frac{\mu}{2}}^N - h_0^N \leftarrow \div e^{-\frac{\mu s}{2}} Y^N \end{aligned} \quad (2.147)$$

Na osnovu izraza (2.147) jednačina (2.86) može se napisati u operacionom obliku:

$$Y^M + \beta^2 e^{-\mu s} Y^M + \frac{c}{g} (U^M - \beta^2 e^{-\mu s} U^M) = 2\beta e^{-\frac{\mu s}{2}} Y^N. \quad (2.148)$$

Ova jednačina (2.148) piše se u sledećem obliku:

$$Y^M (1 + \beta^2 e^{-\mu s}) - 2\beta e^{-\frac{\mu s}{2}} Y^N + \frac{c}{g} (1 - \beta^2 e^{-\mu s}) U^M = 0 \quad (2.149)$$

a iz nje se dobija:

$$U^M = -\frac{g}{c} \frac{(1 + \beta^2 e^{-\mu s}) Y^M - 2\beta e^{-\frac{\mu s}{2}} Y^N}{1 - \beta^2 e^{-\mu s}} \quad (2.150)$$

Za proračun hidrauličkog udara u tački grananja - čvoru potrebna je još jednačina kontinuiteta (2.127).

Iz ovih dveju jednačina (2.127) i (2.150) treba eliminisati brzinu U pa se dobija izraz za određivanje pritiska u čvoru M .

Znači, za svaku granu treba napisati jednačinu za brzinu (2.150). Ovako napisane jednačine za svaku pojedinu granu, čiji je početak tačka M - zajednička tačka za sve grane, a kraj tačka $N_i, i=1, 2, \dots, n$, unosi se u jednačinu kontinuiteta (2.127) pa se dobija:

$$-g \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{c_i} \frac{(1 + \beta_i^2 e^{-\mu_i s}) Y^M - 2\beta_i e^{-\frac{\mu_i s}{2}} Y^{N_i}}{1 - \beta_i^2 e^{-\mu_i s}} = 0$$

odnosno:

$$\sum_{i=1}^{\pi} \frac{A_i}{C_i} \frac{(1 + \beta_i^2 e^{-\mu_i s}) Y^M - 2\beta_i e^{\frac{\mu_i s}{2}} Y^{N_i}}{1 - \beta_i^2 e^{\mu_i s}} = 0 \quad (2.151)$$

gde je π - broj grana u tački grananja.

Na ovaj način dobija se izraz pomoću koga se mogu napisati jednačine za određivanje pritiska u čvoru. Na osnovu njega mogu se napisati izrazi za određivanje pritiska u čvoru sa dve, tri i četiri grane, na sličan način kao što je i pre urađeno.

a) Č v o r s a d v e g r a n e

Na osnovu jednačine (2.151) može se napisati:

$$\frac{A_1}{C_1} \frac{(1 + \beta_1^2 e^{-\mu_1 s}) Y^M - 2\beta_1 e^{\frac{\mu_1 s}{2}} Y^{N_1}}{1 - \beta_1^2 e^{-\mu_1 s}} + \frac{A_2}{C_2} \frac{(1 + \beta_2^2 e^{-\mu_2 s}) Y^M - 2\beta_2 e^{\frac{\mu_2 s}{2}} Y^{N_2}}{1 - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s}} \quad (2.152)$$

Sredjivanjem ovog izraza dobija se lik:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{A_1}{C_1} \left(1 + \beta_1^2 e^{-\mu_1 s} - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} - \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2) s} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{A_2}{C_2} \left(1 + \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} - \beta_1^2 e^{-\mu_1 s} - \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2) s} \right) \right] Y^M = \\ & = 2 \frac{A_1}{C_1} \left(\beta_1 e^{\frac{-\mu_1 s}{2}} - \beta_1 \beta_2^2 e^{-(\mu_2 + \frac{\mu_1}{2}) s} \right) Y^{N_1} + \\ & + 2 \frac{A_2}{C_2} \left(\beta_2 e^{\frac{-\mu_2 s}{2}} - \beta_2 \beta_1^2 e^{-(\mu_1 + \frac{\mu_2}{2}) s} \right) Y^{N_2} \end{aligned} \quad (2.153)$$

Iz izraza (2.153) dobija se original:

$$\begin{aligned} & \frac{A_1}{C_1} \left(\Delta h_{\tau}^M + \beta_1^2 \Delta h_{\tau-\mu_1}^M - \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\mu_2}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\mu_1-\mu_2}^M \right) + \\ & + \frac{A_2}{C_2} \left(\Delta h_{\tau}^M - \beta_1^2 \Delta h_{\tau-\mu_1}^M + \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\mu_2}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\mu_1-\mu_2}^M \right) = \\ & = 2 \frac{A_1}{C_1} \left(\beta_1 \Delta h_{\tau-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} \right) + \\ & + 2 \frac{A_2}{C_2} \left(\beta_2 \Delta h_{\tau-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \Delta h_{\tau-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} \right). \end{aligned} \quad (2.154)$$

odnosno,

$$\begin{aligned} & \Delta h_{\tau}^M \left(\frac{A_1}{C_1} + \frac{A_2}{C_2} \right) + \Delta h_{\tau-\nu_1}^M \left(\frac{A_1}{C_1} - \frac{A_2}{C_2} \right) \beta_1^2 + \Delta h_{\tau-\nu_2}^M \left(\frac{A_2}{C_2} - \frac{A_1}{C_1} \right) \beta_2^2 - \\ & - \Delta h_{\tau-\nu_1-\nu_2}^M \left(\frac{A_1}{C_1} + \frac{A_2}{C_2} \right) \beta_1^2 \beta_2^2 = 2 \beta_1 \frac{A_1}{C_1} \Delta h_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} - 2 \beta_1 \beta_2^2 \frac{A_1}{C_1} \Delta h_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} + \\ & + 2 \beta_2 \frac{A_2}{C_2} \Delta h_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - 2 \beta_2 \beta_1^2 \frac{A_2}{C_2} \Delta h_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} \end{aligned}$$

Odavde se nalazi pritisak u čvoru M:

$$\begin{aligned} \Delta h_{\tau}^M &= S_1^M \left(\beta_1 \Delta h_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} \right) + \\ & + S_2^M \left(\beta_2 \Delta h_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \Delta h_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} \right) - \\ & - \tau_1^M \beta_1^2 \Delta h_{\tau-\nu_1}^M - \tau_2^M \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_2}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_1-\nu_2}^M \end{aligned} \quad (2.155)$$

gde su τ , ν , S_i , τ_i - dati izrazom (2.59), (2.133) i (2.134).

Ako se uvedu oznake (2.87), onda se jednačina (2.155) može napisati i u bezdimenzionalnom obliku:

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^M &= S_1^M \left(\beta_1 v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 v_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} \right) + \\
 &+ S_2^M \left(\beta_2 v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 v_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} \right) - \\
 &- \tau_1^M \beta_1^2 v_{\tau - v_1}^M - \tau_2^M \beta_2^2 v_{\tau - v_2}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 v_{\tau - v_1 - v_2}^M .
 \end{aligned}
 \tag{2.156}$$

Ako treba da se odredi pritisak u tački M koja se nalazi između dva čvora (Sl. 2.20) N_1 i N_2 , treba poći od izraza (2.156). Pošto, između dva čvora, cev ne menja presek, tj. prečnik cevi je $D = \text{const}$, tada je:

$$S_i = 1, \quad \tau_i = 0$$

pa se iz izraza (2.138), dobija:

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^M &= \beta_1 v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 v_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + \beta_2 v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 v_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} + \\
 &+ \beta_1^2 \beta_2^2 v_{\tau - v_1 - v_2}^M
 \end{aligned}
 \tag{2.157}$$

Ako se tačka M nalazi u sredini cevi istog poprečnog preseka, tj. između dva čvora N_1 i N_2 , tada je:

$$L_1 = L_2 = L, \quad \beta_1 = \beta_2 = \beta, \quad v_1 = v_2 = v,$$

pa se može napisati:

$$v_{\tau}^M = \beta v_{\tau - \frac{v}{2}}^{N_1} - \beta^3 v_{\tau - \frac{3v}{2}}^{N_1} + \beta v_{\tau - \frac{v}{2}}^{N_2} - \beta^3 v_{\tau - \frac{3v}{2}}^{N_2} + \beta^4 v_{\tau - 2v}^M
 \tag{2.158}$$

b) Č v o r s a t r i g r a n e (Sl. 2.21)

Pritisak u tački grananja M može se naći polazeći od jednačine (2.151), na osnovu koje se piše:

$$\begin{aligned} & \frac{A_1}{C_1} \frac{(1+\beta_1^2 e^{-\mu_1 s}) Y^M - 2\beta_1 e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} Y^{N_1}}{1-\beta_1^2 e^{-\mu_1 s}} + \\ & + \frac{A_2}{C_2} \frac{(1+\beta_2^2 e^{-\mu_2 s}) Y^M - 2\beta_2 e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} Y^{N_2}}{1-\beta_2^2 e^{-\mu_2 s}} + \\ & + \frac{A_3}{C_3} \frac{(1+\beta_3^2 e^{-\mu_3 s}) Y^M - 2\beta_3 e^{-\frac{\mu_3 s}{2}} Y^{N_3}}{1-\beta_3^2 e^{-\mu_3 s}} = 0 \end{aligned} \quad (2.159)$$

Sredjivanjem ovog izraza, dobija se lik:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{A_1}{C_1} (1+\beta_1^2 e^{-\mu_1 s} - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} - \beta_3^2 e^{-\mu_3 s} - \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1+\mu_2)s} - \right. \\ & \left. - \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1+\mu_3)s} + \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2+\mu_3)s} + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s}) + \right. \\ & + \frac{A_2}{C_2} (1-\beta_1^2 e^{-\mu_1 s} + \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} - \beta_3^2 e^{-\mu_3 s} - \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1+\mu_2)s} + \\ & \left. + \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1+\mu_3)s} - \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2+\mu_3)s} + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s}) + \right. \\ & \left. + \frac{A_3}{C_3} (1-\beta_1^2 e^{-\mu_1 s} - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} + \beta_3^2 e^{-\mu_3 s} + \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1+\mu_2)s} - \right. \\ & \left. - \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1+\mu_3)s} - \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2+\mu_3)s} + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)s}) \right] Y^M = \\ & = 2 \frac{A_1}{C_1} \left(\beta_1 e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} - \beta_1 \beta_2 e^{-(\mu_2+\frac{\mu_1}{2})s} - \beta_1 \beta_3 e^{-(\mu_3+\frac{\mu_1}{2})s} + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3 + \frac{\mu_1}{2})s} Y^{N_1} + \\
 & + 2 \frac{A_2}{C_2} \left(\beta_2 e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} - \beta_2 \beta_1^2 e^{-(\mu_1 + \frac{\mu_2}{2})s} - \beta_2 \beta_3^2 e^{-(\mu_3 + \frac{\mu_2}{2})s} + \right. \\
 & + \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3 + \frac{\mu_2}{2})s} \left. \right) Y^{N_2} + \\
 & + 2 \frac{A_3}{C_3} \left(\beta_3 e^{-\frac{\mu_3 s}{2}} - \beta_3 \beta_1^2 e^{-(\mu_1 + \frac{\mu_3}{2})s} - \beta_3 \beta_2^2 e^{-(\mu_2 + \frac{\mu_3}{2})s} + \right. \\
 & + \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \frac{\mu_3}{2})s} \left. \right) Y^{N_3} \quad (2.160)
 \end{aligned}$$

Na osnovu izraza za lik (2.160) nalazi se original:

$$\begin{aligned}
 & \frac{A_1}{C_1} \left(\Delta h_t^M + \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1}^M - \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2}^M - \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3}^M - \right. \\
 & - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3}^M + \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3}^M + \\
 & \left. + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M \right) + \\
 & + \frac{A_2}{C_2} \left(\Delta h_t^M - \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1}^M + \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2}^M - \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^M + \right. \\
 & + \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3}^M - \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M \left. \right) + \\
 & + \frac{A_3}{C_3} \left(\Delta h_t^M - \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1}^M - \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2}^M + \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - \right. \\
 & - \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3}^M - \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M \left. \right) = \\
 & = 2 \frac{A_1}{C_1} \left(\beta_1 \Delta h_{t-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + \right. \\
 & \left. + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} \right) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 2 \frac{A_2}{C_2} \left(\beta_2 \Delta h_{t-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} \right. \\
 &+ \left. \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} \right) + \\
 &+ 2 \frac{A_3}{C_3} \left(\beta_3 \Delta h_{t-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} \right. \\
 &+ \left. \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\frac{\mu_3}{2}}^{N_3} \right). \quad (2.161)
 \end{aligned}$$

Iz ovog izraza može se naći pritisak u čvoru M - Δh_{τ}^M

$$\begin{aligned}
 \Delta h_{\tau}^M = & s_1^M \left(\beta_1 \Delta h_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} \right. \\
 & + \left. \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\nu_3-\frac{\nu_1}{2}}^{N_1} \right) + \\
 & + s_2^M \left(\beta_2 \Delta h_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \Delta h_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} \right. \\
 & + \left. \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^{N_2} \right) + \\
 & + s_3^M \left(\beta_3 \Delta h_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_1^2 \Delta h_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^{N_3} \right. \\
 & + \left. \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_1-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^{N_3} \right) - \\
 & - \tau_1^M \left(\beta_1^2 \Delta h_{\tau-\nu_1}^M + \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\nu_3}^M \right) - \tau_2^M \left(\beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_2}^M + \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_1-\nu_3}^M \right) - \\
 & - \tau_3^M \left(\beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_3}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_1-\nu_2}^M \right) - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_1-\nu_2-\nu_3}^M. \quad (2.162)
 \end{aligned}$$

Na osnovu izraza (2.87), pritisak u čvoru M može se napisati u bezdimenzionalnom obliku:

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^M = & S_1^M \left(\beta_1 v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 v_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_3^2 v_{\tau - v_3 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_2 - v_3 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} \right) + \\
 & + S_2^M \left(\beta_2 v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 v_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_3^2 v_{\tau - v_3 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} + \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_1 - v_3 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} \right) + \\
 & + S_3^M \left(\beta_3 v_{\tau - \frac{v_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_1^2 v_{\tau - v_1 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_2^2 v_{\tau - v_2 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} + \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 v_{\tau - v_1 - v_2 - \frac{v_3}{2}}^{N_3} \right) - \\
 & - \tau_1^M \left(\beta_1^2 v_{\tau - v_1}^M + \beta_2^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_2 - v_3}^M \right) - \tau_2^M \left(\beta_2^2 v_{\tau - v_2}^M + \beta_1^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_1 - v_3}^M \right) - \\
 & - \tau_3^M \left(\beta_3^2 v_{\tau - v_3}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 v_{\tau - v_1 - v_2}^M \right) - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_1 - v_2 - v_3}^M. \quad (2.163)
 \end{aligned}$$

c) Čvor sa četiri grane (Sl. 2.22)

Pritisak u čvoru M može se naći polazeći od jednačine (2.151) i piše se:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_1}{C_1} \frac{(1 + \beta_1^2 e^{-\mu_1 s}) Y^M - 2\beta_1 e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} Y^{N_1}}{1 - \beta_1^2 e^{-\mu_1 s}} + \frac{A_2}{C_2} \frac{(1 + \beta_2^2 e^{-\mu_2 s}) Y^M - 2\beta_2 e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} Y^{N_2}}{1 - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s}} + \\
 + \frac{A_3}{C_3} \frac{(1 + \beta_3^2 e^{-\mu_3 s}) Y^M - 2\beta_3 e^{-\frac{\mu_3 s}{2}} Y^{N_3}}{1 - \beta_3^2 e^{-\mu_3 s}} + \frac{A_4}{C_4} \frac{(1 + \beta_4^2 e^{-\mu_4 s}) Y^M - 2\beta_4 e^{-\frac{\mu_4 s}{2}} Y^{N_4}}{1 - \beta_4^2 e^{-\mu_4 s}} = 0
 \end{aligned} \quad (2.164)$$

Sredjivanjem ovog izraza dobija se lik:

$$\left[\frac{A_1}{C_1} \left(1 + \beta_1^2 e^{-\mu_1 s} - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} - \beta_3^2 e^{-\mu_3 s} - \beta_4^2 e^{-\mu_4 s} - \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2) s} - \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
 & -\beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3)s} - \beta_1^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_4)s} + \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3)s} + \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_4)s} + \\
 & + \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_3 + \mu_4)s} + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)s} + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_4)s} + \\
 & + \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3 + \mu_4)s} - \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3 + \mu_4)s} - \\
 & - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)s} + \\
 & + \frac{A_2}{C_2} (1 - \beta_1^2 e^{-\mu_1 s} + \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} - \beta_3^2 e^{-\mu_3 s} - \beta_4^2 e^{-\mu_4 s} - \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2)s} + \\
 & + \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3)s} + \beta_1^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_4)s} - \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3)s} - \\
 & - \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_4)s} + \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_3 + \mu_4)s} + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)s} + \\
 & + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_4)s} - \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3 + \mu_4)s} + \\
 & + \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3 + \mu_4)s} - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)s} + \\
 & + \frac{A_3}{C_3} (1 - \beta_1^2 e^{-\mu_1 s} - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} + \beta_3^2 e^{-\mu_3 s} - \beta_4^2 e^{-\mu_4 s} + \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2)s} - \\
 & - \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3)s} + \beta_1^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_4)s} - \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3)s} + \\
 & + \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_4)s} - \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_3 + \mu_4)s} + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)s} - \\
 & - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_4)s} + \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3 + \mu_4)s} + \\
 & + \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3 + \mu_4)s} - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)s} + \\
 & + \frac{A_4}{C_4} (1 - \beta_1^2 e^{-\mu_1 s} - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} - \beta_3^2 e^{-\mu_3 s} + \beta_4^2 e^{-\mu_4 s} + \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2)s} + \\
 & + \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3)s} - \beta_1^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_4)s} + \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3)s} -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_4)s} - \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_3 + \mu_4)s} - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)s} + \\
 & + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_4)s} + \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3 + \mu_4)s} + \\
 & + \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3 + \mu_4)s} - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)s} \Big] Y^M = \\
 & = 2 \frac{A_1}{C_1} \left(\beta_1 e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} - \beta_1 \beta_2^2 e^{-(\mu_2 + \frac{\mu_1}{2})s} - \beta_1 \beta_3^2 e^{-(\mu_3 + \frac{\mu_1}{2})s} - \beta_1 \beta_4^2 e^{-(\mu_4 + \frac{\mu_1}{2})s} + \right. \\
 & + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3 + \frac{\mu_1}{2})s} + \beta_1 \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_4 + \frac{\mu_1}{2})s} + \\
 & \left. + \beta_1 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_3 + \mu_4 + \frac{\mu_1}{2})s} - \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \frac{\mu_1}{2})s} \right) Y^{N_1} + \\
 & + 2 \frac{A_2}{C_2} \left(\beta_2 e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} - \beta_2 \beta_1^2 e^{-(\mu_1 + \frac{\mu_2}{2})s} - \beta_2 \beta_3^2 e^{-(\mu_3 + \frac{\mu_2}{2})s} - \beta_2 \beta_4^2 e^{-(\mu_4 + \frac{\mu_2}{2})s} + \right. \\
 & + \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3 + \frac{\mu_2}{2})s} + \beta_2 \beta_1^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_4 + \frac{\mu_2}{2})s} + \\
 & \left. + \beta_2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_3 + \mu_4 + \frac{\mu_2}{2})s} - \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3 + \mu_4 + \frac{\mu_2}{2})s} \right) Y^{N_2} + \\
 & + 2 \frac{A_3}{C_3} \left(\beta_3 e^{-\frac{\mu_3 s}{2}} - \beta_3 \beta_1^2 e^{-(\mu_1 + \frac{\mu_3}{2})s} - \beta_3 \beta_2^2 e^{-(\mu_2 + \frac{\mu_3}{2})s} - \beta_3 \beta_4^2 e^{-(\mu_4 + \frac{\mu_3}{2})s} + \right. \\
 & + \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \frac{\mu_3}{2})s} + \beta_3 \beta_1^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_4 + \frac{\mu_3}{2})s} + \\
 & \left. + \beta_3 \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_2 + \mu_4 + \frac{\mu_3}{2})s} - \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_4 + \frac{\mu_3}{2})s} \right) Y^{N_3} + \\
 & + \frac{A_4}{C_4} \left(\beta_4 e^{-\frac{\mu_4 s}{2}} - \beta_4 \beta_1^2 e^{-(\mu_1 + \frac{\mu_4}{2})s} - \beta_4 \beta_2^2 e^{-(\mu_2 + \frac{\mu_4}{2})s} + \beta_4 \beta_3^2 e^{-(\mu_3 + \frac{\mu_4}{2})s} + \right. \\
 & + \beta_4 \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \frac{\mu_4}{2})s} + \beta_4 \beta_1^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_3 + \frac{\mu_4}{2})s} + \\
 & \left. + \beta_4 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_2 + \mu_3 + \frac{\mu_4}{2})s} - \beta_4 \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \frac{\mu_4}{2})s} \right) Y^{N_4} \quad (2.165)
 \end{aligned}$$

Na osnovu izraza za lik (2.165) nalazi se original:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\Delta_1}{C_1} \left(\Delta \hat{h}_t^M + \beta_1^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1}^M - \beta_2^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2}^M - \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_3}^M - \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_4}^M - \right. \\
 & - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2}^M - \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_3}^M - \beta_1^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2-\mu_3}^M + \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2-\mu_4}^M + \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_3-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^M - \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M - \\
 & \left. - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M \right) + \\
 & + \frac{\Delta_2}{C_2} \left(\Delta \hat{h}_t^M - \beta_1^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1}^M + \beta_2^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2}^M - \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_3}^M - \right. \\
 & - \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_4}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2}^M + \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_3}^M + \\
 & + \beta_1^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_4}^M - \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2-\mu_3}^M - \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_3-\mu_4}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M + \\
 & + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^M - \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M \left. \right) + \\
 & + \frac{\Delta_3}{C_3} \left(\Delta \hat{h}_t^M - \beta_1^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1}^M - \beta_2^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_2}^M + \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_3}^M - \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_4}^M + \right. \\
 & + \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_2}^M - \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_3}^M + \beta_1^2 \beta_4^2 \Delta \hat{h}_{t-\mu_1-\mu_4}^M -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3}^M + \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_4}^M - \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_3-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^M + \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M - \\
 & - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M) + \\
 & + \frac{\Lambda_4}{C_4} (\Delta h_t^M - \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1}^M - \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2}^M - \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3}^M + \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^M + \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3}^M - \beta_1^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3}^M - \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_4}^M - \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_3-\mu_4}^M - \\
 & - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^M + \\
 & + \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^M + \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M - \\
 & - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^M) = \\
 & = 2 \frac{\Lambda_1}{C_1} (\beta_1 \Delta h_{t-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - \\
 & - \beta_1 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_4-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + \\
 & + \beta_1 \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_4-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + \beta_1 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_3-\mu_4-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - \\
 & - \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1}) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 2 \frac{\lambda_2}{c_2} \left(\beta_2 \Delta h_{t-\mu_2}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^{N_2} - \beta_2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3-\mu_2}^{N_2} - \right. \\
 &- \beta_2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_4-\mu_2}^{N_2} + \beta_2 \beta_1 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_2}^{N_2} + \beta_2 \beta_1 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_4-\mu_2}^{N_2} + \\
 &+ \beta_2 \beta_3 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_3-\mu_4-\mu_2}^{N_2} - \beta_2 \beta_1 \beta_3 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4-\mu_2}^{N_2} \left. \right) + \\
 &+ 2 \frac{\lambda_3}{c_3} \left(\beta_3 \Delta h_{t-\mu_3}^{N_3} - \beta_3 \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3}^{N_3} - \beta_3 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3}^{N_3} - \right. \\
 &- \beta_3 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_4-\mu_3}^{N_3} + \beta_3 \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3}^{N_3} + \\
 &+ \beta_3 \beta_1 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_4-\mu_3}^{N_3} + \beta_3 \beta_2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_4-\mu_3}^{N_3} - \\
 &- \beta_3 \beta_1 \beta_2 \beta_4^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4-\mu_3}^{N_3} \left. \right) + \\
 &+ 2 \frac{\lambda_4}{c_4} \left(\beta_4 \Delta h_{t-\mu_4}^{N_4} - \beta_4 \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_4}^{N_4} - \beta_4 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_4}^{N_4} - \right. \\
 &- \beta_4 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_3-\mu_4}^{N_4} + \beta_4 \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_4}^{N_4} + \\
 &+ \beta_4 \beta_1 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_3-\mu_4}^{N_4} + \beta_4 \beta_2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^{N_4} - \\
 &- \beta_4 \beta_1 \beta_2 \beta_3^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2-\mu_3-\mu_4}^{N_4} \left. \right). \tag{2.166}
 \end{aligned}$$

Iz izraza (2.166) nalazi se pritisak u čvoru M- Δh_{τ}^M

$$\begin{aligned}
 \Delta h_{\tau}^M &= S_1^M \left(\beta_1 \Delta h_{\tau-\nu_1}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\nu_1}^{N_1} - \beta_1 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_3-\nu_1}^{N_1} - \right. \\
 &- \beta_1 \beta_4^2 \Delta h_{\tau-\nu_4-\nu_1}^{N_1} + \beta_1 \beta_2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\nu_3-\nu_1}^{N_1} + \\
 &+ \beta_1 \beta_2 \beta_4^2 \Delta h_{\tau-\nu_2-\nu_4-\nu_1}^{N_1} + \beta_1 \beta_3 \beta_4^2 \Delta h_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_1}^{N_1} \left. \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \nu_3 - \nu_4 - \frac{\nu_1}{2}}^{N_1} \Big) + \\
 & + S_2^M \left(\beta_2 \Delta \dot{h}_{\tau - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_3 - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \right. \\
 & - \beta_2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_4 - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} + \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_3 - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} + \beta_2 \beta_1^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_4 - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} + \\
 & + \beta_2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_3 - \nu_4 - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_3 - \nu_4 - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} - \\
 & \left. - \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_3}^M - \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_3 - \nu_4}^M \right) + \\
 & + S_3^M \left(\beta_3 \Delta \dot{h}_{\tau - \frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_1^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_2^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - \right. \\
 & - \beta_3 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_4 - \frac{\nu_3}{2}}^{N_3} + \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_2 - \frac{\nu_3}{2}}^{N_3} + \beta_3 \beta_1^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_4 - \frac{\nu_3}{2}}^{N_3} + \\
 & + \beta_3 \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \nu_4 - \frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_2 - \nu_4 - \frac{\nu_3}{2}}^{N_3} - \\
 & \left. - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_2}^M - \beta_1^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_4}^M - \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \nu_4}^M \right) + \\
 & + S_4^M \left(\beta_4 \Delta \dot{h}_{\tau - \frac{\nu_4}{2}}^{N_4} - \beta_4 \beta_1^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \frac{\nu_4}{2}}^{N_4} - \beta_4 \beta_2^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \frac{\nu_4}{2}}^{N_4} - \right. \\
 & - \beta_4 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_3 - \frac{\nu_4}{2}}^{N_4} + \beta_4 \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_2 - \frac{\nu_4}{2}}^{N_4} + \beta_4 \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_3 - \frac{\nu_4}{2}}^{N_4} + \\
 & + \beta_4 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \nu_3 - \frac{\nu_4}{2}}^{N_4} - \beta_4 \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1 - \nu_2 - \nu_3 - \frac{\nu_4}{2}}^{N_4} - \\
 & \left. - \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \nu_3}^M \right) - \\
 & - \tau_1^M \left(\beta_1^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_1}^M + \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \nu_3}^M + \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \nu_4}^M + \right. \\
 & \left. + \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_3 - \nu_4}^M - \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta \dot{h}_{\tau - \nu_2 - \nu_3 - \nu_4}^M \right) -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\tau_2^M \left(\beta_2^2 \Delta h_{\tau-v_2}^M + \beta_1^2 \beta_4^2 \Delta h_{\tau-v_1-v_4}^M - \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{\tau-v_1-v_3-v_4}^M \right) - \\
 & -\tau_3^M \left(\beta_3^2 \Delta h_{\tau-v_3}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 \Delta h_{\tau-v_1-v_2-v_4}^M \right) - \\
 & -\tau_4^M \left(\beta_4^2 \Delta h_{\tau-v_4}^M + \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{\tau-v_1-v_2}^M + \beta_1^2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-v_1-v_3}^M - \right. \\
 & \left. - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \Delta h_{\tau-v_1-v_2-v_3}^M \right) + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \Delta h_{\tau-v_1-v_2-v_3-v_4}^M . \quad (2.167)
 \end{aligned}$$

Na osnovu izraza (2.87), pritisak u čvoru M može se napisati u bezdimenzionalnom obliku:

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^M = & S_1^M \left(\beta_1 v_{\tau-\frac{v_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 v_{\tau-v_2-\frac{v_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_3^2 v_{\tau-v_3-\frac{v_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_4^2 v_{\tau-v_4-\frac{v_1}{2}}^{N_1} + \right. \\
 & + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 v_{\tau-v_2-v_3-\frac{v_1}{2}}^{N_1} + \beta_1 \beta_2^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_2-v_4-\frac{v_1}{2}}^{N_1} + \beta_1 \beta_3^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_3-v_4-\frac{v_1}{2}}^{N_1} - \\
 & \left. - \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_2-v_3-v_4-\frac{v_1}{2}}^{N_1} \right) + \\
 & + S_2^M \left(\beta_2 v_{\tau-\frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 v_{\tau-v_1-\frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_3^2 v_{\tau-v_3-\frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_4^2 v_{\tau-v_4-\frac{v_2}{2}}^{N_2} + \right. \\
 & + \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 v_{\tau-v_1-v_3-\frac{v_2}{2}}^{N_2} + \beta_2 \beta_1^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_1-v_4-\frac{v_2}{2}}^{N_2} + \beta_2 \beta_3^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_3-v_4-\frac{v_2}{2}}^{N_2} - \\
 & \left. - \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_1-v_3-v_4-\frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_1^2 \beta_3^2 v_{\tau-v_1-v_3}^M - \beta_3^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_3-v_4}^M \right) + \\
 & + S_3^M \left(\beta_3 v_{\tau-\frac{v_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_1^2 v_{\tau-v_1-\frac{v_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_2^2 v_{\tau-v_2-\frac{v_3}{2}}^{N_3} - \beta_3 \beta_4^2 v_{\tau-v_4-\frac{v_3}{2}}^{N_3} + \right. \\
 & + \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 v_{\tau-v_1-v_2-\frac{v_3}{2}}^{N_3} + \beta_3 \beta_1^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_1-v_4-\frac{v_3}{2}}^{N_3} + \beta_3 \beta_2^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_2-v_4-\frac{v_3}{2}}^{N_3} - \\
 & \left. - \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 v_{\tau-v_1-v_2-v_4-\frac{v_3}{2}}^{N_3} - \beta_1^2 \beta_2^2 v_{\tau-v_1-v_2}^M \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -\beta_1^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_1-v_4}^{q^M} - \beta_2^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_2-v_4}^{q^M} \Big) + \\
 & + S_A^M \left(\beta_4 \psi_{\tau-\frac{v_4}{2}}^{q^{N_4}} - \beta_4 \beta_1^2 \psi_{\tau-v_1-\frac{v_4}{2}}^{q^{N_4}} - \beta_4 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_2-\frac{v_4}{2}}^{q^{N_4}} - \beta_4 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_3-\frac{v_4}{2}}^{q^{N_4}} + \right. \\
 & + \beta_4 \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_1-v_2-\frac{v_4}{2}}^{q^{N_4}} + \beta_4 \beta_1^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_1-v_3-\frac{v_4}{2}}^{q^{N_4}} + \\
 & + \beta_4 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_2-v_3-\frac{v_4}{2}}^{q^{N_4}} - \beta_4 \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_1-v_2-v_3-\frac{v_4}{2}}^{q^{N_4}} - \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_2-v_3}^{q^M} \Big) - \\
 & - \tau_1^M \left(\beta_1^2 \psi_{\tau-v_1}^{q^M} + \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_2-v_3}^{q^M} + \beta_2^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_2-v_4}^{q^M} + \right. \\
 & + \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_3-v_4}^{q^M} - \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_2-v_3-v_4}^{q^M} \Big) - \\
 & - \tau_2^M \left(\beta_2^2 \psi_{\tau-v_2}^{q^M} + \beta_1^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_1-v_4}^{q^M} - \beta_1^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_1-v_3-v_4}^{q^M} \right) - \\
 & - \tau_3^M \left(\beta_3^2 \psi_{\tau-v_3}^{q^M} - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_1-v_2-v_4}^{q^M} \right) - \\
 & - \tau_4^M \left(\beta_4^2 \psi_{\tau-v_4}^{q^M} + \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_1-v_2}^{q^M} + \beta_1^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_1-v_3}^{q^M} - \right. \\
 & \left. - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_1-v_2-v_3}^{q^M} \right) + \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-v_1-v_2-v_3-v_4}^{q^M} . \quad (2.163)
 \end{aligned}$$

4. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA ZA RAZNE GRANIČNE USLOVE

4.1. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA KOD ZANEMARIVANJA TRENJA

a) Z a t v a r a č n a k r a j u c e v i (Sl. 2.8)

Za određivanje pritiska na kraju cevi u tački M, na mestu gde se nalazi zatvarač, polazi se od jednačine (2.57), koja za tačku M glasi:

$$h_t^M + h_{t-\mu}^M - 2h_{t-\frac{\mu}{2}}^M = \frac{c}{g} (V_{t-\mu}^M - V_t^M)$$

odnosno, uvođenjem izraza (2.59) dobija se:

$$v_t^M + v_{t-\nu}^M - 2v_{t-\frac{\nu}{2}}^M = p (q_{t-\nu}^M - q_t^M) \quad (2.62)$$

Na osnovu jednačine (2.101) može se napisati:

$$q_{t-\nu}^M = b^M \alpha_{t-\nu}^M \left(1 + \frac{v_{t-\nu}^M \psi^M}{2} \right) \quad (2.169)$$

Rešavanjem jednačina (2.62), (2.101) i (2.169) dobija se izraz za proračun pritiska na kraju cevi, u tački M -

v_t^M :

$$v_t^M = \frac{pb^M (\alpha_{t-\nu}^M - \alpha_t^M) + \left(\frac{1}{2} pb^M \psi^M \alpha_{t-\nu}^M - 1 \right) v_{t-\nu}^M + 2v_{t-\frac{\nu}{2}}^M}{1 + \frac{1}{2} pb^M \psi^M \alpha_t^M} \quad (2.170)$$

$$\alpha_t = \alpha_0 \pm \frac{t}{L_z}$$

Treba napomenuti da je ovde:

$$v_{\tau}^M = \frac{h_{\tau}^M - h_0}{H_*}; \quad \rho = \frac{c Q_*}{g A H_*}; \quad b^M = \frac{Q_0^M}{Q_*}; \quad \psi^M = \frac{H_*}{h_0^M}; \quad h_0^M = h_0$$

Ako se za proračun pritiska u tački M usvoji da je:

$H_* = h_0$ - pritisak na mestu zatvarača i

$Q_* = Q_0$ - proticaj kroz potpuno otvoren zatvarač,
tada je:

$$b = 1, \quad \psi = 1, \quad \rho = \frac{c Q_0}{g A h_0}$$

pa jednačina (2.170) dobija ovaj oblik:

$$v_{\tau}^M = \frac{\rho(\alpha_{\tau-\nu}^M - \alpha_{\tau}^M) + \left(\frac{1}{2} \rho \alpha_{\tau-\nu}^M - 1\right) v_{\tau-\nu}^M + 2 v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^N}{1 + \frac{1}{2} \rho \alpha_{\tau}^M} \quad (2.171)$$

Za trenutke vremena odmah posle zatvaranja zatvarača dobija se, za granični uslov $q_{\tau}^M = 0$ iz (2.62):

$$v_{\tau}^M = -v_{\tau-\nu}^M + 2 v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^N \quad (2.172)$$

Isti izraz se dobija i iz (2.170) i (2.171) ako je $\alpha = 0$ - uslov potpuno zatvorenog zatvarača.

b) C e v s a p o t p u n o z a t v o r e n i m k r a j e m
(Sl. 2.9)

Granični uslov za zatvoren kraj je $q_{\tau}^M = 0$, pa ako

se ovo unese u jednačinu (2.62) dobija se jednačina za proračun pritiska u tački M - koja je potpuno zatvorena:

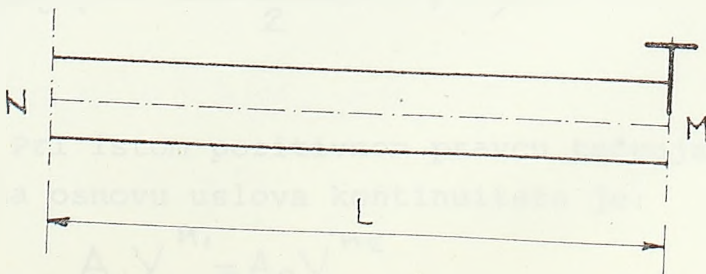
$$v_{\tau}^M = -v_{\tau-v}^M + 2v_{\tau-\frac{v}{2}}^N \quad (2.173)$$

d) Isticanje u atmosferu iz delimično otvorene cevi (zatvarač delimično otvoren)

Granični uslov je:

$$q_{\tau}^M = b^M \alpha_{\tau}^M \left(1 + \frac{v_{\tau}^M \psi^M}{2} \right) \quad (2.174)$$

$$\alpha_{\tau}^M = \text{const}$$



Jednačina za proračun pritiska u tački M usled hidrauličkog udara dobija se iz izraza (2.170) u koji se unosi:

$$\alpha_{\tau-v}^M = \alpha_{\tau}^M = \text{const},$$

pa je:

$$v_{\tau}^M = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho b^M \psi^M \alpha_{\tau}^M - 1\right) v_{\tau-v}^M + 2 v_{\tau-v}^N}{1 + \frac{1}{2} \rho b^M \psi^M \alpha_{\tau}^M} \quad (2.175)$$

$$\alpha_{\tau}^M = \text{const}.$$

e) Z a t v a r a č n a c e v i (Sl. 2.11)

Isticanje kroz zatvarač u tački M, koji nije na kraju cevi, već se nalazi između dva čvora N_1 i N_2 , podčinjava se zakonu koji je dat izrazom (2.109) - granični uslov u tački M:

$$q_{\tau}^M = b^M \alpha_{\tau}^M \left(1 + \frac{\Delta h_{\tau}^{M_1} - \Delta h_{\tau}^{M_2}}{2H_*} \psi^M \right) \quad (2.109)$$

Izraz (2.109) može se napisati u bezdimenzionalnom obliku:

$$q_{\tau}^M = b^M \alpha_{\tau}^M \left(1 + \frac{v_{\tau}^{M_1} - v_{\tau}^{M_2}}{2} \psi^M \right) \quad (2.176)$$

Pri istom pozitivnom pravcu tečenja u granama N_1M i N_2M na osnovu uslova kontinuiteta je:

$$A_1 v^{M_1} = A_2 v^{M_2}$$

Za granu 1 (cev 1) - $N_1 M_1$ može se napisati na osnovu jednačine (2.62) za tačku M_1 :

$$\psi_{\tau}^{M_1} + \psi_{\tau-v_1}^{M_1} - 2\psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^{N_1} = \rho_1 \left(q_{\tau-v_1}^{M_1} - q_{\tau}^{M_1} \right) \quad (2.177)$$

a za granu 2 (cev 2) - $M_2 N_2$ - za tačku M_2 :

$$\psi_{\tau}^{M_2} + \psi_{\tau-v_2}^{M_2} - 2\psi_{\tau-\frac{v_2}{2}}^{N_2} = \rho_2 \left(q_{\tau-v_2}^{M_2} - q_{\tau}^{M_2} \right) \quad (2.178)$$

Izraz (2.176) unosi se u (2.177) i (2.178), pa se dobija:

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^{M_1} + \psi_{\tau-v_1}^{M_1} - 2\psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^{N_1} &= \rho_1 b \alpha_{\tau-v_1} \left(1 + \frac{\psi_{\tau-v_1}^{M_1} - \psi_{\tau-v_1}^{M_2}}{2} \psi^M \right) - \\ &- \rho_1 b \alpha_{\tau} \left(1 + \frac{\psi_{\tau}^{M_1} - \psi_{\tau}^{M_2}}{2} \psi^M \right) \\ \psi_{\tau}^{M_2} + \psi_{\tau-v_2}^{M_2} - 2\psi_{\tau-\frac{v_2}{2}}^{N_2} &= \rho_2 b \alpha_{\tau-v_2} \left(1 + \frac{\psi_{\tau-v_2}^{M_1} - \psi_{\tau-v_2}^{M_2}}{2} \psi^M \right) - \\ &- \rho_2 b \alpha_{\tau} \left(1 + \frac{\psi_{\tau}^{M_1} - \psi_{\tau}^{M_2}}{2} \psi^M \right) \end{aligned}$$

Ove dve jednačine mogu se napisati u obliku:

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^{M_1} \left(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \alpha_{\tau} \psi \right) &= \rho_1 b \left(\alpha_{\tau-v_1} - \alpha_{\tau} \right) + \\ &+ \left(\frac{1}{2} \rho_1 b \alpha_{\tau-v_1} \psi - 1 \right) \psi_{\tau-v_1}^{M_1} - \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha_{\tau-v_1} \psi_{\tau-v_1}^{M_2} + \\ &+ 2\psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^{N_1} + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha_{\tau} \psi_{\tau}^{M_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_T^{M_2} (1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \alpha_T \Psi) &= \rho_2 b (\alpha_{T-v_2} - \alpha_T) - (\frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha_{T-v_2} + 1) \mathcal{U}_{T-v_2}^{M_2} + \\ &+ \frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha_{T-v_2} \mathcal{U}_{T-v_2}^{M_1} + 2 \mathcal{U}_{T-\frac{v_2}{2}}^{M_2} - \frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha_T \mathcal{U}_T^{M_1}. \end{aligned}$$

Iz ovih dveju jednačina nalazi se $\mathcal{U}_T^{M_1}$ i $\mathcal{U}_T^{M_2}$:

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_T^{M_1} &= \frac{\rho_1 b (\alpha_T - \alpha_{T-v_1}) (\frac{1}{2} \rho_2 \Psi b \alpha_T - 1) + \frac{1}{2} \rho_1 \rho_2 b^2 \Psi \alpha_T (\alpha_{T-v_2} - \alpha_T)}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} + \\ &+ \frac{(1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha_T) (\frac{1}{2} \rho_1 b \Psi \alpha_{T-v_1} - 1)}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-v_1}^{M_1} + \frac{\frac{1}{4} \rho_1 \rho_2 b^2 \alpha_T \alpha_{T-v_2} \Psi^2}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-v_2}^{M_1} - \\ &- \frac{\frac{1}{2} \rho_1 b \alpha_{T-v_1} (1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha_T) \Psi}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-v_1}^{M_2} - \frac{\frac{1}{2} \rho_1 b \Psi \alpha_T (\frac{1}{2} \rho_2 b \alpha_{T-v_2} + 1)}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-v_2}^{M_2} \\ &+ \frac{2 - \rho_2 b \alpha_T \Psi}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-\frac{v_1}{2}}^{M_1} + \frac{\rho_1 b \alpha_T \Psi}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-\frac{v_2}{2}}^{M_2} \quad (2.179) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_T^{M_2} &= \frac{\rho_2 b (1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \alpha_T \Psi) (\alpha_{T-v_2} - \alpha_T) - \frac{1}{2} \rho_1 \rho_2 b^2 \Psi \alpha_T (\alpha_{T-v_1} - \alpha_T)}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} - \\ &- \frac{\frac{1}{2} \rho_2 b \alpha_T (\frac{1}{2} \rho_1 b \Psi \alpha_{T-v_1} - 1)}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-v_1}^{M_1} + \frac{\frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha_{T-v_2} (1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \Psi \alpha_T)}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-v_2}^{M_1} + \\ &+ \frac{\frac{1}{4} \rho_1 \rho_2 b^2 \alpha_T \alpha_{T-v_1} \Psi^2}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-v_1}^{M_2} - \frac{(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \Psi \alpha_T) (1 + \frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha_{T-v_2})}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_T (\rho_1 - \rho_2) \Psi} \mathcal{U}_{T-v_2}^{M_2} - \end{aligned}$$

$$-\frac{\rho_2 b \psi \alpha_\tau}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_\tau (\rho_1 - \rho_2) \psi} \psi_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + \frac{2 + \rho_1 b \psi \alpha_\tau}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_\tau (\rho_1 - \rho_2) \psi} \psi_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} \quad (2.180)$$

Izrazi (2.179) i (2.180) važe i za zatvaranje i za otvaranje zatvarača, samo je zakon otvaranja ili zatvaranja $\alpha(t)$ različit.

Za trenutke vremena odmah nakon zatvaranja zatvarača važi granični uslov:

$$\rho_{\tau}^M = 0$$

pa se dobijaju jednačine za proračun pritiska usled hidrauličkog udara u obliku:

$$\psi_{\tau}^{M_1} = -\psi_{\tau - v_1}^{M_1} + 2\psi_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} \quad (2.181)$$

$$\psi_{\tau}^{M_2} = -\psi_{\tau - v_2}^{M_2} + 2\psi_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} \quad (2.182)$$

Iste jednačine se dobijaju i za $\alpha=0$ iz (2.179) i (2.180).

Jednačine (2.179) i (2.180) su opšte jednačine za proračun hidrauličkog udara na mestu zatvarača bilo gde se on nalazio.

Ako se zatvarač nalazi na kraju cevi, tada ne postoji tačka M_2 , pa je:

$$\psi_{\tau}^{M_2} = 0 ; \rho_2 = 0 ; \alpha_{\tau - v_2} = 0$$

i ako se uzme da je:

$$\rho_1 = \rho ; v_1 = v ; M_1 = M$$

dobija se:

$$v_{\tau}^{gM} = \frac{\rho b^M (\alpha_{\tau-v}^M - \alpha_{\tau}^M) + \left(\frac{1}{2} \rho b^M \Psi \alpha_{\tau-v}^M - 1\right) v_{\tau-v}^{gM} + 2 v_{\tau-\frac{v}{2}}^{gM}}{1 + \frac{1}{2} \rho b^M \Psi \alpha_{\tau}^M}$$

tj. dobijena je jednačina (2.170).

g) D i j a f r a g m a (Sl. 2.12)

Važi granični uslov (2.176) pa važe i jednačine (2.179) i (2.180) samo je $\alpha = \text{const.}$

Prema tome jednačine za proračun pritiska u tački M-na mestu dijafragme - usled hidrauličkog udara su:

$$\begin{aligned} v_{\tau}^{gM_1} &= \frac{(1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha) (\frac{1}{2} \rho_1 b \Psi \alpha - 1)}{1 + \frac{1}{2} b \Psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} v_{\tau-v_1}^{gM_1} - \\ &- \frac{\frac{1}{2} \rho_1 b \alpha (1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha) \Psi}{1 + \frac{1}{2} b \Psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} v_{\tau-v_1}^{gM_2} + \frac{\frac{1}{4} \rho_1 \rho_2 b^2 \alpha^2 \Psi^2}{1 + \frac{1}{2} b \Psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} v_{\tau-v_1}^{gM_1} \\ &- \frac{\frac{1}{2} \rho_1 b \Psi \alpha (\frac{1}{2} \rho_2 b \Psi \alpha + 1)}{1 + \frac{1}{2} b \Psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} v_{\tau-v_2}^{gM_2} + \frac{2 - \rho_2 b \alpha \Psi}{1 + \frac{1}{2} b \Psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} v_{\tau-\frac{v_1}{2}}^{gM_1} + \\ &+ \frac{\rho_1 b \alpha \Psi}{1 + \frac{1}{2} b \Psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} v_{\tau-\frac{v_2}{2}}^{gM_2} \end{aligned} \quad (2.183)$$

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^{M_2} = & \frac{\frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha (1 - \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha)}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} \psi_{\tau - v_1}^{M_1} + \frac{\frac{1}{4} \rho_1 \rho_2 b^2 \alpha^2 \psi^2}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} \psi_{\tau - v_1}^{M_2} + \\
 & + \frac{\frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha (1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha)}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} \psi_{\tau - v_2}^{M_1} - \frac{(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha)(1 + \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha)}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} \psi_{\tau - v_2}^{M_2} - \\
 & - \frac{\rho_2 b \psi \alpha}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} \psi_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{M_1} + \frac{2 + \rho_1 b \alpha \psi}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} \psi_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{M_2}
 \end{aligned} \tag{2.184}$$

4.2. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA KOD UZIMANJA U RAČUN TRENJA

a) Z a t v a r a č n a k r a j u c e v i (Sl. 2.8)

Veličina pritiska u tački M može se naći na osnovu jednačina (2.88), (2.101) i (2.169) tj.:

$$\psi_{\tau}^M + \beta^2 \psi_{\tau - v}^M - 2\beta \psi_{\tau - \frac{v}{2}}^M = \rho [\beta^2 (q_{\tau - v}^M - q_{\tau_0}^M) - (q_{\tau}^M - q_{\tau_0}^M)] \tag{2.88}$$

$$q_{\tau}^M = b^M \alpha_{\tau}^M \left(1 + \frac{\psi_{\tau}^M}{2} \psi^M \right) \tag{2.101}$$

$$q_{\tau - v}^M = b^M \alpha_{\tau - v}^M \left(1 + \frac{\psi_{\tau - v}^M}{2} \psi^M \right) \quad q_{\tau_0}^M = b^M \alpha_0^M \tag{2.169}$$

Na osnovu ovih izraza dobija se:

$$\psi_{\tau}^M = \frac{\rho b^M [\beta^2 (\alpha_{\tau - v}^M - \alpha_0^M) - (\alpha_{\tau}^M - \alpha_0^M)] + \beta^2 (\frac{1}{2} \rho b^M \psi^M \alpha_{\tau - v}^M - 1) \psi_{\tau - v}^M + 2\beta \psi_{\tau - \frac{v}{2}}^M}{1 + \frac{1}{2} \rho b^M \psi^M \alpha_{\tau}^M} \tag{2.185}$$

b) C e v s a p o t p u n o z a t v o r e n i m
k r a j e m (Sl. 2.9)

Granični uslov je:

$$q_{h\tau}^M = 0, \quad q_{h0} = 0, \quad (2.186)$$

pa iz (2.88), dobija se:

$$v_{\tau}^M = -\beta^2 v_{\tau-v}^M + 2\beta v_{\tau-\frac{v}{2}}^N \quad (2.187)$$

d) I s t i c a n j e u a t m o s f e r u i z d e l i m i č-
n o o t v o r e n e c e v i

Za ovaj slučaj dobiće se jednačina za proračun hid-
rauličkog udara iz izraza (2.185), stavljajući $\alpha_0 = \alpha_{\tau} = \alpha_{\tau-v} = \alpha = \text{const}$:

$$v_{\tau}^M = \frac{\beta^2 \left(\frac{1}{2} \rho b^M \psi^M \alpha - 1 \right) v_{\tau-v}^M + 2\beta v_{\tau-\frac{v}{2}}^N}{1 + \frac{1}{2} \rho b^M \psi^M \alpha} \quad (2.188)$$

e) Z a t v a r a č n a c e v i (Sl. 2.11)

Kađa napišemo izraz (2.88) za granu 1 (cev $N_1 M_1$) za tačku M_1 i za granu 2 (cev $N_2 M_2$) za tačku M_2 , dobija se:

$$\mathcal{U}_T^{M_1} + \beta_1^2 \mathcal{U}_{T-\nu_1}^{M_1} - 2\beta_1 \mathcal{U}_{T-\frac{\nu_1}{2}}^{M_1} = \rho_1 [\beta_1^2 (q_{T-\nu_1}^{M_1} - q_0) - (q_T^{M_1} - q_0)] \quad (2.189)$$

$$\mathcal{U}_T^{M_2} + \beta_2^2 \mathcal{U}_{T-\nu_2}^{M_2} - 2\beta_2 \mathcal{U}_{T-\frac{\nu_2}{2}}^{M_2} = \rho_2 [\beta_2^2 (q_{T-\nu_2}^{M_2} - q_0) - (q_T^{M_2} - q_0)] \quad (2.190)$$

Ako se u jednačine (2.189) i (2.190) unese izraz (2.176), dobija se:

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_T^{M_1} + \beta_1^2 \mathcal{U}_{T-\nu_1}^{M_1} - 2\beta_1 \mathcal{U}_{T-\frac{\nu_1}{2}}^{M_1} &= \rho_1 \beta_1^2 \left[b\alpha_{T-\nu_1} \left(1 + \frac{\mathcal{U}_{T-\nu_1}^{M_1} - \mathcal{U}_{T-\nu_1}^{M_2}}{2} \psi \right) - b\alpha_0 \right] - \\ &- \rho_1 \left[b\alpha_T \left(1 + \frac{\mathcal{U}_T^{M_1} - \mathcal{U}_T^{M_2}}{2} \psi \right) - b\alpha_0 \right] \\ \mathcal{U}_T^{M_2} + \beta_2^2 \mathcal{U}_{T-\nu_2}^{M_2} - 2\beta_2 \mathcal{U}_{T-\frac{\nu_2}{2}}^{M_2} &= \rho_2 \beta_2^2 \left[b\alpha_{T-\nu_2} \left(1 + \frac{\mathcal{U}_{T-\nu_2}^{M_1} - \mathcal{U}_{T-\nu_2}^{M_2}}{2} \psi \right) - b\alpha_0 \right] - \\ &- \rho_2 b\alpha_T \left(1 + \frac{\mathcal{U}_T^{M_1} - \mathcal{U}_T^{M_2}}{2} \psi \right) + \rho_2 b\alpha_0 \end{aligned}$$

Odavde se može dobiti:

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_T^{M_1} \left(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha_T \right) &= \rho_1 \beta_1^2 b (\alpha_{T-\nu_1} - \alpha_0) - \rho_1 b (\alpha_T - \alpha_0) + \\ \beta_1^2 \left(\frac{1}{2} \rho_1 b \alpha_{T-\nu_1} \psi - 1 \right) \mathcal{U}_{T-\nu_1}^{M_1} &- \frac{1}{2} \rho_1 b \beta_1^2 \psi \alpha_{T-\nu_1} \mathcal{U}_{T-\nu_1}^{M_2} + \\ + 2\beta_1 \mathcal{U}_{T-\frac{\nu_1}{2}}^{M_1} + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha_T \mathcal{U}_T^{M_2} \\ \mathcal{U}_T^{M_2} \left(1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha_T \right) &= \rho_2 b \beta_2^2 (\alpha_{T-\nu_2} - \alpha_0) - \rho_2 b (\alpha_T - \alpha_0) - \end{aligned}$$

$$-\beta_2^2 \left(\frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha_{\tau-\nu_2} + 1 \right) \mathcal{U}_{\tau-\nu_2}^{M_2} + \frac{1}{2} \rho_2 b \beta_2^2 \psi \alpha_{\tau-\nu_2} \mathcal{U}_{\tau-\nu_2}^{M_1} +$$

$$+ 2\beta_2 \mathcal{U}_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^{M_2} - \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha_{\tau} \mathcal{U}_{\tau}^{M_1}$$

Iz ovih dveju jednačina nalazi se $\mathcal{U}_{\tau}^{M_1}$ i $\mathcal{U}_{\tau}^{M_2}$:

$$\mathcal{U}_{\tau}^{M_1} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_{\tau} \psi (\rho_1 - \rho_2)} \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \alpha_{\tau} \psi \right) \left[(\alpha_{\tau-\nu_1} - \alpha_0) \beta_1^2 - \right. \right.$$

$$\left. - (\alpha_{\tau} - \alpha_0) \right] \rho_1 b + \frac{1}{2} \rho_1 \rho_2 b^2 \psi \alpha_{\tau} \left[\beta_2^2 (\alpha_{\tau-\nu_2} - \alpha_0) - (\alpha_{\tau} - \alpha_0) \right] +$$

$$+ \beta_1^2 \left(1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha_{\tau} \right) \left(\frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha_{\tau-\nu_1} - 1 \right) \mathcal{U}_{\tau-\nu_1}^{M_1} -$$

$$- \frac{1}{2} \beta_1^2 \rho_1 b \alpha_{\tau-\nu_1} \left(1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha_{\tau} \right) \psi \mathcal{U}_{\tau-\nu_1}^{M_2} +$$

$$+ \frac{1}{4} \rho_1 \rho_2 b^2 \beta_2^2 \psi^2 \alpha_{\tau} \alpha_{\tau-\nu_2} \mathcal{U}_{\tau-\nu_2}^{M_1} - \frac{1}{2} \rho_1 b \beta_2^2 \psi \alpha_{\tau} \left(1 + \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha_{\tau-\nu_2} \right) \times$$

$$\times \mathcal{U}_{\tau-\nu_2}^{M_2} + \beta_1 (2 - \rho_2 b \psi \alpha_{\tau}) \mathcal{U}_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^{M_1} + \rho_1 b \beta_2 \psi \alpha_{\tau} \mathcal{U}_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^{M_2} \left. \right\} \quad (2.191)$$

$$\mathcal{U}_{\tau}^{M_2} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} b \alpha_{\tau} \psi (\rho_1 - \rho_2)} \left\{ \left(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha_{\tau} \right) \left[\beta_2^2 (\alpha_{\tau-\nu_2} - \alpha_0) - \right. \right.$$

$$\left. - (\alpha_{\tau} - \alpha_0) \right] \rho_2 b - \frac{1}{2} \rho_1 \rho_2 b^2 \psi \alpha_{\tau} \left[\beta_1^2 (\alpha_{\tau-\nu_1} - \alpha_0) - (\alpha_{\tau} - \alpha_0) \right] -$$

$$- \frac{1}{2} \rho_2 b \beta_1^2 \psi \alpha_{\tau} \left(\frac{1}{2} \rho_1 b \alpha_{\tau-\nu_1} \psi - 1 \right) \mathcal{U}_{\tau-\nu_1}^{M_1} + \frac{1}{4} \rho_1 \rho_2 b^2 \beta_1^2 \psi^2 \alpha_{\tau} \alpha_{\tau-\nu_1} \mathcal{U}_{\tau-\nu_1}^{M_2} +$$

$$+ \frac{1}{2} \rho_2 b \beta_2^2 \psi \alpha_{\tau-\nu_2} \left(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \alpha_{\tau} \psi \right) \mathcal{U}_{\tau-\nu_2}^{M_1} -$$

$$- \beta_2^2 \left(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha_{\tau} \right) \left(\frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha_{\tau-\nu_2} + 1 \right) \mathcal{U}_{\tau-\nu_2}^{M_2} - \rho_2 b \alpha_{\tau} \psi \beta_1 \mathcal{U}_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^{M_1} +$$

$$+ \beta_2 (2 + \rho_1 b \psi \alpha_{\tau}) \mathcal{U}_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^{M_2} \left. \right\} \quad (2.192)$$

Iz ovih izraza (2.191) i (2.192) može se naći i pritisak kod zatvarača, koji se nalazi na kraju cevi. Tada je:

$$\mathcal{V}_{\tau}^{M_2} = 0, \quad p_2 = 0, \quad \alpha_{\tau-v_2} = 0, \quad p_1 = p, \quad v_1 = v, \quad M_1 = M, \quad N_1 = N :$$

$$\mathcal{V}_{\tau}^M = \frac{\rho b^M [\beta^2 (\alpha_{\tau-v} - \alpha_0^M) - (\alpha_{\tau}^M - \alpha_0^M)] + \beta^2 (\frac{1}{2} \rho b^M \psi^M \alpha_{\tau-v}^M - 1) \mathcal{V}_{\tau-v}^M + 2\beta \mathcal{V}_{\tau-\frac{v}{2}}^N}{1 + \frac{1}{2} \rho b^M \psi^M \alpha_{\tau}^M}$$

tj. dobija se jednačina (2.185) što se i očekivalo.

U gornjim izrazima je:

$$q_{\tau}^M = q_{\tau}^{M_1} = q_{\tau}^{M_2} = b \alpha_{\tau} (1 + \frac{\mathcal{V}_{\tau}^{M_1} - \mathcal{V}_{\tau}^{M_2}}{2} \psi^M)$$

$$q_{\tau-v_1}^M = q_{\tau-v_1}^{M_1} = b \alpha_{\tau-v_1} (1 + \frac{\mathcal{V}_{\tau-v_1}^{M_1} - \mathcal{V}_{\tau-v_1}^{M_2}}{2} \psi^M)$$

$$q_{\tau-v_2}^M = q_{\tau-v_2}^{M_2} = b \alpha_{\tau-v_2} (1 + \frac{\mathcal{V}_{\tau-v_2}^{M_2} - \mathcal{V}_{\tau-v_2}^{M_1}}{2} \psi^M)$$

g) D i j a f r a g m a (Sl. 2.12)

Za proračun pritiska u tački M - na mestu postoja-
nja dijafragme važe iste jednačine kao i za zatvarač na cevi,
tj. jednačine (2.191) i (2.192), samo pri $\alpha = \text{const.}$

Prema tome dobijaju se sledeće jednačine:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{U}_{\tau}^{M_1} = & \frac{1}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} \left[\beta_1^2 \left(1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha \right) \left(\frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha - 1 \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_1}^{M_1} - \right. \\
 & - \frac{1}{2} \rho_1 \beta_1^2 b \psi \alpha \left(1 - \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_1}^{M_2} + \frac{1}{4} \rho_1 \rho_2 b^2 \beta_2^2 \psi^2 \alpha^2 \mathcal{U}_{\tau - \nu_2}^{M_1} - \\
 & - \frac{1}{2} \rho_1 b \beta_2^2 \psi \alpha \left(1 + \frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_2}^{M_2} + \beta_1 \left(2 - \rho_2 b \psi \alpha \right) \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_1}{2}}^{N_1} + \\
 & \left. + \rho_1 b \psi \alpha \beta_2 \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} \right] \quad (2.193)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{U}_{\tau}^{M_2} = & \frac{1}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha (\rho_1 - \rho_2)} \left[\frac{1}{2} \rho_2 b \beta_1^2 \psi \alpha \left(1 - \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_1}^{M_1} + \right. \\
 & + \frac{1}{4} \rho_1 \rho_2 b^2 \beta_1^2 \psi^2 \alpha^2 \mathcal{U}_{\tau - \nu_1}^{M_2} + \frac{1}{2} \rho_2 b \beta_2^2 \psi \alpha \left(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_2}^{M_1} - \\
 & - \beta_2^2 \left(1 + \frac{1}{2} \rho_1 b \psi \alpha \right) \left(\frac{1}{2} \rho_2 b \psi \alpha + 1 \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_2}^{M_2} - \rho_2 b \beta_1 \psi \alpha \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_1}{2}}^{N_1} + \\
 & \left. + \beta_2 \left(2 + \rho_1 b \psi \alpha \right) \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_2}{2}}^{N_2} \right]. \quad (2.194)
 \end{aligned}$$

4.3. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U PUMPNIM CEVOVODIMA

Neka je data mreža, sastavljena od grana koje se snabdevaju vodom pomoću pumpi. Hidraulički udar u takvom sistemu se javlja kod:

- puštanja pumpi u rad pri otvorenom zatvaraču na potisnom vodu,

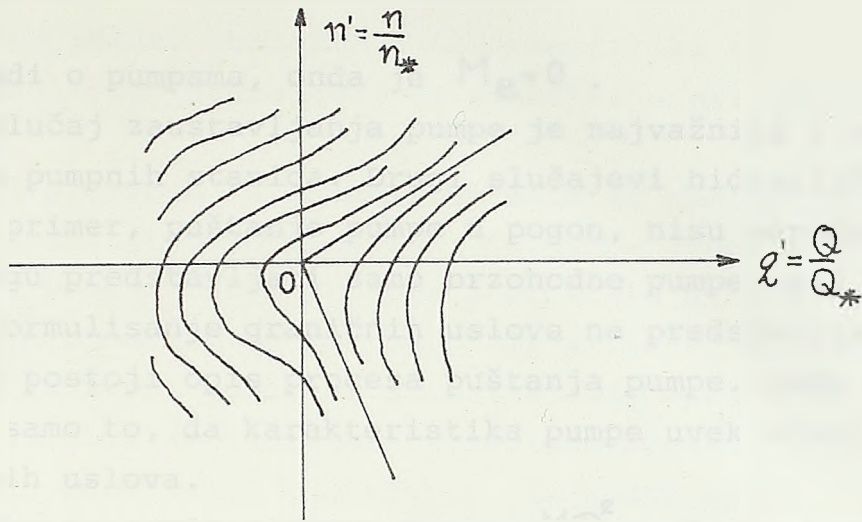
- isključivanja iz rada pumpi automatskih pumpnih stanica kod kojih su zatvarači na pumpi stalno otvoreni,

- prekida rada, zbog nestanka električne energije za pogon, elektromotora.

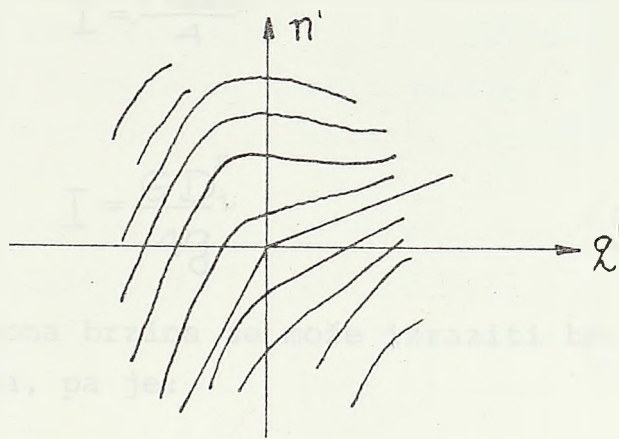
Isključivanje agregata iz pogona pri otvorenom zatvaraču izaziva brze promene protoka u sistemu, praćene velikim promenama pritiska. Prilikom projektovanja hidropostrojenja naročitu pažnju treba posvetiti pojavi hidrauličkog udara i ovu pojavu treba posebno razmatrati, jer su baš tada najveća opterećenja u pumpi i u čitavom postrojenju. Ukoliko se ne ugrađuje nikakva zaštitna oprema od hidrauličkog udara, ova opterećenja su merodavna za dimenzionisanje elemenata postrojenja. Ako se predvidja ugradnja zaštitne opreme od hidrauličkog udara, onda su ovi režimi merodavni za njen izbor i dimenzionisanje. Uzimajući u obzir delovanje zaštitne opreme određuju se ponovo opterećenja za dimenzionisanje čitavog postrojenja.

Da bi se proračunao hidraulički udar moraju se poznavati karakteristike pumpe.

Ona je shematski predstavljena na Sl. 2.23 i Sl. 2.24 gde su u koordinatama $q' = \frac{Q}{Q_*}$ i $\eta' = \frac{\eta}{\eta_*}$ nanesene izolirane relativnih pritisaka $H = \frac{h}{H_*}$ (Sl. 2.23) i momenata $m' = \frac{M}{M_*}$ (Sl. 2.24)



Sl. 2.23



Sl. 2.24

Ovde su Q_* , η_* , H_* , M_* neke osnovne veličine: protok, broj obrtaja, pritisak i moment.

Granični uslovi kod zaustavljanja pumpe su karakteristika (Sl. 2.23) i (Sl. 2.24) i jednačina obrtanja pumpe:

$$I \frac{dw}{dt} = M_e - M \quad (2.195)$$

Pošto se radi o pumpama, onda je $M_e = 0$.

Slučaj zaustavljanja pumpe je najvažniji i osnovni za cevovode pumpnih stanica. Drugi slučajevi hidrauličkog udara kao, na primer, puštanje pumpe u pogon, nisu merodavni. Izuzetak mogu predstavljati samo brzohodne pumpe, ali za te slučajeve formulisanje graničnih uslova ne predstavlja teškoće, ukoliko postoji opis procesa puštanja pumpe. Ovde treba napomenuti samo to, da karakteristika pumpe uvek ulazi u sastav graničnih uslova.

Ako se uvede zamajni moment $M_0 D_i^2$ onda je moment inercije:

$$I = \frac{M_0 D_i^2}{4}$$

ili

$$I = \frac{GD_i^2}{4g} \quad (2.196)$$

Ugaona brzina se može izraziti brojem obrtaja u jedinici vremena, pa je:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (2.197)$$

gde je:

n - broj obrtaja (o/min)

Jednačina (2.195) može se napisati u obliku:

$$\frac{M_0 D_i^2}{120} \pi \frac{dn}{dt} = -M \quad (2.198)$$

odnosno:

$$\frac{GD_0^2}{120g} \pi \frac{dn}{dt} = -M$$

Neposredno korišćenje karakteristika pumpi u proračunima hidrauličkog udara uvek se praktikuje pri ručnom računanju.

Za proračun na računarima može se aproksimirati karakteristike analitičkim izrazima. Za pumpe jedna formula, koja bi davala vezu između protoka i pritiska u širokom dijazonu njihovih promena, ne postoji, ali pitanje je da li se ona i može dobiti. Zato, govoreći o analitičkoj aproksimaciji karakteristika, mogu se dati interpolacione formule sa koeficijentima, koje odražavaju konstantne vrednosti samo u blizini te ili druge tačke režima na karakteristici. Ovde će se dati takva jedna interpolaciona formula, a moguće su i druge i razne ovakve formule, kojih ima više u matematici.

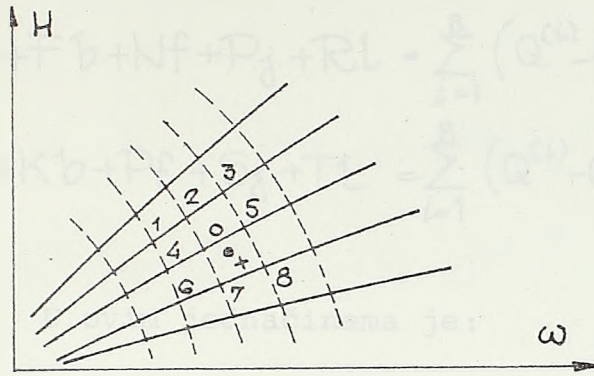
Pri aproksimaciji karakteristika, imaju se u vidu interpolacione formule sa koeficijentima, koje odražavaju konstantne vrednosti samo u blizini te ili druge tačke režima na karakteristici.

Ovde će se primeniti interpolaciona formula, koju je dao N.A.Kartvelišvili [2]. Ova formula i metod proračuna hidrauličkog udara u pumpnim cevovodima može da se primeni i na metodiku datu u ovome radu. Zato na ovome mestu ukratko će se prikazati taj metod i ta interpolaciona formula.

Karakteristike date na Sl. 2.23 i Sl. 2.24 mogu se predstaviti i na drugi način, izolijnijama Q i M u koordinatama h i ω .

$$Q = Q(h, \omega), M = M(h, \omega) \quad (2.199)$$

Neka su neprekidne linije na Sl. 2.25 izolijnije jednakih Q .



Sl. 2.25

Treba nacrtati familiju bliskih jedna drugoj krivih (isprekidane linije), koje su približno ortogonalne na izolije Q . Treba naći vrednost Q u tački X . Najbliži toj tački čvor mreže jeste čvor O i može se predstaviti funkcija $Q=Q(h, \omega)$ u oblasti 1-3-8-6 polinomom drugog stepena:

$$Q = Q^{(0)} + a(h - h^{(0)}) + b(\omega - \omega^{(0)}) + f(h - h^{(0)})^2 + j(h - h^{(0)})(\omega - \omega^{(0)}) + l(\omega - \omega^{(0)})^2 \quad (2.200)$$

Koeficijenti a, b, f, j, l se određuju, na primer, metodom najmanjih kvadrata prema vrednostima Q, h, ω u čvorovima $1, 2, \dots, 8$. Odgovarajući sistem jednačina biće:

$$A_a + Bb + Df + E_j + FL = \sum_{i=1}^8 (Q^{(i)} - Q^{(0)})(h^{(i)} - h^{(0)}) ;$$

$$Ba + Gb + Ef + E_j + Kl = \sum_{i=1}^8 (Q^{(i)} - Q^{(0)})(\omega^{(i)} - \omega^{(0)}) ;$$

$$D_a + E_b + L_f + N_j + P_l = \sum_{i=1}^8 (Q^{(i)} - Q^{(0)}) (h^{(i)} - h^{(0)})^2$$

$$E_a + F_b + N_f + P_j + R_l = \sum_{i=1}^8 (Q^{(i)} - Q^{(0)}) (h^{(i)} - h^{(0)}) (\omega^{(i)} - \omega^{(0)});$$

$$F_a + K_b + P_f + S_j + T_l = \sum_{i=1}^8 (Q^{(i)} - Q^{(0)}) (\omega^{(i)} - \omega^{(0)})^2 \quad (2.201)$$

U ovim jednačinama je:

$$A = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)})^2$$

$$B = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)}) (\omega^{(i)} - \omega^{(0)}); \quad D = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)})^3;$$

$$E = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)})^2 (\omega^{(i)} - \omega^{(0)});$$

$$F = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)}) (\omega^{(i)} - \omega^{(0)})^2;$$

$$G = \sum_{i=1}^8 (\omega^{(i)} - \omega^{(0)})^2; \quad K = \sum_{i=1}^8 (\omega^{(i)} - \omega^{(0)})^3;$$

$$L = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)})^4; \quad N = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)})^3 (\omega^{(i)} - \omega^{(0)});$$

$$P = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)})^2 (\omega^{(i)} - \omega^{(0)})^2;$$

$$R = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)}) (\omega^{(i)} - \omega^{(0)})^3; \quad T = \sum_{i=1}^8 (\omega^{(i)} - \omega^{(0)})^4;$$

$$S = \sum_{i=1}^8 (h^{(i)} - h^{(0)})^2 (\omega^{(i)} - \omega^{(0)})^3;$$

$$Q^{(1)} = Q^{(2)} = Q^{(3)}; \quad Q^{(4)} = Q^{(0)} = Q^{(5)}; \quad Q^{(6)} = Q^{(7)} = Q^{(8)}$$

Analogno ovome može se napisati i interpolacioni polinom za moment M:

$$M = M^{(0)} + a_* (h - h^{(0)}) + b_* (\omega - \omega^{(0)}) + f_* (h - h^{(0)})^2 + j_* (h - h^{(0)}) (\omega - \omega^{(0)}) + l_* (\omega - \omega^{(0)})^2 \quad (2.202)$$

Koeficijenti polinoma (2.200) i (2.202) mogu se izračunati unapred za svaki čvor mreže (Sl. 2.25). Mogući su i drugi interpolacioni metodi numeričke matematike.

Jednačina (2.195) može se napisati:

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{M}{I} \quad (2.203)$$

odnosno, u konačnim razlikama ista glasi:

$$\omega_n - \omega_{n-1} = -(M_n + M_{n-1}) \frac{\Delta t}{2I} \quad (2.204)$$

Na osnovu (2.199) i (2.202) dobija se:

$$M_n = M_{n-1} + \frac{\partial M}{\partial h} (h_n - h_{n-1}) + \frac{\partial M}{\partial \omega} (\omega_n - \omega_{n-1}) = M_{n-1} + a_* (h_n - h_{n-1}) + b_* (\omega_n - \omega_{n-1}) \quad (2.205)$$

U ovim izrazima su $Q^{(0)}$, $h^{(0)}$, $\omega^{(0)}$ vrednosti Q , h , ω u čvoru 0.

Ovde su linearizovane zavisnosti (2.199) i (2.202) što je potpuno dopustivo, jer se ima u vidu mala okolina tačke (ω_{n-1}, h_{n-1}) . Greška je beznačajna. Iz (2.204) i (2.205) dobija se:

$$\omega_n = \omega_{n-1} - \frac{\Delta t}{2I + b_* \Delta t} \left[2M_{n-1} + a_* (h_n - h_{n-1}) \right] \quad (2.206)$$

Za proračun hidrauličkog udara u cevovodima pumpnih uređaja koriste se jednačine (2.200), (2.202), (2.206) i (2.86).

Jednačine (2.200), (2.202) i (2.86) mogu se napisati u obliku:

$$Q_n = Q^{(o)} + a(h_n - h^{(o)}) + b(\omega_n - \omega^{(o)}) + f(h_n - h^{(o)})^2 + j(h_n - h^{(o)})(\omega_n - \omega^{(o)}) + l(\omega_n - \omega^{(o)})^2 \quad (2.207)$$

$$M_n = M^{(o)} + a_*(h_n - h^{(o)}) + b_*(\omega_n - \omega^{(o)}) + f_*(h_n - h^{(o)})^2 + j_*(h_n - h^{(o)})(\omega_n - \omega^{(o)}) + l_*(\omega_n - \omega^{(o)})^2 \quad (2.208)$$

$$h_n^M - h_o^M + \beta^2 (h_{n-v}^M - h_o^M) + \frac{c}{gA} [Q_n^M - Q_o^M - \beta^2 (Q_{n-v}^M - Q_o^M)] = 2\beta (h_{n-\frac{v}{2}}^N - h_o^N) \quad (2.209)$$

odnosno, ako se jednačina (2.209) reši po $Q_n - Q_o$ dobija se:

$$Q_n - Q_o = \beta^2 (Q_{n-v}^M - Q_o^M) - \frac{gA}{c} \left[(h_n^M - h_o^M) + \beta^2 (h_{n-v}^M - h_o^M) - 2\beta (h_{n-\frac{v}{2}}^N - h_o^N) \right] \quad (2.210)$$

$h^{(o)}, Q^{(o)}, \omega^{(o)}, M^{(o)}$ su vrednosti h, Q, ω, M koje su najbliže ka $h_{n-1}, Q_{n-1}, \omega_{n-1}, M_{n-1}$, a Q_o i h_o u jednačini (2.210) - su vrednosti protoka i pritiska pumpe u stacionarnom režimu. Veličina h_o^N je vrednost pritiska h^N u tački grananja koja je najbliža pumpi, takodje u stacionarnom režimu. Interval vremena Δt treba da bude tako izabran da

relativne faze udara svih cevovoda budu celi brojevi. Osim jednačine (2.210) treba napisati još jednačine hidrauličkog udara za sve čvorove mreže, koja se snabdeva pumpom, isto kao što se radilo i za složene cevovode u svim prethodnim slučajevima. Specifičnost proračuna vodnog udara u pumpnim cevovodima vezana je samo sa jednačinama (2.206), (2.207), (2.208) i (2.210).

Treba rešiti jednačine (2.206), (2.207) i (2.210) u odnosu na ω_n , Q_n i h_n . Prethodno treba linearizovati jednačinu (2.207) odbacivši tri poslednja člana na desnoj strani, tj.:

$$Q_n = Q^{(0)} + a(h_n - h^{(0)}) + b(\omega_n - \omega^{(0)}) \quad (2.211)$$

Iz jednačine (2.206), (2.210) i (2.211) dobija se:

$$Q_n = \frac{R(mb - a) - \frac{gA}{c}(bC + B)}{bm - a - \frac{gA}{c}} \quad (2.212)$$

$$h_n = \frac{B + bC - R}{bm - a - \frac{gA}{c}} \quad (2.213)$$

$$\omega_n = \frac{m(R - B) - C(a + \frac{gA}{c})}{bm - a - \frac{gA}{c}} \quad (2.214)$$

gde su:

$$C = \omega_{n-1} - \frac{(2M_{n-1} - a_* h_{n-1}) \Delta t}{2I + b_* \Delta l}$$

$$B = Q^{(0)} - ah^{(0)} - b\omega^{(0)}$$

$$m = \frac{a_* \Delta t}{2I + b_* \Delta t}$$

$$R = Q_0 + \beta^2 (Q_{n-v} - Q_0) + \frac{gA}{C} h_0 - \beta^2 \frac{gA}{C} (h_{n-v} - h_0) + \\ + 2\beta \frac{gA}{C} (h_{n-\frac{v}{2}}^N - h_0^N)$$

veliĉine, koje zavise od $n-1$ isto, kao i $a, b, a_*, b_*, h^{(0)}, \omega^{(0)}, Q^{(0)}$. Odredivši Q_n, h_n i ω_n po formulama (2.212), (2.213) i (2.214) moŹe se zatim izraĉunati M_n po formuli (2.205), koju takodje treba linearizovati, Źto ne daje neku znaĉajniju grešku. Prema vrednostima h_n i Q_n proraĉunava se dalje hidrauliĉki udar u drugim ĉvorovima sistema.

Ako pumpa snabdeva vodom prost cevovod, tada je

$$h_{n-\frac{v}{2}}^N - h_0^N = 0$$

Źto uproŹćava formulu i raĉunski algoritam.

* * * * *

Za proračun hidrauličkog udara u složenim sistemima i mrežama iskorišćava se jednačina (2.57) i (2.128) pri zanemarivanju trenja, odnosno, ako se trenje uzme u račun onda jednačine (2.86) i (2.151).

Za proračun hidrauličkog udara u mreži potrebno je za svaki čvor napisati jednačine (2.128) ili (2.151) i za svaki kraj grane treba pisati jednačine (2.57) ili (2.86) - koristeći granične uslove na tim krajevima grana.

Za svaki čvor u mreži i za svaki kraj cevovoda u mreži može se, pomoću gore razradjene teorije, napisati po jedna jednačina, tako da broj algebarskih jednačina odgovara broju nepoznatih.

Jednačine za proračun hidrauličkog udara u čvorovima zajedno sa jednačinama na krajevima cevi obrazuju zatvoren sistem koji se može rešiti.

Pisanje ovih jednačina za razne sisteme i za najkomplikovanije slučajeve je vrlo jednostavno i prosto. U narednoj III glavi pokazaće se kako se vrlo lako dobijaju ove jednačine za razne opšte slučajeve i za bilo kakvu konfiguraciju hidrauličkog sistema, a sve na osnovu razradjene teorije u ovoj glavi.

* * * * *

GLAVA III

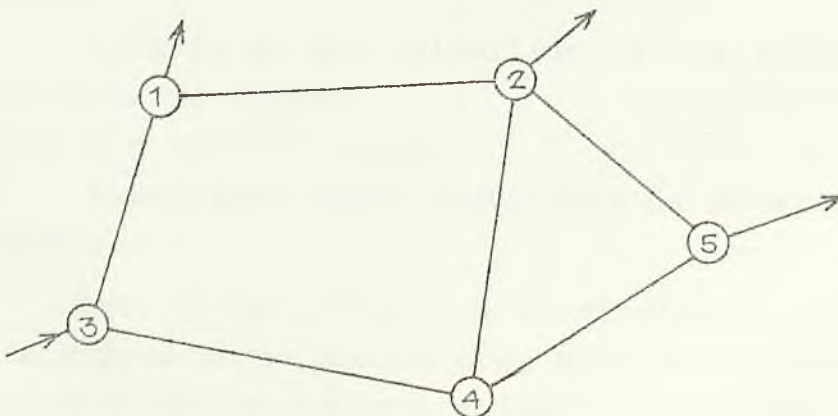
ALGORITAM PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA

1. UVOD

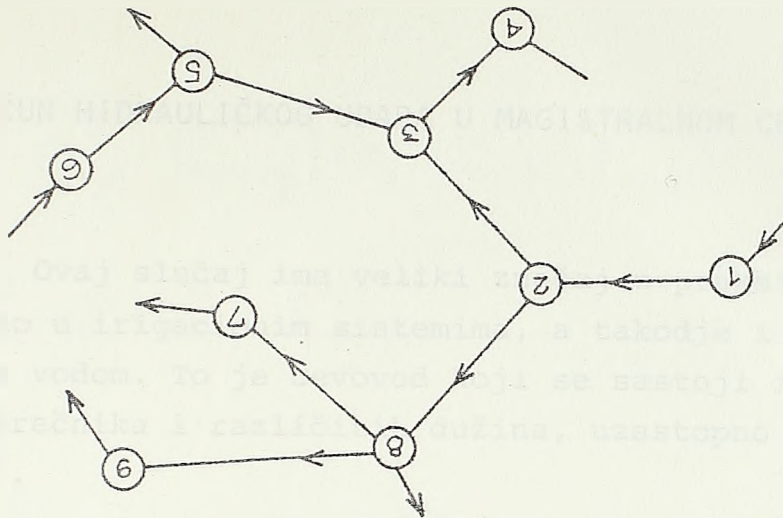
Osnovni topološki elementi hidrauličkih mreža su grane, čvorovi i konture. Mesto spajanja dve i više grana naziva se čvor.

Grana je deo mreže čiji je poprečni presek konstantan.

Cevne mreže mogu biti sa zatvorenim konturama (prstenaste) (Sl. 3.1), razgranate (Sl. 3.2) i mešovite.



Sl. 3.1



Sl. 3.2

U ovoj glavi obradiće se problemi koji se susreću u raznim oblastima tehnike i koje zahteva hidrotehnička praksa. Za različite primere, od najprostijih pa do najsloženijih koji se pojavljuju u praksi primeniće se predlagani metod proračuna hidrauličkog udara. Za ove karakteristične praktične primere napisaće se jednačine i pokazaće se mogućnost, primene razradjene teorije. Pisanje ovih jednačina i za najkomplicovanije slučajeve je veoma lako i jednostavno. Na osnovu ovoga mogu se rešiti i drugi praktični primeri bilo kakve konfiguracije.

Ovde će se dati algoritam za dva slučaja proračuna:

- a) zanemarivanje trenja
- b) uzimanje u račun i trenja

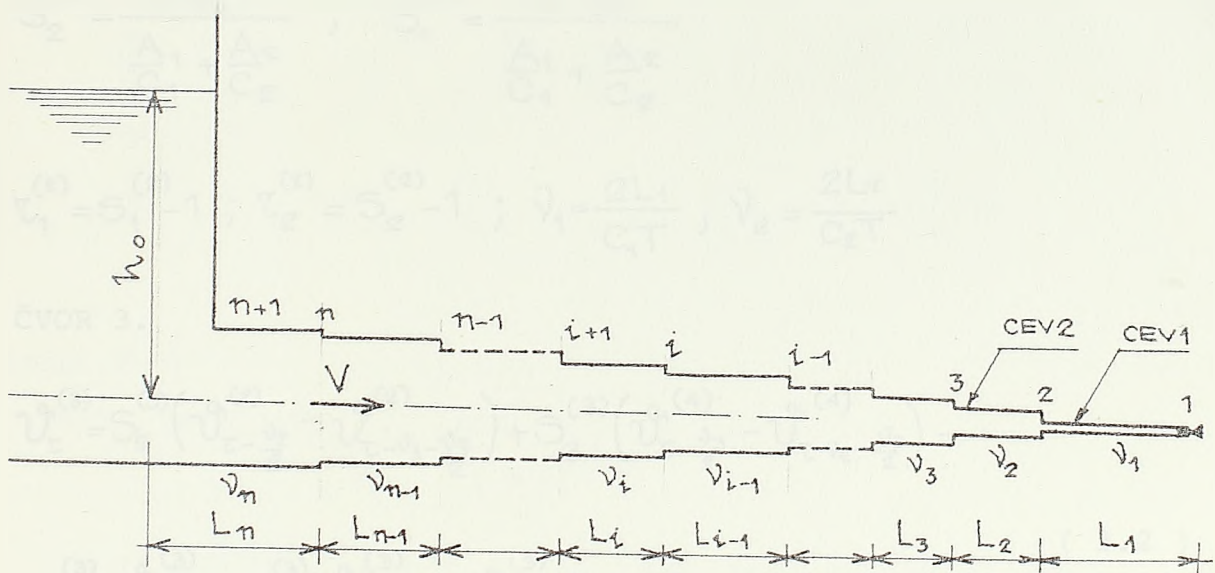
Razradjeni metod dozvoljava da se uzmu u račun oba ova slučaja.

Ovde će se usvojiti i terminologija o tipu cevovoda. Prostim cevovodom se naziva onaj koji ima konstantan prečnik i konstantnu brzinu udarnih talasa c po čitavoj svojoj dužini. Snabdeven je na kraju zatvaračem, kroz koji ističe voda u atmosferu i počinje od basena sa velikom površinom vodenog ogledala. Pritisak u ulaznom preseku cevovoda može se smatrati da je konstantan i da se određuje visinom sloja vode iznda težišta ulaznog preseka.

Svaki cevovod, koji nije prost, nazivaće se složenim.

2. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MAGISTRALNOM CEVOVODU

Ovaj slučaj ima veliki značaj u praksi i javlja se vrlo često u irigacionim sistemima, a takodje i u drugim snabdevanjima vodom. To je cevovod koji se sastoji iz n cevi različitog prečnika i različitih dužina, uzastopno spojenih (Sl. 3.3).



Sl. 3.3

Proračun će se sprovesti za opšti slučaj sistema koji je dat na ovoj slici. Čvorovi su označeni brojevima. Na kraju cevovoda u tački 1 nalazi se zatvarač. Treba napisati jednačine za proračun hidrauličkog udara, prvo za slučaj zanemarivanja trenja, a zatim i jednačine za slučaj uzimanja u račun trenja.

a) Slučaj zanemarivanja trenja

Jednačine za čvorove mogu se napisati na osnovu izraza (2.132):

ČVOR 2.

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^{(2)} = & S_2^{(2)} \left(v_{\tau - \frac{\nu_2}{2}}^{(3)} - v_{\tau - \nu_1 - \frac{\nu_2}{2}}^{(3)} \right) + S_1^{(2)} \left(v_{\tau - \frac{\nu_1}{2}}^{(1)} - v_{\tau - \nu_2 - \frac{\nu_1}{2}}^{(1)} \right) - \\
 & - \tau_2^{(2)} v_{\tau - \nu_2}^{(2)} - \tau_1^{(2)} v_{\tau - \nu_1}^{(2)} + v_{\tau - \nu_1 - \nu_2}^{(2)}
 \end{aligned}$$

(3.1)

gde je:

$$S_2^{(2)} = \frac{2 \frac{A_2}{C_2}}{\frac{A_1}{C_1} + \frac{A_2}{C_2}} ; \quad S_1^{(2)} = \frac{2 \frac{A_1}{C_1}}{\frac{A_1}{C_1} + \frac{A_2}{C_2}}$$

$$\tau_1^{(2)} = S_1^{(2)} - 1 ; \quad \tau_2^{(2)} = S_2^{(2)} - 1 ; \quad \nu_1 = \frac{2L_1}{C_1 T} ; \quad \nu_2 = \frac{2L_2}{C_2 T}$$

ČVOR 3.

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^{(3)} = & S_2^{(3)} \left(v_{\tau - \frac{\nu_2}{2}}^{(2)} - v_{\tau - \nu_3 - \frac{\nu_2}{2}}^{(2)} \right) + S_3^{(3)} \left(v_{\tau - \frac{\nu_3}{2}}^{(4)} - v_{\tau - \nu_2 - \frac{\nu_3}{2}}^{(4)} \right) - \\
 & - \tau_2^{(3)} v_{\tau - \nu_2}^{(3)} - \tau_3^{(3)} v_{\tau - \nu_3}^{(3)} + v_{\tau - \nu_2 - \nu_3}^{(3)}
 \end{aligned}$$

(3.2)

gde je:

$$S_3^{(3)} = \frac{2 \frac{A_3}{C_3}}{\frac{A_2}{C_2} + \frac{A_3}{C_3}} ; \quad S_2^{(3)} = \frac{2 \frac{A_2}{C_2}}{\frac{A_2}{C_2} + \frac{A_3}{C_3}} ; \quad \tau_3^{(3)} = S_3^{(3)} - 1$$

$$\tau_2^{(3)} = S_2^{(3)} - 1 ; \quad \nu_3 = \frac{2L_3}{C_3 T}$$

čvor i

$$\begin{aligned}
 \mathcal{V}_T^{(i)} = & S_i^{(i)} \left(\mathcal{V}_{T-\frac{\nu_i}{2}}^{(i+1)} - \mathcal{V}_{T-\nu_{i-1}-\frac{\nu_i}{2}}^{(i+1)} \right) + S_{i-1}^{(i)} \left(\mathcal{V}_{T-\frac{\nu_{i-1}}{2}}^{(i-1)} - \mathcal{V}_{T-\nu_i-\frac{\nu_{i-1}}{2}}^{(i-1)} \right) - \\
 & - \tau_i^{(i)} \mathcal{V}_{T-\nu_i}^{(i)} - \tau_{i-1}^{(i)} \mathcal{V}_{T-\nu_{i-1}}^{(i)} + \mathcal{V}_{T-\nu_i-\nu_{i-1}}^{(i)} .
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

gde je:

$$S_i^{(i)} = \frac{2 \frac{A_i}{C_i}}{\frac{A_i}{C_i} + \frac{A_{i-1}}{C_{i-1}}} ; \quad S_{i-1}^{(i)} = \frac{2 \frac{A_{i-1}}{C_{i-1}}}{\frac{A_i}{C_i} + \frac{A_{i-1}}{C_{i-1}}} ;$$

$$\tau_i^{(i)} = S_i^{(i)} - 1 ; \quad \tau_{i-1}^{(i)} = S_{i-1}^{(i)} - 1 ; \quad \nu_i = \frac{2L_i}{C_i T} ; \quad \nu_{i-1} = \frac{2L_{i-1}}{C_{i-1} T}$$

čvor $n-1$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{V}_T^{(n-1)} = & S_{n-1}^{(n-1)} \left(\mathcal{V}_{T-\frac{\nu_{n-1}}{2}}^{(n)} - \mathcal{V}_{T-\nu_{n-2}-\frac{\nu_{n-1}}{2}}^{(n)} \right) + \\
 & + S_{n-2}^{(n-1)} \left(\mathcal{V}_{T-\frac{\nu_{n-2}}{2}}^{(n-2)} - \mathcal{V}_{T-\nu_{n-1}-\frac{\nu_{n-2}}{2}}^{(n-2)} \right) - \tau_{n-1}^{(n-1)} \mathcal{V}_{T-\nu_{n-1}}^{(n-1)} - \tau_{n-2}^{(n-1)} \mathcal{V}_{T-\nu_{n-2}}^{(n-1)} + \mathcal{V}_{T-\nu_{n-1}-\nu_{n-2}}^{(n-1)}
 \end{aligned}$$

$$S_{n-1}^{(n-1)} = \frac{2 \frac{A_{n-1}}{C_{n-1}}}{\frac{A_{n-1}}{C_{n-1}} + \frac{A_{n-2}}{C_{n-2}}} ; \quad S_{n-2}^{(n-1)} = \frac{2 \frac{A_{n-2}}{C_{n-2}}}{\frac{A_{n-2}}{C_{n-2}} + \frac{A_{n-1}}{C_{n-1}}} ; \tag{3.4}$$

$$\tau_{n-1}^{(n-1)} = S_{n-1}^{(n-1)} - 1 ; \quad \tau_{n-2}^{(n-1)} = S_{n-2}^{(n-1)} - 1 ; \quad \nu_{n-1} = \frac{2L_{n-1}}{C_{n-1} T} ; \quad \nu_{n-2} = \frac{2L_{n-2}}{C_{n-2} T}$$

$$\begin{aligned}
 \text{čvor } n \\
 v_{\tau}^{(n)} = S_u^{(n)} \left(v_{\tau - \frac{v_u}{2}}^{(n+1)} - v_{\tau - v_{u-1} - \frac{v_u}{2}}^{(n+1)} \right) + \\
 + S_{u-1}^{(n)} \left(v_{\tau - \frac{v_{u-1}}{2}}^{(n+1)} - v_{\tau - v_u - \frac{v_{u-1}}{2}}^{(n+1)} \right) - \\
 - \tau_u^{(n)} v_{\tau - v_u}^{(n)} - \tau_{u-1}^{(n)} v_{\tau - v_{u-1}}^{(n)} + v_{\tau - v_{u-1} - v_u}^{(n)}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

$$S_m^{(n)} = \frac{2 \frac{A_m}{C_m}}{\frac{A_m}{C_m} + \frac{A_{m-1}}{C_{m-1}}} ; \quad S_{m-1}^{(n)} = \frac{2 \frac{A_{m-1}}{C_{m-1}}}{\frac{A_m}{C_m} + \frac{A_{m-1}}{C_{m-1}}}$$

$$\tau_u^{(n)} = S_u^{(n)} - 1 ; \quad \tau_{u-1}^{(n)} = S_{u-1}^{(n)} - 1 ; \quad v_u = \frac{2L_u}{C_u T}$$

Na osnovu ovoga može se napisati opšta jednačina za proračun pritiska pri hidrauličkom udaru u magistralnom cevovodu u nekom čvoru , tj.:

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^{(i)} = S_i^{(i)} \left(v_{\tau - \frac{v_i}{2}}^{(i+1)} - v_{\tau - v_{i-1} - \frac{v_i}{2}}^{(i+1)} \right) + S_{i-1}^{(i)} \left(v_{\tau - \frac{v_{i-1}}{2}}^{(i+1)} - v_{\tau - v_i - \frac{v_{i-1}}{2}}^{(i+1)} \right) - \\
 - \tau_i^{(i)} v_{\tau - v_i}^{(i)} - \tau_{i-1}^{(i)} v_{\tau - v_{i-1}}^{(i)} + v_{\tau - v_i - v_{i-1}}^{(i)}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

$i = 2, 3, \dots, n$

gde je n broj čvorova.

Za svaki čvor može se napisati jednačina oblika (3.3). Ostali potreban broj jednačina dobiće se iz graničnih uslova za krajnje cevi.

U tački $n+1$ je spoj cevovoda sa rezervoarom velike zapremine, pa je za taj granični uslov:

$$U_{\tau}^{(n+1)} = 0 \quad (3.6)$$

Na osnovu izraza (3.6) je:

$$U_{\tau - \frac{\nu_u}{2}}^{(n+1)} = U_{\tau - \nu_{u-1} - \frac{\nu_u}{2}}^{(n+1)} = 0$$

Na kraju cevi 1 u tački 1 postoji zatvarač, pa na osnovu izraza (2.170) može se napisati jednačina za određivanje pritiska u tački 1:

$$U_{\tau}^{(1)} = \frac{\rho_1 b^{(1)} (\alpha_{\tau - \nu_1}^{(1)} - \alpha_{\tau}^{(1)}) + (\frac{1}{2} \rho_1 b^{(1)} \psi \alpha_{\tau - \nu_1}^{(1)} - 1) U_{\tau - \nu_1}^{(1)} + 2U_{\tau - \frac{\nu_1}{2}}^{(2)}}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^{(1)} \psi \alpha_{\tau}^{(1)}} \quad (3.7)$$

Prema tome, broj nepoznatih je n , a i broj jednačina je n , tj. ima dovoljan broj jednačina, pa se sistem može rešiti.

b) S l u č a j k a d a s e u z i m a u r a č u n i t r e n j e

ČVOR \dot{i}

Na osnovu izraza (2.156) može se napisati jednačina za određivanje pritiska u čvoru \dot{i} :

$$U_{\tau}^{(i)} = S_i^{(i)} \left(\beta_i U_{\tau - \frac{\nu_i}{2}}^{(i+1)} - \beta_i \beta_{i-1}^2 U_{\tau - \nu_{i-1} - \frac{\nu_i}{2}}^{(i+1)} \right) + S_{i-1}^{(i)} \left(\beta_{i-1} U_{\tau - \frac{\nu_{i-1}}{2}}^{(i-1)} - \beta_{i-1} \beta_i^2 U_{\tau - \nu_i - \frac{\nu_{i-1}}{2}}^{(i-1)} \right) - \tau_i^{(i)} \beta_i^2 U_{\tau - \nu_i}^{(i)} - \tau_{i-1}^{(i)} \beta_{i-1}^2 U_{\tau - \nu_{i-1}}^{(i)} + \beta_i^2 \beta_{i-1}^2 U_{\tau - \nu_i - \nu_{i-1}}^{(i)} \quad (3.8)$$

Na osnovu ovoga izraza mogu se napisati jednačine za svaki čvor, tj. za $i = 2, 3, \dots, n$. Za kraj cevi u tački 1 nalazi se zatvarač i na osnovu izraza (2.185) piše se jednačina za tačku 1:

$$v_{\tau}^{(1)} = \frac{\rho_1 b^{(1)} [\beta_1^2 (\alpha_{\tau-v_1}^{(1)} - \alpha_0^{(1)}) - (\alpha_{\tau}^{(1)} - \alpha_0^{(1)})] + \beta_1^2 (\frac{1}{2} \rho_1 b^{(1)} \psi^{(1)} \alpha_{\tau-v_1}^{(1)} - 1) v_{\tau-v_1}^{(1)}}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^{(1)} \psi^{(1)} \alpha_{\tau}^{(1)}} + \quad (3.9)$$

$$+ \frac{2\beta_1 v_{\tau-\frac{v_1}{2}}^{(2)}}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^{(1)} \psi^{(1)} \alpha_{\tau}^{(1)}}$$

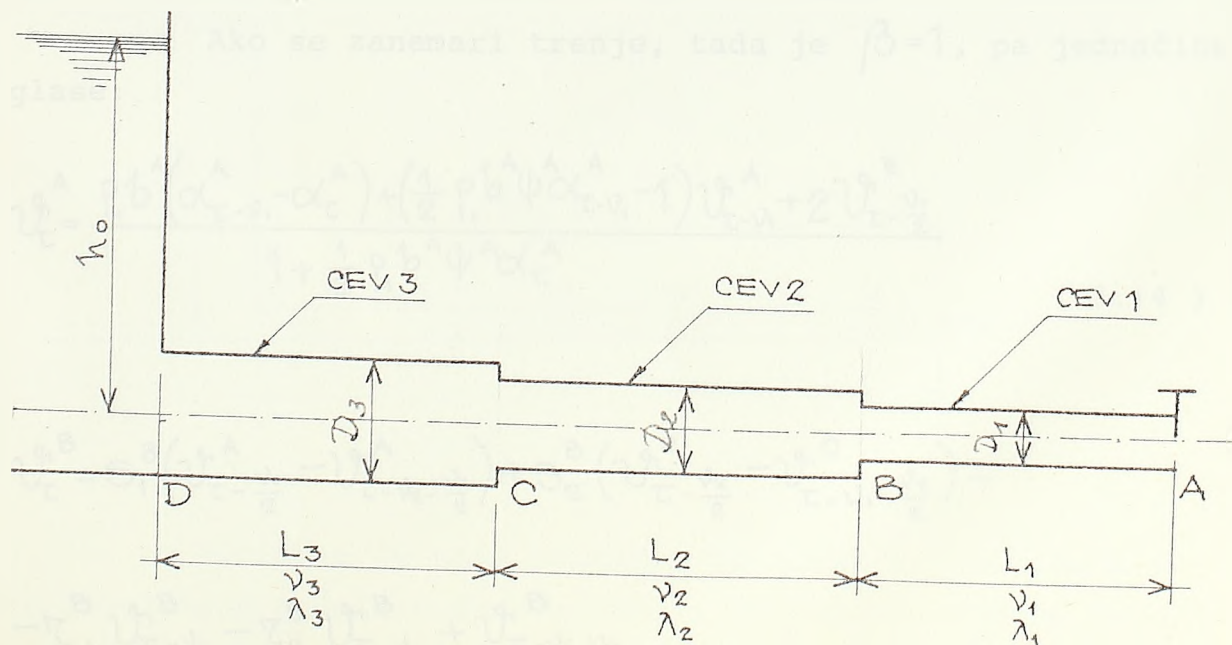
$$\alpha_{\tau} = \alpha_0 \pm \frac{\tau}{\tau_z}$$

gde se

"-" odnosi na zatvaranje a

"+" na otvaranje zatvarača.

Kao primer uzećemo magistralni cevovod sa tri cevi i za isti napisati sve potrebne jednačine za proračun (Sl. 3.4).



Sl. 3.4

Jednačine za proračun pritiska u cevovodu (Sl. 3.4) pišu se na osnovu izraza (3.8) i (3.9).

$$\psi_{\tau}^A = \frac{\rho_1 b^{(4)} [\beta_1^2 (\alpha_{\tau-v_1}^A - \alpha_0^A) - (\alpha_{\tau}^A - \alpha_0^A)] + \beta_1^2 (\frac{1}{2} \rho_1 b^A \psi^A \alpha_{\tau-v_1}^A - 1) \psi_{\tau-v_1}^A + 2\beta_1 \psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^A \psi^A \alpha_{\tau}^A} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^B = & \mathfrak{S}_1^B (\beta_1 \psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^A - \beta_1 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_2-\frac{v_1}{2}}^A) + \mathfrak{S}_2^B (\beta_2 \psi_{\tau-\frac{v_2}{2}}^C - \beta_1^2 \beta_2 \psi_{\tau-v_1-\frac{v_2}{2}}^C) - \\ & - \tau_1^B \beta_1^2 \psi_{\tau-v_1}^B - \tau_2^B \beta_2^2 \psi_{\tau-v_2}^B + \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_1-v_2}^B \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^C = & \mathfrak{S}_2^C (\beta_2 \psi_{\tau-\frac{v_2}{2}}^B - \beta_3^2 \beta_2 \psi_{\tau-v_3-\frac{v_2}{2}}^B) - \tau_2^C \beta_2^2 \psi_{\tau-v_2}^C - \\ & - \tau_3^C \beta_3^2 \psi_{\tau-v_3}^C + \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_2-v_3}^C \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\psi_{\tau}^D = 0 \quad (3.13)$$

Ako se zanemari trenje, tada je $\beta = 1$, pa jednačine glase:

$$\psi_{\tau}^A = \frac{\rho_1 b^A (\alpha_{\tau-v_1}^A - \alpha_{\tau}^A) + (\frac{1}{2} \rho_1 b^A \psi^A \alpha_{\tau-v_1}^A - 1) \psi_{\tau-v_1}^A + 2\psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^A \psi^A \alpha_{\tau}^A} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^B = & \mathfrak{S}_1^B (\psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^A - \psi_{\tau-v_2-\frac{v_1}{2}}^A) + \mathfrak{S}_2^B (\psi_{\tau-\frac{v_2}{2}}^C - \psi_{\tau-v_1-\frac{v_2}{2}}^C) - \\ & - \tau_1^B \psi_{\tau-v_1}^B - \tau_2^B \psi_{\tau-v_2}^B + \psi_{\tau-v_1-v_2}^B \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\psi_{\tau}^c = S_2^c \left(\psi_{\tau - \nu_2}^B - \psi_{\tau - \nu_3 - \frac{\nu_2}{2}}^B \right) - \tau_2^c \psi_{\tau - \nu_2}^c - \tau_3^c \psi_{\tau - \nu_3}^c + \psi_{\tau - \nu_2 - \nu_3}^c$$

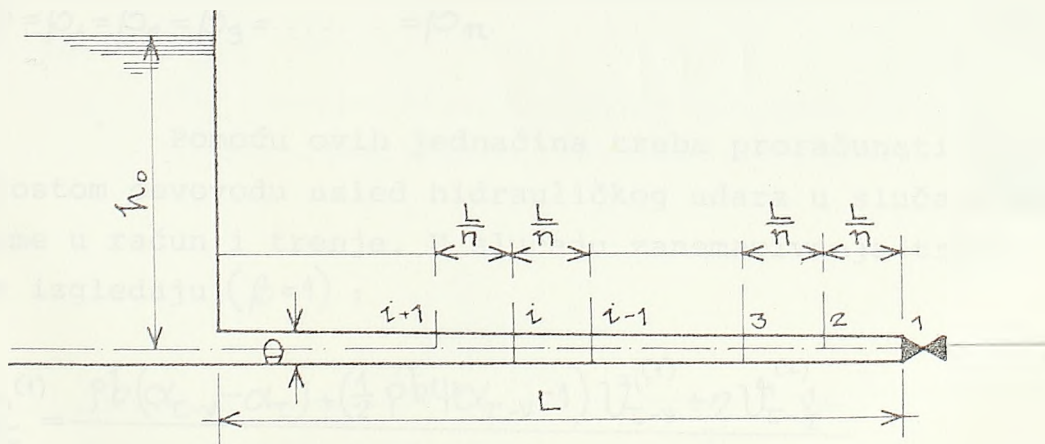
$$S_1^B = \frac{2 \frac{A_1}{C_1}}{\frac{A_1}{C_1} + \frac{A_2}{C_2}} ; \quad S_2^B = \frac{2 \frac{A_2}{C_2}}{\frac{A_1}{C_1} + \frac{A_2}{C_2}} \quad (3.16)$$

$$S_2^c = \frac{2 \frac{A_2}{C_2}}{\frac{A_2}{C_2} + \frac{A_3}{C_3}} ; \quad S_3^c = \frac{2 \frac{A_3}{C_3}}{\frac{A_2}{C_2} + \frac{A_3}{C_3}}$$

$$\tau_i = S_i - 1$$

$$\nu_1 = \frac{2L_1}{C_1 T} ; \quad \nu_2 = \frac{2L_2}{C_2 T} ; \quad \nu_3 = \frac{2L_3}{C_3 T}$$

Na osnovu predloženog metoda može se proračunati hidraulički udar i u prostom cevovodu (cev istog prečnika-nema čvorova (Sl. 3.5)).



Sl. 3.5

Potrebno je naći pritiske duž cevi L . Dužinu L podelićemo na n jednakih delova (ali i ne moramo, možemo podeliti i tako da sve dužine budu različite).

Na osnovu jednačina (3.8) i (3.9) može se napisati:

$$v_{\tau}^{(i)} = \frac{pb[\beta^2(\alpha_{\tau-v} - \alpha_0) - (\alpha_{\tau} - \alpha_0)] + \beta^2(\frac{1}{2}pb\psi\alpha_{\tau-v} - 1)v_{\tau-v}^{(1)} + 2\beta v_{\tau-\frac{v}{2}}^{(2)}}{1 + \frac{1}{2}pb\psi\alpha_{\tau}} \quad (3.17)$$

$$v_{\tau}^{(i)} = \beta v_{\tau-\frac{v}{2}}^{(i+1)} - \beta^3 v_{\tau-\frac{3v}{2}}^{(i+1)} + \beta v_{\tau-\frac{v}{2}}^{(i-1)} - \beta^3 v_{\tau-\frac{3v}{2}}^{(i-1)} + \beta^4 v_{\tau-2v}^{(i)}$$

odnosno

$$v_{\tau}^{(i)} = \beta(v_{\tau-\frac{v}{2}}^{(i+1)} + v_{\tau-\frac{v}{2}}^{(i-1)}) - \beta^3(v_{\tau-\frac{3v}{2}}^{(i+1)} + v_{\tau-\frac{3v}{2}}^{(i-1)}) + \beta^4 v_{\tau-2v}^{(i)} \quad (3.18)$$

ovde je:

$$v_1 = \frac{2L}{c\sqrt{\tau}} ; v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v_n = v$$

$$\beta = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_n$$

Pomoću ovih jednačina treba proračunati pritiske u prostom cevovodu usled hidrauličkog udara u slučaju kada se uzme u račun i trenje. U slučaju zanemarivanja trenja jednačine izgledaju ($\beta=1$):

$$v_{\tau}^{(i)} = \frac{pb(\alpha_{\tau-v} - \alpha_{\tau}) + (\frac{1}{2}pb\psi\alpha_{\tau-v} - 1)v_{\tau-v}^{(1)} + 2v_{\tau-\frac{v}{2}}^{(2)}}{1 + \frac{1}{2}pb\psi\alpha_{\tau}} \quad (3.19)$$

$$v_{\tau}^{(i)} = v_{\tau-\frac{v}{2}}^{(i+1)} - v_{\tau-\frac{3v}{2}}^{(i+1)} + v_{\tau-\frac{v}{2}}^{(i-1)} - v_{\tau-\frac{3v}{2}}^{(i-1)} + v_{\tau-2v}^{(i)} \quad (3.20)$$

Kao što se vidi metod je primenljiv i na prost i na složen cevovod.

3. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U CEVOVODU PRI RADU HIDRANATA ZA NAVODNJAVANJE

U sistemima za navodnjavanje, na pojedinim cevovima tzv. razvodnicima, nalaze se hidranti, kroz koje se voda ispušta napolje. Obično su raspoređeni na podjednakim rastojanjima i ne moraju da rade svi u isto vreme. Hidraulički udar u ovakvom sistemu može da nastane ili otvaranjem i zatvaranjem zatvarača ili otvaranjem i zatvaranjem hidranta ili na neki drugi način.

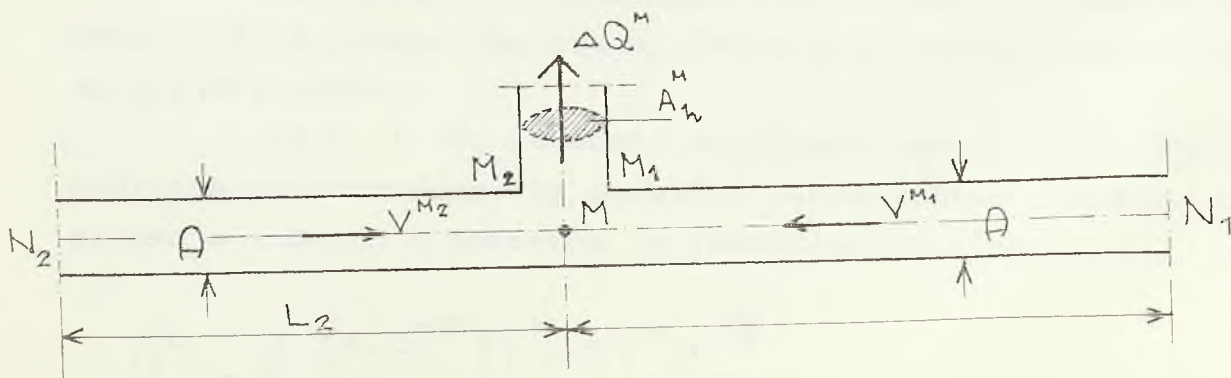
Niže se razmatra način proračuna hidrauličkog udara u cevovodu na kome se nalaze hidranti u radu. Hidraulički udar je proračunat na osnovu date teorije u ovome radu, a za granični uslov uzima se zakon isticanja (2.91) na mestu postavljanja hidranta.

Hidrant (Sl. 3.6) je montiran na cevi, u njenom zidu, površine A_h^M i propušta napolje protok veličine:

$$\Delta Q^M = \mu_h^M A_h^M \sqrt{2gh} \quad (3.21)$$

gde je:

- A_h^M - površina poprečnog preseka hidranta na mestu M
- μ_h^M - koeficijent protoka hidranta.



Sl. 3.6

Shema cevi na kojoj se nalazi hidrant

Izraz (3.21) može se predstaviti i u ovom obliku:

$$\Delta Q^M = \mu_h A_h^M \sqrt{2g(h-h_0+h_0) \frac{h_0}{h_0}}$$

odnosno:

$$\Delta Q^M = \mu_h A_h^M \sqrt{2gh_0} \sqrt{1 + \frac{h-h_0}{h_0}} \quad (3.22)$$

Na osnovu (2.97) izraz (3.22) piše se u obliku:

$$\Delta Q^M = Q_o^M \left(1 + \frac{h-h_0}{2h_0}\right) \quad (3.23)$$

gde je sa:

$$Q_o^M = \mu_h A_h^M \sqrt{2gh_0} \quad (3.24)$$

označen protok koji propušta hidrant pri stacionarnom režimu. Izrazom (3.23) se linearizuje (3.22) i kao takav se upotrebljava za dlju analizu.

Mesto na kome se nalazi hidrant može se smatrati čv-
orom od koga polaze dve grane. Tačka M je čvor a tačke N_1 i N_2
su krajevi grana.

Sa M_1 i M_2 označava se presek leve i desne ivice
hidranta sa cevovodom. Za proračun hidrauličkog udara u tački
grananja - čvoru M potrebna je jednačina (2.125).

$$U^M = -\frac{g}{c} \frac{(1+e^{-\mu S})Y^M - 2Y^N e^{-\frac{\mu S}{2}}}{1-e^{-\mu S}}$$

i jednačina kontinuiteta, koja glasi:

$$AV_t^{M_1} + AV_t^{M_2} - \Delta Q_t^M = 0 \quad (3.25)$$

gde je A - poprečni presek cevi.

Kad se unese izraz (3.23) u (3.25), dobija se:

$$AV_t^{M_1} + AV_t^{M_2} - Q_o^M \left(1 + \frac{h_t^M - h_o}{2h_o} \right) = 0 \quad (3.26)$$

U stacionarnom režimu je:

$$AV_o^{M_1} + AV_o^{M_2} - Q_o^M = 0 \quad (3.27)$$

Na osnovu izraza (3.27) jednačina (3.26) se piše:

$$A(V_t^{M_1} - V_o^{M_1}) + A(V_t^{M_2} - V_o^{M_2}) - Q_o^M \left(\frac{h_t^M - h_o}{2h_o} \right) = 0 \quad (3.28)$$

Ako se uvedu oznake (2.147), onda se ova jednačina kontinuiteta (3.28) piše u operacionom obliku:

$$AU^{M_1} + AU^{M_2} - \frac{Q_o^M}{2h_o} Y^M = 0 \quad (3.29)$$

Iz jednačina (2.125) i (3.29) treba eliminisati brzinu U i dobija se izraz za određivanje pritiska u čvoru M.

Znači, za svaku granu (M_2N_2 i M_1N_1) piše se jednačina za brzinu (2.125). Ovako napisane jednačine za svaku pojedinu granu, čiji je početak tačka M - zajednička tačka za obe grane a kraj tačaka N_i , $i=1,2$, unose se u jednačinu kontinuiteta (3.29), pa se dobija:

$$-\frac{gA}{c} \frac{(1+e^{-\mu_1 s}) Y^M - 2e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} Y^{N_1}}{1-e^{-\mu_1 s}} - \frac{gA}{c} \frac{(1+e^{-\mu_2 s}) Y^M - 2e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} Y^{N_2}}{1-e^{-\mu_2 s}} - \frac{Q_0^M}{2h_0} Y^M = 0 \quad (3.30)$$

Na osnovu izraza (3.30) piše se:

$$\left(\frac{1+e^{-\mu_1 s}}{1-e^{-\mu_1 s}} + \frac{1+e^{-\mu_2 s}}{1-e^{-\mu_2 s}} + \frac{Q_0^M c}{2gh_0 A} \right) Y^M =$$

$$= 2 \left(\frac{e^{-\frac{\mu_1 s}{2}}}{1-e^{-\mu_1 s}} Y^{N_1} + \frac{e^{-\frac{\mu_2 s}{2}}}{1-e^{-\mu_2 s}} Y^{N_2} \right) \quad (3.31)$$

Sredjivanjem ovog izraza dobija se lik u konačnom obliku:

$$\left[2(1-e^{-(\mu_1+\mu_2)s}) + \frac{Q_0^M c}{2gh_0 A} (1-e^{-\mu_1 s} - e^{-\mu_2 s} + e^{-(\mu_1+\mu_2)s}) \right] Y^M =$$

$$= 2 \left[(e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} - e^{-(\mu_2+\frac{\mu_1}{2})s}) Y^{N_1} + (e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} - e^{-(\mu_1+\frac{\mu_2}{2})s}) Y^{N_2} \right] \quad (3.32)$$

Iz izraza (3.32) dobija se original, koji glasi:

$$2(h_t^M - h_0) - 2(h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - h_0) + \frac{Q_0^M c}{2gh_0 A} \left[(h_t^M - h_0) - \right.$$

$$\left. - (h_{t-\mu_1}^M - h_0) - (h_{t-\mu_2}^M - h_0) + (h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - h_0) \right] =$$

$$= 2 \left[(h_{t-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_0) - (h_{t-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_0) + (h_{t-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_0) - \right.$$

$$\left. - (h_{t-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_0) \right]. \quad (3.33)$$

Odavde se nalazi pritisak u tački M:

$$\begin{aligned}
 h_t^M = & \frac{2}{2 + \frac{Q_0^M c}{2gh_0 A}} \left(h_{t-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_{t-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + h_{t-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - \right. \\
 & \left. - h_{t-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} \right) + \frac{2}{2 + \frac{Q_0^M c}{2gh_0 A}} h_{t-\mu_1-\mu_2}^M + \\
 & + \frac{\frac{Q_0^M c}{2gh_0 A}}{2 + \frac{Q_0^M c}{2gh_0 A}} \left(h_{t-\mu_1}^M + h_{t-\mu_2}^M - h_{t-\mu_1-\mu_2}^M \right)
 \end{aligned} \tag{3.34}$$

Uvode se sledeće oznake:

$$S^M = \frac{2}{2 + \frac{Q_0^M c}{2gh_0 A}} = \frac{2 \frac{A}{c}}{2 \frac{A}{c} + \frac{Q_0^M}{2gh_0}} \tag{3.35}$$

$$\tau^M = S^M - 1 = - \frac{\frac{Q_0^M c}{2gh_0 A}}{2 + \frac{Q_0^M c}{2gh_0 A}} = - \frac{\frac{Q_0^M}{2gh_0}}{2 \frac{A}{c} + \frac{Q_0^M}{2gh_0}} \tag{3.36}$$

Sa oznakama (3.35) i (3.36), može se napisati izraz (3.34) u obliku:

$$\begin{aligned}
 h_t^M = & S^M \left(h_{t-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_{t-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} + h_{t-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_{t-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} \right) + \\
 & + S^M h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - \tau^M \left(h_{t-\mu_1}^M + h_{t-\mu_2}^M \right) + \\
 & + \tau^M h_{t-\mu_1-\mu_2}^M
 \end{aligned} \tag{3.37}$$

Na mestu postojanja hidranta je:

$$\sigma^M < 1 ; \tau^M < 0 .$$

Jednačina (3.37) može se napisati u bezdimenzionalnom obliku, ako se prethodno uvedu oznake (2.59):

$$\begin{aligned} v_{\tau}^M = & \sigma^M \left(v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - v_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - v_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} + v_{\tau - v_1 - v_2}^M \right) - \\ & - \tau^M \left(v_{\tau - v_1}^M + v_{\tau - v_2}^M - v_{\tau - v_1 - v_2}^M \right) \end{aligned} \quad (3.38)$$

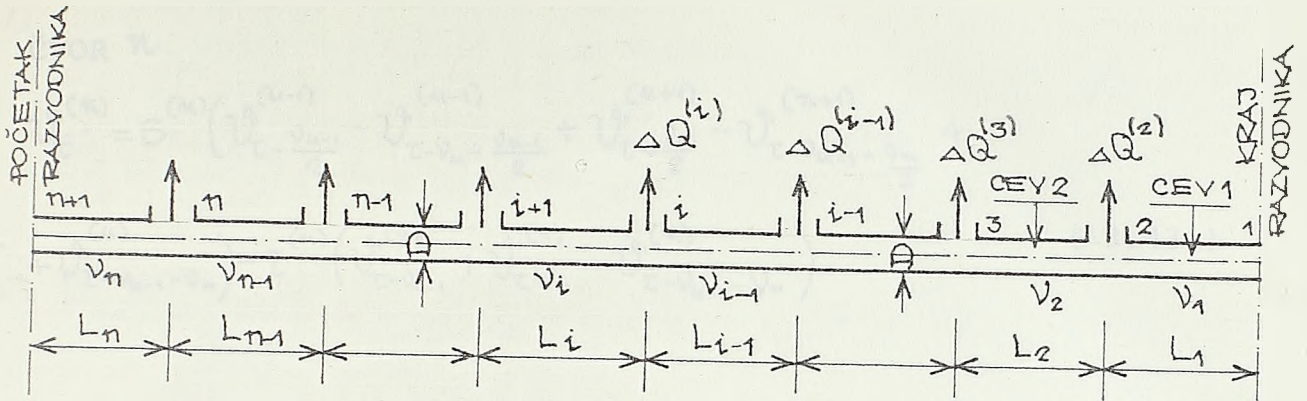
Pri odsustvu hidranta u tački M je $Q_o^M = 0$, pa je $\sigma^M = 1$ i $\tau^M = 0$, i tada ne nastaje odbijen talas. Tada je:

$$v_{\tau}^M = v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - v_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - v_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} + v_{\tau - v_1 - v_2}^M \quad (3.39)$$

tj. dobija se izraz za određivanje pritiska u tački M koja se nalazi između dva čvora N_1 i N_2 . Vidi se da je izraz (3.39) isti kao (2.135), koji je ranije dobijen.

Na jednom razvodniku za navodnjavanje uvek se nalazi veći broj hidranata i može nastati slučaj da više njih radi jednovremeno na međusobno različitom rastojanju. Zato će se proračun sprovesti za opšti slučaj sistema koji je dat na Sl. 3.7. Razmatra se razvodnik konstantnog prečnika $-D = \text{const.}$ (mada ne mora, jer se jednačine za proračun hidrauličkog udara mogu lako izvesti i za slučaj $D \neq \text{const.}$).

Čvorovi tj. mesta na kojima se nalaze hidranti označeni su brojevima.



Sl. 3.7

Mogu se napisati jednačine za proračun hidrauličkog udara na osnovu izraza (3.38):

ČVOR 2

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^{(2)} = S^{(2)} & \left(v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{(1)} - v_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{(1)} + v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{(3)} - v_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{(3)} + v_{\tau - v_1 - v_2}^{(2)} \right) - \\
 & - \tau^{(2)} \left(v_{\tau - v_1}^{(2)} + v_{\tau - v_2}^{(2)} - v_{\tau - v_1 - v_2}^{(2)} \right)
 \end{aligned} \tag{3.40}$$

ČVOR 3

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^{(3)} = S^{(3)} & \left(v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{(2)} - v_{\tau - v_3 - \frac{v_2}{2}}^{(2)} + v_{\tau - \frac{v_3}{2}}^{(4)} - v_{\tau - v_2 - \frac{v_3}{2}}^{(4)} + v_{\tau - v_2 - v_3}^{(3)} \right) - \\
 & - \tau^{(3)} \left(v_{\tau - v_2}^{(3)} + v_{\tau - v_3}^{(3)} - v_{\tau - v_2 - v_3}^{(3)} \right)
 \end{aligned} \tag{3.41}$$

ČVOR i

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^{(i)} = S^{(i)} & \left(v_{\tau - \frac{v_{i-1}}{2}}^{(i-1)} - v_{\tau - v_i - \frac{v_{i-1}}{2}}^{(i-1)} + v_{\tau - \frac{v_i}{2}}^{(i+1)} - v_{\tau - v_{i-1} - \frac{v_i}{2}}^{(i+1)} \right) + \\
 & + v_{\tau - v_{i-1} - v_i}^{(i)} - \tau^{(i)} \left(v_{\tau - v_{i-1}}^{(i)} + v_{\tau - v_i}^{(i)} - v_{\tau - v_{i-1} - v_i}^{(i)} \right)
 \end{aligned} \tag{3.42}$$

čvor n

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^{(n)} = S^{(n)} & \left(v_{\tau - \frac{v_{u-1}}{2}}^{(u-1)} - v_{\tau - v_u - \frac{v_{u-1}}{2}}^{(u-1)} + v_{\tau - \frac{v_u}{2}}^{(u+1)} - v_{\tau - v_{u-1} - \frac{v_u}{2}}^{(u+1)} + \right. \\
 & \left. + v_{\tau - v_{u-1} - v_u}^{(u)} \right) - Z^{(n)} \left(v_{\tau - v_{u-1}}^{(u)} + v_{\tau - v_u}^{(u)} - v_{\tau - v_{u-1} - v_u}^{(n)} \right) \quad (3.43)
 \end{aligned}$$

Na osnovu ovoga može se napisati opšta jednačina za proračun pritiska usled hidrauličkog udara kada radi više hidranata za navodnjavanje.

Jednačina, za neki čvor i , piše se u obliku:

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^{(i)} = S^{(i)} & \left(v_{\tau - \frac{v_{i-1}}{2}}^{(i-1)} - v_{\tau - v_i - \frac{v_{i-1}}{2}}^{(i-1)} + v_{\tau - \frac{v_i}{2}}^{(i+1)} - v_{\tau - v_{i-1} - \frac{v_i}{2}}^{(i+1)} + \right. \\
 & \left. + v_{\tau - v_{i-1} - v_i}^{(i)} \right) - Z^{(i)} \left(v_{\tau - v_{i-1}}^{(i)} + v_{\tau - v_i}^{(i)} - v_{\tau - v_{i-1} - v_i}^{(i)} \right) \quad (3.44)
 \end{aligned}$$

gde je:

$$i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

n - broj hidranata u radu.

Za svaki hidrant može se napisati jednačina oblika (3.44). Ostali potreban broj jednačina dobiće se iz graničnih uslova za krajeve cevovoda (dve jednačine).

Prema tome, broj nepoznatih je n a i broj jednačina je n , tj. ima dovoljan broj jednačina, pa se sistem može rešiti.

Kao što se vidi, pri izvodjenju gornjih jednačina zanemareno je trenje. Ne postoji nikakva teškoća da se i ono uzme u obzir.

Ako se uzme u obzir i trenje, koristi se jednačina (2.150):

$$U^M = -\frac{g}{c} \frac{(1 + \beta^2 e^{-\mu s}) Y^M - 2\beta e^{-\frac{\mu s}{2}} Y^N}{1 - \beta^2 e^{-\mu s}},$$

koja se unosi u (3.29), pa se dobija:

$$\frac{gA}{c} \frac{(1+\beta_1^2 e^{-\mu_1 s}) Y^M - 2\beta_1 e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} Y^{N_1}}{1-\beta_1^2 e^{-\mu_1 s}} - \frac{gA}{c} \frac{(1+\beta_2^2 e^{-\mu_2 s}) Y^M - 2\beta_2 e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} Y^{N_2}}{1-\beta_2^2 e^{-\mu_2 s}} - \frac{Q_0^M}{2h_0^M} Y^M = 0 \quad (3.45)$$

Iz ovog izraza dobija se lik:

$$\begin{aligned} & [2(1-\beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1+\mu_2)s}) + \frac{Q_0^M c}{2g h_0^M A} (1-\beta_1^2 e^{-\mu_1 s} - \beta_2^2 e^{-\mu_2 s} + \\ & + \beta_1^2 \beta_2^2 e^{-(\mu_1+\mu_2)s})] Y^M = 2\beta_1 (e^{-\frac{\mu_1 s}{2}} - \beta_2^2 e^{-(\mu_2+\frac{\mu_1}{2})s}) Y^{N_1} + \\ & + 2\beta_2 (e^{-\frac{\mu_2 s}{2}} - \beta_1^2 e^{-(\mu_1+\frac{\mu_2}{2})s}) Y^{N_2}. \end{aligned} \quad (3.46)$$

Iz izraza (3.46) dobija se original:

$$\begin{aligned} & 2(h_t^M - h_0^M) - 2\beta_1^2 \beta_2^2 (h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - h_0^M) + \frac{Q_0^M c}{2g h_0^M A} (h_t^M - h_0^M) - \\ & - \frac{Q_0^M c}{2g h_0^M A} [\beta_1^2 (h_{t-\mu_1}^M - h_0^M) + \beta_2^2 (h_{t-\mu_2}^M - h_0^M) - \\ & - \beta_1^2 \beta_2^2 (h_{t-\mu_1-\mu_2}^M - h_0^M)] = 2\beta_1 (h_{t-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_0^{N_1}) - \\ & - 2\beta_1 \beta_2^2 (h_{t-\mu_2-\frac{\mu_1}{2}}^{N_1} - h_0^{N_1}) + 2\beta_2 (h_{t-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_0^{N_2}) - \\ & - 2\beta_2 \beta_1^2 (h_{t-\mu_1-\frac{\mu_2}{2}}^{N_2} - h_0^{N_2}). \end{aligned} \quad (3.47)$$

Odavde se nalazi pritisak u tački M:

$$\begin{aligned} \Delta h_t^M = (h_t^M - h_0^M) &= \frac{2}{2 + \frac{Q_0^M C}{2g h_0^M A}} \left(\beta_1 \Delta h_{t-\mu_1}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_1}^{N_1} + \right. \\ &+ \beta_2 \Delta h_{t-\mu_2}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^{N_2} \left. \right) + \\ &+ \frac{2}{2 + \frac{Q_0^M C}{2g h_0^M A}} \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^M + \\ &+ \frac{\frac{Q_0^M C}{2g h_0^M A}}{2 + \frac{Q_0^M C}{2g h_0^M A}} \left(\beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1}^M + \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^M \right). \end{aligned} \quad (3.48)$$

odnosno, sa oznakama (3.35) i (3.36) dobija se:

$$\begin{aligned} \Delta h_t^M &= S^M \left(\beta_1 \Delta h_{t-\mu_1}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2-\mu_1}^{N_1} + \beta_2 \Delta h_{t-\mu_2}^{N_2} - \right. \\ &- \beta_2 \beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^{N_2} + \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^M \left. \right) - \\ &- \tau^M \left(\beta_1^2 \Delta h_{t-\mu_1}^M + \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_2}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \Delta h_{t-\mu_1-\mu_2}^M \right) \end{aligned} \quad (3.49)$$

gde je:

$$S^M = \frac{2}{2 + \frac{Q_0^M C}{2g h_0^M A}} ; \tau^M = S^M - 1 = - \frac{\frac{Q_0^M C}{2g h_0^M A}}{2 + \frac{Q_0^M C}{2g h_0^M A}}$$

Jednačina (3.49) može se napisati i u bezdimenzionalnom obliku, uvodeći oznake (2.59) i (2.87):

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^M = S^M & \left(\beta_1 \psi_{\tau - \frac{v_1}{2}}^{N_1} - \beta_1 \beta_2^2 \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^{N_1} + \beta_2 \psi_{\tau - \frac{v_2}{2}}^{N_2} - \beta_2 \beta_1^2 \psi_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^{N_2} + \right. \\ & \left. + \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau - v_1 - v_2}^M - \tau^M \left(\beta_1^2 \psi_{\tau - v_1}^M + \beta_2^2 \psi_{\tau - v_2}^M - \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau - v_1 - v_2}^M \right) \right). \quad (3.50) \end{aligned}$$

Za slučaj sistema na Sl. 3.7, opšta jednačina za proračun pritiska u nekom čvoru usled hidrauličkog udara, kada radi više hidranata za navodnjavanje, ima oblik:

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^{(i)} = S^{(i)} & \left(\beta_{i-1} \psi_{\tau - \frac{v_{i-1}}{2}}^{(i-1)} - \beta_{i-1} \beta_i^2 \psi_{\tau - v_i - \frac{v_{i-1}}{2}}^{(i-1)} + \beta_i \psi_{\tau - \frac{v_i}{2}}^{(i+1)} - \right. \\ & \left. - \beta_i \beta_{i-1}^2 \psi_{\tau - v_{i-1} - \frac{v_i}{2}}^{(i+1)} + \beta_{i-1}^2 \beta_i^2 \psi_{\tau - v_{i-1} - v_i}^{(i)} \right) - \\ & - \tau^{(i)} \left(\beta_{i-1}^2 \psi_{\tau - v_{i-1}}^{(i)} + \beta_i^2 \psi_{\tau - v_i}^{(i)} - \beta_{i-1}^2 \beta_i^2 \psi_{\tau - v_{i-1} - v_i}^{(i)} \right) \quad (3.51) \\ \beta_i = e^{-\xi \frac{L_i}{2}} & = e^{-\frac{\lambda v_0}{4D} \frac{L_i}{c}} \end{aligned}$$

gde je:

L_i - razmak izmedju hidranata u radu.

Jednačina (3.51) je opšta jednačina i iz nje se može dobiti jednačina (3.44) ako se stavi da je $\beta=1$, tj. ako se zanemari trenje.

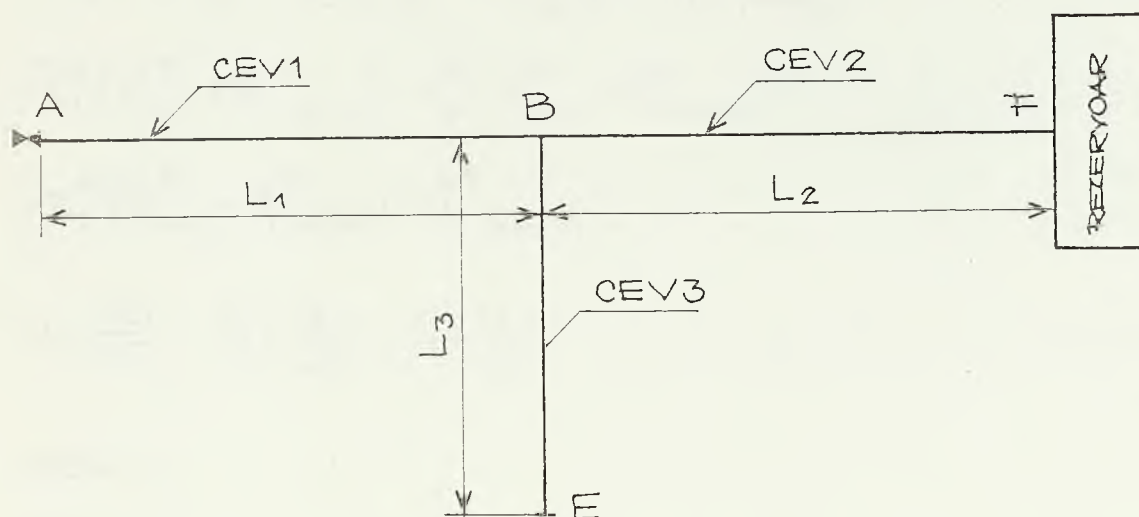
Ako cevovod nije konstantnog preseka, tada se menja jednačina kontinuiteta i glasi:

$$A_1 U^{M_1} + A_2 U^{M_2} - \frac{Q_0^M}{2h_0^M} Y^M = 0 \quad (3.52)$$

U ovu jednačinu se unosi izraz (2.125), odnosno (2.150) i na gore izloženi način lako se dobija traženi oblik za proračun hidrauličkog udara.

4. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U ZATVORENOM CEVOVODU

Dat je sistem na Sl. 3.8 koji predstavlja jednu jednostavnu mrežu. U tački A nalazi se zatvarač a u tački E cev je zatvorena. Sistem se snabdeva vodom iz rezervoara (tačka F). Potrebno je naći pritiske u čvoru i na krajevima grana - cevi: A, B, E i F.



Sl.3.8

Treba napisati jednačine za čvor B i krajeve cevi: A, E i F. Pritisak u tački F je unapred poznat iz graničnog uslova, tj.:

$$v_T^F = 0$$

Prema tome, ostaju tri nepoznate - pritisci v_T^A , v_T^B i v_T^E . Za ove tri nepoznate mogu se napisati tri jednačine: jedna jednačina za čvor B i po jedna za krajeve cevi A i E. Sistem jednačina je zatvoren.

- a) Jednačine hidrauličkog udara kod zanemarivanja trenja

ČVOR B

Čvor B formiraju tri grane i na osnovu izraza (2.140) može se napisati jednačina za određivanje pritiska u tački B (kad se uzme $v_c^F = 0$):

$$\begin{aligned} v_c^B = & \delta_1^B \left(v_{c-\frac{v_1}{2}}^A - v_{c-v_2-\frac{v_1}{2}}^A - v_{c-v_3-\frac{v_1}{2}}^A + v_{c-v_2-v_3-\frac{v_1}{2}}^A \right) + \\ & + \delta_3^B \left(v_{c-\frac{v_3}{2}}^E - v_{c-v_1-\frac{v_3}{2}}^E - v_{c-v_2-\frac{v_3}{2}}^E + v_{c-v_1-v_2-\frac{v_3}{2}}^E \right) - \\ & - \tau_1^B \left(v_{c-v_1}^B + v_{c-v_2-v_3}^B \right) - \tau_2^B \left(v_{c-v_2}^B + v_{c-v_1-v_3}^B \right) - \\ & - \tau_3^B \left(v_{c-v_3}^B + v_{c-v_1-v_2}^B \right) - v_{c-v_1-v_2-v_3}^B . \end{aligned}$$

$$v_1 = \frac{2L_1}{C_{1T}} ; \quad v_2 = \frac{2L_2}{C_{2T}} ; \quad v_3 = \frac{2L_3}{C_{3T}} \quad (3.53)$$

TAČKA E

U tački E cev je zatvorena pa se na osnovu izraza (2.173) piše:

$$v_c^E = -v_{c-v_3}^E + 2v_{c-\frac{v_3}{2}}^B \quad (3.54)$$

TAČKA A

U tački A postoji zatvarač pa se na osnovu (2.170) piše:

$$v_c^A = \frac{\rho_1^A b^A (\alpha_{c-v_1}^A - \alpha_c^A) + \left(\frac{1}{2} \rho_1^A b^A \psi^A \alpha_{c-v_1}^A - 1 \right) v_{c-v_1}^A + 2v_{c-\frac{v_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho_1^A b^A \psi^A \alpha_c^A} \quad (3.55)$$

b) Jednačine hidrauličkog udara kod uzimanja u računi trenja

ČVOR B

Na osnovu izraza (2.163) piše se:

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^B &= S_1^B \left(\beta_1 \psi_{\tau - \frac{v_1}{2}}^A - \beta_1 \beta_2^2 \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^A - \beta_1 \beta_3^2 \psi_{\tau - v_3 - \frac{v_1}{2}}^A + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau - v_2 - v_3 - \frac{v_1}{2}}^A \right) + \\ &+ S_3^B \left(\beta_3 \psi_{\tau - \frac{v_3}{2}}^E - \beta_3 \beta_1^2 \psi_{\tau - v_1 - \frac{v_3}{2}}^E - \beta_3 \beta_2^2 \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_3}{2}}^E + \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau - v_1 - v_2 - \frac{v_3}{2}}^E \right) - \\ &- \tau_1^B \left(\beta_1^2 \psi_{\tau - v_1}^B + \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau - v_2 - v_3}^B \right) - \tau_2^B \left(\beta_2^2 \psi_{\tau - v_2}^B + \beta_1^2 \beta_3^2 \psi_{\tau - v_1 - v_3}^B \right) - \\ &- \tau_3^B \left(\beta_3^2 \psi_{\tau - v_3}^B + \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau - v_1 - v_2}^B \right) - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau - v_1 - v_2 - v_3}^B, \end{aligned} \quad (3.56)$$

TAČKA E

Na osnovu (2.186) piše se:

$$\psi_{\tau}^E = -\beta_3^2 \psi_{\tau - v_3}^E + 2\beta_3 \psi_{\tau - \frac{v_3}{2}}^B \quad (3.57)$$

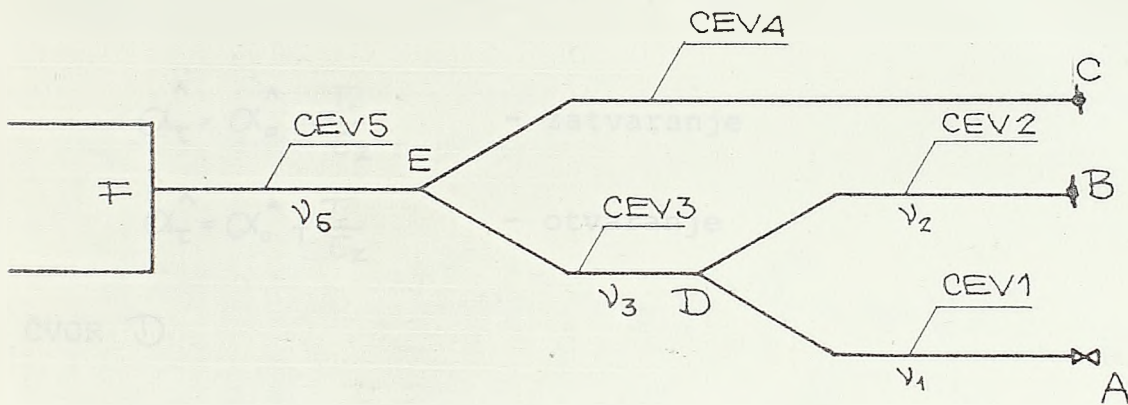
TAČKA A

Na osnovu izraza (2.185) piše se:

$$\psi_{\tau}^A = \frac{\rho_1 b_1^A \left[\beta_1^2 (\alpha_{\tau - v_1}^A - \alpha_0^A) - (\alpha_{\tau}^A - \alpha_0^A) \right] + \beta_1^2 \left(\frac{1}{2} \rho_1 b_1^A \psi_{\tau - v_1}^A - 1 \right) \psi_{\tau - v_1}^A + 2\beta_1 \psi_{\tau - \frac{v_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b_1^A \psi_{\tau}^A} \quad (3.58)$$

5. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA SA GRAFOM OBLIKA DRVETA

Razmotriće se sada složenija mreža i to ona sa grafom oblika drveta. To su mreže koje nemaju zatvorene konture (Sl. 3.9), već su razgranate.



sl. 3.9

U tački F postoji rezervoar, koji snabdeva mrežu vodom. U tačkama A, B i C nalaze se zatvarači. Zatvarač u B i C je potpuno zatvoren, a sa zatvaračem u A se manevriše i on stvara hidraulički udar.

Treba napisati jednačine za proračun pritiska.

a) Jednačine hidrauličkog udara kod zanemarivanja trenja

TAČKA A

Zatvarač u tački A se otvara ili zatvara po nekom zadatom zakonu α_{τ}^A , počinjući od trenutka $\tau=0$, u kome je

bilo $\alpha_{\tau}^A = \alpha_0^A$.

Pošto se u ovoj tački nalazi zatvarač, to se na osnovu izraza (2.170) može napisati:

$$v_{\tau}^A = \frac{\rho_1 b^A (\alpha_{\tau-v_1}^A - \alpha_{\tau}^A) + \left(\frac{1}{2} \rho_1 b^A \psi^A \alpha_{\tau-v_1}^A - 1\right) v_{\tau-v_1}^A + 2 v_{\tau-\frac{v_1}{2}}^D}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b_1^A \psi^A \alpha_{\tau}^A} \quad (3.59)$$

$$\alpha_{\tau}^A = \alpha_0^A - \frac{\tau}{\tau_z} \quad - \text{ zatvaranje}$$

$$\alpha_{\tau}^A = \alpha_0^A + \frac{\tau}{\tau_z} \quad - \text{ otvaranje}$$

ČVOR D

Na osnovu izraza (2.140) piše se:

$$\begin{aligned} v_{\tau}^D = & S_1^D \left(v_{\tau-\frac{v_1}{2}}^A - v_{\tau-v_2-\frac{v_1}{2}}^A - v_{\tau-v_3-\frac{v_1}{2}}^A + v_{\tau-v_2-v_3-\frac{v_1}{2}}^A \right) + \\ & + S_2^D \left(v_{\tau-\frac{v_2}{2}}^B - v_{\tau-v_1-\frac{v_2}{2}}^B - v_{\tau-v_3-\frac{v_2}{2}}^B + v_{\tau-v_1-v_3-\frac{v_2}{2}}^B \right) + \\ & + S_3^D \left(v_{\tau-\frac{v_3}{2}}^E - v_{\tau-v_1-\frac{v_3}{2}}^E - v_{\tau-v_2-\frac{v_3}{2}}^E + v_{\tau-v_1-v_2-\frac{v_3}{2}}^E \right) - \\ & - \tau_1^D \left(v_{\tau-v_1}^D + v_{\tau-v_2-v_3}^D \right) - \tau_2^D \left(v_{\tau-v_2}^D + v_{\tau-v_1-v_3}^D \right) - \\ & - \tau_3^D \left(v_{\tau-v_3}^D + v_{\tau-v_1-v_2}^D \right) - v_{\tau-v_1-v_2-v_3}^D \end{aligned} \quad (3.60)$$

TAČKA B

U tački B postoji zatvarač, ali on je zatvoren - pa je to slučaj cevi sa zatvorenim krajem.

Na osnovu izraza (2.173) piše se:

$$\psi_{\tau}^B = -\psi_{\tau-\nu_2}^B + 2\psi_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^D \quad (3.61)$$

ČVOR E

Na osnovu izraza (2.140), uzimajući u obzir da je $\psi_{\tau}^F = 0$, može se napisati:

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^E = & S_3^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_3}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^D + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^D \right) + \\ & + S_4^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_4}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^C + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^C \right) - \\ & - \tau_3^E \left(\psi_{\tau-\nu_3}^E + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5}^E \right) - \tau_4^E \left(\psi_{\tau-\nu_4}^E + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5}^E \right) - \\ & - \tau_5^E \left(\psi_{\tau-\nu_5}^E + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4}^E \right) - \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_5}^E \end{aligned} \quad (3.62)$$

TAČKA C

U tački C postoji zatvarač, ali on je zatvoren - pa je to slučaj cevi sa zatvorenim krajem.

Na osnovu izraza (2.173), može se napisati:

$$\psi_{\tau}^C = -\psi_{\tau-\nu_4}^C + 2\psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^E \quad (3.63)$$

TAČKA F

U tački F postoji rezervoar pa je:

$$\psi_{\tau}^F = 0$$

Za proračun hidrauličkog udara u mreži na Sl. 3.9 napisano je pet jednačina (3.59) - (3.62) za pet nepoznatih: ψ_{τ}^A , ψ_{τ}^D , ψ_{τ}^B , ψ_{τ}^E , i ψ_{τ}^C , tj. broj jednačina je jednak broju nepoznatih. Znači, sistem je zatvoren i može se rešiti.

b) J e d n a č i n e h i d r a u l i č k o g u d a r a
k o d u z i m a n j a u r a č u n i t r e n j a

TAČKA A

Na osnovu jednačine (2.185), piše se:

$$\psi_{\tau}^A = \frac{\rho_1 b^A [\beta_1^2 (\alpha_{\tau-v_1}^A - \alpha_0^A) - (\alpha_{\tau}^A - \alpha_0^A)] + \beta_1^2 (\frac{1}{2} \rho_1 b^A \psi_{\tau-v_1}^A - 1) \psi_{\tau-v_1}^A + 2\beta_1 \psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^D}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^A \psi_{\tau}^A \alpha_{\tau}^A} \quad (3.64)$$

ČVOR D

Na osnovu jednačine (2.163), piše se:

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^D = & S_1^D (\beta_1 \psi_{\tau-\frac{v_1}{2}}^A - \beta_1 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_2-\frac{v_1}{2}}^A - \beta_1 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_3-\frac{v_1}{2}}^A + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_2-v_3-\frac{v_1}{2}}^A) + \\ & + S_2^D (\beta_2 \psi_{\tau-\frac{v_2}{2}}^B - \beta_2 \beta_1^2 \psi_{\tau-v_1-\frac{v_2}{2}}^B - \beta_2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_3-\frac{v_2}{2}}^B + \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_1-v_3-\frac{v_2}{2}}^B) + \\ & + S_3^D (\beta_3 \psi_{\tau-\frac{v_3}{2}}^E - \beta_3 \beta_1^2 \psi_{\tau-v_1-\frac{v_3}{2}}^E - \beta_3 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_2-\frac{v_3}{2}}^E + \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_1-v_2-\frac{v_3}{2}}^E) - \\ & - \tau_1^D (\beta_1^2 \psi_{\tau-v_1}^D + \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_2-v_3}^D) - \tau_2^D (\beta_2^2 \psi_{\tau-v_2}^D + \beta_1^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_1-v_3}^D) - \\ & - \tau_3^D (\beta_3^2 \psi_{\tau-v_3}^D + \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau-v_1-v_2}^D) - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-v_1-v_2-v_3}^D \end{aligned} \quad (3.65)$$

TAČKA B

Na osnovu jednačine (2.186), piše se:

$$v_{\tau}^B = -\beta_2^2 v_{\tau-\nu_2}^B + 2\beta_2 v_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^D \quad (3.66)$$

ČVOR E

Na osnovu jednačine (2.163), piše se:

$$\begin{aligned} v_{\tau}^E = & \varepsilon_3^E \left(\beta_3 v_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^D - \beta_3 \beta_4^2 v_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_3}{2}}^D - \beta_3 \beta_5^2 v_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^D + \beta_3 \beta_4^2 \beta_5^2 v_{\tau-\nu_4-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^D \right) + \\ & + \varepsilon_4^E \left(\beta_4 v_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^C - \beta_4 \beta_3^2 v_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_4}{2}}^C - \beta_4 \beta_5^2 v_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^C + \beta_4 \beta_3^2 \beta_5^2 v_{\tau-\nu_3-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^C \right) - \\ & - \tau_3^E \left(\beta_3^2 v_{\tau-\nu_3}^E + \beta_4^2 \beta_5^2 v_{\tau-\nu_4-\nu_5}^E \right) - \tau_4^E \left(\beta_4^2 v_{\tau-\nu_4}^E + \beta_3^2 \beta_5^2 v_{\tau-\nu_3-\nu_5}^E \right) - \\ & - \tau_5^E \left(\beta_5^2 v_{\tau-\nu_5}^E + \beta_3^2 \beta_4^2 v_{\tau-\nu_3-\nu_4}^E \right) - \beta_3^2 \beta_4^2 \beta_5^2 v_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_5}^E \quad (3.67) \end{aligned}$$

TAČKA C

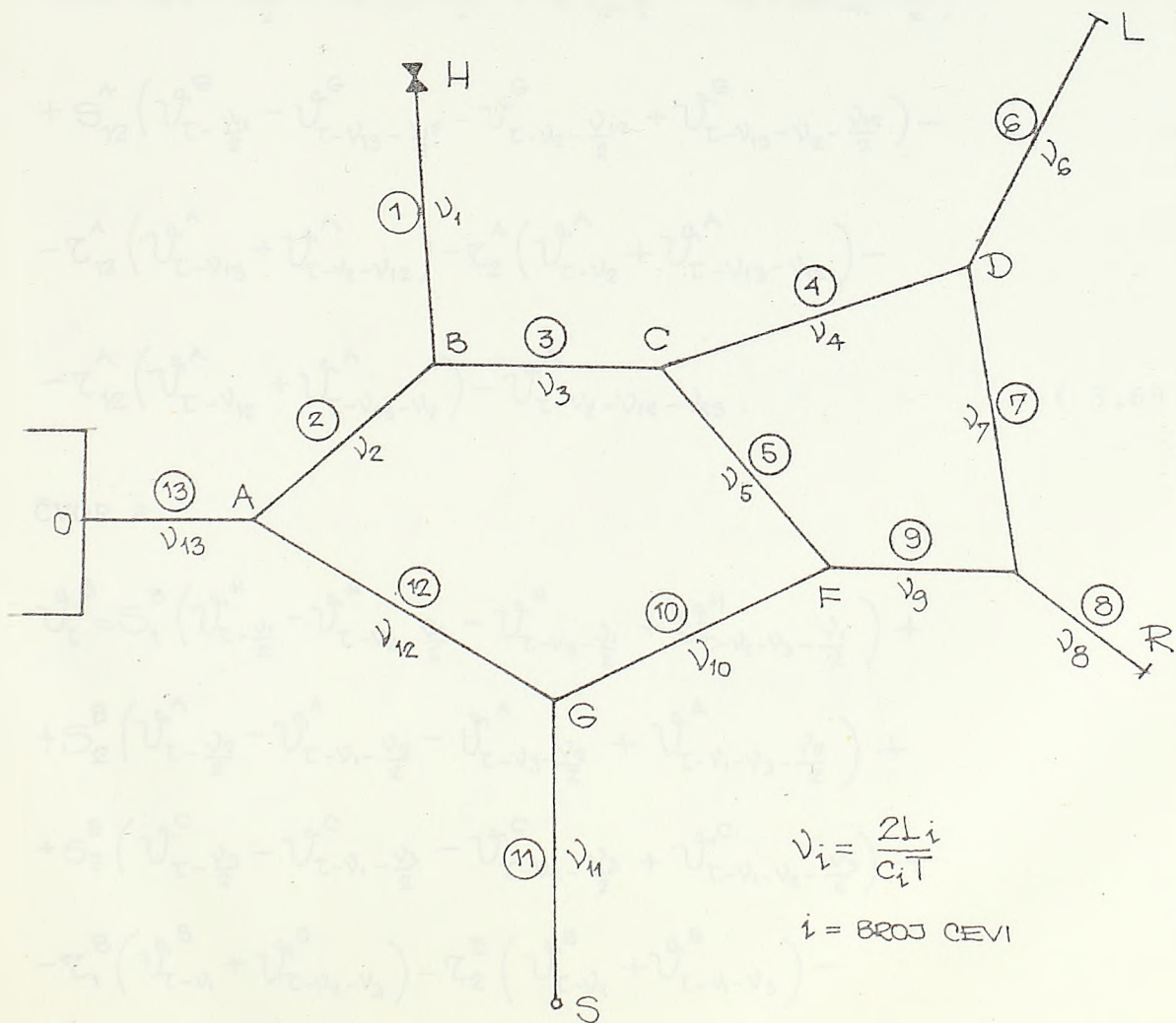
Na osnovu jednačine (2.186), piše se:

$$v_{\tau}^C = -\beta_4^2 v_{\tau-\nu_4}^C + 2\beta_4 v_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^E \quad (3.68)$$

6. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA SA ZATVORENIM KONTURAMA

Data je mreža na Sl. 3.10 . To je već dosta komplikovana mreža, koja ima i zatvorene konture.

U tački O nalazi se rezervoar koji snabdeva mrežu vodom. U tačkama L i R je zatvoren kraj. Uređaj za navodnjavanje radi i priključen je u tački S. U tački H nalazi se zatvarač kojim se manevriše i on stvara hidraulički udar u mreži.



Sl. 3.10

a) J e d n a č i n e h i d r a u l i č k o g u d a r a
k o d z a n e m a r i v a n j a t r e n j a

Treba odrediti pritiske usled hidrauličkog udara u svakom čvoru i na krajevima cevi.

Pritisak u tački O je:

$$v_T^0 = 0$$

jer je to spoj cevovoda sa rezervoarom.

ČVOR A

$$\begin{aligned} v_T^A = & S_2^A \left(v_{T-\frac{v_2}{2}}^B - v_{T-v_{13}-\frac{v_2}{2}}^B - v_{T-v_{12}-\frac{v_2}{2}}^B + v_{T-v_{13}-v_{12}-\frac{v_2}{2}}^B \right) + \\ & + S_{12}^A \left(v_{T-\frac{v_{12}}{2}}^G - v_{T-v_{13}-\frac{v_{12}}{2}}^G - v_{T-v_2-\frac{v_{12}}{2}}^G + v_{T-v_{13}-v_2-\frac{v_{12}}{2}}^G \right) - \\ & - \tau_{13}^A \left(v_{T-v_{13}}^A + v_{T-v_2-v_{12}}^A \right) - \tau_2^A \left(v_{T-v_2}^A + v_{T-v_{13}-v_{12}}^A \right) - \\ & - \tau_{12}^A \left(v_{T-v_{12}}^A + v_{T-v_{13}-v_2}^A \right) - v_{T-v_2-v_{12}-v_{13}}^A . \end{aligned} \quad (3.69)$$

ČVOR B

$$\begin{aligned} v_T^B = & S_1^B \left(v_{T-\frac{v_1}{2}}^H - v_{T-v_2-\frac{v_1}{2}}^H - v_{T-v_3-\frac{v_1}{2}}^H + v_{T-v_2-v_3-\frac{v_1}{2}}^H \right) + \\ & + S_2^B \left(v_{T-\frac{v_2}{2}}^A - v_{T-v_1-\frac{v_2}{2}}^A - v_{T-v_3-\frac{v_2}{2}}^A + v_{T-v_1-v_3-\frac{v_2}{2}}^A \right) + \\ & + S_3^B \left(v_{T-\frac{v_3}{2}}^C - v_{T-v_1-\frac{v_3}{2}}^C - v_{T-v_2-\frac{v_3}{2}}^C + v_{T-v_1-v_2-\frac{v_3}{2}}^C \right) - \\ & - \tau_1^B \left(v_{T-v_1}^B + v_{T-v_2-v_3}^B \right) - \tau_2^B \left(v_{T-v_2}^B + v_{T-v_1-v_3}^B \right) - \\ & - \tau_3^B \left(v_{T-v_3}^B + v_{T-v_1-v_2}^B \right) - v_{T-v_1-v_2-v_3}^B . \end{aligned} \quad (3.70)$$

ČVOR C

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^c &= S_3^c \left(\psi_{\tau-\nu_3}^B - \psi_{\tau-\nu_4-\nu_3}^B - \psi_{\tau-\nu_5-\nu_3}^B + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5-\nu_3}^B \right) + \\
 &+ S_4^c \left(\psi_{\tau-\nu_4}^D - \psi_{\tau-\nu_5-\nu_4}^D - \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4}^D + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5-\nu_4}^D \right) + \\
 &+ S_5^c \left(\psi_{\tau-\nu_5}^F - \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5}^F - \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5}^F + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_5}^F \right) - \\
 &- \tau_3^c \left(\psi_{\tau-\nu_3}^c + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5}^c \right) - \tau_4^c \left(\psi_{\tau-\nu_4}^c + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5}^c \right) - \\
 &- \tau_5^c \left(\psi_{\tau-\nu_5}^c + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4}^c \right) - \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_5}^c
 \end{aligned} \tag{3.71}$$

ČVOR D

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^D &= S_4^D \left(\psi_{\tau-\nu_4}^c - \psi_{\tau-\nu_6-\nu_4}^c - \psi_{\tau-\nu_7-\nu_4}^c + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7-\nu_4}^c \right) + \\
 &+ S_6^D \left(\psi_{\tau-\nu_6}^L - \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6}^L - \psi_{\tau-\nu_7-\nu_6}^L + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_7-\nu_6}^L \right) + \\
 &+ S_7^D \left(\psi_{\tau-\nu_7}^E - \psi_{\tau-\nu_4-\nu_7}^E - \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7}^E + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6-\nu_7}^E \right) - \\
 &- \tau_4^D \left(\psi_{\tau-\nu_4}^D + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7}^D \right) - \tau_6^D \left(\psi_{\tau-\nu_6}^D + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_7}^D \right) - \\
 &- \tau_7^D \left(\psi_{\tau-\nu_7}^D + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6}^D \right) - \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6-\nu_7}^D
 \end{aligned} \tag{3.72}$$

ČVOR E

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^E &= S_7^E \left(\psi_{\tau-\nu_7}^D - \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_7}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_7}{2}}^D + \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9-\frac{\nu_7}{2}}^D \right) + \\
 &+ S_8^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_8}{2}}^R - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_8}{2}}^R - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^R + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^R \right) + \\
 &+ S_9^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_9}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_9}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^F + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^F \right) - \\
 &- \tau_7^E \left(\psi_{\tau-\nu_7}^E + \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9}^E \right) - \tau_8^E \left(\psi_{\tau-\nu_8}^E + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8}^E \right) - \\
 &- \tau_9^E \left(\psi_{\tau-\nu_9}^E + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8}^E \right) - \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8-\nu_9}^E .
 \end{aligned}$$

(3.73)

ČVOR F

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^F &= S_5^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_5}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_5}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_5}{2}}^C + \psi_{\tau-\nu_9-\nu_{10}-\frac{\nu_5}{2}}^C \right) + \\
 &+ S_9^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_9}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_9}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_9}{2}}^E + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_{10}-\frac{\nu_9}{2}}^E \right) + \\
 &+ S_{10}^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{10}}{2}}^G - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_{10}}{2}}^G - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_{10}}{2}}^G + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9-\frac{\nu_{10}}{2}}^G \right) - \\
 &- \tau_6^F \left(\psi_{\tau-\nu_5}^F + \psi_{\tau-\nu_9-\nu_{10}}^F \right) - \tau_9^F \left(\psi_{\tau-\nu_9}^F + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_{10}}^F \right) - \\
 &- \tau_{10}^F \left(\psi_{\tau-\nu_{10}}^F + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9}^F \right) - \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9-\nu_{10}}^F .
 \end{aligned}$$

(3.74)

ČVOR G

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^G = & S_{10}^G \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{10}}{2}}^F - \psi_{\tau - \nu_{11} - \frac{\nu_{10}}{2}}^F - \psi_{\tau - \nu_{12} - \frac{\nu_{10}}{2}}^F + \psi_{\tau - \nu_{11} - \nu_{12} - \frac{\nu_{10}}{2}}^F \right) + \\
 & + S_{11}^G \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{11}}{2}}^S - \psi_{\tau - \nu_{10} - \frac{\nu_{11}}{2}}^S - \psi_{\tau - \nu_{12} - \frac{\nu_{11}}{2}}^S + \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{12} - \frac{\nu_{11}}{2}}^S \right) + \\
 & + S_{12}^G \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{12}}{2}}^A - \psi_{\tau - \nu_{10} - \frac{\nu_{12}}{2}}^A - \psi_{\tau - \nu_{11} - \frac{\nu_{12}}{2}}^A + \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{11} - \frac{\nu_{12}}{2}}^A \right) - \\
 & - \tau_{10}^G \left(\psi_{\tau - \nu_{10}}^G + \psi_{\tau - \nu_{11} - \nu_{12}}^G \right) - \tau_{11}^G \left(\psi_{\tau - \nu_{11}}^G + \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{12}}^G \right) - \\
 & - \tau_{12}^G \left(\psi_{\tau - \nu_{12}}^G + \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{11}}^G \right) - \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{11} - \nu_{12}}^G .
 \end{aligned} \tag{ 3.75 }$$

TAČKA H

$$\psi_{\tau}^H = \frac{\rho_1 b^H (\alpha_{\tau - \nu_1}^H - \alpha_{\tau}^H) + \left(\frac{1}{2} \rho_1 b^H \psi^H \alpha_{\tau - \nu_1}^A - 1 \right) \psi_{\tau - \nu_1}^H + 2 \psi_{\tau - \frac{\nu_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^H \psi^H \alpha_{\tau}^H} \tag{ 3.76 }$$

TAČKA L

$$\psi_{\tau}^L = -\psi_{\tau - \nu_6}^L + 2 \psi_{\tau - \frac{\nu_6}{2}}^D \tag{ 3.77 }$$

TAČKA R

$$\psi_{\tau}^R = -\psi_{\tau - \nu_8}^R + 2 \psi_{\tau - \frac{\nu_8}{2}}^E \tag{ 3.78 }$$

TAČKA S

$$\psi_{\tau}^S = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho_{11} b^S \psi^S - 1\right) \psi_{\tau-v_{11}}^S + 2 \psi_{\tau-\frac{v_{11}}{2}}^G}{1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b^S \psi^S} \quad (3.79)$$

Za sistem na Sl. 3.10 napisano je jedanaest jednačina za jedanaest nepoznatih veličina, pa se sistem može rešiti.

b) Jednačine hidrauličkog udara kod uzimanja u računi trenja

ČVOR A

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^A = & S_2^A \left(\beta_2 \psi_{\tau-\frac{v_2}{2}}^B - \beta_2 \beta_{13}^2 \psi_{\tau-v_{13}-\frac{v_2}{2}}^B - \beta_2 \beta_{12}^2 \psi_{\tau-v_{12}-\frac{v_2}{2}}^B + \beta_2 \beta_{12}^2 \beta_{13}^2 \psi_{\tau-v_{12}-v_{13}-\frac{v_2}{2}}^B \right) + \\ & + S_{12}^A \left(\beta_{12} \psi_{\tau-\frac{v_{12}}{2}}^G - \beta_{12} \beta_2^2 \psi_{\tau-v_2-\frac{v_{12}}{2}}^G - \beta_{12} \beta_{13}^2 \psi_{\tau-v_{13}-\frac{v_{12}}{2}}^G + \beta_{12} \beta_2^2 \beta_{13}^2 \psi_{\tau-v_2-v_{13}-\frac{v_{12}}{2}}^G \right) - \\ & - \tau_{13}^A \left(\beta_{13}^2 \psi_{\tau-v_{13}}^A + \beta_2^2 \beta_{12}^2 \psi_{\tau-v_2-v_{12}}^A \right) - \tau_2^A \left(\beta_2^2 \psi_{\tau-v_2}^A + \beta_{12}^2 \beta_{13}^2 \psi_{\tau-v_{13}-v_{12}}^A \right) - \\ & - \tau_{12}^A \left(\beta_{12}^2 \psi_{\tau-v_{12}}^A + \beta_2^2 \beta_{13}^2 \psi_{\tau-v_2-v_{13}}^A \right) - \beta_2^2 \beta_{12}^2 \beta_{13}^2 \psi_{\tau-v_2-v_{12}-v_{13}}^A. \quad (3.80) \end{aligned}$$

ČVOR B

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^B = & S_1^B \left(\beta_1 \psi_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^H - \beta_1 \beta_2^2 \psi_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_1}{2}}^H - \beta_1 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_1}{2}}^H + \beta_1 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_2-\nu_3-\frac{\nu_1}{2}}^H \right) + \\
 & + S_2^B \left(\beta_2 \psi_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^A - \beta_2 \beta_1^2 \psi_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_2}{2}}^A - \beta_2 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^A + \beta_2 \beta_1^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_1-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^A \right) + \\
 & + S_3^B \left(\beta_3 \psi_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^C - \beta_3 \beta_1^2 \psi_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_3}{2}}^C - \beta_3 \beta_2^2 \psi_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^C + \beta_3 \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau-\nu_1-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^C \right) - \\
 & - \tau_1^B \left(\beta_1^2 \psi_{\tau-\nu_1}^B + \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_2}^B \right) - \tau_2^B \left(\beta_2^2 \psi_{\tau-\nu_2}^B + \beta_1^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_1-\nu_3}^B \right) - \\
 & - \tau_3^B \left(\beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3}^B + \beta_1^2 \beta_2^2 \psi_{\tau-\nu_1-\nu_2}^B \right) - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_1-\nu_2-\nu_3}^B . \quad (3.81)
 \end{aligned}$$

ČVOR C

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^C = & S_3^C \left(\beta_3 \psi_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^B - \beta_3 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_3}{2}}^B - \beta_3 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^B + \beta_3 \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^B \right) + \\
 & + S_4^C \left(\beta_4 \psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^D - \beta_4 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^D - \beta_4 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_4}{2}}^D + \beta_4 \beta_3^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^D \right) + \\
 & + S_5^C \left(\beta_5 \psi_{\tau-\frac{\nu_5}{2}}^F - \beta_5 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_5}{2}}^F - \beta_5 \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_5}{2}}^F + \beta_5 \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\frac{\nu_5}{2}}^F \right) - \\
 & - \tau_3^C \left(\beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3}^C + \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5}^C \right) - \tau_4^C \left(\beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4}^C + \beta_3^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5}^C \right) - \\
 & - \tau_5^C \left(\beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5}^C + \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4}^C \right) - \beta_3^2 \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_5}^C \quad (3.82)
 \end{aligned}$$

ČVOR D

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^D = & S_4^D \left(\beta_4 \psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^C - \beta_4 \beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_4}{2}}^C - \beta_4 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_4}{2}}^C + \beta_4 \beta_6^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7-\frac{\nu_4}{2}}^C \right) + \\
 & + S_6^D \left(\beta_6 \psi_{\tau-\frac{\nu_6}{2}}^L - \beta_6 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_6}{2}}^L - \beta_6 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_6}{2}}^L + \beta_6 \beta_4^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_7-\frac{\nu_6}{2}}^L \right) + \\
 & + S_7^D \left(\beta_7 \psi_{\tau-\frac{\nu_7}{2}}^E - \beta_7 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_7}{2}}^E - \beta_7 \beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_7}{2}}^E + \beta_7 \beta_4^2 \beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6-\frac{\nu_7}{2}}^E \right) - \\
 & - \tau_4^D \left(\beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4}^D + \beta_6^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7}^D \right) - \tau_6^D \left(\beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_6}^D + \beta_4^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_7}^D \right) - \\
 & - \tau_7^D \left(\beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7}^D + \beta_4^2 \beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6}^D \right) - \beta_4^2 \beta_6^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6-\nu_7}^D . \quad (3.83)
 \end{aligned}$$

TAČKA E

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^E = & S_7^E \left(\beta_7 \psi_{\tau-\frac{\nu_7}{2}}^D - \beta_7 \beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_7}{2}}^D - \beta_7 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_7}{2}}^D + \beta_7 \beta_8^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9-\frac{\nu_7}{2}}^D \right) + \\
 & + S_8^E \left(\beta_8 \psi_{\tau-\frac{\nu_8}{2}}^R - \beta_8 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_8}{2}}^R - \beta_8 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^R + \beta_8 \beta_7^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^R \right) + \\
 & + S_9^E \left(\beta_9 \psi_{\tau-\frac{\nu_9}{2}}^F - \beta_9 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_9}{2}}^F - \beta_9 \beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^F + \beta_9 \beta_7^2 \beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^F \right) - \\
 & - \tau_7^E \left(\beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7}^E + \beta_8^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9}^E \right) - \tau_8^E \left(\beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_8}^E + \beta_7^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_9}^E \right) - \\
 & - \tau_9^E \left(\beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9}^E + \beta_7^2 \beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8}^E \right) - \beta_7^2 \beta_8^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8-\nu_9}^E \quad (3.84)
 \end{aligned}$$

ČVOR F

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^F &= S_5^F \left(\beta_5 \psi_{\tau - \frac{\nu_5}{2}}^C - \beta_5 \beta_9^2 \psi_{\tau - \nu_9 - \frac{\nu_5}{2}}^C - \beta_5 \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \frac{\nu_5}{2}}^C + \beta_5 \beta_9^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_9 - \nu_{10} - \frac{\nu_5}{2}}^C \right) + \\
 &+ S_9^F \beta_9 \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_9}{2}}^E - \beta_5^2 \psi_{\tau - \nu_5 - \frac{\nu_9}{2}}^E - \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \frac{\nu_9}{2}}^E + \beta_5^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_5 - \nu_{10} - \frac{\nu_9}{2}}^E \right) + \\
 &+ S_{10}^F \beta_{10} \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{10}}{2}}^G - \beta_5^2 \psi_{\tau - \nu_5 - \frac{\nu_{10}}{2}}^G - \beta_9^2 \psi_{\tau - \nu_9 - \frac{\nu_{10}}{2}}^G + \beta_5^2 \beta_9^2 \psi_{\tau - \nu_5 - \nu_9 - \frac{\nu_{10}}{2}}^G \right) - \\
 &- \tau_5^F \left(\beta_5^2 \psi_{\tau - \nu_5}^F + \beta_9^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_9 - \nu_{10}}^F \right) - \tau_9^F \left(\beta_9^2 \psi_{\tau - \nu_9}^F + \beta_5^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_5 - \nu_{10}}^F \right) - \\
 &- \tau_{10}^F \left(\beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_{10}}^F + \beta_5^2 \beta_9^2 \psi_{\tau - \nu_5 - \nu_9}^F \right) - \beta_5^2 \beta_9^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_5 - \nu_9 - \nu_{10}}^F . \quad (3.85)
 \end{aligned}$$

ČVOR G

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^G &= S_{10}^G \beta_{10} \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{10}}{2}}^F - \beta_{11}^2 \psi_{\tau - \nu_{11} - \frac{\nu_{10}}{2}}^F - \beta_{12}^2 \psi_{\tau - \nu_{12} - \frac{\nu_{10}}{2}}^F + \beta_{12}^2 \beta_{11}^2 \psi_{\tau - \nu_{11} - \nu_{12} - \frac{\nu_{10}}{2}}^F \right) + \\
 &+ S_{11}^G \beta_{11} \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{11}}{2}}^S - \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \frac{\nu_{11}}{2}}^S - \beta_{12}^2 \psi_{\tau - \nu_{12} - \frac{\nu_{11}}{2}}^S + \beta_{10}^2 \beta_{12}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{12} - \frac{\nu_{11}}{2}}^S \right) + \\
 &+ S_{12}^G \beta_{12} \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{12}}{2}}^A - \beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \frac{\nu_{12}}{2}}^A - \beta_{11}^2 \psi_{\tau - \nu_{11} - \frac{\nu_{12}}{2}}^A + \beta_{10}^2 \beta_{11}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{11} - \frac{\nu_{12}}{2}}^A \right) - \\
 &- \tau_{10}^G \left(\beta_{10}^2 \psi_{\tau - \nu_{10}}^G + \beta_{11}^2 \beta_{12}^2 \psi_{\tau - \nu_{11} - \nu_{12}}^G \right) - \tau_{11}^G \left(\beta_{11}^2 \psi_{\tau - \nu_{11}}^G + \beta_{10}^2 \beta_{12}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{12}}^G \right) - \\
 &- \tau_{12}^G \left(\beta_{12}^2 \psi_{\tau - \nu_{12}}^G + \beta_{10}^2 \beta_{11}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{11}}^G \right) - \beta_{10}^2 \beta_{11}^2 \beta_{12}^2 \psi_{\tau - \nu_{10} - \nu_{11} - \nu_{12}}^G . \quad (3.86)
 \end{aligned}$$

TAČKA H

$$v_t^H = \frac{\rho_1 b^H [\beta_1^2 (\alpha_{t-v_1}^H - \alpha_0^H) - (\alpha_t^H - \alpha_0^H)] + \beta_1^2 (\frac{1}{2} \rho_1 b^H \psi^H \alpha_{t-v_1}^H - 1) v_{t-v_1}^H + 2\beta_1 v_{t-\frac{v_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^H \psi^H \alpha_t^H} \quad (3.87)$$

TAČKA L

$$v_t^L = -\beta_6^2 v_{t-v_6}^L + 2\beta_6 v_{t-\frac{v_6}{2}}^{qD} \quad (3.88)$$

TAČKA R

$$v_t^R = -\beta_8^2 v_{t-v_8}^R + 2\beta_8 v_{t-\frac{v_8}{2}}^E \quad (3.89)$$

TAČKA S

$$v_t^S = \frac{\beta_{11}^2 (\frac{1}{2} \rho_{11} b^S \psi^S - 1) v_{t-v_{11}}^S + 2\beta_{11} v_{t-\frac{v_{11}}{2}}^G}{1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b^S \psi^S} \quad (3.90)$$

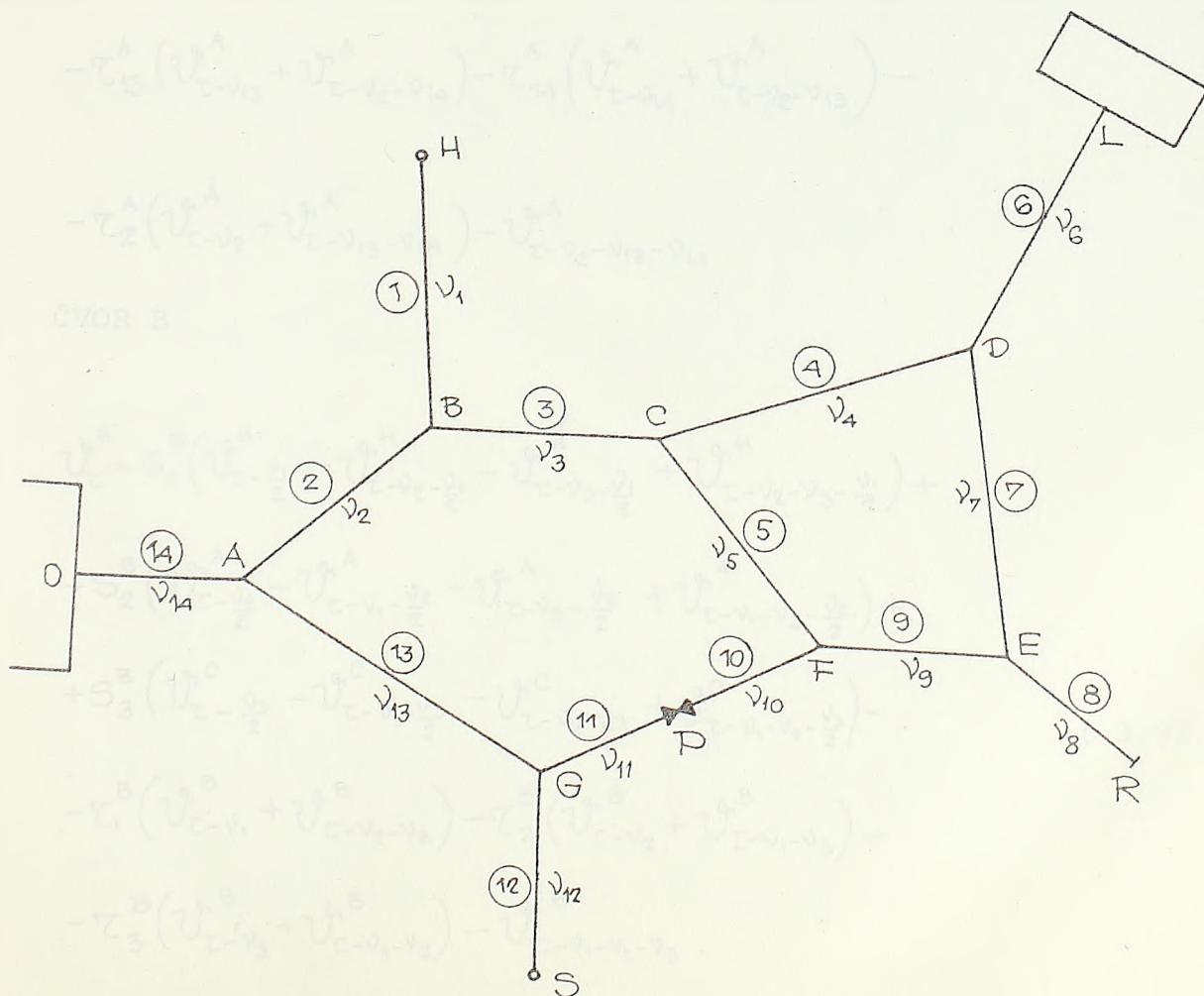
7. KARAKTERISTIKE PRORAČUNA HIDRAULIČKOG UDARA U MREŽAMA SA ZATVARAČEM NA CEVI

Treba uzeti mrežu (Sl. 3.11) iste konfiguracije kao na Sl. 3.10 . Uslovi na krajevima grana biće različiti.

U tački L nalazi se rezervoar koji se snabdeva vodom. U tački R ostaje zatvoren zatvarač.

U tačkama S i H nalaze se hidranti na kojima su priključeni uređjaji za navodnjavanje koji rade, a u tački O postoji rezervoar koji snabdeva mrežu vodom.

Na cevi GF u tački P postoji zatvarač, koji deli cev na dva različita dela. Izvor hidrauličkog udara je baš taj zatvarač.



Sl. 3.11

Treba napisati kao i u prethodnim slučajevima, jednačine za proračun hidrauličkog udara u mreži.

a) Jednačine hidrauličkog udara kod zanemarivanja trenja

ČVOR A

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^A &= S_2^A \left(\psi_{\tau - \frac{v_2}{2}}^B - \psi_{\tau - v_{13} - \frac{v_2}{2}}^B - \psi_{\tau - v_{14} - \frac{v_2}{2}}^B + \psi_{\tau - v_{13} - v_{14} - \frac{v_2}{2}}^B \right) + \\
 &+ S_{13}^A \left(\psi_{\tau - \frac{v_{13}}{2}}^G - \psi_{\tau - v_{14} - \frac{v_{13}}{2}}^G - \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_{13}}{2}}^G + \psi_{\tau - v_2 - v_{14} - \frac{v_{13}}{2}}^G \right) - \\
 &- \tau_{13}^A \left(\psi_{\tau - v_{13}}^A + \psi_{\tau - v_2 - v_{14}}^A \right) - \tau_{14}^A \left(\psi_{\tau - v_{14}}^A + \psi_{\tau - v_2 - v_{13}}^A \right) - \\
 &- \tau_2^A \left(\psi_{\tau - v_2}^A + \psi_{\tau - v_{13} - v_{14}}^A \right) - \psi_{\tau - v_2 - v_{13} - v_{14}}^A
 \end{aligned} \tag{3.91}$$

ČVOR B

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^B &= S_1^B \left(\psi_{\tau - \frac{v_1}{2}}^H - \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^H - \psi_{\tau - v_3 - \frac{v_1}{2}}^H + \psi_{\tau - v_2 - v_3 - \frac{v_1}{2}}^H \right) + \\
 &+ S_2^B \left(\psi_{\tau - \frac{v_2}{2}}^A - \psi_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^A - \psi_{\tau - v_3 - \frac{v_2}{2}}^A + \psi_{\tau - v_1 - v_3 - \frac{v_2}{2}}^A \right) + \\
 &+ S_3^B \left(\psi_{\tau - \frac{v_3}{2}}^C - \psi_{\tau - v_1 - \frac{v_3}{2}}^C - \psi_{\tau - v_2 - \frac{v_3}{2}}^C + \psi_{\tau - v_1 - v_2 - \frac{v_3}{2}}^C \right) - \\
 &- \tau_1^B \left(\psi_{\tau - v_1}^B + \psi_{\tau - v_2 - v_3}^B \right) - \tau_2^B \left(\psi_{\tau - v_2}^B + \psi_{\tau - v_1 - v_3}^B \right) - \\
 &- \tau_3^B \left(\psi_{\tau - v_3}^B + \psi_{\tau - v_1 - v_2}^B \right) - \psi_{\tau - v_1 - v_2 - v_3}^B .
 \end{aligned} \tag{3.92}$$

ČVOR C

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^c &= S_3^c \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^B - \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_3}{2}}^B - \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_3}{2}}^B + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^B \right) + \\
 &+ S_4^c \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_4}{2}}^D + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^D \right) + \\
 &+ S_5^c \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_5}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_5}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_5}{2}}^F + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\frac{\nu_5}{2}}^F \right) - \\
 &- \tau_3^c \left(\psi_{\tau-\nu_3}^c + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5}^c \right) - \tau_4^c \left(\psi_{\tau-\nu_4}^c + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5}^c \right) - \\
 &- \tau_5^c \left(\psi_{\tau-\nu_5}^c + \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4}^c \right) - \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_5}^c .
 \end{aligned} \tag{3.93}$$

ČVOR D

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^D &= S_4^D \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_4}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_4}{2}}^C + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7-\frac{\nu_4}{2}}^C \right) + \\
 &+ S_7^D \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_7}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_7}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_7}{2}}^E + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6-\frac{\nu_7}{2}}^E \right) - \\
 &- \tau_4^D \left(\psi_{\tau-\nu_4}^D + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7}^D \right) - \tau_6^D \left(\psi_{\tau-\nu_6}^D + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_7}^D \right) - \\
 &- \tau_7^D \left(\psi_{\tau-\nu_7}^D + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6}^D \right) - \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6-\nu_7}^D .
 \end{aligned} \tag{3.94}$$

ČVOR E

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^E &= S_7^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_7}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_7}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_7}{2}}^D + \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9-\frac{\nu_7}{2}}^D \right) + \\
 &+ S_8^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_8}{2}}^R - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_8}{2}}^R - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^R + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^R \right) + \\
 &+ S_9^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_9}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_9}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^F + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^F \right) - \\
 &- \tau_7^E \left(\psi_{\tau-\nu_7}^E + \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9}^E \right) - \tau_8^E \left(\psi_{\tau-\nu_8}^E + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_9}^E \right) - \\
 &- \tau_9^E \left(\psi_{\tau-\nu_9}^E + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8}^E \right) - \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8-\nu_9}^E .
 \end{aligned} \tag{3.95}$$

ČVOR F

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^F &= S_5^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_5}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_5}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_5}{2}}^C + \psi_{\tau-\nu_9-\nu_{10}-\frac{\nu_5}{2}}^C \right) + \\
 &+ S_9^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_9}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_9}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_9}{2}}^E + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_{10}-\frac{\nu_9}{2}}^E \right) + \\
 &+ S_{10}^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{10}}{2}}^{P_2} - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_{10}}{2}}^{P_2} - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_{10}}{2}}^{P_2} + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9-\frac{\nu_{10}}{2}}^{P_2} \right) - \\
 &- \tau_5^F \left(\psi_{\tau-\nu_5}^F + \psi_{\tau-\nu_9-\nu_{10}}^F \right) - \tau_9^F \left(\psi_{\tau-\nu_9}^F + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_{10}}^F \right) - \\
 &- \tau_{10}^F \left(\psi_{\tau-\nu_{10}}^F + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9}^F \right) - \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9-\nu_{10}}^F .
 \end{aligned} \tag{3.96}$$

ČVOR G

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^G &= S_{11}^G \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{11}}{2}}^{P_1} - \psi_{\tau-\nu_{12}-\frac{\nu_{11}}{2}}^{P_1} - \psi_{\tau-\nu_{13}-\frac{\nu_{11}}{2}}^{P_1} + \psi_{\tau-\nu_{12}-\nu_{13}-\frac{\nu_{11}}{2}}^{P_1} \right) + \\
 &+ S_{12}^G \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{12}}{2}}^S - \psi_{\tau-\nu_{11}-\frac{\nu_{12}}{2}}^S - \psi_{\tau-\nu_{13}-\frac{\nu_{12}}{2}}^S + \psi_{\tau-\nu_{11}-\nu_{13}-\frac{\nu_{12}}{2}}^S \right) + \\
 &+ S_{13}^G \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{13}}{2}}^A - \psi_{\tau-\nu_{11}-\frac{\nu_{13}}{2}}^A - \psi_{\tau-\nu_{12}-\frac{\nu_{13}}{2}}^A + \psi_{\tau-\nu_{11}-\nu_{12}-\frac{\nu_{13}}{2}}^A \right) - \\
 &- \tau_{11}^G \left(\psi_{\tau-\nu_{11}}^G + \psi_{\tau-\nu_{12}-\nu_{13}}^G \right) - \tau_{12}^G \left(\psi_{\tau-\nu_{12}}^G + \psi_{\tau-\nu_{11}-\nu_{13}}^G \right) - \\
 &- \tau_{13}^G \left(\psi_{\tau-\nu_{13}}^G + \psi_{\tau-\nu_{11}-\nu_{12}}^G \right) - \psi_{\tau-\nu_{11}-\nu_{12}-\nu_{13}}^G .
 \end{aligned} \tag{3.97}$$

TAČKA H

$$\psi_{\tau}^H = \frac{\left(\frac{1}{2} p_1 b^H \psi^H - 1 \right) \psi_{\tau-\nu_1}^H + 2 \psi_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} p_1 b^H \psi^H} \tag{3.98}$$

TAČKA L

Pošto na ovom mestu postoji rezervoar, tada je:

$$v_{\tau}^L = 0$$

TAČKA R

$$v_{\tau}^R = -v_{\tau-v_8}^R + 2v_{\tau-\frac{v_8}{2}}^E \quad (3.99)$$

TAČKA S

$$v_{\tau}^S = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho_{12} b^S \psi^S - 1\right) v_{\tau-v_{12}}^S + 2v_{\tau-\frac{v_{12}}{2}}^E}{1 + \frac{1}{2} \rho_{12} b^S \psi^S} \quad (3.100)$$

ČVOR P

Na osnovu izraza (2.179) i (2.180), može se pisati:

$$\begin{aligned} v_{\tau}^{P_1} = & \frac{\rho_{11} b (\alpha_{\tau} - \alpha_{\tau-v_{11}}) \left(\frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau} - 1\right) + \frac{1}{2} \rho_{10} \rho_{11} b^2 \psi \alpha_{\tau} (\alpha_{\tau-v_{10}} - \alpha_{\tau})}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} + \\ & + \frac{\left(1 - \frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau}\right) \left(\frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau-v_{11}} - 1\right)}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} v_{\tau-v_{11}}^{P_1} - \\ & - \frac{\frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau-v_{11}} \left(1 - \frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau}\right)}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} v_{\tau-v_{11}}^{P_2} + \\ & + \frac{\frac{1}{4} \rho_{11} \rho_{10} b^2 \psi^2 \alpha_{\tau} \alpha_{\tau-v_{10}}}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} v_{\tau-v_{10}}^{P_1} - \end{aligned} \quad (3.101)$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{\frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau} (\frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{10}} + 1)}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \nu_{10}}^{P_2} + \\
 & + \frac{2 - \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau}}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_{11}}{2}}^G + \frac{\rho_{11} b \psi \alpha_{\tau}}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_{10}}{2}}^F \quad (3.101)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{U}_{\tau}^{P_2} &= \frac{\rho_{10} b (1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau}) (\alpha_{\tau - \nu_{10}} - \alpha_{\tau}) - \frac{1}{2} \rho_{10} \rho_{11} b^2 \psi \alpha_{\tau} (\alpha_{\tau - \nu_{11}} - \alpha_{\tau})}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} - \\
 & - \frac{\frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau} (\frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{11}} - 1)}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \nu_{11}}^{P_1} + \\
 & + \frac{\frac{1}{4} \rho_{10} \rho_{11} b^2 \psi^2 \alpha_{\tau} \alpha_{\tau - \nu_{11}}}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \nu_{11}}^{P_2} + \\
 & + \frac{\frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{10}} (1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau})}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \nu_{10}}^{P_1} - \\
 & - \frac{(1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau}) (1 + \frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{10}})}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \nu_{10}}^{P_2} - \\
 & - \frac{\rho_{10} b \psi \alpha_{\tau}}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_{11}}{2}}^G + \frac{2 + \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau}}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_{10}}{2}}^F \quad (3.102)
 \end{aligned}$$

b) Jednačine hidrauličkog udara kod uzimanja u računi trenja

ČVOR A

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^A = & s_2^A \beta_2 \left(v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^B - \beta_{13}^2 v_{\tau - v_{13} - \frac{v_2}{2}}^B - \beta_{14}^2 v_{\tau - v_{14} - \frac{v_2}{2}}^B + \beta_{13}^2 \beta_{14}^2 v_{\tau - v_{13} - v_{14} - \frac{v_2}{2}}^B \right) + \\
 & + s_{13}^A \beta_{13} \left(v_{\tau - \frac{v_{13}}{2}}^G - \beta_{14}^2 v_{\tau - v_{14} - \frac{v_{13}}{2}}^G - \beta_2^2 v_{\tau - v_2 - \frac{v_{13}}{2}}^G + \beta_2^2 \beta_{14}^2 v_{\tau - v_2 - v_{14} - \frac{v_{13}}{2}}^G \right) - \\
 & - \tau_{13}^A \left(\beta_{13}^2 v_{\tau - v_{13}}^A + \beta_2^2 \beta_{14}^2 v_{\tau - v_2 - v_{14}}^A \right) - \tau_{14}^A \left(\beta_{14}^2 v_{\tau - v_{14}}^A + \beta_2^2 \beta_{13}^2 v_{\tau - v_2 - v_{13}}^A \right) - \\
 & - \tau_2^A \left(\beta_2^2 v_{\tau - v_2}^A + \beta_{13}^2 \beta_{14}^2 v_{\tau - v_{13} - v_{14}}^A \right) - \beta_2^2 \beta_{13}^2 \beta_{14}^2 v_{\tau - v_2 - v_{13} - v_{14}}^A. \quad (3.103)
 \end{aligned}$$

ČVOR B

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^B = & s_1^B \beta_1 \left(v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^H - \beta_2^2 v_{\tau - v_2 - \frac{v_1}{2}}^H - \beta_3^2 v_{\tau - v_3 - \frac{v_1}{2}}^H + \beta_2^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_2 - v_3 - \frac{v_1}{2}}^H \right) + \\
 & + s_2^B \beta_2 \left(v_{\tau - \frac{v_2}{2}}^A - \beta_1^2 v_{\tau - v_1 - \frac{v_2}{2}}^A - \beta_3^2 v_{\tau - v_3 - \frac{v_2}{2}}^A + \beta_1^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_1 - v_3 - \frac{v_2}{2}}^A \right) + \\
 & + s_3^B \beta_3 \left(v_{\tau - \frac{v_3}{2}}^C - \beta_1^2 v_{\tau - v_1 - \frac{v_3}{2}}^C - \beta_2^2 v_{\tau - v_2 - \frac{v_3}{2}}^C + \beta_1^2 \beta_2^2 v_{\tau - v_1 - v_2 - \frac{v_3}{2}}^C \right) - \\
 & - \tau_1^B \left(\beta_1^2 v_{\tau - v_1}^B + \beta_2^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_2 - v_3}^B \right) - \tau_2^B \left(\beta_2^2 v_{\tau - v_2}^B + \beta_1^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_1 - v_3}^B \right) - \\
 & - \tau_3^B \left(\beta_3^2 v_{\tau - v_3}^B + \beta_1^2 \beta_2^2 v_{\tau - v_1 - v_2}^B \right) - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 v_{\tau - v_1 - v_2 - v_3}^B. \quad (3.104)
 \end{aligned}$$

ČVOR C

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^C = & S_3^C \beta_3 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^B - \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_3}{2}}^B - \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^B + \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^B \right) + \\
 & + S_4^C \beta_4 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^D - \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^D - \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_4}{2}}^D + \beta_3^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^D \right) + \\
 & + S_5^C \beta_5 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_5}{2}}^F - \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_5}{2}}^F - \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_5}{2}}^F + \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\frac{\nu_5}{2}}^F \right) - \\
 & - \tau_3^C \left(\beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3}^C + \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5}^C \right) - \tau_4^C \left(\beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4}^C + \beta_3^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5}^C \right) - \\
 & - \tau_5^C \left(\beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5}^C + \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4}^C \right) - \beta_3^2 \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_5}^C. \quad (3.105)
 \end{aligned}$$

ČVOR D

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^D = & S_4^D \beta_4 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^C - \beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_4}{2}}^C - \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_4}{2}}^C + \beta_6^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7-\frac{\nu_4}{2}}^C \right) + \\
 & + S_7^D \beta_7 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_7}{2}}^E - \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_7}{2}}^E - \beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_7}{2}}^E + \beta_4^2 \beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6-\frac{\nu_7}{2}}^E \right) - \\
 & - \tau_4^D \left(\beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4}^D + \beta_6^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7}^D \right) - \tau_6^D \left(\beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_6}^D + \beta_4^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_7}^D \right) - \\
 & - \tau_7^D \left(\beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7}^D + \beta_4^2 \beta_6^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6}^D \right) - \beta_4^2 \beta_6^2 \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_6-\nu_7}^D. \quad (3.106)
 \end{aligned}$$

ČVOR E

$$\psi_{\tau}^E = S_7^E \beta_7 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_7}{2}}^D - \beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_7}{2}}^D - \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_7}{2}}^D + \beta_8^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9-\frac{\nu_7}{2}}^D \right) +$$

$$\begin{aligned}
 & + S_8^E \beta_8 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_8}{2}}^R - \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_8}{2}}^R - \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^R + \beta_7^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^R \right) + \\
 & + S_9^E \beta_9 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_9}{2}}^F - \beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_9}{2}}^F - \beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^F + \beta_7^2 \beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^F \right) - \\
 & - \tau_7^E \left(\beta_7^2 \psi_{\tau-\nu_7}^E + \beta_8^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9}^E \right) - \tau_8^E \left(\beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_8}^E + \beta_7^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_9}^E \right) - \\
 & - \tau_9^E \left(\beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9}^E + \beta_7^2 \beta_8^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8}^E \right) - \beta_7^2 \beta_8^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_7-\nu_8-\nu_9}^E . \quad (3.107)
 \end{aligned}$$

ČVOR F

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^F & = S_5^F \beta_5 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_5}{2}}^C - \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_5}{2}}^C - \beta_{10}^2 \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_5}{2}}^C + \beta_9^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau-\nu_9-\nu_{10}-\frac{\nu_5}{2}}^C \right) + \\
 & + S_9^F \beta_9 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_9}{2}}^E - \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_9}{2}}^E - \beta_{10}^2 \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_9}{2}}^E + \beta_5^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau-\nu_5-\nu_{10}-\frac{\nu_9}{2}}^E \right) + \\
 & + S_{10}^F \beta_{10} \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{10}}{2}}^{P_2} - \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_{10}}{2}}^{P_2} - \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_{10}}{2}}^{P_2} + \beta_5^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9-\frac{\nu_{10}}{2}}^{P_2} \right) - \\
 & - \tau_5^F \left(\beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5}^F + \beta_9^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau-\nu_9-\nu_{10}}^F \right) - \tau_9^F \left(\beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_9}^F + \beta_5^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau-\nu_5-\nu_{10}}^F \right) - \\
 & - \tau_{10}^F \left(\beta_{10}^2 \psi_{\tau-\nu_{10}}^F + \beta_5^2 \beta_9^2 \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9}^F \right) - \beta_5^2 \beta_9^2 \beta_{10}^2 \psi_{\tau-\nu_5-\nu_9-\nu_{10}}^F . \quad (3.108)
 \end{aligned}$$

ČVOR P

Na osnovu izraza (2.192) i (2.191), može se napisati:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{U}_{\tau}^{P_1} = & \frac{1}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau} \right) \left[(\alpha_{\tau - \nu_{11}} - \alpha_0) \beta_{11}^2 - \right. \right. \\
 & - (\alpha_{\tau} - \alpha_0) \left. \right] \rho_{11} b + \frac{1}{2} \rho_{10} \rho_{11} b^2 \psi \alpha_{\tau} \left[\beta_{10}^2 (\alpha_{\tau - \nu_{10}} - \alpha_0) - (\alpha_{\tau} - \alpha_0) \right] + \\
 & + \beta_{11}^2 \left(1 - \frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau} \right) \left(\frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{11}} - 1 \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_{11}}^{P_1} - \\
 & - \frac{1}{2} \beta_{11}^2 \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{11}} \left(1 - \frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau} \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_{11}}^{P_2} + \\
 & + \frac{1}{4} \rho_{10} \rho_{11} b^2 \beta_{10}^2 \psi^2 \alpha_{\tau} \alpha_{\tau - \nu_{10}} \mathcal{U}_{\tau - \nu_{10}}^{P_1} - \\
 & - \frac{1}{2} \rho_{11} b \beta_{10}^2 \psi \alpha_{\tau} \left(1 + \frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{10}} \right) \cdot \mathcal{U}_{\tau - \nu_{10}}^{P_2} + \\
 & + \beta_{11} \left(2 - \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau} \right) \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_{11}}{2}}^G + \rho_{11} b \beta_{10} \psi \alpha_{\tau} \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_{10}}{2}}^F \left. \right\}. \quad (3.109)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{U}_{\tau}^{P_2} = & \frac{1}{1 + \frac{1}{2} b \psi \alpha_{\tau} (\rho_{11} - \rho_{10})} \left\{ \left(1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau} \right) \left[\beta_{10}^2 (\alpha_{\tau - \nu_{10}} - \alpha_0) - \right. \right. \\
 & - (\alpha_{\tau} - \alpha_0) \left. \right] \rho_{10} b - \frac{1}{2} \rho_{10} \rho_{11} b^2 \psi \alpha_{\tau} \left[\beta_{11}^2 (\alpha_{\tau - \nu_{11}} - \alpha_0) - (\alpha_{\tau} - \alpha_0) \right] - \\
 & - \frac{1}{2} \rho_{10} b \beta_{11}^2 \psi \alpha_{\tau} \left(\frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{11}} - 1 \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_{11}}^{P_1} + \\
 & + \frac{1}{4} \rho_{10} \rho_{11} b^2 \beta_{11}^2 \psi^2 \alpha_{\tau - \nu_{11}} \mathcal{U}_{\tau - \nu_{11}}^{P_2} + \\
 & + \frac{1}{2} \rho_{10} b \beta_{10}^2 \psi \alpha_{\tau - \nu_{10}} \left(1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau} \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_{10}}^{P_1} \\
 & - \beta_{10}^2 \left(1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau} \right) \left(\frac{1}{2} \rho_{10} b \psi \alpha_{\tau - \nu_{10}} + 1 \right) \mathcal{U}_{\tau - \nu_{10}}^{P_2} - \\
 & - \rho_{10} b \beta_{11} \psi \alpha_{\tau} \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_{11}}{2}}^G + \beta_{10} \left(2 + \rho_{11} b \psi \alpha_{\tau} \right) \mathcal{U}_{\tau - \frac{\nu_{10}}{2}}^F \left. \right\} \quad (3.110)
 \end{aligned}$$

ČVOR G

$$\begin{aligned}
 v_{\tau}^G = & S_{11}^G \beta_{11} \left(v_{\tau - \frac{v_{11}}{2}}^{P_1} - \beta_{12}^2 v_{\tau - v_{12}}^{P_1} - \frac{v_{11}}{2} - \beta_{13}^2 v_{\tau - v_{13} - \frac{v_{11}}{2}}^{P_1} + \beta_{12}^2 \beta_{13}^2 v_{\tau - v_{12} - v_{13} - \frac{v_{11}}{2}}^{P_1} \right) + \\
 & + S_{12}^G \beta_{12} \left(v_{\tau - \frac{v_{12}}{2}}^S - \beta_{11}^2 v_{\tau - v_{11} - \frac{v_{12}}{2}}^S - \beta_{13}^2 v_{\tau - v_{13} - \frac{v_{12}}{2}}^S + \beta_{11}^2 \beta_{13}^2 v_{\tau - v_{11} - v_{13} - \frac{v_{12}}{2}}^S \right) + \\
 & + S_{13}^G \beta_{13} \left(v_{\tau - \frac{v_{13}}{2}}^A - \beta_{11}^2 v_{\tau - v_{11} - \frac{v_{13}}{2}}^A - \beta_{12}^2 v_{\tau - v_{12} - \frac{v_{13}}{2}}^A + \beta_{11}^2 \beta_{12}^2 v_{\tau - v_{11} - v_{12} - \frac{v_{13}}{2}}^A \right) - \\
 & - \tau_{11}^G \left(\beta_{11}^2 v_{\tau - v_{11}}^G + \beta_{12}^2 \beta_{13}^2 v_{\tau - v_{11} - v_{13}}^G \right) - \tau_{12}^G \left(\beta_{12}^2 v_{\tau - v_{12}}^G + \beta_{11}^2 \beta_{13}^2 v_{\tau - v_{11} - v_{13}}^G \right) - \\
 & - \tau_{13}^G \left(\beta_{13}^2 v_{\tau - v_{13}}^G + \beta_{11}^2 \beta_{12}^2 v_{\tau - v_{11} - v_{12}}^G \right) - \beta_{11}^2 \beta_{12}^2 \beta_{13}^2 v_{\tau - v_{11} - v_{12} - v_{13}}^G \quad (3.111)
 \end{aligned}$$

TAČKA H

$$v_{\tau}^H = \frac{\beta_1^2 \left(\frac{1}{2} \rho_1 b^H \psi^H - 1 \right) v_{\tau - v_1}^H + 2\beta_1 v_{\tau - \frac{v_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho_1 b^H \psi^H} \quad (3.112)$$

TAČKA R

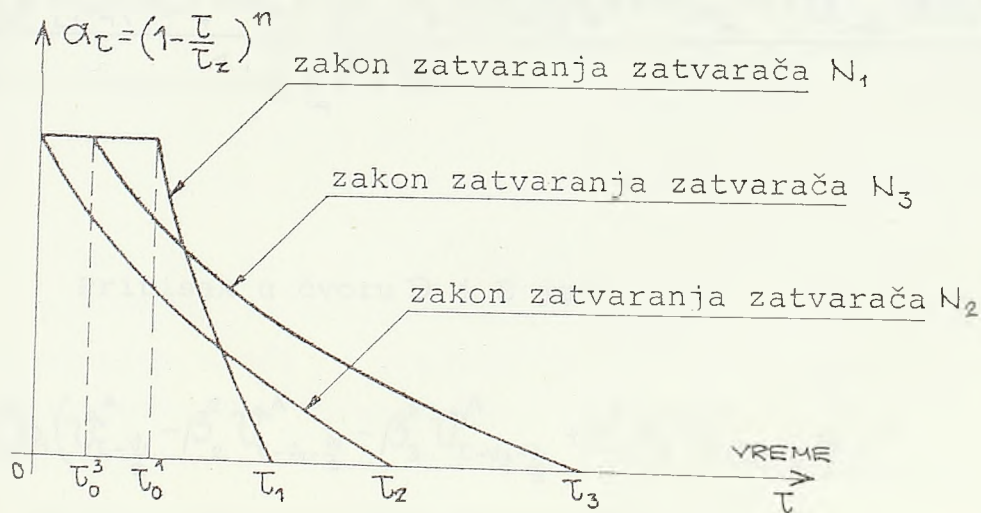
$$v_{\tau}^R = -\beta_8^2 v_{\tau - v_8}^R + 2\beta_8 v_{\tau - \frac{v_8}{2}}^E \quad (3.113)$$

TAČKA S

$$v_{\tau}^S = \frac{\beta_{12}^2 \left(\frac{1}{2} \rho_{12} b^S \psi^S - 1 \right) v_{\tau - v_{12}}^S + 2\beta_{12} v_{\tau - \frac{v_{12}}{2}}^G}{1 + \frac{1}{2} \rho_{12} b^S \psi^S} \quad (3.114)$$

8. KORIŠĆENJE OSNOVNIH JEDNAČINA U SISTEMU SA VIŠE IZVORA HIDRAULIČKOG UDARA

Do sada su razmatrani sistemi u kojima je hidraulički udar nastao samo od jednog uređaja, tj. samo na jednom mestu. Sada će se razmotriti opštiji slučaj, kada u razgranatoj mreži postoji više izvora hidrauličkog udara. Takva situacija može da nastane pri automatskom upravljanju zatvaračima na irigacionim sistemima. Pri ovome nije obavezno da se nekoliko zatvarača otvara ili zatvara sinhrono, dovoljno je da se počne manevrisanje zatvaračem ranije, nego što se ugasi nestacionarni proces, koji je nastao kao posledica manevrisanja drugim zatvaračem (Sl. 3.12).



Sl. 3.12

Zakon zatvaranja zatvarača - opšti slučaj

$(\tau_1 - \tau_0^1); \tau_2; (\tau_3 - \tau_0^3)$ - razna vremena zatvaranja zatvarača

τ_0^1 - početak zatvaranja zatvarača N_1

τ_0^3 - početak zatvaranja zatvarača N_3

Razmotriće se mreža na Sl. 3.9 . U ovoj mreži sva tri zatvarača počinju jednovremeno da se otvaraju ili zatvaraju po nekim različitim zakonima (na Sl. 3.12 bi bilo $\tau_0^1 = \tau_0^3 = 0$).

Na osnovu izraza (2.185) za sva tri zatvarača (tačke A,B,C) može se pisati:

$$U_{\tau}^A = \frac{\rho_1^A b^A [\beta_1^2 (\alpha_{\tau-\nu_1}^A - \alpha_0^A) - (\alpha_{\tau}^A - \alpha_0^A)] + \beta_1^2 \left(\frac{1}{2} \rho_1^A b^A \psi^A \alpha_{\tau-\nu_1}^A - 1 \right) U_{\tau-\nu_1}^A + 2\beta_1 U_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^D}{1 + \frac{1}{2} \rho_1^A b^A \psi^A \alpha_{\tau}^A} \quad (3.115)$$

$$U_{\tau}^B = \frac{\rho_2^B b^B [\beta_2^2 (\alpha_{\tau-\nu_2}^B - \alpha_0^B) - (\alpha_{\tau}^B - \alpha_0^B)] + \beta_2^2 \left(\frac{1}{2} \rho_2^B b^B \psi^B \alpha_{\tau-\nu_2}^B - 1 \right) U_{\tau-\nu_2}^B + 2\beta_2 U_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^D}{1 + \frac{1}{2} \rho_2^B b^B \psi^B \alpha_{\tau}^B} \quad (3.116)$$

$$U_{\tau}^C = \frac{\rho_4^C b^C [\beta_4^2 (\alpha_{\tau-\nu_4}^C - \alpha_0^C) - (\alpha_{\tau}^C - \alpha_0^C)] + \beta_4^2 \left(\frac{1}{2} \rho_4^C b^C \psi^C \alpha_{\tau-\nu_4}^C - 1 \right) U_{\tau-\nu_4}^C + 2\beta_4 U_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^D}{1 + \frac{1}{2} \rho_4^C b^C \psi^C \alpha_{\tau}^C} \quad (3.117)$$

Pritisak u čvoru D i E je:

$$\begin{aligned} U_{\tau}^D = & S_1^D \beta_1 \left(U_{\tau-\frac{\nu_1}{2}}^A - \beta_2^2 U_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_1}{2}}^A - \beta_3^2 U_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_1}{2}}^A + \beta_2^2 \beta_3^2 U_{\tau-\nu_2-\nu_3-\frac{\nu_1}{2}}^A \right) + \\ & + S_2^D \beta_2 \left(U_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^B - \beta_1^2 U_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_2}{2}}^B - \beta_3^2 U_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^B + \beta_1^2 \beta_3^2 U_{\tau-\nu_1-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^B \right) + \\ & + S_3^D \beta_3 \left(U_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^E - \beta_1^2 U_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_3}{2}}^E - \beta_2^2 U_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^E + \beta_1^2 \beta_2^2 U_{\tau-\nu_1-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^E \right) - \\ & - \tau_1^D \left(\beta_1^2 U_{\tau-\nu_1}^D + \beta_2^2 \beta_3^2 U_{\tau-\nu_2-\nu_3}^D \right) - \tau_2^D \left(\beta_2^2 U_{\tau-\nu_3}^D + \beta_1^2 \beta_3^2 U_{\tau-\nu_1-\nu_3}^D \right) - \\ & - \tau_3^D \left(\beta_3^2 U_{\tau-\nu_3}^D + \beta_1^2 \beta_2^2 U_{\tau-\nu_1-\nu_2}^D \right) - \beta_1^2 \beta_2^2 \beta_3^2 U_{\tau-\nu_1-\nu_2-\nu_3}^D \quad (3.118) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^E = & S_3^E \beta_3 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^D - \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_3}{2}}^D - \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^D + \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5-\frac{\nu_3}{2}}^D \right) + \\
 & + S_4^E \beta_4 \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^C - \beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_4}{2}}^C - \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^C + \beta_3^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^C \right) - \\
 & - \tau_3^E \left(\beta_3^2 \psi_{\tau-\nu_3}^E + \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5}^E \right) - \tau_4^E \left(\beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_4}^E + \beta_3^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_5}^E \right) - \\
 & - \tau_5^E \left(\beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_5}^E + \beta_3^2 \beta_4^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4}^E \right) - \beta_3^2 \beta_4^2 \beta_5^2 \psi_{\tau-\nu_3-\nu_4-\nu_5}^E
 \end{aligned}
 \tag{ 3.119 }$$

Kao što se vidi promenu su pretrpele samo jednačine za odredjivanje pritisaka u tačkama B i C tj. izrazi za ψ_{τ}^B i ψ_{τ}^C zbog izmenjenih graničnih uslova. Izrazi za ψ_{τ}^A , ψ_{τ}^D i ψ_{τ}^E su po obliku ostali isti kao izrazi (3.64), (3.65), (3.67), što se moglo i očekivati, jer su i granični uslovi ostali nepromenjeni.

* * * * *

Kao što se vidi iz ove glave, pisanje opštih jednačina za proračun hidrauličkog udara, za najopštije uslove i za najsloženije mreže ne predstavlja nikakvu teškoću, niti zahteva neka specifična razmatranja. Vidi se iz ovih primera da se jedan jedinstven metod, odnosno jedna jedinstvena metodologija pisanja jednačina može uvek i svagda primeniti na sve hidrauličke sisteme bez obzira na veličinu tog sistema, i bez obzira na broj grana u tome sistemu. Potrebno je samo odrediti karakteristike čvora i karakteristike cevi, pa primeniti odgovarajući izraz iz razradjene teorije, koja je data u ovome radu, pa je pisanje jednačina i za najkomplikovanije mreže vrlo lako i jednostavno i ne predstavlja nikakve teškoće.

U prilogu su dati primeri proračuna sa numeričkim vrednostima.

U ovome radu predložen je novi računski metod proračuna hidrauličkog udara u hidrotehničkim sistemima. Metod je mnogo jednostavniji u odnosu na postojeće. Jedino pomoću njega može se na zadovoljavajući način proračunati hidraulički udar u mrežama sa zatvorenim konturama. Kod proračuna hidrauličkog udara u ostalim hidrotehničkim sistemima, ovaj metod ima znatnih prednosti u odnosu na postojeće. On je veoma blizak praksi i stručnjacima koji će moći svakodnevno da ga upotrebljavaju u praktičnim proračunima. Za njegovo razumevanje i primenu ne treba neko naročito prethodno znanje iz ove oblasti, odnosno ne mora da bude specijalista u ovoj oblasti da bi se njim služio. Jednačine se lako pišu i mogu sve prethodno da budu tabelarno sredjene za različite slučajeve.

Mnogima u današnje vreme može izgledati da ova jednostavnost metoda nije toliko ni bitna, jer u eri moćnih brzih računara sa velikom operacionom memorijom i mnogi komplikovani problemi mogu se vrlo lako rešiti. Ali ne treba nikada zaboraviti da programe za računar pravi čovek i da on priprema i piše potrebne jednačine, koje prvo on mora dobro da prouči i nauči, pa tek onda da ih programira.

Prema tome, nije problem u programiranju već u pripremi materijala, tj. u razradi izvornih jednačina za programiranje. Zato je izuzetno važno da teorija bude što jednostavnija i pristupačnija širem krugu stručnjaka, koji će bez većih teškoća obraditi problem i neće odustati od istog prepuštajući ga samo specijalistima.

Ako se upoređi ovaj metod sa metodom karakteristika (mnogi postojeći metodi su u stvari metodi karakteristika) vidi se da on daje minimum suvišnih informacija. Pomoću ovog predlaganog metoda nije potrebno računati brzinu, odnosno proticaj, jer za naše proračune ta informacija je nepotrebna. Ovaj metod daje vrednost pritiska u čvorovima i u odredjenim zahtevanim tačkama, a za njihovo odredjivanje nije potreban proračun brzina. Treba napomenuti da ukoliko se želi i ovaj parametar, tj. brzina, može se proračunati na isti način kao i pritisak. Metod uzima u obzir i uticaj trenja, a da se pri tome

broj numeričkih operacija ne povećava. Kod Mostkova, ako se uzme u obzir i ovaj uticaj, onda je broj numeričkih operacija dvostruko veći (ako se uzme da su otpori skoncentrisani u jednoj tački a ukoliko se uzme više tačaka tada se povećava broj čvorova pa je i broj jednačina za toliko veći), a i onako daje nepotrebnu brzinu, tj. ona se mora odredjivati zajedno sa pritiskom.

Ako u sistemu ima više od jednog izvora hidrauličkog udara sa različitim zakonima zatvaranja ili otvaranja zatvarača kao i sa različitim počecima i različitim vremenima trajanja zatvaranja i različitim fazama udara, za ovaj metod to ne predstavlja nikakvu teškoću. Vrlo lako uzima se i ovo u račun, dok za neke druge metode ovakvi opšti uslovi zatvaranja i više izvora udara mogu predstavljati nepremostive teškoće.

Prema tome, jedino pomoću ovog metoda može se proračunati hidraulički udar u cevnim mrežama sa zatvorenim konturama a u slučaju i onih hidrauličkih sistema koji se mogu proračunati i na drugi način, ovaj predlagani metod ima znatna preimućstva koja su sve izraženija ukoliko je hidraulički sistem složenije konfiguracije.

LITERATURA

1. Г.В.АРОНОВИЧ, Н.А.КАРТВЕЛИШВИЛИ, Я.К.ЛЮБИМЦЕВ
-ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР И УРАВНИТЕЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРИ-
"НАУКА" МОСКВА, 1968.
2. Н.А.КАРТВЕЛИШВИЛИ
-ДИНАМИКА НАПОРНЫХ ТРУБ ОПРОВОДОВ-
"ЭНЕРГИЯ", МОСКВА, 1979,
3. BENJAMIN WILIE AND VICTOR L.STREETTER
- FLUID TRANSIENTS -
MC GRAW-HILL 1978.
- 4.М.А.МОСТКОВ
-ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ-
М. - Л., ОНТИ, 1938.
- 5.М.А.МОСТКОВ, А.А.БАШКИРОВ
- РАСЧЕТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА--
М., ГОСЭНЕРГОИЗДАТ, 1952.
6. STEFAN WEGRZYN
- CALCUL OPERATIONNEL EN ELECTROTECHNIQUE
GAUTHIER-WILLARS, PARIS, 1967
- 7.ЧАРНЫЙ И.А.
-НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБАХ-
"НЕДРА", МОСКВА, 1975.

GRADJEVINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

Mr DIMITRIJE AVAKUMOVIĆ, dipl.inž.

PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U CEVNIM MREŽAMA SA ZATVORENIM
KONTURAMA

- DOKTORSKA DISERTACIJA -

PRILOZI

BEOGRAD, 1982.

UVOD

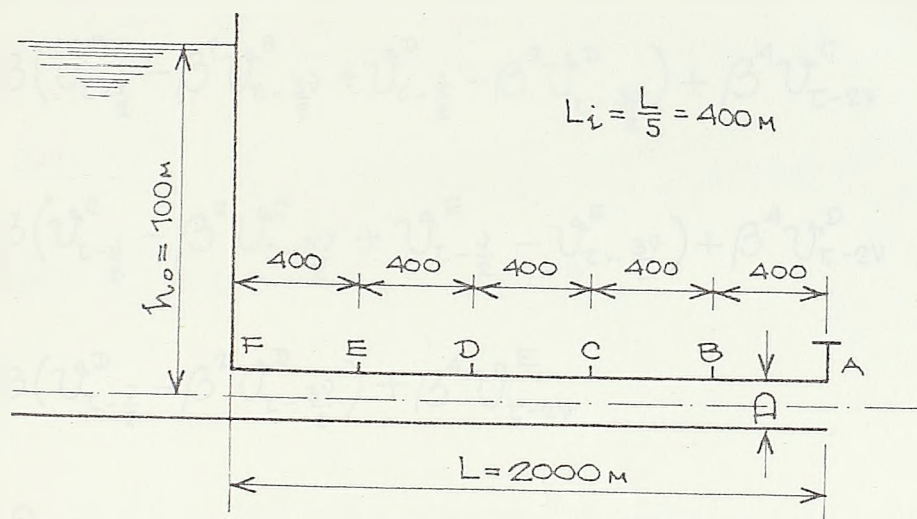
U ovim priložima daće se primeri proračuna hidrauličkog udara u raznim hidrotehničkim sistemima, da bi se demonstrirala mogućnost primene predloženog metoda. Ovaj metod, kao što je i naglašeno, moguće je primeniti i na proste i na složene cevovode i mreže različite konfiguracije. Cilj ovih priloga je baš u tome da pokaže mogućnost primene za različite praktične primere i metod nije ograničen na pojedinačne slučajeve već ima univerzalnu primenu u raznim oblastima primenjene tehnike i za razne sisteme, što će se videti iz daljeg.

Elegantnost metoda naročito se ogleda u složenim mrežama komplikovanije konfiguracije i složenim uslovima eksploatacije (postojanje u sistemu više izvora vodnog udara i sl.).

Pritisci su dati u 10 kPa.

I. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U PROSTOM CEVOVODU

Uzeće se primer iz časopisa "Water Power & Dam Construction March 1979" - Solving hydraulic transients by calculator - od F. Monsalve, koji je uradjen metodom karakteristika i uporediće se sa predlaganim metodom.



(Sl. P.1)

Voda ističe iz prostog cevovoda pri otvorenom zatvaraču u tački A (Sl. P.1). U trenutku vremena $t = 0$ zatvarač se zatvara čije je vreme zatvaranja $t_z = 6$ sekundi.

Zakon zatvaranja zatvarača dat je:

$$\alpha_t = \left(\alpha_0 - \frac{t}{t_z} \right)^2$$

Pošto je zatvarač bio potpuno otvoren to je $\alpha_0 = 1$. Ako se usvoji proizvoljno vreme $T = 0.2$ s, onda se zakon zatvaranja piše u sledećem obliku:

$$\alpha_T = \left(1 - \frac{T}{30} \right)^2$$

Prečnik cevi je $D = 0.6\text{m}$, protom $Q = 0.35\text{ m}^3/\text{s}$, $\lambda = 0.016$, brzina propagacije talasa $c = 1000\text{ m/s}$.

Jednačine za proračun hidrauličkog udara kod uzimanja u račun trenja su:

$$v_{\tau}^A = \frac{\rho b^A [\beta^2 (\alpha_{\tau-\nu}^A - \alpha_0^A) - (\alpha_{\tau}^A - \alpha_0^A)] + \beta^2 (\frac{1}{2} \rho b^A \psi \alpha_{\tau-\nu}^A - 1) v_{\tau-\nu}^A + 2\beta v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho b^A \psi \alpha_{\tau}^A}$$

$$v_{\tau}^B = \beta (v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^A - \beta^2 v_{\tau-\frac{3\nu}{2}}^A) + \beta (v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^C - \beta^2 v_{\tau-\frac{3\nu}{2}}^C) + \beta^4 v_{\tau-2\nu}^B$$

$$v_{\tau}^C = \beta (v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^B - \beta^2 v_{\tau-\frac{3\nu}{2}}^B + v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^D - \beta^2 v_{\tau-\frac{3\nu}{2}}^D) + \beta^4 v_{\tau-2\nu}^C$$

$$v_{\tau}^D = \beta (v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^C - \beta^2 v_{\tau-\frac{3\nu}{2}}^C + v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^E - v_{\tau-\frac{3\nu}{2}}^E) + \beta^4 v_{\tau-2\nu}^D$$

$$v_{\tau}^E = \beta (v_{\tau-\frac{\nu}{2}}^D - \beta^2 v_{\tau-\frac{3\nu}{2}}^D) + \beta^4 v_{\tau-2\nu}^E$$

$$v_{\tau}^F = 0$$

Treba izračunati potrebne parametre:

$$V_0 = 1,238 \text{ m/s} ; \Delta h = \lambda \frac{L}{D} \frac{V_0^2}{2g} = 8,33 \text{ kPa}$$

$$h_0^F = 1000 \text{ kPa} ; h_0^E = 991,7 \text{ kPa} ; h_0^D = 983,3 \text{ kPa}$$

$$h_0^C = 975 \text{ kPa} ; h_0^B = 966,7 \text{ kPa} ; h_0^A = 958,3 \text{ kPa}$$

$$\nu = \frac{2L}{cT} = \frac{2 \cdot 400}{1000 \cdot 0,2} = 4$$

$$\rho = \frac{cQ_0}{\rho A h_0^A} = 1,317 ; \beta = e^{-\frac{\lambda V_0}{4D} \cdot \frac{L}{c}} = 0,997 ; \beta^2 = 0,993$$

Jednačine za proračun hidrauličkog udara u tačkama: A,B,C,D,E (trenje se uzima u račun) su:

$$v_t^A = \frac{1,308(\alpha_{t-4}-1) - 1,317(\alpha_t-1) + 0,993(0,6585\alpha_{t-4}-1)v_{t-4}^A + 1,994v_{t-2}^B}{1 + 0,6585\alpha_t} ;$$

$$v_t^B = 0,997(v_{t-2}^C + v_{t-2}^A) - 0,990(v_{t-6}^C + v_{t-6}^A) + 0,987v_{t-8}^B$$

$$v_t^C = 0,997(v_{t-2}^D + v_{t-2}^B) - 0,990(v_{t-6}^D + v_{t-6}^B) + 0,987v_{t-8}^C$$

$$v_t^D = 0,997(v_{t-2}^E + v_{t-2}^C) - 0,990(v_{t-6}^E + v_{t-6}^C) + 0,987v_{t-8}^D$$

$$v_t^E = 0,997v_{t-2}^D - 0,990v_{t-6}^D + 0,987v_{t-8}^E$$

$$v_t^F = 0$$

Rešavanjem ovog sistema jednačina dobijaju se pritisci u tačkama A,B,C,D,E,F usled hidrauličkog udara koji je nastao u cevovodu pri zatvaranju zatvarača u tački A.

Prelaz od v na h i od τ na t određuje se prema formulama:

$$v = \frac{h - h_0}{H_*} \quad i \quad \tau = \frac{t}{T} \quad H_* = h_0^A = 958,3 \text{ kPa}$$

odnosno:

$$h_t^A = 958,3 v_t^A + 958,3$$

$$h_t^B = 958,3 v_t^B + 966,7$$

$$h_t^C = 958,3 v_t^C + 975,0$$

$$h_t^D = 958,3 v_t^D + 983,3$$

$$h_t^E = 958,3 v_t^E + 991,7$$

$$t = \tau T = 0,20 - \text{sec}$$

U proračunu je uzeto: $\xi = \frac{\lambda V_0}{4D} = \text{const.}$ Numeričke vrednosti pritiska date su na narednim stranama.

Pritisak je dat u 10·kPa.

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

A	V	V	AAA	K	K	J	J	M	M	000	V	V	III	CCCC		
A	V	V	A	A	K	K	U	J	MM	MM	O	O	V	V	I	C
A	V	V	A	A	K	K	U	J	M	M	O	O	V	V	I	C
A	V	V	A	A	KKK		U	J	M	M	O	O	V	V	I	C
AA	V	V	AAAAA	K	K	U	J	M	M	O	O	V	V	I	C	
A	V	V	A	A	K	K	U	J	M	M	O	O	V	V	I	C
A	V	V	A	A	K	K	UUUUU	M	M	000		V	III	CCCC		

1. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U PROSTOM CEMOVODU

1.

PRIMER 1.

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

TART* USER AVAKUMOVIC JOB MITA2 SEQ. 4165 DATE 28-APR-81 13:39:30 MONITOR

```

DIMENSION A(500),VTA(500),VTB(500),VTC(500),VTD(500),VTE(500),
*HTA(500),HTB(500),HTC(500),HTD(500),HTE(500)
DO 10 I=1,100
  A(I)=0
  VTA(I)=0
  VTB(I)=0
  VTC(I)=0
  VTD(I)=0
  VTE(I)=0
  HTA(I)=0
  HTB(I)=0
  HTC(I)=0
  HTD(I)=0
10 HTE(I)=0
  READ(2,100) NT,NA
100 FORMAT(2I5,F10.0)
  READ(2,101)(A(I),I=1,NA)
101 FORMAT(8F10.0)
  DO 5 IT=1,NT
    IF(IT.LE.4)1,2
  1 VT=1.317*(1-A(IT))
    GO TO 3
  2 VT=1.308*(A(IT-4)-1)-1.317*(A(IT)-1)+(0.6539*A(IT-4)-0.993)*VTA(
*IT-4)
  3 IF(IT.GT.2) VT=VT+1.994*VTB(IT-2)
    VTA(IT)=VT/(1+0.6535*A(IT))
    HTA(IT)=95.83*VTA(IT)+95.83
    VT=0
    IF(IT.GT.2) VT=VTC(IT-2)+VTA(IT-2)+VT
    VTB(IT)=0.997*VT
    VT=0
    IF(IT.GT.6) VT=VT+VTC(IT-5)+VTA(IT-6)
    VTB(IT)=VTB(IT)-0.990*VT
    IF(IT.GT.8) VTB(IT)=VTB(IT)+0.987*VTB(IT-8)
    HTB(IT)=95.83*VTB(IT)+95.67
    VT=0
    IF(IT.GT.2) VT=VT+VTD(IT-2)+VTB(IT-2)
    VTC(IT)=0.997*VT
    VT=0
    IF(IT.GT.6) VT=VT+VTD(IT-6)+VTB(IT-6)
    VTC(IT)=VTC(IT)-0.990*VT
    IF(IT.GT.8) VTC(IT)=VTC(IT)+0.987*VTC(IT-8)
    HTC(IT)=95.83*VTC(IT)+97.50
    VT=0
    IF(IT.GT.2) VT=VT+VTE(IT-2)+VTC(IT-2)
    VTD(IT)=0.997*VT
    VT=0
    IF(IT.GT.6) VT=VT+VTE(IT-6)+VTC(IT-6)
    VTD(IT)=VTD(IT)-0.990*VT
    IF(IT.GT.8) VTD(IT)=VTD(IT)+0.987*VTD(IT-8)
    HTD(IT)=95.83*VTD(IT)+98.33
    VTE(IT)=0
    IF(IT.GT.2) VTE(IT)=0.997*VTD(IT-2)
    IF(IT.GT.6) VTE(IT)=VTE(IT)-0.990*VTD(IT-6)
    IF(IT.GT.8) VTE(IT)=VTE(IT)+0.987*VTE(IT-8)
    HTE(IT)=95.83*VTE(IT)+99.17

```

```

5 CONTINUE
  WRITE(3,102)
102 FORMAT(1H1,8X,'I',3X,'A',7X,'VTA',7X,'VTB',7X,'VTC',7X,'VTD',7X,
  *'VTE'/)
  DO 6 I=1,NT
  6 WRITE(3,103) I,A(I),VTA(I),VTB(I),VTC(I),VTD(I),VTE(I)
103 FORMAT(8X,I3,6F10.3)
  WRITE(3,104)
104 FORMAT(1H1,8X,'I',3X,'A',7X,'HTA',7X,'HTB',7X,'HTC',7X,'HTD',7X,
  *'HTE'/)
  DO 7 I=1,NT
  7 WRITE(3,103)I,A(I),HTA(I),HTB(I),HTC(I),HTD(I),HTE(I)
  STOP
  END

```

GRAMS CALLED

AND ARRAYS ["*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED]

1	HFA	755	*VT	1751	VTD	1752	HTE	2736
3722	VIA	3723	HTB	4707	VTE	5673	.S0004	6657
5650	A	5651	.S0002	7645	.S0001	7646	.S0000	7647
7650	VIB	7651	HTC	10635	*I	11621	*NT	11622
11623								

RIES

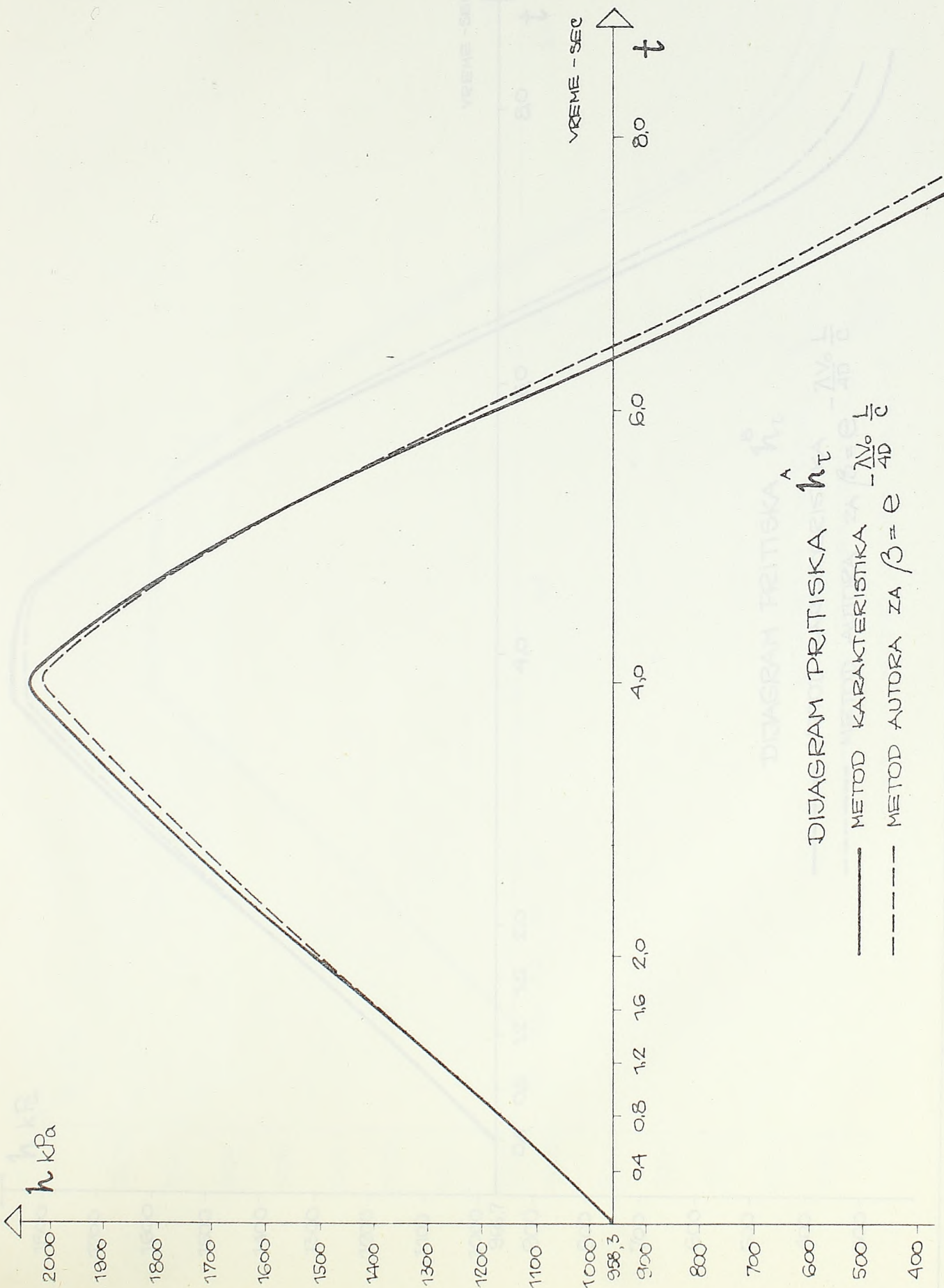
[NO ERRORS DETECTED]

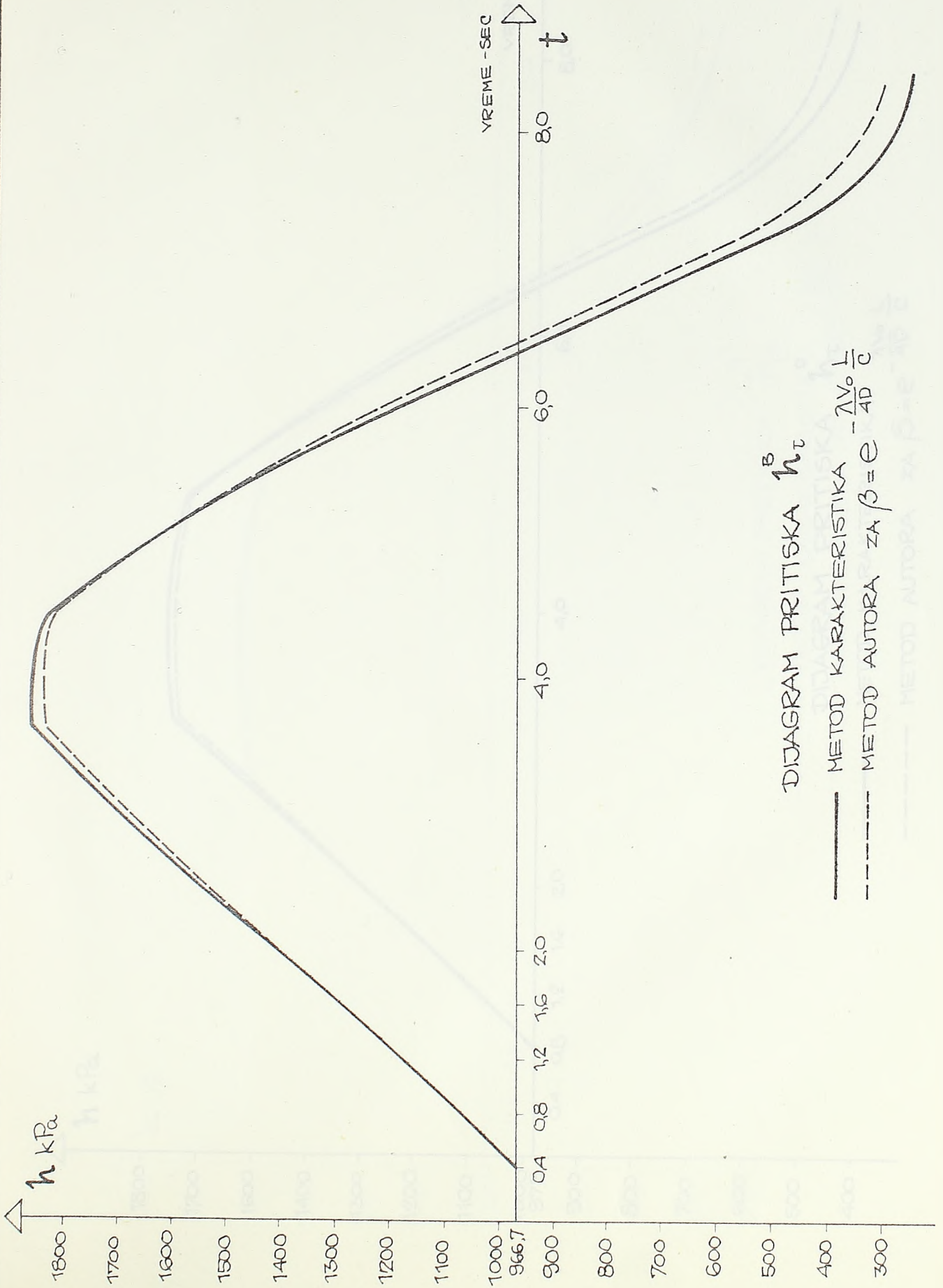
I_{τ}	A α_{τ}	VTA _A α_{τ}^A	VTB _B α_{τ}^B	VTC _C α_{τ}^C	VTD _D α_{τ}^D	VTE _E α_{τ}^E
1	0.934	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.871	0.108	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.810	0.153	0.054	0.000	0.000	0.000
4	0.751	0.219	0.108	0.000	0.000	0.000
5	0.694	0.277	0.153	0.053	0.000	0.000
6	0.640	0.334	0.219	0.107	0.000	0.000
7	0.588	0.391	0.275	0.162	0.053	0.000
8	0.538	0.450	0.333	0.218	0.107	0.000
9	0.490	0.508	0.390	0.275	0.162	0.053
10	0.444	0.567	0.448	0.332	0.217	0.107
11	0.401	0.625	0.507	0.389	0.274	0.161
12	0.360	0.683	0.566	0.447	0.331	0.217
13	0.321	0.740	0.624	0.506	0.388	0.221
14	0.284	0.797	0.682	0.565	0.446	0.224
15	0.250	0.851	0.739	0.623	0.452	0.227
16	0.218	0.905	0.796	0.680	0.458	0.230
17	0.188	0.957	0.851	0.686	0.462	0.232
18	0.160	1.008	0.904	0.690	0.464	0.234
19	0.134	1.057	0.975	0.691	0.466	0.235
20	0.111	1.101	0.993	0.690	0.467	0.235
21	0.090	1.046	0.893	0.686	0.465	0.235
22	0.071	0.984	0.899	0.682	0.462	0.233
23	0.054	0.915	0.830	0.675	0.456	0.231
24	0.040	0.838	0.756	0.663	0.449	0.227
25	0.028	0.754	0.675	0.653	0.442	0.223
26	0.018	0.666	0.616	0.536	0.430	0.217
27	0.010	0.572	0.531	0.466	0.371	0.212
28	0.004	0.473	0.441	0.387	0.306	0.204
29	0.001	0.368	0.347	0.303	0.238	0.149
30	0.000	0.258	0.249	0.215	0.164	0.091
31	0.000	0.152	0.144	0.124	0.084	0.028
32	0.000	0.041	0.037	0.030	0.002	-0.039
33	0.000	-0.067	-0.058	-0.070	-0.083	-0.063
34	0.000	-0.174	-0.172	-0.171	-0.169	-0.087
35	0.000	-0.276	-0.276	-0.271	-0.214	-0.110
36	0.000	-0.376	-0.377	-0.367	-0.257	-0.130
37	0.000	-0.475	-0.474	-0.416	-0.295	-0.150
38	0.000	-0.570	-0.556	-0.459	-0.325	-0.169
39	0.000	-0.652	-0.610	-0.494	-0.349	-0.184
40	0.000	-0.745	-0.648	-0.520	-0.369	-0.194
41	0.000	-0.737	-0.578	-0.541	-0.381	-0.199
42	0.000	-0.717	-0.697	-0.555	-0.388	-0.199
43	0.000	-0.636	-0.554	-0.563	-0.388	-0.196
44	0.000	-0.640	-0.622	-0.562	-0.384	-0.193
45	0.000	-0.584	-0.559	-0.510	-0.377	-0.189
46	0.000	-0.519	-0.504	-0.449	-0.366	-0.184
47	0.000	-0.444	-0.428	-0.381	-0.310	-0.180
48	0.000	-0.359	-0.344	-0.307	-0.249	-0.173
49	0.000	-0.254	-0.255	-0.227	-0.184	-0.120
50	0.000	-0.152	-0.152	-0.144	-0.113	-0.064
51	0.000	-0.059	-0.053	-0.058	-0.038	-0.004
52	0.000	0.043	0.039	0.032	0.041	0.059
53	0.000	0.146	0.139	0.127	0.122	0.082
54	0.000	0.248	0.238	0.223	0.204	0.105
55	0.000	0.345	0.336	0.319	0.247	0.126
56	0.000	0.440	0.432	0.410	0.288	0.145
57	0.000	0.534	0.525	0.456	0.323	0.164
58	0.000	0.626	0.613	0.497	0.351	0.183
59	0.000	0.714	0.656	0.531	0.375	0.197
60	0.000	0.794	0.692	0.556	0.394	0.207
61	0.000	0.786	0.721	0.575	0.405	0.211
62	0.000	0.758	0.739	0.590	0.412	0.211
63	0.000	0.738	0.708	0.598	0.413	0.209
64	0.000	0.694	0.658	0.598	0.409	0.206

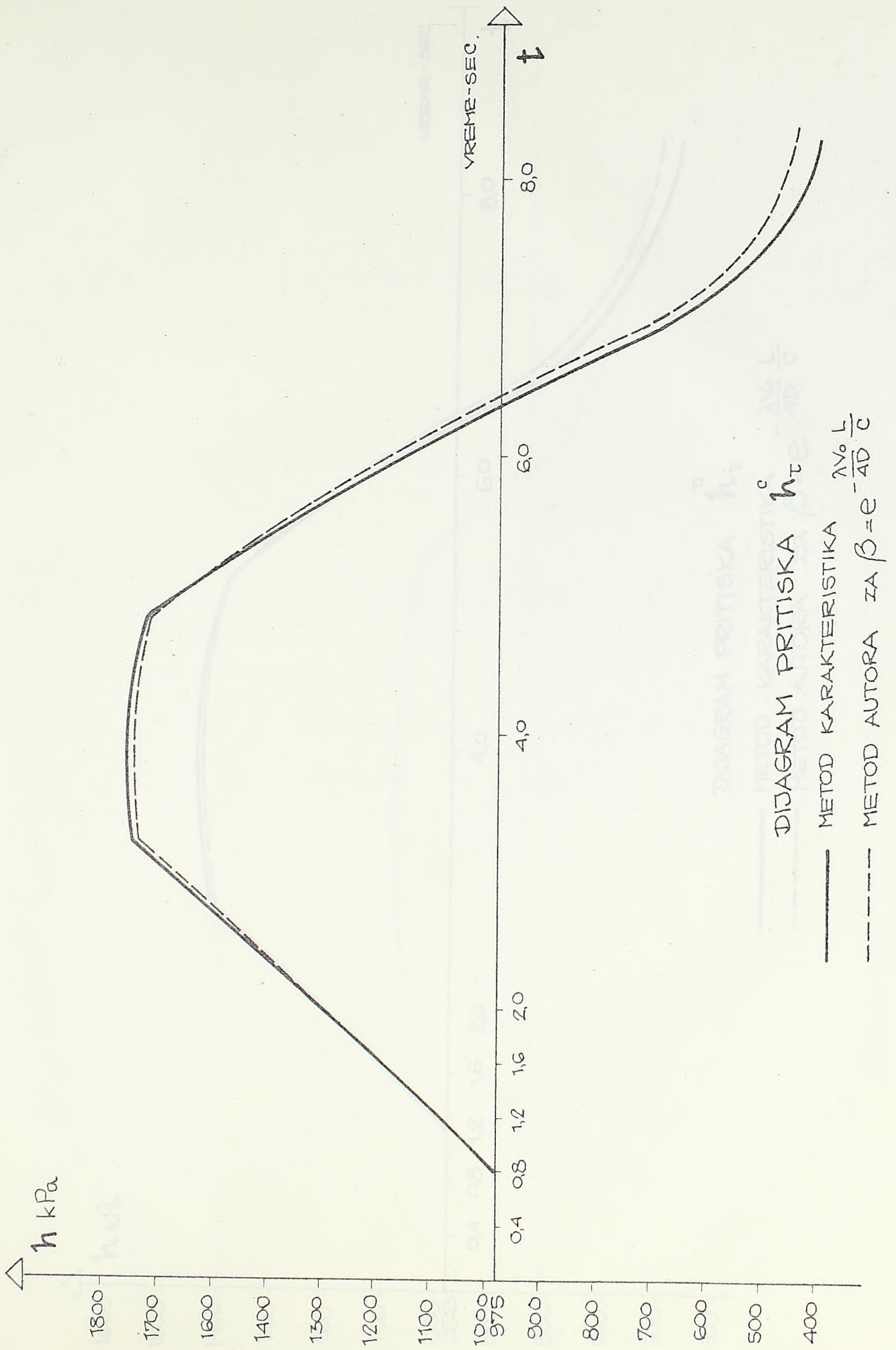
τ	u^A	u^B	u^C	185	u^C	u^D	u^E
65	0.000	0.641	0.618		0.548	0.403	0.203
66	0.000	0.580	0.556		0.490	0.394	0.199
67	0.000	0.509	0.485		0.427	0.340	0.195
68	0.000	0.429	0.406		0.356	0.282	0.188
69	0.000	0.339	0.322		0.281	0.221	0.139
70	0.000	0.243	0.233		0.202	0.154	0.085
71	0.000	0.145	0.140		0.120	0.082	0.028
72	0.000	0.048	0.043		0.035	0.007	-0.033
73	0.000	-0.049	-0.051		-0.055	-0.070	-0.055
74	0.000	-0.145	-0.145		-0.146	-0.148	-0.076
75	0.000	-0.237	-0.238		-0.237	-0.188	-0.096
76	0.000	-0.328	-0.330		-0.324	-0.227	-0.114
77	0.000	-0.418	-0.418		-0.368	-0.261	-0.132
78	0.000	-0.505	-0.502		-0.407	-0.287	-0.150
79	0.000	-0.539	-0.543		-0.438	-0.310	-0.163
80	0.000	-0.667	-0.578		-0.462	-0.327	-0.172
81	0.000	-0.659	-0.605		-0.481	-0.339	-0.176
82	0.000	-0.641	-0.623		-0.495	-0.345	-0.177
83	0.000	-0.613	-0.594		-0.503	-0.346	-0.175
84	0.000	-0.571	-0.556		-0.504	-0.343	-0.172
85	0.000	-0.521	-0.508		-0.457	-0.338	-0.169
86	0.000	-0.463	-0.450		-0.402	-0.329	-0.166
87	0.000	-0.396	-0.382		-0.341	-0.279	-0.162
88	0.000	-0.321	-0.307		-0.274	-0.224	-0.157
89	0.000	-0.235	-0.227		-0.203	-0.155	-0.139
90	0.000	-0.144	-0.144		-0.128	-0.101	-0.058
91	0.000	-0.051	-0.055		-0.051	-0.033	-0.003
92	0.000	0.040	0.036		0.030	0.038	0.055
93	0.000	0.133	0.125		0.115	0.112	0.076
94	0.000	0.224	0.215		0.203	0.186	0.096
95	0.000	0.312	0.304		0.289	0.224	0.115
96	0.000	0.397	0.392		0.372	0.261	0.131
97	0.000	0.483	0.476		0.414	0.293	0.149
98	0.000	0.567	0.556		0.451	0.318	0.166
99	0.000	0.648	0.595		0.481	0.339	0.178
100	0.000	0.722	0.628		0.503	0.356	0.187
101	0.000	0.715	0.655		0.522	0.367	0.191
102	0.000	0.698	0.672		0.536	0.373	0.191
103	0.000	0.672	0.645		0.544	0.375	0.190
104	0.000	0.632	0.609		0.545	0.372	0.187
105	0.000	0.585	0.554		0.500	0.368	0.185
106	0.000	0.530	0.509		0.448	0.360	0.182
107	0.000	0.467	0.445		0.391	0.312	0.179
108	0.000	0.395	0.374		0.328	0.260	0.174
109	0.000	0.315	0.299		0.260	0.205	0.129
110	0.000	0.228	0.220		0.190	0.144	0.080
111	0.000	0.141	0.135		0.116	0.079	0.028
112	0.000	0.054	0.049		0.040	0.012	-0.028
113	0.000	-0.033	-0.036		-0.041	-0.058	-0.048
114	0.000	-0.120	-0.120		-0.124	-0.129	-0.066
115	0.000	-0.203	-0.205		-0.206	-0.165	-0.084
116	0.000	-0.284	-0.288		-0.285	-0.200	-0.100
117	0.000	-0.356	-0.358		-0.325	-0.230	-0.116
118	0.000	-0.446	-0.444		-0.360	-0.253	-0.132
119	0.000	-0.524	-0.492		-0.388	-0.274	-0.144
120	0.000	-0.595	-0.514		-0.409	-0.290	-0.152
121	0.000	-0.538	-0.540		-0.427	-0.300	-0.156
122	0.000	-0.572	-0.556		-0.441	-0.306	-0.157
123	0.000	-0.547	-0.530		-0.449	-0.308	-0.155
124	0.000	-0.509	-0.496		-0.451	-0.306	-0.153
125	0.000	-0.454	-0.454		-0.408	-0.302	-0.151
126	0.000	-0.412	-0.401		-0.359	-0.296	-0.148
127	0.000	-0.352	-0.340		-0.305	-0.250	-0.146
128	0.000	-0.285	-0.273		-0.245	-0.201	-0.142
129	0.000	-0.209	-0.202		-0.181	-0.148	-0.098

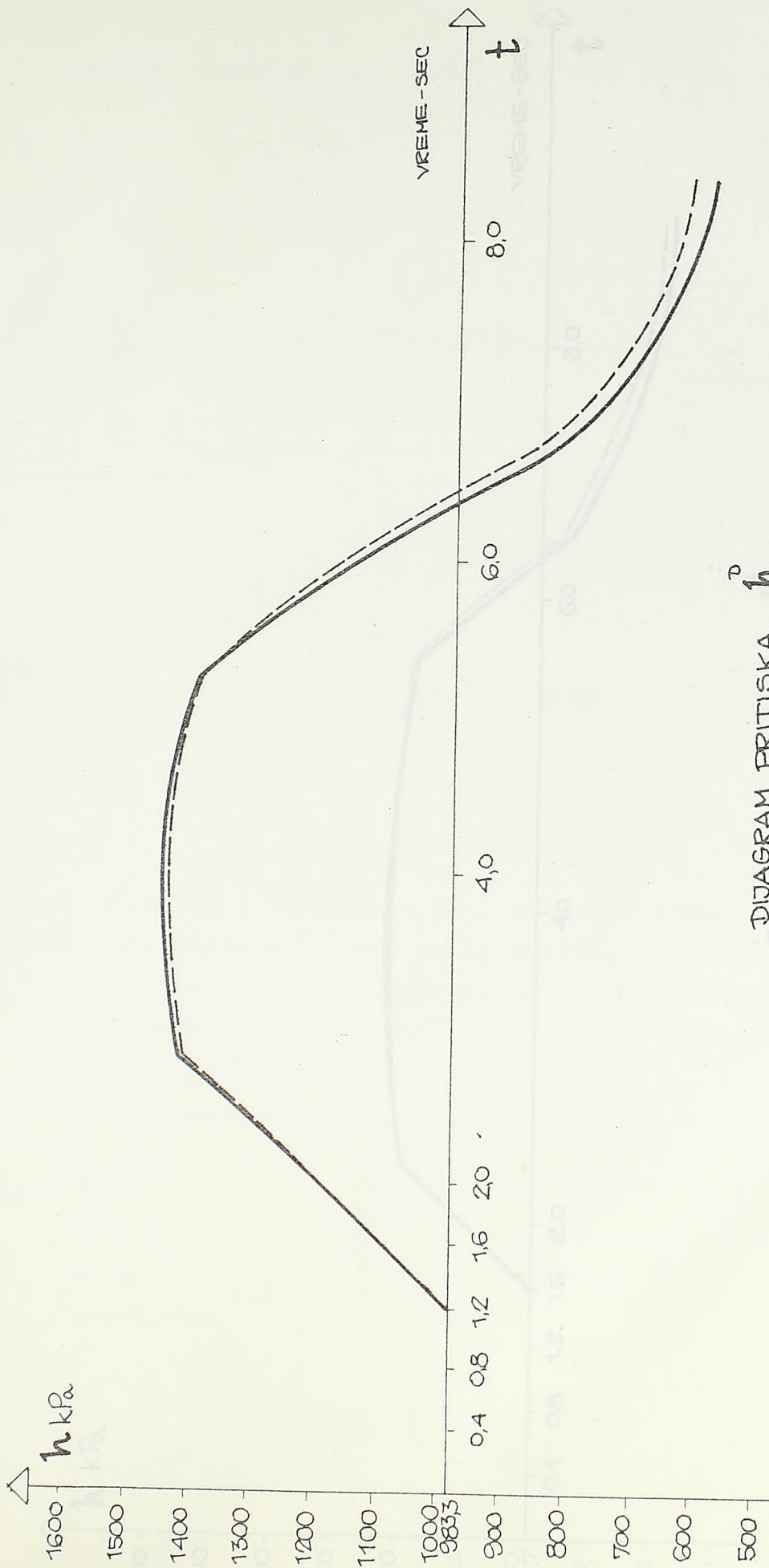
I τ	A ατ	HTA h _A h _τ	HTB h _B h _τ	HTC h _C h _τ	HTD h _D h _τ	HTE h _E h _τ
1	0.934	100.988	96.670	97.500	98.330	99.170
2	0.871	106.177	96.670	97.500	98.330	99.170
3	0.810	111.468	101.812	97.500	98.330	99.170
4	0.751	116.857	106.935	97.500	98.330	99.170
5	0.694	122.343	112.261	102.627	98.330	99.170
6	0.640	127.807	117.534	107.785	98.330	99.170
7	0.588	133.334	123.108	113.045	103.441	99.170
8	0.538	138.913	128.552	118.401	108.584	99.170
9	0.490	144.544	134.078	123.864	113.828	104.266
10	0.444	150.201	139.645	129.306	119.168	109.393
11	0.401	155.737	145.276	134.811	124.620	114.621
12	0.360	151.252	150.932	140.367	130.052	119.946
13	0.321	166.761	156.467	145.998	135.545	120.321
14	0.284	172.212	161.982	151.653	141.090	120.645
15	0.250	177.427	167.507	157.187	141.669	120.931
16	0.218	182.527	172.974	162.703	142.242	121.172
17	0.188	187.550	178.206	163.208	142.595	121.381
18	0.160	192.409	183.324	163.625	142.833	121.636
19	0.134	197.079	183.365	163.708	142.982	121.710
20	0.111	201.352	183.213	163.582	143.093	121.713
21	0.090	196.028	182.772	163.285	142.900	121.658
22	0.071	190.145	181.341	162.846	142.561	121.521
23	0.054	183.573	176.218	162.158	142.075	121.271
24	0.040	176.150	170.038	161.024	141.401	120.926
25	0.028	168.126	163.307	155.243	140.658	120.501
26	0.018	159.633	155.721	148.912	139.540	119.971
27	0.010	150.682	147.554	142.111	133.847	119.484
28	0.004	141.174	138.942	134.575	127.687	118.718
29	0.001	131.068	129.941	126.522	121.169	113.470
30	0.000	120.535	120.501	118.086	114.012	107.859
31	0.000	110.179	110.513	109.383	106.414	101.849
32	0.000	99.805	100.226	100.333	98.538	95.480
33	0.000	89.451	90.126	90.807	90.351	93.121
34	0.000	79.202	80.147	81.084	82.094	90.844
35	0.000	69.395	70.252	71.502	77.793	88.654
36	0.000	59.798	60.550	62.314	73.655	86.751
37	0.000	50.348	51.264	57.623	70.051	84.806
38	0.000	41.201	42.447	53.490	67.194	82.940
39	0.000	32.402	38.172	50.143	64.845	81.520
40	0.000	24.352	34.550	47.626	62.970	80.559
41	0.000	25.210	31.666	45.672	61.790	80.146
42	0.000	27.072	29.070	44.287	61.154	80.127
43	0.000	30.059	33.019	43.550	61.120	80.357
44	0.000	34.438	37.077	43.621	61.573	80.673
45	0.000	39.898	42.169	48.646	62.231	81.044
46	0.000	46.141	48.416	54.507	63.240	81.511
47	0.000	53.328	55.685	60.958	68.645	81.933
48	0.000	61.386	63.705	68.108	74.494	82.621
49	0.000	70.508	72.229	75.740	80.684	87.636
50	0.000	80.302	81.171	83.734	87.486	92.999
51	0.000	90.162	90.644	91.984	94.719	98.746
52	0.000	99.990	100.401	100.568	102.219	104.841
53	0.000	109.820	109.980	109.637	110.020	107.067
54	0.000	119.551	119.447	118.896	117.891	109.215
55	0.000	128.862	128.877	128.024	121.966	111.282
56	0.000	137.980	138.116	136.781	125.889	113.074
57	0.000	147.021	146.984	141.239	129.301	114.926
58	0.000	155.731	155.403	145.167	132.001	116.705
59	0.000	164.219	159.502	148.347	134.249	118.057
60	0.000	171.951	162.932	150.740	136.048	118.971
61	0.000	171.147	165.765	152.649	137.184	119.376
62	0.000	159.338	167.507	154.021	137.805	119.407
63	0.000	166.558	164.552	154.780	137.888	119.200

τ	α	h_a	h_b	$-187\frac{a}{h_c}$	h_c	h_c
65	0.000	157.259	155.911	150.024	136.939	118.600
66	0.000	151.373	149.997	144.480	136.041	118.196
67	0.000	144.586	143.135	138.374	130.919	117.840
68	0.000	136.959	135.557	131.603	125.375	117.230
69	0.000	128.345	127.499	124.384	119.507	112.443
70	0.000	119.079	119.044	116.822	113.050	107.322
71	0.000	109.751	110.076	109.013	106.175	101.829
72	0.000	100.455	100.837	100.884	99.044	96.002
73	0.000	91.138	91.756	92.266	91.619	93.906
74	0.000	81.915	82.799	83.462	84.124	91.886
75	0.000	73.090	73.829	74.777	80.273	89.942
76	0.000	64.441	65.037	66.443	76.566	88.259
77	0.000	55.807	56.591	62.221	73.345	86.501
78	0.000	47.434	48.557	58.502	70.804	84.811
79	0.000	39.357	44.653	55.404	68.662	83.528
80	0.000	31.944	41.324	53.233	66.947	82.664
81	0.000	32.714	38.654	51.383	65.863	82.272
82	0.000	34.391	36.971	50.038	65.265	82.237
83	0.000	37.087	39.769	49.274	65.150	82.428
84	0.000	41.093	43.395	49.235	65.472	82.687
85	0.000	45.907	47.959	53.737	65.968	82.957
86	0.000	51.470	53.571	58.995	66.773	83.307
87	0.000	57.895	60.065	64.788	71.637	83.609
88	0.000	65.107	67.240	71.212	76.901	84.150
89	0.000	73.277	74.872	78.054	82.475	88.726
90	0.000	82.058	82.883	85.221	88.612	93.622
91	0.000	90.897	91.385	92.624	95.158	98.876
92	0.000	99.703	100.150	100.335	101.949	104.453
93	0.000	108.550	108.754	108.539	109.025	106.431
94	0.000	117.307	117.250	116.924	116.172	108.337
95	0.000	125.685	125.809	125.200	119.820	110.170
96	0.000	133.902	134.192	133.143	123.333	111.754
97	0.000	142.154	142.249	137.156	126.383	113.428
98	0.000	150.134	149.912	140.690	128.784	115.040
99	0.000	157.930	153.654	143.547	130.834	116.261
100	0.000	165.051	156.854	145.696	132.479	117.084
101	0.000	164.329	159.440	147.503	133.522	117.468
102	0.000	152.745	161.079	148.832	134.106	117.511
103	0.000	150.191	158.446	149.612	134.262	117.341
104	0.000	156.337	155.028	149.705	134.003	117.110
105	0.000	151.855	150.714	145.452	133.584	116.888
106	0.000	146.611	145.401	140.478	132.875	116.592
107	0.000	140.546	139.271	134.996	128.267	116.347
108	0.000	133.729	132.494	128.912	123.278	115.874
109	0.000	126.007	125.281	122.442	117.993	111.505
110	0.000	117.701	117.710	115.664	112.168	106.829
111	0.000	109.340	109.660	108.659	105.946	101.807
112	0.000	101.012	101.352	101.357	99.489	96.474
113	0.000	92.628	93.216	93.561	92.755	94.614
114	0.000	84.330	85.152	85.588	85.949	92.823
115	0.000	76.391	77.030	77.715	82.503	91.099
116	0.000	68.599	69.053	70.157	79.184	89.613
117	0.000	60.709	61.381	66.357	76.307	88.025
118	0.000	53.043	54.077	63.013	74.049	86.494
119	0.000	45.629	50.496	60.312	72.097	85.336
120	0.000	38.802	47.437	58.284	70.529	84.558
121	0.000	39.496	44.956	56.534	69.535	84.187
122	0.000	41.009	43.395	55.235	68.975	84.142
123	0.000	43.444	45.873	54.455	68.793	84.298
124	0.000	47.070	49.118	54.325	69.003	84.508
125	0.000	51.353	53.210	58.358	69.362	84.692
126	0.000	56.310	58.253	63.077	69.991	84.943
127	0.000	62.052	64.055	68.278	74.368	85.141
128	0.000	68.508	70.471	74.052	79.106	85.556
129	0.000	75.823	77.304	80.184	84.126	89.733
130	0.000	83.625	84.175	86.600	89.664	94.204

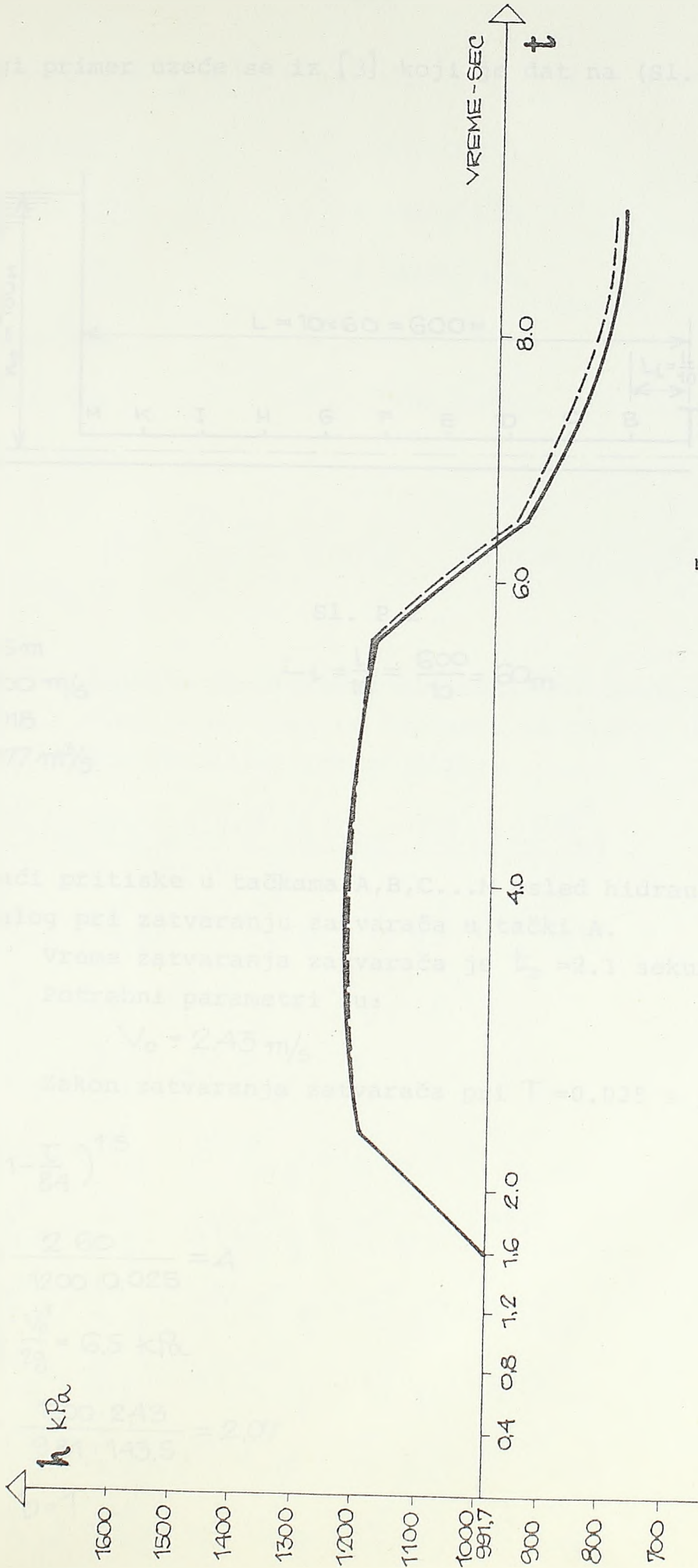








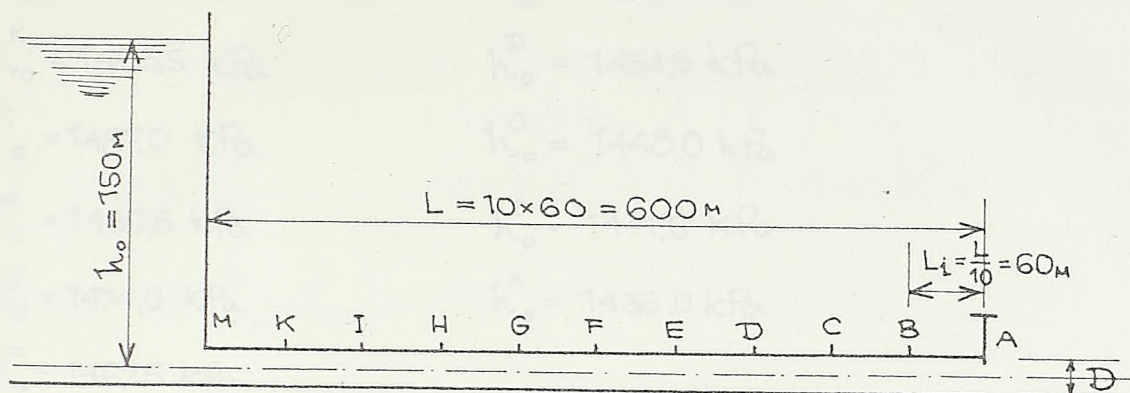
DIJAGRAM PRITISKA h_T^p
— METOD KARAKTERISTIKA — $\frac{\lambda v_0 L}{4D C}$
- - - METOD AUTORA ZA $\beta = e$



DIJAGRAM PRITISKA h^E

- METOD KARAKTERISTIKA $-\frac{\Delta V_0}{4D} \frac{L}{C}$
- - - METOD AUTORA ZA $\beta = e^{-\frac{\Delta V_0}{4D} \frac{L}{C}}$

2. Drugi primer uzeće se iz [3] koji je dat na (Sl. P.2).



Sl. P.2

$$D = 0,5 \text{ m}$$

$$C = 1200 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 0,018$$

$$Q = 0,477 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L_i = \frac{L}{10} = \frac{600}{10} = 60 \text{ m}$$

Treba naći pritiske u tačkama A, B, C...M usled hidrauličkog udara nastalog pri zatvaranju zatvarača u tački A.

Vreme zatvaranja zatvarača je $t_z = 2,1$ sekunda.

Potrebni parametri su:

$$V_0 = 2,43 \text{ m/s}$$

Zakon zatvaranja zatvarača pri $T = 0,025$ s je:

$$\alpha_T = \left(1 - \frac{T}{8A}\right)^{1,5}$$

$$\nu = \frac{2L}{CT} = \frac{2 \cdot 60}{1200 \cdot 0,025} = 4$$

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{D} \frac{V_0^2}{2g} = 6,5 \text{ kPa}$$

$$\rho = \frac{CV_0}{gk_0} = \frac{1200 \cdot 2,43}{9,81 \cdot 143,5} = 2,07$$

$$\psi = 1, \quad b = 1$$

jer je usvojeno $H_* = h_o^A = 1435 \text{ kPa}$ i $Q_* = Q_o = 0.477 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$h_o^M = 1500 \text{ kPa}$$

$$h_o^E = 1461,0 \text{ kPa}$$

$$h_o^K = 1493,5 \text{ kPa}$$

$$h_o^D = 1454,5 \text{ kPa}$$

$$h_o^I = 1487,0 \text{ kPa}$$

$$h_o^C = 1448,0 \text{ kPa}$$

$$h_o^H = 1480,5 \text{ kPa}$$

$$h_o^B = 1441,5 \text{ kPa}$$

$$h_o^G = 1474,0 \text{ kPa}$$

$$h_o^A = 1435,0 \text{ kPa}$$

$$h_o^F = 1467,5 \text{ kPa}$$

$$\beta = e^{\frac{-\lambda v_o}{4D} \cdot \frac{l}{c}} = 0.9989 \quad \beta^2 = 0.9978 \quad \beta^3 = 0.9967$$

$$\beta^4 = 0.9956.$$

Jednačine za proračun hidrauličkog udara u tačkama:

A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, M, mogu se napisati na osnovu izraza (3.17) i (3.18). Opšte jednačine imaju oblik:

$$u_t^A = \frac{\rho[\beta^2(\alpha_{t-v} - \alpha_o) - (\alpha_t - \alpha_o)] + \beta^2 \left(\frac{1}{2} \rho \alpha_{t-v} - 1 \right) u_{t-v}^A + 2\beta u_{t-\frac{v}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho \alpha_t}$$

$$u_t^B = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^A + u_{t-\frac{v}{2}}^C \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^A + u_{t-\frac{3v}{2}}^C \right) + \beta^4 u_{t-2v}^B$$

$$u_t^C = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^B + u_{t-\frac{v}{2}}^D \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^B + u_{t-\frac{3v}{2}}^D \right) + \beta^4 u_{t-2v}^C$$

$$u_t^D = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^C + u_{t-\frac{v}{2}}^E \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^C + u_{t-\frac{3v}{2}}^E \right) + \beta^4 u_{t-2v}^D$$

$$u_t^E = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^D + u_{t-\frac{v}{2}}^F \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^D + u_{t-\frac{3v}{2}}^F \right) + \beta^4 u_{t-2v}^E$$

$$u_t^F = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^E + u_{t-\frac{v}{2}}^G \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^E + u_{t-\frac{3v}{2}}^G \right) + \beta^4 u_{t-2v}^F$$

$$u_t^G = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^F + u_{t-\frac{v}{2}}^H \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^F + u_{t-\frac{3v}{2}}^H \right) + \beta^4 u_{t-2v}^G$$

$$u_t^H = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^G + u_{t-\frac{v}{2}}^I \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^G + u_{t-\frac{3v}{2}}^I \right) + \beta^4 u_{t-2v}^H$$

$$u_t^I = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^H + u_{t-\frac{v}{2}}^K \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^H + u_{t-\frac{3v}{2}}^K \right) + \beta^4 u_{t-2v}^I$$

$$u_t^K = \beta \left(u_{t-\frac{v}{2}}^I + u_{t-\frac{v}{2}}^M \right) - \beta^3 \left(u_{t-\frac{3v}{2}}^I + u_{t-\frac{3v}{2}}^M \right) + \beta^4 u_{t-2v}^K$$

$$u_t^M = 0$$

U ove jednačine treba uneti numeričke vrednosti, pa se dobija:

$$v_t^A = \frac{2,065(\alpha_{t-4}-1) - 2,07(\alpha_{t-1}) + (1,0327 \alpha_{t-4} - 0,9978)v_{t-4}^A + 1,9978 v_{t-2}^B}{1 + 1,035\alpha_t}$$

$$v_t^B = 0,9989(v_{t-2}^A + v_{t-2}^C) - 0,9967(v_{t-6}^A + v_{t-6}^C) + 0,9956 v_{t-8}^B$$

$$v_t^C = 0,9989(v_{t-2}^B + v_{t-2}^D) - 0,9967(v_{t-6}^B + v_{t-6}^D) + 0,9956 v_{t-8}^C$$

$$v_t^D = 0,9989(v_{t-2}^C + v_{t-2}^E) - 0,9967(v_{t-6}^C + v_{t-6}^E) + 0,9956 v_{t-8}^D$$

$$v_t^E = 0,9989(v_{t-2}^D + v_{t-2}^F) - 0,9967(v_{t-6}^D + v_{t-6}^F) + 0,9956 v_{t-8}^E$$

$$v_t^F = 0,9989(v_{t-2}^E + v_{t-2}^G) - 0,9967(v_{t-6}^E + v_{t-6}^G) + 0,9956 v_{t-8}^F$$

$$v_t^G = 0,9989(v_{t-2}^F + v_{t-2}^H) - 0,9967(v_{t-6}^F + v_{t-6}^H) + 0,9956 v_{t-8}^G$$

$$v_t^H = 0,9989(v_{t-2}^G + v_{t-2}^I) - 0,9967(v_{t-6}^G + v_{t-6}^I) + 0,9956 v_{t-8}^H$$

$$v_t^I = 0,9989(v_{t-2}^H + v_{t-2}^K) - 0,9967(v_{t-6}^H + v_{t-6}^K) + 0,9956 v_{t-8}^I$$

$$v_t^K = 0,9989 v_{t-2}^I - 0,9967 v_{t-6}^I + 0,9956 v_{t-8}^K$$

Prelaz od v na h i od τ na t određuje se prema formulama:

$$v = \frac{h - h_0}{H_*} \quad i \quad \tau = \frac{t}{T}, \quad H_* = h_0^A = 1435 \text{ kPa}$$

odnosno:

$$h_t^A = 1435 \times v_t^A + 1435$$

$$h_t^H = 1435 \times v_t^H + 1480,5$$

$$h_t^B = 1435 \times v_t^B + 1441,5$$

$$h_0^I = 1435 \times v_t^I + 1474,0$$

$$h_t^C = 1435 \times v_t^C + 1448,0$$

$$h_0^K = 1435 \times v_t^K + 1467,5$$

$$h_o^D = 1435 \times U_T^C + 1454,5$$

$$t = \tau T = 0,025 \tau$$

$$h_o^E = 1435 \times U_T^E + 1461,0$$

$$h_o^F = 1435 \times U_T^F + 1467,5$$

$$h_o^G = 1435 \times U_T^G + 1474,0$$

Numeričke vrednosti pritiska date su na narednim stranama.

Pritisci su dati u 10·kPa.

2. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U PROSTOM CEVOVODU
PRIMER 2

```

DIMENSION A(200),VTA(200),VTB(200),VTC(200),VTD(200),VTE(200),
*VTF(200),VTG(200),VTH(200),VTI(200),VTK(200),
*HTA(200),HTB(200),HTC(200),HTD(200),HTE(200),
*HTF(200),HTG(200),HTH(200),HTI(200),HTK(200)
DO 10 I=1,200
A(I)=0
VTA(I)=0
VTB(I)=0
VTC(I)=0
VTD(I)=0
VTE(I)=0
VTF(I)=0
VTG(I)=0
VTH(I)=0
VTI(I)=0
VTK(I)=0
HTA(I)=0
HTB(I)=0
HTC(I)=0
HTD(I)=0
HTE(I)=0
HTF(I)=0
HTG(I)=0
HTH(I)=0
HTI(I)=0
10 HTK(I)=0
READ(2,100) NT,NA
100 FORMAT(2I5,F10.0)
READ(2,101) (A(I),I=1,NA)
101 FORMAT(8F10.0)
DO 5 II=1,NT
IF(II.LE.4)1,2
1 VI=1.317*(1-A(II))
GO TO 3
2 VI=1.313*(A(II-4)-1)-1.317*(A(II)-1)+(0.6563*A(II-4)-0.9967)*
*VTA(II-4)
3 IF(II.GT.2) VI=VI+1.9967*VTB(II-2)
VTA(II)=VI/(1+0.6585*A(II))
HTA(II)=95.83*VTA(II)+95.83
VI=0
IF(II.GT.2) VI=VTA(II-2)+VTC(II-2)+VI
VTB(II)=0.99835*VI
VI=0
IF(II.GT.6) VI=VI+VTA(II-6)+VTC(II-6)
VTB(II)=VTB(II)-0.995*VI
IF(II.GT.8) VTB(II)=VTB(II)+0.99342*VTB(II-8)
HTB(II)=95.83*VTB(II)+96.25
VI=0
IF(II.GT.2) VI=VI+VTB(II-2)+VTD(II-2)
VTC(II)=0.99835*VI
VI=0
IF(II.GT.6) VI=VI+VTB(II-6)+VTD(II-6)
VTC(II)=VTC(II)-0.995*VI
IF(II.GT.8) VTC(II)=VTC(II)+0.99342*VTC(II-8)
HTC(II)=95.83*VTC(II)+95.67

```

```

VF=0
IF(IT.GT.2) VF=VF+VFC(IT-2)+VFE(IT-2)
VTD(IT)=0.99835*VF
VF=0
IF(IT.GT.6) VF=VF+VFC(IT-6)+VFE(IT-6)
VTD(IT)=VTD(IT)-0.995*VF
IF(IT.GT.8) VTD(IT)=VTD(IT)+0.99342*VTD(IT-8)
HTD(IT)=95.83*VTD(IT)+97.08
VF=0
IF(IT.GT.2) VF=VF+VFD(IT-2)+VFE(IT-2)
VPE(IT)=0.99835*VF
VF=0
IF(IT.GT.6) VF=VF+VFD(IT-6)+VFE(IT-6)
VPE(IT)=VPE(IT)-0.995*VF
IF(IT.GT.8) VPE(IT)=VPE(IT)+0.99342*VPE(IT-8)
HPE(IT)=95.83*VPE(IT)+97.50
VF=0
IF(IT.GT.2) VF=VF+VFE(IT-2)+VFG(IT-2)
VIF(IT)=0.99835*VF
VF=0
IF(IT.GT.6) VF=VF+VFE(IT-6)+VFG(IT-6)
VIF(IT)=VIF(IT)-0.995*VF
IF(IT.GT.8) VIF(IT)=VIF(IT)+0.99342*VIF(IT-8)
HIF(IT)=95.83*VIF(IT)+97.92
VF=0
IF(IT.GT.2) VF=VF+VFE(IT-2)+VPH(IT-2)
VIG(IT)=0.99835*VF
VF=0
IF(IT.GT.6) VF=VF+VFE(IT-6)+VPH(IT-6)
VIG(IT)=VIG(IT)-0.995*VF
IF(IT.GT.8) VIG(IT)=VIG(IT)+0.99342*VIG(IT-8)
HIG(IT)=95.83*VIG(IT)+98.33
VF=0
IF(IT.GT.2) VF=VF+VFG(IT-2)+VPI(IT-2)
VPH(IT)=0.99835*VF
VF=0
IF(IT.GT.6) VF=VF+VFG(IT-6)+VPI(IT-6)
VPH(IT)=VPH(IT)-0.995*VF
IF(IT.GT.8) VPH(IT)=VPH(IT)+0.99342*VPH(IT-8)
HPH(IT)=95.83*VPH(IT)+98.75
VF=0
IF(IT.GT.2) VF=VF+VPH(IT-2)+VIK(IT-2)
VPI(IT)=0.99835*VF
VF=0
IF(IT.GT.6) VF=VF+VPH(IT-6)+VIK(IT-6)
VPI(IT)=VPI(IT)-0.995*VF
IF(IT.GT.8) VPI(IT)=VPI(IT)+0.99342*VPI(IT-8)
HPI(IT)=95.83*VPI(IT)+99.17
VF=0
IF(IT.GT.2) VF=VF+0.99835*VPI(IT-2)
IF(IT.GT.6) VF=VF-0.995*VPI(IT-6)
IF(IT.GT.8) VPK(IT)=VF+0.99342*VTK(IT-8)
HPK(IT)=95.83*VTK(IT)+99.58

```

5 CONTINUE

WRITE(3,102)

102 FORMAT(1H1,8X,'1',8X,'4',7X,'VIA',7X,'VTB',7X,'VTC',7X,'VTD',7X,

```

*'VIE'/)
DO 6 I=1,NF
6 WRITE(3,103) I,A(I),VTA(I),VTB(1),VTC(1),VTD(1),VTE(1)
103 FORMAT(8X,13,6F10.3)
WRITE(3,104)
104 FORMAT(1H1,8X,'I',8X,'A',7X,'VTF',7X,'VIG',7X,'VTH',7X,'VTI',7X,
*'VTK'/)
DO 7 I=1,NF
7 WRITE(3,103) I,A(I),VTF(1),VIG(1),VTH(1),VTI(1),VTK(1)
WRITE(3,105)
105 FORMAT(1H1,8X,'I',8X,'A',7X,'HTA',7X,'HTB',7X,'HTC',7X,'HTD',7X,
*'HTE'/)
DO 8 I=1,NF
8 WRITE(3,103) I,A(I),HTA(1),HTB(1),HTC(1),HTD(1),HTE(1)
WRITE(3,106)
106 FORMAT(1H1,8X,'I',8X,'A',7X,'HTF',7X,'HTG',7X,'HTH',7X,'HTI',7X,
*'HTK'/)
DO 9 I=1,NF
9 WRITE(3,103) I,A(I),HTF(1),HTG(1),HTH(1),HTI(1),HTK(1)
STOP
END
    
```

GRAMS CALLED

S AND ARRAYS ["*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED]

1	VIG	311	HFH	621	HFA	1131	VTK	1441
1751	VTD	1752	HTE	2262	*NA	2572	VTH	2573
3103	HFI	3413	HTB	3723	VTE	4233	.S0006	4543
5 4544	HIF	4545	.S0004	5055	.S0003	5056	A	5057
2 5307	.S0001	5370	VTI	5371	.S0000	5701	*1I	5702
5703	HIC	6213	VTF	6523	HTG	7033	*I	7343
7344	VIC	7345	HTK	7655				

ARIES

[NO ERRORS DETECTED]

I π	A α	VIA α	VIB β	VIC γ	VID δ	VIE ϵ
1	0.967	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.934	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.903	0.080	0.027	0.000	0.000	0.000
4	0.871	0.108	0.054	0.000	0.000	0.000
5	0.840	0.136	0.080	0.026	0.000	0.000
6	0.810	0.163	0.108	0.054	0.000	0.000
7	0.780	0.191	0.135	0.080	0.026	0.000
8	0.751	0.219	0.163	0.108	0.054	0.000
9	0.722	0.248	0.191	0.135	0.080	0.026
10	0.694	0.277	0.219	0.163	0.107	0.053
11	0.667	0.305	0.248	0.191	0.135	0.080
12	0.640	0.333	0.276	0.219	0.162	0.107
13	0.614	0.362	0.304	0.247	0.190	0.135
14	0.588	0.391	0.333	0.276	0.218	0.162
15	0.563	0.420	0.361	0.304	0.247	0.190
16	0.538	0.449	0.390	0.332	0.275	0.218
17	0.514	0.478	0.419	0.361	0.303	0.247
18	0.490	0.508	0.448	0.390	0.332	0.275
19	0.467	0.537	0.477	0.419	0.360	0.303
20	0.444	0.566	0.507	0.448	0.389	0.331
21	0.423	0.594	0.536	0.477	0.418	0.360
22	0.401	0.624	0.565	0.506	0.447	0.389
23	0.380	0.653	0.594	0.535	0.476	0.417
24	0.360	0.681	0.623	0.565	0.506	0.447
25	0.340	0.710	0.652	0.593	0.535	0.475
26	0.321	0.738	0.681	0.623	0.564	0.505
27	0.303	0.766	0.710	0.652	0.592	0.534
28	0.284	0.795	0.738	0.680	0.622	0.564
29	0.267	0.822	0.765	0.709	0.651	0.591
30	0.250	0.849	0.794	0.737	0.679	0.621
31	0.234	0.875	0.821	0.764	0.708	0.650
32	0.218	0.902	0.848	0.793	0.736	0.678
33	0.203	0.928	0.875	0.820	0.763	0.681
34	0.188	0.954	0.901	0.848	0.793	0.683
35	0.174	0.978	0.927	0.874	0.794	0.685
36	0.160	1.004	0.953	0.901	0.795	0.687
37	0.147	1.028	0.978	0.901	0.795	0.687
38	0.134	1.052	1.003	0.900	0.795	0.687
39	0.123	1.073	1.002	0.900	0.794	0.686
40	0.111	1.096	1.000	0.898	0.794	0.686
41	0.100	1.070	0.995	0.895	0.791	0.684
42	0.090	1.040	0.992	0.893	0.789	0.682
43	0.080	1.011	0.964	0.887	0.785	0.680
44	0.071	0.978	0.934	0.883	0.782	0.677
45	0.063	0.942	0.904	0.855	0.776	0.673
46	0.054	0.909	0.870	0.824	0.772	0.670
47	0.047	0.870	0.834	0.794	0.743	0.663
48	0.040	0.831	0.800	0.759	0.712	0.658
49	0.034	0.789	0.761	0.723	0.681	0.629
50	0.028	0.747	0.721	0.689	0.646	0.597
51	0.023	0.704	0.680	0.649	0.610	0.566
52	0.018	0.659	0.637	0.609	0.574	0.530
53	0.014	0.613	0.593	0.567	0.535	0.495
54	0.010	0.565	0.548	0.524	0.494	0.459
55	0.007	0.516	0.501	0.480	0.453	0.420
56	0.004	0.466	0.453	0.434	0.410	0.381
57	0.003	0.413	0.404	0.389	0.366	0.338
58	0.001	0.351	0.354	0.340	0.322	0.297
59	0.000	0.307	0.302	0.291	0.275	0.254
60	0.000	0.252	0.249	0.242	0.228	0.209
61	0.000	0.200	0.196	0.190	0.181	0.165
62	0.000	0.144	0.142	0.139	0.131	0.119
63	0.000	0.089	0.089	0.087	0.086	0.072

65	0.0000	-0.018	-0.018	-0.019	-0.021	-0.025
66	0.0000	-0.071	-0.072	-0.073	-0.073	-0.074
67	0.0000	-0.122	-0.125	-0.125	-0.123	-0.123
68	0.0000	-0.177	-0.177	-0.176	-0.176	-0.175
69	0.0000	-0.227	-0.227	-0.228	-0.226	-0.223
70	0.0000	-0.278	-0.279	-0.278	-0.276	-0.274
71	0.0000	-0.327	-0.328	-0.327	-0.326	-0.321
72	0.0000	-0.377	-0.378	-0.378	-0.375	-0.369
73	0.0000	-0.425	-0.426	-0.426	-0.420	-0.394
74	0.0000	-0.474	-0.475	-0.474	-0.469	-0.416
75	0.0000	-0.521	-0.521	-0.518	-0.493	-0.438
76	0.0000	-0.568	-0.569	-0.565	-0.514	-0.458
77	0.0000	-0.613	-0.612	-0.588	-0.535	-0.474
78	0.0000	-0.659	-0.657	-0.608	-0.553	-0.492
79	0.0000	-0.698	-0.678	-0.627	-0.568	-0.505
80	0.0000	-0.742	-0.697	-0.644	-0.585	-0.518
81	0.0000	-0.739	-0.713	-0.657	-0.596	-0.527
82	0.0000	-0.731	-0.728	-0.673	-0.608	-0.537
83	0.0000	-0.724	-0.717	-0.681	-0.616	-0.543
84	0.0000	-0.710	-0.706	-0.691	-0.624	-0.550
85	0.0000	-0.692	-0.691	-0.675	-0.627	-0.553
86	0.0000	-0.678	-0.672	-0.656	-0.632	-0.557
87	0.0000	-0.654	-0.649	-0.637	-0.612	-0.555
88	0.0000	-0.630	-0.627	-0.613	-0.589	-0.555
89	0.0000	-0.602	-0.599	-0.585	-0.564	-0.529
90	0.0000	-0.573	-0.571	-0.559	-0.536	-0.502
91	0.0000	-0.541	-0.538	-0.526	-0.502	-0.473
92	0.0000	-0.507	-0.504	-0.493	-0.472	-0.440
93	0.0000	-0.470	-0.468	-0.455	-0.435	-0.406
94	0.0000	-0.432	-0.429	-0.417	-0.397	-0.372
95	0.0000	-0.390	-0.387	-0.376	-0.358	-0.334
96	0.0000	-0.347	-0.344	-0.333	-0.317	-0.297
97	0.0000	-0.299	-0.298	-0.290	-0.275	-0.257
98	0.0000	-0.252	-0.251	-0.244	-0.233	-0.218
99	0.0000	-0.203	-0.202	-0.197	-0.189	-0.177
100	0.0000	-0.151	-0.152	-0.151	-0.144	-0.134
101	0.0000	-0.101	-0.101	-0.101	-0.100	-0.092
102	0.0000	-0.048	-0.050	-0.053	-0.052	-0.049
103	0.0000	0.003	0.000	-0.004	-0.004	-0.005
104	0.0000	0.054	0.051	0.048	0.043	0.040
105	0.0000	0.105	0.101	0.097	0.091	0.087
106	0.0000	0.155	0.152	0.147	0.141	0.134
107	0.0000	0.203	0.202	0.197	0.188	0.181
108	0.0000	0.255	0.251	0.245	0.238	0.229
109	0.0000	0.302	0.298	0.294	0.286	0.275
110	0.0000	0.351	0.348	0.342	0.333	0.323
111	0.0000	0.397	0.394	0.388	0.381	0.368
112	0.0000	0.445	0.442	0.436	0.427	0.414
113	0.0000	0.490	0.487	0.481	0.470	0.438
114	0.0000	0.536	0.533	0.527	0.516	0.458
115	0.0000	0.581	0.577	0.569	0.539	0.478
116	0.0000	0.625	0.622	0.614	0.559	0.497
117	0.0000	0.668	0.663	0.635	0.578	0.512
118	0.0000	0.712	0.706	0.654	0.595	0.529
119	0.0000	0.749	0.726	0.672	0.609	0.541
120	0.0000	0.790	0.744	0.687	0.625	0.553
121	0.0000	0.788	0.759	0.700	0.635	0.561
122	0.0000	0.779	0.772	0.715	0.646	0.570
123	0.0000	0.772	0.762	0.722	0.653	0.577
124	0.0000	0.758	0.751	0.731	0.661	0.583
125	0.0000	0.741	0.737	0.716	0.664	0.586
126	0.0000	0.727	0.718	0.698	0.669	0.589
127	0.0000	0.705	0.696	0.679	0.650	0.588
128	0.0000	0.682	0.675	0.656	0.627	0.588
129	0.0000	0.655	0.649	0.630	0.604	0.564

131	0.000	0.597	0.590	0.574	0.545	0.510
132	0.000	0.555	0.558	0.542	0.516	0.478
133	0.000	0.530	0.523	0.506	0.481	0.446
134	0.000	0.493	0.487	0.470	0.445	0.414
135	0.000	0.454	0.447	0.431	0.408	0.378
136	0.000	0.413	0.406	0.390	0.369	0.343
137	0.000	0.368	0.363	0.350	0.329	0.305
138	0.000	0.323	0.318	0.300	0.289	0.267
139	0.000	0.276	0.272	0.262	0.247	0.229
140	0.000	0.227	0.225	0.218	0.206	0.188
141	0.000	0.180	0.177	0.171	0.163	0.148
142	0.000	0.130	0.128	0.125	0.118	0.107
143	0.000	0.081	0.081	0.079	0.073	0.066
144	0.000	0.034	0.032	0.030	0.028	0.023
145	0.000	-0.014	-0.015	-0.016	-0.017	-0.021
146	0.000	-0.051	-0.053	-0.064	-0.064	-0.065
147	0.000	-0.107	-0.110	-0.110	-0.109	-0.110
148	0.000	-0.156	-0.156	-0.156	-0.156	-0.150
149	0.000	-0.201	-0.201	-0.202	-0.201	-0.199
150	0.000	-0.240	-0.247	-0.247	-0.246	-0.245
151	0.000	-0.290	-0.291	-0.291	-0.291	-0.287
152	0.000	-0.335	-0.336	-0.336	-0.335	-0.330
153	0.000	-0.378	-0.379	-0.379	-0.375	-0.353
154	0.000	-0.422	-0.422	-0.423	-0.419	-0.372
155	0.000	-0.463	-0.464	-0.462	-0.440	-0.391
156	0.000	-0.506	-0.507	-0.504	-0.459	-0.408
157	0.000	-0.546	-0.545	-0.524	-0.477	-0.422
158	0.000	-0.588	-0.586	-0.542	-0.492	-0.438
159	0.000	-0.623	-0.605	-0.559	-0.505	-0.448
160	0.000	-0.653	-0.621	-0.573	-0.520	-0.459
161	0.000	-0.659	-0.636	-0.585	-0.530	-0.468
162	0.000	-0.651	-0.648	-0.599	-0.540	-0.476
163	0.000	-0.644	-0.638	-0.606	-0.547	-0.482
164	0.000	-0.630	-0.628	-0.614	-0.554	-0.487
165	0.000	-0.614	-0.613	-0.599	-0.557	-0.491
166	0.000	-0.600	-0.595	-0.582	-0.561	-0.494
167	0.000	-0.578	-0.574	-0.564	-0.543	-0.493
168	0.000	-0.556	-0.554	-0.542	-0.521	-0.493
169	0.000	-0.530	-0.528	-0.517	-0.499	-0.469
170	0.000	-0.504	-0.502	-0.493	-0.473	-0.444
171	0.000	-0.475	-0.473	-0.463	-0.442	-0.417
172	0.000	-0.444	-0.442	-0.433	-0.415	-0.387
173	0.000	-0.411	-0.409	-0.398	-0.381	-0.357
174	0.000	-0.376	-0.374	-0.364	-0.347	-0.326
175	0.000	-0.339	-0.336	-0.327	-0.312	-0.292
176	0.000	-0.300	-0.298	-0.286	-0.275	-0.258
177	0.000	-0.257	-0.257	-0.249	-0.237	-0.222
178	0.000	-0.215	-0.214	-0.208	-0.199	-0.187
179	0.000	-0.170	-0.170	-0.166	-0.160	-0.151
180	0.000	-0.124	-0.125	-0.125	-0.120	-0.112
181	0.000	-0.080	-0.080	-0.080	-0.080	-0.074
182	0.000	-0.032	-0.034	-0.037	-0.037	-0.035
183	0.000	0.014	0.011	0.007	0.006	0.004
184	0.000	0.059	0.057	0.053	0.048	0.045
185	0.000	0.105	0.101	0.097	0.091	0.087
186	0.000	0.149	0.147	0.142	0.136	0.129
187	0.000	0.192	0.191	0.186	0.178	0.171
188	0.000	0.239	0.235	0.229	0.223	0.214
189	0.000	0.281	0.277	0.273	0.265	0.255
190	0.000	0.324	0.321	0.316	0.308	0.299
191	0.000	0.366	0.363	0.357	0.350	0.339
192	0.000	0.408	0.405	0.400	0.392	0.380
193	0.000	0.448	0.446	0.441	0.430	0.401
194	0.000	0.490	0.487	0.482	0.472	0.419
195	0.000	0.530	0.527	0.519	0.492	0.436

1	A	VIF	VIG	VTH	VTI	VTK
π	$\alpha\pi$	$\frac{VIF}{VIF}$	$\frac{VIG}{VIG}$	$\frac{VTH}{VTH}$	$\frac{VTI}{VTI}$	$\frac{VTK}{VTK}$
1	0.907	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.934	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.903	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.871	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.840	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.810	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.780	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.751	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.722	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.694	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.667	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.640	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.614	0.079	0.026	0.000	0.000	0.000
14	0.588	0.107	0.053	0.000	0.000	0.000
15	0.563	0.135	0.079	0.026	0.000	0.000
16	0.538	0.162	0.107	0.053	0.000	0.000
17	0.514	0.190	0.134	0.079	0.026	0.000
18	0.490	0.218	0.152	0.107	0.053	0.000
19	0.467	0.246	0.190	0.134	0.079	0.020
20	0.444	0.274	0.217	0.161	0.107	0.053
21	0.423	0.302	0.246	0.189	0.134	0.079
22	0.401	0.331	0.274	0.217	0.161	0.106
23	0.380	0.359	0.302	0.245	0.189	0.108
24	0.360	0.388	0.330	0.273	0.217	0.108
25	0.340	0.417	0.359	0.301	0.219	0.110
26	0.321	0.446	0.388	0.330	0.220	0.110
27	0.303	0.475	0.416	0.332	0.222	0.111
28	0.284	0.504	0.445	0.334	0.223	0.112
29	0.267	0.533	0.448	0.337	0.224	0.112
30	0.250	0.563	0.451	0.339	0.226	0.113
31	0.234	0.565	0.454	0.341	0.227	0.113
32	0.218	0.568	0.457	0.343	0.229	0.114
33	0.203	0.571	0.457	0.344	0.229	0.115
34	0.188	0.572	0.450	0.346	0.231	0.116
35	0.174	0.574	0.451	0.346	0.232	0.116
36	0.160	0.576	0.462	0.348	0.233	0.117
37	0.147	0.575	0.453	0.349	0.233	0.117
38	0.134	0.577	0.464	0.349	0.234	0.118
39	0.123	0.576	0.453	0.350	0.235	0.117
40	0.111	0.576	0.464	0.350	0.234	0.117
41	0.100	0.575	0.453	0.349	0.234	0.117
42	0.090	0.573	0.462	0.349	0.233	0.116
43	0.080	0.571	0.450	0.348	0.232	0.117
44	0.071	0.569	0.458	0.346	0.231	0.116
45	0.063	0.556	0.456	0.343	0.231	0.114
46	0.054	0.563	0.453	0.341	0.229	0.115
47	0.047	0.558	0.449	0.339	0.226	0.113
48	0.040	0.554	0.446	0.336	0.225	0.113
49	0.034	0.547	0.442	0.332	0.222	0.112
50	0.028	0.541	0.438	0.330	0.220	0.110
51	0.023	0.513	0.430	0.325	0.216	0.109
52	0.018	0.481	0.426	0.322	0.215	0.108
53	0.014	0.450	0.397	0.317	0.212	0.106
54	0.010	0.416	0.366	0.311	0.210	0.105
55	0.007	0.379	0.337	0.284	0.205	0.104
56	0.004	0.345	0.302	0.254	0.202	0.102
57	0.003	0.307	0.267	0.225	0.176	0.098
58	0.001	0.267	0.234	0.193	0.147	0.097
59	0.000	0.227	0.197	0.159	0.126	0.072
60	0.000	0.186	0.159	0.127	0.088	0.045
61	0.000	0.145	0.120	0.091	0.056	0.021
62	0.000	0.102	0.080	0.055	0.026	-0.008
63	0.000	0.058	0.040	0.018	-0.006	-0.016

65	0.000	-0.031	-0.043	-0.057	-0.054	-0.027
66	0.000	-0.078	-0.086	-0.097	-0.065	-0.032
67	0.000	-0.126	-0.128	-0.114	-0.078	-0.038
68	0.000	-0.173	-0.172	-0.130	-0.088	-0.046
69	0.000	-0.219	-0.196	-0.148	-0.098	-0.050
70	0.000	-0.268	-0.216	-0.163	-0.111	-0.056
71	0.000	-0.292	-0.238	-0.179	-0.126	-0.060
72	0.000	-0.316	-0.258	-0.196	-0.130	-0.065
73	0.000	-0.339	-0.275	-0.210	-0.141	-0.070
74	0.000	-0.358	-0.295	-0.225	-0.150	-0.075
75	0.000	-0.376	-0.310	-0.236	-0.159	-0.081
76	0.000	-0.395	-0.325	-0.249	-0.169	-0.085
77	0.000	-0.408	-0.337	-0.259	-0.176	-0.089
78	0.000	-0.424	-0.348	-0.268	-0.184	-0.094
79	0.000	-0.434	-0.357	-0.276	-0.189	-0.095
80	0.000	-0.445	-0.367	-0.282	-0.193	-0.098
81	0.000	-0.453	-0.373	-0.280	-0.195	-0.100
82	0.000	-0.460	-0.378	-0.291	-0.197	-0.099
83	0.000	-0.465	-0.382	-0.291	-0.197	-0.100
84	0.000	-0.470	-0.384	-0.293	-0.197	-0.099
85	0.000	-0.472	-0.384	-0.292	-0.196	-0.097
86	0.000	-0.474	-0.384	-0.290	-0.194	-0.098
87	0.000	-0.471	-0.382	-0.288	-0.192	-0.096
88	0.000	-0.470	-0.378	-0.285	-0.191	-0.096
89	0.000	-0.464	-0.375	-0.281	-0.188	-0.095
90	0.000	-0.460	-0.371	-0.279	-0.186	-0.093
91	0.000	-0.453	-0.364	-0.275	-0.184	-0.092
92	0.000	-0.442	-0.350	-0.272	-0.181	-0.091
93	0.000	-0.372	-0.333	-0.267	-0.179	-0.090
94	0.000	-0.340	-0.303	-0.262	-0.176	-0.088
95	0.000	-0.305	-0.275	-0.236	-0.172	-0.087
96	0.000	-0.273	-0.242	-0.207	-0.169	-0.086
97	0.000	-0.237	-0.209	-0.180	-0.144	-0.082
98	0.000	-0.199	-0.177	-0.149	-0.117	-0.081
99	0.000	-0.161	-0.142	-0.117	-0.091	-0.057
100	0.000	-0.122	-0.106	-0.086	-0.061	-0.031
101	0.000	-0.032	-0.059	-0.052	-0.030	-0.008
102	0.000	-0.042	-0.031	-0.018	-0.001	0.020
103	0.000	0.000	0.007	0.018	0.030	0.027
104	0.000	0.042	0.046	0.054	0.062	0.030
105	0.000	0.085	0.086	0.089	0.075	0.038
106	0.000	0.129	0.127	0.127	0.085	0.043
107	0.000	0.174	0.167	0.143	0.097	0.048
108	0.000	0.219	0.209	0.158	0.107	0.055
109	0.000	0.263	0.231	0.175	0.116	0.059
110	0.000	0.309	0.250	0.189	0.128	0.064
111	0.000	0.332	0.271	0.204	0.137	0.068
112	0.000	0.354	0.290	0.220	0.146	0.073
113	0.000	0.376	0.305	0.233	0.156	0.078
114	0.000	0.394	0.324	0.247	0.165	0.082
115	0.000	0.411	0.338	0.257	0.174	0.088
116	0.000	0.428	0.352	0.269	0.183	0.092
117	0.000	0.441	0.363	0.279	0.189	0.096
118	0.000	0.455	0.374	0.287	0.196	0.101
119	0.000	0.464	0.382	0.295	0.202	0.101
120	0.000	0.474	0.391	0.301	0.205	0.105
121	0.000	0.482	0.397	0.304	0.207	0.106
122	0.000	0.489	0.402	0.309	0.209	0.105
123	0.000	0.494	0.405	0.309	0.208	0.106
124	0.000	0.498	0.407	0.310	0.209	0.104
125	0.000	0.500	0.407	0.309	0.208	0.103
126	0.000	0.502	0.407	0.307	0.206	0.104
127	0.000	0.500	0.405	0.306	0.204	0.102
128	0.000	0.499	0.402	0.303	0.203	0.102
129	0.000	0.493	0.399	0.300	0.200	0.101

131	0.000	0.454	0.339	0.294	0.197	0.098
132	0.000	0.434	0.385	0.291	0.194	0.097
133	0.000	0.406	0.359	0.286	0.192	0.096
134	0.000	0.375	0.331	0.282	0.190	0.095
135	0.000	0.342	0.304	0.257	0.186	0.094
136	0.000	0.311	0.272	0.230	0.183	0.093
137	0.000	0.277	0.241	0.204	0.160	0.090
138	0.000	0.241	0.211	0.174	0.133	0.088
139	0.000	0.205	0.177	0.144	0.108	0.066
140	0.000	0.168	0.144	0.115	0.080	0.041
141	0.000	0.131	0.108	0.082	0.051	0.019
142	0.000	0.092	0.072	0.050	0.023	-0.008
143	0.000	0.053	0.036	0.015	-0.007	-0.015
144	0.000	0.013	-0.001	-0.019	-0.038	-0.018
145	0.000	-0.028	-0.039	-0.052	-0.050	-0.025
146	0.000	-0.069	-0.078	-0.088	-0.059	-0.030
147	0.000	-0.112	-0.115	-0.104	-0.071	-0.035
148	0.000	-0.155	-0.155	-0.117	-0.079	-0.041
149	0.000	-0.196	-0.170	-0.133	-0.088	-0.045
150	0.000	-0.241	-0.194	-0.146	-0.099	-0.050
151	0.000	-0.282	-0.214	-0.160	-0.107	-0.053
152	0.000	-0.283	-0.231	-0.175	-0.116	-0.058
153	0.000	-0.303	-0.246	-0.187	-0.125	-0.062
154	0.000	-0.320	-0.263	-0.200	-0.134	-0.066
155	0.000	-0.335	-0.276	-0.210	-0.142	-0.072
156	0.000	-0.352	-0.289	-0.221	-0.150	-0.076
157	0.000	-0.363	-0.299	-0.230	-0.156	-0.079
158	0.000	-0.376	-0.309	-0.238	-0.163	-0.084
159	0.000	-0.385	-0.317	-0.245	-0.168	-0.084
160	0.000	-0.394	-0.325	-0.250	-0.171	-0.087
161	0.000	-0.401	-0.330	-0.254	-0.173	-0.088
162	0.000	-0.408	-0.335	-0.258	-0.174	-0.087
163	0.000	-0.412	-0.338	-0.258	-0.174	-0.088
164	0.000	-0.416	-0.340	-0.259	-0.174	-0.087
165	0.000	-0.418	-0.339	-0.258	-0.173	-0.085
166	0.000	-0.419	-0.340	-0.256	-0.171	-0.086
167	0.000	-0.417	-0.337	-0.254	-0.169	-0.085
168	0.000	-0.417	-0.335	-0.252	-0.168	-0.084
169	0.000	-0.412	-0.332	-0.249	-0.166	-0.084
170	0.000	-0.407	-0.328	-0.247	-0.164	-0.082
171	0.000	-0.383	-0.322	-0.243	-0.163	-0.081
172	0.000	-0.355	-0.319	-0.241	-0.160	-0.080
173	0.000	-0.328	-0.294	-0.237	-0.158	-0.079
174	0.000	-0.299	-0.267	-0.232	-0.156	-0.078
175	0.000	-0.267	-0.242	-0.209	-0.153	-0.077
176	0.000	-0.238	-0.212	-0.183	-0.150	-0.076
177	0.000	-0.205	-0.182	-0.158	-0.128	-0.073
178	0.000	-0.171	-0.153	-0.130	-0.103	-0.072
179	0.000	-0.137	-0.121	-0.101	-0.079	-0.051
180	0.000	-0.102	-0.089	-0.073	-0.051	-0.026
181	0.000	-0.066	-0.056	-0.042	-0.024	-0.005
182	0.000	-0.030	-0.022	-0.011	0.003	0.021
183	0.000	0.007	0.013	0.022	0.031	0.027
184	0.000	0.045	0.048	0.055	0.061	0.029
185	0.000	0.084	0.084	0.086	0.072	0.037
186	0.000	0.123	0.121	0.120	0.081	0.040
187	0.000	0.164	0.157	0.135	0.092	0.045
188	0.000	0.205	0.195	0.148	0.100	0.051
189	0.000	0.244	0.215	0.162	0.108	0.055
190	0.000	0.286	0.231	0.175	0.118	0.059
191	0.000	0.306	0.249	0.188	0.126	0.063
192	0.000	0.325	0.266	0.202	0.134	0.067
193	0.000	0.345	0.279	0.213	0.143	0.071
194	0.000	0.360	0.296	0.225	0.151	0.075
195	0.000	0.374	0.308	0.234	0.158	0.080
196	0.000	0.384	0.320	0.245	0.166	0.084

I. τ	A $\alpha\tau$	HIA $k\tau$	HIB $k\tau$	HIC $k\tau$	HID $k\tau$	HIE $k\tau$
1	0.967	98.375	96.250	96.670	97.080	97.500
2	0.934	100.988	96.250	96.670	97.080	97.500
3	0.903	103.507	98.790	96.670	97.080	97.500
4	0.871	106.177	101.399	96.670	97.080	97.500
5	0.840	108.831	103.914	99.206	97.080	97.500
6	0.810	111.467	106.579	101.811	97.080	97.500
7	0.780	114.172	109.230	104.322	99.612	97.500
8	0.751	116.854	111.861	106.982	102.212	97.500
9	0.722	119.606	114.562	109.628	104.719	100.028
10	0.694	122.331	117.240	112.256	107.375	102.624
11	0.667	125.024	119.988	114.952	110.017	105.127
12	0.640	127.786	122.709	117.626	112.646	107.778
13	0.614	130.511	125.399	120.370	115.332	110.416
14	0.588	133.303	128.156	123.087	118.002	113.035
15	0.563	136.054	130.878	125.773	120.742	115.723
16	0.538	138.872	133.657	128.526	123.455	118.388
17	0.514	141.643	136.415	131.245	126.137	121.124
18	0.490	144.481	139.229	134.031	128.887	123.833
19	0.467	147.205	141.999	136.776	131.603	126.512
20	0.444	150.114	144.834	139.587	134.385	129.257
21	0.423	152.778	147.616	142.354	137.127	131.970
22	0.401	155.630	150.463	145.188	139.935	134.750
23	0.380	158.410	153.126	147.967	142.700	137.488
24	0.360	161.120	155.978	150.812	145.531	140.293
25	0.340	163.901	158.763	153.475	148.309	143.056
26	0.321	166.593	161.473	156.320	151.152	145.885
27	0.303	169.196	164.249	159.110	153.814	148.660
28	0.284	172.000	166.942	161.820	156.604	151.501
29	0.267	174.568	169.540	164.596	159.447	154.163
30	0.250	177.187	172.351	167.291	162.157	157.012
31	0.234	179.699	174.924	169.897	164.934	159.795
32	0.218	182.208	177.546	172.703	167.630	162.504
33	0.203	184.713	180.061	175.279	170.237	162.804
34	0.188	187.212	182.524	177.904	173.045	162.957
35	0.174	189.587	185.085	180.423	173.150	163.111
36	0.160	192.002	187.590	182.989	173.238	163.320
37	0.147	194.300	189.971	182.987	173.311	163.315
38	0.134	196.635	192.393	182.962	173.285	163.377
39	0.123	198.047	192.234	182.903	173.175	163.267
40	0.111	200.870	192.045	182.739	173.127	163.225
41	0.100	198.343	191.625	182.476	172.888	163.016
42	0.090	195.477	191.271	182.268	172.711	162.876
43	0.080	192.745	188.646	181.671	172.350	162.642
44	0.071	189.525	185.767	181.300	172.053	162.383
45	0.063	186.139	182.865	178.590	171.464	162.041
46	0.054	182.931	179.642	175.629	171.019	161.670
47	0.047	179.205	176.169	172.741	168.329	161.020
48	0.040	175.489	172.883	169.440	165.301	160.513
49	0.034	171.454	169.174	166.002	162.358	157.773
50	0.028	157.439	155.390	162.652	159.008	154.697
51	0.023	163.283	161.387	158.892	155.517	151.717
52	0.018	158.974	157.313	155.056	152.122	148.332
53	0.014	154.555	153.107	151.009	148.328	144.942
54	0.010	149.985	148.750	146.892	144.460	141.527
55	0.007	145.311	144.289	142.657	140.516	137.728
56	0.004	140.492	139.080	138.270	136.383	133.991
57	0.003	135.447	134.978	133.915	132.144	129.935
58	0.001	130.418	130.133	129.291	127.891	125.954
59	0.000	125.288	125.195	124.588	123.425	121.888
60	0.000	119.972	120.154	119.678	118.955	117.540
61	0.000	114.976	115.024	114.832	114.427	113.271
62	0.000	109.610	109.845	109.946	109.624	108.869
63	0.000	104.363	104.742	104.992	104.776	104.425

65	0.0000	94.087	94.482	94.818	95.092	95.116
66	0.0000	89.039	89.305	89.684	90.057	90.412
67	0.0000	84.158	84.293	84.713	85.259	85.675
68	0.0000	78.891	79.315	79.772	80.239	80.777
69	0.0000	74.077	74.519	74.867	75.398	76.130
70	0.0000	69.167	69.488	70.001	70.593	71.267
71	0.0000	64.458	64.779	65.335	65.839	66.776
72	0.0000	59.660	59.982	60.439	61.129	62.155
73	0.0000	55.057	55.401	55.880	56.812	59.700
74	0.0000	50.372	50.738	51.238	52.099	57.592
75	0.0000	45.919	46.282	47.003	49.834	55.519
76	0.0000	41.389	41.750	42.522	47.788	53.590
77	0.0000	37.081	37.642	40.355	45.792	52.059
78	0.0000	32.702	33.293	38.413	44.088	50.325
79	0.0000	28.938	31.268	36.539	42.654	49.125
80	0.0000	24.768	29.473	34.901	41.021	47.893
81	0.0000	25.018	27.930	33.604	39.940	47.001
82	0.0000	25.799	26.531	32.177	38.831	46.072
83	0.0000	26.482	27.503	31.429	38.074	45.422
84	0.0000	27.833	28.584	30.490	37.287	44.819
85	0.0000	29.524	30.050	31.995	36.907	44.463
86	0.0000	30.904	31.058	33.769	36.531	44.157
87	0.0000	33.150	34.079	35.657	38.432	44.291
88	0.0000	35.410	36.149	37.901	40.680	44.301
89	0.0000	38.103	38.812	40.573	43.015	46.767
90	0.0000	40.921	41.570	43.113	45.758	49.419
91	0.0000	44.000	44.705	46.220	48.932	52.108
92	0.0000	47.248	47.929	49.414	51.873	55.365
93	0.0000	50.771	51.449	53.108	55.390	58.594
94	0.0000	54.459	55.130	56.729	59.035	61.845
95	0.0000	58.418	59.208	60.656	62.781	65.462
96	0.0000	52.530	63.291	64.785	66.709	69.015
97	0.0000	67.161	67.653	68.913	70.734	72.867
98	0.0000	71.037	72.210	73.300	74.709	76.645
99	0.0000	76.403	76.890	77.759	79.001	80.500
100	0.0000	81.403	81.660	82.220	83.236	84.620
101	0.0000	86.131	86.528	87.001	87.524	88.609
102	0.0000	91.210	91.431	91.626	92.074	92.840
103	0.0000	96.104	96.260	96.314	96.666	97.050
104	0.0000	100.971	101.134	101.305	101.226	101.377
105	0.0000	105.900	105.900	105.944	105.835	105.872
106	0.0000	110.671	110.850	110.803	110.601	110.330
107	0.0000	115.281	115.599	115.505	115.144	114.821
108	0.0000	120.261	120.300	120.176	119.901	119.405
109	0.0000	124.812	124.837	124.819	124.486	123.874
110	0.0000	129.453	129.594	129.424	129.033	128.491
111	0.0000	133.906	134.049	133.838	133.544	132.750
112	0.0000	138.440	138.590	138.473	138.010	137.134
113	0.0000	142.801	142.927	142.797	142.101	139.436
114	0.0000	147.242	147.341	147.201	146.572	141.402
115	0.0000	151.464	151.572	151.215	148.693	143.340
116	0.0000	155.757	155.877	155.467	150.602	145.136
117	0.0000	159.058	159.778	157.500	152.468	146.566
118	0.0000	164.027	163.911	159.316	154.051	148.191
119	0.0000	167.609	165.820	161.074	155.395	149.306
120	0.0000	171.584	167.506	162.545	156.930	150.453
121	0.0000	171.307	168.951	163.768	157.940	151.290
122	0.0000	170.519	170.259	165.176	158.977	152.162
123	0.0000	169.833	169.313	165.876	159.695	152.772
124	0.0000	168.503	168.253	166.763	160.443	153.337
125	0.0000	166.871	166.830	165.309	160.747	153.682
126	0.0000	165.540	165.070	163.596	161.164	153.981
127	0.0000	163.381	162.950	161.782	159.344	153.860
128	0.0000	161.205	160.909	159.507	157.188	153.801
129	0.0000	158.580	158.424	157.077	154.956	151.505

131	0.0000	153.028	152.811	151.697	149.309	146.348
132	0.0000	149.937	149.747	148.656	146.513	143.294
133	0.0000	146.599	146.405	145.149	143.167	140.227
134	0.0000	143.101	142.911	141.712	139.700	137.139
135	0.0000	139.349	139.048	137.988	136.150	133.702
136	0.0000	135.453	135.180	134.071	132.424	130.330
137	0.0000	131.000	131.048	130.166	128.011	126.681
138	0.0000	126.830	126.732	126.012	124.791	123.103
139	0.0000	122.319	122.300	121.793	120.789	119.455
140	0.0000	117.535	117.735	117.575	116.784	115.548
141	0.0000	113.119	113.190	113.054	112.731	111.725
142	0.0000	108.316	108.555	108.684	108.429	107.779
143	0.0000	103.035	103.395	104.256	104.088	103.799
144	0.0000	99.100	99.343	99.538	99.778	99.708
145	0.0000	94.446	94.830	95.159	95.423	95.453
146	0.0000	89.945	90.213	90.568	90.918	91.234
147	0.0000	85.599	85.739	86.128	86.624	86.983
148	0.0000	80.900	81.299	81.722	82.124	82.588
149	0.0000	76.600	77.020	77.335	77.790	78.412
150	0.0000	72.226	72.538	72.980	73.493	74.035
151	0.0000	68.020	68.330	68.810	69.223	70.002
152	0.0000	63.749	64.039	64.437	64.995	65.850
153	0.0000	59.625	59.942	60.345	61.126	63.699
154	0.0000	55.424	55.773	56.170	56.891	61.873
155	0.0000	51.430	51.764	52.377	54.914	60.071
156	0.0000	47.309	47.683	48.351	53.141	58.400
157	0.0000	43.473	43.986	46.451	51.404	57.079
158	0.0000	39.512	40.056	44.762	49.942	55.562
159	0.0000	36.111	38.275	43.122	48.091	54.533
160	0.0000	32.331	36.539	41.760	47.255	53.474
161	0.0000	32.639	35.350	40.615	46.320	52.690
162	0.0000	33.441	34.123	39.290	45.359	51.884
163	0.0000	34.136	35.069	38.643	44.685	51.318
164	0.0000	35.453	36.117	37.813	43.982	50.790
165	0.0000	37.037	37.507	39.225	43.700	50.468
166	0.0000	38.328	39.215	40.887	43.308	50.184
167	0.0000	40.412	41.260	42.638	45.000	50.299
168	0.0000	42.510	43.103	44.770	47.135	50.295
169	0.0000	45.014	45.004	47.158	49.277	52.553
170	0.0000	47.527	48.128	49.472	51.797	54.983
171	0.0000	50.324	50.967	52.300	54.682	57.491
172	0.0000	53.273	53.887	55.203	57.347	60.415
173	0.0000	56.445	57.008	58.542	60.538	63.337
174	0.0000	59.771	60.394	61.811	63.843	66.277
175	0.0000	63.335	64.063	65.352	67.216	69.549
176	0.0000	67.035	67.734	69.070	70.756	72.756
177	0.0000	71.200	71.656	72.777	74.377	76.222
178	0.0000	75.217	75.753	76.719	78.002	79.617
179	0.0000	79.495	79.948	80.719	81.795	83.077
180	0.0000	83.980	84.232	84.714	85.589	86.783
181	0.0000	88.211	88.587	88.999	89.426	90.404
182	0.0000	92.763	92.976	93.135	93.502	94.143
183	0.0000	97.194	97.290	97.327	97.614	97.914
184	0.0000	101.480	101.693	101.794	101.695	101.789
185	0.0000	105.883	105.960	105.930	105.819	105.824
186	0.0000	110.137	110.325	110.282	110.085	109.824
187	0.0000	114.242	114.550	114.482	114.150	113.854
188	0.0000	118.030	118.754	118.646	118.415	118.022
189	0.0000	122.744	122.791	122.800	122.521	121.984
190	0.0000	126.886	127.034	126.917	126.587	126.141
191	0.0000	130.858	131.018	130.862	130.640	129.968
192	0.0000	134.900	135.079	135.008	134.650	133.906
193	0.0000	138.808	138.959	138.890	138.310	135.923
194	0.0000	142.790	142.905	142.846	142.335	137.625
195	0.0000	146.578	146.714	146.449	144.186	139.308
196	0.0000	150.429	150.592	150.270	145.839	140.657

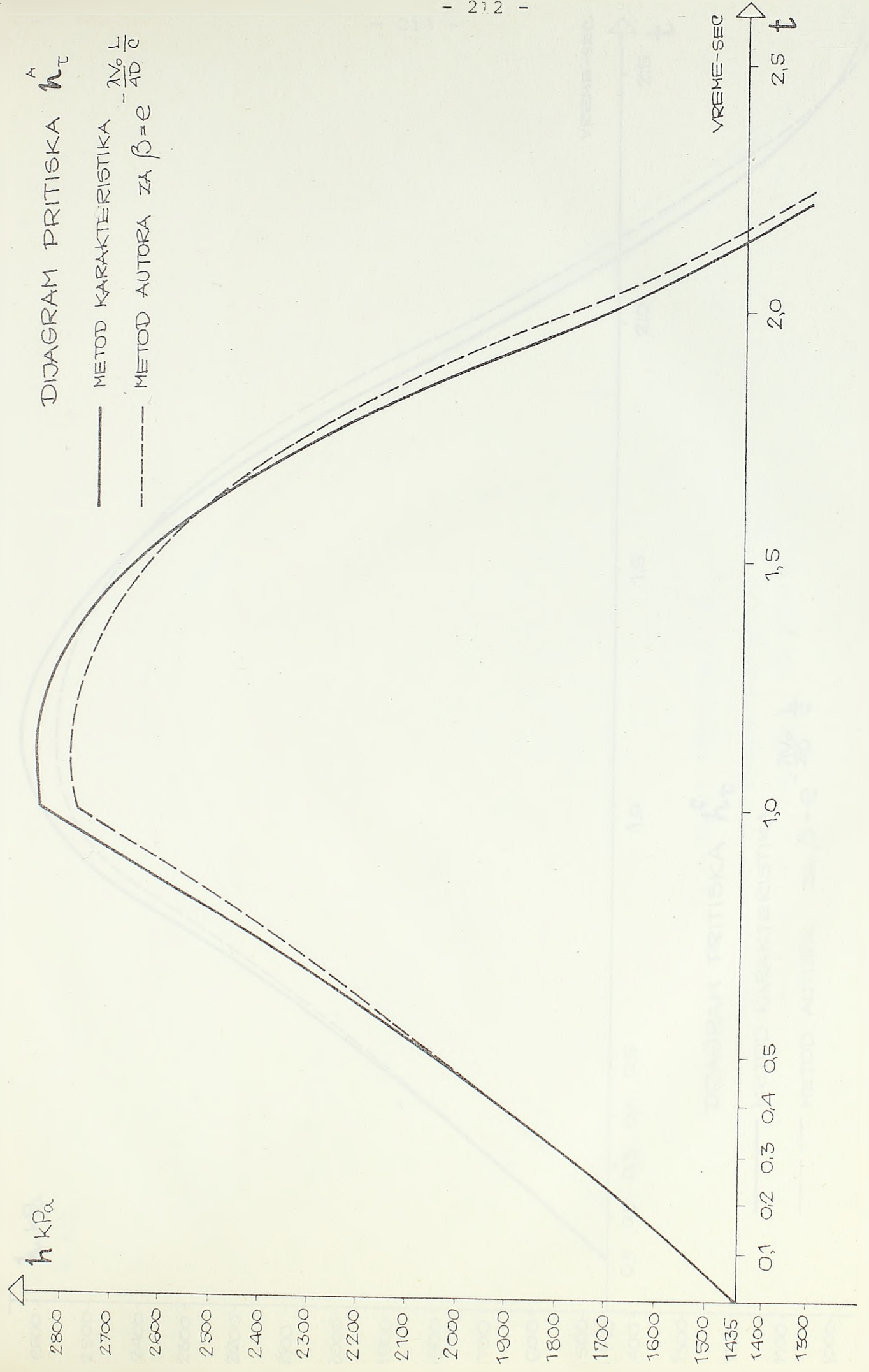
I	A	HTF	HFG	HTH	HTI	HTK
τ	α_T	τ_T	τ_G	τ_H	τ_I	τ_K
1	0.957	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
2	0.934	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
3	0.903	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
4	0.871	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
5	0.840	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
6	0.810	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
7	0.780	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
8	0.751	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
9	0.722	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
10	0.694	97.920	98.330	98.750	99.170	99.580
11	0.667	100.444	98.330	98.750	99.170	99.580
12	0.640	103.035	98.330	98.750	99.170	99.580
13	0.614	105.534	100.849	98.750	99.170	99.580
14	0.588	108.181	103.437	98.750	99.170	99.580
15	0.563	110.815	105.931	101.205	99.170	99.580
16	0.538	113.430	108.575	103.848	99.170	99.580
17	0.514	115.113	111.204	106.339	101.681	99.580
18	0.490	118.774	113.814	108.978	104.260	99.580
19	0.467	121.506	116.493	111.602	106.740	102.087
20	0.444	124.212	119.150	114.209	109.381	104.602
21	0.423	126.886	121.878	116.884	112.001	107.144
22	0.401	129.628	124.580	119.537	114.604	109.774
23	0.380	132.338	127.251	122.261	117.274	109.692
24	0.360	135.114	129.989	124.959	119.923	109.924
25	0.340	137.849	132.095	127.620	120.149	110.116
26	0.321	140.651	135.468	130.300	120.281	110.139
27	0.303	143.412	138.200	130.572	120.474	110.247
28	0.284	146.239	140.999	130.785	120.587	110.347
29	0.267	149.012	141.271	131.048	120.683	110.349
30	0.250	151.851	141.543	131.230	120.864	110.439
31	0.234	152.029	141.852	131.387	120.936	110.428
32	0.218	152.329	142.080	131.628	121.097	110.509
33	0.203	152.653	142.145	131.748	121.147	110.580
34	0.188	152.757	142.415	131.954	121.288	110.650
35	0.174	152.945	142.551	131.914	121.407	110.712
36	0.160	153.070	142.636	132.086	121.525	110.773
37	0.147	153.039	142.720	132.222	121.496	110.821
38	0.134	153.230	142.748	132.219	121.589	110.869
39	0.123	153.122	142.719	132.316	121.655	110.779
40	0.111	153.091	142.823	132.206	121.583	110.811
41	0.100	152.934	142.730	132.168	121.619	110.829
42	0.090	152.858	142.622	132.204	121.510	110.710
43	0.080	152.660	142.448	132.052	121.365	110.836
44	0.071	152.449	142.256	131.885	121.354	110.695
45	0.063	152.151	142.005	131.665	121.293	110.533
46	0.054	151.828	141.733	131.428	121.095	110.641
47	0.047	151.430	141.390	131.209	120.859	110.455
48	0.040	151.005	141.023	130.907	120.742	110.398
49	0.034	150.311	140.718	130.609	120.458	110.325
50	0.028	149.764	140.265	130.364	120.299	110.100
51	0.023	147.121	139.558	129.936	120.103	110.003
52	0.018	144.024	139.133	129.625	119.751	109.900
53	0.014	141.030	136.373	129.083	119.511	109.779
54	0.010	137.779	133.424	128.553	119.258	109.652
55	0.007	134.274	130.005	125.984	118.791	109.509
56	0.004	131.009	127.249	123.097	118.486	109.359
57	0.003	127.382	123.938	120.358	116.019	109.014
58	0.001	123.548	120.737	117.233	113.240	108.836
59	0.000	119.037	117.191	114.025	110.627	106.517
60	0.000	115.772	113.590	110.934	107.634	103.892
61	0.000	111.790	109.834	107.516	104.575	101.627
62	0.000	107.670	106.030	104.048	101.638	98.817
63	0.000	103.512	102.176	100.441	98.570	98.074

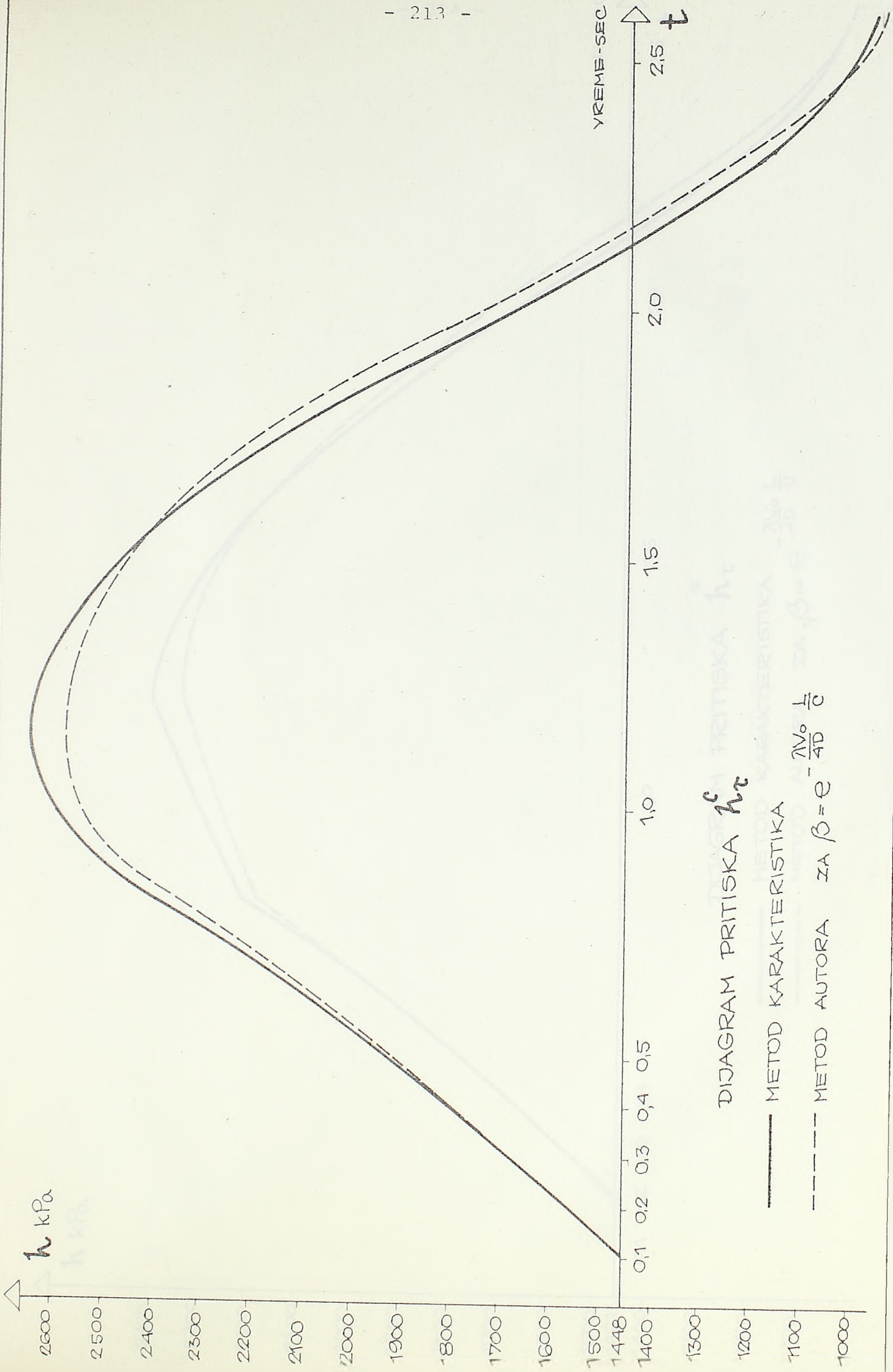
65	0.000	94.908	94.183	93.290	93.993	96.953
66	0.000	90.475	90.050	89.494	92.963	96.475
67	0.000	85.885	86.087	87.792	91.719	95.924
68	0.000	81.339	81.839	86.273	90.726	95.211
69	0.000	76.952	79.557	84.567	89.765	94.772
70	0.000	72.240	77.621	83.117	88.563	94.257
71	0.000	69.896	75.487	81.576	87.660	93.847
72	0.000	67.640	73.569	79.956	86.689	93.357
73	0.000	65.398	71.955	78.626	85.698	92.893
74	0.000	63.566	70.024	77.186	84.790	92.437
75	0.000	61.848	68.584	76.130	83.898	91.856
76	0.000	60.054	67.227	74.900	82.972	91.438
77	0.000	58.779	66.057	73.897	82.326	91.009
78	0.000	57.325	64.971	73.053	81.584	90.539
79	0.000	56.338	64.132	72.291	81.044	90.473
80	0.000	55.311	63.188	71.692	80.655	90.149
81	0.000	54.545	62.608	71.313	80.471	90.036
82	0.000	53.821	62.066	70.823	80.289	90.116
83	0.000	53.333	61.758	70.820	80.336	89.999
84	0.000	52.887	61.486	70.692	80.314	90.139
85	0.000	52.693	61.572	70.809	80.376	90.299
86	0.000	52.539	61.539	71.002	80.569	90.196
87	0.000	52.756	61.757	71.153	80.798	90.375
88	0.000	52.859	62.077	71.440	80.910	90.428
89	0.000	53.413	62.357	71.778	81.176	90.497
90	0.000	53.885	62.778	72.000	81.323	90.711
91	0.000	56.409	63.440	72.400	81.501	90.798
92	0.000	59.372	63.828	72.600	81.829	90.891
93	0.000	62.224	66.402	73.181	82.044	91.000
94	0.000	65.333	69.279	73.608	82.269	91.114
95	0.000	68.658	71.955	76.118	82.700	91.241
96	0.000	71.771	75.168	78.876	82.973	91.374
97	0.000	75.220	78.318	81.488	85.332	91.695
98	0.000	78.860	81.350	84.471	87.992	91.853
99	0.000	82.530	84.733	87.528	90.490	94.081
100	0.000	86.245	88.158	90.472	93.354	96.604
101	0.000	90.023	91.727	93.729	96.279	98.778
102	0.000	93.927	95.343	97.033	99.085	101.479
103	0.000	97.875	99.005	100.470	102.017	102.179
104	0.000	101.945	102.786	103.947	105.157	102.465
105	0.000	106.037	106.601	107.283	106.372	103.226
106	0.000	110.242	110.532	110.900	107.332	103.669
107	0.000	114.603	114.298	112.495	108.499	104.164
108	0.000	118.922	118.337	113.913	109.423	104.857
109	0.000	123.086	120.482	115.514	110.319	105.264
110	0.000	127.565	122.292	116.864	111.450	105.745
111	0.000	129.762	124.294	118.311	112.292	106.127
112	0.000	131.874	126.087	119.833	113.199	106.585
113	0.000	133.975	127.588	121.077	114.131	107.019
114	0.000	135.678	129.414	122.428	114.982	107.446
115	0.000	137.286	130.758	123.415	115.820	107.996
116	0.000	138.968	132.021	124.571	116.690	108.389
117	0.000	140.151	133.117	125.510	117.296	108.793
118	0.000	141.508	134.130	126.294	117.995	109.237
119	0.000	142.428	134.910	127.011	118.501	109.294
120	0.000	143.388	135.791	127.568	118.860	109.600
121	0.000	144.102	136.333	127.917	119.028	109.703
122	0.000	144.774	136.839	128.373	119.195	109.619
123	0.000	145.235	137.123	128.369	119.142	109.731
124	0.000	145.655	137.373	128.486	119.157	109.592
125	0.000	145.839	137.291	128.370	119.097	109.437
126	0.000	145.984	137.323	128.181	118.910	109.536
127	0.000	145.788	137.109	128.043	118.693	109.365
128	0.000	145.701	136.817	127.774	118.588	109.317
129	0.000	145.185	136.567	127.459	118.341	109.255

131	0.000	142.346	135.555	126.894	118.051	108.975
132	0.000	139.517	135.217	126.647	117.747	108.894
133	0.000	136.802	132.709	126.189	117.560	108.797
134	0.000	133.840	130.024	125.745	117.362	108.696
135	0.000	130.671	127.470	123.412	116.968	108.586
136	0.000	127.729	124.418	120.782	116.727	108.470
137	0.000	124.450	121.427	118.295	114.475	108.173
138	0.000	120.990	118.540	115.451	111.931	108.034
139	0.000	117.524	115.336	112.542	109.546	105.896
140	0.000	114.004	112.086	109.743	106.808	103.472
141	0.000	110.420	108.698	106.642	104.014	101.386
142	0.000	106.730	105.267	103.498	101.335	98.792
143	0.000	102.992	101.793	100.227	98.536	98.134
144	0.000	99.137	98.205	96.917	95.536	97.876
145	0.000	95.201	94.584	93.745	94.398	97.159
146	0.000	91.279	90.850	90.302	93.500	96.750
147	0.000	87.141	87.270	88.811	92.414	96.270
148	0.000	83.045	83.440	87.492	91.558	95.637
149	0.000	79.096	81.430	85.995	90.724	95.261
150	0.000	74.847	79.744	84.743	89.064	94.814
151	0.000	72.795	77.870	83.389	88.883	94.460
152	0.000	70.824	76.200	81.902	88.039	94.032
153	0.000	68.852	74.803	80.802	87.165	93.627
154	0.000	67.285	73.091	79.541	86.370	93.230
155	0.000	65.787	71.841	78.622	85.586	92.710
156	0.000	64.218	70.671	77.541	84.771	92.342
157	0.000	63.120	69.650	76.606	84.205	91.963
158	0.000	61.860	68.710	75.940	83.550	91.545
159	0.000	61.014	67.991	75.272	83.079	91.498
160	0.000	60.124	67.174	74.757	82.750	91.211
161	0.000	59.456	66.573	74.440	82.599	91.118
162	0.000	58.848	66.206	74.019	82.450	91.206
163	0.000	58.419	65.949	74.033	82.510	91.102
164	0.000	58.028	65.724	73.930	82.505	91.239
165	0.000	57.801	65.889	74.049	82.565	91.392
166	0.000	57.730	65.781	74.238	82.748	91.298
167	0.000	57.914	65.988	74.308	82.958	91.462
168	0.000	57.991	66.209	74.024	83.058	91.507
169	0.000	58.477	66.496	74.921	83.291	91.565
170	0.000	58.883	66.850	75.113	83.409	91.758
171	0.000	61.181	67.431	75.442	83.553	91.826
172	0.000	63.688	67.740	75.663	83.837	91.899
173	0.000	66.479	70.141	76.084	84.002	91.986
174	0.000	69.308	72.704	76.491	84.176	92.076
175	0.000	72.324	75.138	78.717	84.539	92.172
176	0.000	75.120	78.052	81.230	84.752	92.273
177	0.000	78.232	80.899	83.601	86.906	92.549
178	0.000	81.523	83.643	86.316	89.341	92.671
179	0.000	84.818	86.691	89.089	91.022	94.726
180	0.000	88.159	89.782	91.750	94.243	97.056
181	0.000	91.553	93.002	94.711	96.914	99.058
182	0.000	95.060	96.204	97.707	99.474	101.552
183	0.000	98.605	99.505	100.825	102.151	102.172
184	0.000	102.264	102.975	103.980	105.019	102.405
185	0.000	105.941	106.418	107.001	106.088	103.081
186	0.000	109.718	109.969	110.283	106.919	103.459
187	0.000	113.651	113.300	111.079	107.943	103.909
188	0.000	117.542	117.015	112.910	108.737	104.506
189	0.000	121.292	118.904	114.313	109.515	104.854
190	0.000	125.331	120.478	115.478	110.512	105.271
191	0.000	127.254	122.237	116.749	111.240	105.599
192	0.000	129.098	123.796	118.089	112.028	106.000
193	0.000	130.937	125.103	119.174	112.849	106.379
194	0.000	132.401	126.713	120.356	113.594	106.751
195	0.000	133.802	127.879	121.215	114.331	107.243

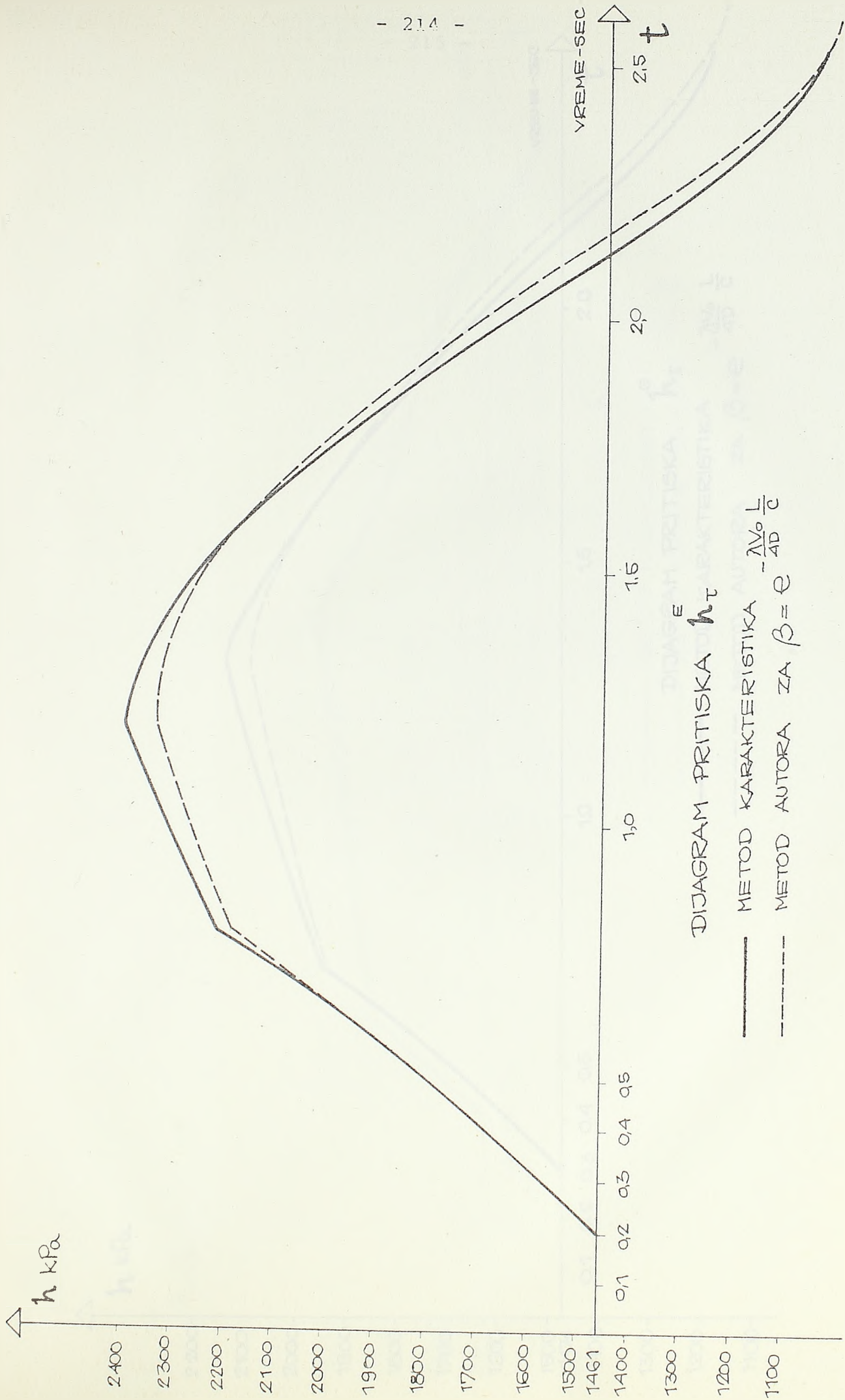
DIJAGRAM PRITISKA h_T^A

— METOD KARAKTERISTIKA $\frac{\lambda v_0 l}{4D c}$
- - - METOD AUTORA ZA $\beta = e$



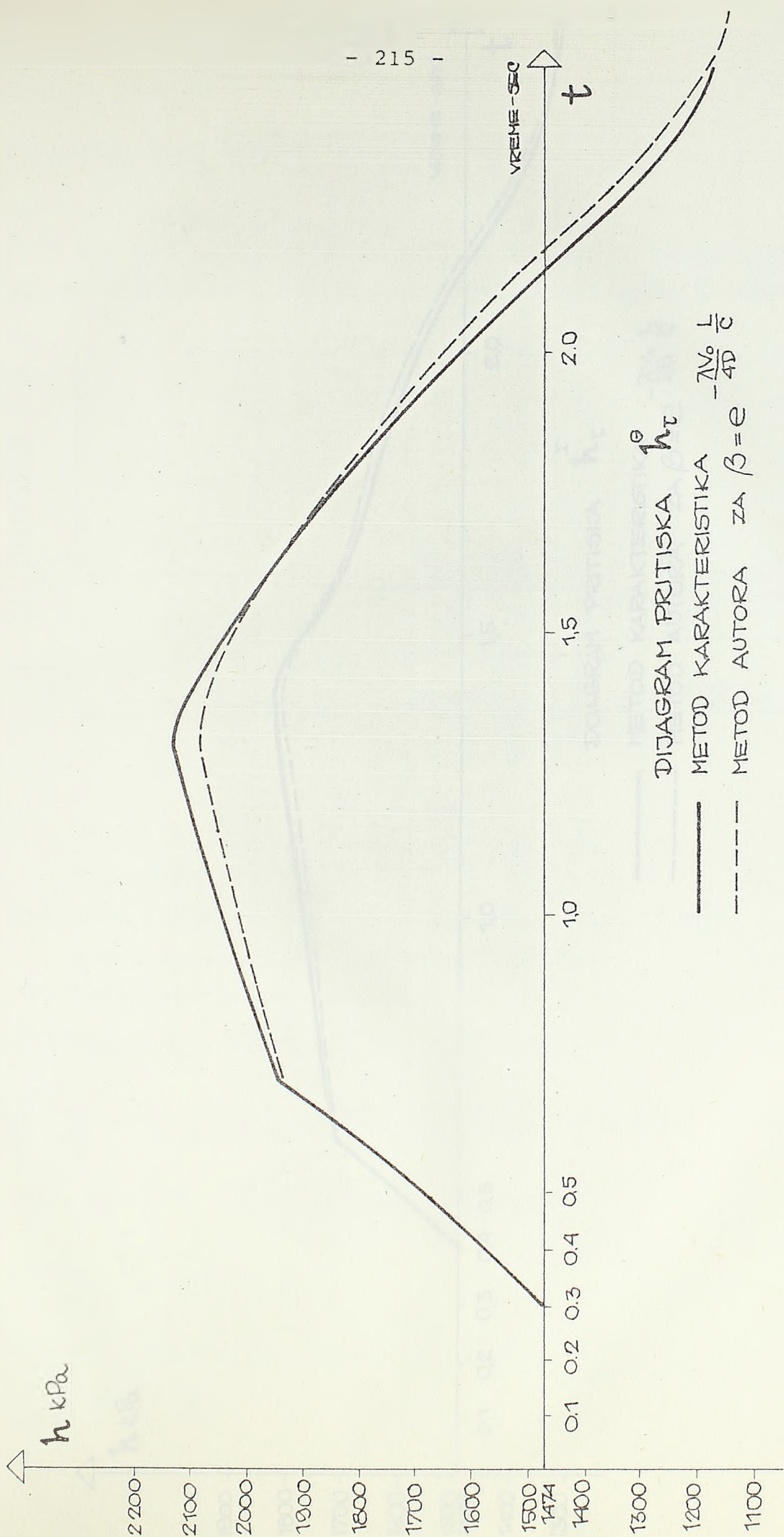


DIJAGRAM PRITISKA h_c
METOD KARAKTERISTIKA
METOD AUTORA ZA $\beta = e^{-\frac{2V_0}{4D} \frac{t}{C}}$



DIJAGRAM PRITISKA h_T^E

- METOD KARAKTERISTIKA $-\frac{\lambda V_0 L}{4D C}$
- - - METOD AUTORA ZA $\beta = e$



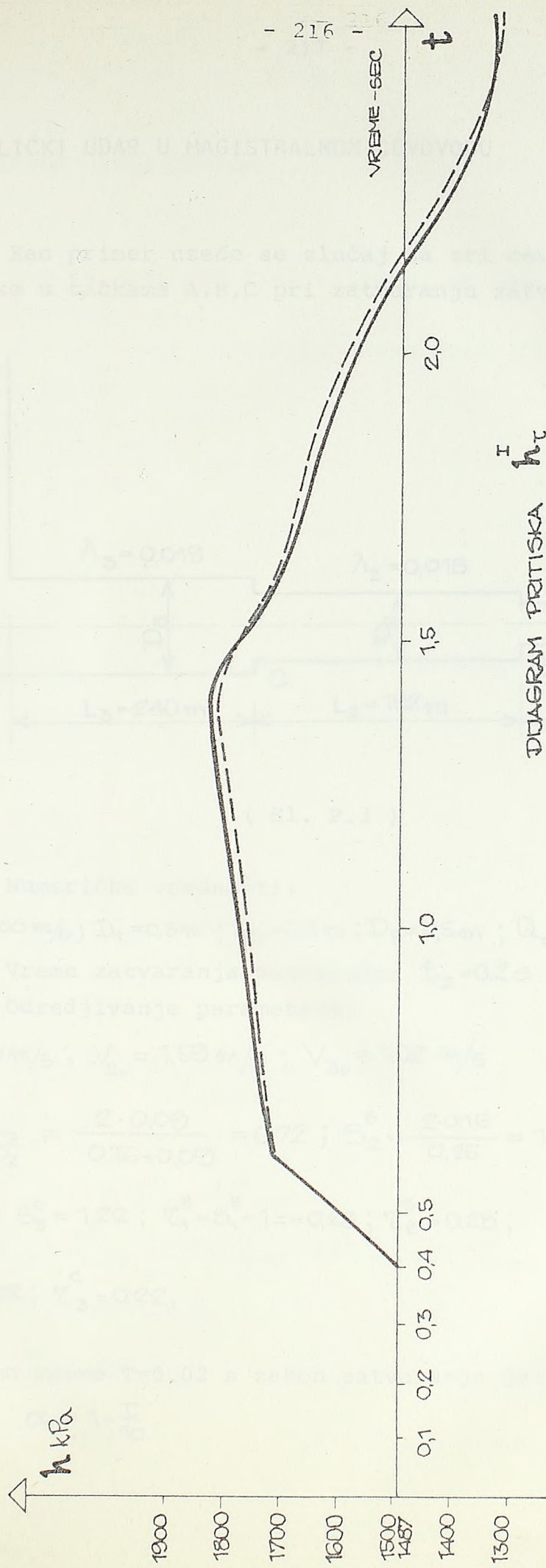


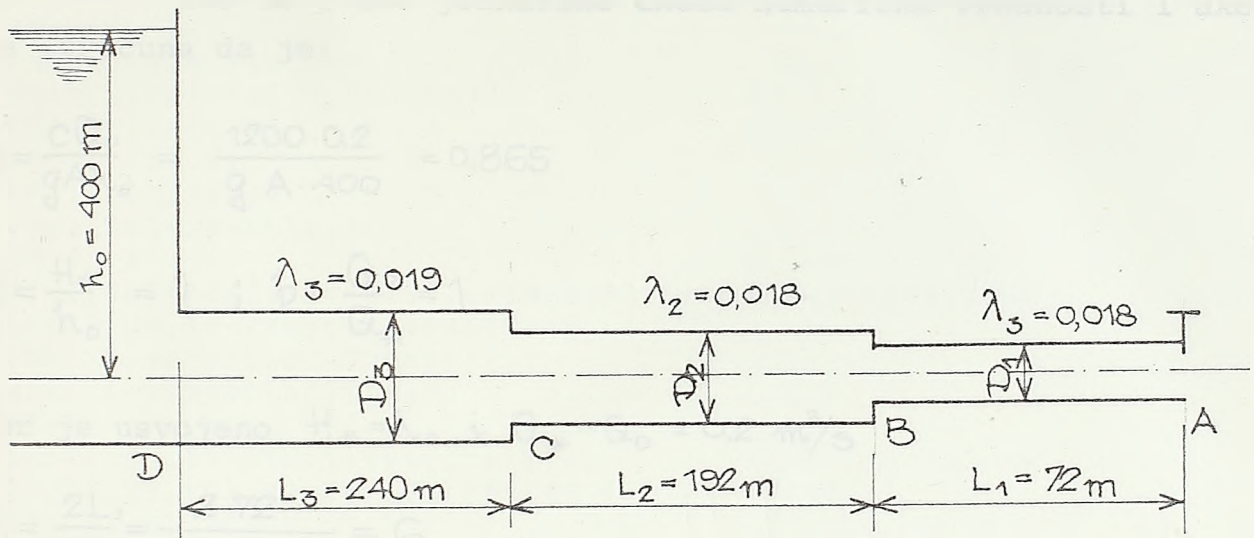
DIAGRAM PRITISKA h_t^I

— METOD KARAKTERISTIKA $-\frac{\lambda v^2 L}{4Dg}$

- - - METOD AUTORA ZA $\beta = e^{-\frac{\lambda v^2 L}{4Dg}}$

3. HIDRAULIČKI UDAR U MAGISTRALNOM CEVOVODU

Kao primer uzeće se slučaj sa tri cevi. Treba odrediti pritiske u tačkama A, B, C pri zatvaranju zatvarača u tački A.



(Sl. P.3)

Numeričke vrednosti:

$$C = 1200 \text{ m/s}; D_1 = 0,3 \text{ m}; D_2 = 0,4 \text{ m}; D_3 = 0,5 \text{ m}; Q_0 = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vreme zatvaranja zatvarača: $t_z = 0,2 \text{ s}$.

Odredjivanje parametara:

$$V_{10} = 2,83 \text{ m/s}; V_2 = 1,59 \text{ m/s}; V_{30} = 1,02 \text{ m/s}.$$

$$S_1^B = \frac{2D_1^2}{D_1^2 + D_2^2} = \frac{2 \cdot 0,09}{0,16 + 0,09} = 0,72; S_2^B = \frac{2 \cdot 0,16}{0,25} = 1,28;$$

$$S_2^C = 0,78; S_3^C = 1,22; \tau_1^B = S_1^B - 1 = -0,28; \tau_2^B = 0,28;$$

$$\tau_2^C = -0,22; \tau_3^C = 0,22.$$

Za usvojeno vreme $T = 0,02 \text{ s}$ zakon zatvaranja je:

$$\alpha_\tau = 1 - \frac{T}{10}$$

3.1. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA KOD ZANEMARIVANJA TRENJA

Ako se zanemari trenje jednačine hidrauličkog udara su date izrazima (3.14) - (3.16).

Ako se u ove jednačine unesu numeričke vrednosti i ako se izračuna da je:

$$\rho = \frac{cQ_0}{gAh_0} = \frac{1200 \cdot 0,2}{g \cdot A \cdot 400} = 0,865$$

$$\psi = \frac{H_*}{h_0} = 1 ; b = \frac{Q_0}{Q_*} = 1$$

jer je usvojeno $H_* = h_0$ i $Q_* = Q_0 = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$

$$v_1 = \frac{2L_1}{cT} = \frac{2 \cdot 72}{1200 \cdot 0,02} = 6$$

$$v_2 = \frac{2L_2}{cT} = \frac{2 \cdot 192}{1200 \cdot 0,02} = 16$$

$$v_3 = \frac{2L_3}{cT} = \frac{2 \cdot 240}{1200 \cdot 0,02} = 20$$

onda se dobija:

$$y_T^* = \frac{0,865(\alpha_{T-6} - \alpha_T) + (0,4325\alpha_{T-6} - 1)y_{T-6}^A + 2y_{T-3}^B}{1 + 0,4325\alpha_T}$$

$$y_T^B = 0,72(y_{T-3}^A - y_{T-19}^A) + 1,28(y_{T-8}^C - y_{T-14}^C) + 0,28y_{T-6}^B - 0,28y_{T-16}^B + y_{T-22}^B$$

$$y_T^C = 0,78(y_{T-8}^B - y_{T-28}^B) + 0,22y_{T-16}^C - 0,22y_{T-20}^C + y_{T-36}^C$$

odnosno, kad se predje na h i t :

$$h_T^A = 4000 y_T^A + 4000 \text{ kPa}$$

$$h_T^B = 4000 y_T^B + 4000$$

$$h_T^C = 4000 y_T^C + 4000$$

$$t = 0,02T - \text{sec}$$

3.1 PROPAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MAGISTRALNOM CEVOVODU

```
DIMENSION A(100),VTA(100),VTB(100),VTC(100),
*HTA(100),HTB(100),HTC(100)
DO 10 I=1,100
  A(I)=0
  VTA(I)=0
  VTB(I)=0
  VTC(I)=0
  HTA(I)=0
  HTB(I)=0
10 HTC(I)=0
  READ(2,100) NT,NA
100 FORMAT(2I5,F10.0)
  READ(2,101)(A(I),I=1,NA)
101 FORMAT(8F10.0)
  DO 5 IT=1,NT
    IF(IT.LE.6)1,2
  1 VT=0.865*(1-A(IT))
    GO TO 3
  2 VT=0.865*(A(IT-6)-A(IT))+(0.4325*A(IT-6)-1)*VTA(IT-6)
  3 IF(IT.GT.3) VT=VT+2*VTB(IT-3)
    VTA(IT)=VT/(1+0.4325*A(IT))
    HTA(IT)=400*VTA(IT)+400
    VT=0
    IF(IT.GT.3) VT=VT+VTA(IT-3)
    IF(IT.GT.19) VT=VT-VTA(IT-19)
    VTB(IT)=0.72*VT
    VT=0
    IF(IT.GT.8) VT=VT+VTC(IT-8)
    IF(IT.GT.14) VT=VT-VTC(IT-14)
    VTB(IT)=VTB(IT)+1.28*VT
    IF(IT.GT.6) VTB(IT)=VTB(IT)+0.28*VTB(IT-6)
    IF(IT.GT.16) VTB(IT)=VTB(IT)-0.28*VTB(IT-16)
    IF(IT.GT.22) VTB(IT)=VTB(IT)+VTB(IT-22)
    HTB(IT)=400*VTB(IT)+400
    VT=0
    IF(IT.GT.8) VT=VT+VTB(IT-8)
    IF(IT.GT.28) VT=VT-VTB(IT-28)
    VTC(IT)=0.78*VT
    IF(IT.GT.16) VTC(IT)=VTC(IT)+0.22*VTC(IT-16)
    IF(IT.GT.20) VTC(IT)=VTC(IT)-0.22*VTC(IT-20)
    IF(IT.GT.36) VTC(IT)=VTC(IT)+VTC(IT-36)
    HTC(IT)=400*VTC(IT)+400
  5 CONTINUE
  WRITE(3,102)
102 FORMAT(1H1,3X,'I',3X,'A',7X,'VTA',7X,'VTB',7X,'VTC'/)
  DO 6 I=1,NT
  6 WRITE(3,103) I,A(I),VTA(I),VTB(I),VTC(I)
103 FORMAT(8X,I3,4F10.3)
  WRITE(3,104)
104 FORMAT(1H1,3X,'I',3X,'A',7X,'HTA',7X,'HTB',7X,'HTC'/)
  DO 7 I=1,NT
  7 WRITE(3,103)I,A(I),HTA(I),HTB(I),HTC(I)
  STOP
END
```

I τ	A ατ	VTA v _{τA}	VTB v _{τB}	VTC v _{τC}
1	0.900	0.062	0.000	0.000
2	0.800	0.129	0.000	0.000
3	0.700	0.199	0.000	0.000
4	0.600	0.275	0.015	0.000
5	0.500	0.356	0.093	0.000
6	0.400	0.442	0.143	0.000
7	0.300	0.505	0.198	0.000
8	0.200	0.571	0.256	0.000
9	0.100	0.639	0.319	0.000
10	0.000	0.711	0.376	0.000
11	0.000	0.666	0.437	0.000
12	0.000	0.617	0.500	0.035
13	0.000	0.572	0.567	0.072
14	0.000	0.525	0.551	0.112
15	0.000	0.476	0.534	0.154
16	0.000	0.424	0.517	0.200
17	0.000	0.436	0.500	0.248
18	0.000	0.450	0.483	0.293
19	0.000	0.463	0.464	0.341
20	0.000	0.476	0.456	0.390
21	0.000	0.490	0.447	0.443
22	0.000	0.504	0.438	0.430
23	0.000	0.475	0.427	0.416
24	0.000	0.445	0.415	0.404
25	0.000	0.413	0.403	0.390
26	0.000	0.378	0.377	0.376
27	0.000	0.342	0.348	0.362
28	0.000	0.302	0.319	0.363
29	0.000	0.278	0.288	0.365
30	0.000	0.252	0.279	0.366
31	0.000	0.225	0.270	0.367
32	0.000	0.197	0.255	0.325
33	0.000	0.217	0.251	0.281
34	0.000	0.238	0.257	0.222
35	0.000	0.254	0.252	0.159
36	0.000	0.270	0.258	0.091
37	0.000	0.288	0.255	0.019
38	0.000	0.306	0.271	-0.046
39	0.000	0.300	0.276	-0.114
40	0.000	0.293	0.228	-0.180
41	0.000	0.288	0.176	-0.250
42	0.000	0.282	0.115	-0.241
43	0.000	0.167	0.051	-0.232
44	0.000	0.045	-0.019	-0.211
45	0.000	-0.069	-0.091	-0.189
46	0.000	-0.191	-0.199	-0.168
47	0.000	-0.323	-0.313	-0.145
48	0.000	-0.455	-0.430	-0.151
49	0.000	-0.566	-0.553	-0.158
50	0.000	-0.672	-0.578	-0.171
51	0.000	-0.791	-0.605	-0.185
52	0.000	-0.915	-0.624	-0.190
53	0.000	-0.834	-0.644	-0.195
54	0.000	-0.746	-0.655	-0.215
55	0.000	-0.682	-0.690	-0.235
56	0.000	-0.616	-0.651	-0.254
57	0.000	-0.542	-0.631	-0.273
58	0.000	-0.455	-0.605	-0.282
59	0.000	-0.489	-0.578	-0.293
60	0.000	-0.515	-0.537	-0.297
61	0.000	-0.528	-0.493	-0.302
62	0.000	-0.541	-0.455	-0.327
63	0.000	-0.531	-0.415	-0.354

τ	α_{τ}	v_{τ}^A	$v_{\tau}^B - 221$	v_{τ}^C
65	0.000	-0.421	-0.320	-0.327
66	0.000	-0.316	-0.274	-0.318
67	0.000	-0.211	-0.225	-0.308
68	0.000	-0.099	-0.154	-0.279
69	0.000	-0.017	-0.078	-0.248
70	0.000	0.070	-0.024	-0.233
71	0.000	0.114	0.034	-0.216
72	0.000	0.159	0.043	-0.197
73	0.000	0.164	0.052	-0.177
74	0.000	0.167	0.049	-0.119
75	0.000	0.102	0.046	-0.057
76	0.000	0.033	0.047	0.026
77	0.000	-0.015	0.048	0.114
78	0.000	-0.056	0.043	0.181
79	0.000	-0.070	0.037	0.254
80	0.000	-0.072	0.036	0.300
81	0.000	-0.017	0.034	0.348
82	0.000	0.041	0.091	0.393
83	0.000	0.086	0.151	0.439
84	0.000	0.135	0.221	0.415
85	0.000	0.251	0.296	0.388
86	0.000	0.375	0.346	0.353
87	0.000	0.460	0.399	0.315
88	0.000	0.551	0.458	0.275
89	0.000	0.605	0.541	0.232
90	0.000	0.664	0.613	0.236
91	0.000	0.685	0.690	0.241
92	0.000	0.706	0.676	0.256
93	0.000	0.767	0.652	0.271
94	0.000	0.829	0.549	0.267
95	0.000	0.748	0.635	0.263
96	0.000	0.650	0.623	0.248
97	0.000	0.613	0.610	0.232
98	0.000	0.554	0.571	0.216
99	0.000	0.480	0.530	0.199
100	0.000	0.390	0.493	0.179

I	A	HTA	HTB	HTC
τ	$\alpha\tau$	$\frac{h^a}{h^c}$	$\frac{h^b}{h^c}$	$\frac{h^c}{h^c}$
1	0.900	424.906	400.000	400.000
2	0.800	451.412	400.000	400.000
3	0.700	479.679	400.000	400.000
4	0.600	509.885	417.932	400.000
5	0.500	542.240	437.015	400.000
6	0.400	576.982	457.368	400.000
7	0.300	602.038	479.117	400.000
8	0.200	628.265	502.413	400.000
9	0.100	655.721	527.427	400.000
10	0.000	684.464	550.489	400.000
11	0.000	666.345	574.715	400.000
12	0.000	646.890	600.192	413.987
13	0.000	628.953	626.957	428.873
14	0.000	610.110	620.444	444.747
15	0.000	590.303	613.440	461.711
16	0.000	569.470	606.983	479.882
17	0.000	574.543	600.200	499.393
18	0.000	579.991	593.069	517.381
19	0.000	585.013	585.559	536.278
20	0.000	590.289	582.346	556.142
21	0.000	595.835	578.933	577.034
22	0.000	601.668	575.010	571.947
23	0.000	590.149	570.795	566.484
24	0.000	577.875	566.221	561.447
25	0.000	565.007	561.277	556.156
26	0.000	551.280	550.636	550.594
27	0.000	536.607	539.395	544.744
28	0.000	520.886	527.591	545.307
29	0.000	511.123	515.107	545.920
30	0.000	500.915	511.661	546.352
31	0.000	490.176	507.974	546.789
32	0.000	478.934	506.278	530.162
33	0.000	486.716	504.513	512.438
34	0.000	495.062	502.655	488.729
35	0.000	501.433	500.720	463.422
36	0.000	508.111	503.318	436.416
37	0.000	515.134	506.102	407.471
38	0.000	522.506	508.239	381.719
39	0.000	519.921	510.486	354.587
40	0.000	517.141	491.014	327.922
41	0.000	515.045	470.264	299.893
42	0.000	512.860	446.112	303.427
43	0.000	466.893	420.235	307.295
44	0.000	418.023	392.901	315.500
45	0.000	372.304	363.502	324.352
46	0.000	323.428	320.238	332.899
47	0.000	270.756	274.608	341.885
48	0.000	214.144	228.008	339.416
49	0.000	173.534	178.701	336.745
50	0.000	131.194	168.652	331.530
51	0.000	33.711	157.812	325.981
52	0.000	33.979	150.299	324.068
53	0.000	66.547	142.469	322.036
54	0.000	101.480	133.424	314.129
55	0.000	127.015	123.909	305.800
56	0.000	153.744	135.477	298.598
57	0.000	193.138	147.791	290.972
58	0.000	213.999	158.000	287.175
59	0.000	204.407	168.752	282.953
60	0.000	194.101	185.308	281.071
61	0.000	138.936	202.835	279.142
62	0.000	183.761	217.923	269.078
63	0.000	187.479	233.922	258.503

τ	$d\tau$	h_c^A	$h_c^B - 223$	h_c^C
55	0.000	231.440	272.128	269.154
66	0.000	273.744	290.381	272.865
67	0.000	315.751	309.902	276.738
68	0.000	360.494	338.515	288.336
69	0.000	393.284	368.729	300.607
70	0.000	428.133	390.595	306.913
71	0.000	445.590	413.713	313.619
72	0.000	463.713	417.141	321.198
73	0.000	455.440	420.743	329.365
74	0.000	466.932	419.714	352.501
75	0.000	440.999	419.563	377.090
76	0.000	413.354	418.812	410.262
77	0.000	393.838	419.339	445.509
78	0.000	373.412	417.003	472.561
79	0.000	372.185	414.855	501.519
80	0.000	371.146	414.216	519.891
81	0.000	393.007	413.656	539.210
82	0.000	416.377	436.388	557.038
83	0.000	434.594	460.514	575.654
84	0.000	453.920	488.515	565.852
85	0.000	500.592	518.356	555.237
86	0.000	549.881	538.295	541.042
87	0.000	534.023	559.739	526.063
88	0.000	620.335	587.292	509.846
89	0.000	641.996	616.210	492.811
90	0.000	665.556	645.325	494.561
91	0.000	673.992	676.036	496.505
92	0.000	682.540	670.583	502.386
93	0.000	706.627	664.877	508.583
94	0.000	731.737	659.651	506.961
95	0.000	699.170	654.105	505.199
96	0.000	664.197	649.226	499.235
97	0.000	645.310	643.958	492.792
98	0.000	625.670	628.564	486.352
99	0.000	591.825	612.081	479.427
100	0.000	556.199	597.099	471.429

3.2. JEDNAČINE HIDRAULIČKOG UDARA KOD UZIMANJA U RAČUN I TRENJA

Ako se uzme u račun i trenje onda su jednačine date izrazima (3.10) - (3.12).

$$h_o^D = 4000 \text{ kPa}$$

$$h_o^C = h_o^D - \lambda_3 \frac{l_3}{D_3} \frac{V_{30}^2}{2g} = 4000 - 4,8 = 3995,2 \text{ kPa}$$

$$h_o^B = h_o^C - \lambda_2 \frac{l_2}{D_2} \frac{V_{20}^2}{2g} = 3995,4 - 11,1 = 3984,3 \text{ kPa}$$

$$h_o^A = h_o^B - \lambda_1 \frac{l_1}{D_1} \frac{V_{10}^2}{2g} = 3984,1 - 17,6 = 3966,5 \text{ kPa}$$

$$\beta_1 = e^{-\frac{\lambda_1 V_{10}}{4D_1} \cdot \frac{l_1}{C}} = 0,997460$$

$$\beta_2 = e^{-\frac{\lambda_2 V_{20}}{4D_2} \cdot \frac{l_2}{C}} = 0,997142$$

$$\beta_3 = e^{-\frac{\lambda_3 V_{30}}{4D_3} \cdot \frac{l_3}{C}} = 0,99806$$

$$f = \frac{cQ_o}{gAh_o^A} = 0,87256$$

$$\psi = \frac{H_*}{h_o^A} = 1 ; b = \frac{Q_o}{Q_*} = 1$$

Usvojeno je: $h_o^A = H_*$ i $Q_* = Q_o = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Unošenjem numeričkih rednosti u izraze (3.10) - (3.12)

dobija se:

$$v_{T-6}^B = 0,718 (v_{T-3}^A - 0,994 v_{T-19}^A) + 1,276 (v_{T-8}^C - 0,994 v_{T-14}^C) +$$

$$+ 0,278 v_{T-6}^B - 0,278 v_{T-16}^B + 0,989 v_{T-22}^B$$

$$v_{T-8}^C = 0,778 (v_{T-8}^B - 0,996 v_{T-28}^B) + 0,219 v_{T-16}^C -$$

$$- 0,219 v_{T-20}^C - 0,99 v_{T-36}^C$$

$$v_{T-6}^A = \frac{0,868 (\alpha_{T-6} - 1) - 0,87256 (\alpha_{T-1}) + (0,434 \alpha_{T-6} - 0,995) v_{T-6}^A + 1,995 v_{T-3}^B}{1 + 0,43628}$$

odnosno,

$$h_T^* = 3966,5 v_T^A + 3966,5$$

$$h_T^B = 3966,5 v_T^B + 3984,3$$

$$h_T^C = 3966,5 v_T^C + 3995,2$$

$$t = 0,02 t$$

3.2 PROPAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U MAGISTRALNOM CEVOVODU

```
DIMENSION A(100),VTA(100),VTB(100),VTC(100),
*HTA(100),HTB(100),HTC(100)
DO 10 I=1,100
  A(I)=0
  VTA(I)=0
  VTB(I)=0
  VTC(I)=0
  HTA(I)=0
  HTB(I)=0
10 HTC(I)=0
  READ(2,100) NT,NA
100 FORMAT(2I5,F10.0)
  READ(2,101)(A(I),I=1,NA)
101 FORMAT(8F10.0)
  DO 5 IT=1,NT
    IF(IT.LE.6)1,2
  1 VT=0.87256*(1-A(IT))
    GO TO 3
  2 VT=0.868*(A(IT-6)-1)-0.87256*(A(IT)-1)+(0.434*A(IT-6)-0.995)*VTA(
    *IT-6)
  3 IF(IT.GT.3) VT=VT+1.995*VTB(IT-3)
    VTA(IT)=VT/(1+0.43628*A(IT))
    HTA(IT)=396.65*VTA(IT)+396.65
    VT=0
    IF(IT.GT.3) VT=VTA(IT-3)
    IF(IT.GT.19) VT=VT-VTA(IT-19)
    VTB(IT)=0.713*VT
    VT=0
    IF(IT.GT.8) VT=VT+VTC(IT-8)
    IF(IT.GT.14) VT=VT-VTC(IT-14)
    VTB(IT)=VTB(IT)+1.276*VT
    IF(IT.GT.6) VTB(IT)=VTB(IT)+0.278*VTB(IT-6)
    IF(IT.GT.16) VTB(IT)=VTB(IT)-0.278*VTB(IT-16)
    IF(IT.GT.22) VTB(IT)=VTB(IT)+0.989*VTB(IT-22)
    HTB(IT)=396.65*VTB(IT)+398.43
    VT=0
    IF(IT.GT.8) VT=VT+VTB(IT-8)
    IF(IT.GT.28) VT=VT-VTB(IT-28)
    VTC(IT)=0.778*VT
    IF(IT.GT.16) VTC(IT)=VTC(IT)+0.219*VTC(IT-16)
    IF(IT.GT.20) VTC(IT)=VTC(IT)-0.219*VTC(IT-20)
    IF(IT.GT.36) VTC(IT)=VTC(IT)+0.99*VTC(IT-36)
    HTC(IT)=396.65*VTC(IT)+399.52
  5 CONTINUE
  WRITE(3,102)
102 FORMAT(1H1,8X,'I',3X,'A',7X,'VTA',7X,'VTB',7X,'VTC'/)
  DO 6 I=1,NT
  6 WRITE(3,103) I,A(I),VTA(I),VTB(I),VTC(I)
103 FORMAT(8X,I3,4F10.3)
  WRITE(3,104)
104 FORMAT(1H1,8X,'I',3X,'A',7X,'HTA',7X,'HTB',7X,'HTC'/)
  DO 7 I=1,NT
  7 WRITE(3,103) I,A(I),HTA(I),HTB(I),HTC(I)
  STOP
END
```

I	A	VTA	VTB	VTC
τ	α_{τ}	α_{τ}^A	α_{τ}^B	α_{τ}^C
1	0.900	0.863	0.800	0.000
2	0.800	0.129	0.800	0.000
3	0.700	0.201	0.800	0.000
4	0.600	0.277	0.845	0.000
5	0.500	0.358	0.093	0.000
6	0.400	0.446	0.144	0.000
7	0.300	0.509	0.199	0.000
8	0.200	0.576	0.257	0.000
9	0.100	0.645	0.320	0.000
10	0.000	0.718	0.379	0.000
11	0.000	0.673	0.439	0.000
12	0.000	0.624	0.500	0.035
13	0.000	0.579	0.571	0.072
14	0.000	0.531	0.555	0.112
15	0.000	0.482	0.537	0.155
16	0.000	0.429	0.521	0.200
17	0.000	0.442	0.504	0.249
18	0.000	0.455	0.486	0.294
19	0.000	0.468	0.467	0.342
20	0.000	0.481	0.458	0.392
21	0.000	0.494	0.450	0.444
22	0.000	0.509	0.439	0.432
23	0.000	0.480	0.428	0.418
24	0.000	0.449	0.417	0.405
25	0.000	0.416	0.404	0.392
26	0.000	0.381	0.375	0.378
27	0.000	0.344	0.347	0.363
28	0.000	0.304	0.317	0.354
29	0.000	0.278	0.284	0.366
30	0.000	0.251	0.275	0.366
31	0.000	0.222	0.265	0.367
32	0.000	0.193	0.259	0.325
33	0.000	0.211	0.254	0.281
34	0.000	0.231	0.247	0.221
35	0.000	0.245	0.241	0.157
36	0.000	0.251	0.246	0.088
37	0.000	0.277	0.252	0.015
38	0.000	0.293	0.256	-0.050
39	0.000	0.286	0.260	-0.119
40	0.000	0.278	0.210	-0.187
41	0.000	0.271	0.156	-0.258
42	0.000	0.264	0.095	-0.251
43	0.000	0.148	0.029	-0.243
44	0.000	0.024	-0.041	-0.223
45	0.000	-0.091	-0.116	-0.201
46	0.000	-0.214	-0.225	-0.181
47	0.000	-0.347	-0.341	-0.160
48	0.000	-0.401	-0.458	-0.157
49	0.000	-0.593	-0.583	-0.175
50	0.000	-0.700	-0.509	-0.189
51	0.000	-0.820	-0.637	-0.204
52	0.000	-0.945	-0.657	-0.210
53	0.000	-0.865	-0.677	-0.216
54	0.000	-0.778	-0.700	-0.237
55	0.000	-0.715	-0.723	-0.258
56	0.000	-0.649	-0.696	-0.276
57	0.000	-0.575	-0.666	-0.294
58	0.000	-0.498	-0.642	-0.304
59	0.000	-0.523	-0.616	-0.315
60	0.000	-0.550	-0.574	-0.319
61	0.000	-0.564	-0.531	-0.323
62	0.000	-0.578	-0.493	-0.347
63	0.000	-0.569	-0.453	-0.372

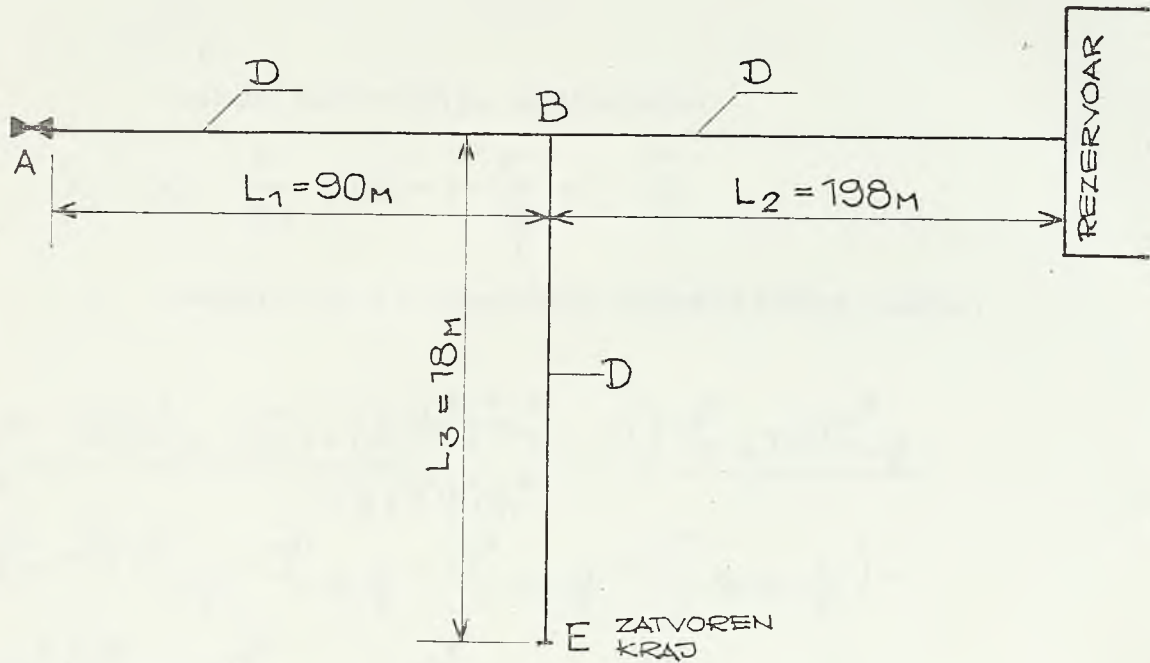
τ	$\alpha\tau$	ν_A^A	$\nu_B^B - 228$	ν_C^C
65	0.000	-0.459	-0.357	-0.347
66	0.000	-0.353	-0.311	-0.337
67	0.000	-0.246	-0.261	-0.327
68	0.000	-0.133	-0.187	-0.297
69	0.000	-0.049	-0.110	-0.266
70	0.000	0.040	-0.052	-0.249
71	0.000	0.088	0.009	-0.232
72	0.000	0.137	0.019	-0.212
73	0.000	0.146	0.030	-0.190
74	0.000	0.155	0.030	-0.130
75	0.000	0.092	0.031	-0.068
76	0.000	0.025	0.035	0.016
77	0.000	-0.022	0.040	0.106
78	0.000	-0.071	0.037	0.175
79	0.000	-0.071	0.035	0.250
80	0.000	-0.070	0.035	0.297
81	0.000	-0.013	0.039	0.346
82	0.000	0.049	0.099	0.391
83	0.000	0.099	0.162	0.438
84	0.000	0.152	0.234	0.417
85	0.000	0.272	0.311	0.393
86	0.000	0.398	0.354	0.350
87	0.000	0.484	0.421	0.325
88	0.000	0.577	0.490	0.286
89	0.000	0.632	0.553	0.246
90	0.000	0.693	0.634	0.252
91	0.000	0.712	0.709	0.260
92	0.000	0.731	0.697	0.276
93	0.000	0.787	0.684	0.293
94	0.000	0.846	0.671	0.291
95	0.000	0.766	0.658	0.288
96	0.000	0.680	0.644	0.272
97	0.000	0.635	0.629	0.255
98	0.000	0.589	0.592	0.237
99	0.000	0.506	0.552	0.217
100	0.000	0.418	0.515	0.197

I	A	HTA	HTB - 229	HTC
°C	α_c	$\frac{1}{K_c}$	$\frac{1}{K_c}$	$\frac{1}{K_c}$
1	0.900	421.502	398.430	399.520
2	0.800	447.961	398.430	399.520
3	0.700	476.189	398.430	399.520
4	0.600	506.369	416.274	399.520
5	0.500	538.711	435.272	399.520
6	0.400	573.456	455.539	399.520
7	0.300	598.633	477.209	399.520
8	0.200	625.006	500.430	399.520
9	0.100	652.640	525.377	399.520
10	0.000	681.597	548.414	399.520
11	0.000	653.571	572.632	399.520
12	0.000	644.206	598.107	413.402
13	0.000	626.290	524.923	428.183
14	0.000	607.456	618.435	443.951
15	0.000	587.644	511.455	460.810
16	0.000	566.789	605.007	478.876
17	0.000	571.783	598.217	498.284
18	0.000	577.148	591.074	516.208
19	0.000	582.038	583.555	535.049
20	0.000	587.282	580.247	554.869
21	0.000	592.744	576.742	575.731
22	0.000	598.494	572.712	570.684
23	0.000	586.926	568.371	565.262
24	0.000	574.595	563.683	560.237
25	0.000	561.639	558.605	554.954
26	0.000	547.813	547.701	549.397
27	0.000	533.025	536.175	543.547
28	0.000	517.172	524.044	544.014
29	0.000	506.929	511.203	544.524
30	0.000	496.205	507.502	544.841
31	0.000	484.894	503.538	545.157
32	0.000	473.034	501.314	528.543
33	0.000	480.354	498.939	510.825
34	0.000	488.230	496.520	487.046
35	0.000	493.984	493.934	461.654
36	0.000	500.016	496.122	434.534
37	0.000	506.345	498.456	405.454
38	0.000	512.988	499.982	379.620
39	0.000	510.058	501.572	352.382
40	0.000	506.910	481.639	325.390
41	0.000	504.209	460.394	296.993
42	0.000	501.378	436.026	300.008
43	0.000	456.314	409.958	303.325
44	0.000	406.320	382.118	311.254
45	0.000	350.622	352.224	319.630
46	0.000	311.749	308.854	327.653
47	0.000	258.895	263.083	336.090
48	0.000	202.073	216.587	333.159
49	0.000	151.334	157.352	329.997
50	0.000	118.819	156.935	324.508
51	0.000	71.530	145.700	318.664
52	0.000	21.955	137.978	316.236
53	0.000	53.743	129.917	313.656
54	0.000	87.867	120.964	305.692
55	0.000	112.948	111.612	297.297
56	0.000	139.216	122.506	290.212
57	0.000	168.408	134.195	282.708
58	0.000	199.078	143.976	278.797
59	0.000	139.133	154.279	274.463
60	0.000	178.552	170.592	272.859
61	0.000	173.108	187.871	271.220
62	0.000	167.524	202.789	261.770
63	0.000	171.023	218.619	251.835

τ	$\Delta\tau$	$\overset{A}{h\tau}$	$\overset{B}{h\tau} - 230$	$\overset{C}{h\tau}$
65	0.000	214.584	256.750	261.942
66	0.000	256.743	275.229	265.727
67	0.000	298.890	294.990	269.690
68	0.000	343.808	324.150	281.553
69	0.000	377.171	354.935	294.111
70	0.000	412.662	377.806	300.591
71	0.000	431.446	401.952	307.492
72	0.000	450.994	406.055	315.606
73	0.000	454.586	410.406	324.346
74	0.000	458.064	410.515	347.769
75	0.000	433.073	410.571	372.676
76	0.000	406.420	412.339	406.023
77	0.000	387.947	414.175	441.473
78	0.000	368.608	413.179	469.111
79	0.000	358.552	412.150	498.696
80	0.000	368.766	412.905	517.168
81	0.000	391.643	413.843	536.617
82	0.000	416.110	437.540	554.509
83	0.000	435.995	462.711	573.224
84	0.000	457.110	491.347	564.757
85	0.000	504.431	521.874	555.562
86	0.000	554.445	542.877	542.333
87	0.000	598.811	565.445	528.375
88	0.000	625.368	592.850	513.046
89	0.000	647.432	521.658	496.943
90	0.000	671.496	549.905	499.599
91	0.000	679.104	579.721	502.499
92	0.000	686.793	674.866	508.965
93	0.000	708.951	559.773	515.785
94	0.000	732.059	564.694	514.808
95	0.000	700.370	559.308	513.726
96	0.000	666.315	653.342	507.515
97	0.000	648.614	547.975	500.811
98	0.000	630.219	633.267	493.543
99	0.000	597.255	517.498	485.738
100	0.000	562.568	603.135	477.670

4. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U ZATVORENOM CEVOVODU

Treba izračunati hidraulički udar u sistemu na Sl. P.4 .



Sl. P.4

Hidraulički udar nastaje zatvaranjem zatvarača u tački A.

Vreme zatvaranja zatvarača je $t_z = 0.03$ s.

Brzina propagacije talasa udara je $c = 1200$ m/s.

Proračun:

Usvaja se vreme $T = 0.015$ s.

$$v_1 = \frac{2L_1}{cT} = \frac{2 \cdot 90}{1200 \cdot 0.015} = 10$$

$$v_2 = \frac{2L_2}{cT} = \frac{2 \cdot 198}{1200 \cdot 0.015} = 22$$

$$v_3 = \frac{2l_3}{cT} = \frac{2 \cdot 18}{1200 \cdot 0,015} = 2$$

$$\sigma_1^B = \sigma_2^B = \sigma_3^B = \frac{2}{3} ; \tau_1^B = \tau_2^B = \tau_3^B = -\frac{1}{3}$$

Zakon zatvaranja zatvarača:

$$\alpha_t = \alpha_0 - \frac{t}{t_z} ; \alpha_\tau = 1 - \frac{\tau}{\frac{t_z}{T}} = 1 - \frac{\tau}{2}$$

Jednačine za proračun hidrauličkog udara:

$$u_\tau^A = \frac{\rho b (\alpha_{\tau-v_1}^A - \alpha_\tau^A) + \left(\frac{1}{2} \rho b \psi \alpha_{\tau-v_1}^A - 1\right) u_{\tau-v_1}^A + 2u_{\tau-\frac{v_1}{2}}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho b \psi \alpha_\tau^A}$$

$$u_\tau^B = \sigma_1^B \left(u_{\tau-\frac{v_1}{2}}^A - u_{\tau-v_2-\frac{v_1}{2}}^A - u_{\tau-v_3-\frac{v_1}{2}}^A + u_{\tau-v_2-v_3-\frac{v_1}{2}}^A \right) +$$

$$+ \sigma_3^B \left(u_{\tau-\frac{v_3}{2}}^E - u_{\tau-v_1-\frac{v_3}{2}}^E - u_{\tau-v_2-\frac{v_3}{2}}^E + u_{\tau-v_1-v_2-\frac{v_3}{2}}^E \right) -$$

$$- \tau_1^B \left(u_{\tau-v_1}^B + u_{\tau-v_2-v_3}^B \right) - \tau_2^B \left(u_{\tau-v_2}^B + u_{\tau-v_1-v_3}^B \right) -$$

$$- \tau_3^B \left(u_{\tau-v_3}^B + u_{\tau-v_1-v_2}^B \right) - u_{\tau-v_1-v_2-v_3}^B .$$

$$u_\tau^E = -u_{\tau-v_3}^E + 2u_{\tau-\frac{v_3}{2}}^B$$

Kada se unesu numeričke vrednosti ove jednačine imaju oblik:

$$u_\tau^A = \frac{\rho (\alpha_{\tau-10}^A - \alpha_\tau^A) + \left(\frac{1}{2} \rho \alpha_{\tau-10}^A - 1\right) u_{\tau-10}^A + 2u_{\tau-5}^B}{1 + \frac{1}{2} \rho \alpha_\tau^A}$$

$$u_\tau^B = \frac{2}{3} \left(u_{\tau-5}^A - u_{\tau-7}^A - u_{\tau-27}^A + u_{\tau-29}^A \right) +$$

$$+ \frac{2}{3} \left(u_{\tau-1}^E - u_{\tau-11}^E - u_{\tau-23}^E + u_{\tau-33}^E \right) +$$

$$+\frac{1}{3} (v_{\tau-2}^B + v_{\tau-10}^B + v_{\tau-12}^B + v_{\tau-22}^B + v_{\tau-24}^B + v_{\tau-32}^B) -$$

$$- v_{\tau-34}^B$$

$$v_{\tau}^E = 2v_{\tau-1}^B - v_{\tau-2}^E$$

$$v_{\tau}^F = 0$$

Ovde je usvojeno:

$$H_* = h_o = 1500 \text{ kPa}$$

$$Q = Q_o$$

pa je:

$$b^* = \frac{Q_o}{Q_*}; \quad b^* = 1; \quad \psi^* = 1; \quad \psi^* = \frac{H_*}{h_o}$$

Proračun je dat za različite vrednosti protoka Q_o .

$$1. \quad V_o = 0,84 \text{ m/s} \quad \rho = \frac{cV_o}{gH_*} = \frac{cV_o}{gh_o} = \frac{1200 \cdot 0,84}{9,81 \cdot 150} = 0,68$$

$$2. \quad V_o = 0,70 \text{ m/s} \quad \rho = \frac{cV_o}{gh_o} = \frac{1200 \cdot 0,70}{9,81 \cdot 150} = 0,57$$

$$\text{za } \tau \leq 10 \Rightarrow \alpha_{\tau-10} = 1$$

$$\text{za } \tau \geq 2 \Rightarrow \alpha_{\tau} = 0$$

vrednosti h su:

$$h_{\tau}^A = 1500 v_{\tau}^A + 1500 \quad \text{kPa}$$

$$h_{\tau}^B = 1500 v_{\tau}^B + 1500$$

$$h_{\tau}^E = 1500 v_{\tau}^E + 1500$$

4. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U ZATVORENOM CEVOVODU

```

DIMENSION A(100),VTA(100),VTB(100),VTE(100),ROV(10),
*HTA(100),HTB(100),HTE(100)
DO 10 I=1,100
  A(I)=0
  VTA(I)=0
  VTB(I)=0
  VTE(I)=0
  HTA(I)=0
  HTB(I)=0
10 HTE(I)=0
  READ(2,100) NT,NA,VRO
100 FORMAT(3I5)
  READ(2,101) (ROV(I),I=1,VRO)
  READ(2,101)(A(I),I=1,NA)
101 FORMAT(8F10.0)
  DO 11 IRO = 1,VRO
    RO = ROV(IRO)
  DO 5 IT=1,NT
    IF(IT.LE.10)1,2
  1 VT=RO*(1-A(IT))
    GO TO 3
  2 VT=RO*(A(IT-10)-A(IT))+(0.5*RO*A(IT-10)-1)*VTA(IT-10)
  3 IF(IT.GT.5) VT=VT+2*VTB(IT-5)
    VTA(IT)=VT/(1+0.5*RO*A(IT))
    HTA(IT)=150*VTA(IT)+150
    VT=0
    IF(IT.GT.5) VT=VT+VTA(IT-5)
    IF(IT.GT.7) VT=VT-VTA(IT-7)
    IF(IT.GT.27) VT=VT-VTA(IT-27)
    IF(IT.GT.29) VT=VT+VTA(IT-29)
    IF(IT.GT.1) VT=VT+VTE(IT-1)
    IF(IT.GT.11) VT=VT-VTE(IT-11)
    IF(IT.GT.23) VT=VT-VTE(IT-23)
    IF(IT.GT.33) VT=VT+VTE(IT-33)
    VTB(IT) = 2.*VT/3.
    VT=0
    IF(IT.GT.2) VT=VT+VTB(IT-2)
    IF(IT.GT.10) VT=VT+VTB(IT-10)
    IF(IT.GT.12) VT=VT+VTB(IT-12)
    IF(IT.GT.22) VT=VT+VTB(IT-22)
    IF(IT.GT.24) VT=VT+VTB(IT-24)
    IF(IT.GT.32) VT=VT+VTB(IT-32)
    VTB(IT)=VTB(IT)+VT/3.
    IF(IT.GT.34) VTB(IT)=VTB(IT)-VTB(IT-34)
    HTB(IT)=150*VTB(IT)+150
    VTE(IT)=0
    IF(IT.GT.1) VTE(IT)=2*VTB(IT-1)
    IF(IT.GT.2) VTE(IT)=VTE(IT)-VTE(IT-2)
    HTE(IT)=150*VTE(IT)+150
  5 CONTINUE
  WRITE(3,102) RO
102 FORMAT(1H1//10X'RO = ',F6.3///9X,'I',7X,'A',8X,'VTA',7X,'VTB',7X,
* 'VTE'//)
  DO 6 I=1,NT
  6 WRITE(3,103) I,A(I),VTA(I),VTB(I),VTE(I)
103 FORMAT(8X,I3,4F10.3)

```

```

WRITE(3,104)RO
104 FORMAT(1H1//10X,'RO=',F6.3//9X,'I',7X,'A',8X,'HTA',7X,'HTB',
*7X,'HTE'//)
DO 7 I=1,NT
7 WRITE(3,103)I,A(I),HTA(I),HTB(I),HTE(I)
11 CONTINUE
STOP
END

```

RAMS CALLED

AND ARRAYS ["*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED]

1	HTA	2	*VT	146	HTE	147	*NA	313
314	VTA	315	*RO	461	HTB	462	ROV	626
640	.S0006	1004	.S0005	1005	.S0004	1006	.S0003	1007
1010	.S0002	1154	.S0001	1155	.S0000	1156	*IT	1157
1160	*I	1324	*VT	1325				

RIES

[NO ERRORS DETECTED]

RO = 0.680

I	A	VTA	VTB	VTE
τ	$\Delta\tau$	$\frac{V_A}{V_c}$	$\frac{V_B}{V_c}$	$\frac{V_E}{V_c}$
1	0.500	0.291	0.200	0.000
2	0.000	0.680	0.000	0.000
3	0.000	0.680	0.000	0.000
4	0.000	0.680	0.000	0.000
5	0.000	0.680	0.000	0.000
6	0.000	0.680	0.194	0.000
7	0.000	0.680	0.453	0.387
8	0.000	0.680	0.582	0.907
9	0.000	0.680	0.756	0.778
10	0.000	0.680	0.713	0.604
11	0.000	0.436	0.555	0.647
12	0.000	0.227	0.659	0.705
13	0.000	0.485	0.638	0.691
14	0.000	0.831	0.684	0.672
15	0.000	0.745	0.677	0.676
16	0.000	0.630	0.614	0.683
17	0.000	0.658	0.530	0.552
18	0.000	0.697	0.572	0.377
19	0.000	0.637	0.629	0.593
20	0.000	0.674	0.673	0.882
21	0.000	0.742	0.730	0.752
22	0.000	0.833	0.697	0.579
23	0.000	0.650	0.652	0.641
24	0.000	0.428	0.670	0.725
25	0.000	0.600	0.693	0.698
26	0.000	0.831	0.707	0.661
27	0.000	0.736	0.725	0.716
28	0.000	0.607	0.556	0.788
29	0.000	0.652	0.330	0.396
30	0.000	0.712	0.170	-0.129
31	0.000	0.671	-0.043	-0.055
32	0.000	0.617	-0.022	0.043
33	0.000	0.452	0.007	0.012
34	0.000	0.232	0.002	-0.029
35	0.000	-0.259	-0.005	-0.008
36	0.000	-0.917	-0.008	0.020
37	0.000	-0.779	-0.013	-0.008
38	0.000	-0.593	-0.035	-0.045
39	0.000	-0.648	-0.054	-0.062
40	0.000	-0.721	-0.262	-0.083
41	0.000	-0.687	-0.526	-0.452
42	0.000	-0.642	-0.635	-0.969
43	0.000	-0.522	-0.791	-0.809
44	0.000	-0.360	-0.723	-0.593
45	0.000	-0.264	-0.646	-0.638
46	0.000	-0.136	-0.662	-0.699
47	0.000	-0.492	-0.682	-0.685
48	0.000	-0.969	-0.647	-0.666
49	0.000	-0.799	-0.599	-0.608
50	0.000	-0.571	-0.564	-0.531
51	0.000	-0.636	-0.518	-0.520
52	0.000	-0.723	-0.612	-0.504
53	0.000	-0.771	-0.739	-0.705
54	0.000	-0.837	-0.735	-0.975
55	0.000	-0.864	-0.730	-0.765
56	0.000	-0.900	-0.688	-0.485
57	0.000	-0.733	-0.632	-0.610
58	0.000	-0.510	-0.684	-0.779

τ	$\alpha\tau$	v_{τ}^A	$v_{\tau}^B - 237$	v_{τ}^C
60	0.000	-0.889	-0.700	-0.731
61	0.000	-0.740	-0.627	-0.642
62	0.000	-0.540	-0.439	-0.524
63	0.000	-0.597	-0.186	-0.235
64	0.000	-0.673	-0.101	0.151
65	0.000	-0.537	0.015	0.034
66	0.000	-0.355	0.009	-0.122
67	0.000	-0.145	0.002	-0.016
68	0.000	0.137	0.017	0.126
69	0.000	0.471	0.037	0.050
70	0.000	0.918	0.024	-0.051
71	0.000	0.758	0.007	-0.001
72	0.000	0.545	0.054	0.066
73	0.000	0.631	0.117	0.110
74	0.000	0.747	0.327	0.169
75	0.000	0.586	0.607	0.543
76	0.000	0.369	0.690	1.044
77	0.000	0.253	0.802	0.837
78	0.000	0.098	0.727	0.559
79	0.000	0.132	0.527	0.617
80	0.000	0.296	0.634	0.696
81	0.000	0.622	0.642	0.650
82	0.000	1.059	0.608	0.588
83	0.000	0.823	0.563	0.567
84	0.000	0.507	0.562	0.538
85	0.000	0.681	0.550	0.557
86	0.000	0.915	0.662	0.583
87	0.000	0.953	0.798	0.757
88	0.000	1.028	0.768	1.013
89	0.000	0.941	0.728	0.770
90	0.000	0.825	0.694	0.443
91	0.000	0.702	0.647	0.618
92	0.000	0.537	0.697	0.851
93	0.000	0.713	0.754	0.777
94	0.000	0.949	0.639	0.677
95	0.000	0.706	0.472	0.502
96	0.000	0.380	0.317	0.267
97	0.000	0.431	0.108	0.131
98	0.000	0.500	0.078	-0.051
99	0.000	0.338	0.037	0.024
100	0.000	0.120	-0.004	0.125

I	A	HTA	HTB	HTE
τ	$\alpha\tau$	$\frac{A}{h\tau}$	$\frac{B}{h\tau}$	$\frac{E}{h\tau}$
1	0.500	193.590	150.000	150.000
2	0.000	252.000	150.000	150.000
3	0.000	252.000	150.000	150.000
4	0.000	252.000	150.000	150.000
5	0.000	252.000	150.000	150.000
6	0.000	252.000	179.060	150.000
7	0.000	252.000	218.000	208.120
8	0.000	252.000	237.373	286.000
9	0.000	252.000	263.333	266.627
10	0.000	252.000	256.876	240.667
11	0.000	222.940	248.222	247.124
12	0.000	184.000	250.375	255.778
13	0.000	222.746	253.259	253.625
14	0.000	274.667	252.542	250.741
15	0.000	251.751	251.580	251.458
16	0.000	244.444	242.133	252.420
17	0.000	248.750	229.473	232.807
18	0.000	254.519	235.851	206.527
19	0.000	253.000	244.398	238.895
20	0.000	251.160	250.882	282.269
21	0.000	251.325	259.571	262.869
22	0.000	274.947	254.540	236.873
23	0.000	248.956	247.797	246.210
24	0.000	214.129	250.431	258.721
25	0.000	240.013	253.951	254.652
26	0.000	274.698	255.993	249.200
27	0.000	250.330	258.715	257.333
28	0.000	241.076	233.390	268.231
29	0.000	247.779	199.453	209.447
30	0.000	256.761	175.571	130.676
31	0.000	250.650	143.559	141.696
32	0.000	242.484	146.758	156.462
33	0.000	217.823	151.031	151.820
34	0.000	184.778	150.283	145.600
35	0.000	111.129	149.281	148.746
36	0.000	12.440	148.774	152.961
37	0.000	33.136	148.095	148.802
38	0.000	60.987	144.787	143.229
39	0.000	52.788	140.353	140.771
40	0.000	41.801	110.733	137.478
41	0.000	46.889	71.041	80.694
42	0.000	53.706	54.705	4.604
43	0.000	71.750	32.816	28.717
44	0.000	95.929	41.475	61.028
45	0.000	110.336	53.078	54.233
46	0.000	129.642	50.753	45.128
47	0.000	76.224	47.538	47.273
48	0.000	4.646	53.013	50.147
49	0.000	30.153	50.215	58.752
50	0.000	64.356	65.396	70.283
51	0.000	54.518	72.339	72.041
52	0.000	41.569	58.125	74.396
53	0.000	34.275	39.079	44.210
54	0.000	24.501	39.702	3.762
55	0.000	20.457	40.537	35.194
56	0.000	15.037	46.832	77.312
57	0.000	40.026	55.257	58.470
58	0.000	73.512	47.371	33.222

τ	dc	$\overset{A}{h\tau}$	$\overset{B}{h\tau} - 239$	$\overset{E}{h\tau}$
60	0.000	16.718	44.953	40.359
51	0.000	39.046	55.914	53.654
62	0.000	68.964	84.171	71.469
63	0.000	60.467	122.035	114.688
64	0.000	49.081	134.918	172.600
55	0.000	59.470	152.191	155.148
66	0.000	96.792	151.388	131.763
57	0.000	128.316	150.325	147.628
68	0.000	170.557	152.576	168.888
59	0.000	220.595	155.591	157.523
70	0.000	287.645	153.661	142.294
71	0.000	253.731	151.075	149.799
72	0.000	231.686	158.141	159.856
73	0.000	244.634	157.609	166.483
74	0.000	262.101	198.979	175.363
75	0.000	237.852	241.015	231.476
76	0.000	205.358	253.512	306.667
77	0.000	187.956	270.258	275.548
78	0.000	164.661	259.084	233.848
79	0.000	177.354	244.112	242.620
80	0.000	194.385	245.033	254.375
81	0.000	243.293	246.267	247.445
82	0.000	308.829	241.215	238.158
83	0.000	273.484	234.446	234.985
84	0.000	226.122	234.280	230.733
85	0.000	252.214	234.057	233.574
86	0.000	287.176	249.285	237.381
87	0.000	294.454	269.691	264.997
88	0.000	304.230	265.225	302.001
89	0.000	291.196	259.240	265.453
90	0.000	273.729	254.049	216.480
91	0.000	255.278	247.093	242.645
92	0.000	230.553	254.592	277.705
93	0.000	256.966	264.542	266.540
94	0.000	292.359	245.921	251.578
95	0.000	255.885	220.834	225.301
96	0.000	207.009	197.494	190.091
97	0.000	214.720	166.217	169.686
98	0.000	225.053	161.652	142.344
99	0.000	200.646	155.535	153.619
100	0.000	167.940	149.452	168.727

RO = 0.570

I	A	VTA	VTB	VTE
τ	$\frac{d\tau}{dt}$	$\frac{dA}{dt}$	$\frac{dB}{dt}$	$\frac{dE}{dt}$
1	0.500	0.249	0.000	0.000
2	0.000	0.570	0.000	0.000
3	0.000	0.570	0.000	0.000
4	0.000	0.570	0.000	0.000
5	0.000	0.570	0.000	0.000
6	0.000	0.570	0.166	0.000
7	0.000	0.570	0.380	0.333
8	0.000	0.570	0.491	0.760
9	0.000	0.570	0.633	0.649
10	0.000	0.570	0.596	0.507
11	0.000	0.404	0.549	0.544
12	0.000	0.190	0.551	0.591
13	0.000	0.412	0.577	0.579
14	0.000	0.697	0.573	0.563
15	0.000	0.623	0.558	0.567
16	0.000	0.528	0.514	0.572
17	0.000	0.552	0.444	0.450
18	0.000	0.584	0.481	0.316
19	0.000	0.576	0.528	0.501
20	0.000	0.565	0.555	0.739
21	0.000	0.623	0.612	0.628
22	0.000	0.698	0.584	0.485
23	0.000	0.549	0.547	0.539
24	0.000	0.358	0.552	0.608
25	0.000	0.506	0.531	0.584
26	0.000	0.697	0.593	0.554
27	0.000	0.615	0.508	0.601
28	0.000	0.509	0.453	0.661
29	0.000	0.547	0.276	0.324
30	0.000	0.597	0.140	-0.108
31	0.000	0.552	-0.036	-0.045
32	0.000	0.517	-0.018	0.036
33	0.000	0.376	0.005	0.010
34	0.000	0.194	0.001	-0.025
35	0.000	-0.227	-0.004	-0.007
36	0.000	-0.769	-0.007	0.017
37	0.000	-0.650	-0.011	-0.007
38	0.000	-0.497	-0.030	-0.038
39	0.000	-0.544	-0.054	-0.052
40	0.000	-0.605	-0.223	-0.070
41	0.000	-0.576	-0.441	-0.395
42	0.000	-0.538	-0.535	-0.813
43	0.000	-0.435	-0.655	-0.675
44	0.000	-0.302	-0.605	-0.497
45	0.000	-0.220	-0.542	-0.536
46	0.000	-0.114	-0.555	-0.586
47	0.000	-0.419	-0.572	-0.574
48	0.000	-0.812	-0.541	-0.558
49	0.000	-0.656	-0.502	-0.509
50	0.000	-0.479	-0.472	-0.445
51	0.000	-0.534	-0.434	-0.435
52	0.000	-0.606	-0.515	-0.422
53	0.000	-0.648	-0.620	-0.595
54	0.000	-0.701	-0.616	-0.817
55	0.000	-0.724	-0.612	-0.637
56	0.000	-0.754	-0.576	-0.406
57	0.000	-0.611	-0.529	-0.514
58	0.000	-0.427	-0.575	-0.653

60	0.000	-0.745	-0.586	-0.613
51	0.000	-0.617	-0.526	-0.537
62	0.000	-0.453	-0.364	-0.439
63	0.000	-0.501	-0.156	-0.192
64	0.000	-0.564	-0.083	0.126
55	0.000	-0.447	0.012	0.026
66	0.000	-0.297	0.008	-0.102
67	0.000	-0.117	0.032	-0.011
68	0.000	0.115	0.015	0.106
59	0.000	0.401	0.031	0.041
70	0.000	0.769	0.020	-0.043
71	0.000	0.632	0.005	-0.000
72	0.000	0.456	0.046	0.055
73	0.000	0.531	0.098	0.093
74	0.000	0.626	0.278	0.142
75	0.000	0.488	0.509	0.463
76	0.000	0.309	0.580	0.875
77	0.000	0.210	0.672	0.697
78	0.000	0.082	0.608	0.469
79	0.000	0.155	0.526	0.519
80	0.000	0.248	0.531	0.583
81	0.000	0.528	0.538	0.544
82	0.000	0.888	0.509	0.493
83	0.000	0.635	0.472	0.474
84	0.000	0.425	0.471	0.451
85	0.000	0.575	0.470	0.467
86	0.000	0.767	0.557	0.488
87	0.000	0.808	0.669	0.646
88	0.000	0.862	0.643	0.849
89	0.000	0.787	0.610	0.640
90	0.000	0.691	0.581	0.372
91	0.000	0.536	0.543	0.521
92	0.000	0.450	0.585	0.714
93	0.000	0.601	0.641	0.650
94	0.000	0.796	0.534	0.568
95	0.000	0.587	0.396	0.417
96	0.000	0.319	0.262	0.224
97	0.000	0.363	0.091	0.107
98	0.000	0.419	0.055	-0.043
99	0.000	0.280	0.031	0.022
100	0.000	0.100	-0.004	0.105

RO= 0.570

I	A	HTA	HTB	HTE
τ	α	$\frac{A}{h_c}$	$\frac{B}{h_c}$	$\frac{E}{h_c}$
1	0.500	187.418	150.000	150.000
2	0.000	235.500	150.000	150.000
3	0.000	235.500	150.000	150.000
4	0.000	235.500	150.000	150.000
5	0.000	235.500	150.000	150.000
6	0.000	235.500	174.945	150.000
7	0.000	235.500	207.000	199.891
8	0.000	235.500	223.630	264.000
9	0.000	235.500	245.000	247.370
10	0.000	235.500	239.457	226.000
11	0.000	210.555	232.333	231.543
12	0.000	178.500	234.181	238.667
13	0.000	211.750	236.556	236.819
14	0.000	254.500	235.940	234.444
15	0.000	243.413	235.148	235.060
16	0.000	229.167	227.038	235.852
17	0.000	232.852	216.617	219.016
18	0.000	237.611	222.092	197.383
19	0.000	236.379	229.128	225.168
20	0.000	234.796	234.694	260.872
21	0.000	243.522	241.845	244.219
22	0.000	254.735	237.527	222.820
23	0.000	232.424	231.977	230.835
24	0.000	203.755	234.238	241.134
25	0.000	225.974	237.143	237.641
26	0.000	254.526	238.888	233.153
27	0.000	242.192	241.129	240.134
28	0.000	226.343	219.389	249.105
29	0.000	232.097	191.454	198.644
30	0.000	239.491	170.953	133.802
31	0.000	234.253	144.609	143.261
32	0.000	227.524	147.347	155.417
33	0.000	206.354	150.354	151.432
34	0.000	179.152	150.222	146.312
35	0.000	115.931	149.397	149.012
36	0.000	34.692	148.962	152.482
37	0.000	52.501	148.403	148.912
38	0.000	75.386	145.563	144.324
39	0.000	58.348	141.914	142.214
40	0.000	59.304	116.487	139.503
41	0.000	53.671	83.814	90.760
42	0.000	69.283	69.791	28.124
43	0.000	84.772	51.772	48.823
44	0.000	104.676	59.205	75.421
45	0.000	117.043	68.757	69.588
46	0.000	132.935	66.761	62.093
47	0.000	87.031	64.196	63.934
48	0.000	28.159	68.810	66.300
49	0.000	50.053	74.739	73.686
50	0.000	78.210	79.187	83.178
51	0.000	69.851	84.902	84.687
52	0.000	59.110	72.701	86.626
53	0.000	52.848	57.022	60.714
54	0.000	44.802	57.557	27.418
55	0.000	41.331	58.244	54.399
56	0.000	36.869	63.648	89.070
57	0.000	58.321	70.591	72.896
58	0.000	85.885	63.814	52.113

60	0.000	38.279	62.119	58.095
61	0.000	57.445	71.134	69.508
62	0.000	82.073	95.390	84.173
63	0.000	74.779	126.559	121.272
64	0.000	65.406	137.618	168.944
65	0.000	82.908	151.829	153.963
66	0.000	105.399	151.148	134.713
67	0.000	132.459	150.273	148.332
68	0.000	167.232	152.204	165.833
69	0.000	210.135	154.686	156.077
70	0.000	265.379	153.030	143.540
71	0.000	244.851	150.901	149.983
72	0.000	218.472	156.957	158.262
73	0.000	229.630	164.751	163.950
74	0.000	243.967	191.689	171.260
75	0.000	223.151	226.292	219.428
76	0.000	196.403	237.019	281.324
77	0.000	181.474	250.804	254.611
78	0.000	162.290	241.213	220.284
79	0.000	173.194	228.839	227.815
80	0.000	187.205	229.679	237.491
81	0.000	229.188	230.694	231.542
82	0.000	283.136	226.358	223.897
83	0.000	252.796	220.785	221.174
84	0.000	213.808	220.643	217.673
85	0.000	236.205	220.450	220.112
86	0.000	264.986	233.532	223.246
87	0.000	271.242	250.329	246.951
88	0.000	279.281	246.496	277.412
89	0.000	258.092	241.559	246.040
90	0.000	253.714	237.113	205.726
91	0.000	237.875	231.336	228.186
92	0.000	217.522	237.824	257.047
93	0.000	240.195	246.097	247.463
94	0.000	269.330	230.026	235.146
95	0.000	238.020	209.376	212.590
96	0.000	197.787	189.340	183.605
97	0.000	204.406	163.594	166.090
98	0.000	212.912	159.675	143.582
99	0.000	191.961	154.640	153.261
100	0.000	165.038	149.418	165.698

5. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U SISTEMU ZA NAVODNJAVANJE

Dat je sistem za navodnjavanje (Sl. P.5). U tački A nalazi se rezervoar koji održava konstantan pritisak u mreži $h_0 = 1200 \text{ kPa}$. Protok vode u početnoj grani $AB = L_1$ je $Q_0 = 84 \text{ l/s}$. Razmatraju se dva režima rada sistema. Uredjaji za natapanje rade od hidranata D , G i E .

Prvi režim

U hidrantu E uredjaj za natapanje ne radi. Hidrant - zatvarač E je zatvoren. Znači tu se cev završava sa zatvorenim krajem. Hidranti u preseccima G i D rade i propuštaju proticaje u granama CD i CG - $Q_0 = 42 \text{ l/s}$.

Zatim se zatvarač u hidrantu G zatvara. Vreme potpunog zatvaranja regulacionog organa je $t_z = 0.2 \text{ s}$. Zakon regulisanja otvora je linearan:

$$\alpha_\tau = 1 - \frac{t}{0.2} = 1 - \frac{\tau T}{0.2}$$

Karakteristike mreže daju se u obliku tabele. Brzina propagacije talasa je: $= 1140 \text{ m/s}$.

Za ovaj režim uzećemo dve varijante:

I varijanta: $Q_{AB} = 84 \text{ l/s}$

II varijanta $Q_{AB} = 140 \text{ l/s}$

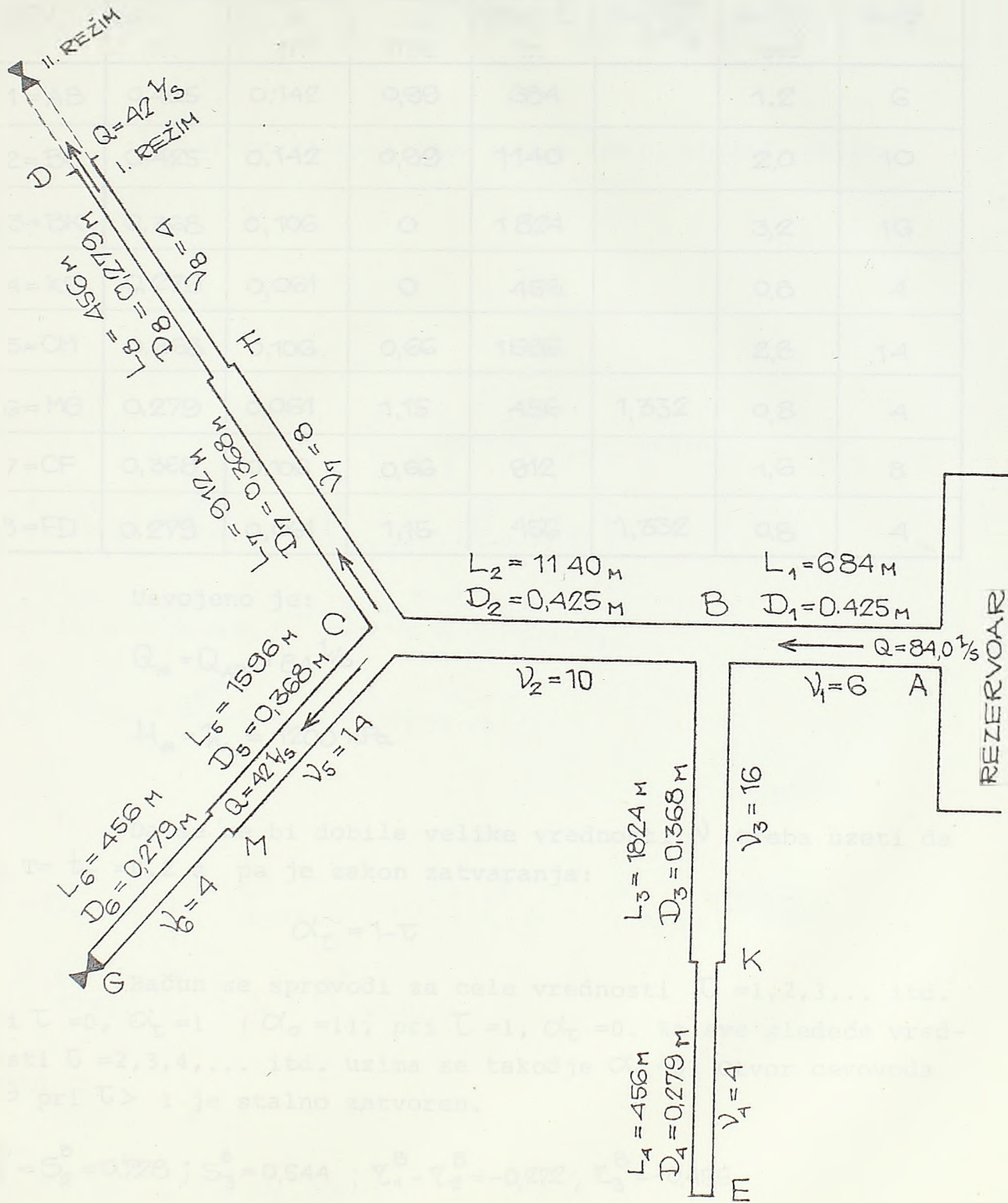


Tabela karakteristika cevne mreže - I varijanta

CEV	PREČNIK CEVI m	POVRŠINA A m ²	BRZINA V ₀ m/s	DUŽINA CEVI L m	$p = \frac{\rho Q_*^2}{g A H_*}$	$\mu = \frac{2L}{\sigma}$ sec	$\nu = \frac{\mu}{T}$
1=AB	0,425	0,142	0,99	684		1,2	6
2=BC	0,425	0,142	0,99	1140		2,0	10
3=BK	0,368	0,106	0	1824		3,2	16
4=KE	0,279	0,061	0	456		0,8	4
5=CM	0,368	0,106	0,66	1536		2,8	14
6=MG	0,279	0,061	1,15	456	1,332	0,8	4
7=CF	0,368	0,106	0,66	912		1,6	8
8=FD	0,279	0,061	1,15	456	1,332	0,8	4

Usvojeno je:

$$Q_* = Q_{AB} = 84 \text{ l/s}$$

$$H_* = h_0 = 1200 \text{ kPa}$$

Da se ne bi dobile velike vrednosti ν treba uzeti da je $T = t_z = 0.2 \text{ s}$ pa je zakon zatvaranja:

$$\alpha_\tau = 1 - \tau$$

Račun se sprovodi za cele vrednosti $\tau = 1, 2, 3 \dots$ itd. Pri $\tau = 0$, $\alpha_\tau = 1$ ($\alpha_0 = 1$), pri $\tau = 1$, $\alpha_\tau = 0$. Za sve sledeće vrednosti $\tau = 2, 3, 4, \dots$ itd. uzima se takodje $\alpha_\tau = 0$. Otvor cevovoda u G pri $\tau > 1$ je stalno zatvoren.

$$S_1^B = S_2^B = 0,728 ; S_3^B = 0,544 ; \tau_1^B = \tau_2^B = -0,272 ; \tau_3^B = -0,456$$

$$S_3^K = 1,269 ; S_4^K = 0,731 ; \tau_3^K = 0,269 ; \tau_4^K = -0,269$$

$$S_2^C = 0,802 ; S_5^C = S_7^C = 0,599 ; \tau_2^C = -0,138 ; \tau_5^C = \tau_7^C = -0,401$$

$$S_7^F = 1,269; \quad S_8^F = 0,731 \quad \tau_7^F = 0,269; \quad \tau_8^F = -0,269$$

$$S_5^M = 1,269; \quad S_6^M = 0,731 \quad \tau_5^M = 0,269; \quad \tau_6^M = -0,269$$

Jednačine hidrauličkog udara imaju sledeći oblik:

TAČKA A

$$v_t^A = 0$$

ČVOR B

$$\begin{aligned} v_t^B = & S_2^B \left(v_{t-\frac{v_2}{2}}^C - v_{t-v_1-\frac{v_2}{2}}^C - v_{t-v_3-\frac{v_2}{2}}^C + v_{t-v_1-v_3-\frac{v_2}{2}}^C \right) + \\ & + S_3^B \left(v_{t-\frac{v_3}{2}}^K - v_{t-v_1-\frac{v_3}{2}}^K - v_{t-v_2-\frac{v_3}{2}}^K + v_{t-v_1-v_2-\frac{v_3}{2}}^K \right) - \\ & - \tau_1^B \left(v_{t-v_1}^B + v_{t-v_2-v_3}^B \right) - \tau_2^B \left(v_{t-v_2}^B + v_{t-v_1-v_3}^B \right) - \\ & - \tau_3^B \left(v_{t-v_3}^B + v_{t-v_1-v_2}^B \right) - v_{t-v_1-v_2-v_3}^B . \end{aligned}$$

ČVOR K

$$\begin{aligned} v_t^K = & S_3^K \left(v_{t-\frac{v_3}{2}}^B - v_{t-v_1-\frac{v_3}{2}}^B \right) + S_4^K \left(v_{t-\frac{v_4}{2}}^E - v_{t-v_3-\frac{v_4}{2}}^E \right) - \\ & - \tau_3^K v_{t-v_3}^K - \tau_4^K v_{t-v_4}^K + v_{t-v_3-v_4}^K . \end{aligned}$$

TAČKA E

$$v_t^E = -v_{t-v_4}^E + 2 v_{t-\frac{v_4}{2}}^K$$

ČVOR C

$$\begin{aligned}
 \psi_C^c &= S_2^c \left(\psi_{C-\frac{\nu_2}{2}}^B - \psi_{C-\nu_5-\frac{\nu_2}{2}}^B - \psi_{C-\nu_7-\frac{\nu_2}{2}}^B + \psi_{C-\nu_5-\nu_7-\frac{\nu_2}{2}}^B \right) + \\
 &+ S_5^c \left(\psi_{C-\frac{\nu_5}{2}}^M - \psi_{C-\nu_2-\frac{\nu_5}{2}}^M - \psi_{C-\nu_7-\frac{\nu_5}{2}}^M + \psi_{C-\nu_2-\nu_7-\frac{\nu_5}{2}}^M \right) + \\
 &+ S_7^c \left(\psi_{C-\frac{\nu_7}{2}}^F - \psi_{C-\nu_2-\frac{\nu_7}{2}}^F - \psi_{C-\nu_5-\frac{\nu_7}{2}}^F + \psi_{C-\nu_2-\nu_5-\frac{\nu_7}{2}}^F \right) - \\
 &- \tau_2^c \left(\psi_{C-\nu_2}^c + \psi_{C-\nu_5-\nu_7}^c \right) - \tau_5^c \left(\psi_{C-\nu_5}^c + \psi_{C-\nu_2-\nu_7}^c \right) - \\
 &- \tau_7^c \left(\psi_{C-\nu_7}^c + \psi_{C-\nu_2-\nu_5}^c \right) - \psi_{C-\nu_2-\nu_5-\nu_7}^c .
 \end{aligned}$$

ČVOR M

$$\begin{aligned}
 \psi_C^M &= S_5^M \left(\psi_{C-\frac{\nu_5}{2}}^c - \psi_{C-\nu_6-\frac{\nu_5}{2}}^c \right) + S_6^M \left(\psi_{C-\frac{\nu_6}{2}}^G - \psi_{C-\nu_5-\frac{\nu_6}{2}}^G \right) - \\
 &- \tau_5^M \psi_{C-\nu_5}^M - \tau_6^M \psi_{C-\nu_6}^M + \psi_{C-\nu_5-\nu_6}^M
 \end{aligned}$$

TAČKA G

$$\psi_C^G = \frac{\rho_6^G \alpha_{C-\nu_6}^G - \alpha_C^G + \left(\frac{1}{2} \rho_6^G \psi \alpha_{C-\nu_6}^G - 1 \right) \psi_{C-\nu_6}^G + 2 \psi_{C-\frac{\nu_6}{2}}^M}{1 + \frac{1}{2} \rho_6^G \psi \alpha_C^G}$$

ČVOR F

$$\begin{aligned}
 \psi_C^F &= S_7^F \left(\psi_{C-\frac{\nu_7}{2}}^c - \psi_{C-\nu_8-\frac{\nu_7}{2}}^c \right) + S_8^F \left(\psi_{C-\frac{\nu_8}{2}}^D - \psi_{C-\nu_7-\frac{\nu_8}{2}}^D \right) - \\
 &- \tau_7^F \psi_{C-\nu_7}^F - \tau_8^F \psi_{C-\nu_8}^F + \psi_{C-\nu_7-\nu_8}^F
 \end{aligned}$$

TAČKA D

$$\psi_C^D = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho_8^D \psi - 1 \right) \psi_{C-\nu_8}^D + 2 \psi_{C-\frac{\nu_8}{2}}^F}{1 + \frac{1}{2} \rho_8^D \psi}$$

Ako u ove jednačine unesemo numeričke vrednosti, imamo:

I VAR.

$$v_t^G = \frac{0,666(\alpha_{t-4}^G - \alpha_t^G) + (0,333\alpha_{t-4}^G - 1)v_{t-4}^G + 2v_{t-2}^M}{1 + 0,333\alpha_t^G}$$

$$v_t^M = 1,269(v_{t-7}^c - v_{t-11}^c) + 0,731(v_{t-2}^g - v_{t-16}^g) - 0,269v_{t-14}^M + 0,269v_{t-4}^M + v_{t-18}^M.$$

$$v_t^c = 0,802(v_{t-5}^B - v_{t-19}^B - v_{t-13}^B + v_{t-27}^B) + 0,599(v_{t-7}^M - v_{t-17}^M - v_{t-15}^M + v_{t-25}^M) + 0,599(v_{t-4}^F - v_{t-14}^F - v_{t-18}^F + v_{t-28}^F) + 0,198(v_{t-10}^c + v_{t-22}^c) + 0,401(v_{t-14}^c + v_{t-18}^c) + 0,401(v_{t-8}^c + v_{t-24}^c) - v_{t-32}^c$$

$$v_t^F = 1,269(v_{t-4}^c - v_{t-8}^c) + 0,731(v_{t-2}^D - v_{t-10}^D) - 0,269v_{t-8}^F + 0,269v_{t-4}^F + v_{t-12}^F$$

$$v_t^D = \frac{-0,667v_{t-4}^D + 2v_{t-2}^F}{1,333}$$

odnsono:

$$v_t^D = -0,500v_{t-4}^D + 1,500v_{t-2}^F$$

$$v_t^B = 0,728(v_{t-5}^c - v_{t-11}^c - v_{t-21}^c + v_{t-27}^c) + 0,544(v_{t-8}^K - v_{t-14}^K - v_{t-18}^K + v_{t-24}^K) + 0,272(v_{t-6}^B + v_{t-10}^B + v_{t-22}^B + v_{t-26}^B) + 0,912v_{t-16}^B - v_{t-32}^B$$

$$v_t^K = 1,269(v_{t-8}^B - v_{t-12}^B) + 0,731(v_{t-2}^E - v_{t-18}^E) + 0,269(v_{t-4}^K - v_{t-16}^K) + v_{t-20}^K$$

$$v_{\tau}^E = -v_{\tau-4}^E + 2v_{\tau-2}^K$$

Pošto je u ovom proračunu usvojeno:

$$H_* = h_0 = 1200 \text{ kPa} \quad \text{i} \quad Q_* = 84 \text{ l/s} ,$$

to je:

$$\psi^E = \psi^D = \frac{H_*}{h_0} = 1$$

$$b^E = b^D = \frac{Q_0}{Q_*} = \frac{42}{84} = \frac{1}{2}$$

Prelaz od v ka h i od τ ka t obavlja se prema formulama:

$$v_{\tau} = \frac{h_{\tau} - h_0}{H_*}$$

odnosno:

$$h_{\tau} = 1200 v_{\tau} + 1200 \text{ kPa}$$

$$t = \tau T = 0,2\tau$$

5. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U SISTEMU ZA NAVODNJAVANJE

```

DIMENSION A(100),VTG(100),VTM(100),VTC(100),VTF(100),VTD(100),VTB(
*100),VTK(100),VTE(100),ROV(10),
*HTG(100),HTM(100),HTC(100),HTF(100),
*HTD(100),HTB(100),HTK(100),HTE(100)
DO 10 I=1,100
  A(I)=0
  VTG(I)=0
  VTM(I)=0
  VTC(I)=0
  VTF(I)=0
  VTD(I)=0
  VTB(I)=0
  VTK(I)=0
  VTE(I)=0
  HTG(I)=0
  HTM(I)=0
  HTC(I)=0
  HTF(I)=0
  HTD(I)=0
  HTB(I)=0
  HTK(I)=0
10 HTE(I)=0
  READ(2,100) NT,NRO
100 FORMAT(3I5)
  READ(2,101)(ROV(I),I=1,NRO)
101 FORMAT(8F10.0)
  DO 11 IRO=1,NRO
  RO=ROV(IRO)
  DO 5 IT=1,NT
  IF(IT.LE.4)1,2
  1 VT=RO
  GO TO 3
  2 VT=-1*VTG(IT-4)
  3 IF(IT.GT.2) VT=VT+2*VTM(IT-2)
  VTG(IT)=VT
  HTG(IT)=120*VTG(IT)+120
  VT=0
  IF(IT.GT.7) VT=VT+VTC(IT-7)
  IF(IT.GT.11) VT=VT-VTC(IT-11)
  VTM(IT)=1.269*VT
  VT=0
  IF(IT.GT.2) VT=VT+VTG(IT-2)
  IF(IT.GT.16) VT=VT-VTG(IT-16)
  VTM(IT)=VTM(IT)+0.731*VT
  IF(IT.GT.14) VTM(IT)=VTM(IT)-0.269*VTM(IT-14)
  IF(IT.GT.4) VTM(IT)=VTM(IT)+0.269*VTM(IT-4)
  IF(IT.GT.18) VTM(IT)=VTM(IT)+VTM(IT-18)
  HTM(IT)=120*VTM(IT)+120
  VT=0
  IF(IT.GT.5) VT=VT+VTB(IT-5)
  IF(IT.GT.13) VT=VT-VTB(IT-13)
  IF(IT.GT.19) VT=VT-VTB(IT-19)
  IF(IT.GT.27) VT=VT+VTB(IT-27)
  VTC(IT)=0.802*VT
  VT=0

```

```
IF(IT.GT.7) VT=VT+VTM(IT-7)
IF(IT.GT.15) VT=VT-VTM(IT-15)
IF(IT.GT.17) VT=VT-VTM(IT-17)
IF(IT.GT.25) VT=VT+VTM(IT-25)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.599*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTF(IT-4)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTF(IT-14)
IF(IT.GT.18) VT=VT-VTF(IT-18)
IF(IT.GT.28) VT=VT+VTF(IT-28)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.599*VT
VT=0
IF(IT.GT.10) VT=VT+VTC(IT-10)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTC(IT-22)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.198*VT
VT=0
IF(IT.GT.14) VT=VT+VTC(IT-14)
IF(IT.GT.18) VT=VT+VTC(IT-18)
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTC(IT-8)
IF(IT.GT.24) VT=VT+VTC(IT-24)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.401*VT
IF(IT.GT.32) VPC(IT)=VPC(IT)-VTC(IT-32)
HTC(IT)=120*VTC(IT)+120
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTC(IT-4)
IF(IT.GT.8) VT=VT-VTC(IT-8)
VTF(IT)=1.269*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTD(IT-2)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTD(IT-10)
VTF(IT)=VTF(IT)+0.731*VT
IF(IT.GT.8) VTF(IT)=VTF(IT)-0.269*VTF(IT-8)
IF(IT.GT.4) VTF(IT)=VTF(IT)+0.269*VTF(IT-4)
IF(IT.GT.12) VFF(IT)=VFF(IT)+VTF(IT-12)
HTF(IT)=120*VTF(IT)+120
VTD(IT)=0
IF(IT.GT.2) VTD(IT)=1.500*VTF(IT-2)
IF(IT.GT.4) VTD(IT)=VTD(IT)-0.500*VTD(IT-4)
HTD(IT)=120*VTD(IT)+120
VT=0
IF(IT.GT.5) VT=VT+VTC(IT-5)
IF(IT.GT.11) VT=VT-VTC(IT-11)
IF(IT.GT.21) VT=VT-VTC(IT-21)
IF(IT.GT.27) VT=VT+VTC(IT-27)
VTB(IT)=0.728*VT
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTK(IT-8)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTK(IT-14)
IF(IT.GT.18) VT=VT-VTK(IT-18)
IF(IT.GT.24) VT=VT+VTK(IT-24)
VTB(IT)=VTB(IT)+0.544*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTB(IT-6)
IF(IT.GT.10) VT=VT+VTB(IT-10)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTB(IT-22)
IF(IT.GT.26) VT=VT+VTB(IT-26)
```

```

VTB(IT)=VTB(IT)+0.272*VT
IF(IT.GT.16) VTB(IT)=VTB(IT)+0.912*VTB(IT-16)
IF(IT.GT.32) VTB(IT)=VTB(IT)-VTB(IT-32)
HTB(IT)=120*VTB(IT)+120
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTB(IT-8)
IF(IT.GT.12) VT=VT-VTB(IT-12)
VTK(IT)=1.269*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTE(IT-2)
IF(IT.GT.18) VT=VT-VTE(IT-18)
VTK(IT)=VTK(IT)+0.731*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTK(IT-4)
IF(IT.GT.16) VT=VT-VTK(IT-16)
VTK(IT)=VTK(IT)+0.259*VT
IF(IT.GT.20) VTK(IT)=VTK(IT)+VTK(IT-20)
HTK(IT)=120*VTK(IT)+120
VTE(IT)=0
IF(IT.GT.2) VTE(IT)=2*VTK(IT-2)
IF(IT.GT.4) VTE(IT)=VTE(IT)-VTE(IT-4)
HTE(IT)=120*VTE(IT)+120
5 CONTINUE
WRITE(3,102) RO
102 FORMAT(1H1//10X'RO = ',F6.3//8X,'I',7X,'A',7X,'VTG(I)',7X,'VTM',
*7X,'VTC',7X,'VTF'/)
DO 60 I=1,NT
60 WRITE(3,103) I,A(I),VTG(I),VTM(I),VTC(I),VTF(I)
103 FORMAT (8X,I3,5F10.3)
WRITE(3,104)RO
104 FORMAT(1H1//10X'RO=' ,F6.3//8X,'I',7X,'A',7X,'VTD',7X,'VTB',
*7X,'VTK',7X,'VTE'/)
DO 70 I=1,NT
70 WRITE(3,103)I,A(I),VTD(I),VTB(I),VTK(I),VTE(I)
WRITE(3,105)RO
105 FORMAT(1H1//10X'RO=' ,F6.3//8X,'I',7X,'A',7X,'HTG',7X,'HTM',
*7X,'HTC',7X,'HTF'/)
DO 80 I=1,NT
80 WRITE(3,103)I,A(I),HTG(I),HTM(I),HTC(I),HTF(I)
WRITE(3,106)RO
106 FORMAT(1H1//10X,'RO=' ,F6.3//8X,'I',7X,'A',7X,'HTD',7X,'HTB',
*7X,'HTK',7X,'HTE'/)
DO 90 I=1,NT
90 WRITE(3,103)I,A(I),HTD(I),HTB(I),HTK(I),HTE(I)
11 CONTINUE
STOP
END

```

AMS' CALLED

RO = 0.666

I	A	VIG(I)	VTM	VTC	VTF
τ	$\alpha\tau$	$\frac{\alpha\tau}{\tau}$	$\frac{\alpha\tau}{\tau}M$	$\frac{\alpha\tau}{\tau}C$	$\frac{\alpha\tau}{\tau}F$
1	0.000	0.666	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.666	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.666	0.497	0.000	0.000
4	0.000	0.666	0.487	0.000	0.000
5	0.000	0.308	0.497	0.000	0.000
6	0.000	0.308	0.497	0.000	0.000
7	0.000	0.308	0.355	0.000	0.000
8	0.000	0.308	0.355	0.000	0.000
9	0.000	0.404	0.355	0.000	0.000
10	0.000	0.404	0.355	0.292	0.000
11	0.000	0.404	0.391	0.292	0.000
12	0.000	0.404	0.391	0.292	0.000
13	0.000	0.378	0.391	0.292	0.000
14	0.000	0.378	0.391	0.213	0.370
15	0.000	0.378	0.382	0.213	0.370
16	0.000	0.378	0.382	0.213	0.370
17	0.000	0.385	0.134	0.213	0.370
18	0.000	0.385	0.134	0.281	0.406
19	0.000	-0.110	0.135	0.281	0.406
20	0.000	-0.110	0.135	0.218	0.406
21	0.000	-0.112	0.022	0.218	0.406
22	0.000	-0.112	0.022	0.280	0.338
23	0.000	0.154	0.021	0.280	0.338
24	0.000	0.154	0.021	0.266	0.257
25	0.000	0.155	0.150	0.266	0.257
26	0.000	0.155	0.150	0.109	0.195
27	0.000	0.157	0.080	0.109	0.195
28	0.000	0.157	0.080	-0.016	0.147
29	0.000	0.005	0.176	-0.016	0.147
30	0.000	0.005	0.176	0.007	-0.004
31	0.000	0.185	0.155	0.007	-0.004
32	0.000	0.185	0.165	0.003	-0.143
33	0.000	0.325	0.029	0.003	-0.143
34	0.000	0.325	0.029	-0.059	-0.143
35	0.000	-0.127	0.133	-0.059	-0.143
36	0.000	-0.127	0.133	-0.036	-0.155
37	0.000	-0.059	-0.003	-0.036	-0.155
38	0.000	-0.059	-0.003	-0.098	-0.147
39	0.000	0.122	-0.117	-0.098	-0.147
40	0.000	0.122	-0.117	-0.019	-0.057
41	0.000	-0.175	-0.108	-0.019	-0.057
42	0.000	-0.175	-0.108	-0.017	-0.101
43	0.000	-0.338	-0.218	-0.017	-0.101
44	0.000	-0.338	-0.218	-0.089	0.074
45	0.000	-0.250	-0.294	-0.089	0.074
46	0.000	-0.260	-0.294	-0.204	0.041
47	0.000	-0.250	-0.195	-0.204	0.041
48	0.000	-0.250	-0.195	-0.111	-0.042
49	0.000	-0.130	-0.268	-0.111	-0.042
50	0.000	-0.130	-0.268	-0.093	-0.175
51	0.000	-0.287	-0.113	-0.093	-0.175
52	0.000	-0.287	-0.113	-0.107	-0.182
53	0.000	-0.096	-0.311	-0.107	-0.182
54	0.000	-0.096	-0.311	-0.143	-0.185
55	0.000	-0.335	-0.191	-0.143	-0.185
56	0.000	-0.335	-0.191	-0.193	-0.208
57	0.000	-0.296	-0.118	-0.193	-0.208
58	0.000	-0.286	-0.118	-0.231	-0.189

60	0.000	0.098	-0.038	-0.212	-0.215
61	0.000	0.209	0.002	-0.212	-0.215
62	0.000	0.209	0.002	-0.112	-0.222
63	0.000	-0.094	-0.005	-0.112	-0.222
64	0.000	-0.094	-0.005	-0.139	-0.215
65	0.000	-0.218	-0.250	-0.139	-0.215
66	0.000	-0.218	-0.250	-0.049	-0.115
67	0.000	-0.406	-0.161	-0.049	-0.115
68	0.000	-0.406	-0.161	-0.021	-0.120
69	0.000	-0.103	-0.204	-0.021	-0.120
70	0.000	-0.103	-0.204	0.004	0.036
71	0.000	-0.001	-0.060	0.004	0.036
72	0.000	-0.001	-0.060	0.006	0.066
73	0.000	-0.017	0.052	0.006	0.066
74	0.000	-0.017	0.052	0.054	0.111
75	0.000	0.105	-0.059	0.054	0.111
76	0.000	0.105	-0.069	0.038	0.126
77	0.000	-0.122	-0.032	0.038	0.126
78	0.000	-0.122	-0.032	0.090	0.104
79	0.000	-0.169	0.055	0.090	0.104
80	0.000	-0.169	0.065	0.158	0.078
81	0.000	0.252	0.129	0.158	0.078
82	0.000	0.252	0.129	0.148	0.087
83	0.000	0.428	0.344	0.148	0.087
84	0.000	0.428	0.344	0.094	0.148
85	0.000	0.436	0.324	0.094	0.148
86	0.000	0.436	0.324	0.088	0.150
87	0.000	0.221	0.347	0.088	0.150
88	0.000	0.221	0.347	0.149	0.116
89	0.000	0.258	0.294	0.149	0.116
90	0.000	0.258	0.294	0.174	0.110
91	0.000	0.366	0.184	0.174	0.110
92	0.000	0.366	0.184	0.214	0.155
93	0.000	0.110	0.273	0.214	0.155
94	0.000	0.110	0.273	0.155	0.178
95	0.000	0.179	0.257	0.155	0.178
96	0.000	0.179	0.257	0.132	0.240
97	0.000	0.403	0.102	0.132	0.240
98	0.000	0.403	0.102	0.112	0.178
99	0.000	0.024	0.176	0.112	0.178
100	0.000	0.024	0.176	0.115	0.170

RJ= 0.666

I	A	VTD	VTB	VTK	VTE
τ	$\alpha\tau$	v_{τ}^D	v_{τ}^B	v_{τ}^K	v_{τ}^E
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.212	0.000	0.000
16	0.000	0.555	0.212	0.000	0.000
17	0.000	0.555	0.212	0.000	0.000
18	0.000	0.555	0.212	0.000	0.000
19	0.000	0.555	0.155	0.000	0.000
20	0.000	0.331	0.155	0.000	0.000
21	0.000	0.331	0.001	0.000	0.000
22	0.000	0.331	0.001	0.000	0.000
23	0.000	0.331	0.050	0.269	0.000
24	0.000	0.342	0.050	0.269	0.000
25	0.000	0.342	0.103	0.269	0.539
26	0.000	0.220	0.103	0.269	0.539
27	0.000	0.220	0.107	0.394	0.539
28	0.000	0.121	0.107	0.394	0.539
29	0.000	0.121	0.045	0.198	0.249
30	0.000	0.110	0.045	0.198	0.249
31	0.000	0.110	0.077	0.155	-0.143
32	0.000	-0.066	0.077	0.155	-0.143
33	0.000	-0.066	-0.045	0.079	0.060
34	0.000	-0.270	-0.045	0.079	0.060
35	0.000	-0.270	0.052	0.158	0.301
36	0.000	-0.181	0.052	0.158	0.301
37	0.000	-0.181	0.049	0.167	0.255
38	0.000	-0.098	0.049	0.167	0.255
39	0.000	-0.098	0.017	0.119	0.033
40	0.000	-0.130	0.017	0.119	0.033
41	0.000	-0.130	-0.123	-0.118	-0.018
42	0.000	-0.037	-0.123	-0.118	-0.018
43	0.000	-0.037	-0.134	-0.243	-0.268
44	0.000	-0.087	-0.134	-0.243	-0.268
45	0.000	-0.087	-0.052	-0.286	-0.469
46	0.000	0.130	-0.052	-0.286	-0.469
47	0.000	0.130	0.019	-0.282	-0.303
48	0.000	0.104	0.019	-0.282	-0.303
49	0.000	0.104	-0.108	-0.236	-0.095
50	0.000	-0.128	-0.108	-0.236	-0.095
51	0.000	-0.128	-0.112	-0.269	-0.168
52	0.000	-0.314	-0.112	-0.269	-0.168
53	0.000	-0.314	-0.126	-0.283	-0.444
54	0.000	-0.210	-0.126	-0.283	-0.444
55	0.000	-0.210	-0.146	-0.263	-0.397
56	0.000	-0.120	-0.146	-0.263	-0.397
57	0.000	-0.120	-0.122	-0.262	-0.082
58	0.000	-0.207	-0.122	-0.262	-0.082

60	0.000	-0.223	-0.083	-0.101	-0.127
51	0.000	-0.223	-0.022	-0.031	-0.120
62	0.000	-0.218	-0.022	-0.031	-0.120
63	0.000	-0.218	-0.045	0.018	0.065
64	0.000	-0.221	-0.045	0.018	0.065
55	0.000	-0.221	-0.111	0.043	0.156
66	0.000	-0.214	-0.111	0.043	0.156
57	0.000	-0.214	0.047	0.059	0.021
68	0.000	-0.063	0.047	0.059	0.021
59	0.000	-0.053	0.022	0.117	-0.038
70	0.000	-0.074	0.022	0.117	-0.038
71	0.000	-0.074	0.045	0.151	0.213
72	0.000	0.086	0.045	0.161	0.213
73	0.000	0.086	0.075	0.153	0.361
74	0.000	0.136	0.075	0.153	0.361
75	0.000	0.136	0.143	0.248	0.093
76	0.000	0.123	0.143	0.248	0.093
77	0.000	0.123	0.054	0.117	0.136
78	0.000	0.120	0.054	0.117	0.136
79	0.000	0.120	-0.019	0.145	0.142
80	0.000	0.094	-0.019	0.145	0.142
81	0.000	0.094	-0.030	0.112	0.155
82	0.000	0.057	-0.030	0.112	0.155
83	0.000	0.057	0.147	0.166	0.083
84	0.000	0.083	0.147	0.166	0.083
85	0.000	0.083	0.031	0.059	0.177
86	0.000	0.193	0.081	0.059	0.177
87	0.000	0.193	0.050	0.012	0.036
88	0.000	0.184	0.050	0.012	0.036
89	0.000	0.134	0.025	-0.144	-0.153
90	0.000	0.078	0.025	-0.144	-0.153
91	0.000	0.078	0.024	-0.069	-0.325
92	0.000	0.074	0.024	-0.069	-0.325
93	0.000	0.074	-0.005	-0.081	0.016
94	0.000	0.193	-0.005	-0.081	0.016
95	0.000	0.193	0.057	-0.006	0.163
96	0.000	0.231	0.057	-0.006	0.163
97	0.000	0.231	0.059	0.009	-0.028
98	0.000	0.264	0.059	0.009	-0.028
99	0.000	0.264	0.075	-0.082	-0.145
100	0.000	0.152	0.075	-0.082	-0.145

RO= 0.656

I	A	HTG _{hc}	HTM _{hc}	HTC _{hc}	HTF _{hc}
1	0.000	199.920	120.000	120.000	120.000
2	0.000	199.920	120.000	120.000	120.000
3	0.000	199.920	178.422	120.000	120.000
4	0.000	199.920	178.422	120.000	120.000
5	0.000	156.923	178.422	120.000	120.000
6	0.000	156.923	178.422	120.000	120.000
7	0.000	156.923	162.706	120.000	120.000
8	0.000	156.923	162.706	120.000	120.000
9	0.000	158.489	162.706	120.000	120.000
10	0.000	168.489	162.706	154.994	120.000
11	0.000	158.489	166.934	154.994	120.000
12	0.000	168.489	166.934	154.994	120.000
13	0.000	165.378	166.934	154.994	120.000
14	0.000	165.378	166.934	145.581	164.408
15	0.000	165.378	165.796	145.581	164.408
16	0.000	165.378	165.796	145.581	164.408
17	0.000	166.215	136.067	145.581	164.408
18	0.000	166.215	136.067	153.752	168.693
19	0.000	136.757	136.373	153.752	168.693
20	0.000	106.757	136.373	146.118	168.693
21	0.000	106.532	122.639	146.118	168.693
22	0.000	106.532	122.639	153.643	160.567
23	0.000	138.520	122.556	153.643	160.567
24	0.000	138.520	122.556	151.921	150.880
25	0.000	138.531	139.252	151.921	150.880
26	0.000	138.581	139.252	133.107	143.349
27	0.000	139.985	129.587	133.107	143.349
28	0.000	139.985	129.587	118.092	137.624
29	0.000	120.594	141.092	118.092	137.624
30	0.000	120.594	141.092	120.821	119.579
31	0.000	142.199	139.817	120.821	119.579
32	0.000	142.199	139.817	120.374	102.810
33	0.000	159.041	123.451	120.374	102.810
34	0.000	159.041	123.451	112.956	102.850
35	0.000	104.702	135.979	112.956	102.850
36	0.000	104.702	135.979	115.713	101.396
37	0.000	112.918	119.685	115.713	101.396
38	0.000	112.918	119.685	108.275	102.327
39	0.000	134.668	105.938	108.275	102.327
40	0.000	134.668	105.938	117.686	113.112
41	0.000	98.958	107.052	117.686	113.112
42	0.000	98.958	107.052	117.910	107.852
43	0.000	79.436	93.891	117.910	107.852
44	0.000	79.436	93.891	109.340	128.869
45	0.000	88.824	84.747	109.340	128.869
46	0.000	88.824	84.747	95.501	124.872
47	0.000	90.058	96.626	95.501	124.872
48	0.000	90.058	96.626	106.729	114.966
49	0.000	104.428	87.837	106.729	114.966
50	0.000	104.428	87.837	108.799	99.034
51	0.000	85.615	106.457	108.799	99.034
52	0.000	85.615	106.457	107.102	98.131
53	0.000	108.486	82.715	107.102	98.131
54	0.000	108.486	82.715	102.853	97.825
55	0.000	79.814	97.072	102.853	97.825
56	0.000	79.814	97.072	96.895	95.073
57	0.000	85.659	105.812	96.895	95.073
58	0.000	85.659	105.812	92.226	97.320

60	0.000	131.811	115.390	94.550	94.248
61	0.000	145.122	120.240	94.550	94.248
62	0.000	145.122	120.240	106.604	93.374
63	0.000	108.669	119.457	106.604	93.374
64	0.000	108.669	119.457	103.320	94.147
65	0.000	93.792	89.948	103.320	94.147
66	0.000	93.792	89.948	114.097	106.148
67	0.000	71.228	100.723	114.097	106.148
68	0.000	71.228	100.723	117.458	105.553
69	0.000	107.653	95.550	117.458	105.553
70	0.000	107.653	95.550	120.481	124.375
71	0.000	119.873	112.825	120.481	124.375
72	0.000	119.873	112.825	120.738	127.964
73	0.000	117.997	126.255	120.738	127.964
74	0.000	117.997	126.255	126.437	133.316
75	0.000	132.637	111.650	126.437	133.316
76	0.000	132.637	111.650	124.590	135.064
77	0.000	105.323	116.194	124.590	135.064
78	0.000	105.323	116.194	130.826	132.432
79	0.000	99.750	127.797	130.826	132.432
80	0.000	99.750	127.797	139.014	129.348
81	0.000	150.271	135.532	139.014	129.348
82	0.000	150.271	135.532	137.777	130.380
83	0.000	171.314	161.292	137.777	130.380
84	0.000	171.314	161.292	131.304	137.750
85	0.000	172.314	158.936	131.304	137.750
86	0.000	172.314	158.936	130.568	138.030
87	0.000	146.557	161.614	130.568	138.030
88	0.000	146.557	161.614	137.928	133.975
89	0.000	150.914	155.242	137.928	133.975
90	0.000	150.914	155.242	140.912	133.257
91	0.000	153.926	142.049	140.912	133.257
92	0.000	153.926	142.049	145.694	138.595
93	0.000	133.184	152.733	145.694	138.595
94	0.000	133.184	152.733	138.600	141.420
95	0.000	141.539	150.793	138.600	141.420
96	0.000	141.539	150.793	135.781	148.846
97	0.000	158.402	132.238	135.781	148.846
98	0.000	168.402	132.238	133.445	141.410
99	0.000	122.938	141.058	133.445	141.410
100	0.000	122.938	141.058	133.793	140.460

RJ= 0.666

I	A	HTD	HTB	HTK	HTE
τ	α	$\frac{h^D}{h_c}$	$\frac{h^B}{h_c}$	$\frac{h^K}{h_c}$	$\frac{h^E}{h_c}$
1	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
2	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
3	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
4	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
5	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
6	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
7	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
8	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
9	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
10	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
11	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
12	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
13	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
14	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
15	0.000	120.000	145.476	120.000	120.000
16	0.000	186.612	145.476	120.000	120.000
17	0.000	186.612	145.476	120.000	120.000
18	0.000	186.612	145.476	120.000	120.000
19	0.000	186.612	138.623	120.000	120.000
20	0.000	159.734	138.623	120.000	120.000
21	0.000	159.734	120.076	120.000	120.000
22	0.000	159.734	120.076	120.000	120.000
23	0.000	159.734	126.025	152.329	120.000
24	0.000	160.984	126.025	152.329	120.000
25	0.000	160.984	132.386	152.329	184.658
26	0.000	146.453	132.386	152.329	184.658
27	0.000	146.453	132.819	167.265	184.658
28	0.000	134.532	132.819	167.265	184.658
29	0.000	134.532	125.371	143.730	149.872
30	0.000	133.210	125.371	143.730	149.872
31	0.000	133.210	129.253	138.564	102.801
32	0.000	112.103	129.253	138.564	102.801
33	0.000	112.103	114.590	129.431	127.256
34	0.000	87.609	114.590	129.431	127.256
35	0.000	87.609	126.252	138.919	156.062
36	0.000	98.224	126.252	138.919	156.062
37	0.000	98.224	125.911	139.997	150.583
38	0.000	108.289	125.911	139.997	150.583
39	0.000	108.289	122.091	134.236	123.932
40	0.000	104.379	122.091	134.236	123.932
41	0.000	104.379	105.236	105.876	117.889
42	0.000	115.523	105.236	105.876	117.889
43	0.000	115.523	103.897	90.828	87.819
44	0.000	109.589	103.897	90.828	87.819
45	0.000	109.589	113.718	85.723	63.768
46	0.000	135.542	113.718	85.723	63.768
47	0.000	135.542	122.317	86.188	83.627
48	0.000	132.513	122.317	86.188	83.627
49	0.000	132.513	107.073	91.719	108.609
50	0.000	104.678	107.073	91.719	108.609
51	0.000	104.678	106.518	87.660	99.811
52	0.000	82.295	106.518	87.660	99.811
53	0.000	82.295	104.926	86.090	66.712
54	0.000	94.857	104.926	86.090	66.712
55	0.000	94.857	102.503	88.456	72.368
56	0.000	105.590	102.503	88.456	72.368
57	0.000	105.590	105.370	88.548	110.199
58	0.000	95.182	105.370	88.548	110.199

60	0.000	93.185	110.031	107.928	104.728
51	0.000	93.185	117.330	116.271	105.658
62	0.000	93.782	117.330	116.271	105.658
63	0.000	93.782	114.549	122.202	127.815
64	0.000	93.468	114.549	122.202	127.815
65	0.000	93.468	106.711	125.193	138.746
66	0.000	94.330	106.711	125.193	138.746
57	0.000	94.330	125.627	127.064	122.571
68	0.000	112.488	125.627	127.064	122.571
69	0.000	112.488	122.692	134.052	115.382
70	0.000	111.165	122.692	134.052	115.382
71	0.000	111.165	125.371	139.357	145.533
72	0.000	130.319	125.371	139.357	145.533
73	0.000	130.319	129.055	138.338	163.332
74	0.000	136.363	129.055	138.338	163.332
75	0.000	136.363	137.215	149.808	131.143
76	0.000	134.815	137.215	149.808	131.143
77	0.000	134.815	126.479	134.073	136.284
78	0.000	134.415	126.479	134.073	136.284
79	0.000	134.415	117.768	137.418	137.003
80	0.000	131.241	117.768	137.418	137.003
81	0.000	131.241	116.342	133.453	138.552
82	0.000	126.815	116.342	133.453	138.552
83	0.000	126.815	137.588	139.875	129.902
84	0.000	129.950	137.588	139.875	129.902
85	0.000	129.950	129.745	127.121	141.198
86	0.000	143.218	129.745	127.121	141.198
87	0.000	143.218	127.245	121.397	124.340
88	0.000	142.070	127.245	121.397	124.340
89	0.000	142.070	122.958	102.679	101.595
90	0.000	129.354	122.958	102.679	101.595
91	0.000	129.354	122.823	111.735	81.017
92	0.000	128.851	122.823	111.735	81.017
93	0.000	128.851	119.428	110.259	121.876
94	0.000	143.216	119.428	110.259	121.876
95	0.000	143.216	126.839	119.242	139.501
96	0.000	147.704	126.839	119.242	139.501
97	0.000	147.704	127.121	121.047	116.609
98	0.000	151.661	127.121	121.047	116.609
99	0.000	151.661	128.959	110.216	102.594
100	0.000	138.262	128.959	110.216	102.594

II Varijanta

$$Q_{AB} = 140 \text{ l/s}$$

$$Q_{CD} = Q_{CG} = 70 \text{ l/s}$$

$$f = \frac{cQ_*}{gAH_*} ; Q_* = Q_{AB} = 140 \text{ l/s} ; H_* = h_o = 1200 \text{ kPa}$$

$$f_G = f_B = 2.22$$

Jednačine za proračun su iste kao i u varijanti I, samo se menjaju jednačine za tačke G i D, jer su promenjeni i granični uslovi. Ove jednačine glase:

$$v_{\tau}^G = \frac{1,11(\alpha_{\tau-4}^G - \alpha_{\tau}^G) + (0,555\alpha_{\tau-4}^G - 1)v_{\tau-4}^G + 2v_{\tau-2}^M}{1 + 0,555\alpha_{\tau}^G}$$

$$v_{\tau}^D = \frac{-0,445 v_{\tau-4}^D + 2v_{\tau-2}^F}{1,555}$$

odnosno:

$$v_{\tau}^D = -0,286 v_{\tau-4}^D + 1,286 v_{\tau-2}^F$$

Dugi režim

Početni uslovi su isti kao i za prvi režim. Od hidranta E uredjaj za navodnjavanje ne radi. U hidrantu G i D protoci vode su jednaki $Q = 42 \frac{1}{5}$. Zatim se uslovi menjaju. Jednovremeno se zatvaraju zatvarači u tačkama G i D, sistem se potpuno zatvara. Vreme potpunog zatvaranja zatvarača u tačkama G i D ostaje isto: $t_z = 0.2$. Na taj način jednovremeno se dobijaju dva puna udara u hidrantima G i D. Granični uslovi su se promenili samo u tački D. Ovde je hidrauličko otvaranje zatvarača postalo isto, kao i u tački G:

$$\alpha_{\tau} = 1 - \tau$$

Numeričke vrednosti svih parametara nisu se promenile.

Ovde, u ovome slučaju, u sistemu su dva izvora hidrauličkog udara. Metodologija proračuna i način proračuna je isti kao da je samo jedan izvor hidrauličkog udara. Jednačine se menjaju samo u onoj tački u kojoj se promene i granični uslovi. Sve ostale jednačine ostaju potpuno nepromenjene po obliku, i na osnovu istih ovih jednačina obuhvataju se sve promene u sistemu.

Pošto se promenio granični uslov u tački D, menja se i jednačina za tačku D. Jednačina za čvor F ostaje ista. Na ovu jednačinu utiču samo uslovi u tačkama D i C. Prema tome, bez obzira na bilo kakve promene u ovim tačkama (D i C) jednačina za određivanje pritiska u tački F je uvek ista. U zavisnosti od graničnih uslova pritisak u tački F može se menjati *ali jednačina će uvek imati jedan i isti oblik.*

To važi i za sve tačke unutar ovakvog sistema. Znači, oblik jednačina u svim čvorovima i tačkama ostaje isti a jedino se promenom graničnih uslova u tački D menja se i jednačina za određivanje pritiska samo u tački D. Sa promenom graničkog uslova bilo u kojoj tački sistema normalno je da će se promeniti i pritisci u svim tačkama sistema. To se samo po sebi podrazumeva ali ipak to treba istaći.

Iz ovoga primera odmah se vidi i sva elegantnost i univerzalnost predlaganog metoda u odnosu na druge postojeće koji ne mogu lako da se prilagode nastalim promenama unutar sistema, j.li ih čak ne mogu ni uzeti u obzir.

Za konačni računski sistem jednačina za dati slučaj - drugi režim - važe iste jednačine kao i za prvi režim, sem za tačku D . Jednačina za tačku D se menja i ista glasi:

$$U_{\tau}^D = \frac{\rho_8 b^D (\alpha_{\tau-2}^D - \alpha_{\tau}^D) + \left(\frac{1}{2} \rho_8 b^D \psi^D \alpha_{\tau-2}^D - 1\right) U_{\tau-2}^D + 2 U_{\tau-2}^F}{1 + \frac{1}{2} \rho_8 b^D \psi^D \alpha_{\tau}^D}$$

odnosno, ako se unesu numeričke vrednosti, dobija se:

$$U_{\tau}^D = \frac{0,666 (\alpha_{\tau-4}^D - \alpha_{\tau}^D) + (0,333 \alpha_{\tau-4}^D - 1) U_{\tau-4}^D + 2 U_{\tau-2}^F}{1 + 0,333 \alpha_{\tau}^D}$$

I ovde u ovom režimu je:

$$\psi^D = \frac{H_*}{h_0} = \frac{120}{120} = 1 = \psi^G$$

$$b^D = b^G = \frac{Q_0}{Q_*} = \frac{42}{84} = \frac{1}{2}$$

5. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U SISTEMU ZA NAVODNJAVANJE

```

DIMENSION A(100),VTG(100),VTM(100),VTC(100),VTF(100),VTD(100),VTB(
*100),VTK(100),VTE(100),ROV(10),
*HTG(100),HTM(100),HTC(100),HTF(100),
*HTD(100),HTB(100),HTK(100),HTE(100)
DO 10 I=1,100
  A(I)=0
  VTG(I)=0
  VTM(I)=0
  VTC(I)=0
  VTF(I)=0
  VTD(I)=0
  VTB(I)=0
  VTK(I)=0
  VTE(I)=0
  HTG(I)=0
  HTM(I)=0
  HTC(I)=0
  HTF(I)=0
  HTD(I)=0
  HTB(I)=0
  HTK(I)=0
10 HTE(I)=0
  READ(2,100) VI,NRO
100 FORMAT(3I5)
  READ(2,101)(ROV(I),I=1,NRO)
101 FORMAT(8F10.0)
  DO 11 IRO=1,NRO
    RO=ROV(IRO)
    DO 5 IT=1,NI
      IF(IT.LE.4)1,2
1      VT=RO
      GO TO 3
2      VT=-1*VTG(IT-4)
3      IF(IT.GT.2) VT=VT+2*VTM(IT-2)
        VTG(IT) = VT
        HTG(IT)=120*VTG(IT)+120
        VT=0
        IF(IT.GT.7) VT=VT+VTC(IT-7)
        IF(IT.GT.11) VT=VT-VTC(IT-11)
        VTM(IT)=1.269*VT
        VT=0
        IF(IT.GT.2) VT=VT+VTG(IT-2)
        IF(IT.GT.16) VT=VT-VTG(IT-16)
        VTM(IT)=VTM(IT)+0.731*VT
        IF(IT.GT.14) VTM(IT)=VTM(IT)-0.269*VTM(IT-14)
        IF(IT.GT.4) VTM(IT)=VTM(IT)+0.269*VTM(IT-4)
        IF(IT.GT.18) VTM(IT)=VTM(IT)+VTM(IT-18)
        HTM(IT)=120*VTM(IT)+120
        VT=0
        IF(IT.GT.5) VT=VT+VTB(IT-5)
        IF(IT.GT.13) VT=VT-VTB(IT-13)
        IF(IT.GT.19) VT=VT-VTB(IT-19)
        IF(IT.GT.27) VT=VT+VTB(IT-27)
        VTC(IT)=0.802*VT
        VT=0

```



```

IF(IT.GT.7) VT=VT+VTM(IT-7)
IF(IT.GT.15) VT=VT-VTM(IT-15)
IF(IT.GT.17) VT=VT-VTM(IT-17)
IF(IT.GT.25) VT=VT+VTM(IT-25)
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTF(IT-4)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTF(IT-14)
IF(IT.GT.18) VT=VT-VTF(IT-18)
IF(IT.GT.28) VT=VT+VTF(IT-28)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.599*VT
VT=0
IF(IT.GT.10) VT=VT+VTC(IT-10)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTC(IT-22)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.198*VT
VT=0
IF(IT.GT.14) VT=VT+VTC(IT-14)
IF(IT.GT.18) VT=VT+VTC(IT-18)
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTC(IT-8)
IF(IT.GT.24) VT=VT+VTC(IT-24)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.401*VT
IF(IT.GT.32) VTC(IT)=VTC(IT)-VTC(IT-32)
VTC(IT)=120*VTC(IT)+120
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTC(IT-4)
IF(IT.GT.8) VT=VT-VTC(IT-8)
VTF(IT)=1.269*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTD(IT-2)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTD(IT-10)
VTF(IT)=VTF(IT)+0.731*VT
IF(IT.GT.8) VTF(IT)=VTF(IT)-0.269*VTF(IT-8)
IF(IT.GT.4) VTF(IT)=VTF(IT)+0.269*VTF(IT-4)
IF(IT.GT.12) VTF(IT)=VTF(IT)+VTF(IT-12)
HTF(IT)=120*VTF(IT)+120
VT=0
IF(IT.LE.4) 7,8
7 VT=0
GO TO 9
8 VT= - VTD(IT-4)
9 IF(IT.GT.2) VI=VI+2*VTF(IT-2)
VTD(IT) = VT
HTD(IT)=120*VTD(IT)+120
VT=0
IF(IT.GT.5) VI=VI+VTC(IT-5)
IF(IT.GT.11) VI=VI-VTC(IT-11)
IF(IT.GT.21) VI=VI-VTC(IT-21)
IF(IT.GT.27) VI=VI+VTC(IT-27)
VTB(IT)=0.728*VT
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VI+VTK(IT-8)
IF(IT.GT.14) VI=VI-VTK(IT-14)
IF(IT.GT.18) VI=VI-VTK(IT-18)
IF(IT.GT.24) VI=VI+VTK(IT-24)
VPB(IT)=VPB(IT)+0.544*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VI=VI+VPB(IT-6)
IF(IT.GT.10) VI=VI+VPB(IT-10)

```

```

IF(IT.GT.22) VT=VT+VTB(IT-22)
IF(IT.GT.26) VT=VT+VTB(IT-26)
VTB(IT)=VTB(IT)+0.272*VT
IF(IT.GT.16) VTB(IT)=VTB(IT)+0.912*VTB(IT-16)
IF(IT.GT.32) VTB(IT)=VTB(IT)-VTB(IT-32)
HTB(IT)=120*VTB(IT)+120
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTB(IT-8)
IF(IT.GT.12) VT=VT-VTB(IT-12)
VTK(IT)=1.269*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTE(IT-2)
IF(IT.GT.18) VT=VT-VTE(IT-18)
VTK(IT)=VTK(IT)+0.731*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTK(IT-4)
IF(IT.GT.16) VT=VT-VTK(IT-16)
VTK(IT)=VTK(IT)+0.259*VT
IF(IT.GT.20) VTK(IT)=VTK(IT)+VTK(IT-20)
HTK(IT)=120*VTK(IT)+120
VTE(IT)=0
IF(IT.GT.2) VTE(IT)=2*VTK(IT-2)
IF(IT.GT.4) VTE(IT)=VTE(IT)-VTE(IT-4)
HTE(IT)=120*VTE(IT)+120
5 CONTINUE
WRITE(3,102) RO
102 FORMAT(1H1//10X'RO = ',F6.3//8X,'I',7X,'A',7X,'VTG(I)',7X,'VTM',
*7X,'VTC',7X,'VTF'/)
DO 60 I=1,NT
60 WRITE(3,103) I,A(I),VTG(I),VTM(I),VTC(I),VTF(I)
103 FORMAT (8X,I3,5F10.3)
WRITE(3,104)RO
104 FORMAT(1H1//10X'RO=' ,F6.3//8X,'I',7X,'A',7X,'VTD',7X,'VTB',
*7X,'VTK',7X,'VTE'/)
DO 70 I=1,NT
70 WRITE(3,103) I,A(I),VTD(I),VTB(I),VTK(I),VTE(I)
WRITE(3,105)RO
105 FORMAT(1H1//10X'RO=' ,F6.3//8X,'I',7X,'A',7X,'HTG',7X,'HTM',
*7X,'HTC',7X,'HTF'/)
DO 80 I=1,NT
80 WRITE(3,103) I,A(I),HTG(I),HTM(I),HTC(I),HTF(I)
WRITE(3,106)RO
106 FORMAT(1H1//10X,'RO=' ,F6.3//8X,'I',7X,'A',7X,'HTD',7X,'HTB',
*7X,'HTK',7X,'HTE'/)
DO 90 I=1,NT
90 WRITE(3,103) I,A(I),HTD(I),HTB(I),HTK(I),HTE(I)
11 CONTINUE
STOP
END

```

AMS' CALLED

RO = 0.666

I	A	VIG(I)	VTM	VTC	VTF
τ	α	$\frac{2g}{\tau}$	$\frac{2M}{\tau}$	$\frac{2C}{\tau}$	$\frac{2F}{\tau}$
1	0.000	0.656	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.666	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.656	0.497	0.000	0.487
4	0.000	0.666	0.487	0.000	0.487
5	0.000	0.308	0.497	0.000	0.487
6	0.000	0.308	0.487	0.000	0.487
7	0.000	0.308	0.356	0.292	0.356
8	0.000	0.308	0.356	0.292	0.356
9	0.000	0.404	0.356	0.292	0.356
10	0.000	0.404	0.356	0.583	0.356
11	0.000	0.404	0.391	0.505	0.143
12	0.000	0.404	0.391	0.505	0.143
13	0.000	0.378	0.391	0.505	0.143
14	0.000	0.378	0.761	0.426	0.513
15	0.000	0.378	0.752	0.416	0.390
16	0.000	1.118	0.752	0.416	0.390
17	0.000	1.125	0.504	0.352	0.390
18	0.000	1.125	0.675	0.420	0.560
19	0.000	0.630	0.677	0.315	0.669
20	0.000	0.232	0.677	0.251	0.669
21	0.000	0.230	0.563	0.315	0.589
22	0.000	0.230	0.404	0.459	0.430
23	0.000	0.496	0.404	0.396	0.499
24	0.000	0.577	0.323	0.382	0.418
25	0.000	0.578	0.452	0.523	0.441
26	0.000	0.416	0.357	0.312	0.336
27	0.000	0.428	0.277	0.341	0.198
28	0.000	0.138	0.200	0.216	0.121
29	0.000	-0.024	0.398	0.091	0.398
30	0.000	-0.017	0.213	0.121	0.212
31	0.000	0.369	0.202	0.122	0.078
32	0.000	0.297	0.067	0.083	-0.056
33	0.000	0.428	-0.053	0.162	-0.034
34	0.000	0.152	-0.056	0.057	-0.027
35	0.000	-0.495	0.048	-0.073	0.014
36	0.000	-0.399	-0.022	-0.022	-0.056
37	0.000	-0.331	-0.219	0.031	-0.217
38	0.000	-0.196	-0.162	-0.059	-0.159
39	0.000	0.056	-0.321	-0.084	-0.161
40	0.000	0.076	-0.173	-0.003	-0.013
41	0.000	-0.311	-0.193	-0.187	-0.085
42	0.000	-0.151	-0.271	-0.146	-0.164
43	0.000	-0.442	-0.405	-0.354	-0.239
44	0.000	-0.618	-0.124	-0.446	0.043
45	0.000	-0.500	-0.282	-0.364	-0.082
46	0.000	-0.096	-0.345	-0.488	-0.145
47	0.000	-0.121	-0.304	-0.369	-0.463
48	0.000	-0.072	-0.362	-0.220	-0.521
49	0.000	-0.109	-0.399	-0.323	-0.436
50	0.000	-0.628	-0.525	-0.338	-0.562
51	0.000	-0.677	-0.355	-0.252	-0.567
52	0.000	-0.978	-0.501	-0.240	-0.703
53	0.000	-0.622	-0.659	-0.275	-0.646
54	0.000	-0.375	-0.707	-0.308	-0.694
55	0.000	-0.642	-0.476	-0.250	-0.272
56	0.000	-0.436	-0.502	-0.400	-0.298
57	0.000	-0.330	-0.441	-0.380	-0.386
58	0.000	-0.628	-0.391	-0.523	-0.336

60	0.000	-0.346	-0.260	-0.474	-0.021
61	0.000	-0.045	-0.214	-0.580	-0.118
62	0.000	0.108	-0.311	-0.380	-0.215
63	0.000	-0.188	-0.372	-0.135	-0.415
64	0.000	-0.276	-0.275	-0.246	-0.319
65	0.000	-0.699	-0.594	-0.163	-0.436
66	0.000	-0.659	-0.461	-0.035	-0.304
67	0.000	-1.001	-0.432	-0.098	-0.527
68	0.000	-0.647	-0.429	-0.019	-0.524
69	0.000	-0.165	-0.493	-0.069	-0.408
70	0.000	-0.199	-0.136	-0.027	-0.051
71	0.000	0.015	-0.020	-0.069	-0.094
72	0.000	0.374	-0.015	-0.055	-0.089
73	0.000	0.126	0.132	-0.108	0.051
74	0.000	0.170	0.313	-0.037	0.232
75	0.000	0.249	0.166	-0.032	0.371
76	0.000	0.251	0.185	-0.096	0.389
77	0.000	0.207	0.173	0.172	0.308
78	0.000	0.200	0.039	0.307	0.174
79	0.000	0.097	0.234	0.252	0.324
80	0.000	-0.174	0.161	0.360	0.252
81	0.000	0.261	0.350	0.420	0.393
82	0.000	0.122	0.252	0.346	0.285
83	0.000	0.624	0.472	0.453	0.186
84	0.000	0.678	0.537	0.354	0.251
85	0.000	0.683	0.683	0.365	0.512
86	0.000	0.951	0.645	0.354	0.474
87	0.000	0.742	0.655	0.356	0.386
88	0.000	0.612	0.660	0.369	0.381
89	0.000	0.648	0.620	0.426	0.444
90	0.000	0.369	0.686	0.453	0.510
91	0.000	0.498	0.548	0.345	0.547
92	0.000	0.761	0.496	0.579	0.495
93	0.000	0.448	0.492	0.562	0.353
94	0.000	0.623	0.613	0.458	0.474
95	0.000	0.487	0.499	0.467	0.452
96	0.000	0.465	0.763	0.350	0.716
97	0.000	0.550	0.530	0.291	0.527
98	0.000	0.904	0.419	0.325	0.417
99	0.000	0.573	0.525	0.143	0.375
100	0.000	0.373	0.623	0.213	0.473

RQ= 0.666

I	A	VID	VTB	VTK	VTE
τ	$\alpha\tau$	$\frac{v_c}{v_c}$	$\frac{v_b}{v_b}$	$\frac{v_k}{v_k}$	$\frac{v_e}{v_e}$
1	0.000	0.656	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.666	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.656	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.666	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.338	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.308	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.333	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.308	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.434	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.404	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.434	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.404	0.212	0.000	0.000
13	0.000	-0.117	0.212	0.000	0.000
14	0.000	-0.117	0.212	0.000	0.000
15	0.000	-0.117	0.425	0.000	0.000
16	0.000	0.623	0.367	0.000	0.000
17	0.000	0.896	0.357	0.000	0.000
18	0.000	0.896	0.213	0.000	0.000
19	0.000	0.896	0.156	0.000	0.000
20	0.000	0.498	0.148	0.269	0.000
21	0.000	0.442	-0.006	0.269	0.000
22	0.000	0.442	0.047	0.269	0.539
23	0.000	0.281	0.096	0.539	0.539
24	0.000	0.362	-0.023	0.663	0.539
25	0.000	0.556	0.030	0.663	1.078
26	0.000	0.395	0.057	0.467	0.788
27	0.000	0.631	0.130	0.592	0.788
28	0.000	0.311	0.230	0.476	0.395
29	0.000	-0.150	0.158	0.280	0.106
30	0.000	-0.153	0.314	0.204	0.164
31	0.000	0.194	0.306	0.161	-0.228
32	0.000	0.112	0.378	0.031	0.012
33	0.000	0.316	0.213	-0.045	0.216
34	0.000	0.040	0.039	0.089	-0.102
35	0.000	-0.263	0.142	0.243	0.138
36	0.000	-0.167	0.027	0.183	0.167
37	0.000	-0.288	0.043	0.192	0.271
38	0.000	-0.153	-0.050	0.387	0.467
39	0.000	-0.171	-0.125	0.343	0.245
40	0.000	-0.152	-0.174	0.275	0.606
41	0.000	-0.034	-0.309	-0.016	0.415
42	0.000	0.127	-0.253	-0.052	0.083
43	0.000	0.001	-0.229	-0.222	-0.276
44	0.000	-0.176	-0.265	-0.352	-0.710
45	0.000	-0.444	-0.150	-0.410	-0.858
46	0.000	-0.041	-0.086	-0.522	-0.787
47	0.000	-0.165	0.006	-0.554	-0.543
48	0.000	-0.115	-0.022	-0.577	-0.335
49	0.000	-0.482	-0.181	-0.495	-0.250
50	0.000	-1.001	-0.112	-0.472	-0.368
51	0.000	-0.707	-0.142	-0.527	-0.447
52	0.000	-1.008	-0.145	-0.482	-0.609
53	0.000	-0.653	-0.174	-0.468	-0.804
54	0.000	-0.406	-0.274	-0.496	-0.597
55	0.000	-0.585	-0.315	-0.477	-0.489
56	0.000	-0.380	-0.372	-0.491	-0.383
57	0.000	0.109	-0.302	-0.493	-0.150
58	0.000	-0.189	-0.265	-0.490	-0.385

60	0.000	-0.292	-0.199	-0.260	-0.597
61	0.000	-0.006	-0.153	-0.191	-0.505
62	0.000	0.147	-0.137	-0.166	-0.135
63	0.000	-0.050	-0.199	-0.121	0.115
64	0.000	-0.138	-0.139	-0.079	0.265
65	0.000	-0.825	-0.155	-0.009	0.262
66	0.000	-0.785	-0.171	0.010	-0.023
67	0.000	-0.823	0.057	0.014	-0.133
68	0.000	-0.469	0.145	0.004	-0.244
69	0.000	-0.230	0.091	0.034	-0.235
70	0.000	-0.264	0.060	0.093	0.031
71	0.000	0.007	0.055	0.084	0.200
72	0.000	0.367	0.147	0.185	0.429
73	0.000	0.042	0.206	0.198	0.403
74	0.000	0.086	0.106	0.212	0.339
75	0.000	0.095	0.205	0.375	0.175
76	0.000	0.097	0.060	0.518	-0.006
77	0.000	0.700	-0.043	0.413	0.348
78	0.000	0.693	-0.051	0.337	0.697
79	0.000	0.522	-0.148	0.415	0.650
80	0.000	0.251	-0.046	0.511	0.679
81	0.000	-0.051	-0.080	0.460	0.481
82	0.000	-0.190	0.163	0.283	0.326
83	0.000	0.254	0.384	0.336	0.270
84	0.000	0.318	0.351	0.203	-0.114
85	0.000	0.424	0.305	0.084	0.191
86	0.000	0.692	0.253	-0.042	0.080
87	0.000	0.750	0.287	-0.054	-0.101
88	0.000	0.629	0.375	-0.090	0.031
89	0.000	0.349	0.285	-0.262	-0.299
90	0.000	0.070	0.256	0.004	-0.259
91	0.000	0.129	0.179	0.130	-0.423
92	0.000	0.391	0.038	0.087	-0.023
93	0.000	0.746	0.006	0.057	0.559
94	0.000	0.920	-0.176	0.236	0.433
95	0.000	0.578	-0.058	0.330	0.538
96	0.000	0.556	-0.043	0.242	0.496
97	0.000	0.158	0.045	0.197	0.101
98	0.000	0.512	0.191	0.181	0.051
99	0.000	0.477	0.187	-0.002	-0.144
100	0.000	0.277	0.177	-0.107	-0.133

RO= 0.666

I	A	HTG	HIM	HTC	HTF
τ	α	$\frac{g}{h\tau}$	$\frac{M}{h\tau}$	$\frac{c}{h\tau}$	$\frac{F}{h\tau}$
1	0.000	199.920	120.000	120.000	120.000
2	0.000	199.920	120.000	120.000	120.000
3	0.000	199.920	178.422	120.000	178.422
4	0.000	199.920	178.422	120.000	178.422
5	0.000	156.923	178.422	120.000	178.422
6	0.000	156.923	178.422	120.000	178.422
7	0.000	156.923	162.706	154.994	162.706
8	0.000	156.923	162.706	154.994	162.706
9	0.000	158.489	162.706	154.994	162.706
10	0.000	168.489	162.706	189.989	162.706
11	0.000	158.489	166.934	180.575	137.205
12	0.000	168.489	166.934	180.575	137.205
13	0.000	165.378	166.934	180.575	137.205
14	0.000	165.378	211.342	171.162	181.613
15	0.000	165.378	210.204	169.919	166.741
16	0.000	254.194	210.204	169.919	166.741
17	0.000	255.031	180.475	162.286	166.741
18	0.000	255.031	200.992	170.456	187.257
19	0.000	195.573	201.298	157.773	200.310
20	0.000	147.790	201.298	150.140	200.310
21	0.000	147.555	187.553	157.832	190.623
22	0.000	147.555	168.522	175.079	171.582
23	0.000	179.553	168.439	167.525	179.901
24	0.000	189.253	158.752	165.804	170.213
25	0.000	139.314	175.448	182.773	172.893
26	0.000	169.939	162.898	157.420	160.344
27	0.000	171.343	153.233	160.907	143.786
28	0.000	136.544	143.967	145.893	134.520
29	0.000	117.153	167.810	130.950	167.700
30	0.000	117.996	145.505	134.571	145.396
31	0.000	164.277	144.231	134.677	129.398
32	0.000	154.467	128.091	129.988	113.259
33	0.000	171.308	112.446	139.428	115.871
34	0.000	138.187	113.285	126.836	116.711
35	0.000	60.616	125.815	111.205	121.709
36	0.000	72.105	117.333	117.333	113.227
37	0.000	80.321	93.630	123.695	93.935
38	0.000	96.479	100.620	112.961	100.875
39	0.000	126.744	81.490	109.879	100.690
40	0.000	129.134	99.205	119.654	118.405
41	0.000	82.659	96.855	97.599	109.764
42	0.000	101.931	87.478	102.475	100.376
43	0.000	66.988	71.340	77.528	91.332
44	0.000	45.822	105.176	66.530	125.168
45	0.000	50.022	86.214	76.377	110.155
46	0.000	108.422	78.600	61.465	102.541
47	0.000	105.440	83.437	75.752	64.457
48	0.000	111.378	76.550	93.542	57.519
49	0.000	106.953	72.122	81.270	67.682
50	0.000	44.677	57.022	79.438	52.582
51	0.000	38.804	76.153	89.746	51.916
52	0.000	2.667	59.830	91.246	35.583
53	0.000	45.373	40.905	86.973	42.452
54	0.000	74.983	35.155	83.067	36.702
55	0.000	43.005	62.907	90.017	87.381
56	0.000	67.644	59.808	72.055	84.283
57	0.000	80.440	67.122	74.395	73.719
58	0.000	44.633	73.063	57.247	79.660

60	0.000	78.483	88.791	63.151	117.466
61	0.000	114.593	94.355	50.411	105.844
62	0.000	132.949	82.696	74.368	94.176
63	0.000	97.489	75.383	103.742	70.153
64	0.000	86.910	86.952	90.467	81.723
65	0.000	36.173	48.700	100.454	67.624
66	0.000	40.955	64.631	115.809	83.555
67	0.000	-0.090	68.173	108.298	56.740
68	0.000	42.352	68.509	117.669	57.076
69	0.000	100.173	60.835	111.751	71.066
70	0.000	96.063	103.633	116.733	113.865
71	0.000	121.759	117.641	111.703	108.754
72	0.000	164.915	118.210	113.381	109.322
73	0.000	135.110	135.832	107.066	126.137
74	0.000	140.357	157.509	115.593	147.814
75	0.000	149.904	139.973	116.169	164.510
76	0.000	150.103	142.191	108.461	166.719
77	0.000	144.836	140.763	140.671	157.007
78	0.000	144.006	124.630	156.824	140.874
79	0.000	131.621	148.035	150.279	158.922
80	0.000	99.158	139.349	163.171	150.186
81	0.000	151.335	163.235	170.407	167.146
82	0.000	134.693	150.263	161.562	154.174
83	0.000	194.848	176.618	174.310	142.365
84	0.000	201.368	184.384	162.430	150.132
85	0.000	201.902	201.967	163.775	181.423
86	0.000	234.076	197.394	162.443	176.850
87	0.000	209.036	199.818	162.666	166.346
88	0.000	193.420	199.155	164.227	165.683
89	0.000	197.734	194.409	171.083	173.305
90	0.000	164.234	202.347	174.305	181.243
91	0.000	179.731	185.740	161.439	185.656
92	0.000	211.274	179.470	189.521	179.386
93	0.000	173.745	179.059	187.461	162.366
94	0.000	194.705	193.524	174.913	176.831
95	0.000	178.337	179.890	175.981	174.235
96	0.000	175.775	211.606	162.034	205.951
97	0.000	186.034	183.570	154.884	183.273
98	0.000	228.506	170.282	158.977	169.985
99	0.000	138.753	182.952	137.125	165.029
100	0.000	154.790	194.708	145.564	176.785

R0= 0.666

I	A	HTD	HTB	HTK	HTE
τ	akt	$\frac{D}{ht}$	$\frac{B}{ht}$	$\frac{K}{ht}$	$\frac{E}{ht}$
1	0.000	199.920	120.000	120.000	120.000
2	0.000	199.920	120.000	120.000	120.000
3	0.000	199.920	120.000	120.000	120.000
4	0.000	199.920	120.000	120.000	120.000
5	0.000	156.923	120.000	120.000	120.000
6	0.000	156.923	120.000	120.000	120.000
7	0.000	156.923	120.000	120.000	120.000
8	0.000	156.923	120.000	120.000	120.000
9	0.000	158.489	120.000	120.000	120.000
10	0.000	168.489	120.000	120.000	120.000
11	0.000	158.489	120.000	120.000	120.000
12	0.000	168.489	145.476	120.000	120.000
13	0.000	105.920	145.476	120.000	120.000
14	0.000	105.920	145.476	120.000	120.000
15	0.000	105.920	170.952	120.000	120.000
16	0.000	194.736	164.099	120.000	120.000
17	0.000	227.561	164.099	120.000	120.000
18	0.000	227.561	145.552	120.000	120.000
19	0.000	227.561	138.699	120.000	120.000
20	0.000	179.778	137.795	152.329	120.000
21	0.000	173.050	119.248	152.329	120.000
22	0.000	173.050	125.609	152.329	184.658
23	0.000	153.685	131.558	184.658	184.658
24	0.000	163.385	117.280	199.594	184.658
25	0.000	186.742	123.641	199.594	249.316
26	0.000	167.367	128.035	176.059	214.530
27	0.000	192.102	135.546	190.995	214.530
28	0.000	157.302	147.635	177.132	167.459
29	0.000	100.830	140.138	153.597	132.673
30	0.000	101.673	157.645	144.464	139.735
31	0.000	143.299	156.776	139.299	92.663
32	0.000	133.489	165.369	123.761	121.470
33	0.000	157.956	145.544	114.629	145.925
34	0.000	124.845	124.669	130.734	107.788
35	0.000	38.443	136.991	149.204	136.594
36	0.000	99.933	123.197	141.909	139.998
37	0.000	85.451	125.148	142.987	152.483
38	0.000	101.609	113.998	166.384	176.031
39	0.000	99.427	105.010	161.149	149.380
40	0.000	101.817	99.097	153.009	192.770
41	0.000	115.929	82.029	118.110	169.814
42	0.000	135.201	99.638	113.811	129.987
43	0.000	120.101	92.476	93.406	86.840
44	0.000	98.935	88.216	77.788	34.851
45	0.000	56.734	100.940	70.824	16.999
46	0.000	115.135	109.730	57.334	25.589
47	0.000	100.210	120.778	53.507	54.809
48	0.000	106.148	117.358	50.743	79.816
49	0.000	52.179	98.336	60.565	90.015
50	0.000	-0.096	106.554	63.359	75.896
51	0.000	35.153	102.931	56.781	66.322
52	0.000	-0.985	102.648	62.116	46.902
53	0.000	41.653	99.124	63.818	23.548
54	0.000	71.263	87.114	60.463	48.336
55	0.000	49.750	82.226	62.793	61.315
56	0.000	74.389	75.326	61.095	74.024
57	0.000	133.110	83.801	60.830	102.038
58	0.000	97.303	86.243	61.200	73.854

60	0.000	84.931	96.179	88.819	48.376
61	0.000	119.272	100.401	97.053	59.403
62	0.000	137.628	103.515	100.068	103.784
63	0.000	113.999	96.139	105.450	133.760
64	0.000	103.420	103.311	110.520	151.760
65	0.000	21.035	101.397	118.908	151.497
66	0.000	25.817	99.473	121.232	117.256
67	0.000	21.249	128.075	121.630	104.055
68	0.000	63.690	137.348	120.459	90.704
69	0.000	92.444	130.900	124.033	91.763
70	0.000	88.334	127.179	131.106	123.661
71	0.000	120.893	126.648	130.042	144.011
72	0.000	164.039	137.594	142.198	171.508
73	0.000	125.053	144.738	142.535	168.321
74	0.000	130.310	132.666	145.400	160.735
75	0.000	131.391	144.573	165.039	141.059
76	0.000	131.589	127.239	182.158	119.291
77	0.000	203.957	114.893	169.506	161.758
78	0.000	203.128	113.922	160.391	203.580
79	0.000	182.623	102.288	169.750	197.953
80	0.000	150.160	114.519	181.352	201.491
81	0.000	113.837	110.379	175.149	177.763
82	0.000	97.245	139.509	153.919	159.124
83	0.000	151.669	166.073	160.345	152.344
84	0.000	158.189	162.077	144.365	106.347
85	0.000	170.844	156.632	130.085	142.927
86	0.000	203.018	151.506	115.017	129.606
87	0.000	211.177	154.464	113.523	107.825
88	0.000	195.511	165.012	109.246	123.686
89	0.000	151.848	154.131	88.503	84.120
90	0.000	128.348	150.670	120.446	88.886
91	0.000	135.432	141.479	135.575	69.181
92	0.000	166.975	124.558	130.415	117.205
93	0.000	209.455	120.659	126.898	187.030
94	0.000	230.425	98.823	148.353	171.943
95	0.000	189.301	111.827	159.537	184.615
96	0.000	186.688	114.884	149.052	179.502
97	0.000	139.006	125.330	143.666	132.143
98	0.000	181.477	142.948	141.759	126.162
99	0.000	177.246	142.402	119.729	102.716
100	0.000	153.283	141.245	107.182	104.015

Na ovom numeričkom primeru upoređiće se predlagani metod sa nekim od postojećih, na primer, sa metodom N.A.Kartveliškvi. Ako se u sistemu nalazi više izvora hidrauličkog udara, onda se on, kao što je ranije rečeno, ne može proračunati metodom N.A.Kartveliškvi osim u nekim specijalnim slučajevima (na primer, u turbinskim cevovodima ako su sve grane istih karakteristika, kao i turbine koje snabdevaju grane, a regulacionih organi svih grana se otvaraju i zatvaraju po jednom i istom zakonu).

Medjutim, u ovom primeru nije taj slučaj. On je malo složeniji. Postoje dva izvora hidrauličkog udara: u tački D i G. Zakon zatvaranja je isti za oba zatvarača. Radi se o trenutnom zatvaranju, ali grane GMC i DFC nisu istih karakteristika.

Pošto se radi o trenutnom zatvaranju tj. za $\zeta = 1 \Rightarrow \alpha_{\zeta} = 0$, to će se po metodu N.A. Kartveliškvi proračunati na sledeći način:

a) - Pretpostavi se da je zatvarač u D zatvoren pa se proračuna samo uticaj od zatvarača G, tj. kao da u sistemu postoji jedan izvor hidrauličkog udara.

b) - Zatim, na isti način se pretpostavi da je zatvarač u G zatvoren, pa se proračuna uticaj od zatvaranja zatvarača u D, kao da je u sistemu samo jedan izvor hidrauličkog udara.

- Zatim se saberu uticaji od oba ova zatvarača. Na ovaj način dobija se vrednost pritiska u svim tačkama - čvorovima sistema u kome postoje dva izvora hidrauličkog udara.

Ovako se može proračunati hidraulički udar i još za neke specijalne slučajeve, tj. i za različite zakone zatvaranja (otvaranja) zatvarača u tačkama D i G, ali u tom slučaju vreme zatvaranja mora da bude:

$$t_z^D < \frac{L_5 + L_6 + L_7 + L_8}{C}$$

$$t_z^G < \frac{L_5 + L_6 + L_7 + L_8}{C}$$

t_z^D , t_z^G - vreme zatvaranja zatvarača u D, odnosno G.

Numerički primer svakvog proračuna metodom N.A.Kartveliškvi dat je na narednim stranama.

5. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U SISTEMU ZA NAVODNJAVANJE
METODOM N. A. KARTVELIŠVILI

```

DIMENSION A(150),VTG(150),VID(150),VTM(150),VTF(150),VTC(150),
*VTB(150),VIK(150),VIE(150),VIP(150),VTR(150),VTS(150),VTQ(150),
*VTX(150),VPY(150),VPZ(150),VIT(150),ROV(10),
*VIH(150),VIV(150),VIPW(150),VTO(150),VIL(150),VIN(150),
*VIJ(150),VPU(150),HFG(150),HFD(150),HTM(150),HTF(150),
*HTC(150),HTB(150),HTK(150),HTE(150)

```

DO 1 I=1,100

A(I)=0

VTG(I)=0

VID(I)=0

VTM(I)=0

VTF(I)=0

VTC(I)=0

VTB(I)=0

VIK(I)=0

VIE(I)=0

VIP(I)=0

VTR(I)=0

VTS(I)=0

VTQ(I)=0

VTX(I)=0

VPY(I)=0

VPZ(I)=0

VIT(I)=0

VIH(I)=0

VIV(I)=0

VIW(I)=0

VTO(I)=0

VIL(I)=0

VIN(I)=0

VIJ(I)=0

VPU(I)=0

HFG(I)=0

HFD(I)=0

HTM(I)=0

HTF(I)=0

HTC(I)=0

HTB(I)=0

HTK(I)=0

1 HTE(I)=0

READ(2,200) NT,NRO

200 FORMAT(2I5)

READ(2,201) (ROV(I),I=1,NRO)

201 FORMAT(8F10.0)

DO 2 IRO=1,NRO

RO=ROV(IRO)

DO 3 IF=1,NT

VT=RO

S=0

IK=(IF-1)/4

IF(IK.LE.0) GO TO 6

DO 5 I=1,IK

J=IF-4+I

5 S=S+VTG(J)

6 VT=VT-2*S

S=0

```
      IK=(IP-3)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 3
      DO 7 I=1,IK
      J=IP-2-4*I
7     S=S+VFM(J)
8     VT=VT+2*S
      VFG(IP)=VT+2*VFM(IP-2)
      VT=VFG(IP)
      S=0
      IK=(IP-1)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 10
      DO 9 I=1,IK
      J=IP-4*I
9     S=S+VFG(J)
10    VT=VT+S
      S=0
      IF(IP.LE.2) VFM(IP)=0
      IK=(IP+1)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 12
      DO 11 I=1,IK
      J=IP+2-4*I
11    S=S+VFM(J)
12    VT=VT-S
      VFM(IP+2)=0.731*VT
      VT=0
      IF(IP.GE.5) VT=VFC(IP-5)+VT
      S=0
      IK=(IP-6)/14
      IF(IK.LE.0) GO TO 14
      DO 13 I=1,IK
      J=IP-5-14*I
13    S=S+VFC(J)
14    VT=VT+S
      S=0
      IK=(IP+1)/14
      IF(IK.LE.0) GO TO 16
      DO 15 I=1,IK
      J=IP+2-14*I
15    S=S+VFM(J)
16    VT=VT-S
      VFM(IP+2)=VFM(IP+2)+1.269*VT
      IF(IP.LE.9) VFC(IP)=0
      VT=0
      VT=VFM(IP+2)
      S=0
      IK=(IP+1)/14
      IF(IK.LE.0) GO TO 18
      DO 17 I=1,IK
      J=IP+2-14*I
17    S=S+VFM(J)
18    VT=VT+S
      S=0
      IK=(IP+8)/14
      IF(IK.LE.0) GO TO 20
      DO 19 I=1,IK
      J=IP+9-14*I
```

```

19 S=S+VFC(J)
20 VI=VF-S
   VFC(IP+9)=0.599*VF
   VI=VIF(IP+5)
   S=0
   IK=(IP+4)/8
   IF(IK.LE.0) GO TO 22
   DO 21 I=1,IK
   J=IP+5-8*I
21 S=S+VIF(J)
22 VI=VI+S
   S=0
   IK=(IP+8)/8
   IF(IK.LE.0) GO TO 24
   DO 23 I=1,IK
   J=IP+9-8*I
23 S=S+VFC(J)
24 VI=VF-S
   VFC(IP+9)=VFC(IP+9)+0.599*VF
   VI=VFB(IP+4)
   S=0
   IK=(IP+3)/10
   IF(IK.LE.0) GO TO 26
   DO 25 I=1,IK
   J=IP+4-10*I
25 S=S+VFB(J)
26 VI=VI+S
   S=0
   IK=(IP+8)/10
   IF(IK.LE.0) GO TO 28
   DO 27 I=1,IK
   J=IP+9-10*I
27 S=S+VFC(J)
28 VI=VF-S
   VFC(IP+9)=VFC(IP+9)+0.352*VF
   IF(IP.LE.9) VFC(IP)=0
   IF(IP.LE.13) VIF(IP)=0
   VI=VFC(IP+9)
   S=0
   IK=(IP+8)/8
   IF(IK.LE.0) GO TO 30
   DO 29 I=1,IK
   J=IP+9-8*I
29 S=S+VFC(J)
30 VI=VI+S
   S=0
   IK=(IP+12)/8
   IF(IK.LE.0) GO TO 32
   DO 31 I=1,IK
   J=IP+13-8*I
31 S=S+VIF(J)
32 VI=VF-S
   VIF(IP+13)=1.259*VF
   VI=VFD(IP+11)
   S=0
   IK=(IP+10)/4

```

```

      IF(IK.LE.0) GO TO 34
      DO 33 I=1,IK
      J=1I+11-4*I
33  S=S+VFD(J)
34  VI=VI+S
      S=0
      IK=(1I+12)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 35
      DO 35 I=1,IK
      J=1I+13-4*I
35  S=S+VIF(J)
36  VI=VI-S
      VIF(1I+13)=VIF(1I+13)+0.731*VI
      IF(1I.LE.15) VFD(1I)=0
      VI=VIF(1I+13)
      S=0
      IK=(1I+12)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 37
      DO 37 I=1,IK
      J=1I+13-4*I
37  S=S+VIF(J)
38  VI=VI+S
      S=0
      IK=(1I+14)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 39
      DO 39 I=1,IK
      J=1I+15-4*I
39  S=S+VFD(J)
40  VI=VI-S
      VFD(1I+15)=2*VI
      IF(1I.LE.14) VIB(1I)=0
      VI=VIC(1I+9)
      S=0
      IK=(1I+8)/10
      IF(IK.LE.0) GO TO 42
      DO 41 I=1,IK
      J=1I+9-10*I
41  S=S+VIC(J)
42  VI=VI+S
      S=0
      IK=(1I+13)/10
      IF(IK.LE.0) GO TO 43
      DO 43 I=1,IK
      J=1I+14-10*I
43  S=S+VIB(J)
44  VI=VI-S
      VIB(1I+14)=0.728*VI
      VI=VIK(1I+5)
      S=0
      IK=(1I+5)/10
      IF(IK.LE.0) GO TO 45
      DO 45 I=1,IK
      J=1I+5-10*I
45  S=S+VIK(J)
46  VI=VI+S
      S=0

```

```

5      IK=(1I+13)/16
6      IF(IK.LE.0) GO TO 43
7      DO 47 I=1,IK
8      J=1I+14-16*I
9      47 S=S+VIB(J)
10     48 VI=VI-S
11     VIB(1I+14)=VIB(1I+14)+0.544*VI
12     VI=0
13     S=0
14     IK=(1I+13)/6
15     IF(IK.LE.0) GO TO 50
16     DO 49 I=1,IK
17     J=1I+14-6*I
18     49 S=S+VIB(J)
19     50 VI=VI-S
20     VIB(1I+14)=VIB(1I+14)+0.728*VI
21     IF(1I.LE.22) VPK(1I)=0
22     VI=VIB(1I+14)
23     S=0
24     IK=(1I+13)/16
25     IF(IK.LE.0) GO TO 52
26     DO 51 I=1,IK
27     J=1I+14-16*I
28     51 S=S+VIB(J)
29     52 VI=VI+S
30     S=0
31     IK=(1I+21)/46
32     IF(IK.LE.0) GO TO 54
33     DO 53 I=1,IK
34     J=1I+22-16*I
35     53 S=S+VPK(J)
36     54 VI=VI-S
37     VPK(1I+22)=1.269*VI
38     VI=VIB(1I+20)
39     S=0
40     IK=(1I+19)/4
41     IF(IK.LE.0) GO TO 56
42     DO 55 I=1,IK
43     J=1I+20-4*I
44     55 S=S+VIB(J)
45     56 VI=VI+S
46     S=0
47     IK=(1I+21)/4
48     IF(IK.LE.0) GO TO 58
49     DO 57 I=1,IK
50     J=1I+22-4*I
51     57 S=S+VPK(J)
52     58 VI=VI-S
53     VPK(1I+22)=VPK(1I+22)+0.731*VI
54     IF(1I.LE.24) VIB(1I)=0
55     VI=VPK(1I+22)
56     S=0
57     IK=(1I+21)/4
58     IF(IK.LE.0) GO TO 50
59     DO 59 I=1,IK
60     J=1I+22-4*I

```



```

59 S=S+VTK(J)
60 VF=VF+S
   S=0
   IK=(IF+23)/4
   IF(IK.LE.0) GO TO 62
   DO 61 I=1,IK
   J=IF+24-4*I
61 S=S+VIE(J)
62 VF=VF-S
   VIE(IF+24)=2*VF
   VF=RO
   S=0
   IK=(IF-1)/4
   IF(IK.LE.0) GO TO 64
   DO 63 I=1,IK
   J=IF-4*I
63 S=S+VIR(J)
64 VF=VF-2*S
   S=0
   IK=(IF-3)/4
   IF(IK.LE.0) GO TO 66
   DO 65 I=1,IK
   J=IF-2-4*I
65 S=S+VIQ(J)
66 VF=VF+2*S
   VIR(IF)=VF+2*VIQ(IF-2)
   VF=VIR(IF)
   S=0
   IF(IF.LE.2) VIQ(IF)=0
   IK=(IF-1)/4
   IF(IK.LE.0) GO TO 68
   DO 67 I=1,IK
   J=IF-4*I
67 S=S+VIR(J)
68 VF=VF+S
   S=0
   IK=(IF+1)/4
   IF(IK.LE.0) GO TO 70
   DO 69 I=1,IK
   J=IF+2-4*I
69 S=S+VIQ(J)
70 VF=VF-S
   VIQ(IF+2)=0.731*VI
   VP=VPX(IF-2)
   S=0
   IK=(IF-3)/8
   IF(IK.LE.0) GO TO 72
   DO 71 I=1,IK
   J=IF-2-8*I
71 S=S+VIX(J)
72 VF=VF+S
   S=0
   IK=(IF+1)/8
   IF(IK.LE.0) GO TO 74
   DO 73 I=1,IK
   J=IF+2-8*I

```

```

7      73 S=S+VFD(J)
8      74 VF=VF-S
9      VFD(IP+2)=VFD(IP+2)+1.269*VF
0      IF(IP.LE.6) VFX(IP)=0
1      VF=0
2      IF(IP.GT.1) VI=VFS(IP-1)+VF
3      VFX(IP+6)=VF+VFD(IP+2)
4      VFX(IP+6)=0.599*VFX(IP+6)
5      S=0
6      IK=(IP+1)/8
7      IF(IK.LE.0) GO TO 76
8      DO 75 I=1,IK
9      J=IP+2-8*I
0      75 S=S+VFD(J)
1      76 VFX(IP+6)=VFX(IP+6)+0.599*S
2      S=0
3      IK=(IP+5)/8
4      IF(IK.LE.0) GO TO 78
5      DO 77 I=1,IK
6      J=IP+6-8*I
7      77 S=S+VFX(J)
8      78 VFX(IP+6)=VFX(IP+6)-0.599*S
9      S=0
0      IK=(IP-2)/14
1      IF(IK.LE.0) GO TO 80
2      DO 79 I=1,IK
3      J=IP-1-14*I
4      79 S=S+VFS(J)
5      80 VFX(IP+6)=VFX(IP+6)+0.599*S
6      S=0
7      IK=(IP+5)/14
8      IF(IK.LE.0) GO TO 82
9      DO 81 I=1,IK
0      J=IP+6-14*I
1      81 S=S+VFX(J)
2      82 VFX(IP+6)=VFX(IP+6)-0.599*S
3      VI=VFX(IP+1)
4      S=0
5      IK=(IP)/10
6      IF(IK.LE.0) GO TO 84
7      DO 83 I=1,IK
8      J=IP+1-10*I
9      83 S=S+VFX(J)
0      84 VI=VI+S
1      S=0
2      IK=(IP+5)/10
3      IF(IK.LE.0) GO TO 86
4      DO 85 I=1,IK
5      J=IP+6-10*I
6      85 S=S+VFX(J)
7      86 VI=VI-S
8      VFX(IP+6)=VFX(IP+6)+0.852*VF
9      IF(IP.LE.13) VFS(IP)=0
0      VI=VFX(IP+6)
1      S=0
2      IK=(IP+5)/14

```

```

      IF(IK.LE.0) GO TO 88
      DO 87 I=1,IK
      J=IP+0-14*I
87  S=S+VIX(J)
88  VI=VI+S
      S=0
      IK=(IP+12)/14
      IF(IK.LE.0) GO TO 90
      DO 89 I=1,IK
      J=IP+13-14*I
89  S=S+VIS(J)
90  VI=VI-S
      VPS(IP+13)=1.269*VI
      VI=VIP(IP+11)
      S=0
      IK=(IP+10)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 92
      DO 91 I=1,IK
      J=IP+11-4*I
91  S=S+VIP(J)
92  VI=VI+S
      S=0
      IK=(IP+12)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 94
      DO 93 I=1,IK
      J=IP+13-4*I
93  S=S+VIS(J)
94  VI=VI-S
      VPS(IP+13)=VPS(IP+13)+0.731*VI
      VI=VPS(IP+13)
      S=0
      IK=(IP+12)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 96
      DO 95 I=1,IK
      J=IP+13-4*I
95  S=S+VPS(J)
96  VI=VI+S
      S=0
      IK=(IP+14)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 98
      DO 97 I=1,IK
      J=IP+15-4*I
97  S=S+VIP(J)
98  VI=VI-S
      VIP(IP+15)=2*VI
      IF(IP.LE.15) VIP(IP)=0
      IF(IP.LE.11) VIX(IP)=0
      VI=VIX(IP+0)
      S=0
      IK=(IP+5)/10
      IF(IK.LE.0) GO TO 100
      DO 99 I=1,IK
      J=IP+0-10*I
99  S=S+VIX(J)
100 VI=VI+S
      S=0

```

```
9      IK=(IP+10)/10
10     IF(IK.LE.0) GO TO 102
11     DO 101 I=1,IK
12     J=IP+11-10*I
13     101 S=S+VY(J)
14     102 VT=VF-S
15     S=0
16     IK=(IP+10)/6
17     IF(IK.LE.0) GO TO 104
18     DO 103 I=1,IK
19     J=IP+11-6*I
20     103 S=S+VY(J)
21     104 VT=VF-S
22     VY(IP+11)=0.728*VF
23     VT=VPZ(IP+3)
24     S=0
25     IK=(IP+2)/16
26     IF(IK.LE.0) GO TO 106
27     DO 105 I=1,IK
28     J=IP+3-16*I
29     105 S=S+VZ(J)
30     106 VT=VF+S
31     S=0
32     IK=(IP+10)/10
33     IF(IK.LE.0) GO TO 108
34     DO 107 I=1,IK
35     J=IP+11-10*I
36     107 S=S+VY(J)
37     108 VT=VF-S
38     VY(IP+11)=VY(IP+11)+0.544*VF
39     IF(IP.LE.19) VPZ(IP)=0
40     VI=VY(IP+11)
41     S=0
42     IK=(IP+10)/10
43     IF(IK.LE.0) GO TO 110
44     DO 109 I=1,IK
45     J=IP+11-10*I
46     109 S=S+VY(J)
47     110 VT=VF+S
48     S=0
49     IK=(IP+18)/16
50     IF(IK.LE.0) GO TO 112
51     DO 111 I=1,IK
52     J=IP+19-16*I
53     111 S=S+VZ(J)
54     112 VT=VF-S
55     VZ(IP+19)=1.259*VF
56     VI=VY(IP+17)
57     S=0
58     IK=(IP+16)/4
59     IF(IK.LE.0) GO TO 114
60     DO 113 I=1,IK
61     J=IP+17-4*I
62     113 S=S+VY(J)
63     114 VT=VF+S
64     S=0
```

```

      IK=(IP+18)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 115
      DO 115 I=1,IK
      J=IP+19-4*I
115  S=S+VIZ(J)
116  VI=VF-3
      VIZ(IP+19)=VIZ(IP+19)+0.731*VI
      IF(IP.LE.21) VIF(IP)=0
      VI=VIZ(IP+19)
      S=0
      IK=(IP+18)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 118
      DO 117 I=1,IK
      J=IP+19-4*I
117  S=S+VIZ(J)
118  VI=VI+S
      S=0
      IK=(IP+20)/4
      IF(IK.LE.0) GO TO 120
      DO 119 I=1,IK
      J=IP+21-4*I
119  S=S+VIF(J)
120  VI=VI-S
      VIF(IP+21)=2*VI
      VPH(IP)=VTG(IP)+VIF(IP)
      VIV(IP)=VTD(IP)+VIF(IP)
      VPIW(IP)=VTM(IP)+VIF(IP)
      VPIU(IP)=VTF(IP)+VIF(IP)
      VPL(IP)=VTC(IP)+VIF(IP)
      VPN(IP)=VTB(IP)+VIF(IP)
      VPJ(IP)=VTK(IP)+VIF(IP)
      VPU(IP)=VTE(IP)+VIF(IP)
      HPG(IP)=120*VPH(IP)+120
      HPO(IP)=120*VIV(IP)+120
      HPM(IP)=120*VPIW(IP)+120
      HPIU(IP)=120*VPIU(IP)+120
      HPC(IP)=120*VPL(IP)+120
      HPB(IP)=120*VPN(IP)+120
      HPK(IP)=120*VPJ(IP)+120
      HPE(IP)=120*VPU(IP)+120
3  CONTINUE
      WRITE(3,203) RO
203  FORMAT(1H1//10X'RO=',F6.3//9X,'1',7X,'A',8X,'VPH',7X,'VIV',7X,
      *'VPIW',7X,'VPIU'//)
      DO 121 I=1,NF
121  WRITE(3,204) I,A(I),VPH(I),VIV(I),VPIW(I),VPIU(I)
204  FORMAT(6X,13,5F10.3)
      WRITE(3,204)RO
204  FORMAT(1H1//10X,'RO=',F6.3//9X,'1',7X,'A',8X,'VPL',7X,'VPN',
      *7X,'VPJ',7X,'VPU'//)
      DO 122 I=1,NF
122  WRITE(3,204)I,A(I),VPL(I),VPN(I),VPJ(I),VPU(I)
      WRITE(3,205)RO
205  FORMAT(1H1//10X,'RO=',F6.3//9X,'1',7X,'A',8X,'HIG',7X,'HID',
      *7X,'HIM',7X,'HIF'//)
      DO 123 I=1,NF

```

```

123 WRITE(3,264)I,A(1),HIG(1),HTD(1),HIM(1),HTF(1)
    WRITE(3,206)RO
206 FORMAT(1H1//10X,'RO=',F0.3//9X,'I',7X,'A',8X,'HIC',7X,'HTB',
*7X,'HTK',7X,'HTE'//)
    DO 124 I=1,NI
124 WRITE(3,264)I,A(1),HTC(1),HTB(1),HTK(1),HIE(1)
    2 CONTINUE
    STOP
    END

```

RANS CALLED

AND ARRAYS ["*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED]

1	HTD	2	VIN	230	VIG	456	VIY	704
1132	.S0037	1133	.S0036	1134	VIR	1135	.S0035	1363
1364	.S0033	1365	.S0032	1366	VIK	1367	.S0031	1615
1616	*VI	1617	VIO	1620	*IK	2046	VIV	2047
2275	VPO	2523	.S0047	2751	.S0046	2752	.S0045	2753
2754	VPH	2755	.S0043	3203	VIZ	3204	.S0042	3432
3433	*NRO	3434	.S0040	3435	VIS	3436	*S	3664
3665	HIB	3666	VIL	4114	.S0057	4342	ROV	4343
4355	VPE	4356	.S0055	4604	*J	4605	HIM	4606
5034	.S0054	5252	.S0053	5263	.S0007	5264	.S0052	5265
5266	.S0051	5267	.S0005	5270	HIF	5271	VIP	5517
5745	.S0004	5746	.S0003	5747	A	5750	.S0002	6176
6177	.S0000	6200	*IF	6201	VIB	6202	.S0067	6430
6431	.S0006	6557	.S0065	6600	.S0064	6601	.S0063	6662
6663	HIC	6664	VIM	7112	.S0062	7340	.S0016	7341
7342	.S0015	7343	.S0101	7344	.S0060	7345	.S0014	7346
7347	.S0013	7350	VIF	7351	.S0012	7577	VIX	7600
10026	.S0010	10027	HIG	10030	VIQ	10250	*I	10504
10505	.S0076	10506	.S0075	10507	VIJ	10510	.S0074	10736
10737	.S0027	10740	.S0072	10741	.S0026	10742	*NI	10743
10744	.S0025	10745	VIC	10746	.S0070	11174	.S0024	11175
11176	VIU	11424	.S0023	11652	.S0022	11653	.S0021	11654

I&S

[NO ERRORS DETECTED]

RO = 0.666

I	A	VTH	VTV	VTH	VTV
τ	$\alpha\tau$	$\frac{V_T}{R_T}$	$\frac{V_T}{R_T}$	$\frac{V_T}{R_T}$	$\frac{V_T}{R_T}$
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.487	0.487
4	0.000	0.000	0.000	0.487	0.487
5	0.000	0.308	0.308	0.487	0.487
6	0.000	0.308	0.308	0.487	0.487
7	0.000	0.308	0.308	0.350	0.350
8	0.000	0.308	0.308	0.350	0.350
9	0.000	0.404	0.404	0.350	0.350
10	0.000	0.404	0.404	0.350	0.350
11	0.000	0.404	0.404	0.391	0.143
12	0.000	0.404	0.404	0.391	0.143
13	0.000	0.378	-0.117	0.391	0.143
14	0.000	0.378	-0.117	0.751	0.513
15	0.000	0.378	-0.117	0.752	0.390
16	0.000	1.118	0.023	0.752	0.390
17	0.000	1.125	0.890	0.504	0.390
18	0.000	1.125	0.890	0.075	0.500
19	0.000	0.030	0.890	0.677	0.669
20	0.000	0.232	0.490	0.677	0.669
21	0.000	0.230	0.442	0.563	0.589
22	0.000	0.230	0.442	0.404	0.430
23	0.000	0.490	0.281	0.404	0.499
24	0.000	0.577	0.302	0.525	0.418
25	0.000	0.578	0.556	0.462	0.441
26	0.000	0.416	0.395	0.357	0.330
27	0.000	0.428	0.001	0.277	0.198
28	0.000	0.138	0.311	0.200	0.121
29	0.000	-0.024	-0.100	0.398	0.398
30	0.000	-0.017	-0.153	0.213	0.212
31	0.000	0.309	0.194	0.202	0.078
32	0.000	0.287	0.112	0.007	-0.056
33	0.000	0.428	0.310	-0.063	-0.034
34	0.000	0.152	0.040	-0.050	-0.027
35	0.000	-0.495	-0.263	0.048	0.014
36	0.000	-0.399	-0.157	-0.022	-0.056
37	0.000	-0.331	-0.288	-0.219	-0.217
38	0.000	-0.190	-0.153	-0.102	-0.159
39	0.000	0.056	-0.171	-0.321	-0.161
40	0.000	0.070	-0.152	-0.173	-0.013
41	0.000	-0.311	-0.034	-0.193	-0.085
42	0.000	-0.151	0.127	-0.271	-0.164
43	0.000	-0.442	0.001	-0.405	-0.239
44	0.000	-0.018	-0.170	-0.124	0.043
45	0.000	-0.500	-0.444	-0.202	-0.082
46	0.000	-0.090	-0.041	-0.345	-0.145
47	0.000	-0.121	-0.105	-0.304	-0.463
48	0.000	-0.072	-0.115	-0.302	-0.521
49	0.000	-0.109	-0.482	-0.399	-0.430
50	0.000	-0.028	-1.001	-0.525	-0.502
51	0.000	-0.677	-0.707	-0.305	-0.567
52	0.000	-0.978	-1.008	-0.501	-0.703
53	0.000	-0.022	-0.053	-0.659	-0.640
54	0.000	-0.375	-0.400	-0.707	-0.694
55	0.000	-0.042	-0.505	-0.476	-0.272
56	0.000	-0.430	-0.380	-0.502	-0.298
57	0.000	-0.330	0.109	-0.441	-0.386
58	0.000	-0.520	-0.109	-0.391	-0.330

60	0.000	-0.346	-0.292	-0.260	-0.021
61	0.000	-0.045	-0.000	-0.214	-0.118
62	0.000	0.108	0.147	-0.311	-0.215
63	0.000	-0.188	-0.050	-0.372	-0.415
64	0.000	-0.270	-0.138	-0.275	-0.319
65	0.000	-0.699	-0.825	-0.594	-0.436
66	0.000	-0.059	-0.785	-0.451	-0.304
67	0.000	-1.001	-0.823	-0.432	-0.527
68	0.000	-0.047	-0.459	-0.429	-0.524
69	0.000	-0.165	-0.230	-0.493	-0.408
70	0.000	-0.199	-0.254	-0.130	-0.051
71	0.000	0.015	0.007	-0.020	-0.094
72	0.000	0.374	0.357	-0.015	-0.089
73	0.000	0.120	0.042	0.132	0.051
74	0.000	0.170	0.085	0.313	0.232
75	0.000	0.249	0.095	0.100	0.371
76	0.000	0.251	0.097	0.185	0.389
77	0.000	0.207	0.700	0.173	0.308
78	0.000	0.200	0.593	0.039	0.174
79	0.000	0.097	0.522	0.234	0.324
80	0.000	-0.174	0.251	0.101	0.252
81	0.000	0.261	-0.051	0.300	0.393
82	0.000	0.122	-0.190	0.252	0.285
83	0.000	0.024	0.204	0.472	0.180
84	0.000	0.678	0.318	0.537	0.251
85	0.000	0.683	0.424	0.603	0.512
86	0.000	0.951	0.692	0.645	0.474
87	0.000	0.742	0.700	0.065	0.380
88	0.000	0.612	0.529	0.650	0.381
89	0.000	0.048	0.349	0.020	0.444
90	0.000	0.359	0.070	0.006	0.510
91	0.000	0.498	0.129	0.548	0.547
92	0.000	0.751	0.391	0.490	0.495
93	0.000	0.448	0.740	0.492	0.353
94	0.000	0.023	0.920	0.613	0.474
95	0.000	0.487	0.578	0.499	0.452
96	0.000	0.455	0.556	0.763	0.716
97	0.000	0.550	0.158	0.530	0.527
98	0.000	0.904	0.512	0.419	0.417
99	0.000	0.573	0.477	0.525	0.375
100	0.000	0.373	0.277	0.623	0.473

RO = 0.666

I	A	VFL	VFN	VTJ	VTU
τ	α	α^c	α^B	α^K	α^E
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.292	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.292	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.0000	0.292	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.503	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.0000	0.505	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.505	0.212	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.505	0.212	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.420	0.212	0.0000	0.0000
15	0.0000	0.416	0.425	0.0000	0.0000
16	0.0000	0.416	0.357	0.0000	0.0000
17	0.0000	0.352	0.367	0.0000	0.0000
18	0.0000	0.420	0.213	0.0000	0.0000
19	0.0000	0.315	0.150	0.0000	0.0000
20	0.0000	0.251	0.148	0.259	0.0000
21	0.0000	0.315	-0.0000	0.259	0.0000
22	0.0000	0.459	0.047	0.259	0.539
23	0.0000	0.396	0.096	0.539	0.539
24	0.0000	0.382	-0.023	0.003	0.539
25	0.0000	0.523	0.030	0.603	1.078
26	0.0000	0.312	0.057	0.407	0.788
27	0.0000	0.341	0.130	0.592	0.788
28	0.0000	0.215	0.230	0.470	0.395
29	0.0000	0.091	0.168	0.280	0.106
30	0.0000	0.121	0.314	0.204	0.164
31	0.0000	0.122	0.300	0.101	-0.228
32	0.0000	0.083	0.378	0.031	0.012
33	0.0000	0.102	0.213	-0.045	0.216
34	0.0000	0.057	0.039	0.089	-0.102
35	0.0000	-0.073	0.142	0.243	0.138
36	0.0000	-0.022	0.027	0.183	0.107
37	0.0000	0.031	0.043	0.192	0.271
38	0.0000	-0.059	-0.050	0.387	0.467
39	0.0000	-0.084	-0.125	0.343	0.245
40	0.0000	-0.003	-0.174	0.275	0.006
41	0.0000	-0.187	-0.309	-0.016	0.415
42	0.0000	-0.146	-0.253	-0.052	0.083
43	0.0000	-0.354	-0.229	-0.222	-0.276
44	0.0000	-0.440	-0.255	-0.352	-0.710
45	0.0000	-0.304	-0.160	-0.410	-0.658
46	0.0000	-0.488	-0.080	-0.522	-0.787
47	0.0000	-0.309	0.0000	-0.554	-0.543
48	0.0000	-0.220	-0.022	-0.577	-0.335
49	0.0000	-0.323	-0.181	-0.495	-0.250
50	0.0000	-0.338	-0.112	-0.472	-0.368
51	0.0000	-0.252	-0.142	-0.527	-0.447
52	0.0000	-0.240	-0.145	-0.482	-0.609
53	0.0000	-0.275	-0.174	-0.408	-0.804
54	0.0000	-0.308	-0.274	-0.496	-0.597
55	0.0000	-0.250	-0.315	-0.477	-0.489
56	0.0000	-0.400	-0.372	-0.491	-0.383
57	0.0000	-0.380	-0.302	-0.493	-0.150
58	0.0000	-0.523	-0.265	-0.490	-0.305
59	0.0000	-0.571	-0.200	-0.497	-0.127

60	0.000	-0.474	-0.199	-0.250	-0.597
61	0.000	-0.530	-0.153	-0.191	-0.505
62	0.000	-0.380	-0.137	-0.160	-0.135
63	0.000	-0.135	-0.199	-0.121	0.115
64	0.000	-0.246	-0.139	-0.079	0.265
65	0.000	-0.163	-0.155	-0.009	0.262
66	0.000	-0.035	-0.171	0.010	-0.023
67	0.000	-0.098	0.057	0.014	-0.133
68	0.000	-0.019	0.145	0.004	-0.244
69	0.000	-0.069	0.091	0.034	-0.235
70	0.000	-0.027	0.050	0.093	0.031
71	0.000	-0.069	0.055	0.084	0.200
72	0.000	-0.055	0.147	0.185	0.429
73	0.000	-0.108	0.206	0.188	0.403
74	0.000	-0.037	0.100	0.212	0.339
75	0.000	-0.032	0.205	0.375	0.175
76	0.000	-0.090	0.000	0.518	-0.006
77	0.000	0.172	-0.043	0.413	0.348
78	0.000	0.307	-0.051	0.337	0.697
79	0.000	0.252	-0.148	0.415	0.650
80	0.000	0.350	-0.046	0.511	0.679
81	0.000	0.420	-0.080	0.460	0.481
82	0.000	0.340	0.153	0.283	0.320
83	0.000	0.453	0.384	0.336	0.270
84	0.000	0.354	0.351	0.203	-0.114
85	0.000	0.365	0.305	0.064	0.191
86	0.000	0.354	0.253	-0.042	0.080
87	0.000	0.350	0.287	-0.054	-0.101
88	0.000	0.369	0.375	-0.090	0.031
89	0.000	0.420	0.285	-0.202	-0.299
90	0.000	0.453	0.256	0.004	-0.259
91	0.000	0.345	0.179	0.130	-0.423
92	0.000	0.579	0.038	0.087	-0.023
93	0.000	0.502	0.006	0.057	0.559
94	0.000	0.458	-0.170	0.230	0.433
95	0.000	0.467	-0.068	0.330	0.538
96	0.000	0.300	-0.043	0.242	0.496
97	0.000	0.291	0.045	0.197	0.101
98	0.000	0.325	0.191	0.181	0.051
99	0.000	0.143	0.137	-0.002	-0.144
100	0.000	0.213	0.177	-0.107	-0.133

RO= 0.666

I	A	HFG	HFD	HFM	HTF
τ	$d\tau$	$\frac{10}{h\tau}$	$\frac{10}{h\tau}$	$\frac{10}{h\tau}$	$\frac{10}{h\tau}$
1	0.000	199.920	199.920	120.000	120.000
2	0.000	199.920	199.920	120.000	120.000
3	0.000	199.920	199.920	178.422	178.422
4	0.000	199.920	199.920	178.422	178.422
5	0.000	156.923	156.923	178.422	178.422
6	0.000	156.923	156.923	178.422	178.422
7	0.000	156.923	156.923	162.706	162.706
8	0.000	156.923	156.923	162.706	162.706
9	0.000	168.489	168.489	162.706	162.706
10	0.000	168.489	168.489	162.706	162.706
11	0.000	168.489	168.489	166.934	137.205
12	0.000	168.489	168.489	166.934	137.205
13	0.000	165.378	165.920	166.934	137.205
14	0.000	165.378	165.920	211.342	181.613
15	0.000	165.378	165.920	210.204	166.741
16	0.000	254.194	194.730	210.204	166.741
17	0.000	255.031	227.561	180.475	166.741
18	0.000	255.031	227.561	200.992	187.257
19	0.000	195.573	227.561	201.298	200.310
20	0.000	147.790	179.778	201.298	200.310
21	0.000	147.565	173.060	167.503	190.623
22	0.000	147.565	173.060	168.522	171.582
23	0.000	179.553	153.685	168.439	179.901
24	0.000	189.253	163.335	158.752	170.213
25	0.000	189.314	180.742	175.448	172.893
26	0.000	169.939	167.367	162.898	160.344
27	0.000	171.343	192.102	153.233	143.786
28	0.000	136.544	157.302	143.967	134.520
29	0.000	117.153	100.830	167.810	167.700
30	0.000	117.990	101.673	145.505	145.396
31	0.000	164.277	143.299	144.231	129.398
32	0.000	154.457	133.439	128.091	113.259
33	0.000	171.308	157.966	112.446	115.871
34	0.000	138.137	124.645	113.286	116.711
35	0.000	60.616	88.443	125.815	121.709
36	0.000	72.165	99.933	117.333	113.227
37	0.000	80.321	85.451	93.680	93.935
38	0.000	96.479	101.589	100.020	100.875
39	0.000	120.744	99.427	81.490	100.690
40	0.000	129.134	101.817	99.205	118.405
41	0.000	82.659	115.929	96.806	109.764
42	0.000	101.931	135.201	87.478	100.376
43	0.000	66.988	120.101	71.340	91.332
44	0.000	45.822	98.935	105.176	125.168
45	0.000	60.022	66.734	66.214	110.155
46	0.000	168.422	115.135	78.000	102.541
47	0.000	105.440	100.210	83.407	64.457
48	0.000	111.378	106.148	76.550	57.519
49	0.000	106.953	62.179	72.122	67.682
50	0.000	44.677	-0.090	57.022	52.582
51	0.000	38.804	35.153	76.163	51.916
52	0.000	2.000	-0.985	59.830	35.583
53	0.000	45.373	41.653	40.904	42.452
54	0.000	74.983	71.263	35.155	36.702
55	0.000	43.005	49.750	62.907	87.381
56	0.000	67.644	74.390	59.808	84.283
57	0.000	80.440	133.110	67.122	73.719
58	0.000	44.633	97.363	73.063	79.660
59	0.000	01.010	07.000	67.000	00.000

50	0.000	78.433	84.931	88.791	117.466
51	0.000	114.593	119.272	94.365	105.844
52	0.000	132.949	137.628	82.696	94.176
53	0.000	97.489	113.999	75.383	70.153
54	0.000	86.910	103.420	86.952	81.723
55	0.000	36.173	21.035	48.700	67.024
56	0.000	40.956	25.817	64.631	83.555
57	0.000	-0.090	21.249	68.173	56.740
58	0.000	42.352	63.690	58.509	57.076
59	0.000	100.173	92.144	60.835	71.066
70	0.000	96.053	88.334	103.633	113.865
71	0.000	121.759	120.883	117.641	108.754
72	0.000	104.914	164.039	118.210	169.322
73	0.000	135.110	125.063	135.832	126.137
74	0.000	140.357	130.310	157.509	147.814
75	0.000	149.904	131.391	139.973	164.510
76	0.000	150.103	131.589	142.181	166.719
77	0.000	144.836	203.957	140.763	157.007
78	0.000	144.000	203.128	124.630	140.874
79	0.000	131.621	182.623	148.085	158.922
80	0.000	99.158	150.150	139.349	150.186
81	0.000	151.335	113.887	163.235	167.146
82	0.000	134.093	97.245	150.263	154.174
83	0.000	194.848	151.659	170.618	142.365
84	0.000	201.358	158.139	184.384	150.132
85	0.000	201.902	170.844	201.907	181.423
86	0.000	234.070	203.018	197.394	176.850
87	0.000	209.086	211.177	199.816	166.346
88	0.000	193.420	195.511	199.155	165.683
89	0.000	197.734	161.848	194.409	173.305
90	0.000	164.234	128.348	202.347	181.243
91	0.000	179.731	135.432	185.740	185.656
92	0.000	211.273	166.975	179.470	179.386
93	0.000	173.745	209.465	179.059	162.366
94	0.000	194.705	230.425	193.524	170.831
95	0.000	178.387	189.301	179.890	174.235
96	0.000	175.775	186.688	211.606	205.951
97	0.000	186.034	139.006	183.570	183.273
98	0.000	228.500	181.477	170.282	169.985
99	0.000	188.753	177.246	182.952	165.029
100	0.000	164.790	153.283	194.708	176.785

RU= 0.666

I T	A dt	HIC 1C Kc	HIB 1B Kc	HIK 1K Kc	HIE 1E Kc
1	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
2	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
3	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
4	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
5	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
6	0.000	120.000	120.000	120.000	120.000
7	0.000	154.994	120.000	120.000	120.000
8	0.000	154.994	120.000	120.000	120.000
9	0.000	154.994	120.000	120.000	120.000
10	0.000	189.989	120.000	120.000	120.000
11	0.000	180.575	120.000	120.000	120.000
12	0.000	180.575	145.476	120.000	120.000
13	0.000	180.575	145.476	120.000	120.000
14	0.000	171.152	145.476	120.000	120.000
15	0.000	169.919	170.952	120.000	120.000
16	0.000	169.919	164.099	120.000	120.000
17	0.000	162.285	164.099	120.000	120.000
18	0.000	170.456	145.552	120.000	120.000
19	0.000	157.773	138.699	120.000	120.000
20	0.000	150.140	137.795	152.329	120.000
21	0.000	157.832	119.248	152.329	120.000
22	0.000	175.079	125.669	152.329	184.658
23	0.000	167.525	131.558	184.658	184.658
24	0.000	155.804	117.280	199.594	184.658
25	0.000	182.773	123.641	199.594	249.316
26	0.000	157.420	128.035	176.059	214.530
27	0.000	160.907	135.546	190.995	214.530
28	0.000	145.893	147.635	177.132	167.459
29	0.000	130.950	140.188	153.597	132.673
30	0.000	134.571	157.045	144.404	139.735
31	0.000	134.677	150.770	139.299	92.003
32	0.000	129.938	155.359	123.701	121.470
33	0.000	139.428	145.544	114.629	145.925
34	0.000	120.830	124.659	130.734	107.788
35	0.000	111.205	130.991	149.204	136.594
36	0.000	117.333	123.197	141.909	139.998
37	0.000	123.695	125.148	142.987	152.483
38	0.000	112.951	113.998	100.364	176.031
39	0.000	109.879	105.010	101.149	149.380
40	0.000	119.654	99.097	153.009	192.770
41	0.000	97.599	82.929	118.110	169.814
42	0.000	102.475	89.638	113.811	129.987
43	0.000	77.528	92.476	93.406	80.840
44	0.000	60.530	88.216	77.788	34.851
45	0.000	70.377	100.840	70.824	16.999
46	0.000	61.465	109.730	57.334	25.589
47	0.000	75.752	120.778	53.507	54.809
48	0.000	93.542	117.353	50.743	79.816
49	0.000	81.270	98.336	60.505	90.015
50	0.000	79.438	106.557	63.359	75.896
51	0.000	89.740	102.931	56.781	66.322
52	0.000	91.240	102.548	02.116	40.902
53	0.000	80.973	99.124	63.818	23.548
54	0.000	83.067	87.114	60.463	48.336
55	0.000	90.017	82.226	62.793	61.315
56	0.000	72.050	75.320	61.095	74.024
57	0.000	74.395	83.801	60.830	102.038
58	0.000	57.247	86.243	61.200	73.854
59	0.000	51.300	01.170	00.701	00.000

60	0.000	53.151	96.179	88.819	48.376
61	0.000	50.411	100.401	97.053	59.403
62	0.000	74.358	103.515	100.068	103.784
63	0.000	103.742	96.139	105.450	133.700
64	0.000	90.457	103.311	110.520	151.760
65	0.000	100.454	101.397	118.908	151.497
66	0.000	115.809	99.473	121.232	117.256
67	0.000	108.298	128.075	121.630	104.055
68	0.000	117.659	137.348	120.459	90.704
69	0.000	111.751	130.900	124.033	91.703
70	0.000	116.733	127.179	131.106	123.001
71	0.000	111.703	120.648	130.042	144.011
72	0.000	113.331	137.594	142.198	171.508
73	0.000	107.006	144.738	142.535	108.321
74	0.000	115.593	132.656	145.400	160.735
75	0.000	116.169	144.573	105.039	141.059
76	0.000	108.401	127.239	182.158	119.291
77	0.000	140.671	114.893	169.506	101.758
78	0.000	150.824	113.922	100.391	203.580
79	0.000	150.279	102.288	169.760	197.953
80	0.000	153.171	114.519	181.352	201.491
81	0.000	170.407	110.379	175.149	177.705
82	0.000	161.552	139.509	153.919	159.124
83	0.000	174.310	160.073	160.345	152.344
84	0.000	152.430	162.677	144.365	106.347
85	0.000	163.775	156.032	130.005	142.927
86	0.000	162.443	151.506	115.017	129.006
87	0.000	162.666	154.454	113.523	107.825
88	0.000	154.227	165.012	109.240	123.686
89	0.000	171.083	154.181	88.503	84.120
90	0.000	174.305	150.670	120.440	88.880
91	0.000	161.439	141.479	135.575	69.181
92	0.000	189.521	124.558	130.415	117.205
93	0.000	187.461	120.069	120.898	187.030
94	0.000	174.913	98.823	148.353	171.943
95	0.000	175.961	111.827	159.587	184.615
96	0.000	162.034	114.884	149.052	179.502
97	0.000	154.884	125.380	143.666	132.143
98	0.000	158.977	142.948	141.759	120.162
99	0.000	137.125	142.402	119.729	102.710
100	0.000	145.504	141.245	107.182	104.015

6. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U IRIGACIONOM SISTEMU SLOŽENE KONFIGURACIJE SA GRAFOM OBLIKA DRVETA

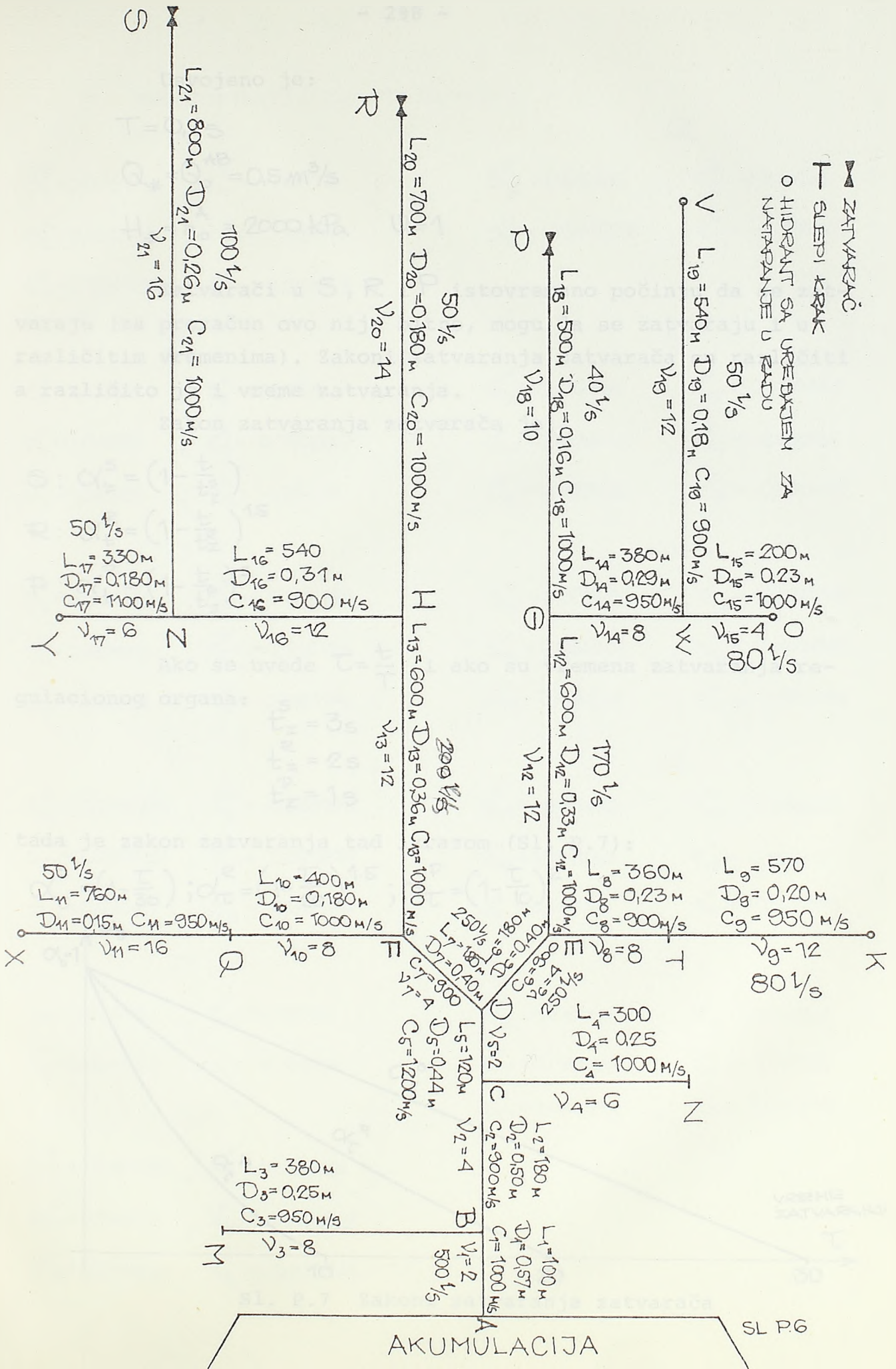
Dat je jedan irigacioni sistem složene konfiguracije, koji se snabdeva vodom iz akumulacije velikih dimenzija. Mreža za navodnjavanje data je na Sl. P.6 . Cevi su čelične.

Ovo je do sada najkomplikovaniji slučaj i na ovom primeru će se pokazati da nema nikakvih specifičnosti u proračunu i proračun se ne izdvaja od prethodnih. I ovde je pisanje jednačina vrlo lako i jednostavno. Pisanje jednačina zavisi samo od oblika, odnosno karaktera čvora i graničnih uslova na krajevima cevi. To će se uostalom videti iz ovog primera.

Karakteristike cevi date su u tabeli.

Tabela karakteristika cevi

CEV	PREČNIK D_i m	A m^2	$\rho = \frac{CQ^*}{gAh_0^A}$	L m	$\mu = \frac{2L}{C}$ sec	$\nu = \frac{\mu}{T}$	C m/s	$\frac{N_i}{b_i} = \frac{Q_0}{Q^*}$
1=AB	0,57	0,255	1,00	100	0,2	2	1000	
2=CB	0,50	0,196	1,17	180	0,4	4	900	
3=MB	0,25	0,049	4,83	380	0,8	8	950	
4=NC	0,25	0,049	5,19	300	0,6	6	1000	
5=CD	0,44	0,152	2,01	120	0,2	2	1200	
6=ED	0,40	0,126	1,82	180	0,4	4	900	
7=FD	0,40	0,126	1,82	180	0,4	4	900	
8=ET	0,23	0,042	5,52	360	0,8	8	900	
9=TK	0,20	0,031	7,71	570	1,2	12	950	$b^k = 0,16$
10=QF	0,18	0,025	10,01	400	0,8	8	1000	
11=XQ	0,15	0,018	13,70	760	1,6	16	950	$b^x = 0,1$
12=EG	0,33	0,085	2,98	600	1,2	12	1000	
13=FH	0,36	0,102	2,50	600	1,2	12	1000	
14=GW	0,29	0,066	3,66	380	0,8	8	950	
15=OX	0,23	0,042	6,13	200	0,4	4	1000	$b^o = 0,16$
16=ZH	0,31	0,075	3,04	540	1,2	12	900	
17=ZY	0,18	0,025	11,02	330	0,6	6	1100	$b^y = 0,1$
18=PG	0,16	0,020	12,67	500	1,0	10	1000	$b^p = 0,08$
19=VW	0,18	0,025	9,01	540	1,2	12	900	$b^v = 0,1$
20=RH	0,18	0,025	10,01	700	1,4	14	1000	$b^r = 0,1$
21=ZS	0,26	0,053	4,80	800	1,6	16	1000	$b^s = 0,2$



Usvojeno je:

$$T = 0,1 \text{ s}$$

$$Q_* = Q_o^{AB} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_* = h_o^A = 2000 \text{ kPa} \quad \psi = 1$$

Zatvarači u S, R i P istovremeno počinju da se zatvaraju (za proračun ovo nije bitno, mogu da se zatvaraju i u različitim vremenima). Zakoni zatvaranja zatvarača su različiti a različito je i vreme zatvaranja.

Zakon zatvaranja zatvarača je:

$$S: \alpha_t^S = \left(1 - \frac{t}{t_z^S}\right)$$

$$R: \alpha_t^R = \left(1 - \frac{t}{t_z^R}\right)^{1,5}$$

$$P: \alpha_t^P = \left(1 - \frac{t}{t_z^P}\right)^2$$

Ako se uvede $\tau = \frac{t}{T}$ i ako su vremena zatvaranja regulacionog organa:

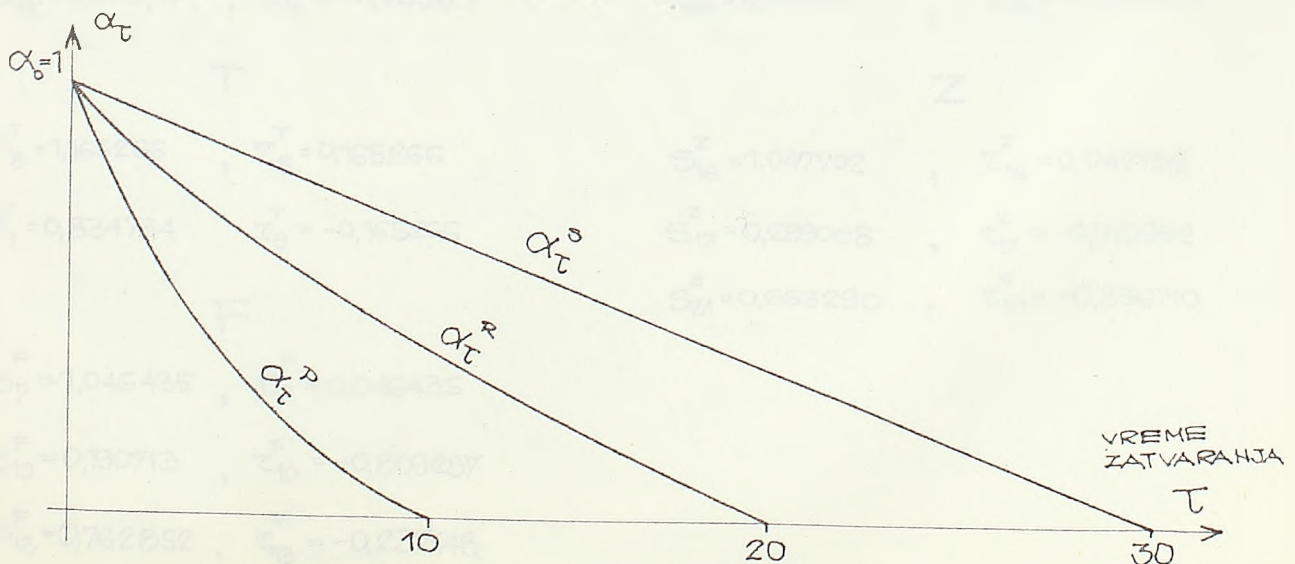
$$t_z^S = 3 \text{ s}$$

$$t_z^R = 2 \text{ s}$$

$$t_z^P = 1 \text{ s}$$

tada je zakon zatvaranja tad izrazom (Sl. P.7):

$$\alpha_\tau^S = \left(1 - \frac{\tau}{30}\right); \alpha_\tau^R = \left(1 - \frac{\tau}{20}\right)^{1,5}; \alpha_\tau^P = \left(1 - \frac{\tau}{10}\right)^2$$



Sl. P.7 Zakoni zatvaranja zatvarača

KOEFICIJENTI S_i | $\tau_i = S_i - 1$

B

$$\begin{aligned} S_1^B &= 0,9721, & \tau_1^B &= -0,0279 \\ S_2^B &= 0,831089, & \tau_2^B &= -0,168911 \\ S_3^B &= 0,186837, & \tau_3^B &= -0,803163 \end{aligned}$$

Q

$$\begin{aligned} S_{10}^Q &= 1,155405, & \tau_{10}^Q &= 0,155405 \\ S_{11}^Q &= 0,844595, & \tau_{11}^Q &= -0,155405 \end{aligned}$$

C

$$\begin{aligned} S_2^C &= 1,10754, & \tau_2^C &= 0,10754 \\ S_4^C &= 0,24920, & \tau_4^C &= -0,75080 \\ S_5^C &= 0,64326, & \tau_5^C &= -0,35674 \end{aligned}$$

G

$$\begin{aligned} S_{12}^G &= 0,976566, & \tau_{12}^G &= -0,023434 \\ S_{14}^G &= 0,793864, & \tau_{14}^G &= -0,206136 \\ S_{18}^G &= 0,229569, & \tau_{18}^G &= -0,770431 \end{aligned}$$

D

$$\begin{aligned} S_5^D &= 0,624248, & \tau_5^D &= -0,375752 \\ S_6^D &= 0,687876, & \tau_6^D &= -0,312124 \\ S_7^D &= 0,687876, & \tau_7^D &= -0,312124 \end{aligned}$$

W

$$\begin{aligned} S_{14}^W &= 0,997894, & \tau_{14}^W &= -0,002106 \\ S_{15}^W &= 0,596304, & \tau_{15}^W &= -0,403696 \\ S_{19}^W &= 0,405802, & \tau_{19}^W &= -0,594198 \end{aligned}$$

E

$$\begin{aligned} S_8^E &= 0,340291, & \tau_8^E &= -0,659709 \\ S_9^E &= 1,029237, & \tau_9^E &= 0,029237 \\ S_{12}^E &= 0,63047, & \tau_{12}^E &= -0,36953 \end{aligned}$$

H

$$\begin{aligned} S_{13}^H &= 0,864365, & \tau_{13}^H &= -0,035635 \\ S_{16}^H &= 0,794543, & \tau_{16}^H &= -0,205457 \\ S_{20}^H &= 0,241091, & \tau_{20}^H &= -0,758909 \end{aligned}$$

T

$$\begin{aligned} S_8^T &= 1,165266, & \tau_8^T &= 0,165266 \\ S_9^T &= 0,834734, & \tau_9^T &= -0,165266 \end{aligned}$$

Z

$$\begin{aligned} S_{16}^Z &= 1,047702, & \tau_{16}^Z &= 0,047702 \\ S_{17}^Z &= 0,289008, & \tau_{17}^Z &= -0,710992 \\ S_{21}^Z &= 0,663290, & \tau_{21}^Z &= -0,336710 \end{aligned}$$

F

$$\begin{aligned} S_7^F &= 1,046435, & \tau_7^F &= 0,046435 \\ S_{10}^F &= 0,190713, & \tau_{10}^F &= -0,809287 \\ S_{13}^F &= 0,762852, & \tau_{13}^F &= -0,237148 \end{aligned}$$

Jednačine hidrauličkog udara

ČVOR B

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^B = & S_2^B \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_2}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^C + \psi_{\tau-\nu_1-\nu_3-\frac{\nu_2}{2}}^C \right) + \\ & + S_3^B \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_3}{2}}^M - \psi_{\tau-\nu_1-\frac{\nu_3}{2}}^M - \psi_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^M + \psi_{\tau-\nu_1-\nu_2-\frac{\nu_3}{2}}^M \right) - \\ & - \tau_1^B \left(\psi_{\tau-\nu_1}^B + \psi_{\tau-\nu_2-\nu_3}^B \right) - \tau_2^B \left(\psi_{\tau-\nu_2}^B + \psi_{\tau-\nu_1-\nu_3}^B \right) - \\ & - \tau_3^B \left(\psi_{\tau-\nu_3}^B + \psi_{\tau-\nu_1-\nu_2}^B \right) - \psi_{\tau-\nu_1-\nu_2-\nu_3}^B . \end{aligned}$$

ČVOR C

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^C = & S_2^C \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_2}{2}}^B - \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_2}{2}}^B - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_2}{2}}^B + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5-\frac{\nu_2}{2}}^B \right) + \\ & + S_4^C \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_4}{2}}^H - \psi_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_4}{2}}^N - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^N + \psi_{\tau-\nu_2-\nu_5-\frac{\nu_4}{2}}^N \right) + \\ & + S_5^C \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_5}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_2-\frac{\nu_5}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_4-\frac{\nu_5}{2}}^D + \psi_{\tau-\nu_2-\nu_4-\frac{\nu_5}{2}}^D \right) - \\ & - \tau_2^C \left(\psi_{\tau-\nu_2}^C + \psi_{\tau-\nu_4-\nu_5}^C \right) - \tau_4^C \left(\psi_{\tau-\nu_4}^C + \psi_{\tau-\nu_2-\nu_5}^C \right) - \\ & - \tau_5^C \left(\psi_{\tau-\nu_5}^C + \psi_{\tau-\nu_2-\nu_4}^C \right) - \psi_{\tau-\nu_2-\nu_4-\nu_5}^C . \end{aligned}$$

ČVOR D

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^D = & S_5^D \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_5}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_5}{2}}^C - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_5}{2}}^C + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7-\frac{\nu_5}{2}}^C \right) + \\ & + S_6^D \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_6}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_6}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_6}{2}}^E + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_7-\frac{\nu_6}{2}}^E \right) + \\ & + S_7^D \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_7}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_5-\frac{\nu_7}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_7}{2}}^F + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_6-\frac{\nu_7}{2}}^F \right) - \\ & - \tau_5^D \left(\psi_{\tau-\nu_5}^D + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_7}^D \right) - \tau_6^D \left(\psi_{\tau-\nu_6}^D + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_7}^D \right) - \\ & - \tau_7^D \left(\psi_{\tau-\nu_7}^D + \psi_{\tau-\nu_5-\nu_6}^D \right) - \psi_{\tau-\nu_5-\nu_6-\nu_7}^D . \end{aligned}$$

čvor E

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^E = & S_6^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_6}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_6}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_{12}-\frac{\nu_6}{2}}^D + \psi_{\tau-\nu_8-\nu_{12}-\frac{\nu_6}{2}}^D \right) + \\ & + S_8^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_8}{2}}^T - \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_8}{2}}^T - \psi_{\tau-\nu_{12}-\frac{\nu_8}{2}}^T + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_{12}-\frac{\nu_8}{2}}^T \right) + \\ & + S_{12}^E \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{12}}{2}}^G - \psi_{\tau-\nu_6-\frac{\nu_{12}}{2}}^G - \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_{12}}{2}}^G + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_8-\frac{\nu_{12}}{2}}^G \right) - \\ & - \tau_6^E \left(\psi_{\tau-\nu_6}^E + \psi_{\tau-\nu_8-\nu_{12}}^E \right) - \tau_8^E \left(\psi_{\tau-\nu_8}^E + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_{12}}^E \right) - \\ & - \tau_{12}^E \left(\psi_{\tau-\nu_{12}}^E + \psi_{\tau-\nu_6-\nu_8}^E \right) - \psi_{\tau-\nu_6-\nu_8-\nu_{12}}^E . \end{aligned}$$

čvor T

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^T = & S_8^T \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_8}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_9-\frac{\nu_8}{2}}^E \right) + S_9^T \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_9}{2}}^K - \psi_{\tau-\nu_8-\frac{\nu_9}{2}}^K \right) - \\ & - \tau_8^T \psi_{\tau-\nu_8}^T - \tau_9^T \psi_{\tau-\nu_9}^T + \psi_{\tau-\nu_8-\nu_9}^T \end{aligned}$$

čvor F

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^F = & S_7^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_7}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_7}{2}}^D - \psi_{\tau-\nu_{13}-\frac{\nu_7}{2}}^D + \psi_{\tau-\nu_{10}-\nu_{13}-\frac{\nu_7}{2}}^D \right) + \\ & + S_{10}^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{10}}{2}}^Q - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_{10}}{2}}^Q - \psi_{\tau-\nu_{13}-\frac{\nu_{10}}{2}}^Q + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_{13}-\frac{\nu_{10}}{2}}^Q \right) + \\ & + S_{13}^F \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{13}}{2}}^H - \psi_{\tau-\nu_7-\frac{\nu_{13}}{2}}^H - \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_{13}}{2}}^H + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_{10}-\frac{\nu_{13}}{2}}^H \right) - \\ & - \tau_7^F \left(\psi_{\tau-\nu_7}^F + \psi_{\tau-\nu_{10}-\nu_{13}}^F \right) - \tau_{10}^F \left(\psi_{\tau-\nu_{10}}^F + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_{13}}^F \right) - \\ & - \tau_{13}^F \left(\psi_{\tau-\nu_{13}}^F + \psi_{\tau-\nu_7-\nu_{10}}^F \right) - \psi_{\tau-\nu_7-\nu_{10}-\nu_{13}}^F . \end{aligned}$$

čvor Q

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^Q = & S_{10}^Q \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{10}}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_{11}-\frac{\nu_{10}}{2}}^F \right) + S_{11}^Q \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{11}}{2}}^X - \psi_{\tau-\nu_{10}-\frac{\nu_{11}}{2}}^X \right) - \\ & - \tau_{10}^Q \psi_{\tau-\nu_{10}}^Q - \tau_{11}^Q \psi_{\tau-\nu_{11}}^Q + \psi_{\tau-\nu_{10}-\nu_{11}}^Q . \end{aligned}$$

ČVOR G

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^G = & S_{12}^G \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{12}}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_{14}-\frac{\nu_{12}}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_{18}-\frac{\nu_{12}}{2}}^E - \psi_{\tau-\nu_{14}-\nu_{18}-\frac{\nu_{12}}{2}}^E \right) + \\
 & + S_{14}^G \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{14}}{2}}^W - \psi_{\tau-\nu_{12}-\frac{\nu_{14}}{2}}^W - \psi_{\tau-\nu_{18}-\frac{\nu_{14}}{2}}^W + \psi_{\tau-\nu_{12}-\nu_{18}-\frac{\nu_{14}}{2}}^W \right) + \\
 & + S_{18}^G \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{18}}{2}}^P - \psi_{\tau-\nu_{12}-\frac{\nu_{18}}{2}}^P - \psi_{\tau-\nu_{14}-\frac{\nu_{18}}{2}}^P + \psi_{\tau-\nu_{12}-\nu_{14}-\frac{\nu_{18}}{2}}^P \right) - \\
 & - \tau_{12}^G \left(\psi_{\tau-\nu_{12}}^G + \psi_{\tau-\nu_{14}-\nu_{18}}^G \right) - \tau_{14}^G \left(\psi_{\tau-\nu_{14}}^G + \psi_{\tau-\nu_{12}-\nu_{18}}^G \right) - \\
 & - \tau_{18}^G \left(\psi_{\tau-\nu_{18}}^G + \psi_{\tau-\nu_{12}-\nu_{14}}^G \right) - \psi_{\tau-\nu_{12}-\nu_{14}-\nu_{18}}^G .
 \end{aligned}$$

ČVOR W

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^W = & S_{14}^W \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{14}}{2}}^S - \psi_{\tau-\nu_{15}-\frac{\nu_{14}}{2}}^S - \psi_{\tau-\nu_{19}-\frac{\nu_{14}}{2}}^S + \psi_{\tau-\nu_{15}-\nu_{19}-\frac{\nu_{14}}{2}}^S \right) + \\
 & + S_{15}^W \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{15}}{2}}^O - \psi_{\tau-\nu_{14}-\frac{\nu_{15}}{2}}^O - \psi_{\tau-\nu_{19}-\frac{\nu_{15}}{2}}^O + \psi_{\tau-\nu_{14}-\nu_{19}-\frac{\nu_{15}}{2}}^O \right) + \\
 & + S_{19}^W \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{19}}{2}}^V - \psi_{\tau-\nu_{14}-\frac{\nu_{19}}{2}}^V - \psi_{\tau-\nu_{15}-\frac{\nu_{19}}{2}}^V + \psi_{\tau-\nu_{14}-\nu_{15}-\frac{\nu_{19}}{2}}^V \right) - \\
 & - \tau_{14}^W \left(\psi_{\tau-\nu_{14}}^W + \psi_{\tau-\nu_{15}-\nu_{19}}^W \right) - \tau_{15}^W \left(\psi_{\tau-\nu_{15}}^W + \psi_{\tau-\nu_{14}-\nu_{19}}^W \right) - \\
 & - \tau_{19}^W \left(\psi_{\tau-\nu_{19}}^W + \psi_{\tau-\nu_{14}-\nu_{15}}^W \right) - \psi_{\tau-\nu_{14}-\nu_{15}-\nu_{19}}^W .
 \end{aligned}$$

ČVOR H

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^H = & S_{13}^H \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{13}}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_{16}-\frac{\nu_{13}}{2}}^F - \psi_{\tau-\nu_{20}-\frac{\nu_{13}}{2}}^F + \psi_{\tau-\nu_{16}-\nu_{20}-\frac{\nu_{13}}{2}}^F \right) + \\
 & + S_{16}^H \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{16}}{2}}^Z - \psi_{\tau-\nu_{13}-\frac{\nu_{16}}{2}}^Z - \psi_{\tau-\nu_{20}-\frac{\nu_{16}}{2}}^Z + \psi_{\tau-\nu_{13}-\nu_{20}-\frac{\nu_{16}}{2}}^Z \right) + \\
 & + S_{20}^H \left(\psi_{\tau-\frac{\nu_{20}}{2}}^R - \psi_{\tau-\nu_{13}-\frac{\nu_{20}}{2}}^R - \psi_{\tau-\nu_{16}-\frac{\nu_{20}}{2}}^R + \psi_{\tau-\nu_{13}-\nu_{16}-\frac{\nu_{20}}{2}}^R \right) - \\
 & - \tau_{13}^H \left(\psi_{\tau-\nu_{13}}^H + \psi_{\tau-\nu_{16}-\nu_{20}}^H \right) - \tau_{16}^H \left(\psi_{\tau-\nu_{16}}^H + \psi_{\tau-\nu_{13}-\nu_{20}}^H \right) - \\
 & - \tau_{20}^H \left(\psi_{\tau-\nu_{20}}^H + \psi_{\tau-\nu_{13}-\nu_{16}}^H \right) - \psi_{\tau-\nu_{13}-\nu_{16}-\nu_{20}}^H .
 \end{aligned}$$

ČVOR Z

$$\begin{aligned}
 \mathcal{V}_T^Z = & S_{16}^Z \left(\mathcal{V}_{T-\frac{v_{16}}{2}}^H - \mathcal{V}_{T-v_{17}-\frac{v_{16}}{2}}^H - \mathcal{V}_{T-v_{21}-\frac{v_{16}}{2}}^H + \mathcal{V}_{T-v_{17}-v_{21}-\frac{v_{16}}{2}}^H \right) + \\
 & + S_{17}^Z \left(\mathcal{V}_{T-\frac{v_{17}}{2}}^Y - \mathcal{V}_{T-v_{16}-\frac{v_{17}}{2}}^Y - \mathcal{V}_{T-v_{21}-\frac{v_{17}}{2}}^Y + \mathcal{V}_{T-v_{16}-v_{21}-\frac{v_{17}}{2}}^Y \right) + \\
 & + S_{21}^Z \left(\mathcal{V}_{T-\frac{v_{21}}{2}}^S - \mathcal{V}_{T-v_{16}-\frac{v_{21}}{2}}^S - \mathcal{V}_{T-v_{17}-\frac{v_{21}}{2}}^S + \mathcal{V}_{T-v_{16}-v_{17}-\frac{v_{21}}{2}}^S \right) - \\
 & - \mathcal{E}_{16}^Z \left(\mathcal{V}_{T-v_{16}}^Z + \mathcal{V}_{T-v_{17}-v_{21}}^Z \right) - \mathcal{E}_{17}^Z \left(\mathcal{V}_{T-v_{17}}^Z - \mathcal{V}_{T-v_{16}-v_{17}}^Z \right) - \\
 & - \mathcal{E}_{21}^Z \left(\mathcal{V}_{T-v_{21}}^Z + \mathcal{V}_{T-v_{16}-v_{17}}^Z \right) - \mathcal{V}_{T-v_{16}-v_{17}-v_{21}}^Z .
 \end{aligned}$$

TAČKA S

$$\mathcal{V}_T^S = \frac{p_{21} b^S (\alpha_{T-v_{21}}^S - \alpha_T^S) + \left(\frac{1}{2} p_{21} b^S \psi^S \alpha_{T-v_{21}}^S - 1 \right) \mathcal{V}_{T-v_{21}}^S + 2 \mathcal{V}_{T-\frac{v_{21}}{2}}^Z}{1 + \frac{1}{2} p_{21} b^S \psi^S \alpha_T^S}$$

TAČKA R

$$\mathcal{V}_T^R = \frac{p_{20} b^R (\alpha_{T-v_{20}}^R - \alpha_T^R) + \left(\frac{1}{2} p_{20} b^R \psi^R \alpha_{T-v_{20}}^R - 1 \right) \mathcal{V}_{T-v_{20}}^R + 2 \mathcal{V}_{T-\frac{v_{20}}{2}}^H}{1 + \frac{1}{2} p_{20} b^R \psi^R \alpha_T^R}$$

TAČKA P

$$\mathcal{V}_T^P = \frac{p_{18} b^P (\alpha_{T-v_{18}}^P - \alpha_T^P) + \left(\frac{1}{2} p_{18} b^P \psi^P \alpha_{T-v_{18}}^P - 1 \right) \mathcal{V}_{T-v_{18}}^P + 2 \mathcal{V}_{T-\frac{v_{18}}{2}}^G}{1 + \frac{1}{2} p_{18} b^P \psi^P \alpha_T^P}$$

TAČKA V

$$\mathcal{V}_T^V = \frac{\left(\frac{1}{2} p_{19} b^V \psi^V - 1 \right) \mathcal{V}_{T-v_{19}}^V + 2 \mathcal{V}_{T-\frac{v_{19}}{2}}^W}{1 + \frac{1}{2} p_{19} b^V \psi^V}$$

TAČKA O

$$\mathcal{V}_T^O = \frac{\left(\frac{1}{2} p_{15} b^O \psi^O - 1 \right) \mathcal{V}_{T-v_{15}}^O + 2 \mathcal{V}_{T-\frac{v_{15}}{2}}^W}{1 + \frac{1}{2} p_{15} b^O \psi^O}$$

TAČKA K

$$v_c^k = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho_9 b^k \psi^k - 1\right) v_{c-v_9}^k + 2v_{c-\frac{v_9}{2}}^T}{1 + \frac{1}{2} \rho_9 b^k \psi^k}$$

TAČKA Y

$$v_c^Y = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho_{17} b^Y \psi^Y - 1\right) v_{c-v_{17}}^Y + 2v_{c-\frac{v_{17}}{2}}^Z}{1 + \frac{1}{2} \rho_{17} b^Y \psi^Y}$$

TAČKA X

$$v_c^x = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho_{11} b^x \psi^x - 1\right) v_{c-v_{11}}^x + 2v_{c-\frac{v_{11}}{2}}^Q}{1 + \frac{1}{2} \rho_{11} b^x \psi^x}$$

TAČKA M (Slepi kraj)

$$v_c^M = -v_{c-v_3}^M + 2v_{c-\frac{v_3}{2}}^B$$

TAČKA N (Slepi kraj)

$$v_c^N = -v_{c-v_4}^N + 2v_{c-\frac{v_4}{2}}^c$$

Pošto je usvojeno $H_* = h_o = 2000 \text{ kPa}$ kad se zanemari trenje onda je u svim tačkama $h_o = 2000 \text{ kPa}$ kao i na mestu zatvarača, odnosno na krajevima cevi kroz koje ističe voda. Prema tome je:

$$\psi = \frac{H_*}{h_o} = \frac{h_o}{h_o} = 1$$

Ako se u ove jednačine unesu numeričke vrednosti, onda one izgledaju:

$$v_t^S = \frac{0,96(\alpha_{t-16}^S - \alpha_t^S) + (0,48\alpha_{t-16}^S - 1)v_{t-16}^S + 2v_{t-8}^Z}{1 + 0,48\alpha_t^S}$$

$$v_t^R = \frac{1,00(\alpha_{t-14}^R - \alpha_t^R) + (0,50\alpha_{t-14}^R - 1)v_{t-14}^R + 2v_{t-7}^H}{1 + 0,50\alpha_t^R}$$

$$v_t^P = \frac{1,0136(\alpha_{t-10}^P - \alpha_t^P) + (0,5068\alpha_{t-10}^P - 1)v_{t-10}^P + 2v_{t-5}^G}{1 + 0,5068\alpha_t^P}$$

$$\begin{aligned} v_t^G = & 0,976566(v_{t-6}^E - v_{t-14}^E - v_{t-16}^E + v_{t-24}^E) + \\ & + 0,793864(v_{t-4}^W - v_{t-16}^W - v_{t-14}^W + v_{t-26}^W) + \\ & + 0,229569(v_{t-5}^P - v_{t-17}^P - v_{t-13}^P + v_{t-25}^P) + \\ & + 0,023434(v_{t-12}^G + v_{t-18}^G) + 0,206136(v_{t-8}^G + v_{t-22}^G) + \\ & + 0,770431(v_{t-10}^G + v_{t-20}^G) - v_{t-30}^G. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_t^H = & 0,964365(v_{t-6}^F - v_{t-18}^F - v_{t-20}^F + v_{t-32}^F) + \\ & + 0,794543(v_{t-6}^Z - v_{t-18}^Z - v_{t-20}^Z + v_{t-32}^Z) + \\ & + 0,241091(v_{t-7}^R - 2v_{t-19}^R + v_{t-31}^R) + \\ & + 0,241092(v_{t-12}^H + v_{t-26}^H) + 0,758909(v_{t-14}^H + v_{t-24}^H) - v_{t-38}^H. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_t^Z = & 1,047702(v_{t-6}^H - v_{t-12}^H - v_{t-22}^H + v_{t-28}^H) + \\ & + 0,289008(v_{t-3}^Y - v_{t-15}^Y - v_{t-19}^Y + v_{t-31}^Y) + \\ & + 0,663290(v_{t-8}^S - v_{t-20}^S - v_{t-14}^S + v_{t-26}^S) - \\ & - 0,047702(v_{t-12}^Z + v_{t-22}^Z) + 0,710992(v_{t-6}^Z + v_{t-28}^Z) + \\ & + 0,336710(v_{t-16}^Z + v_{t-18}^Z) - v_{t-34}^Z. \end{aligned}$$

$$v_t^Y = \frac{-0,449 v_{t-6}^Y + 2 v_{t-3}^Z}{1,449}$$

odnosno,

$$v_t^Y = -0,289491 v_{t-6}^Y + 1,289491 v_{t-3}^Z$$

$$\begin{aligned} v_t^W = & 0,997894 (v_{t-4}^G - v_{t-8}^G - v_{t-16}^G + v_{t-20}^G) + \\ & + 0,596304 (v_{t-2}^O - v_{t-10}^O - v_{t-14}^O + v_{t-22}^O) + \\ & + 0,405802 (v_{t-6}^V - v_{t-14}^V - v_{t-10}^V + v_{t-18}^V) + \\ & + 0,002106 (v_{t-8}^W + v_{t-16}^W) + 0,403696 (v_{t-4}^W + v_{t-20}^W) + \\ & + 1,188396 v_{t-12}^W - v_{t-24}^W \end{aligned}$$

$$v_t^O = -0,341922 v_{t-4}^O + 1,341922 v_{t-2}^W$$

$$v_t^V = -0,378835 v_{t-12}^V + 1,378835 v_{t-6}^W$$

$$\begin{aligned} v_t^E = & 1,029237 (v_{t-2}^D - v_{t-10}^D - v_{t-14}^D + v_{t-22}^D) + \\ & + 0,340291 (v_{t-4}^T - v_{t-8}^T - v_{t-16}^T + v_{t-20}^T) + \\ & + 0,63047 (v_{t-6}^G - v_{t-10}^G - v_{t-14}^G + v_{t-18}^G) - \\ & - 0,029237 (v_{t-4}^E + v_{t-20}^E) + 0,659709 (v_{t-8}^E + v_{t-16}^E) + \\ & + 0,73906 v_{t-12}^E - v_{t-24}^E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_t^T = & 1,165266 (v_{t-4}^E - v_{t-16}^E) + 0,834734 (v_{t-6}^K - v_{t-14}^K) - \\ & - 0,165266 v_{t-8}^T + 0,165266 v_{t-12}^T + v_{t-20}^T . \end{aligned}$$

$$v_t^k = -0,237 v_{t-12}^k + 1,237 v_{t-6}^T$$

$$\begin{aligned} v_t^F &= 1,046435 (v_{t-2}^D - v_{t-10}^D - v_{t-14}^D + v_{t-22}^D) + \\ &+ 0,190713 (v_{t-4}^Q - v_{t-8}^Q - v_{t-16}^Q + v_{t-20}^Q) + \\ &+ 0,762852 (v_{t-6}^H - v_{t-10}^H - v_{t-14}^H + v_{t-18}^H) - \\ &- 0,046435 (v_{t-4}^F + v_{t-20}^F) + 0,809287 (v_{t-8}^F + v_{t-16}^F) + \\ &+ 0,474296 v_{t-12}^F - v_{t-24}^F . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_t^Q &= 1,155405 (v_{t-4}^F - v_{t-20}^F) + 0,844595 (v_{t-8}^x - v_{t-16}^x) - \\ &- 0,155405 v_{t-8}^Q + 0,155405 v_{t-16}^Q + v_{t-24}^Q . \end{aligned}$$

$$v_t^x = -0,186944 v_{t-16}^x + 1,186944 v_{t-8}^Q$$

$$\begin{aligned} v_t^D &= 0,624248 (v_{t-1}^c - 2v_{t-5}^c + v_{t-9}^c) + \\ &+ 0,687876 (v_{t-2}^E - v_{t-4}^E - v_{t-6}^E + v_{t-8}^E) + \\ &+ 0,687876 (v_{t-2}^F - v_{t-4}^F - v_{t-6}^F + v_{t-8}^F) + \\ &+ 0,375752 (v_{t-2}^D + v_{t-8}^D) + 0,312124 (v_{t-4}^D + v_{t-6}^D) + \\ &+ 0,312124 (v_{t-4}^D + v_{t-6}^D) - v_{t-10}^D . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_t^c &= 1,10754 (v_{t-2}^B - v_{t-8}^B - v_{t-4}^B + v_{t-10}^B) + \\ &+ 0,24920 (v_{t-3}^N - v_{t-7}^N - v_{t-5}^N + v_{t-9}^N) + \\ &+ 0,64326 (v_{t-1}^D - v_{t-5}^D - v_{t-7}^D + v_{t-11}^D) - \\ &- 0,10754 (v_{t-4}^c + v_{t-8}^c) + 1,5016 v_{t-6}^c + \\ &+ 0,35674 (v_{t-2}^c + v_{t-10}^c) - v_{t-12}^c \end{aligned}$$

$$v_t^N = -v_{t-6}^N + 2v_{t-3}^C$$

$$\begin{aligned} v_t^B = & 0,831089(v_{t-2}^C - v_{t-4}^C - v_{t-10}^C + v_{t-12}^C) + \\ & + 0,196837(v_{t-4}^M - v_{t-6}^M - v_{t-8}^M + v_{t-10}^M) + \\ & + 0,0279(v_{t-2}^B + v_{t-12}^B) + 0,168911(v_{t-4}^B + v_{t-10}^B) + \\ & + 0,803163(v_{t-8}^B + v_{t-6}^B) - v_{t-14}^B. \end{aligned}$$

$$v_t^M = -v_{t-8}^M + 2v_{t-4}^B$$

$$v_t^A = 0$$

U ovom proračunskom primeru ima 22 jednačine i 22 nepoznate. Sistem je zatvoren i može se rešiti.

6. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U IRIGACIONOJ MREŽI SLOŽENE
KONFIGURACIJE SA GRAFOM OBLIKA DRVETA

```

DIMENSION AS(100),AR(100),AP(100),VTS(100),VTR(100),VTP(100),
*VTG(100),VTH(100),VTZ(100),VTY(100),VTW(100),VTO(100),VTV(100),
*VTE(100),VTF(100),VTK(100),VTF(100),VTO(100),VTX(100),VTD(100),
*VTC(100),VTN(100),VTB(100),VTM(100),
*HTS(100),HTR(100),HTP(100),HTG(100),HTH(100),HTZ(100),
*HTY(100),HTW(100),HTO(100),HTV(100),HTE(100),HTT(100),
*HTK(100),HTF(100),HTQ(100),HTX(100),HTD(100),
*HTC(100),HTN(100),HTB(100),HTM(100)

```

```
DO 10 I=1,100
```

```
AS(I)=0
```

```
AR(I)=0
```

```
AP(I)=0
```

```
VTS(I)=0
```

```
VTR(I)=0
```

```
VTP(I)=0
```

```
VTG(I)=0
```

```
VTH(I)=0
```

```
VTZ(I)=0
```

```
VTY(I)=0
```

```
VTW(I)=0
```

```
VTO(I)=0
```

```
VTV(I)=0
```

```
VTE(I)=0
```

```
VTF(I)=0
```

```
VTK(I)=0
```

```
VTF(I)=0
```

```
VTO(I)=0
```

```
VTX(I)=0
```

```
VTD(I)=0
```

```
VTC(I)=0
```

```
VTN(I)=0
```

```
VTB(I)=0
```

```
VTM(I)=0
```

```
HTS(I)=0
```

```
HTR(I)=0
```

```
HTP(I)=0
```

```
HTG(I)=0
```

```
HTH(I)=0
```

```
HTZ(I)=0
```

```
HTY(I)=0
```

```
HTW(I)=0
```

```
HTO(I)=0
```

```
HTV(I)=0
```

```
HTE(I)=0
```

```
HTT(I)=0
```

```
HTK(I)=0
```

```
HTF(I)=0
```

```
HTQ(I)=0
```

```
HTX(I)=0
```

```
HTD(I)=0
```

```
HTC(I)=0
```

```
HTN(I)=0
```

```
HTB(I)=0
```

```
10 HTM(I)=0
```

```
READ(2,100) NT,NAS,VAR,NAP
```

```

100 FORMAT(4I5)
  READ(2,101)(AS(I),I=1,NAS)
  READ(2,101)(AR(I),I=1,NAR)
  READ(2,101)(AP(I),I=1,NAP)
101 FORMAT(8F10.0)
  DO 20 IT=1,NT
  IF(IT.LE.16)1,2
  1 VT=0.95*(1-AS(IT))
  GO TO 3
  2 VT=0.96*(AS(IT-15)-AS(IT))+(0.48*AS(IT-16)-1)*VTS(IT-16)
  3 IF(IT.GT.8) VT=VT+2*VTZ(IT-8)
  VTS(IT)=VT/(1+0.48*AS(IT))
  HTS(IT)=200*VTS(IT)+200
  VT=0
  IF(IT.LE.14)4,5
  4 VT=(1-AR(IT))
  GO TO 6
  5 VT=(AR(IT-14)-AR(IT))+(0.50*AR(IT-14)-1)*VTR(IT-14)
  6 IF(IT.GT.7) VT=VT+2*VTH(IT-7)
  VTR(IT)=VT/(1+0.50*AR(IT))
  HTR(IT)=200*VTR(IT)+200
  VT=0
  IF(IT.LE.10)7,8
  7 VT=1.0136*(1-AP(IT))
  GO TO 9
  8 VT=1.0136*(AP(IT-10)-AP(IT))+(0.5068*AP(IT-10)-1)*VTP(IT-10)
  9 IF(IT.GT.5) VT=VT+2*VTG(IT-5)
  VTP(IT)=VT/(1+0.5068*AP(IT))
  HTP(IT)=200*VTP(IT)+200
  VT=0
  IF(IT.GT.6) VT=VT+VTE(IT-6)
  IF(IT.GT.14) VT=VT-VTE(IT-14)
  IF(IT.GT.16) VT=VT-VTE(IT-16)
  IF(IT.GT.24) VT=VT+VTE(IT-24)
  VTG(IT)=0.976566*VT
  VT=0
  IF(IT.GT.4) VT=VT+VTPW(IT-4)
  IF(IT.GT.16) VT=VT-VTPW(IT-16)
  IF(IT.GT.14) VT=VT-VTPW(IT-14)
  IF(IT.GT.26) VT=VT+VTPW(IT-26)
  VTG(IT)=VTG(IT)+0.793864*VT
  VT=0
  IF(IT.GT.5) VT=VT+VTP(IT-5)
  IF(IT.GT.17) VT=VT-VTP(IT-17)
  IF(IT.GT.13) VT=VT-VTP(IT-13)
  IF(IT.GT.25) VT=VT+VTP(IT-25)
  VTG(IT)=VTG(IT)+0.229569*VT
  VT=0
  IF(IT.GT.12) VT=VT+VTG(IT-12)
  IF(IT.GT.19) VT=VT+VTG(IT-18)
  VTG(IT)=VTG(IT)+0.023434*VT
  VT=0
  IF(IT.GT.8) VT=VT+VTG(IT-8)
  IF(IT.GT.22) VT=VT+VTG(IT-22)
  VTG(IT)=VTG(IT)+0.206136*VT
  VT=0

```

```
IF(IT.GT.10) VT=VT+VTG(IT-10)
IF(IT.GT.20) VT=VT+VTG(IT-20)
VTG(IT)=VTG(IT)+0.770431*VT
IF(IT.GT.30) VTG(IT)=VTG(IT)-VTG(IT-30)
HTG(IT)=200*VTG(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTF(IT-6)
IF(IT.GT.18) VT=VT-VTF(IT-18)
IF(IT.GT.20) VT=VT-VTF(IT-20)
IF(IT.GT.32) VT=VT+VTF(IT-32)
VTH(IT)=0.964365*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTZ(IT-6)
IF(IT.GT.18) VT=VT-VTZ(IT-18)
IF(IT.GT.20) VT=VT-VTZ(IT-20)
IF(IT.GT.32) VT=VT+VTZ(IT-32)
VTH(IT)=VTH(IT)+0.794543*VT
VT=0
IF(IT.GT.7) VT=VT+VTR(IT-7)
IF(IT.GT.19) VT=VT-2*VTR(IT-19)
IF(IT.GT.31) VT=VT+VTR(IT-31)
VTH(IT)=VTH(IT)+0.241091*VT
VT=0
IF(IT.GT.12) VT=VT+VTH(IT-12)
IF(IT.GT.25) VT=VT+VTH(IT-25)
VTH(IT)=VTH(IT)+0.241092*VT
VT=0
IF(IT.GT.14) VT=VT+VTH(IT-14)
IF(IT.GT.24) VT=VT+VTH(IT-24)
VTH(IT)=VTH(IT)+0.758909*VT
IF(IT.GT.38) VTH(IT)=VTH(IT)-VTH(IT-38)
HTH(IT)=200*VTH(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTH(IT-6)
IF(IT.GT.12) VT=VT-VTH(IT-12)
IF(IT.GT.22) VT=VT-VTH(IT-22)
IF(IT.GT.28) VT=VT+VTH(IT-28)
VTZ(IT)=1.047702*VT
VT=0
IF(IT.GT.3) VT=VT+VTY(IT-3)
IF(IT.GT.15) VT=VT-VTY(IT-15)
IF(IT.GT.19) VT=VT-VTY(IT-19)
IF(IT.GT.31) VT=VT+VTY(IT-31)
VTZ(IT)=VTZ(IT)+0.289008*VT
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTS(IT-8)
IF(IT.GT.20) VT=VT-VTS(IT-20)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTS(IT-14)
IF(IT.GT.26) VT=VT+VTS(IT-26)
VTZ(IT)=VTZ(IT)+0.66329*VT
VT=0
IF(IT.GT.12) VT=VT+VTZ(IT-12)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTZ(IT-22)
VTZ(IT)=VTZ(IT)-0.047702*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTZ(IT-6)
```

```
IF(IT.GT.28) VT=VT+VTZ(IT-28)
VTZ(IT)=VTZ(IT)+0.710992*VT
VT=0
IF(IT.GT.16) VT=VT+VTZ(IT-16)
IF(IT.GT.18) VT=VT+VTZ(IT-18)
VTZ(IT)=VTZ(IT)+0.33671*VT
IF(IT.GT.34) VTZ(IT)=VTZ(IT)-VTZ(IT-34)
HTZ(IT)=200*VTZ(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.6) VTY(IT)=VT-0.289491*VTY(IT-6)
IF(IT.GT.3) VTY(IT)=VTY(IT)+1.289491*VTZ(IT-3)
HTY(IT)=200*VTY(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTG(IT-4)
IF(IT.GT.8) VT=VT-VTG(IT-8)
IF(IT.GT.16) VT=VT-VTG(IT-16)
IF(IT.GT.20) VT=VT+VTG(IT-20)
VTW(IT)=0.997894*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTO(IT-2)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTO(IT-10)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTO(IT-14)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTO(IT-22)
VTW(IT)=VTW(IT)+0.506304*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTV(IT-6)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTV(IT-14)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTV(IT-10)
IF(IT.GT.18) VT=VT+VTV(IT-18)
VTW(IT)=VTW(IT)+0.405802*VT
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTW(IT-8)
IF(IT.GT.16) VT=VT+VTW(IT-16)
VTW(IT)=VTW(IT)+0.002105*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTW(IT-4)
IF(IT.GT.20) VT=VT+VTW(IT-20)
VTW(IT)=VTW(IT)+0.403696*VT
IF(IT.GT.12) VTW(IT)=VTW(IT)+1.188396*VTW(IT-12)
IF(IT.GT.24) VTW(IT)=VTW(IT)-VTW(IT-24)
HTW(IT)=200*VTW(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+1.341922*VTW(IT-2)
IF(IT.GT.4) VTO(IT)=VT-0.341922*VTO(IT-4)
HTO(IT)=200*VTO(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+1.378835*VTW(IT-6)
IF(IT.GT.12) VTV(IT)=VT-0.378835*VTV(IT-12)
HTV(IT)=200*VTV(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTD(IT-2)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTD(IT-10)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTD(IT-14)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTD(IT-22)
VTE(IT)=1.029237*VT
VT=0
```

```
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTT(IT-4)
IF(IT.GT.8) VT=VT-VTT(IT-8)
IF(IT.GT.15) VT=VT-VTT(IT-16)
IF(IT.GT.20) VT=VT+VTT(IT-20)
VTE(IT)=VTE(IT)+0.340291*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTG(IT-6)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTG(IT-10)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTG(IT-14)
IF(IT.GT.18) VT=VT+VTG(IT-18)
VTE(IT)=VTE(IT)+0.53047*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTE(IT-4)
IF(IT.GT.20) VT=VT+VTE(IT-20)
VTE(IT)=VTE(IT)-0.029237*VT
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTE(IT-8)
IF(IT.GT.16) VT=VT+VTE(IT-16)
VTE(IT)=VTE(IT)+0.659739*VT
IF(IT.GT.12) VTE(IT)=VTE(IT)+0.73906*VTE(IT-12)
IF(IT.GT.24) VTE(IT)=VTE(IT)-VTE(IT-24)
HTE(IT)=200*VTE(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTE(IT-4)
IF(IT.GT.16) VT=VT-VTE(IT-16)
VTT(IT)=1.165266*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTK(IT-6)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTK(IT-14)
VTT(IT)=VTT(IT)+0.834734*VT
IF(IT.GT.8) VTT(IT)=VTT(IT)-0.165266*VTT(IT-8)
IF(IT.GT.12) VTT(IT)=VTT(IT)+0.165266*VTT(IT-12)
IF(IT.GT.20) VTT(IT)=VTT(IT)+VTT(IT-20)
HTT(IT)=200*VTT(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.12) VT=VT-0.237*VTK(IT-12)
IF(IT.GT.6) VTK(IT)=VT+1.237*VTT(IT-6)
HTK(IT)=200*VTK(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTD(IT-2)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTD(IT-10)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTD(IT-14)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTD(IT-22)
VTF(IT)=1.046435*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTD(IT-4)
IF(IT.GT.8) VT=VT-VTD(IT-8)
IF(IT.GT.16) VT=VT-VTD(IT-16)
IF(IT.GT.20) VT=VT+VTD(IT-20)
VTF(IT)=VTF(IT)+0.190713*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTH(IT-6)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTH(IT-10)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTH(IT-14)
IF(IT.GT.18) VT=VT+VTH(IT-18)
VTF(IT)=VTF(IT)+0.752852*VT
```



```

VT=0
IF(IF.GT.4) VT=VT+VTF(IT-4)
IF(IF.GT.20) VT=VT+VTF(IT-20)
VTF(IT)=VTF(IT)-0.046435*VT
VT=0
IF(IF.GT.8) VT=VT+VTF(IT-8)
IF(IF.GT.16) VT=VT+VTF(IT-16)
VTF(IT)=VTF(IT)+0.309287*VT
IF(IF.GT.12) VTF(IT)=VTF(IT)+0.474296*VTF(IT-12)
IF(IF.GT.24) VTF(IT)=VTF(IT)-VTF(IT-24)
HTF(IT)=200*VTF(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTF(IT-4)
IF(IT.GT.20) VT=VT-VTF(IT-20)
VTQ(IT)=1.155405*VT
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTX(IT-8)
IF(IT.GT.16) VT=VT-VTX(IT-16)
VTQ(IT)=VTQ(IT)+0.344595*VT
IF(IT.GT.8) VTQ(IT)=VTQ(IT)-0.155405*VTQ(IT-8)
IF(IT.GT.16) VTQ(IT)=VTQ(IT)+0.155405*VTQ(IT-16)
IF(IT.GT.24) VTQ(IT)=VTQ(IT)+VTQ(IT-24)
HTQ(IT)=200*VTQ(IT)+200
VT=0
IF(IF.GT.16) VT=VT-0.186944*VTX(IT-16)
IF(IF.GT.8) VTX(IT)=VT+1.186944*VTQ(IT-8)
HTX(IT)=200*VTX(IT)+200
VT=0
IF(IF.GT.1) VT=VT+VTC(IT-1)
IF(IT.GT.5) VT=VT-2*VTC(IT-5)
IF(IT.GT.9) VT=VT+VTC(IT-9)
VTD(IT)=0.524248*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTE(IT-2)
IF(IT.GT.4) VT=VT-VTE(IT-4)
IF(IT.GT.6) VT=VT-VTE(IT-6)
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTE(IT-8)
VTD(IT)=VTD(IT)+0.537876*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTF(IT-2)
IF(IT.GT.4) VT=VT-VTF(IT-4)
IF(IT.GT.6) VT=VT-VTF(IT-6)
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTF(IT-8)
VTD(IT)=VTD(IT)+0.537876*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTD(IT-2)
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTD(IT-8)
VTD(IT)=VTD(IT)+0.375752*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTD(IT-4)
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTD(IT-6)
VTD(IT)=VTD(IT)+0.524248*VT
IF(IT.GT.10) VTD(IT)=VTD(IT)-VTD(IT-10)
HTD(IT)=200*VTD(IT)+200
VT=0
IF(IF.GT.2) VT=VT+VTF(IT-2)

```

```
IF(IT.GT.4) VT=VT-VTB(IT-4)
IF(IT.GT.8) VT=VT-VTB(IT-8)
IF(IT.GT.10) VT=VT+VTB(IT-10)
VTC(IT)=1.10754*VT
VT=0
IF(IT.GT.3) VT=VT+VTN(IT-3)
IF(IT.GT.5) VT=VT-VTN(IT-5)
IF(IT.GT.7) VT=VT-VTN(IT-7)
IF(IT.GT.9) VT=VT+VTN(IT-9)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.2492*VT
VT=0
IF(IT.GT.1) VT=VT+VTD(IT-1)
IF(IT.GT.5) VT=VT-VTD(IT-5)
IF(IT.GT.7) VT=VT-VTD(IT-7)
IF(IT.GT.11) VT=VT+VTD(IT-11)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.64326*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTC(IT-4)
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTC(IT-8)
VTC(IT)=VTC(IT)-0.10754*VT
IF(IT.GT.6) VTC(IT)=VTC(IT)+1.5016*VTC(IT-6)
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTC(IT-2)
IF(IT.GT.10) VT=VT+VTC(IT-10)
VTC(IT)=VTC(IT)+0.35674*VT
IF(IT.GT.12) VTC(IT)=VTC(IT)-VTC(IT-12)
HTC(IT)=200*VTC(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT-VTN(IT-6)
IF(IT.GT.3) VTN(IT)=VT+2*VTC(IT-3)
HTN(IT)=200*VTN(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTC(IT-2)
IF(IT.GT.4) VT=VT-VTC(IT-4)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTC(IT-10)
IF(IT.GT.12) VT=VT+VTC(IT-12)
VTB(IT)=0.331089*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VFM(IT-4)
IF(IT.GT.6) VT=VT-VFM(IT-6)
IF(IT.GT.8) VT=VT-VFM(IT-8)
IF(IT.GT.10) VT=VT+VFM(IT-10)
VTB(IT)=VTB(IT)+0.196837*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTB(IT-2)
IF(IT.GT.12) VT=VT+VTB(IT-12)
VTB(IT)=VTB(IT)+0.0279*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTB(IT-4)
IF(IT.GT.10) VT=VT+VTB(IT-10)
VTB(IT)=VTB(IT)+0.158911*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTB(IT-6)
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTB(IT-8)
VTB(IT)=VTB(IT)+0.303163*VT
IF(IT.GT.14) VTB(IT)=VTB(IT)-VTB(IT-14)
```

HTB(IT)=200*VTB(IT)+200

VT=0

IF(IT.GT.8) VT=VT-VTM(IT-8)

IF(IT.GT.4) VTM(IT)=VT+2*VTB(IT-4)

HTM(IT)=200*VTM(IT)+200

20 CONTINUE

WRITE(3,102)

102 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTS',7X,'VTR',
*7X,'VTP'/)

DO 60 I=1,VT

60 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTS(I),VTR(I),VTP(I)

103 FORMAT(8X,I3,6F10.3)

WRITE(3,104)

104 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTG',7X,'VTH',
*7X,'VTZ'/)

DO 61 I=1,VT

61 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTG(I),VTH(I),VTZ(I)

WRITE(3,105)

105 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTY',7X,'VTW',
*7X,'VTO'/)

DO 62 I=1,NT

62 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTY(I),VTW(I),VTO(I)

WRITE(3,106)

106 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTV',7X,'VTE',
*7X,'VTT'/)

DO 63 I=1,VT

63 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTV(I),VTE(I),VTT(I)

WRITE(3,107)

107 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTK',7X,'VTF',
*7X,'VTQ'/)

DO 64 I=1,NT

64 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTK(I),VTF(I),VTQ(I)

WRITE(3,108)

108 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTX',7X,'VTD',
*7X,'VTC'/)

DO 65 I=1,VT

65 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTX(I),VTD(I),VTC(I)

WRITE(3,109)

109 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTN',7X,'VTB',
*7X,'VTM'/)

DO 66 I=1,VT

66 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTN(I),VTB(I),VTM(I)

WRITE(3,110)

110 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTS',7X,'HTR',
*7X,'HTP'/)

DO 67 I=1,VT

67 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTS(I),HTR(I),HTP(I)

WRITE(3,111)

111 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTG',7X,'HTH',
*7X,'HTZ'/)

DO 68 I=1,NT

68 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTG(I),HTH(I),HTZ(I)

WRITE(3,112)

112 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTY',7X,'HTW',
*7X,'HTO'/)

DO 69 I=1,NT

```

69 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTY(I),HTW(I),HTO(I)
   WRITE(3,113)
113 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTV',7X,'HTE',
   *7X,'HTT'/)
   DO 70 I=1,NT
70 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTV(I),HTE(I),HTT(I)
   WRITE(3,114)
114 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTK',7X,'HTF',
   *7X,'HTQ'/)
   DO 71 I=1,NT
71 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTK(I),HTF(I),HTQ(I)
   WRITE(3,115)
115 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTX',7X,'HTD',
   *7X,'HTC'/)
   DO 72 I=1,NT
72 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTX(I),HTD(I),HTC(I)
   WRITE(3,116)
116 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTN',7X,'HTB',
   *7X,'HTM'/)
   DO 73 I=1,NT
73 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTN(I),HTB(I),HTM(I)
   STOP
   END

```

S CALLED

D ARRAYS ["*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED]

	HTD	2	VTN	146	HTV	312	VTG	456
2	VTY	766	AP	1132	HTH	1276	VTR	1442
06	VTK	1752	HTS	2116	*VT	2262	*NAR	2263
64	VIV	2430	HTE	2574	VTO	2740	HTW	3104
50	HTP	3414	VTZ	3560	VTB	3724	HTB	4070
34	*NAS	4400	VTE	4401	HTM	4545	VTW	4711
55	.S0006	5056	AS	5057	.S0005	5223	HTF	5224
70	.S0004	5534	HTX	5535	.S0003	5731	.S0002	5702
03	.S0000	5704	HTO	5705	*IT	6051	*NAP	6052
53	VTT	6217	.S0017	6363	HTC	6364	VTM	6530
74	.S0016	7040	.S0015	7041	.S0014	7042	.S0013	7043
44	.S0012	7210	HTN	7211	VTX	7355	.S0011	7521
22	HTG	7523	VIO	7667	*I	10033	HTY	10034
200	*NT	10344	VTC	10345	HTK	10511	.S0022	10655
656								

S'

NO ERRORS DETECTED]

I	AS	AR	AP	VTS	VTR	VTP
τ	$\frac{d^2}{dt^2}$	$\frac{d^2}{dt^2}$	$\frac{d^2}{dt^2}$	$\frac{d^2}{dt^2}$	$\frac{d^2}{dt^2}$	$\frac{d^2}{dt^2}$
1	0.967	0.926	0.810	0.022	0.051	0.137
2	0.933	0.854	0.640	0.044	0.102	0.276
3	0.900	0.784	0.490	0.067	0.155	0.414
4	0.867	0.715	0.360	0.090	0.210	0.549
5	0.833	0.650	0.250	0.115	0.264	0.675
6	0.800	0.586	0.150	0.139	0.320	0.788
7	0.767	0.524	0.090	0.163	0.377	0.882
8	0.733	0.465	0.040	0.190	0.434	0.954
9	0.700	0.408	0.010	0.216	0.492	0.998
10	0.667	0.353	0.000	0.242	0.550	1.014
11	0.633	0.302	0.000	0.270	0.606	0.803
12	0.600	0.253	0.000	0.298	0.663	0.589
13	0.567	0.207	0.000	0.327	0.719	0.376
14	0.533	0.164	0.000	0.357	0.773	0.168
15	0.500	0.125	0.000	0.387	0.751	-0.026
16	0.467	0.089	0.000	0.418	0.724	-0.200
17	0.433	0.058	0.000	0.439	0.687	-0.346
18	0.400	0.032	0.000	0.458	0.639	-0.456
19	0.367	0.011	0.000	0.478	0.585	-0.525
20	0.333	0.000	0.000	0.500	0.514	-0.548
21	0.300	0.000	0.000	0.520	0.428	-0.386
22	0.267	0.000	0.000	0.564	0.364	-0.222
23	0.233	0.000	0.000	0.612	0.301	-0.070
24	0.200	0.000	0.000	0.660	0.236	0.077
25	0.167	0.000	0.000	0.711	0.175	0.214
26	0.133	0.000	0.000	0.764	0.114	0.336
27	0.100	0.000	0.000	0.817	0.051	0.423
28	0.057	0.000	0.000	0.875	-0.008	0.483
29	0.033	0.000	0.000	0.929	0.018	0.521
30	0.000	0.000	0.000	0.982	0.053	0.526
31	0.000	0.000	0.000	0.989	0.089	0.399
32	0.000	0.000	0.000	0.995	0.140	0.274
33	0.000	0.000	0.000	1.003	0.196	0.170
34	0.000	0.000	0.000	1.004	0.268	0.072
35	0.000	0.000	0.000	1.003	0.359	-0.029
36	0.000	0.000	0.000	1.011	0.428	-0.105
37	0.000	0.000	0.000	1.016	0.487	-0.146
38	0.000	0.000	0.000	0.998	0.533	-0.171
39	0.000	0.000	0.000	0.970	0.546	-0.181
40	0.000	0.000	0.000	0.932	0.556	-0.168
41	0.000	0.000	0.000	0.876	0.582	-0.069
42	0.000	0.000	0.000	0.805	0.606	0.028
43	0.000	0.000	0.000	0.735	0.574	0.082
44	0.000	0.000	0.000	0.651	0.540	0.128
45	0.000	0.000	0.000	0.557	0.505	0.186
46	0.000	0.000	0.000	0.432	0.464	0.223
47	0.000	0.000	0.000	0.335	0.431	0.227
48	0.000	0.000	0.000	0.248	0.389	0.219
49	0.000	0.000	0.000	0.165	0.369	0.204
50	0.000	0.000	0.000	0.100	0.367	0.176
51	0.000	0.000	0.000	0.039	0.368	0.099
52	0.000	0.000	0.000	-0.027	0.325	0.022
53	0.000	0.000	0.000	-0.092	0.311	-0.015
54	0.000	0.000	0.000	-0.136	0.296	-0.046
55	0.000	0.000	0.000	-0.170	0.252	-0.096
56	0.000	0.000	0.000	-0.159	0.203	-0.122
57	0.000	0.000	0.000	-0.144	0.188	-0.098
58	0.000	0.000	0.000	-0.131	0.168	-0.066
59	0.000	0.000	0.000	-0.108	0.109	-0.023
60	0.000	0.000	0.000	-0.085	0.054	0.024
61	0.000	0.000	0.000	-0.065	-0.012	0.109
62	0.000	0.000	0.000	-0.040	-0.074	0.187
63	0.000	0.000	0.000	-0.032	-0.164	0.228
64	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

0.000	0.000	0.000	-0.078	-0.347	0.302
0.000	0.000	0.000	-0.136	-0.409	0.297
0.000	0.000	0.000	-0.199	-0.507	0.245
0.000	0.000	0.000	-0.252	-0.574	0.192
0.000	0.000	0.000	-0.302	-0.596	0.131
0.000	0.000	0.000	-0.357	-0.509	0.067
0.000	0.000	0.000	-0.396	-0.647	-0.016
0.000	0.000	0.000	-0.447	-0.678	-0.098
0.000	0.000	0.000	-0.501	-0.681	-0.156
0.000	0.000	0.000	-0.541	-0.677	-0.204
0.000	0.000	0.000	-0.573	-0.663	-0.259
0.000	0.000	0.000	-0.589	-0.637	-0.283
0.000	0.000	0.000	-0.601	-0.561	-0.261
0.000	0.000	0.000	-0.611	-0.480	-0.236
0.000	0.000	0.000	-0.618	-0.400	-0.212
0.000	0.000	0.000	-0.616	-0.340	-0.186
0.000	0.000	0.000	-0.610	-0.244	-0.153
0.000	0.000	0.000	-0.596	-0.161	-0.102
0.000	0.000	0.000	-0.578	-0.109	-0.075
0.000	0.000	0.000	-0.569	-0.061	-0.058
0.000	0.000	0.000	-0.558	0.002	-0.025
0.000	0.000	0.000	-0.557	0.057	-0.027
0.000	0.000	0.000	-0.555	0.073	-0.070
0.000	0.000	0.000	-0.554	0.076	-0.108
0.000	0.000	0.000	-0.532	0.086	-0.133
0.000	0.000	0.000	-0.509	0.092	-0.152
0.000	0.000	0.000	-0.470	0.052	-0.169
0.000	0.000	0.000	-0.426	0.011	-0.192
0.000	0.000	0.000	-0.385	-0.035	-0.201
0.000	0.000	0.000	-0.331	-0.072	-0.194
0.000	0.000	0.000	-0.281	-0.141	-0.205
0.000	0.000	0.000	-0.221	-0.201	-0.191
0.000	0.000	0.000	-0.154	-0.224	-0.135
0.000	0.000	0.000	-0.076	-0.247	-0.089
0.000	0.000	0.000	-0.007	-0.285	-0.075
0.000	0.000	0.000	0.070	-0.315	-0.066

I	AS α_s	AR α_R	AP α_P	VTG α_G	VTH α_H	VTZ α_Z
1	0.967	0.925	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.640	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.350	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.150	0.031	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.063	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.040	0.095	0.012	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.126	0.025	0.014
10	0.667	0.353	0.000	0.155	0.037	0.029
11	0.633	0.302	0.000	0.181	0.051	0.044
12	0.600	0.253	0.000	0.203	0.064	0.060
13	0.567	0.207	0.000	0.219	0.077	0.076
14	0.533	0.164	0.000	0.229	0.091	0.105
15	0.500	0.125	0.000	0.233	0.116	0.135
16	0.467	0.089	0.000	0.208	0.142	0.167
17	0.433	0.058	0.000	0.184	0.168	0.200
18	0.400	0.032	0.000	0.153	0.194	0.232
19	0.367	0.011	0.000	0.123	0.220	0.266
20	0.333	0.000	0.000	0.094	0.244	0.302
21	0.300	0.000	0.000	0.068	0.269	0.334
22	0.267	0.000	0.000	0.039	0.299	0.368
23	0.233	0.000	0.000	0.014	0.328	0.402
24	0.200	0.000	0.000	-0.002	0.349	0.436
25	0.167	0.000	0.000	-0.011	0.368	0.467
26	0.133	0.000	0.000	0.006	0.383	0.495
27	0.100	0.000	0.000	0.026	0.391	0.522
28	0.067	0.000	0.000	0.050	0.393	0.555
29	0.033	0.000	0.000	0.075	0.396	0.587
30	0.000	0.000	0.000	0.093	0.394	0.616
31	0.000	0.000	0.000	0.116	0.385	0.645
32	0.000	0.000	0.000	0.138	0.360	0.668
33	0.000	0.000	0.000	0.156	0.335	0.685
34	0.000	0.000	0.000	0.170	0.316	0.696
35	0.000	0.000	0.000	0.179	0.299	0.709
36	0.000	0.000	0.000	0.165	0.296	0.717
37	0.000	0.000	0.000	0.151	0.297	0.720
38	0.000	0.000	0.000	0.126	0.297	0.707
39	0.000	0.000	0.000	0.100	0.302	0.662
40	0.000	0.000	0.000	0.079	0.313	0.622
41	0.000	0.000	0.000	0.059	0.328	0.584
42	0.000	0.000	0.000	0.040	0.364	0.552
43	0.000	0.000	0.000	0.024	0.398	0.521
44	0.000	0.000	0.000	0.011	0.427	0.492
45	0.000	0.000	0.000	0.004	0.429	0.462
46	0.000	0.000	0.000	0.015	0.428	0.431
47	0.000	0.000	0.000	0.025	0.426	0.400
48	0.000	0.000	0.000	0.033	0.417	0.387
49	0.000	0.000	0.000	0.041	0.404	0.366
50	0.000	0.000	0.000	0.045	0.381	0.337
51	0.000	0.000	0.000	0.050	0.354	0.313
52	0.000	0.000	0.000	0.064	0.307	0.283
53	0.000	0.000	0.000	0.077	0.257	0.246
54	0.000	0.000	0.000	0.090	0.209	0.196
55	0.000	0.000	0.000	0.103	0.157	0.152
56	0.000	0.000	0.000	0.104	0.102	0.097
57	0.000	0.000	0.000	0.104	0.058	0.043
58	0.000	0.000	0.000	0.106	0.010	-0.018
59	0.000	0.000	0.000	0.106	-0.042	-0.080
60	0.000	0.000	0.000	0.103	-0.098	-0.140
61	0.000	0.000	0.000	0.088	-0.139	-0.197
62	0.000	0.000	0.000	0.074	-0.172	-0.246
63	0.000	0.000	0.000	0.063	-0.203	-0.283
64	0.000	0.000	0.000	0.051	-0.229	-0.312

65	0.000	0.000	0.000	0.048	-0.255	-0.323
66	0.000	0.000	0.000	0.046	-0.286	-0.336
67	0.000	0.000	0.000	0.044	-0.313	-0.340
68	0.000	0.000	0.000	0.036	-0.337	-0.337
69	0.000	0.000	0.000	0.027	-0.356	-0.333
70	0.000	0.000	0.000	0.021	-0.362	-0.326
71	0.000	0.000	0.000	0.007	-0.366	-0.325
72	0.000	0.000	0.000	-0.008	-0.374	-0.335
73	0.000	0.000	0.000	-0.022	-0.375	-0.344
74	0.000	0.000	0.000	-0.040	-0.376	-0.366
75	0.000	0.000	0.000	-0.050	-0.367	-0.388
76	0.000	0.000	0.000	-0.084	-0.353	-0.411
77	0.000	0.000	0.000	-0.100	-0.335	-0.430
78	0.000	0.000	0.000	-0.115	-0.323	-0.457
79	0.000	0.000	0.000	-0.131	-0.311	-0.476
80	0.000	0.000	0.000	-0.142	-0.304	-0.500
81	0.000	0.000	0.000	-0.155	-0.301	-0.517
82	0.000	0.000	0.000	-0.166	-0.289	-0.525
83	0.000	0.000	0.000	-0.172	-0.273	-0.521
84	0.000	0.000	0.000	-0.172	-0.254	-0.508
85	0.000	0.000	0.000	-0.159	-0.234	-0.493
86	0.000	0.000	0.000	-0.161	-0.217	-0.471
87	0.000	0.000	0.000	-0.147	-0.206	-0.450
88	0.000	0.000	0.000	-0.138	-0.193	-0.419
89	0.000	0.000	0.000	-0.126	-0.181	-0.382
90	0.000	0.000	0.000	-0.115	-0.167	-0.336
91	0.000	0.000	0.000	-0.109	-0.154	-0.292
92	0.000	0.000	0.000	-0.103	-0.142	-0.249
93	0.000	0.000	0.000	-0.098	-0.129	-0.211
94	0.000	0.000	0.000	-0.104	-0.119	-0.178
95	0.000	0.000	0.000	-0.109	-0.109	-0.151
96	0.000	0.000	0.000	-0.116	-0.096	-0.125
97	0.000	0.000	0.000	-0.123	-0.084	-0.097
98	0.000	0.000	0.000	-0.122	-0.072	-0.070
99	0.000	0.000	0.000	-0.119	-0.059	-0.039
100	0.000	0.000	0.000	-0.113	-0.052	-0.013

I	AS α_T^S	AR α_T^R	AP α_T^P	VTY ν_T^Y	VTW ν_T^W	VTO ν_T^O
1	0.967	0.926	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.643	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.350	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.150	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.040	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.031	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.063	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.019	0.095	0.042
13	0.567	0.207	0.000	0.038	0.126	0.085
14	0.533	0.154	0.000	0.057	0.161	0.127
15	0.500	0.125	0.000	0.077	0.193	0.169
16	0.467	0.099	0.000	0.098	0.221	0.202
17	0.433	0.058	0.000	0.135	0.244	0.230
18	0.400	0.032	0.000	0.169	0.259	0.254
19	0.367	0.011	0.000	0.205	0.267	0.270
20	0.333	0.000	0.000	0.241	0.247	0.279
21	0.300	0.000	0.000	0.277	0.225	0.280
22	0.267	0.000	0.000	0.315	0.194	0.244
23	0.233	0.000	0.000	0.350	0.162	0.209
24	0.200	0.000	0.000	0.382	0.127	0.165
25	0.167	0.000	0.000	0.415	0.094	0.122
26	0.133	0.000	0.000	0.448	0.058	0.086
27	0.100	0.000	0.000	0.481	0.027	0.054
28	0.057	0.000	0.000	0.511	0.007	0.022
29	0.033	0.000	0.000	0.537	-0.006	-0.005
30	0.000	0.000	0.000	0.563	0.002	-0.020
31	0.000	0.000	0.000	0.596	0.015	-0.027
32	0.000	0.000	0.000	0.627	0.033	-0.004
33	0.000	0.000	0.000	0.656	0.054	0.022
34	0.000	0.000	0.000	0.684	0.070	0.052
35	0.000	0.000	0.000	0.706	0.092	0.082
36	0.000	0.000	0.000	0.720	0.112	0.095
37	0.000	0.000	0.000	0.725	0.129	0.116
38	0.000	0.000	0.000	0.732	0.140	0.133
39	0.000	0.000	0.000	0.735	0.149	0.146
40	0.000	0.000	0.000	0.730	0.138	0.156
41	0.000	0.000	0.000	0.707	0.127	0.160
42	0.000	0.000	0.000	0.646	0.107	0.140
43	0.000	0.000	0.000	0.592	0.086	0.121
44	0.000	0.000	0.000	0.541	0.069	0.091
45	0.000	0.000	0.000	0.499	0.053	0.061
46	0.000	0.000	0.000	0.460	0.040	0.045
47	0.000	0.000	0.000	0.429	0.029	0.030
48	0.000	0.000	0.000	0.409	0.022	0.023
49	0.000	0.000	0.000	0.384	0.019	0.018
50	0.000	0.000	0.000	0.360	0.032	0.014
51	0.000	0.000	0.000	0.354	0.042	0.015
52	0.000	0.000	0.000	0.338	0.049	0.034
53	0.000	0.000	0.000	0.311	0.055	0.050
54	0.000	0.000	0.000	0.286	0.059	0.061
55	0.000	0.000	0.000	0.254	0.061	0.068
56	0.000	0.000	0.000	0.213	0.069	0.067
57	0.000	0.000	0.000	0.150	0.075	0.065
58	0.000	0.000	0.000	0.098	0.081	0.072
59	0.000	0.000	0.000	0.035	0.086	0.077
60	0.000	0.000	0.000	-0.027	0.086	0.086
61	0.000	0.000	0.000	-0.097	0.085	0.094
62	0.000	0.000	0.000	-0.165	0.088	0.090
63	0.000	0.000	0.000	-0.224	0.091	0.087
64	0.000	0.000	0.000	-0.282	0.091	0.080

65	0.000	0.000	0.000	-0.328	0.080	0.090
66	0.000	0.000	0.000	-0.357	0.071	0.092
67	0.000	0.000	0.000	-0.362	0.067	0.077
68	0.000	0.000	0.000	-0.368	0.064	0.065
69	0.000	0.000	0.000	-0.368	0.059	0.059
70	0.000	0.000	0.000	-0.357	0.057	0.054
71	0.000	0.000	0.000	-0.340	0.055	0.053
72	0.000	0.000	0.000	-0.326	0.046	0.054
73	0.000	0.000	0.000	-0.315	0.038	0.054
74	0.000	0.000	0.000	-0.312	0.030	0.044
75	0.000	0.000	0.000	-0.326	0.015	0.032
76	0.000	0.000	0.000	-0.340	-0.005	0.022
77	0.000	0.000	0.000	-0.374	-0.024	0.001
78	0.000	0.000	0.000	-0.407	-0.046	-0.022
79	0.000	0.000	0.000	-0.438	-0.071	-0.043
80	0.000	0.000	0.000	-0.464	-0.101	-0.070
81	0.000	0.000	0.000	-0.495	-0.122	-0.096
82	0.000	0.000	0.000	-0.515	-0.144	-0.128
83	0.000	0.000	0.000	-0.537	-0.165	-0.149
84	0.000	0.000	0.000	-0.548	-0.181	-0.169
85	0.000	0.000	0.000	-0.550	-0.194	-0.189
86	0.000	0.000	0.000	-0.537	-0.206	-0.199
87	0.000	0.000	0.000	-0.511	-0.214	-0.210
88	0.000	0.000	0.000	-0.486	-0.213	-0.219
89	0.000	0.000	0.000	-0.452	-0.209	-0.222
90	0.000	0.000	0.000	-0.421	-0.199	-0.218
91	0.000	0.000	0.000	-0.381	-0.184	-0.209
92	0.000	0.000	0.000	-0.337	-0.172	-0.193
93	0.000	0.000	0.000	-0.285	-0.157	-0.172
94	0.000	0.000	0.000	-0.236	-0.142	-0.156
95	0.000	0.000	0.000	-0.191	-0.130	-0.139
96	0.000	0.000	0.000	-0.150	-0.119	-0.124
97	0.000	0.000	0.000	-0.120	-0.109	-0.116
98	0.000	0.000	0.000	-0.097	-0.110	-0.106
99	0.000	0.000	0.000	-0.079	-0.110	-0.099
100	0.000	0.000	0.000	-0.056	-0.111	-0.105

I	AS α^S	AR α^R	AP α^P	VTV α^V	VTE α^E	VTT α^T
1	0.907	0.926	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.640	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.360	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.150	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.040	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.000	0.020	0.000
13	0.567	0.207	0.000	0.000	0.040	0.000
14	0.533	0.164	0.000	0.000	0.060	0.000
15	0.500	0.125	0.000	0.000	0.079	0.000
16	0.467	0.089	0.000	0.043	0.091	0.023
17	0.433	0.058	0.000	0.087	0.101	0.046
18	0.400	0.032	0.000	0.131	0.112	0.070
19	0.367	0.011	0.000	0.173	0.120	0.093
20	0.333	0.000	0.000	0.222	0.124	0.106
21	0.300	0.000	0.000	0.267	0.124	0.118
22	0.267	0.000	0.000	0.305	0.107	0.130
23	0.233	0.000	0.000	0.337	0.091	0.139
24	0.200	0.000	0.000	0.358	0.075	0.140
25	0.167	0.000	0.000	0.368	0.067	0.137
26	0.133	0.000	0.000	0.340	0.063	0.113
27	0.100	0.000	0.000	0.310	0.061	0.090
28	0.067	0.000	0.000	0.251	0.060	0.074
29	0.033	0.000	0.000	0.191	0.062	0.067
30	0.000	0.000	0.000	0.125	0.063	0.066
31	0.000	0.000	0.000	0.064	0.067	0.066
32	0.000	0.000	0.000	-0.004	0.079	0.068
33	0.000	0.000	0.000	-0.063	0.090	0.073
34	0.000	0.000	0.000	-0.106	0.099	0.080
35	0.000	0.000	0.000	-0.136	0.106	0.090
36	0.000	0.000	0.000	-0.132	0.111	0.103
37	0.000	0.000	0.000	-0.119	0.112	0.111
38	0.000	0.000	0.000	-0.083	0.111	0.113
39	0.000	0.000	0.000	-0.043	0.109	0.112
40	0.000	0.000	0.000	0.002	0.109	0.110
41	0.000	0.000	0.000	0.054	0.104	0.107
42	0.000	0.000	0.000	0.108	0.086	0.100
43	0.000	0.000	0.000	0.154	0.069	0.093
44	0.000	0.000	0.000	0.195	0.052	0.090
45	0.000	0.000	0.000	0.229	0.039	0.084
46	0.000	0.000	0.000	0.231	0.036	0.069
47	0.000	0.000	0.000	0.227	0.037	0.056
48	0.000	0.000	0.000	0.198	0.041	0.043
49	0.000	0.000	0.000	0.164	0.049	0.032
50	0.000	0.000	0.000	0.126	0.057	0.033
51	0.000	0.000	0.000	0.089	0.067	0.037
52	0.000	0.000	0.000	0.055	0.087	0.043
53	0.000	0.000	0.000	0.020	0.104	0.053
54	0.000	0.000	0.000	-0.011	0.116	0.063
55	0.000	0.000	0.000	-0.032	0.113	0.074
56	0.000	0.000	0.000	-0.030	0.106	0.096
57	0.000	0.000	0.000	-0.029	0.100	0.115
58	0.000	0.000	0.000	-0.020	0.091	0.125
59	0.000	0.000	0.000	-0.010	0.081	0.116
60	0.000	0.000	0.000	0.006	0.069	0.103
61	0.000	0.000	0.000	0.022	0.056	0.092
62	0.000	0.000	0.000	0.047	0.033	0.080
63	0.000	0.000	0.000	0.070	0.010	0.069

55	0.000	0.000	0.000	0.112	-0.027	0.038
66	0.000	0.000	0.000	0.122	-0.047	0.014
67	0.000	0.000	0.000	0.129	-0.061	-0.005
68	0.000	0.000	0.000	0.133	-0.073	-0.016
59	0.000	0.000	0.000	0.136	-0.086	-0.030
70	0.000	0.000	0.000	0.133	-0.098	-0.049
71	0.000	0.000	0.000	0.114	-0.100	-0.064
72	0.000	0.000	0.000	0.096	-0.099	-0.079
73	0.000	0.000	0.000	0.084	-0.099	-0.095
74	0.000	0.000	0.000	0.070	-0.098	-0.110
75	0.000	0.000	0.000	0.056	-0.100	-0.114
76	0.000	0.000	0.000	0.044	-0.104	-0.118
77	0.000	0.000	0.000	0.033	-0.109	-0.124
78	0.000	0.000	0.000	0.018	-0.111	-0.127
79	0.000	0.000	0.000	0.003	-0.112	-0.131
80	0.000	0.000	0.000	-0.009	-0.109	-0.134
81	0.000	0.000	0.000	-0.031	-0.103	-0.139
82	0.000	0.000	0.000	-0.058	-0.101	-0.141
83	0.000	0.000	0.000	-0.076	-0.095	-0.143
84	0.000	0.000	0.000	-0.100	-0.090	-0.138
85	0.000	0.000	0.000	-0.130	-0.084	-0.129
86	0.000	0.000	0.000	-0.166	-0.077	-0.123
87	0.000	0.000	0.000	-0.190	-0.071	-0.111
88	0.000	0.000	0.000	-0.215	-0.070	-0.102
89	0.000	0.000	0.000	-0.240	-0.070	-0.091
90	0.000	0.000	0.000	-0.256	-0.075	-0.077
91	0.000	0.000	0.000	-0.269	-0.078	-0.066
92	0.000	0.000	0.000	-0.281	-0.077	-0.064
93	0.000	0.000	0.000	-0.283	-0.073	-0.063
94	0.000	0.000	0.000	-0.272	-0.069	-0.066
95	0.000	0.000	0.000	-0.259	-0.061	-0.071
96	0.000	0.000	0.000	-0.237	-0.054	-0.070
97	0.000	0.000	0.000	-0.205	-0.055	-0.064
98	0.000	0.000	0.000	-0.174	-0.050	-0.061
99	0.000	0.000	0.000	-0.144	-0.046	-0.051
100	0.000	0.000	0.000	-0.114	-0.042	-0.042

I	AS <i>AS</i>	AR <i>AR</i>	AP <i>AP</i>	VTK <i>VTK</i>	VTF <i>VTF</i>	VTO <i>VTO</i>
1	0.967	0.926	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.540	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.857	0.715	0.350	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.150	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.040	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.567	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.533	0.154	0.000	0.000	0.009	0.000
15	0.500	0.125	0.000	0.000	0.019	0.000
16	0.467	0.089	0.000	0.000	0.043	0.000
17	0.433	0.058	0.000	0.000	0.067	0.000
18	0.400	0.032	0.000	0.000	0.086	0.011
19	0.367	0.011	0.000	0.000	0.104	0.022
20	0.333	0.000	0.000	0.000	0.118	0.049
21	0.300	0.000	0.000	0.000	0.141	0.078
22	0.267	0.000	0.000	0.028	0.151	0.099
23	0.233	0.000	0.000	0.057	0.179	0.120
24	0.200	0.000	0.000	0.086	0.191	0.137
25	0.167	0.000	0.000	0.114	0.198	0.163
26	0.133	0.000	0.000	0.132	0.190	0.184
27	0.100	0.000	0.000	0.146	0.182	0.203
28	0.067	0.000	0.000	0.161	0.172	0.213
29	0.033	0.000	0.000	0.172	0.161	0.217
30	0.000	0.000	0.000	0.173	0.147	0.204
31	0.000	0.000	0.000	0.170	0.134	0.192
32	0.000	0.000	0.000	0.140	0.120	0.177
33	0.000	0.000	0.000	0.112	0.103	0.160
34	0.000	0.000	0.000	0.085	0.090	0.143
35	0.000	0.000	0.000	0.070	0.080	0.127
36	0.000	0.000	0.000	0.061	0.089	0.113
37	0.000	0.000	0.000	0.055	0.098	0.098
38	0.000	0.000	0.000	0.053	0.105	0.087
39	0.000	0.000	0.000	0.056	0.111	0.082
40	0.000	0.000	0.000	0.061	0.119	0.097
41	0.000	0.000	0.000	0.071	0.125	0.114
42	0.000	0.000	0.000	0.087	0.140	0.126
43	0.000	0.000	0.000	0.097	0.154	0.137
44	0.000	0.000	0.000	0.106	0.164	0.146
45	0.000	0.000	0.000	0.112	0.174	0.151
46	0.000	0.000	0.000	0.116	0.172	0.164
47	0.000	0.000	0.000	0.115	0.170	0.177
48	0.000	0.000	0.000	0.109	0.176	0.180
49	0.000	0.000	0.000	0.102	0.180	0.183
50	0.000	0.000	0.000	0.099	0.179	0.172
51	0.000	0.000	0.000	0.091	0.160	0.163
52	0.000	0.000	0.000	0.071	0.137	0.164
53	0.000	0.000	0.000	0.052	0.117	0.163
54	0.000	0.000	0.000	0.033	0.099	0.160
55	0.000	0.000	0.000	0.017	0.088	0.136
56	0.000	0.000	0.000	0.016	0.081	0.113
57	0.000	0.000	0.000	0.019	0.075	0.095
58	0.000	0.000	0.000	0.026	0.059	0.080
59	0.000	0.000	0.000	0.038	0.041	0.072
60	0.000	0.000	0.000	0.052	0.024	0.069
61	0.000	0.000	0.000	0.068	0.003	0.065
62	0.000	0.000	0.000	0.095	-0.019	0.052
63	0.000	0.000	0.000	0.121	-0.035	0.039
64	0.000	0.000	0.000	0.137	-0.052	0.022

65	0.000	0.000	0.000	0.131	-0.075	0.000
66	0.000	0.000	0.000	0.119	-0.105	-0.025
67	0.000	0.000	0.000	0.110	-0.130	-0.045
68	0.000	0.000	0.000	0.096	-0.152	-0.065
69	0.000	0.000	0.000	0.081	-0.169	-0.091
70	0.000	0.000	0.000	0.060	-0.180	-0.126
71	0.000	0.000	0.000	0.038	-0.183	-0.158
72	0.000	0.000	0.000	0.006	-0.189	-0.187
73	0.000	0.000	0.000	-0.022	-0.195	-0.207
74	0.000	0.000	0.000	-0.042	-0.195	-0.217
75	0.000	0.000	0.000	-0.066	-0.196	-0.219
76	0.000	0.000	0.000	-0.093	-0.184	-0.223
77	0.000	0.000	0.000	-0.111	-0.168	-0.227
78	0.000	0.000	0.000	-0.126	-0.155	-0.225
79	0.000	0.000	0.000	-0.143	-0.137	-0.220
80	0.000	0.000	0.000	-0.159	-0.122	-0.200
81	0.000	0.000	0.000	-0.160	-0.106	-0.179
82	0.000	0.000	0.000	-0.161	-0.089	-0.163
83	0.000	0.000	0.000	-0.163	-0.078	-0.144
84	0.000	0.000	0.000	-0.158	-0.076	-0.129
85	0.000	0.000	0.000	-0.156	-0.075	-0.113
86	0.000	0.000	0.000	-0.156	-0.083	-0.097
87	0.000	0.000	0.000	-0.156	-0.092	-0.086
88	0.000	0.000	0.000	-0.152	-0.097	-0.088
89	0.000	0.000	0.000	-0.150	-0.102	-0.090
90	0.000	0.000	0.000	-0.140	-0.104	-0.099
91	0.000	0.000	0.000	-0.125	-0.102	-0.109
92	0.000	0.000	0.000	-0.114	-0.096	-0.114
93	0.000	0.000	0.000	-0.100	-0.093	-0.118
94	0.000	0.000	0.000	-0.088	-0.085	-0.117
95	0.000	0.000	0.000	-0.074	-0.074	-0.111
96	0.000	0.000	0.000	-0.057	-0.061	-0.097
97	0.000	0.000	0.000	-0.045	-0.048	-0.086
98	0.000	0.000	0.000	-0.042	-0.034	-0.071
99	0.000	0.000	0.000	-0.041	-0.022	-0.053
100	0.000	0.000	0.000	-0.045	-0.012	-0.034

I	AS	AR	AP	VTX	VTD	VTC
τ	α_{τ}^S	α_{τ}^R	α_{τ}^P	α_{τ}^X	α_{τ}^D	α_{τ}^C
1	0.957	0.926	0.813	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.647	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.497	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.360	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.160	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.047	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.017	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.567	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.533	0.164	0.000	0.000	0.014	0.000
15	0.500	0.125	0.000	0.000	0.027	0.009
16	0.467	0.089	0.000	0.000	0.045	0.018
17	0.433	0.058	0.000	0.000	0.061	0.032
18	0.400	0.032	0.000	0.000	0.076	0.046
19	0.367	0.011	0.000	0.000	0.090	0.059
20	0.333	0.000	0.000	0.000	0.100	0.071
21	0.300	0.000	0.000	0.000	0.109	0.075
22	0.267	0.000	0.000	0.000	0.112	0.079
23	0.233	0.000	0.000	0.000	0.118	0.078
24	0.200	0.000	0.000	0.000	0.110	0.080
25	0.167	0.000	0.000	0.000	0.102	0.074
26	0.133	0.000	0.000	0.013	0.097	0.070
27	0.100	0.000	0.000	0.026	0.094	0.062
28	0.067	0.000	0.000	0.059	0.089	0.056
29	0.033	0.000	0.000	0.092	0.085	0.046
30	0.000	0.000	0.000	0.117	0.075	0.037
31	0.000	0.000	0.000	0.142	0.064	0.030
32	0.000	0.000	0.000	0.162	0.057	0.025
33	0.000	0.000	0.000	0.193	0.052	0.027
34	0.000	0.000	0.000	0.219	0.062	0.029
35	0.000	0.000	0.000	0.241	0.070	0.039
36	0.000	0.000	0.000	0.253	0.075	0.046
37	0.000	0.000	0.000	0.258	0.080	0.055
38	0.000	0.000	0.000	0.243	0.088	0.062
39	0.000	0.000	0.000	0.228	0.092	0.065
40	0.000	0.000	0.000	0.210	0.094	0.067
41	0.000	0.000	0.000	0.190	0.095	0.063
42	0.000	0.000	0.000	0.168	0.090	0.059
43	0.000	0.000	0.000	0.146	0.085	0.055
44	0.000	0.000	0.000	0.123	0.078	0.047
45	0.000	0.000	0.000	0.099	0.073	0.045
46	0.000	0.000	0.000	0.082	0.072	0.045
47	0.000	0.000	0.000	0.071	0.074	0.042
48	0.000	0.000	0.000	0.085	0.075	0.041
49	0.000	0.000	0.000	0.099	0.077	0.041
50	0.000	0.000	0.000	0.109	0.083	0.045
51	0.000	0.000	0.000	0.117	0.089	0.051
52	0.000	0.000	0.000	0.126	0.094	0.056
53	0.000	0.000	0.000	0.131	0.086	0.063
54	0.000	0.000	0.000	0.150	0.083	0.061
55	0.000	0.000	0.000	0.168	0.082	0.056
56	0.000	0.000	0.000	0.175	0.077	0.052
57	0.000	0.000	0.000	0.182	0.070	0.047
58	0.000	0.000	0.000	0.173	0.062	0.043
59	0.000	0.000	0.000	0.156	0.053	0.034
60	0.000	0.000	0.000	0.171	0.038	0.028
61	0.000	0.000	0.000	0.175	0.024	0.021
62	0.000	0.000	0.000	0.175	0.012	0.011
63	0.000	0.000	0.000	0.148	-0.003	-0.002

65	0.330	0.330	0.330	0.094	-0.041	-0.030
66	0.000	0.000	0.000	0.074	-0.058	-0.040
67	0.330	0.200	0.330	0.064	-0.075	-0.050
68	0.000	0.000	0.330	0.058	-0.095	-0.056
69	0.000	0.330	0.330	0.053	-0.103	-0.065
70	0.000	0.000	0.000	0.034	-0.110	-0.074
71	0.000	0.330	0.330	0.015	-0.118	-0.079
72	0.000	0.000	0.000	-0.007	-0.118	-0.087
73	0.330	0.000	0.330	-0.034	-0.119	-0.088
74	0.000	0.000	0.000	-0.052	-0.119	-0.082
75	0.000	0.000	0.330	-0.035	-0.116	-0.075
76	0.000	0.000	0.000	-0.109	-0.111	-0.069
77	0.330	0.330	0.330	-0.140	-0.107	-0.064
78	0.000	0.330	0.000	-0.183	-0.096	-0.056
79	0.330	0.000	0.330	-0.216	-0.086	-0.047
80	0.000	0.000	0.000	-0.244	-0.080	-0.042
81	0.330	0.330	0.330	-0.264	-0.072	-0.040
82	0.000	0.000	0.330	-0.271	-0.067	-0.036
83	0.000	0.330	0.330	-0.271	-0.062	-0.035
84	0.000	0.330	0.000	-0.276	-0.056	-0.034
85	0.000	0.330	0.330	-0.279	-0.052	-0.034
86	0.330	0.000	0.000	-0.273	-0.056	-0.037
87	0.330	0.000	0.330	-0.264	-0.059	-0.043
88	0.000	0.330	0.000	-0.236	-0.069	-0.048
89	0.000	0.330	0.330	-0.207	-0.076	-0.050
90	0.000	0.000	0.000	-0.182	-0.075	-0.050
91	0.330	0.000	0.330	-0.155	-0.073	-0.049
92	0.000	0.000	0.000	-0.133	-0.070	-0.044
93	0.330	0.330	0.330	-0.108	-0.062	-0.038
94	0.000	0.000	0.000	-0.080	-0.055	-0.033
95	0.330	0.330	0.330	-0.062	-0.051	-0.026
96	0.000	0.000	0.000	-0.059	-0.042	-0.022
97	0.330	0.330	0.330	-0.057	-0.033	-0.018
98	0.000	0.330	0.330	-0.067	-0.026	-0.017
99	0.000	0.330	0.330	-0.078	-0.023	-0.019
100	0.000	0.330	0.330	-0.084	-0.023	-0.017

L	AS	AR	AP	VIN	VTB	VIM
τ	d_t^S	d_t^R	d_t^P	$\frac{d_t^N}{d_t}$	$\frac{d_t^B}{d_t}$	$\frac{d_t^M}{d_t}$
1	0.967	0.926	0.910	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.547	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.357	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.259	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.150	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.043	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.567	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.533	0.164	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.500	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.467	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.433	0.058	0.000	0.000	0.007	0.000
18	0.400	0.032	0.000	0.017	0.015	0.000
19	0.367	0.011	0.000	0.035	0.019	0.000
20	0.333	0.000	0.000	0.054	0.024	0.000
21	0.300	0.000	0.000	0.092	0.024	0.015
22	0.267	0.000	0.000	0.117	0.024	0.029
23	0.233	0.000	0.000	0.142	0.024	0.039
24	0.200	0.000	0.000	0.133	0.023	0.048
25	0.167	0.000	0.000	0.122	0.024	0.048
26	0.133	0.000	0.000	0.093	0.028	0.048
27	0.100	0.000	0.000	0.068	0.023	0.047
28	0.067	0.000	0.000	0.032	0.017	0.046
29	0.033	0.000	0.000	-0.002	0.013	0.034
30	0.000	0.000	0.000	-0.009	0.009	0.026
31	0.000	0.000	0.000	-0.010	0.008	0.008
32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	-0.014
33	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	-0.022
34	0.000	0.000	0.000	0.029	0.004	-0.029
35	0.000	0.000	0.000	0.053	0.007	-0.031
36	0.000	0.000	0.000	0.062	0.008	-0.031
37	0.000	0.000	0.000	0.069	0.016	-0.023
38	0.000	0.000	0.000	0.078	0.021	-0.018
39	0.000	0.000	0.000	0.087	0.021	0.005
40	0.000	0.000	0.000	0.080	0.022	0.031
41	0.000	0.000	0.000	0.071	0.021	0.054
42	0.000	0.000	0.000	0.059	0.018	0.072
43	0.000	0.000	0.000	0.066	0.019	0.073
44	0.000	0.000	0.000	0.048	0.020	0.075
45	0.000	0.000	0.000	0.031	0.018	0.065
46	0.000	0.000	0.000	0.029	0.015	0.055
47	0.000	0.000	0.000	0.024	0.012	0.032
48	0.000	0.000	0.000	0.021	0.012	0.009
49	0.000	0.000	0.000	0.025	0.010	-0.018
50	0.000	0.000	0.000	0.037	0.008	-0.043
51	0.000	0.000	0.000	0.050	0.011	-0.050
52	0.000	0.000	0.000	0.053	0.013	-0.051
53	0.000	0.000	0.000	0.067	0.016	-0.045
54	0.000	0.000	0.000	0.081	0.017	-0.038
55	0.000	0.000	0.000	0.087	0.020	-0.010
56	0.000	0.000	0.000	0.089	0.017	0.018
57	0.000	0.000	0.000	0.071	0.012	0.049
58	0.000	0.000	0.000	0.060	0.013	0.077
59	0.000	0.000	0.000	0.037	0.015	0.090
60	0.000	0.000	0.000	0.014	0.016	0.085
61	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.013	0.069
62	0.000	0.000	0.000	-0.020	0.008	0.064
63	0.000	0.000	0.000	-0.015	0.003	0.041

65	0.000	0.000	0.000	-0.015	-0.013	-0.023
66	0.000	0.000	0.000	-0.017	-0.015	-0.060
67	0.000	0.000	0.000	-0.027	-0.019	-0.085
68	0.000	0.000	0.000	-0.039	-0.022	-0.096
69	0.000	0.000	0.000	-0.065	-0.022	-0.094
70	0.000	0.000	0.000	-0.083	-0.026	-0.093
71	0.000	0.000	0.000	-0.098	-0.029	-0.079
72	0.000	0.000	0.000	-0.112	-0.029	-0.058
73	0.000	0.000	0.000	-0.121	-0.027	-0.021
74	0.000	0.000	0.000	-0.119	-0.026	0.008
75	0.000	0.000	0.000	-0.109	-0.023	0.026
76	0.000	0.000	0.000	-0.092	-0.015	0.037
77	0.000	0.000	0.000	-0.066	-0.011	0.040
78	0.000	0.000	0.000	-0.038	-0.011	0.041
79	0.000	0.000	0.000	-0.017	-0.013	0.034
80	0.000	0.000	0.000	-0.008	-0.014	0.027
81	0.000	0.000	0.000	-0.002	-0.011	-0.002
82	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.010	-0.031
83	0.000	0.000	0.000	-0.018	-0.011	-0.052
84	0.000	0.000	0.000	-0.042	-0.011	-0.064
85	0.000	0.000	0.000	-0.055	-0.014	-0.062
86	0.000	0.000	0.000	-0.053	-0.017	-0.060
87	0.000	0.000	0.000	-0.066	-0.014	-0.056
88	0.000	0.000	0.000	-0.067	-0.014	-0.049
89	0.000	0.000	0.000	-0.055	-0.016	-0.026
90	0.000	0.000	0.000	-0.043	-0.015	-0.003
91	0.000	0.000	0.000	-0.041	-0.015	0.023
92	0.000	0.000	0.000	-0.037	-0.014	0.036
93	0.000	0.000	0.000	-0.035	-0.010	0.030
94	0.000	0.000	0.000	-0.030	-0.006	0.029
95	0.000	0.000	0.000	-0.034	-0.002	0.027
96	0.000	0.000	0.000	-0.033	-0.002	0.021
97	0.000	0.000	0.000	-0.025	-0.006	0.006
98	0.000	0.000	0.000	-0.016	-0.008	-0.008
99	0.000	0.000	0.000	-0.008	-0.007	-0.028
100	0.000	0.000	0.000	-0.006	-0.006	-0.040

I	AS	AR	AP	HTS ^S	HTR ^R	HTP ^P
τ	$\frac{d\tau^S}{d\tau}$	$\frac{d\tau^R}{d\tau}$	$\frac{d\tau^P}{d\tau}$	$\frac{h\tau^S}{h\tau}$	$\frac{h\tau^R}{h\tau}$	$\frac{h\tau^P}{h\tau}$
1	0.957	0.926	0.810	204.327	210.116	227.307
2	0.933	0.854	0.640	208.885	220.463	255.106
3	0.900	0.784	0.490	213.408	231.034	282.820
4	0.867	0.715	0.360	218.032	241.989	309.722
5	0.833	0.650	0.250	222.905	252.830	334.943
6	0.800	0.586	0.150	227.746	264.037	357.512
7	0.767	0.524	0.090	232.698	275.436	376.428
8	0.733	0.465	0.040	237.922	286.815	390.744
9	0.700	0.408	0.010	243.114	298.339	399.681
10	0.667	0.353	0.000	248.430	309.987	402.720
11	0.633	0.302	0.000	254.043	321.286	360.644
12	0.600	0.253	0.000	259.627	332.623	317.810
13	0.567	0.207	0.000	265.350	343.725	275.105
14	0.533	0.164	0.000	271.398	354.529	233.653
15	0.500	0.125	0.000	277.419	350.255	194.792
16	0.467	0.089	0.000	283.597	344.702	160.015
17	0.433	0.058	0.000	287.718	337.313	130.869
18	0.400	0.032	0.000	291.625	327.823	108.809
19	0.367	0.011	0.000	295.656	316.970	95.018
20	0.333	0.000	0.000	299.946	302.803	90.314
21	0.300	0.000	0.000	303.999	285.502	122.710
22	0.267	0.000	0.000	312.716	272.791	155.690
23	0.233	0.000	0.000	322.376	260.104	186.072
24	0.200	0.000	0.000	332.050	247.192	215.446
25	0.167	0.000	0.000	342.204	234.916	242.835
26	0.133	0.000	0.000	352.786	222.845	267.155
27	0.100	0.000	0.000	363.453	210.166	284.535
28	0.067	0.000	0.000	374.971	198.417	296.653
29	0.033	0.000	0.000	385.731	203.674	304.118
30	0.000	0.000	0.000	396.379	210.633	305.122
31	0.000	0.000	0.000	397.853	217.860	279.745
32	0.000	0.000	0.000	399.023	227.924	254.881
33	0.000	0.000	0.000	400.587	239.247	233.993
34	0.000	0.000	0.000	400.833	253.619	214.496
35	0.000	0.000	0.000	400.617	271.796	194.166
36	0.000	0.000	0.000	402.133	285.605	179.077
37	0.000	0.000	0.000	403.252	297.390	170.704
38	0.000	0.000	0.000	399.585	306.611	165.723
39	0.000	0.000	0.000	394.099	309.102	163.783
40	0.000	0.000	0.000	386.353	311.145	166.345
41	0.000	0.000	0.000	375.135	316.312	186.210
42	0.000	0.000	0.000	361.007	321.116	205.557
43	0.000	0.000	0.000	347.019	314.715	216.310
44	0.000	0.000	0.000	330.280	308.080	225.527
45	0.000	0.000	0.000	311.428	301.091	237.247
46	0.000	0.000	0.000	286.399	292.788	244.505
47	0.000	0.000	0.000	267.032	286.106	245.411
48	0.000	0.000	0.000	249.662	277.768	243.886
49	0.000	0.000	0.000	233.028	273.809	240.725
50	0.000	0.000	0.000	220.046	273.483	235.294
51	0.000	0.000	0.000	207.773	273.504	219.824
52	0.000	0.000	0.000	194.516	264.992	204.320
53	0.000	0.000	0.000	181.612	262.221	196.908
54	0.000	0.000	0.000	172.799	259.105	190.820
55	0.000	0.000	0.000	166.078	250.370	180.864
56	0.000	0.000	0.000	168.279	240.592	175.652
57	0.000	0.000	0.000	171.136	237.688	180.362
58	0.000	0.000	0.000	173.897	233.624	186.716
59	0.000	0.000	0.000	178.351	221.985	195.469
60	0.000	0.000	0.000	182.910	209.965	205.841
61	0.000	0.000	0.000	186.994	197.609	221.709
62	0.000	0.000	0.000	191.914	185.120	237.333
63	0.000	0.000	0.000	193.674	167.142	245.505

55	0.000	0.000	0.000	184.364	130.582	260.388
66	0.000	0.000	0.000	172.711	118.128	259.482
67	0.000	0.000	0.000	160.141	98.635	249.074
68	0.000	0.000	0.000	149.506	85.217	238.399
69	0.000	0.000	0.000	139.524	80.710	226.203
70	0.000	0.000	0.000	128.612	78.173	213.397
71	0.000	0.000	0.000	120.725	70.649	196.878
72	0.000	0.000	0.000	110.659	64.302	180.460
73	0.000	0.000	0.000	99.809	63.806	168.890
74	0.000	0.000	0.000	91.739	64.646	159.204
75	0.000	0.000	0.000	85.487	67.446	148.101
76	0.000	0.000	0.000	82.176	72.583	143.476
77	0.000	0.000	0.000	79.847	87.897	147.767
78	0.000	0.000	0.000	77.754	104.041	152.789
79	0.000	0.000	0.000	76.472	120.013	157.650
80	0.000	0.000	0.000	76.727	131.946	162.762
81	0.000	0.000	0.000	78.046	151.114	169.445
82	0.000	0.000	0.000	80.810	167.899	179.609
83	0.000	0.000	0.000	84.470	178.181	185.068
84	0.000	0.000	0.000	86.270	187.862	188.376
85	0.000	0.000	0.000	88.436	200.324	195.024
86	0.000	0.000	0.000	88.590	211.347	194.622
87	0.000	0.000	0.000	88.974	214.584	185.987
88	0.000	0.000	0.000	89.248	215.137	178.405
89	0.000	0.000	0.000	93.541	217.120	173.446
90	0.000	0.000	0.000	98.223	218.312	169.673
91	0.000	0.000	0.000	106.100	210.346	166.298
92	0.000	0.000	0.000	114.756	202.299	161.561
93	0.000	0.000	0.000	123.012	193.013	159.762
94	0.000	0.000	0.000	133.728	185.648	161.256
95	0.000	0.000	0.000	143.715	171.785	159.006
96	0.000	0.000	0.000	155.794	159.779	161.791
97	0.000	0.000	0.000	169.222	155.103	172.948
98	0.000	0.000	0.000	184.771	150.632	182.256
99	0.000	0.000	0.000	198.636	142.905	184.937
100	0.000	0.000	0.000	213.938	136.929	186.736

I	AS $\frac{d^5}{dt^5}$	AR $\frac{d^4}{dt^4}$	AP $\frac{d^3}{dt^3}$	HTG $\frac{d^2}{dt^2}$	HTH $\frac{d}{dt}$	HTZ $\frac{d}{dt}$
1	0.967	0.926	0.810	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.857	0.715	0.350	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.586	0.150	206.269	200.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	212.651	200.000	200.000
8	0.733	0.465	0.040	219.013	202.439	200.000
9	0.700	0.408	0.010	225.189	204.933	202.870
10	0.667	0.353	0.000	230.979	207.482	205.893
11	0.633	0.302	0.000	236.160	210.123	208.893
12	0.600	0.253	0.000	240.502	212.737	211.960
13	0.567	0.207	0.000	243.789	215.439	215.193
14	0.533	0.164	0.000	245.830	218.187	220.959
15	0.500	0.125	0.000	246.517	223.211	227.097
16	0.467	0.089	0.000	241.677	228.391	233.485
17	0.433	0.058	0.000	236.750	233.583	239.947
18	0.400	0.032	0.000	230.589	238.744	246.469
19	0.367	0.011	0.000	224.550	244.046	253.293
20	0.333	0.000	0.000	218.813	248.808	260.358
21	0.300	0.000	0.000	213.585	253.737	266.855
22	0.267	0.000	0.000	207.702	259.769	273.587
23	0.233	0.000	0.000	202.731	265.548	280.346
24	0.200	0.000	0.000	199.568	269.796	287.108
25	0.167	0.000	0.000	197.718	273.651	293.469
26	0.133	0.000	0.000	201.227	276.687	299.033
27	0.100	0.000	0.000	205.286	278.211	304.479
28	0.067	0.000	0.000	210.032	278.649	311.084
29	0.033	0.000	0.000	214.971	279.198	317.343
30	0.000	0.000	0.000	218.500	278.747	323.296
31	0.000	0.000	0.000	223.116	276.901	329.026
32	0.000	0.000	0.000	227.620	272.009	333.663
33	0.000	0.000	0.000	231.188	266.995	336.938
34	0.000	0.000	0.000	233.950	263.239	339.252
35	0.000	0.000	0.000	235.734	259.767	341.713
36	0.000	0.000	0.000	232.977	259.195	343.380
37	0.000	0.000	0.000	230.219	259.356	343.941
38	0.000	0.000	0.000	225.152	259.476	341.389
39	0.000	0.000	0.000	220.012	260.356	332.442
40	0.000	0.000	0.000	215.706	262.677	324.342
41	0.000	0.000	0.000	211.791	265.693	316.807
42	0.000	0.000	0.000	208.058	272.803	310.439
43	0.000	0.000	0.000	204.805	279.544	304.195
44	0.000	0.000	0.000	202.254	285.447	298.324
45	0.000	0.000	0.000	200.820	285.802	292.437
46	0.000	0.000	0.000	203.717	285.662	286.192
47	0.000	0.000	0.000	204.939	285.125	280.089
48	0.000	0.000	0.000	206.609	283.341	277.316
49	0.000	0.000	0.000	208.174	280.854	273.136
50	0.000	0.000	0.000	209.055	276.202	267.452
51	0.000	0.000	0.000	210.079	270.852	262.685
52	0.000	0.000	0.000	212.887	261.488	256.595
53	0.000	0.000	0.000	215.301	251.376	249.211
54	0.000	0.000	0.000	218.097	241.858	239.156
55	0.000	0.000	0.000	220.568	231.444	230.353
56	0.000	0.000	0.000	220.766	220.476	219.435
57	0.000	0.000	0.000	220.827	211.505	208.696
58	0.000	0.000	0.000	221.207	202.443	196.378
59	0.000	0.000	0.000	221.210	191.560	183.957
60	0.000	0.000	0.000	220.626	180.428	172.011
61	0.000	0.000	0.000	217.567	172.161	160.568
62	0.000	0.000	0.000	214.718	165.540	150.706
63	0.000	0.000	0.000	212.557	159.382	143.401
64	0.000	0.000	0.000	210.000	151.160	130.160

5	0.000	0.000	0.000	209.619	148.963	135.472
5	0.000	0.000	0.000	209.293	142.845	132.818
7	0.000	0.000	0.000	208.897	137.306	131.919
8	0.000	0.000	0.000	207.198	132.528	132.543
9	0.000	0.000	0.000	205.401	128.851	133.420
0	0.000	0.000	0.000	204.245	127.520	134.834
1	0.000	0.000	0.000	201.479	126.784	135.073
2	0.000	0.000	0.000	198.420	125.298	132.967
3	0.000	0.000	0.000	195.594	125.037	131.205
4	0.000	0.000	0.000	191.927	124.874	126.761
5	0.000	0.000	0.000	188.079	126.558	122.305
6	0.000	0.000	0.000	183.162	129.445	117.888
7	0.000	0.000	0.000	180.035	133.018	113.980
8	0.000	0.000	0.000	176.979	135.487	108.601
9	0.000	0.000	0.000	173.790	137.825	104.849
0	0.000	0.000	0.000	171.562	139.195	99.954
1	0.000	0.000	0.000	169.049	139.891	96.675
2	0.000	0.000	0.000	166.877	142.283	94.981
3	0.000	0.000	0.000	165.597	145.447	95.793
4	0.000	0.000	0.000	165.548	149.121	98.466
5	0.000	0.000	0.000	166.218	153.170	101.429
6	0.000	0.000	0.000	167.872	156.513	105.741
7	0.000	0.000	0.000	170.585	158.797	110.093
8	0.000	0.000	0.000	172.415	161.450	116.260
9	0.000	0.000	0.000	174.816	163.839	123.634
0	0.000	0.000	0.000	177.015	166.642	132.790
1	0.000	0.000	0.000	178.207	169.247	141.553
2	0.000	0.000	0.000	179.467	171.615	150.104
3	0.000	0.000	0.000	180.331	174.138	157.803
4	0.000	0.000	0.000	179.192	176.275	164.323
5	0.000	0.000	0.000	178.205	178.294	169.896
6	0.000	0.000	0.000	176.720	180.726	174.961
7	0.000	0.000	0.000	175.410	183.247	180.644
8	0.000	0.000	0.000	175.521	185.674	186.036
9	0.000	0.000	0.000	176.252	188.275	192.187
0	0.000	0.000	0.000	177.339	189.607	197.335

I τ	AS d _r	AR d _r ^R	AP d _r ^P	HTY h _r ^Y	HTW h _r ^W	HTO h _r ^O
1	0.967	0.926	0.813	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.867	0.715	0.350	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.586	0.150	200.000	200.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
8	0.733	0.465	0.040	200.000	200.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
10	0.667	0.353	0.000	200.000	206.256	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	212.624	200.000
12	0.600	0.253	0.000	203.701	218.973	208.395
13	0.567	0.207	0.000	207.599	225.136	216.940
14	0.533	0.164	0.000	211.468	232.189	225.460
15	0.500	0.125	0.000	215.423	238.658	233.730
16	0.467	0.089	0.000	219.591	244.285	240.325
17	0.433	0.058	0.000	227.026	248.822	246.083
18	0.400	0.032	0.000	233.870	251.874	250.722
19	0.367	0.011	0.000	240.979	253.448	253.982
20	0.333	0.000	0.000	248.192	249.336	255.822
21	0.300	0.000	0.000	255.456	244.927	255.966
22	0.267	0.000	0.000	263.049	238.760	248.861
23	0.233	0.000	0.000	270.008	232.449	241.831
24	0.200	0.000	0.000	276.404	225.339	232.926
25	0.167	0.000	0.000	283.027	218.754	224.409
26	0.133	0.000	0.000	289.654	211.619	217.297
27	0.100	0.000	0.000	296.271	205.488	210.863
28	0.067	0.000	0.000	302.275	201.403	204.334
29	0.033	0.000	0.000	307.436	198.772	199.018
30	0.000	0.000	0.000	312.607	200.496	195.968
31	0.000	0.000	0.000	319.206	202.966	194.637
32	0.000	0.000	0.000	325.358	206.696	199.184
33	0.000	0.000	0.000	331.119	210.851	204.316
34	0.000	0.000	0.000	336.770	214.805	210.364
35	0.000	0.000	0.000	341.256	218.336	216.395
36	0.000	0.000	0.000	343.981	222.493	219.073
37	0.000	0.000	0.000	345.055	225.874	223.130
38	0.000	0.000	0.000	346.448	228.056	226.641
39	0.000	0.000	0.000	346.929	229.704	229.115
40	0.000	0.000	0.000	346.016	227.634	231.128
41	0.000	0.000	0.000	341.427	225.478	231.952
42	0.000	0.000	0.000	329.102	221.443	227.974
43	0.000	0.000	0.000	318.346	217.297	224.235
44	0.000	0.000	0.000	308.227	213.762	218.131
45	0.000	0.000	0.000	299.876	210.644	212.286
46	0.000	0.000	0.000	292.088	208.079	208.903
47	0.000	0.000	0.000	285.846	205.825	205.997
48	0.000	0.000	0.000	281.823	204.377	204.642
49	0.000	0.000	0.000	276.834	203.831	203.615
50	0.000	0.000	0.000	271.943	206.323	202.829
51	0.000	0.000	0.000	270.785	208.416	203.090
52	0.000	0.000	0.000	267.649	209.791	206.898
53	0.000	0.000	0.000	262.127	210.980	210.057
54	0.000	0.000	0.000	257.145	211.725	212.172
55	0.000	0.000	0.000	250.722	212.189	213.678
56	0.000	0.000	0.000	242.630	213.779	213.375
57	0.000	0.000	0.000	230.000	215.000	212.918
58	0.000	0.000	0.000	219.556	216.282	214.328
59	0.000	0.000	0.000	207.076	217.294	215.452
60	0.000	0.000	0.000	194.670	217.110	217.276
61	0.000	0.000	0.000	180.647	216.904	218.700
62	0.000	0.000	0.000	166.971	217.677	218.061
63	0.000	0.000	0.000	155.224	218.214	217.401
64	0.000	0.000	0.000	143.101	218.210	217.814

55	0.000	0.000	0.000	134.387	215.901	218.017
66	0.000	0.000	0.000	128.559	214.298	218.313
57	0.000	0.000	0.000	127.549	213.389	215.388
68	0.000	0.000	0.000	126.354	212.743	213.095
69	0.000	0.000	0.000	126.332	211.889	211.807
70	0.000	0.000	0.000	128.569	211.388	210.839
71	0.000	0.000	0.000	132.010	210.986	210.692
72	0.000	0.000	0.000	134.827	209.287	210.804
73	0.000	0.000	0.000	136.943	207.505	210.705
74	0.000	0.000	0.000	137.598	206.043	208.756
75	0.000	0.000	0.000	134.888	202.950	206.414
76	0.000	0.000	0.000	131.968	198.920	204.415
77	0.000	0.000	0.000	125.241	195.247	200.298
78	0.000	0.000	0.000	118.680	190.760	195.556
79	0.000	0.000	0.000	112.372	185.761	191.428
80	0.000	0.000	0.000	107.143	179.735	186.091
81	0.000	0.000	0.000	100.991	175.537	180.790
82	0.000	0.000	0.000	96.999	171.291	174.325
83	0.000	0.000	0.000	92.633	167.009	170.103
84	0.000	0.000	0.000	90.305	163.812	166.231
85	0.000	0.000	0.000	89.946	161.122	162.297
86	0.000	0.000	0.000	92.508	158.780	160.218
87	0.000	0.000	0.000	97.735	157.292	158.051
88	0.000	0.000	0.000	102.712	157.356	156.232
89	0.000	0.000	0.000	109.536	158.235	155.581
90	0.000	0.000	0.000	115.822	160.129	156.378
91	0.000	0.000	0.000	123.878	163.104	158.299
92	0.000	0.000	0.000	132.645	165.566	161.461
93	0.000	0.000	0.000	142.939	168.696	165.676
94	0.000	0.000	0.000	152.797	171.665	168.708
95	0.000	0.000	0.000	161.848	174.021	172.251
96	0.000	0.000	0.000	169.956	176.289	175.154
97	0.000	0.000	0.000	176.031	178.129	176.874
98	0.000	0.000	0.000	180.680	177.999	178.882
99	0.000	0.000	0.000	184.231	178.007	180.139
100	0.000	0.000	0.000	188.705	177.756	178.972

I T	AS α^S	AR α^R	AD α^P	HTV V ht	HTE E ht	HTT T ht
1	0.967	0.926	0.810	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.610	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.867	0.715	0.350	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.586	0.150	200.000	200.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
8	0.733	0.465	0.040	200.000	200.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
10	0.667	0.353	0.000	200.000	200.000	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	200.000	200.000
12	0.600	0.253	0.000	200.000	203.952	200.000
13	0.567	0.207	0.000	200.000	207.976	200.000
14	0.533	0.154	0.000	200.000	211.987	200.000
15	0.500	0.125	0.000	200.000	215.881	200.000
16	0.467	0.089	0.000	208.626	218.261	204.606
17	0.433	0.058	0.000	217.406	220.236	209.294
18	0.400	0.032	0.000	226.161	222.379	213.968
19	0.367	0.011	0.000	234.658	223.913	218.505
20	0.333	0.000	0.000	244.383	224.718	221.279
21	0.300	0.000	0.000	253.303	224.858	223.580
22	0.267	0.000	0.000	261.062	221.379	226.077
23	0.233	0.000	0.000	267.317	218.144	227.865
24	0.200	0.000	0.000	271.525	214.900	228.041
25	0.167	0.000	0.000	273.695	213.321	227.430
26	0.133	0.000	0.000	268.026	212.673	222.604
27	0.100	0.000	0.000	261.947	212.180	218.084
28	0.067	0.000	0.000	250.176	212.087	214.757
29	0.033	0.000	0.000	238.148	212.496	213.464
30	0.000	0.000	0.000	225.028	212.592	213.221
31	0.000	0.000	0.000	212.729	213.316	213.249
32	0.000	0.000	0.000	199.207	215.839	213.660
33	0.000	0.000	0.000	187.374	217.937	214.693
34	0.000	0.000	0.000	178.801	219.754	216.096
35	0.000	0.000	0.000	172.804	221.142	218.041
36	0.000	0.000	0.000	173.588	222.131	220.655
37	0.000	0.000	0.000	176.172	222.475	222.265
38	0.000	0.000	0.000	183.462	222.198	222.542
39	0.000	0.000	0.000	191.494	221.778	222.363
40	0.000	0.000	0.000	200.302	221.748	222.025
41	0.000	0.000	0.000	210.830	220.708	221.324
42	0.000	0.000	0.000	221.533	217.163	220.008
43	0.000	0.000	0.000	230.854	213.830	218.636
44	0.000	0.000	0.000	238.985	210.461	218.086
45	0.000	0.000	0.000	245.740	207.786	216.826
46	0.000	0.000	0.000	246.134	207.262	213.764
47	0.000	0.000	0.000	245.433	207.370	211.105
48	0.000	0.000	0.000	239.572	208.243	208.618
49	0.000	0.000	0.000	232.877	209.946	206.439
50	0.000	0.000	0.000	225.241	211.424	206.595
51	0.000	0.000	0.000	217.899	213.442	207.331
52	0.000	0.000	0.000	211.025	217.374	208.628
53	0.000	0.000	0.000	203.928	220.882	210.582
54	0.000	0.000	0.000	197.877	223.289	212.569
55	0.000	0.000	0.000	193.594	222.570	214.837
56	0.000	0.000	0.000	193.949	221.168	219.224
57	0.000	0.000	0.000	194.276	219.977	223.053
58	0.000	0.000	0.000	196.023	218.155	224.907
59	0.000	0.000	0.000	197.929	216.190	223.173
60	0.000	0.000	0.000	201.176	213.863	220.572
61	0.000	0.000	0.000	204.352	211.189	218.374
62	0.000	0.000	0.000	209.437	206.533	216.083
63	0.000	0.000	0.000	213.901	202.025	213.745
64	0.000	0.000	0.000	219.074	197.514	210.600

65	0.000	0.000	0.000	222.357	194.542	207.545
66	0.000	0.000	0.000	224.396	190.543	202.897
67	0.000	0.000	0.000	225.735	187.837	199.029
68	0.000	0.000	0.000	226.656	185.358	196.874
69	0.000	0.000	0.000	227.282	182.808	193.941
70	0.000	0.000	0.000	226.669	180.341	190.215
71	0.000	0.000	0.000	222.709	179.961	187.143
72	0.000	0.000	0.000	219.269	180.220	184.177
73	0.000	0.000	0.000	216.813	180.106	181.009
74	0.000	0.000	0.000	213.996	180.493	178.018
75	0.000	0.000	0.000	211.126	179.958	177.226
76	0.000	0.000	0.000	208.779	179.191	176.324
77	0.000	0.000	0.000	206.678	178.289	175.151
78	0.000	0.000	0.000	203.553	177.850	174.670
79	0.000	0.000	0.000	200.598	177.557	173.876
80	0.000	0.000	0.000	198.230	178.100	173.204
81	0.000	0.000	0.000	193.732	179.323	172.215
82	0.000	0.000	0.000	188.407	179.877	171.782
83	0.000	0.000	0.000	184.843	180.986	171.498
84	0.000	0.000	0.000	179.959	181.961	172.451
85	0.000	0.000	0.000	173.997	183.109	174.220
86	0.000	0.000	0.000	166.756	184.614	175.483
87	0.000	0.000	0.000	162.054	185.856	177.749
88	0.000	0.000	0.000	157.089	185.949	179.614
89	0.000	0.000	0.000	151.981	185.906	181.824
90	0.000	0.000	0.000	148.753	185.086	184.658
91	0.000	0.000	0.000	146.167	184.316	186.764
92	0.000	0.000	0.000	143.834	184.585	187.232
93	0.000	0.000	0.000	143.488	185.394	187.430
94	0.000	0.000	0.000	145.593	186.214	186.871
95	0.000	0.000	0.000	148.156	187.762	185.717
96	0.000	0.000	0.000	152.617	189.178	186.048
97	0.000	0.000	0.000	158.977	189.099	187.173
98	0.000	0.000	0.000	165.115	189.978	187.877
99	0.000	0.000	0.000	171.212	190.847	189.739
100	0.000	0.000	0.000	177.187	191.600	191.667

I τ	AS $d\tau$	AR $d\tau^R$	AP $d\tau^P$	HTK $h\tau^K$	HTF $h\tau^F$	HTO $h\tau^Q$
1	0.957	0.925	0.810	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.867	0.715	0.360	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.586	0.150	200.000	200.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
8	0.733	0.465	0.040	200.000	200.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
10	0.667	0.353	0.000	200.000	200.000	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	200.000	200.000
12	0.600	0.253	0.000	200.000	200.000	200.000
13	0.567	0.207	0.000	200.000	200.000	200.000
14	0.533	0.164	0.000	200.000	201.861	200.000
15	0.500	0.125	0.000	200.000	203.763	200.000
16	0.467	0.089	0.000	200.000	208.553	200.000
17	0.433	0.058	0.000	200.000	213.464	200.000
18	0.400	0.032	0.000	200.000	217.104	202.150
19	0.367	0.011	0.000	200.000	220.701	204.348
20	0.333	0.000	0.000	200.000	223.697	209.882
21	0.300	0.000	0.000	200.000	228.139	215.556
22	0.267	0.000	0.000	205.697	232.166	219.762
23	0.233	0.000	0.000	211.497	235.753	223.918
24	0.200	0.000	0.000	217.279	238.186	227.379
25	0.167	0.000	0.000	222.891	239.652	232.511
26	0.133	0.000	0.000	226.323	238.052	236.831
27	0.100	0.000	0.000	229.158	236.455	240.634
28	0.067	0.000	0.000	232.258	234.301	242.585
29	0.033	0.000	0.000	234.469	232.135	243.397
30	0.000	0.000	0.000	234.687	229.481	240.895
31	0.000	0.000	0.000	233.931	226.798	238.404
32	0.000	0.000	0.000	227.961	223.930	235.377
33	0.000	0.000	0.000	222.370	220.671	232.077
34	0.000	0.000	0.000	216.905	217.938	228.678
35	0.000	0.000	0.000	213.930	216.084	225.334
36	0.000	0.000	0.000	212.260	217.870	222.591
37	0.000	0.000	0.000	210.964	219.606	219.595
38	0.000	0.000	0.000	210.659	220.972	217.490
39	0.000	0.000	0.000	211.262	222.104	216.392
40	0.000	0.000	0.000	212.266	223.780	219.472
41	0.000	0.000	0.000	214.148	224.975	222.801
42	0.000	0.000	0.000	217.329	227.933	225.250
43	0.000	0.000	0.000	219.500	230.895	227.331
44	0.000	0.000	0.000	221.258	232.705	229.128
45	0.000	0.000	0.000	222.361	234.788	230.207
46	0.000	0.000	0.000	223.238	234.338	232.892
47	0.000	0.000	0.000	223.076	234.091	235.436
48	0.000	0.000	0.000	221.845	235.207	236.024
49	0.000	0.000	0.000	220.455	235.925	236.582
50	0.000	0.000	0.000	219.846	235.848	234.400
51	0.000	0.000	0.000	218.144	231.947	232.597
52	0.000	0.000	0.000	214.119	227.350	232.703
53	0.000	0.000	0.000	210.384	223.462	232.597
54	0.000	0.000	0.000	206.553	219.790	232.028
55	0.000	0.000	0.000	203.344	217.503	227.223
56	0.000	0.000	0.000	203.120	216.264	222.683
57	0.000	0.000	0.000	203.769	214.909	218.999
58	0.000	0.000	0.000	205.166	211.772	215.954
59	0.000	0.000	0.000	207.621	208.120	214.402
60	0.000	0.000	0.000	210.371	204.760	213.776
61	0.000	0.000	0.000	213.506	200.696	213.014
62	0.000	0.000	0.000	219.077	196.285	210.432
63	0.000	0.000	0.000	224.216	192.953	207.731
64	0.000	0.000	0.000	227.151	189.641	204.252

55	0.000	0.000	0.000	226.204	185.034	200.041
66	0.000	0.000	0.000	223.895	178.940	194.926
57	0.000	0.000	0.000	221.936	174.072	190.926
68	0.000	0.000	0.000	219.156	169.524	187.069
59	0.000	0.000	0.000	216.109	166.156	181.851
70	0.000	0.000	0.000	211.924	164.083	174.710
71	0.000	0.000	0.000	207.527	163.332	168.326
72	0.000	0.000	0.000	201.126	162.256	162.625
73	0.000	0.000	0.000	195.599	161.077	158.567
74	0.000	0.000	0.000	191.612	160.917	156.670
75	0.000	0.000	0.000	186.766	160.751	156.277
76	0.000	0.000	0.000	181.387	163.225	155.399
77	0.000	0.000	0.000	177.885	166.303	154.597
78	0.000	0.000	0.000	174.764	169.092	155.025
79	0.000	0.000	0.000	171.309	172.632	156.014
80	0.000	0.000	0.000	168.268	175.541	159.979
81	0.000	0.000	0.000	168.010	178.766	164.103
82	0.000	0.000	0.000	167.887	182.226	167.385
83	0.000	0.000	0.000	167.478	184.430	171.188
84	0.000	0.000	0.000	168.401	184.852	174.228
85	0.000	0.000	0.000	168.727	184.948	177.384
86	0.000	0.000	0.000	168.841	183.309	180.689
87	0.000	0.000	0.000	168.766	181.615	182.720
88	0.000	0.000	0.000	169.506	180.577	182.406
89	0.000	0.000	0.000	169.985	179.659	182.073
90	0.000	0.000	0.000	171.903	179.195	180.233
91	0.000	0.000	0.000	174.910	179.644	178.275
92	0.000	0.000	0.000	177.193	180.740	177.125
93	0.000	0.000	0.000	180.057	181.387	176.317
94	0.000	0.000	0.000	182.394	183.041	176.555
95	0.000	0.000	0.000	185.224	185.244	177.888
96	0.000	0.000	0.000	188.511	187.735	180.687
97	0.000	0.000	0.000	191.039	190.346	182.791
98	0.000	0.000	0.000	191.591	193.119	185.849
99	0.000	0.000	0.000	191.854	195.549	189.420
100	0.000	0.000	0.000	190.986	197.595	193.188

AS d _c	AR d _r	AP d _t	HTX h _x	HTD h _c	HTC h _c
0.967	0.926	0.810	200.000	200.000	200.000
0.933	0.854	0.540	200.000	200.000	200.000
0.900	0.794	0.490	200.000	200.000	200.000
0.867	0.715	0.350	200.000	200.000	200.000
0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
0.800	0.586	0.150	200.000	200.000	200.000
0.767	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
0.733	0.465	0.040	200.000	200.000	200.000
0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
0.667	0.353	0.000	200.000	200.000	200.000
0.633	0.302	0.000	200.000	200.000	200.000
0.600	0.253	0.000	200.000	200.000	200.000
0.567	0.207	0.000	200.000	200.000	200.000
0.533	0.154	0.000	200.000	202.719	200.000
0.500	0.125	0.000	200.000	205.486	201.749
0.467	0.089	0.000	200.000	208.920	203.529
0.433	0.058	0.000	200.000	212.291	206.362
0.400	0.032	0.000	200.000	215.221	209.165
0.367	0.011	0.000	200.000	217.946	211.733
0.333	0.000	0.000	200.000	220.033	214.154
0.300	0.000	0.000	200.000	221.752	215.080
0.267	0.000	0.000	200.000	222.315	215.708
0.233	0.000	0.000	200.000	223.571	215.652
0.200	0.000	0.000	200.000	222.054	215.995
0.167	0.000	0.000	200.000	220.399	214.886
0.133	0.000	0.000	202.552	219.498	213.929
0.100	0.000	0.000	205.161	218.813	212.476
0.067	0.000	0.000	211.729	217.748	211.183
0.033	0.000	0.000	218.464	216.988	209.291
0.000	0.000	0.000	223.456	214.921	207.328
0.000	0.000	0.000	228.389	212.838	206.064
0.000	0.000	0.000	232.498	211.465	205.049
0.000	0.000	0.000	238.589	210.317	205.328
0.000	0.000	0.000	243.716	212.391	205.862
0.000	0.000	0.000	248.230	214.090	207.779
0.000	0.000	0.000	250.546	214.909	209.222
0.000	0.000	0.000	251.510	215.911	210.954
0.000	0.000	0.000	248.540	217.512	212.408
0.000	0.000	0.000	245.583	218.427	213.080
0.000	0.000	0.000	241.991	218.858	213.488
0.000	0.000	0.000	238.073	218.937	212.554
0.000	0.000	0.000	233.562	218.036	211.845
0.000	0.000	0.000	229.105	216.990	210.988
0.000	0.000	0.000	224.622	215.500	209.485
0.000	0.000	0.000	219.806	214.537	209.041
0.000	0.000	0.000	216.375	214.422	209.093
0.000	0.000	0.000	214.149	214.817	208.448
0.000	0.000	0.000	217.037	214.931	208.139
0.000	0.000	0.000	219.849	215.490	208.251
0.000	0.000	0.000	221.798	216.570	209.096
0.000	0.000	0.000	223.424	217.757	210.242
0.000	0.000	0.000	225.125	218.787	211.133
0.000	0.000	0.000	226.225	217.276	212.541
0.000	0.000	0.000	229.967	216.690	212.103
0.000	0.000	0.000	233.539	216.467	211.296
0.000	0.000	0.000	234.909	215.308	210.426
0.000	0.000	0.000	236.303	214.074	209.489
0.000	0.000	0.000	234.557	212.478	208.585
0.000	0.000	0.000	233.250	210.612	206.853
0.000	0.000	0.000	234.213	207.690	205.536
0.000	0.000	0.000	234.988	204.839	204.299
0.000	0.000	0.000	234.454	202.493	202.161
0.000	0.000	0.000	229.667	199.347	199.670
0.000	0.000	0.000	222.730	195.170	197.226

65	0.000	0.000	0.000	218.839	191.730	194.084
66	0.000	0.000	0.000	214.862	188.458	191.970
67	0.000	0.000	0.000	212.715	185.021	189.964
68	0.000	0.000	0.000	211.654	181.085	188.715
69	0.000	0.000	0.000	210.544	179.361	187.070
70	0.000	0.000	0.000	206.780	177.978	185.181
71	0.000	0.000	0.000	202.906	176.461	184.153
72	0.000	0.000	0.000	198.640	176.469	182.597
73	0.000	0.000	0.000	193.262	176.191	182.442
74	0.000	0.000	0.000	187.517	176.290	183.595
75	0.000	0.000	0.000	183.014	176.838	185.019
76	0.000	0.000	0.000	178.255	177.715	186.177
77	0.000	0.000	0.000	171.918	178.613	187.290
78	0.000	0.000	0.000	163.447	180.725	188.847
79	0.000	0.000	0.000	156.859	182.808	190.663
80	0.000	0.000	0.000	151.200	184.058	191.571
81	0.000	0.000	0.000	147.299	185.611	192.016
82	0.000	0.000	0.000	145.791	186.526	192.774
83	0.000	0.000	0.000	145.727	187.572	192.903
84	0.000	0.000	0.000	144.883	188.871	193.216
85	0.000	0.000	0.000	144.137	189.612	193.149
86	0.000	0.000	0.000	145.350	188.886	192.667
87	0.000	0.000	0.000	147.247	188.127	191.472
88	0.000	0.000	0.000	152.752	186.402	190.384
89	0.000	0.000	0.000	158.652	184.843	189.989
90	0.000	0.000	0.000	163.622	185.004	189.980
91	0.000	0.000	0.000	168.977	185.390	190.235
92	0.000	0.000	0.000	173.476	186.044	191.101
93	0.000	0.000	0.000	178.405	187.677	192.402
94	0.000	0.000	0.000	183.912	189.017	193.458
95	0.000	0.000	0.000	187.555	189.814	194.775
96	0.000	0.000	0.000	188.240	191.659	195.685
97	0.000	0.000	0.000	188.573	193.336	196.412
98	0.000	0.000	0.000	186.672	194.808	196.516
99	0.000	0.000	0.000	184.360	195.339	196.265
100	0.000	0.000	0.000	183.152	195.384	196.654

I τ	AS $\alpha \tau$	AR $\alpha \tau$	AP $\alpha \tau$	HTN $\frac{N}{h \tau}$	HTB $\frac{B}{h \tau}$	HTM $\frac{M}{h \tau}$
1	0.957	0.926	0.810	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.734	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.867	0.715	0.350	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.586	0.160	200.000	200.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
8	0.733	0.465	0.040	200.000	200.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
10	0.667	0.353	0.000	200.000	200.000	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	200.000	200.000
12	0.600	0.253	0.000	200.000	200.000	200.000
13	0.557	0.207	0.000	200.000	200.000	200.000
14	0.533	0.164	0.000	200.000	200.000	200.000
15	0.500	0.125	0.000	200.000	200.000	200.000
16	0.467	0.089	0.000	200.000	200.000	200.000
17	0.433	0.058	0.000	200.000	201.453	200.000
18	0.400	0.032	0.000	203.498	202.933	200.000
19	0.367	0.011	0.000	207.058	203.874	200.000
20	0.333	0.000	0.000	212.724	204.766	200.000
21	0.300	0.000	0.000	218.331	204.818	202.907
22	0.267	0.000	0.000	223.467	204.774	205.866
23	0.233	0.000	0.000	228.307	204.738	207.749
24	0.200	0.000	0.000	226.663	204.586	209.532
25	0.167	0.000	0.000	224.358	204.819	209.636
26	0.133	0.000	0.000	218.581	205.578	209.548
27	0.100	0.000	0.000	213.659	204.644	209.476
28	0.067	0.000	0.000	206.304	203.408	209.172
29	0.033	0.000	0.000	199.550	202.646	206.731
30	0.000	0.000	0.000	198.289	201.863	205.289
31	0.000	0.000	0.000	198.008	201.589	201.539
32	0.000	0.000	0.000	200.002	201.505	197.284
33	0.000	0.000	0.000	200.996	201.082	195.656
34	0.000	0.000	0.000	205.824	200.816	194.178
35	0.000	0.000	0.000	210.547	201.316	193.703
36	0.000	0.000	0.000	212.367	201.698	193.837
37	0.000	0.000	0.000	213.716	203.224	195.434
38	0.000	0.000	0.000	215.555	204.263	196.343
39	0.000	0.000	0.000	217.449	204.139	201.094
40	0.000	0.000	0.000	216.084	204.463	206.112
41	0.000	0.000	0.000	214.268	204.233	210.791
42	0.000	0.000	0.000	213.793	203.658	214.347
43	0.000	0.000	0.000	213.250	203.718	214.575
44	0.000	0.000	0.000	209.552	203.908	215.088
45	0.000	0.000	0.000	206.240	203.625	213.032
46	0.000	0.000	0.000	205.892	202.913	210.973
47	0.000	0.000	0.000	204.702	202.326	206.342
48	0.000	0.000	0.000	204.289	202.464	201.704
49	0.000	0.000	0.000	204.925	202.063	196.459
50	0.000	0.000	0.000	207.343	201.691	191.480
51	0.000	0.000	0.000	210.037	202.167	190.077
52	0.000	0.000	0.000	210.610	202.613	189.841
53	0.000	0.000	0.000	213.491	203.111	191.094
54	0.000	0.000	0.000	216.195	203.429	192.408
55	0.000	0.000	0.000	217.341	204.050	197.993
56	0.000	0.000	0.000	217.740	203.451	203.523
57	0.000	0.000	0.000	214.170	202.416	209.762
58	0.000	0.000	0.000	211.983	202.639	215.378
59	0.000	0.000	0.000	207.351	203.055	218.023
60	0.000	0.000	0.000	202.783	203.135	217.062
61	0.000	0.000	0.000	199.829	202.612	213.734
62	0.000	0.000	0.000	195.966	201.685	212.869
63	0.000	0.000	0.000	196.903	200.540	208.116
64	0.000	0.000	0.000	195.511	198.262	202.747

55	0.000	0.000	0.000	196.961	197.482	195.463
66	0.000	0.000	0.000	196.557	197.091	187.992
57	0.000	0.000	0.000	194.623	196.109	183.057
68	0.000	0.000	0.000	192.203	195.566	180.861
59	0.000	0.000	0.000	187.037	195.552	181.226
70	0.000	0.000	0.000	183.314	194.805	181.314
71	0.000	0.000	0.000	180.469	194.126	184.102
72	0.000	0.000	0.000	177.583	194.127	188.384
73	0.000	0.000	0.000	175.740	194.617	195.840
74	0.000	0.000	0.000	176.104	194.746	201.619
75	0.000	0.000	0.000	178.158	195.446	205.194
76	0.000	0.000	0.000	181.570	196.915	207.392
77	0.000	0.000	0.000	186.721	197.722	208.007
78	0.000	0.000	0.000	192.456	197.713	208.178
79	0.000	0.000	0.000	196.615	197.367	206.790
80	0.000	0.000	0.000	198.477	197.286	205.446
81	0.000	0.000	0.000	199.536	197.808	199.604
82	0.000	0.000	0.000	199.757	198.098	193.806
83	0.000	0.000	0.000	196.421	197.748	189.541
84	0.000	0.000	0.000	191.577	197.814	187.179
85	0.000	0.000	0.000	188.933	197.205	187.610
86	0.000	0.000	0.000	187.328	196.582	188.018
37	0.000	0.000	0.000	186.896	197.115	188.707
88	0.000	0.000	0.000	186.542	197.167	190.182
89	0.000	0.000	0.000	188.914	196.761	194.806
90	0.000	0.000	0.000	191.367	196.918	199.357
91	0.000	0.000	0.000	191.834	197.043	204.689
92	0.000	0.000	0.000	192.651	197.219	207.155
93	0.000	0.000	0.000	193.063	198.047	205.913
94	0.000	0.000	0.000	193.928	198.879	205.817
95	0.000	0.000	0.000	193.288	199.511	205.380
96	0.000	0.000	0.000	193.438	199.536	204.256
97	0.000	0.000	0.000	195.081	198.774	201.289
98	0.000	0.000	0.000	196.899	198.381	198.400
99	0.000	0.000	0.000	198.307	198.650	194.332
100	0.000	0.000	0.000	198.897	198.745	191.916

7. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U IRIGACIONOJ MREŽI SLOŽENE KONFIGURACIJE SA ZATVORENIM KONTURAMA

U ovom numeričkom primeru irigacioni sistem je potpuno isti kao i u 6. primeru, sa razlikom što ima cevovod IU više (Sl. P.8). Ovaj sistem po svojoj konfiguraciji je mreža sa zatvorenim konturama jer ima jedan prsten DFHIUGE. U odnosu na 6. primer promeniće se samo jednačine u susedstvu tačaka I i U.

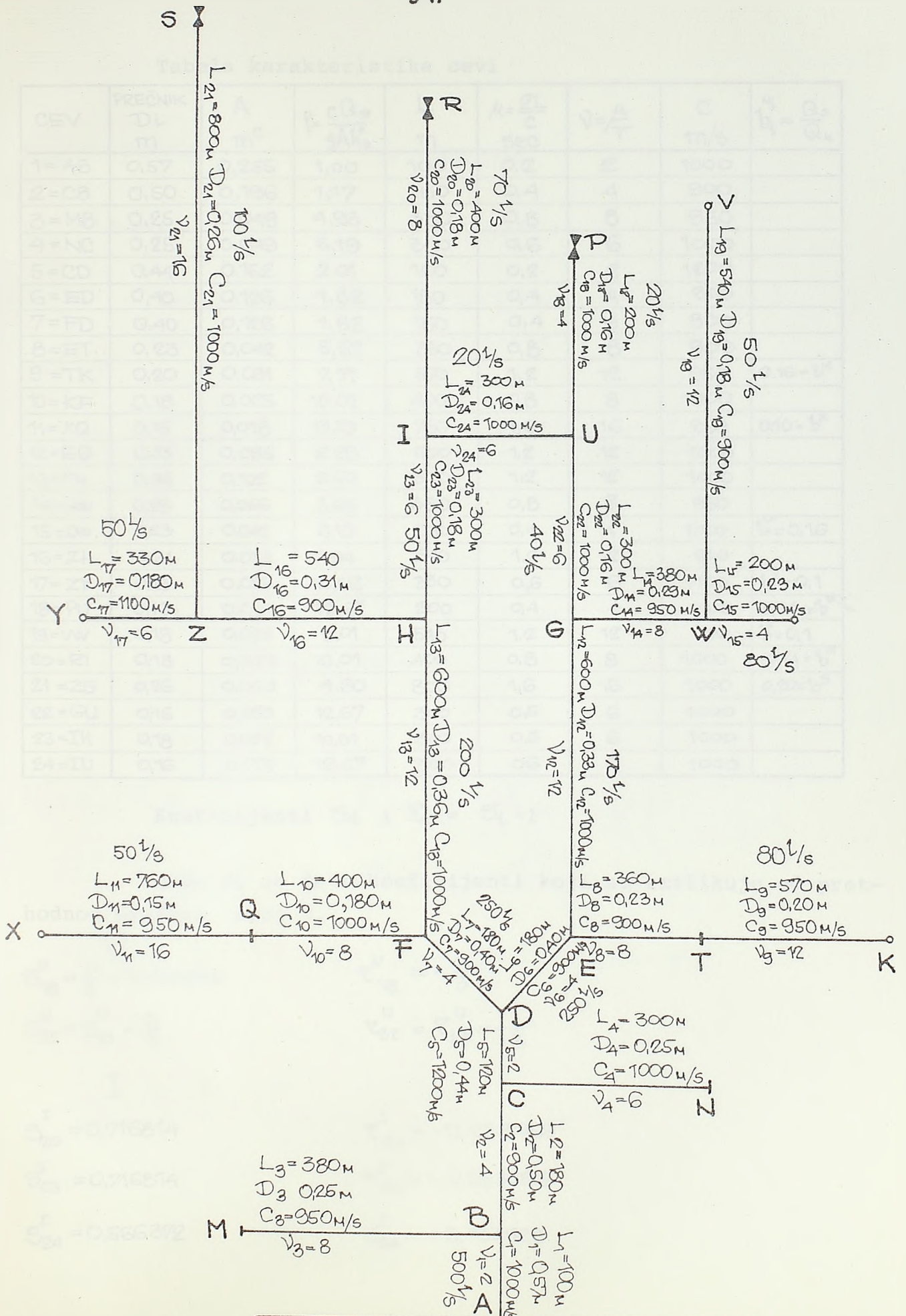


Tabela karakteristika cevi

CEV	PREČNIK Di m	A m ²	$\rho = \frac{cQ^*}{gAk_0^2}$	L m	$\mu = \frac{2L}{c}$ sec	$\nu = \frac{\mu}{T}$	C m/s	$\frac{N_i}{b_i} = \frac{Q_0}{Q_k}$
1=AB	0,57	0,255	1,00	100	0,2	2	1000	
2=CB	0,50	0,196	1,17	180	0,4	4	900	
3=MB	0,25	0,049	4,93	380	0,8	8	950	
4=NC	0,25	0,049	5,19	300	0,6	6	1000	
5=CD	0,44	0,152	2,01	120	0,2	2	1200	
6=ED	0,40	0,126	1,82	180	0,4	4	900	
7=FD	0,40	0,126	1,82	180	0,4	4	900	
8=ET	0,23	0,042	5,52	360	0,8	8	900	
9=TK	0,20	0,031	7,71	570	1,2	12	950	0,16 = b ^k
10=KF	0,18	0,025	10,01	400	0,8	8	1000	
11=XQ	0,15	0,018	13,70	760	1,6	16	950	0,10 = b ^x
12=EG	0,33	0,085	2,98	600	1,2	12	1000	
13=FH	0,36	0,102	2,50	600	1,2	12	1000	
14=GW	0,29	0,066	3,66	380	0,8	8	950	
15=OW	0,23	0,042	6,13	200	0,4	4	1000	b ^o = 0,16
16=ZH	0,31	0,075	3,04	540	1,2	12	900	
17=ZY	0,18	0,025	11,02	330	0,6	6	1100	b ^y = 0,1
18=PU	0,16	0,020	12,67	200	0,4	4	1000	0,04 = b ^p
19=VW	0,18	0,025	9,01	540	1,2	12	900	b ^v = 0,1
20=RI	0,18	0,025	10,01	400	0,8	8	1000	0,14 = b ^r
21=ZS	0,26	0,053	4,80	800	1,6	16	1000	0,20 = b ^s
22=GU	0,16	0,020	12,67	300	0,6	6	1000	
23=IH	0,18	0,025	10,01	300	0,6	6	1000	
24=IU	0,16	0,020	12,67	300	0,6	6	1000	

Koeficijenti S_i i $\tau_i = S_i - 1$

Ovde će se dati koeficijenti koji se razlikuju od prethodnog primera broj 6.

U

$$S_{18}^U = \frac{2}{3} = 0,666666$$

$$\tau_{18}^U = -\frac{1}{3}$$

$$S_{22}^U = S_{24}^U = \frac{2}{3}$$

$$\tau_{22}^U = \tau_{24}^U = -\frac{1}{3}$$

I

$$S_{20}^I = 0,716814$$

$$\tau_{20}^I = -0,283186$$

$$S_{23}^I = 0,716814$$

$$\tau_{23}^I = -0,283186$$

$$S_{24}^I = 0,566372$$

$$\tau_{24}^I = -0,433628$$

$$S_{22}^G = 0,229569$$

$$\tau_{22}^G = -0,770431$$

$$S_{23}^H = 0,241001$$

$$\tau_{23}^H = -0,758999$$

Ostali koeficijenti su isti kao u primeru broj 6.

Jednačine za proračun pritiska su sledeće:

TAČKA R

$$v_{\tau}^R = \frac{\rho_{20} b^R (\alpha_{\tau-v_{20}}^R - \alpha_{\tau}^R) + \left(\frac{1}{2} \rho_{20} b^R \psi^R \alpha_{\tau-v_{20}}^R - 1\right) v_{\tau-v_{20}}^R + 2v_{\tau-v_{20}/2}^I}{1 + \frac{1}{2} \rho_{20} b^R \psi^R \alpha_{\tau}^R}$$

TAČKA P

$$v_{\tau}^P = \frac{\rho_{18} b^P (\alpha_{\tau-v_{18}}^P - \alpha_{\tau}^P) + \left(\frac{1}{2} \rho_{18} b^P \psi^P \alpha_{\tau-v_{18}}^P - 1\right) v_{\tau-v_{18}}^P + 2v_{\tau-\frac{v_{18}}{2}}^U}{1 + \frac{1}{2} \rho_{18} b^P \psi^P \alpha_{\tau}^P}$$

ČVOR G

$$\begin{aligned} v_{\tau}^G = & S_{12}^G \left(v_{\tau-\frac{v_{12}}{2}}^E - v_{\tau-v_{14}-\frac{v_{12}}{2}}^E - v_{\tau-v_{22}-\frac{v_{12}}{2}}^E + v_{\tau-v_{14}-v_{22}-\frac{v_{12}}{2}}^E \right) + \\ & + S_{14}^G \left(v_{\tau-\frac{v_{14}}{2}}^W - v_{\tau-v_{12}-\frac{v_{14}}{2}}^W - v_{\tau-v_{22}-\frac{v_{14}}{2}}^W + v_{\tau-v_{12}-v_{22}-\frac{v_{14}}{2}}^W \right) + \\ & + S_{22}^G \left(v_{\tau-\frac{v_{22}}{2}}^U - v_{\tau-v_{12}-\frac{v_{22}}{2}}^U - v_{\tau-v_{14}-\frac{v_{22}}{2}}^U + v_{\tau-v_{12}-v_{14}-\frac{v_{22}}{2}}^U \right) - \\ & - \tau_{12}^G \left(v_{\tau-v_{12}}^G + v_{\tau-v_{14}-v_{22}}^G \right) - \tau_{14}^G \left(v_{\tau-v_{14}}^G + v_{\tau-v_{12}-v_{22}}^G \right) - \\ & - \tau_{22}^G \left(v_{\tau-v_{22}}^G + v_{\tau-v_{12}-v_{14}}^G \right) - v_{\tau-v_{12}-v_{14}-v_{22}}^G . \end{aligned}$$

ČVOR H

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^H = & S_{13}^H \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{13}}{2}}^F - \psi_{\tau - \nu_{16} - \frac{\nu_{13}}{2}}^F - \psi_{\tau - \nu_{23} - \frac{\nu_{13}}{2}}^F + \psi_{\tau - \nu_{16} - \nu_{23} - \frac{\nu_{13}}{2}}^F \right) + \\
 & + S_{16}^H \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{16}}{2}}^Z - \psi_{\tau - \nu_{13} - \frac{\nu_{16}}{2}}^Z - \psi_{\tau - \nu_{23} - \frac{\nu_{16}}{2}}^Z + \psi_{\tau - \nu_{13} - \nu_{23} - \frac{\nu_{16}}{2}}^Z \right) + \\
 & + S_{23}^H \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{23}}{2}}^I - \psi_{\tau - \nu_{13} - \frac{\nu_{23}}{2}}^I - \psi_{\tau - \nu_{16} - \frac{\nu_{23}}{2}}^I + \psi_{\tau - \nu_{13} - \nu_{16} - \frac{\nu_{23}}{2}}^I \right) - \\
 & - \tau_{13}^H \left(\psi_{\tau - \nu_{13}}^H + \psi_{\tau - \nu_{16} - \nu_{23}}^H \right) - \tau_{16}^H \left(\psi_{\tau - \nu_{16}}^H + \psi_{\tau - \nu_{13} - \nu_{23}}^H \right) - \\
 & - \tau_{23}^H \left(\psi_{\tau - \nu_{23}}^H + \psi_{\tau - \nu_{13} - \nu_{16}}^H \right) - \psi_{\tau - \nu_{13} - \nu_{16} - \nu_{23}}^H .
 \end{aligned}$$

ČVOR U

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^U = & S_{18}^U \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{18}}{2}}^P - \psi_{\tau - \nu_{22} - \frac{\nu_{18}}{2}}^P - \psi_{\tau - \nu_{24} - \frac{\nu_{18}}{2}}^P + \psi_{\tau - \nu_{22} - \nu_{24} - \frac{\nu_{18}}{2}}^P \right) + \\
 & + S_{22}^U \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{22}}{2}}^G - \psi_{\tau - \nu_{18} - \frac{\nu_{22}}{2}}^G - \psi_{\tau - \nu_{24} - \frac{\nu_{22}}{2}}^G + \psi_{\tau - \nu_{18} - \nu_{24} - \frac{\nu_{22}}{2}}^G \right) + \\
 & + S_{24}^U \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{24}}{2}}^I - \psi_{\tau - \nu_{18} - \frac{\nu_{24}}{2}}^I - \psi_{\tau - \nu_{22} - \frac{\nu_{24}}{2}}^I + \psi_{\tau - \nu_{18} - \nu_{22} - \frac{\nu_{24}}{2}}^I \right) - \\
 & - \tau_{18}^U \left(\psi_{\tau - \nu_{18}}^U + \psi_{\tau - \nu_{22} - \nu_{24}}^U \right) - \tau_{22}^U \left(\psi_{\tau - \nu_{22}}^U + \psi_{\tau - \nu_{18} - \nu_{24}}^U \right) - \\
 & - \tau_{24}^U \left(\psi_{\tau - \nu_{24}}^U + \psi_{\tau - \nu_{18} - \nu_{22}}^U \right) - \psi_{\tau - \nu_{18} - \nu_{22} - \nu_{24}}^U .
 \end{aligned}$$

ČVOR I

$$\begin{aligned}
 \psi_{\tau}^I = & S_{20}^I \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{20}}{2}}^R - \psi_{\tau - \nu_{23} - \frac{\nu_{20}}{2}}^R - \psi_{\tau - \nu_{24} - \frac{\nu_{20}}{2}}^R + \psi_{\tau - \nu_{23} - \nu_{24} - \frac{\nu_{20}}{2}}^R \right) + \\
 & + S_{23}^I \left(\psi_{\tau - \frac{\nu_{23}}{2}}^H - \psi_{\tau - \nu_{20} - \frac{\nu_{23}}{2}}^H - \psi_{\tau - \nu_{24} - \frac{\nu_{23}}{2}}^H + \psi_{\tau - \nu_{20} - \nu_{24} - \frac{\nu_{23}}{2}}^H \right) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ S_{24}^I \left(\mathcal{V}_{\tau-\frac{\nu_{24}}{2}}^U - \mathcal{V}_{\tau-\nu_{20}-\frac{\nu_{24}}{2}}^U - \mathcal{V}_{\tau-\nu_{23}-\frac{\nu_{24}}{2}}^U + \mathcal{V}_{\tau-\nu_{20}-\nu_{23}-\frac{\nu_{24}}{2}}^U \right) - \\
 &- \tau_{20}^I \left(\mathcal{V}_{\tau-\nu_{20}}^I + \mathcal{V}_{\tau-\nu_{23}-\nu_{24}}^I \right) - \tau_{23}^I \left(\mathcal{V}_{\tau-\nu_{23}}^I + \mathcal{V}_{\tau-\nu_{20}-\nu_{24}}^I \right) - \\
 &- \tau_{24}^I \left(\mathcal{V}_{\tau-\nu_{24}}^I + \mathcal{V}_{\tau-\nu_{20}-\nu_{23}}^I \right) - \mathcal{V}_{\tau-\nu_{20}-\nu_{23}-\nu_{24}}^I
 \end{aligned}$$

Ostale jednačine po obliku su potpuno iste kao u primeru broj 6.

Kad se u gornje jednačine unesu numeričke vrednosti, dobija se:

$$\mathcal{V}_{\tau}^R = \frac{1,4014 (\alpha_{\tau-8}^R - \alpha_{\tau}^R) + (0,7007 \alpha_{\tau-8}^R - 1) \mathcal{V}_{\tau-8}^R + 2 \mathcal{V}_{\tau-4}^I}{1 + 0,7007 \alpha_{\tau}^R}$$

$$\mathcal{V}_{\tau}^P = \frac{0,5068 (\alpha_{\tau-4}^P - \alpha_{\tau}^P) + (0,2534 \alpha_{\tau-4}^P - 1) \mathcal{V}_{\tau-4}^P + 2 \mathcal{V}_{\tau-2}^U}{1 + 0,2534 \alpha_{\tau}^P}$$

$$\mathcal{V}_{\tau}^S = 0,976566 (\mathcal{V}_{\tau-6}^E - \mathcal{V}_{\tau-14}^E - \mathcal{V}_{\tau-12}^E + \mathcal{V}_{\tau-20}^E) +$$

$$+ 0,793864 (\mathcal{V}_{\tau-4}^W - \mathcal{V}_{\tau-16}^W - \mathcal{V}_{\tau-10}^W + \mathcal{V}_{\tau-22}^W) +$$

$$+ 0,229569 (\mathcal{V}_{\tau-3}^U - \mathcal{V}_{\tau-15}^U - \mathcal{V}_{\tau-11}^U + \mathcal{V}_{\tau-23}^U) +$$

$$+ 0,023434 (\mathcal{V}_{\tau-12}^G + \mathcal{V}_{\tau-14}^G) + 0,206136 (\mathcal{V}_{\tau-8}^G + \mathcal{V}_{\tau-18}^G) +$$

$$+ 0,770431 (\mathcal{V}_{\tau-6}^G + \mathcal{V}_{\tau-20}^G) - \mathcal{V}_{\tau-26}^G .$$

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^H &= 0,964365 (\psi_{\tau-6}^F - \psi_{\tau-18}^F - \psi_{\tau-12}^F + \psi_{\tau-24}^F) + \\ &+ 0,794543 (\psi_{\tau-6}^Z - \psi_{\tau-18}^Z - \psi_{\tau-12}^Z + \psi_{\tau-24}^Z) + \\ &+ 0,241091 (\psi_{\tau-3}^I - 2\psi_{\tau-15}^I + \psi_{\tau-27}^I) + \\ &+ 0,241092 (\psi_{\tau-12}^H + \psi_{\tau-18}^H) + \\ &+ 0,758909 (\psi_{\tau-6}^H + \psi_{\tau-24}^H) - \psi_{\tau-30}^H . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^U &= \frac{2}{3} (\psi_{\tau-2}^P - 2\psi_{\tau-8}^P + \psi_{\tau-14}^P) + \frac{2}{3} (\psi_{\tau-3}^G - \psi_{\tau-7}^G - \psi_{\tau-9}^G + \psi_{\tau-13}^G) + \\ &+ \frac{2}{3} (\psi_{\tau-3}^I - \psi_{\tau-7}^I - \psi_{\tau-9}^I + \psi_{\tau-13}^I) + \frac{1}{3} (\psi_{\tau-4}^U + \psi_{\tau-12}^U) + \\ &+ \frac{2}{3} (\psi_{\tau-6}^U + \psi_{\tau-10}^U) - \psi_{\tau-18}^U . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_{\tau}^I &= 0,716814 (\psi_{\tau-4}^R - 2\psi_{\tau-10}^R + \psi_{\tau-16}^R) + \\ &+ 0,716814 (\psi_{\tau-3}^H - \psi_{\tau-11}^H - \psi_{\tau-9}^H + \psi_{\tau-17}^H) + \\ &+ 0,566372 (\psi_{\tau-3}^U - \psi_{\tau-11}^U - \psi_{\tau-9}^U + \psi_{\tau-17}^U) + \\ &+ 0,716814 (\psi_{\tau-6}^I + \psi_{\tau-14}^I) + 0,283186 (\psi_{\tau-8}^I + \psi_{\tau-12}^I) - \psi_{\tau-20}^I \end{aligned}$$

U ovom proračunskom primeru ima jedna cev više nego u prethodnom odnosno ima 2 čvora više.

Prema tome, ovde su samo dve jednačine više nego u prethodnom numeričkom primeru. Za 24 nepoznate ima 24 jednačine.

7. PRORAČUN HIDRAULIČKOG UDARA U IRIGACIONOJ MREŽI SLOŽENE

KONFIGURACIJE SA ZATVORENIM KONTURAMA

DIMENSION AS(100), AR(100), AP(100), VTS(100), VIR(100), VIP(100),
*VTG(100), VTH(100), VFZ(100), VTY(100), VIW(100), VTO(100), VTV(100),
*VTE(100), VTI(100), VTK(100), VTF(100), VTQ(100), VFX(100), VTD(100),
*VTC(100), VFN(100), VTB(100), VFM(100), VTU(100), VFI(100),
*HTS(100), HTR(100), HTP(100), HIG(100), HTH(100), HTZ(100),
*HTY(100), HTW(100), HTO(100), HTV(100), HTE(100), HTF(100),
*HTK(100), HTF(100), HTQ(100), HTX(100), HTD(100), HIC(100),
*HTN(100), HTB(100), HTM(100), HTU(100), HTI(100)

DO 10 I=1,100

AS(I)=0

AR(I)=0

AP(I)=0

VTS(I)=0

VIR(I)=0

VIP(I)=0

VTG(I)=0

VTH(I)=0

VTZ(I)=0

VTY(I)=0

VIW(I)=0

VTO(I)=0

VTU(I)=0

VTE(I)=0

VTI(I)=0

VTK(I)=0

VTF(I)=0

VTQ(I)=0

VFX(I)=0

VTD(I)=0

VTC(I)=0

VFN(I)=0

VTB(I)=0

VFM(I)=0

VFI(I)=0

VFM(I)=0

HTS(I)=0

HTR(I)=0

HTP(I)=0

HIG(I)=0

HTH(I)=0

HTZ(I)=0

HTY(I)=0

HTW(I)=0

HTO(I)=0

HTV(I)=0

HTE(I)=0

HTF(I)=0

HTK(I)=0

HTF(I)=0

HTQ(I)=0

HTX(I)=0

HTD(I)=0

HTC(I)=0

HTN(I)=0

HTB(I)=0

HTM(I)=0

HTU(I)=0

HTI(I)=0

```

      HTI(I)=0
10  HFM(I)=0
      READ(2,100) NT,NAS,NAR,NAP
20  FORMAT(4I5)
      READ(2,101)(AS(I),I=1,NAS)
      READ(2,101)(AR(I),I=1,NAR)
      READ(2,101)(AP(I),I=1,NAP)
31  FORMAT(8F10.0)
      DO 20 IF=1,NT
          IF(IT.LE.16)1,2
1  VT=0.90*(1-AS(IF))
      GO TO 3
2  VT=0.96*(AS(IT-16)-AS(IF))+(0.48*AS(IT-16)-1)*VFS(IT-16)
3  IF(IT.GT.8) VT=VT+2*VFZ(IT-8)
      VTS(IF)=VT/(1+0.48*AS(IF))
      HTS(IT)=200*VTS(IF)+200
      VT=0
      IF(IT.LE.8)4,5
4  VT=(1-AR(IF))
      GO TO 6
5  VT=(AR(IT-8)-AR(IF))+(0.7007*AR(IT-8)-1)*VFR(IT-8)
6  IF(IT.GT.4) VT=VT+2*VFI(IT-4)
      VTR(IF)=VT/(1+0.7007*AR(IF))
      HTR(IT)=200*VTR(IF)+200
      VT=0
      IF(IT.LE.4)7,8
7  VT=0.5068*(1-AP(IF))
      GO TO 9
8  VT=0.5068*(AP(IT-4)-AP(IF))+(0.2534*AP(IT-4)-1)*VIP(IT-4)
9  IF(IT.GT.2) VT=VT+2*VFJ(IT-2)
      VIP(IF)=VT/(1+0.2534*AP(IF))
      HIP(IT)=200*VIP(IF)+200
      VT=0
      IF(IT.GT.2) VT=VT+VFP(IT-2)
      IF(IT.GT.8) VT=VT-2*VTP(IT-8)
      IF(IT.GT.14) VT=VT+VTP(IT-14)
      VTU(IT)=2*VT
      VT=0
      IF(IT.GT.3) VT=VT+VFG(IT-3)
      IF(IT.GT.7) VT=VT-VFG(IT-7)
      IF(IT.GT.9) VT=VT-VFG(IT-9)
      IF(IT.GT.13) VT=VT+VFG(IT-13)
      VTU(IT)=VTU(IT)+2*VT
      VT=0
      IF(IT.GT.3) VT=VT+VFI(IT-3)
      IF(IT.GT.7) VT=VT-VFI(IT-7)
      IF(IT.GT.9) VT=VT-VFI(IT-9)
      IF(IT.GT.13) VT=VT+VFI(IT-13)
      VTU(IT)=VTU(IT)+2*VT
      VT=0
      IF(IT.GT.4) VT=VT+VFU(IT-4)
      IF(IT.GT.12) VT=VT+VFU(IT-12)
      VIJ(IT)=VFU(IT)+VT
      VT=0
      IF(IT.GT.6) VT=VT+VFU(IT-6)
      IF(IT.GT.10) VT=VT+VFU(IT-10)

```

```

VFU(IF)=VTU(IF)+2*VF
VTU(IF)=VTU(IF)/3
IF(IF.GT.16) VFU(IF)=VFU(IF)-VFU(IF-16)
HTU(IF)=200*VFU(IF)+200
VF=0
IF(IF.GT.6) VF=VF+VFE(IF-6)
IF(IF.GT.12) VF=VF-VFE(IF-12)
IF(IF.GT.14) VF=VF-VFE(IF-14)
IF(IF.GT.20) VF=VF+VFE(IF-20)
VFG(IF)=0.976566*VF
VF=0
IF(IF.GT.4) VF=VF+VFW(IF-4)
IF(IF.GT.16) VF=VF-VFW(IF-16)
IF(IF.GT.10) VF=VF-VFW(IF-10)
IF(IF.GT.22) VF=VF+VFW(IF-22)
VTG(IF)=VTG(IF)+0.793864*VF
VF=0
IF(IF.GT.3) VF=VF+VPU(IF-3)
IF(IF.GT.15) VF=VF-VPU(IF-15)
IF(IF.GT.11) VF=VF-VPU(IF-11)
IF(IF.GT.23) VF=VF+VPU(IF-23)
VIG(IF)=VIG(IF)+0.229569*VF
VF=0
IF(IF.GT.12) VF=VF+VIG(IF-12)
IF(IF.GT.14) VF=VF+VIG(IF-14)
VPG(IF)=VPG(IF)+0.023434*VF
VF=0
IF(IF.GT.8) VF=VF+VPG(IF-8)
IF(IF.GT.18) VF=VF+VPG(IF-18)
VIG(IF)=VIG(IF)+0.206136*VF
VF=0
IF(IF.GT.6) VF=VF+VPG(IF-6)
IF(IF.GT.20) VF=VF+VPG(IF-20)
VPG(IF)=VPG(IF)+0.770431*VF
IF(IF.GT.26) VPG(IF)=VPG(IF)-VPG(IF-26)
HTG(IF)=200*VPG(IF)+200
VF=0
IF(IF.GT.4) VF=VF+VPR(IF-4)
IF(IF.GT.10) VF=VF-2*VDR(IF-10)
IF(IF.GT.16) VF=VF+VPR(IF-16)
VFI(IF)=0.715814*VF
VF=0
IF(IF.GT.3) VI=VF+VPH(IF-3)
IF(IF.GT.11) VF=VF-VPH(IF-11)
IF(IF.GT.9) VF=VF-VPH(IF-9)
IF(IF.GT.17) VF=VF+VPH(IF-17)
VPI(IF)=VPI(IF)+0.716814*VF
VF=0
IF(IF.GT.3) VF=VF+VPU(IF-3)
IF(IF.GT.11) VF=VF-VPU(IF-11)
IF(IF.GT.9) VF=VF-VPU(IF-9)
IF(IF.GT.17) VF=VF+VPU(IF-17)
VPI(IF)=VPI(IF)+0.565372*VF
VF=0
IF(IF.GT.6) VF=VF+VPI(IF-6)
IF(IF.GT.14) VF=VF+VPI(IF-14)

```

```

VTI(IF)=VTI(IF)+0.716814*VF
VF=0
IF(IF.GT.8) VF=VF+VFI(IF-8)
IF(IF.GT.12) VF=VF+VFI(IF-12)
VFI(IF)=0.283186*VF+VTI(IF)
IF(IF.GT.20) VFI(IF)=VFI(IF)-VFI(IF-20)
HFI(IF)=200*VFI(IF)+200
VF=0
IF(IF.GT.6) VF=VF+VIF(IF-6)
IF(IF.GT.18) VF=VF-VIF(IF-18)
IF(IF.GT.12) VF=VF-VIF(IF-12)
IF(IF.GT.24) VF=VF+VIF(IF-24)
VIFH(IF)=0.964365*VF
VF=0
IF(IF.GT.6) VF=VF+VIZ(IF-6)
IF(IF.GT.18) VF=VF-VIZ(IF-18)
IF(IF.GT.12) VF=VF-VIZ(IF-12)
IF(IF.GT.24) VF=VF+VIZ(IF-24)
VIFH(IF)=VIFH(IF)+0.794543*VF
VF=0
IF(IF.GT.3) VF=VF+VFI(IF-3)
IF(IF.GT.15) VF=VF-2*VFI(IF-15)
IF(IF.GT.27) VF=VF+VFI(IF-27)
VIFH(IF)=VIFH(IF)+0.241091*VF
VF=0
IF(IF.GT.12) VF=VF+VIFH(IF-12)
IF(IF.GT.18) VF=VF+VIFH(IF-18)
VIFH(IF)=VIFH(IF)+0.241092*VF
VF=0
IF(IF.GT.6) VF=VF+VIFH(IF-6)
IF(IF.GT.24) VF=VF+VIFH(IF-24)
VIFH(IF)=VIFH(IF)+0.758909*VF
IF(IF.GT.30) VIFH(IF)=VIFH(IF)-VIFH(IF-30)
HIFH(IF)=200*VIFH(IF)+200
VF=0
IF(IF.GT.6) VF=VF+VIFH(IF-6)
IF(IF.GT.12) VF=VF-VIFH(IF-12)
IF(IF.GT.22) VF=VF-VIFH(IF-22)
IF(IF.GT.28) VF=VF+VIFH(IF-28)
VIZ(IF)=1.047702*VF
VF=0
IF(IF.GT.3) VF=VF+VIFY(IF-3)
IF(IF.GT.15) VF=VF-VIFY(IF-15)
IF(IF.GT.19) VF=VF-VIFY(IF-19)
IF(IF.GT.31) VF=VF+VIFY(IF-31)
VIFZ(IF)=VIFZ(IF)+0.239003*VF
VF=0
IF(IF.GT.8) VF=VF+VIFS(IF-8)
IF(IF.GT.20) VF=VF-VIFS(IF-20)
IF(IF.GT.14) VF=VF-VIFS(IF-14)
IF(IF.GT.26) VF=VF+VIFS(IF-26)
VIFZ(IF)=VIFZ(IF)+0.00329*VF
VF=0
IF(IF.GT.12) VF=VF+VIFZ(IF-12)
IF(IF.GT.22) VF=VF+VIFZ(IF-22)
VIFZ(IF)=VIFZ(IF)-0.047702*VF

```

```
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTZ(IT-6)
IF(IT.GT.28) VT=VT+VTZ(IT-28)
VTZ(IT)=VTZ(IT)+0.710992*VT
VT=0
IF(IT.GT.16) VT=VT+VTZ(IT-16)
IF(IT.GT.18) VT=VT+VTZ(IT-18)
VTZ(IT)=VTZ(IT)+0.33671*VT
IF(IT.GT.34) VTZ(IT)=VTZ(IT)-VTZ(IT-34)
HTZ(IT)=200*VTZ(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.6) VTY(IT)=VT-0.289491*VTY(IT-6)
IF(IT.GT.3) VTY(IT)=VTY(IT)+1.289491*VTZ(IT-3)
HTY(IT)=200*VTY(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTG(IT-4)
IF(IT.GT.8) VT=VT-VTG(IT-8)
IF(IT.GT.16) VT=VT-VTG(IT-16)
IF(IT.GT.20) VT=VT+VTG(IT-20)
VTW(IT)=0.997894*VT
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTO(IT-2)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTO(IT-10)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTO(IT-14)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTO(IT-22)
VTW(IT)=VTW(IT)+0.596304*VT
VT=0
IF(IT.GT.6) VT=VT+VTV(IT-6)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTV(IT-14)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTV(IT-10)
IF(IT.GT.18) VT=VT+VTV(IT-18)
VTW(IT)=VTW(IT)+0.405802*VT
VT=0
IF(IT.GT.8) VT=VT+VTW(IT-8)
IF(IT.GT.16) VT=VT+VTW(IT-16)
VTW(IT)=VTW(IT)+0.002106*VT
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT+VTW(IT-4)
IF(IT.GT.20) VT=VT+VTW(IT-20)
VTW(IT)=VTW(IT)+0.403696*VT
IF(IT.GT.12) VTW(IT)=VTW(IT)+1.188396*VTW(IT-12)
IF(IT.GT.24) VTW(IT)=VTW(IT)-VTW(IT-24)
HTV(IT)=200*VTW(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.4) VT=VT-0.341922*VTO(IT-4)
IF(IT.GT.2) VTO(IT)=VT+1.341922*VTW(IT-2)
HTO(IT)=200*VTO(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.12) VT=VT-0.378835*VTV(IT-12)
IF(IT.GT.6) VTV(IT)=VT+1.378835*VTW(IT-6)
HTV(IT)=200*VTV(IT)+200
VT=0
IF(IT.GT.2) VT=VT+VTO(IT-2)
IF(IT.GT.10) VT=VT-VTO(IT-10)
IF(IT.GT.14) VT=VT-VTO(IT-14)
IF(IT.GT.22) VT=VT+VTO(IT-22)
```

```

VPE(IP)=1.029237*VF
VF=0
IF(IP.GT.4) VF=VF+VVF(IP-4)
IF(IP.GT.8) VF=VF-VVF(IP-8)
IF(IP.GT.16) VF=VF-VVF(IP-16)
IF(IP.GT.20) VF=VF+VVF(IP-20)
VTE(IP)=VTE(IP)+0.340291*VF
VF=0
IF(IP.GT.6) VF=VF+VVG(IP-6)
IF(IP.GT.10) VF=VF-VVG(IP-10)
IF(IP.GT.14) VF=VF-VVG(IP-14)
IF(IP.GT.18) VF=VF+VVG(IP-18)
VTE(IP)=VTE(IP)+0.53047*VF
VF=0
IF(IP.GT.4) VF=VF+VVE(IP-4)
IF(IP.GT.20) VF=VF+VVE(IP-20)
VTE(IP)=VTE(IP)-0.029237*VF
VF=0
IF(IP.GT.8) VF=VF+VVE(IP-8)
IF(IP.GT.16) VF=VF+VVE(IP-16)
VTE(IP)=VTE(IP)+0.559709*VF
IF(IP.GT.12) VTE(IP)=VTE(IP)+0.73906*VTE(IP-12)
IF(IP.GT.24) VTE(IP)=VTE(IP)-VTE(IP-24)
HTE(IP)=200*VTE(IP)+200
VF=0
IF(IP.GT.4) VF=VF+VVE(IP-4)
IF(IP.GT.16) VF=VF-VVE(IP-16)
VVF(IP)=1.165266*VF
VF=0
IF(IP.GT.6) VF=VF+VVK(IP-6)
IF(IP.GT.14) VF=VF-VVK(IP-14)
VTT(IP)=VTT(IP)+0.334734*VF
IF(IP.GT.8) VTT(IP)=VTT(IP)-0.165266*VTT(IP-8)
IF(IP.GT.12) VTT(IP)=VTT(IP)+0.165266*VTT(IP-12)
IF(IP.GT.20) VTT(IP)=VTT(IP)+VTT(IP-20)
HTT(IP)=200*VTT(IP)+200
VF=0
IF(IP.GT.12) VF=VF-0.237*VTK(IP-12)
IF(IP.GT.6) VTK(IP)=VF+1.237*VTT(IP-6)
HTK(IP)=200*VTK(IP)+200
VF=0
IF(IP.GT.2) VF=VF+VTD(IP-2)
IF(IP.GT.10) VF=VF-VTD(IP-10)
IF(IP.GT.14) VF=VF-VTD(IP-14)
IF(IP.GT.22) VF=VF+VTD(IP-22)
VTF(IP)=1.046435*VF
VF=0
IF(IP.GT.4) VF=VF+VTFQ(IP-4)
IF(IP.GT.8) VF=VF-VTFQ(IP-8)
IF(IP.GT.16) VF=VF-VTFQ(IP-16)
IF(IP.GT.20) VF=VF+VTFQ(IP-20)
VTF(IP)=VTF(IP)+0.190713*VF
VF=0
IF(IP.GT.6) VF=VF+VTH(IP-6)
IF(IP.GT.10) VF=VF-VTH(IP-10)
IF(IP.GT.14) VF=VF-VTH(IP-14)

```

```

IF(IF.GT.18) VT=VT+VTH(IF-18)
VVF(1I)=VVF(1I)+0.762852*VT
VT=0
IF(IF.GT.4) VT=VT+VVF(IF-4)
IF(IF.GT.20) VT=VT+VVF(IF-20)
VVF(1I)=VVF(1I)-0.046435*VT
VT=0
IF(IF.GT.8) VT=VT+VVF(IF-8)
IF(IF.GT.16) VT=VT+VVF(IF-16)
VVF(1I)=VVF(1I)+0.809287*VT
IF(IF.GT.12) VVF(1I)=VVF(1I)+0.474296*VVF(IF-12)
IF(IF.GT.24) VVF(1I)=VVF(1I)-VVF(IF-24)
HVF(1I)=200*VVF(1I)+200
VT=0
IF(IF.GT.4) VT=VT+VVF(IF-4)
IF(IF.GT.20) VT=VT-VVF(IF-20)
VTQ(1I)=1.155405*VT
VT=0
IF(IF.GT.8) VT=VT+VFX(IF-8)
IF(IF.GT.16) VT=VT-VFX(IF-16)
VTQ(1I)=VTQ(1I)+0.844595*VT
IF(IF.GT.8) VTQ(1I)=VTQ(1I)-0.155405*VTQ(IF-8)
IF(IF.GT.16) VTQ(1I)=VTQ(1I)+0.155405*VTQ(IF-16)
IF(IF.GT.24) VTQ(1I)=VTQ(1I)+VTQ(IF-24)
HTQ(1I)=200*VTQ(1I)+200
VT=0
IF(IF.GT.16) VT=VT-0.186944*VFX(IF-16)
IF(IF.GT.8) VFX(IF)=VT+1.186944*VTQ(IF-8)
HTX(1I)=200*VFX(IF)+200
VT=0
IF(IF.GT.1) VT=VT+VTC(IF-1)
IF(IF.GT.5) VT=VT-2*VTC(IF-5)
IF(IF.GT.9) VT=VT+VTC(IF-9)
VTD(1I)=0.624248*VT
VT=0
IF(IF.GT.2) VT=VT+VTE(IF-2)
IF(IF.GT.4) VT=VT-VTE(IF-4)
IF(IF.GT.6) VT=VT-VTE(IF-6)
IF(IF.GT.8) VT=VT+VTE(IF-8)
VTD(1I)=VTD(1I)+0.687876*VT
VT=0
IF(IF.GT.2) VT=VT+VTF(IF-2)
IF(IF.GT.4) VT=VT-VTF(IF-4)
IF(IF.GT.6) VT=VT-VTF(IF-6)
IF(IF.GT.8) VT=VT+VTF(IF-8)
VTD(1I)=VTD(1I)+0.687876*VT
VT=0
IF(IF.GT.2) VT=VT+VTD(IF-2)
IF(IF.GT.8) VT=VT+VTD(IF-8)
VTD(1I)=VTD(1I)+0.375752*VT
VT=0
IF(IF.GT.4) VT=VT+VTD(IF-4)
IF(IF.GT.6) VT=VT+VTD(IF-6)
VTD(1I)=VTD(1I)+0.624248*VT
IF(IF.GT.10) VTD(1I)=VTD(1I)-VTD(IF-10)
HTD(1I)=200*VTD(1I)+200

```

```

VF=0
IF(1F.GT.2) VF=VF+VFB(1F-2)
IF(1F.GT.4) VF=VF-VFB(1F-4)
IF(1F.GT.8) VF=VF-VFB(1F-8)
IF(1F.GT.10) VF=VF+VFB(1F-10)
VFC(1F)=1.10754*VF
VF=0
IF(1F.GT.3) VF=VF+VFN(1F-3)
IF(1F.GT.5) VF=VF-VFN(1F-5)
IF(1F.GT.7) VF=VF-VFN(1F-7)
IF(1F.GT.9) VF=VF+VFN(1F-9)
VFC(1F)=VFC(1F)+0.2492*VF
VF=0
IF(1F.GT.1) VF=VF+VFD(1F-1)
IF(1F.GT.5) VF=VF-VFD(1F-5)
IF(1F.GT.7) VF=VF-VFD(1F-7)
IF(1F.GT.11) VF=VF+VFD(1F-11)
VFC(1F)=VFC(1F)+0.54326*VF
VF=0
IF(1F.GT.4) VF=VF+VFC(1F-4)
IF(1F.GT.8) VF=VF+VFC(1F-8)
VFC(1F)=VFC(1F)-0.10754*VF
IF(1F.GT.6) VFC(1F)=VFC(1F)+1.5016*VFC(1F-6)
VF=0
IF(1F.GT.2) VF=VF+VFC(1F-2)
IF(1F.GT.10) VF=VF+VFC(1F-10)
VFC(1F)=VFC(1F)+0.35674*VF
IF(1F.GT.12) VFC(1F)=VFC(1F)-VFC(1F-12)
HFC(1F)=200*VFC(1F)+200
VF=0
IF(1F.GT.6) VF=VF-VFN(1F-6)
IF(1F.GT.3) VFN(1F)=VF+2*VFC(1F-3)
HFN(1F)=200*VFN(1F)+200
VF=0
IF(1F.GT.2) VF=VF+VFC(1F-2)
IF(1F.GT.4) VF=VF-VFC(1F-4)
IF(1F.GT.10) VF=VF-VFC(1F-10)
IF(1F.GT.12) VF=VF+VFC(1F-12)
VFB(1F)=0.831089*VF
VF=0
IF(1F.GT.4) VF=VF+VFM(1F-4)
IF(1F.GT.6) VF=VF-VFM(1F-6)
IF(1F.GT.8) VF=VF-VFM(1F-8)
IF(1F.GT.10) VF=VF+VFM(1F-10)
VFB(1F)=VFB(1F)+0.190837*VF
VF=0
IF(1F.GT.2) VF=VF+VFB(1F-2)
IF(1F.GT.12) VF=VF+VFB(1F-12)
VFB(1F)=VFB(1F)+0.0279*VF
VF=0
IF(1F.GT.4) VF=VF+VFB(1F-4)
IF(1F.GT.10) VF=VF+VFB(1F-10)
VFB(1F)=VFB(1F)+0.158911*VF
VF=0
IF(1F.GT.0) VF=VF+VFB(1F-0)
IF(1F.GT.0) VF=VF+VFB(1F-0)

```



```
VTB(1F)=VTB(1F)+0.303153*VF
IF(1F.GT.14) VTB(1F)=VTB(1F)-VTB(1F-14)
HTB(1F)=200*VTB(1F)+200
VT=0
IF(1F.GT.8) VF=VF-VFM(1F-8)
IF(1F.GT.4) VFM(1F)=VF+2*VTB(1F-4)
HFM(1F)=200*VFM(1F)+200
20 CONTINUE
WRITE(3,102)
102 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTS',7X,'VTR',
*7X,'VTP'/)
DO 60 I=1,NT
60 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VIS(I),VTR(I),VTP(I)
103 FORMAT(8X,I3,8F10.3)
WRITE(3,104)
104 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTG',7X,'VTH',
*7X,'VTZ'/)
DO 61 I=1,NT
61 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTG(I),VTH(I),VTZ(I)
WRITE(3,105)
105 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTY',7X,'VTW',
*7X,'VTO'/)
DO 62 I=1,NT
62 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTY(I),VTW(I),VTO(I)
WRITE(3,106)
106 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VIV',7X,'VIE',
*7X,'VIF'/)
DO 63 I=1,NT
63 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VIV(I),VIE(I),VIF(I)
WRITE(3,107)
107 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VIK',7X,'VIF',
*7X,'VIQ'/)
DO 64 I=1,NT
64 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VIK(I),VIF(I),VIQ(I)
WRITE(3,108)
108 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VTX',7X,'VTD',
*7X,'VIC'/)
DO 65 I=1,NT
65 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VTX(I),VTD(I),VIC(I)
WRITE(3,109)
109 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VIN',7X,'VIB',
*7X,'VIM'/)
DO 66 I=1,NT
66 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VIN(I),VIB(I),VIM(I)
WRITE(3,110)
110 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'VIU',7X,'VFI'/)
DO 67 I=1,NT
67 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),VIU(I),VFI(I)
WRITE(3,111)
111 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HIS',7X,'HIR',
*7X,'HIP'/)
DO 68 I=1,NT
68 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HIS(I),HIR(I),HIP(I)
WRITE(3,112)
112 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HIS',7X,'HIH',
*7X,'HIP'/)
```

```

DO 69 I=1,NF
69 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTG(I),HTH(I),HTZ(I)
   WRITE(3,113)
113 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTY',7X,'HTW',
   *7X,'HTO'/)
DO 70 I=1,NF
70 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTY(I),HTW(I),HTO(I)
   WRITE(3,114)
114 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTV',7X,'HTE',
   *7X,'HTT'/)
DO 71 I=1,NF
71 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTV(I),HTE(I),HTT(I)
   WRITE(3,115)
115 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTK',7X,'HTF',
   *7X,'HTQ'/)
DO 72 I=1,NF
72 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTK(I),HTF(I),HTQ(I)
   WRITE(3,116)
116 FORMAT(1H1,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTX',7X,'HTD',
   *7X,'HTC'/)
DO 73 I=1,NF
73 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTX(I),HTD(I),HTC(I)
   WRITE(3,117)
117 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTN',7X,'HTB',
   *7X,'HTM'/)
DO 74 I=1,NF
74 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTN(I),HTB(I),HTM(I)
   WRITE(3,118)
118 FORMAT(1H1,8X,'I',7X,'AS',7X,'AR',7X,'AP',7X,'HTU',7X,'HTI'/)
DO 75 I=1,NF
75 WRITE(3,103) I,AS(I),AR(I),AP(I),HTU(I),HTI(I)
STOP
END

```

AMS CALLED

AND ARRAYS ["*" NO EXPLICIT DEFINITION - "%" NOT REFERENCED]

1	HTD	2	VIN	146	HTV	312	VPG	456
622	HTY	766	AP	1132	HTH	1276	VTR	1442
1606	VTK	1752	*ITGT2	2116	HTS	2117	*VI	2263
2204	VTD	2265	VTV	2431	HTE	2575	VTO	2741
3105	VTH	3251	HTP	3415	HTZ	3561	HTI	3725
4071	HTB	4235	HTT	4401	*NAS	4545	VTE	4546
4712	VTK	5056	.S0007	5222	.S0006	5223	AS	5224
5370	HTF	5371	VTP	5535	.S0004	5701	HTX	5702
6046	.S0002	6047	.S0001	6050	VTI	6051	.S0000	6215
6216	*IT	6362	*VAP	6363	VTB	6364	VII	6530
6674	HTC	6675	VIM	7041	AR	7205	.S0016	7351
7352	.S0015	7516	.S0014	7517	.S0013	7520	VIF	7521
7665	HTN	7666	VTX	10032	.S0011	10176	.S0010	10177
10200	VTD	10344	*I	10510	HTI	10511	HTK	10655
11021	VTC	11022	.S0024	11166	HTN	11167	VTO	11333

I	AS	AR	AP	VIS	VIR	VTP
τ	$\frac{ds}{dt}$	$\frac{dr}{dt}$	$\frac{dp}{dt}$	$\frac{ds}{dt}$	$\frac{dr}{dt}$	$\frac{dp}{dt}$
1	0.967	0.926	0.810	0.022	0.045	0.080
2	0.933	0.854	0.640	0.044	0.091	0.157
3	0.900	0.784	0.490	0.067	0.139	0.230
4	0.867	0.715	0.360	0.090	0.190	0.297
5	0.833	0.650	0.250	0.115	0.240	0.307
6	0.800	0.586	0.160	0.139	0.293	0.309
7	0.767	0.524	0.090	0.163	0.348	0.301
8	0.733	0.465	0.004	0.190	0.404	0.300
9	0.700	0.408	0.010	0.216	0.441	0.278
10	0.667	0.353	0.000	0.242	0.526	0.309
11	0.633	0.302	0.000	0.270	0.609	0.257
12	0.600	0.253	0.000	0.298	0.691	0.202
13	0.567	0.207	0.000	0.327	0.770	0.182
14	0.533	0.164	0.000	0.357	0.827	0.147
15	0.500	0.125	0.000	0.387	0.830	0.175
16	0.467	0.089	0.000	0.418	0.769	0.178
17	0.433	0.058	0.000	0.439	0.708	0.170
18	0.400	0.032	0.000	0.458	0.596	0.150
19	0.367	0.011	0.000	0.478	0.502	0.170
20	0.333	0.000	0.000	0.500	0.377	0.102
21	0.300	0.000	0.000	0.520	0.234	0.208
22	0.267	0.000	0.000	0.555	0.140	0.265
23	0.233	0.000	0.000	0.609	0.053	0.296
24	0.200	0.000	0.000	0.662	0.020	0.324
25	0.167	0.000	0.000	0.717	-0.045	0.258
26	0.133	0.000	0.000	0.774	-0.069	0.193
27	0.100	0.000	0.000	0.825	-0.098	0.115
28	0.067	0.000	0.000	0.879	-0.101	0.046
29	0.033	0.000	0.000	0.926	-0.061	-0.028
30	0.000	0.000	0.000	0.972	-0.011	-0.069
31	0.000	0.000	0.000	0.970	0.055	-0.082
32	0.000	0.000	0.000	0.974	0.123	-0.098
33	0.000	0.000	0.000	0.973	0.194	-0.052
34	0.000	0.000	0.000	0.905	0.231	-0.038
35	0.000	0.000	0.000	0.951	0.301	0.048
36	0.000	0.000	0.000	0.935	0.330	0.144
37	0.000	0.000	0.000	0.915	0.332	0.216
38	0.000	0.000	0.000	0.878	0.311	0.299
39	0.000	0.000	0.000	0.820	0.305	0.338
40	0.000	0.000	0.000	0.755	0.317	0.373
41	0.000	0.000	0.000	0.678	0.332	0.375
42	0.000	0.000	0.000	0.585	0.360	0.375
43	0.000	0.000	0.000	0.508	0.356	0.331
44	0.000	0.000	0.000	0.419	0.374	0.301
45	0.000	0.000	0.000	0.330	0.388	0.228
46	0.000	0.000	0.000	0.241	0.369	0.129
47	0.000	0.000	0.000	0.165	0.358	0.042
48	0.000	0.000	0.000	0.090	0.318	-0.042
49	0.000	0.000	0.000	0.023	0.265	-0.064
50	0.000	0.000	0.000	-0.032	0.199	-0.080
51	0.000	0.000	0.000	-0.093	0.150	-0.040
52	0.000	0.000	0.000	-0.144	0.079	-0.007
53	0.000	0.000	0.000	-0.203	-0.006	0.022
54	0.000	0.000	0.000	-0.240	-0.073	0.041
55	0.000	0.000	0.000	-0.272	-0.165	0.045
56	0.000	0.000	0.000	-0.298	-0.222	0.009
57	0.000	0.000	0.000	-0.318	-0.243	0.009
58	0.000	0.000	0.000	-0.327	-0.251	0.009
59	0.000	0.000	0.000	-0.341	-0.257	0.077
60	0.000	0.000	0.000	-0.350	-0.215	0.080
61	0.000	0.000	0.000	-0.351	-0.174	0.041
62	0.000	0.000	0.000	-0.362	-0.125	-0.030
63	0.000	0.000	0.000	-0.364	-0.068	-0.040

55	0.000	0.000	0.000	-0.389	-0.028	-0.095
66	0.000	0.000	0.000	-0.386	-0.022	-0.100
67	0.000	0.000	0.000	-0.381	-0.037	-0.126
68	0.000	0.000	0.000	-0.391	-0.050	-0.177
59	0.000	0.000	0.000	-0.385	-0.071	-0.162
70	0.000	0.000	0.000	-0.387	-0.134	-0.182
71	0.000	0.000	0.000	-0.394	-0.223	-0.197
72	0.000	0.000	0.000	-0.381	-0.303	-0.147
73	0.000	0.000	0.000	-0.381	-0.404	-0.217
74	0.000	0.000	0.000	-0.404	-0.456	-0.275
75	0.000	0.000	0.000	-0.393	-0.535	-0.323
76	0.000	0.000	0.000	-0.422	-0.620	-0.449
77	0.000	0.000	0.000	-0.475	-0.640	-0.490
78	0.000	0.000	0.000	-0.494	-0.673	-0.436
79	0.000	0.000	0.000	-0.526	-0.659	-0.494
80	0.000	0.000	0.000	-0.561	-0.589	-0.461
81	0.000	0.000	0.000	-0.531	-0.542	-0.392
82	0.000	0.000	0.000	-0.553	-0.509	-0.482
83	0.000	0.000	0.000	-0.583	-0.395	-0.359
84	0.000	0.000	0.000	-0.553	-0.356	-0.227
85	0.000	0.000	0.000	-0.564	-0.255	-0.214
86	0.000	0.000	0.000	-0.527	-0.060	0.021
87	0.000	0.000	0.000	-0.402	0.029	0.140
88	0.000	0.000	0.000	-0.364	0.159	0.070
89	0.000	0.000	0.000	-0.295	0.341	0.269
90	0.000	0.000	0.000	-0.176	0.382	0.344
91	0.000	0.000	0.000	-0.174	0.487	0.254
92	0.000	0.000	0.000	-0.055	0.678	0.543
93	0.000	0.000	0.000	0.140	0.634	0.490
94	0.000	0.000	0.000	0.190	0.717	0.255
95	0.000	0.000	0.000	0.312	0.786	0.464
96	0.000	0.000	0.000	0.419	0.573	0.240
97	0.000	0.000	0.000	0.305	0.562	0.050
98	0.000	0.000	0.000	0.416	0.537	0.434
99	0.000	0.000	0.000	0.555	0.263	0.160
100	0.000	0.000	0.000	0.526	0.279	-0.079

I τ	AS α_{τ}^S	AR α_{τ}^R	AP α_{τ}^P	VIG ν_{τ}^G	VTH ν_{τ}^H	VIZ ν_{τ}^Z
1	0.967	0.926	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.640	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.350	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.160	0.012	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.024	0.000	0.000
8	0.733	0.455	0.044	0.035	0.008	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.045	0.023	0.014
10	0.667	0.353	0.000	0.051	0.038	0.029
11	0.633	0.302	0.000	0.060	0.054	0.044
12	0.600	0.253	0.000	0.067	0.069	0.060
13	0.567	0.207	0.000	0.077	0.081	0.076
14	0.533	0.154	0.000	0.079	0.093	0.100
15	0.500	0.125	0.000	0.087	0.115	0.134
16	0.467	0.089	0.000	0.089	0.137	0.168
17	0.433	0.058	0.000	0.090	0.159	0.203
18	0.400	0.032	0.000	0.090	0.183	0.238
19	0.367	0.011	0.000	0.088	0.205	0.271
20	0.333	0.000	0.000	0.094	0.225	0.304
21	0.300	0.000	0.000	0.097	0.244	0.333
22	0.267	0.000	0.000	0.099	0.263	0.363
23	0.233	0.000	0.000	0.099	0.280	0.392
24	0.200	0.000	0.000	0.107	0.292	0.425
25	0.167	0.000	0.000	0.113	0.298	0.452
26	0.133	0.000	0.000	0.123	0.300	0.476
27	0.100	0.000	0.000	0.131	0.300	0.496
28	0.067	0.000	0.000	0.133	0.293	0.518
29	0.033	0.000	0.000	0.134	0.293	0.536
30	0.000	0.000	0.000	0.121	0.288	0.553
31	0.000	0.000	0.000	0.110	0.284	0.569
32	0.000	0.000	0.000	0.100	0.273	0.581
33	0.000	0.000	0.000	0.089	0.257	0.589
34	0.000	0.000	0.000	0.082	0.243	0.591
35	0.000	0.000	0.000	0.074	0.231	0.599
36	0.000	0.000	0.000	0.066	0.228	0.603
37	0.000	0.000	0.000	0.055	0.227	0.608
38	0.000	0.000	0.000	0.049	0.231	0.606
39	0.000	0.000	0.000	0.036	0.234	0.568
40	0.000	0.000	0.000	0.034	0.245	0.532
41	0.000	0.000	0.000	0.032	0.253	0.498
42	0.000	0.000	0.000	0.030	0.265	0.466
43	0.000	0.000	0.000	0.030	0.277	0.429
44	0.000	0.000	0.000	0.028	0.290	0.395
45	0.000	0.000	0.000	0.029	0.271	0.356
46	0.000	0.000	0.000	0.033	0.254	0.319
47	0.000	0.000	0.000	0.041	0.241	0.274
48	0.000	0.000	0.000	0.033	0.220	0.228
49	0.000	0.000	0.000	0.035	0.204	0.180
50	0.000	0.000	0.000	0.030	0.182	0.129
51	0.000	0.000	0.000	0.023	0.157	0.084
52	0.000	0.000	0.000	0.030	0.137	0.035
53	0.000	0.000	0.000	0.040	0.109	-0.007
54	0.000	0.000	0.000	0.053	0.074	-0.061
55	0.000	0.000	0.000	0.075	0.040	-0.099
56	0.000	0.000	0.000	0.094	0.001	-0.143
57	0.000	0.000	0.000	0.102	-0.034	-0.183
58	0.000	0.000	0.000	0.119	-0.063	-0.209
59	0.000	0.000	0.000	0.128	-0.096	-0.237
50	0.000	0.000	0.000	0.125	-0.142	-0.267
51	0.000	0.000	0.000	0.117	-0.166	-0.294
52	0.000	0.000	0.000	0.093	-0.210	-0.314
53	0.000	0.000	0.000	0.060	-0.261	-0.333
54	0.000	0.000	0.000	0.033	-0.311	-0.344

65	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.332	-0.349
66	0.000	0.000	0.000	-0.042	-0.370	-0.365
67	0.000	0.000	0.000	-0.056	-0.380	-0.367
68	0.000	0.000	0.000	-0.095	-0.404	-0.386
69	0.000	0.000	0.000	-0.144	-0.429	-0.413
70	0.000	0.000	0.000	-0.165	-0.425	-0.428
71	0.000	0.000	0.000	-0.208	-0.436	-0.445
72	0.000	0.000	0.000	-0.230	-0.422	-0.469
73	0.000	0.000	0.000	-0.210	-0.370	-0.460
74	0.000	0.000	0.000	-0.224	-0.354	-0.470
75	0.000	0.000	0.000	-0.222	-0.323	-0.482
76	0.000	0.000	0.000	-0.199	-0.276	-0.472
77	0.000	0.000	0.000	-0.219	-0.275	-0.474
78	0.000	0.000	0.000	-0.196	-0.231	-0.457
79	0.000	0.000	0.000	-0.136	-0.154	-0.398
80	0.000	0.000	0.000	-0.136	-0.136	-0.372
81	0.000	0.000	0.000	-0.108	-0.087	-0.338
82	0.000	0.000	0.000	-0.079	-0.049	-0.290
83	0.000	0.000	0.000	-0.137	-0.098	-0.283
84	0.000	0.000	0.000	-0.098	-0.053	-0.239
85	0.000	0.000	0.000	-0.038	0.005	-0.167
86	0.000	0.000	0.000	-0.057	0.000	-0.152
87	0.000	0.000	0.000	0.023	0.088	-0.107
88	0.000	0.000	0.000	0.041	0.099	-0.071
89	0.000	0.000	0.000	-0.005	-0.006	-0.113
90	0.000	0.000	0.000	-0.010	0.038	-0.069
91	0.000	0.000	0.000	0.010	0.036	-0.014
92	0.000	0.000	0.000	-0.033	-0.010	-0.013
93	0.000	0.000	0.000	0.126	0.145	0.076
94	0.000	0.000	0.000	0.100	0.111	0.106
95	0.000	0.000	0.000	-0.052	-0.028	0.029
96	0.000	0.000	0.000	0.028	0.042	0.097
97	0.000	0.000	0.000	-0.050	-0.060	0.130
98	0.000	0.000	0.000	-0.098	-0.098	0.125
99	0.000	0.000	0.000	0.185	0.183	0.300
100	0.000	0.000	0.000	0.112	0.112	0.312

I T	AS α^S	AR α^R	AP α^P	VII α^Y	VIV α^W	VIO α^O
1	0.967	0.926	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.640	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.350	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.160	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.040	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.012	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.024	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.019	0.035	0.016
13	0.557	0.207	0.000	0.038	0.045	0.032
14	0.533	0.164	0.000	0.057	0.053	0.047
15	0.500	0.125	0.000	0.077	0.065	0.061
16	0.467	0.089	0.000	0.098	0.074	0.066
17	0.433	0.058	0.000	0.129	0.086	0.076
18	0.400	0.032	0.000	0.167	0.089	0.084
19	0.367	0.011	0.000	0.206	0.099	0.094
20	0.333	0.000	0.000	0.245	0.102	0.097
21	0.300	0.000	0.000	0.284	0.104	0.106
22	0.267	0.000	0.000	0.321	0.104	0.108
23	0.233	0.000	0.000	0.354	0.103	0.107
24	0.200	0.000	0.000	0.381	0.108	0.106
25	0.167	0.000	0.000	0.408	0.111	0.102
26	0.133	0.000	0.000	0.435	0.113	0.108
27	0.100	0.000	0.000	0.466	0.113	0.112
28	0.067	0.000	0.000	0.490	0.122	0.116
29	0.033	0.000	0.000	0.511	0.129	0.117
30	0.000	0.000	0.000	0.530	0.138	0.127
31	0.000	0.000	0.000	0.549	0.144	0.135
32	0.000	0.000	0.000	0.565	0.147	0.146
33	0.000	0.000	0.000	0.578	0.147	0.153
34	0.000	0.000	0.000	0.591	0.134	0.153
35	0.000	0.000	0.000	0.601	0.122	0.152
36	0.000	0.000	0.000	0.606	0.110	0.130
37	0.000	0.000	0.000	0.603	0.097	0.111
38	0.000	0.000	0.000	0.609	0.085	0.096
39	0.000	0.000	0.000	0.610	0.072	0.078
40	0.000	0.000	0.000	0.613	0.060	0.069
41	0.000	0.000	0.000	0.608	0.040	0.059
42	0.000	0.000	0.000	0.557	0.039	0.048
43	0.000	0.000	0.000	0.512	0.024	0.035
44	0.000	0.000	0.000	0.406	0.020	0.028
45	0.000	0.000	0.000	0.425	0.016	0.012
46	0.000	0.000	0.000	0.376	0.015	0.010
47	0.000	0.000	0.000	0.334	0.014	0.010
48	0.000	0.000	0.000	0.298	0.012	0.011
49	0.000	0.000	0.000	0.253	0.013	0.015
50	0.000	0.000	0.000	0.218	0.015	0.013
51	0.000	0.000	0.000	0.172	0.024	0.014
52	0.000	0.000	0.000	0.124	0.015	0.017
53	0.000	0.000	0.000	0.070	0.010	0.026
54	0.000	0.000	0.000	0.022	0.013	0.016
55	0.000	0.000	0.000	-0.031	0.009	0.017
56	0.000	0.000	0.000	-0.073	0.016	0.012
57	0.000	0.000	0.000	-0.120	0.028	0.003
58	0.000	0.000	0.000	-0.164	0.042	0.016
59	0.000	0.000	0.000	-0.205	0.064	0.032
60	0.000	0.000	0.000	-0.242	0.088	0.053
61	0.000	0.000	0.000	-0.261	0.101	0.065
62	0.000	0.000	0.000	-0.285	0.123	0.112
63	0.000	0.000	0.000	-0.308	0.140	0.125
64	0.000	0.000	0.000	-0.331	0.144	0.148

65	0.000	0.000	0.000	-0.345	0.139	0.159
66	0.000	0.000	0.000	-0.360	0.119	0.154
67	0.000	0.000	0.000	-0.362	0.088	0.144
68	0.000	0.000	0.000	-0.368	0.061	0.109
69	0.000	0.000	0.000	-0.382	0.024	0.064
70	0.000	0.000	0.000	-0.377	-0.025	0.029
71	0.000	0.000	0.000	-0.398	-0.049	-0.018
72	0.000	0.000	0.000	-0.428	-0.094	-0.071
73	0.000	0.000	0.000	-0.447	-0.151	-0.088
74	0.000	0.000	0.000	-0.467	-0.180	-0.136
75	0.000	0.000	0.000	-0.494	-0.226	-0.197
76	0.000	0.000	0.000	-0.484	-0.255	-0.218
77	0.000	0.000	0.000	-0.490	-0.246	-0.273
78	0.000	0.000	0.000	-0.497	-0.263	-0.296
79	0.000	0.000	0.000	-0.479	-0.272	-0.263
80	0.000	0.000	0.000	-0.477	-0.255	-0.279
81	0.000	0.000	0.000	-0.446	-0.271	-0.271
82	0.000	0.000	0.000	-0.373	-0.253	-0.241
83	0.000	0.000	0.000	-0.338	-0.197	-0.274
84	0.000	0.000	0.000	-0.292	-0.194	-0.245
85	0.000	0.000	0.000	-0.235	-0.170	-0.172
86	0.000	0.000	0.000	-0.227	-0.136	-0.178
87	0.000	0.000	0.000	-0.179	-0.178	-0.135
88	0.000	0.000	0.000	-0.108	-0.135	-0.099
89	0.000	0.000	0.000	-0.098	-0.066	-0.179
90	0.000	0.000	0.000	-0.054	-0.070	-0.121
91	0.000	0.000	0.000	-0.024	0.001	-0.043
92	0.000	0.000	0.000	-0.080	0.037	-0.061
93	0.000	0.000	0.000	-0.037	-0.043	0.063
94	0.000	0.000	0.000	0.014	0.016	0.091
95	0.000	0.000	0.000	0.011	0.062	-0.043
96	0.000	0.000	0.000	0.113	0.033	0.042
97	0.000	0.000	0.000	0.143	0.170	0.062
98	0.000	0.000	0.000	0.061	0.161	0.013
99	0.000	0.000	0.000	0.136	0.020	0.243
100	0.000	0.000	0.000	0.164	0.088	0.201

I.	AS α_c^s	AR α_c^R	AP α_c^P	VIV α_c^V	VIE α_c^E	VIT α_c^T
1	0.967	0.920	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.040	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.190	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.350	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.150	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.044	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.000	0.008	0.000
13	0.567	0.207	0.000	0.000	0.015	0.000
14	0.533	0.164	0.000	0.000	0.022	0.000
15	0.500	0.125	0.000	0.000	0.029	0.000
16	0.467	0.089	0.000	0.017	0.030	0.009
17	0.433	0.058	0.000	0.033	0.033	0.018
18	0.400	0.032	0.000	0.048	0.038	0.026
19	0.367	0.011	0.000	0.063	0.049	0.033
20	0.333	0.000	0.000	0.074	0.056	0.035
21	0.300	0.000	0.000	0.090	0.066	0.039
22	0.267	0.000	0.000	0.103	0.068	0.045
23	0.233	0.000	0.000	0.118	0.069	0.057
24	0.200	0.000	0.000	0.123	0.068	0.064
25	0.167	0.000	0.000	0.136	0.069	0.073
26	0.133	0.000	0.000	0.140	0.076	0.075
27	0.100	0.000	0.000	0.143	0.078	0.074
28	0.067	0.000	0.000	0.137	0.080	0.075
29	0.033	0.000	0.000	0.130	0.080	0.078
30	0.000	0.000	0.000	0.131	0.077	0.086
31	0.000	0.000	0.000	0.130	0.068	0.088
32	0.000	0.000	0.000	0.128	0.060	0.090
33	0.000	0.000	0.000	0.122	0.047	0.089
34	0.000	0.000	0.000	0.129	0.033	0.087
35	0.000	0.000	0.000	0.133	0.019	0.079
36	0.000	0.000	0.000	0.144	-0.001	0.068
37	0.000	0.000	0.000	0.147	-0.022	0.052
38	0.000	0.000	0.000	0.149	-0.037	0.034
39	0.000	0.000	0.000	0.149	-0.050	0.015
40	0.000	0.000	0.000	0.132	-0.054	-0.009
41	0.000	0.000	0.000	0.119	-0.049	-0.034
42	0.000	0.000	0.000	0.103	-0.050	-0.051
43	0.000	0.000	0.000	0.084	-0.044	-0.067
44	0.000	0.000	0.000	0.058	-0.036	-0.071
45	0.000	0.000	0.000	0.053	-0.029	-0.065
46	0.000	0.000	0.000	0.034	-0.005	-0.003
47	0.000	0.000	0.000	0.013	0.025	-0.055
48	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.050	-0.044
49	0.000	0.000	0.000	-0.023	0.083	-0.036
50	0.000	0.000	0.000	-0.029	0.108	-0.011
51	0.000	0.000	0.000	-0.034	0.122	0.024
52	0.000	0.000	0.000	-0.029	0.145	0.048
53	0.000	0.000	0.000	-0.025	0.157	0.082
54	0.000	0.000	0.000	-0.022	0.158	0.108
55	0.000	0.000	0.000	-0.014	0.152	0.122
56	0.000	0.000	0.000	-0.005	0.127	0.147
57	0.000	0.000	0.000	0.012	0.092	0.100
58	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.167
59	0.000	0.000	0.000	0.018	0.028	0.159
60	0.000	0.000	0.000	0.019	-0.009	0.134
61	0.000	0.000	0.000	0.021	-0.020	0.093
62	0.000	0.000	0.000	0.033	-0.059	0.009
63	0.000	0.000	0.000	0.051	-0.103	0.000
64	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

65	0.000	0.000	0.000	0.098	-0.172	-0.016
66	0.000	0.000	0.000	0.129	-0.197	-0.055
67	0.000	0.000	0.000	0.145	-0.174	-0.105
68	0.000	0.000	0.000	0.172	-0.189	-0.120
69	0.000	0.000	0.000	0.189	-0.183	-0.171
70	0.000	0.000	0.000	0.195	-0.160	-0.201
71	0.000	0.000	0.000	0.185	-0.179	-0.178
72	0.000	0.000	0.000	0.150	-0.144	-0.200
73	0.000	0.000	0.000	0.114	-0.074	-0.209
74	0.000	0.000	0.000	0.072	-0.058	-0.187
75	0.000	0.000	0.000	0.013	-0.009	-0.214
76	0.000	0.000	0.000	-0.051	0.034	-0.184
77	0.000	0.000	0.000	-0.105	-0.014	-0.103
78	0.000	0.000	0.000	-0.178	0.041	-0.088
79	0.000	0.000	0.000	-0.263	0.102	-0.044
80	0.000	0.000	0.000	-0.314	0.089	0.011
81	0.000	0.000	0.000	-0.383	0.171	-0.044
82	0.000	0.000	0.000	-0.426	0.172	0.015
83	0.000	0.000	0.000	-0.410	0.050	0.106
84	0.000	0.000	0.000	-0.423	0.085	0.091
85	0.000	0.000	0.000	-0.418	0.073	0.178
86	0.000	0.000	0.000	-0.378	0.010	0.191
87	0.000	0.000	0.000	-0.379	0.140	0.049
88	0.000	0.000	0.000	-0.326	0.070	0.094
89	0.000	0.000	0.000	-0.232	-0.112	0.116
90	0.000	0.000	0.000	-0.200	-0.066	0.044
91	0.000	0.000	0.000	-0.135	-0.183	0.187
92	0.000	0.000	0.000	-0.059	-0.233	0.122
93	0.000	0.000	0.000	-0.100	0.041	-0.113
94	0.000	0.000	0.000	-0.025	-0.054	-0.053
95	0.000	0.000	0.000	0.064	-0.179	-0.147
96	0.000	0.000	0.000	0.053	-0.055	-0.222
97	0.000	0.000	0.000	0.100	-0.327	0.094
98	0.000	0.000	0.000	0.194	-0.282	-0.010
99	0.000	0.000	0.000	0.085	0.177	-0.217
100	0.000	0.000	0.000	0.145	0.028	-0.067

I τ	AS α_s	AR α_R	AP α_P	VTK α_K	VVF α_F	VUQ α_Q
1	0.967	0.926	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.640	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.350	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.160	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.004	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.567	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.533	0.164	0.000	0.000	0.006	0.000
15	0.500	0.125	0.000	0.000	0.018	0.000
16	0.467	0.089	0.000	0.000	0.035	0.000
17	0.433	0.058	0.000	0.000	0.052	0.000
18	0.400	0.032	0.000	0.000	0.065	0.007
19	0.367	0.011	0.000	0.000	0.074	0.020
20	0.333	0.000	0.000	0.000	0.080	0.040
21	0.300	0.000	0.000	0.000	0.093	0.060
22	0.267	0.000	0.000	0.011	0.105	0.075
23	0.233	0.000	0.000	0.022	0.117	0.086
24	0.200	0.000	0.000	0.032	0.126	0.092
25	0.167	0.000	0.000	0.041	0.131	0.108
26	0.133	0.000	0.000	0.043	0.132	0.120
27	0.100	0.000	0.000	0.048	0.130	0.132
28	0.067	0.000	0.000	0.055	0.125	0.139
29	0.033	0.000	0.000	0.071	0.117	0.142
30	0.000	0.000	0.000	0.079	0.108	0.141
31	0.000	0.000	0.000	0.091	0.091	0.137
32	0.000	0.000	0.000	0.093	0.077	0.130
33	0.000	0.000	0.000	0.092	0.057	0.118
34	0.000	0.000	0.000	0.091	0.040	0.107
35	0.000	0.000	0.000	0.091	0.027	0.088
36	0.000	0.000	0.000	0.099	0.018	0.074
37	0.000	0.000	0.000	0.099	0.012	0.053
38	0.000	0.000	0.000	0.101	0.007	0.036
39	0.000	0.000	0.000	0.099	-0.002	0.024
40	0.000	0.000	0.000	0.094	-0.011	0.015
41	0.000	0.000	0.000	0.080	-0.012	0.012
42	0.000	0.000	0.000	0.066	-0.010	0.009
43	0.000	0.000	0.000	0.043	0.004	0.001
44	0.000	0.000	0.000	0.020	0.020	-0.008
45	0.000	0.000	0.000	-0.003	0.038	-0.009
46	0.000	0.000	0.000	-0.033	0.005	-0.007
47	0.000	0.000	0.000	-0.063	0.094	0.009
48	0.000	0.000	0.000	-0.080	0.119	0.027
49	0.000	0.000	0.000	-0.106	0.148	0.043
50	0.000	0.000	0.000	-0.111	0.174	0.072
51	0.000	0.000	0.000	-0.103	0.160	0.100
52	0.000	0.000	0.000	-0.100	0.168	0.128
53	0.000	0.000	0.000	-0.088	0.164	0.157
54	0.000	0.000	0.000	-0.070	0.147	0.183
55	0.000	0.000	0.000	-0.054	0.144	0.170
56	0.000	0.000	0.000	-0.018	0.116	0.170
57	0.000	0.000	0.000	0.031	0.075	0.163
58	0.000	0.000	0.000	0.067	0.041	0.140
59	0.000	0.000	0.000	0.110	-0.009	0.133
60	0.000	0.000	0.000	0.154	-0.003	0.098
61	0.000	0.000	0.000	0.170	-0.094	0.050
62	0.000	0.000	0.000	0.209	-0.152	0.010
63	0.000	0.000	0.000	0.250	-0.205	-0.040
64	0.000	0.000	0.000	0.283	-0.254	-0.081

65	0.000	0.000	0.000	0.218	-0.209	-0.130
66	0.000	0.000	0.000	0.182	-0.286	-0.187
67	0.000	0.000	0.000	0.127	-0.256	-0.240
68	0.000	0.000	0.000	0.089	-0.266	-0.256
69	0.000	0.000	0.000	0.036	-0.256	-0.290
70	0.000	0.000	0.000	-0.024	-0.218	-0.299
71	0.000	0.000	0.000	-0.047	-0.227	-0.261
72	0.000	0.000	0.000	-0.105	-0.178	-0.265
73	0.000	0.000	0.000	-0.171	-0.096	-0.253
74	0.000	0.000	0.000	-0.205	-0.072	-0.209
75	0.000	0.000	0.000	-0.266	-0.014	-0.217
76	0.000	0.000	0.000	-0.304	0.034	-0.168
77	0.000	0.000	0.000	-0.272	-0.009	-0.081
78	0.000	0.000	0.000	-0.291	0.048	-0.063
79	0.000	0.000	0.000	-0.289	0.114	-0.009
80	0.000	0.000	0.000	-0.253	0.103	0.038
81	0.000	0.000	0.000	-0.273	0.187	-0.018
82	0.000	0.000	0.000	-0.222	0.184	0.034
83	0.000	0.000	0.000	-0.116	0.055	0.103
84	0.000	0.000	0.000	-0.084	0.084	0.085
85	0.000	0.000	0.000	-0.013	0.068	0.169
86	0.000	0.000	0.000	0.062	0.005	0.168
87	0.000	0.000	0.000	0.009	0.142	0.025
88	0.000	0.000	0.000	0.091	0.072	0.059
89	0.000	0.000	0.000	0.195	-0.115	0.058
90	0.000	0.000	0.000	0.182	-0.070	-0.005
91	0.000	0.000	0.000	0.289	-0.191	0.150
92	0.000	0.000	0.000	0.296	-0.234	0.084
93	0.000	0.000	0.000	0.126	0.053	-0.123
94	0.000	0.000	0.000	0.109	-0.044	-0.065
95	0.000	0.000	0.000	0.171	-0.170	-0.179
96	0.000	0.000	0.000	0.074	-0.052	-0.223
97	0.000	0.000	0.000	0.235	-0.339	0.098
98	0.000	0.000	0.000	0.137	-0.292	-0.002
99	0.000	0.000	0.000	-0.141	0.177	-0.157
100	0.000	0.000	0.000	-0.087	0.029	-0.022

L τ	AS $\frac{d\tau}{dt}$	AR $\frac{d\tau}{dt}$	AP $\frac{d\tau}{dt}$	VIX $\frac{d\tau}{dt}$	VID $\frac{d\tau}{dt}$	VTC $\frac{d\tau}{dt}$
1	0.907	0.920	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.640	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.807	0.715	0.360	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.536	0.160	0.000	0.000	0.000
7	0.707	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.455	0.004	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.657	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.507	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.533	0.154	0.000	0.000	0.005	0.000
15	0.500	0.125	0.000	0.000	0.010	0.003
16	0.467	0.089	0.000	0.000	0.018	0.007
17	0.433	0.058	0.000	0.000	0.030	0.013
18	0.400	0.032	0.000	0.000	0.038	0.021
19	0.307	0.011	0.000	0.000	0.047	0.025
20	0.333	0.000	0.000	0.000	0.053	0.031
21	0.300	0.000	0.000	0.000	0.058	0.030
22	0.257	0.000	0.000	0.000	0.057	0.028
23	0.233	0.000	0.000	0.000	0.062	0.024
24	0.200	0.000	0.000	0.000	0.054	0.022
25	0.167	0.000	0.000	0.000	0.062	0.018
26	0.133	0.000	0.000	0.008	0.062	0.015
27	0.100	0.000	0.000	0.024	0.060	0.010
28	0.067	0.000	0.000	0.048	0.058	-0.002
29	0.033	0.000	0.000	0.071	0.052	-0.008
30	0.000	0.000	0.000	0.089	0.044	-0.018
31	0.000	0.000	0.000	0.102	0.030	-0.027
32	0.000	0.000	0.000	0.110	0.021	-0.031
33	0.000	0.000	0.000	0.128	0.008	-0.037
34	0.000	0.000	0.000	0.143	-0.002	-0.046
35	0.000	0.000	0.000	0.157	-0.013	-0.047
36	0.000	0.000	0.000	0.166	-0.022	-0.053
37	0.000	0.000	0.000	0.169	-0.031	-0.057
38	0.000	0.000	0.000	0.168	-0.038	-0.048
39	0.000	0.000	0.000	0.163	-0.038	-0.054
40	0.000	0.000	0.000	0.154	-0.044	-0.051
41	0.000	0.000	0.000	0.140	-0.043	-0.040
42	0.000	0.000	0.000	0.120	-0.041	-0.049
43	0.000	0.000	0.000	0.100	-0.039	-0.035
44	0.000	0.000	0.000	0.078	-0.022	-0.013
45	0.000	0.000	0.000	0.049	0.002	0.001
46	0.000	0.000	0.000	0.026	0.023	0.020
47	0.000	0.000	0.000	0.009	0.052	0.050
48	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.081	0.055
49	0.000	0.000	0.000	-0.009	0.098	0.080
50	0.000	0.000	0.000	-0.010	0.124	0.102
51	0.000	0.000	0.000	-0.028	0.144	0.104
52	0.000	0.000	0.000	-0.040	0.151	0.121
53	0.000	0.000	0.000	-0.042	0.150	0.112
54	0.000	0.000	0.000	-0.040	0.132	0.067
55	0.000	0.000	0.000	-0.020	0.101	0.050
56	0.000	0.000	0.000	0.003	0.070	0.022
57	0.000	0.000	0.000	0.025	0.046	-0.019
58	0.000	0.000	0.000	0.052	0.005	-0.014
59	0.000	0.000	0.000	0.101	-0.011	-0.051
60	0.000	0.000	0.000	0.137	-0.052	-0.110
61	0.000	0.000	0.000	0.177	-0.103	-0.113
62	0.000	0.000	0.000	0.212	-0.120	-0.151
63	0.000	0.000	0.000	0.201	-0.107	-0.104
64	0.000	0.000	0.000	0.202	-0.188	-0.102

65	0.0000	0.0000	0.0000	0.195	-0.163	-0.115
66	0.0000	0.0000	0.0000	0.169	-0.177	-0.123
67	0.0000	0.0000	0.0000	0.163	-0.176	-0.075
68	0.0000	0.0000	0.0000	0.124	-0.153	-0.111
69	0.0000	0.0000	0.0000	0.067	-0.169	-0.076
70	0.0000	0.0000	0.0000	0.019	-0.135	0.043
71	0.0000	0.0000	0.0000	-0.044	-0.064	0.033
72	0.0000	0.0000	0.0000	-0.118	-0.049	0.061
73	0.0000	0.0000	0.0000	-0.159	-0.005	0.114
74	0.0000	0.0000	0.0000	-0.234	0.036	0.005
75	0.0000	0.0000	0.0000	-0.304	-0.009	0.060
76	0.0000	0.0000	0.0000	-0.330	0.046	0.180
77	0.0000	0.0000	0.0000	-0.377	0.114	0.136
78	0.0000	0.0000	0.0000	-0.394	0.105	0.229
79	0.0000	0.0000	0.0000	-0.347	0.182	0.242
80	0.0000	0.0000	0.0000	-0.353	0.186	0.003
81	0.0000	0.0000	0.0000	-0.337	0.066	0.068
82	0.0000	0.0000	0.0000	-0.279	0.105	0.134
83	0.0000	0.0000	0.0000	-0.288	0.109	0.023
84	0.0000	0.0000	0.0000	-0.223	0.051	0.250
85	0.0000	0.0000	0.0000	-0.108	0.179	0.187
86	0.0000	0.0000	0.0000	-0.078	0.110	-0.180
87	0.0000	0.0000	0.0000	-0.002	-0.079	-0.068
88	0.0000	0.0000	0.0000	0.007	-0.035	-0.150
89	0.0000	0.0000	0.0000	0.008	-0.141	-0.265
90	0.0000	0.0000	0.0000	0.084	-0.199	0.229
91	0.0000	0.0000	0.0000	0.179	0.000	0.085
92	0.0000	0.0000	0.0000	0.162	-0.047	-0.304
93	0.0000	0.0000	0.0000	0.271	-0.201	-0.071
94	0.0000	0.0000	0.0000	0.273	-0.084	-0.447
95	0.0000	0.0000	0.0000	0.094	-0.339	-0.462
96	0.0000	0.0000	0.0000	0.137	-0.301	0.419
97	0.0000	0.0000	0.0000	0.132	0.154	0.142
98	0.0000	0.0000	0.0000	0.046	-0.001	-0.063
99	0.0000	0.0000	0.0000	0.232	0.006	0.271
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.141	0.164	-0.702

I	AS α_T^S	AR α_T^R	AP α_T^P	VIN α_T^N	VIB α_T^B	VIM α_T^M
1	0.957	0.926	0.810	0.000	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.640	0.000	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.000	0.000	0.000
4	0.867	0.715	0.350	0.000	0.000	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.000	0.000	0.000
6	0.800	0.586	0.150	0.000	0.000	0.000
7	0.767	0.524	0.090	0.000	0.000	0.000
8	0.733	0.465	0.004	0.000	0.000	0.000
9	0.700	0.408	0.010	0.000	0.000	0.000
10	0.667	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.633	0.302	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.600	0.253	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.567	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.533	0.164	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.500	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.467	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.433	0.058	0.000	0.000	0.003	0.000
18	0.400	0.032	0.000	0.007	0.006	0.000
19	0.367	0.011	0.000	0.013	0.008	0.000
20	0.333	0.000	0.000	0.026	0.012	0.000
21	0.300	0.000	0.000	0.043	0.011	0.006
22	0.267	0.000	0.000	0.050	0.009	0.011
23	0.233	0.000	0.000	0.061	0.008	0.016
24	0.200	0.000	0.000	0.054	0.004	0.025
25	0.167	0.000	0.000	0.042	0.004	0.022
26	0.133	0.000	0.000	0.022	0.008	0.018
27	0.100	0.000	0.000	0.002	0.007	0.016
28	0.067	0.000	0.000	-0.014	0.003	0.009
29	0.033	0.000	0.000	-0.032	0.001	0.002
30	0.000	0.000	0.000	-0.034	-0.011	0.005
31	0.000	0.000	0.000	-0.046	-0.012	-0.003
32	0.000	0.000	0.000	-0.037	-0.009	-0.018
33	0.000	0.000	0.000	-0.039	-0.013	-0.020
34	0.000	0.000	0.000	-0.039	-0.010	-0.039
35	0.000	0.000	0.000	-0.030	-0.010	-0.041
36	0.000	0.000	0.000	-0.040	-0.024	-0.027
37	0.000	0.000	0.000	-0.046	-0.021	-0.027
38	0.000	0.000	0.000	-0.058	-0.017	-0.024
39	0.000	0.000	0.000	-0.067	-0.023	-0.018
40	0.000	0.000	0.000	-0.076	-0.005	-0.031
41	0.000	0.000	0.000	-0.065	-0.006	-0.022
42	0.000	0.000	0.000	-0.067	-0.023	0.006
43	0.000	0.000	0.000	-0.057	-0.012	-0.004
44	0.000	0.000	0.000	-0.035	-0.015	0.017
45	0.000	0.000	0.000	-0.030	-0.012	0.015
46	0.000	0.000	0.000	0.006	0.025	-0.022
47	0.000	0.000	0.000	0.039	0.023	-0.006
48	0.000	0.000	0.000	0.070	0.014	0.001
49	0.000	0.000	0.000	0.109	0.032	-0.001
50	0.000	0.000	0.000	0.135	0.009	0.044
51	0.000	0.000	0.000	0.139	0.010	0.051
52	0.000	0.000	0.000	0.153	0.003	0.011
53	0.000	0.000	0.000	0.165	0.044	0.049
54	0.000	0.000	0.000	0.139	0.038	0.040
55	0.000	0.000	0.000	0.133	0.043	0.039
56	0.000	0.000	0.000	0.089	-0.032	0.126
57	0.000	0.000	0.000	-0.006	-0.031	0.089
58	0.000	0.000	0.000	-0.054	0.018	0.032
59	0.000	0.000	0.000	-0.121	-0.022	0.035
60	0.000	0.000	0.000	-0.178	0.008	-0.074
61	0.000	0.000	0.000	-0.161	0.008	-0.111
62	0.000	0.000	0.000	-0.192	-0.114	-0.003
63	0.000	0.000	0.000	-0.214	-0.004	-0.003
64	0.000	0.000	0.000	-0.173	-0.041	-0.110

55	0.000	0.000	0.000	-0.182	-0.080	-0.074
66	0.000	0.000	0.000	-0.150	0.043	-0.261
57	0.000	0.000	0.000	-0.043	0.038	-0.204
68	0.000	0.000	0.000	-0.039	-0.115	-0.007
69	0.000	0.000	0.000	-0.032	-0.032	-0.050
70	0.000	0.000	0.000	0.022	-0.041	0.089
71	0.000	0.000	0.000	-0.041	-0.075	0.159
72	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.178	-0.120
73	0.000	0.000	0.000	0.129	0.128	0.010
74	0.000	0.000	0.000	0.104	-0.055	0.180
75	0.000	0.000	0.000	0.155	0.066	0.053
76	0.000	0.000	0.000	0.200	-0.097	0.363
77	0.000	0.000	0.000	0.050	-0.112	0.306
78	0.000	0.000	0.000	0.121	0.302	-0.200
79	0.000	0.000	0.000	0.244	0.158	-0.027
80	0.000	0.000	0.000	0.168	0.022	-0.074
81	0.000	0.000	0.000	0.303	0.166	-0.234
82	0.000	0.000	0.000	0.277	-0.299	0.425
83	0.000	0.000	0.000	-0.045	-0.240	0.263
84	0.000	0.000	0.000	0.015	0.341	-0.320
85	0.000	0.000	0.000	0.024	0.065	0.026
86	0.000	0.000	0.000	-0.122	0.178	-0.398
87	0.000	0.000	0.000	0.198	0.313	-0.453
88	0.000	0.000	0.000	0.096	-0.620	0.756
89	0.000	0.000	0.000	-0.314	-0.387	0.365
90	0.000	0.000	0.000	-0.151	0.255	-0.069
91	0.000	0.000	0.000	-0.323	-0.165	0.362
92	0.000	0.000	0.000	-0.408	0.547	-0.921
93	0.000	0.000	0.000	0.260	0.575	-0.801
94	0.000	0.000	0.000	0.073	-0.956	0.908
95	0.000	0.000	0.000	-0.293	-0.405	0.122
96	0.000	0.000	0.000	0.009	-0.047	0.338
97	0.000	0.000	0.000	-0.571	-0.567	0.786
98	0.000	0.000	0.000	-0.510	1.258	-1.843
99	0.000	0.000	0.000	0.578	0.971	-1.173
100	0.000	0.000	0.000	0.211	-1.114	0.827

1	AS	AR	AP	VIU	VPI
τ	$\frac{dR}{dt}$	$\frac{dR}{dt}$	$\frac{dP}{dt}$	$\frac{dU}{dt}$	$\frac{dI}{dt}$
1	0.967	0.920	0.810	0.000	0.000
2	0.933	0.854	0.640	0.000	0.000
3	0.900	0.784	0.490	0.053	0.000
4	0.867	0.715	0.360	0.105	0.000
5	0.833	0.650	0.250	0.153	0.032
6	0.800	0.580	0.150	0.198	0.096
7	0.767	0.524	0.090	0.223	0.159
8	0.733	0.455	0.004	0.262	0.223
9	0.700	0.408	0.010	0.253	0.285
10	0.667	0.353	0.000	0.253	0.336
11	0.633	0.302	0.000	0.227	0.362
12	0.600	0.253	0.000	0.228	0.356
13	0.567	0.207	0.000	0.210	0.351
14	0.533	0.164	0.000	0.190	0.342
15	0.500	0.125	0.000	0.176	0.347
16	0.467	0.089	0.000	0.148	0.346
17	0.433	0.058	0.000	0.172	0.342
18	0.400	0.032	0.000	0.170	0.354
19	0.367	0.011	0.000	0.189	0.343
20	0.333	0.000	0.000	0.207	0.320
21	0.300	0.000	0.000	0.233	0.288
22	0.267	0.000	0.000	0.243	0.241
23	0.233	0.000	0.000	0.233	0.195
24	0.200	0.000	0.000	0.229	0.138
25	0.167	0.000	0.000	0.205	0.080
26	0.133	0.000	0.000	0.185	0.004
27	0.100	0.000	0.000	0.115	0.054
28	0.067	0.000	0.000	0.062	0.071
29	0.033	0.000	0.000	0.010	0.075
30	0.000	0.000	0.000	-0.026	0.081
31	0.000	0.000	0.000	-0.040	0.102
32	0.000	0.000	0.000	-0.054	0.114
33	0.000	0.000	0.000	-0.017	0.130
34	0.000	0.000	0.000	0.023	0.150
35	0.000	0.000	0.000	0.082	0.180
36	0.000	0.000	0.000	0.131	0.220
37	0.000	0.000	0.000	0.193	0.263
38	0.000	0.000	0.000	0.259	0.298
39	0.000	0.000	0.000	0.290	0.329
40	0.000	0.000	0.000	0.337	0.352
41	0.000	0.000	0.000	0.335	0.360
42	0.000	0.000	0.000	0.337	0.340
43	0.000	0.000	0.000	0.302	0.332
44	0.000	0.000	0.000	0.252	0.318
45	0.000	0.000	0.000	0.186	0.299
46	0.000	0.000	0.000	0.129	0.283
47	0.000	0.000	0.000	0.082	0.257
48	0.000	0.000	0.000	0.025	0.226
49	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.191
50	0.000	0.000	0.000	-0.025	0.148
51	0.000	0.000	0.000	-0.021	0.096
52	0.000	0.000	0.000	-0.019	0.048
53	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011
54	0.000	0.000	0.000	0.020	-0.020
55	0.000	0.000	0.000	0.040	-0.050
56	0.000	0.000	0.000	0.070	-0.068
57	0.000	0.000	0.000	0.001	-0.090
58	0.000	0.000	0.000	0.009	-0.099
59	0.000	0.000	0.000	0.050	-0.117
60	0.000	0.000	0.000	0.034	-0.133
61	0.000	0.000	0.000	0.010	-0.130
62	0.000	0.000	0.000	-0.003	-0.130
63	0.000	0.000	0.000	-0.027	-0.147
64	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.133

65	0.000	0.000	0.000	-0.085	-0.122
66	0.000	0.000	0.000	-0.131	-0.130
67	0.000	0.000	0.000	-0.129	-0.140
68	0.000	0.000	0.000	-0.141	-0.173
69	0.000	0.000	0.000	-0.161	-0.216
70	0.000	0.000	0.000	-0.162	-0.239
71	0.000	0.000	0.000	-0.190	-0.286
72	0.000	0.000	0.000	-0.229	-0.335
73	0.000	0.000	0.000	-0.200	-0.355
74	0.000	0.000	0.000	-0.296	-0.404
75	0.000	0.000	0.000	-0.354	-0.441
76	0.000	0.000	0.000	-0.356	-0.446
77	0.000	0.000	0.000	-0.409	-0.473
78	0.000	0.000	0.000	-0.455	-0.482
79	0.000	0.000	0.000	-0.441	-0.465
80	0.000	0.000	0.000	-0.459	-0.488
81	0.000	0.000	0.000	-0.427	-0.448
82	0.000	0.000	0.000	-0.344	-0.360
83	0.000	0.000	0.000	-0.303	-0.315
84	0.000	0.000	0.000	-0.230	-0.215
85	0.000	0.000	0.000	-0.107	-0.101
86	0.000	0.000	0.000	-0.079	-0.063
87	0.000	0.000	0.000	0.027	0.046
88	0.000	0.000	0.000	0.183	0.161
89	0.000	0.000	0.000	0.200	0.190
90	0.000	0.000	0.000	0.307	0.329
91	0.000	0.000	0.000	0.379	0.408
92	0.000	0.000	0.000	0.300	0.306
93	0.000	0.000	0.000	0.359	0.451
94	0.000	0.000	0.000	0.391	0.460
95	0.000	0.000	0.000	0.270	0.375
96	0.000	0.000	0.000	0.344	0.478
97	0.000	0.000	0.000	0.312	0.403
98	0.000	0.000	0.000	0.081	0.229
99	0.000	0.000	0.000	0.150	0.257
100	0.000	0.000	0.000	0.008	0.072

I	AS $\frac{ds}{dt}$	AR $\frac{dr}{dt}$	AP $\frac{dp}{dt}$	HIS $\frac{hs}{ht}$	HTR $\frac{hr}{ht}$	HIP $\frac{hp}{ht}$
1	0.907	0.920	0.810	204.327	208.976	215.979
2	0.933	0.854	0.640	208.885	218.268	231.398
3	0.900	0.734	0.490	213.408	227.883	245.984
4	0.867	0.715	0.360	218.032	237.975	259.447
5	0.833	0.550	0.250	222.905	248.095	261.473
6	0.800	0.586	0.160	227.746	258.698	261.709
7	0.757	0.524	0.090	232.698	269.633	260.209
8	0.733	0.465	0.004	237.922	280.704	261.261
9	0.700	0.408	0.010	243.114	288.123	255.672
10	0.667	0.353	0.000	248.430	305.119	261.822
11	0.633	0.302	0.000	254.043	321.754	251.361
12	0.600	0.253	0.000	259.627	338.130	240.354
13	0.567	0.207	0.000	265.350	353.927	236.480
14	0.533	0.164	0.000	271.398	365.393	229.308
15	0.500	0.125	0.000	277.419	366.088	235.060
16	0.467	0.089	0.000	283.597	353.737	235.594
17	0.433	0.058	0.000	287.718	341.581	234.010
18	0.400	0.032	0.000	291.625	319.135	229.912
19	0.367	0.011	0.000	295.650	300.409	233.936
20	0.333	0.000	0.000	299.946	275.450	232.474
21	0.300	0.000	0.000	303.999	246.701	241.657
22	0.267	0.000	0.000	311.008	227.970	253.040
23	0.233	0.000	0.000	321.769	210.673	259.215
24	0.200	0.000	0.000	332.422	203.926	264.862
25	0.167	0.000	0.000	343.417	191.078	251.552
26	0.133	0.000	0.000	354.729	186.171	238.684
27	0.100	0.000	0.000	365.025	180.447	222.917
28	0.067	0.000	0.000	375.749	179.777	209.238
29	0.033	0.000	0.000	385.162	187.816	194.440
30	0.000	0.000	0.000	394.371	197.782	186.161
31	0.000	0.000	0.000	394.027	210.944	183.607
32	0.000	0.000	0.000	394.850	224.568	180.344
33	0.000	0.000	0.000	394.509	238.750	189.587
34	0.000	0.000	0.000	393.011	246.155	192.365
35	0.000	0.000	0.000	390.174	260.246	209.503
36	0.000	0.000	0.000	387.013	265.964	228.891
37	0.000	0.000	0.000	382.974	266.410	243.271
38	0.000	0.000	0.000	375.683	262.112	259.852
39	0.000	0.000	0.000	364.013	261.009	267.649
40	0.000	0.000	0.000	350.911	263.487	274.532
41	0.000	0.000	0.000	335.667	266.394	275.058
42	0.000	0.000	0.000	317.053	273.217	274.926
43	0.000	0.000	0.000	301.655	271.264	266.100
44	0.000	0.000	0.000	283.810	274.700	260.138
45	0.000	0.000	0.000	267.221	277.646	245.668
46	0.000	0.000	0.000	246.187	273.847	225.821
47	0.000	0.000	0.000	233.000	271.630	208.351
48	0.000	0.000	0.000	218.076	263.587	191.516
49	0.000	0.000	0.000	204.014	253.011	187.266
50	0.000	0.000	0.000	193.511	239.830	184.097
51	0.000	0.000	0.000	181.324	231.574	191.032
52	0.000	0.000	0.000	171.154	215.722	198.683
53	0.000	0.000	0.000	159.497	198.800	204.453
54	0.000	0.000	0.000	151.901	185.399	208.209
55	0.000	0.000	0.000	145.506	166.958	209.064
56	0.000	0.000	0.000	140.445	155.586	211.759
57	0.000	0.000	0.000	136.373	151.384	213.810
58	0.000	0.000	0.000	134.013	149.878	219.793
59	0.000	0.000	0.000	131.825	148.564	215.497
60	0.000	0.000	0.000	130.094	157.040	215.911
61	0.000	0.000	0.000	129.793	165.137	208.199
62	0.000	0.000	0.000	127.612	174.987	193.909
63	0.000	0.000	0.000	127.207	180.312	191.012
64	0.000	0.000	0.000	124.585	191.215	182.769

65	0.000	0.000	0.000	122.180	194.389	180.953
66	0.000	0.000	0.000	122.773	195.674	180.077
67	0.000	0.000	0.000	123.836	192.619	174.886
68	0.000	0.000	0.000	121.866	189.902	164.665
69	0.000	0.000	0.000	123.056	185.893	167.507
70	0.000	0.000	0.000	122.579	173.147	163.568
71	0.000	0.000	0.000	121.214	155.310	160.625
72	0.000	0.000	0.000	123.830	139.454	170.609
73	0.000	0.000	0.000	123.839	119.115	156.584
74	0.000	0.000	0.000	119.258	108.858	144.980
75	0.000	0.000	0.000	121.492	93.087	135.417
76	0.000	0.000	0.000	115.580	75.914	110.264
77	0.000	0.000	0.000	105.005	71.919	102.011
78	0.000	0.000	0.000	101.260	65.409	112.713
79	0.000	0.000	0.000	94.785	68.253	101.118
80	0.000	0.000	0.000	87.780	82.225	107.732
81	0.000	0.000	0.000	93.833	91.542	121.595
82	0.000	0.000	0.000	89.392	98.260	103.638
83	0.000	0.000	0.000	83.480	120.995	128.223
84	0.000	0.000	0.000	89.489	128.773	154.563
85	0.000	0.000	0.000	87.149	148.965	157.231
86	0.000	0.000	0.000	94.537	188.013	204.286
87	0.000	0.000	0.000	119.591	205.856	229.173
88	0.000	0.000	0.000	127.178	231.771	214.037
89	0.000	0.000	0.000	141.030	268.101	253.715
90	0.000	0.000	0.000	164.779	276.377	268.885
91	0.000	0.000	0.000	165.249	297.483	250.810
92	0.000	0.000	0.000	188.931	335.540	308.616
93	0.000	0.000	0.000	228.032	326.861	298.064
94	0.000	0.000	0.000	237.912	343.490	251.071
95	0.000	0.000	0.000	262.325	357.230	292.807
96	0.000	0.000	0.000	283.777	314.570	247.969
97	0.000	0.000	0.000	261.049	312.454	209.908
98	0.000	0.000	0.000	283.188	307.447	286.726
99	0.000	0.000	0.000	311.060	252.593	231.934
100	0.000	0.000	0.000	305.174	255.753	184.284

I_1 τ	AS $\alpha\tau$	AR $\alpha\tau$	AP $\alpha\tau$	HIG $h\tau$	H1H $h\tau$	H1Z $h\tau$
1	0.967	0.926	0.810	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.867	0.715	0.350	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.585	0.150	202.445	200.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	204.805	200.000	200.000
8	0.733	0.465	0.044	207.038	201.551	200.000
9	0.700	0.408	0.010	209.098	204.612	202.870
10	0.667	0.353	0.000	210.223	207.677	205.893
11	0.633	0.302	0.000	212.031	210.749	208.893
12	0.600	0.253	0.000	213.480	213.723	211.960
13	0.567	0.207	0.000	215.312	216.225	215.193
14	0.533	0.164	0.000	215.863	218.644	220.029
15	0.500	0.125	0.000	217.462	222.962	226.760
16	0.467	0.089	0.000	217.784	227.417	233.689
17	0.433	0.058	0.000	217.971	231.705	240.602
18	0.400	0.032	0.000	217.976	236.670	247.502
19	0.367	0.011	0.000	217.617	241.079	254.110
20	0.333	0.000	0.000	218.720	244.979	260.760
21	0.300	0.000	0.000	219.435	248.753	266.566
22	0.267	0.000	0.000	219.796	252.647	272.583
23	0.233	0.000	0.000	219.897	256.064	278.433
24	0.200	0.000	0.000	221.350	258.395	285.022
25	0.167	0.000	0.000	222.604	259.506	290.430
26	0.133	0.000	0.000	224.686	260.099	295.122
27	0.100	0.000	0.000	226.210	259.927	299.258
28	0.067	0.000	0.000	226.694	258.515	303.524
29	0.033	0.000	0.000	226.853	258.516	307.199
30	0.000	0.000	0.000	224.140	257.639	310.626
31	0.000	0.000	0.000	221.961	256.769	313.714
32	0.000	0.000	0.000	220.058	254.633	316.110
33	0.000	0.000	0.000	217.882	251.330	317.762
34	0.000	0.000	0.000	216.392	248.581	318.184
35	0.000	0.000	0.000	214.858	246.131	319.779
36	0.000	0.000	0.000	213.155	245.000	320.525
37	0.000	0.000	0.000	211.065	245.382	321.557
38	0.000	0.000	0.000	209.854	246.104	321.279
39	0.000	0.000	0.000	207.218	246.710	313.546
40	0.000	0.000	0.000	206.720	248.917	306.463
41	0.000	0.000	0.000	206.372	250.689	299.502
42	0.000	0.000	0.000	206.041	252.989	293.261
43	0.000	0.000	0.000	205.973	255.320	285.749
44	0.000	0.000	0.000	205.606	257.959	279.084
45	0.000	0.000	0.000	205.759	254.199	271.236
46	0.000	0.000	0.000	206.549	250.840	263.822
47	0.000	0.000	0.000	208.124	248.236	254.760
48	0.000	0.000	0.000	206.650	243.906	245.678
49	0.000	0.000	0.000	206.910	240.703	236.020
50	0.000	0.000	0.000	206.000	236.378	225.833
51	0.000	0.000	0.000	204.560	231.393	216.740
52	0.000	0.000	0.000	205.900	227.348	206.950
53	0.000	0.000	0.000	208.007	221.732	198.507
54	0.000	0.000	0.000	210.597	214.769	187.900
55	0.000	0.000	0.000	214.919	208.034	180.167
56	0.000	0.000	0.000	218.758	200.237	171.331
57	0.000	0.000	0.000	220.333	193.278	163.397
58	0.000	0.000	0.000	223.733	187.419	158.142
59	0.000	0.000	0.000	225.539	180.869	152.566
60	0.000	0.000	0.000	225.030	171.001	146.510
61	0.000	0.000	0.000	223.440	166.775	141.270
62	0.000	0.000	0.000	218.549	158.035	137.270
63	0.000	0.000	0.000	211.910	147.898	133.300
64	0.000	0.000	0.000	200.770	141.301	132.138

65	0.000	0.000	0.000	199.811	133.688	130.106
66	0.000	0.000	0.000	191.511	125.909	126.935
67	0.000	0.000	0.000	188.763	123.976	126.658
68	0.000	0.000	0.000	180.960	119.126	122.837
69	0.000	0.000	0.000	171.133	114.177	117.399
70	0.000	0.000	0.000	167.044	115.068	114.436
71	0.000	0.000	0.000	158.446	112.715	111.026
72	0.000	0.000	0.000	154.067	115.513	106.182
73	0.000	0.000	0.000	158.025	125.938	108.007
74	0.000	0.000	0.000	155.191	129.166	106.083
75	0.000	0.000	0.000	155.505	135.339	103.658
76	0.000	0.000	0.000	160.182	144.853	105.677
77	0.000	0.000	0.000	156.101	145.069	105.102
78	0.000	0.000	0.000	160.828	153.808	108.558
79	0.000	0.000	0.000	172.728	169.243	120.402
80	0.000	0.000	0.000	172.821	172.770	125.504
81	0.000	0.000	0.000	178.313	182.647	132.435
82	0.000	0.000	0.000	184.131	190.300	142.018
83	0.000	0.000	0.000	172.558	180.426	143.370
84	0.000	0.000	0.000	180.490	189.345	152.256
85	0.000	0.000	0.000	192.353	201.056	166.518
86	0.000	0.000	0.000	188.586	200.073	169.586
87	0.000	0.000	0.000	204.532	217.521	178.555
88	0.000	0.000	0.000	208.280	219.722	185.778
89	0.000	0.000	0.000	187.043	198.714	177.441
90	0.000	0.000	0.000	197.908	207.585	186.290
91	0.000	0.000	0.000	202.023	207.163	197.270
92	0.000	0.000	0.000	193.358	198.011	197.331
93	0.000	0.000	0.000	225.216	228.909	215.164
94	0.000	0.000	0.000	220.042	222.360	221.136
95	0.000	0.000	0.000	189.599	194.397	205.874
96	0.000	0.000	0.000	205.578	208.454	219.388
97	0.000	0.000	0.000	189.996	188.061	226.068
98	0.000	0.000	0.000	180.479	180.465	224.909
99	0.000	0.000	0.000	236.991	236.695	259.936
100	0.000	0.000	0.000	222.350	222.306	262.498

I	AS Δt^S	AR Δt^R	AP Δt^P	HIY Δt^Y	HTW Δt^W	HTO Δt^O
1	0.907	0.926	0.810	200.000	0.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	0.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	0.000	200.000
4	0.807	0.715	0.360	200.000	0.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	0.000	200.000
6	0.800	0.580	0.160	200.000	0.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	200.000	0.000	200.000
8	0.733	0.465	0.004	200.000	0.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	0.000	200.000
10	0.667	0.353	0.000	200.000	0.000	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	0.000	200.000
12	0.600	0.253	0.000	203.701	0.000	203.275
13	0.567	0.207	0.000	207.599	0.000	206.435
14	0.533	0.164	0.000	211.468	0.000	209.424
15	0.500	0.125	0.000	215.423	0.000	212.183
16	0.467	0.089	0.000	219.591	0.000	213.238
17	0.433	0.058	0.000	225.827	0.000	215.222
18	0.400	0.032	0.000	233.435	0.000	216.758
19	0.367	0.011	0.000	241.242	0.000	218.823
20	0.333	0.000	0.000	249.037	0.000	219.422
21	0.300	0.000	0.000	256.789	0.000	221.295
22	0.267	0.000	0.000	264.111	0.000	221.522
23	0.233	0.000	0.000	270.873	0.000	221.493
24	0.200	0.000	0.000	276.157	0.000	221.257
25	0.167	0.000	0.000	281.650	0.000	220.365
26	0.133	0.000	0.000	286.943	0.000	221.666
27	0.100	0.000	0.000	293.195	0.000	222.496
28	0.067	0.000	0.000	298.049	0.000	223.133
29	0.033	0.000	0.000	302.142	0.000	223.464
30	0.000	0.000	0.000	305.945	0.000	225.325
31	0.000	0.000	0.000	309.854	0.000	226.919
32	0.000	0.000	0.000	313.063	0.000	229.141
33	0.000	0.000	0.000	315.672	0.000	230.660
34	0.000	0.000	0.000	318.249	0.000	230.605
35	0.000	0.000	0.000	320.154	0.000	230.344
36	0.000	0.000	0.000	321.183	0.000	225.924
37	0.000	0.000	0.000	320.595	0.000	222.285
38	0.000	0.000	0.000	321.724	0.000	219.134
39	0.000	0.000	0.000	321.930	0.000	215.587
40	0.000	0.000	0.000	322.515	0.000	213.869
41	0.000	0.000	0.000	321.605	0.000	211.706
42	0.000	0.000	0.000	311.330	0.000	209.586
43	0.000	0.000	0.000	302.372	0.000	206.948
44	0.000	0.000	0.000	293.146	0.000	205.610
45	0.000	0.000	0.000	284.962	0.000	202.396
46	0.000	0.000	0.000	275.106	0.000	202.016
47	0.000	0.000	0.000	266.774	0.000	202.204
48	0.000	0.000	0.000	259.627	0.000	203.071
49	0.000	0.000	0.000	252.602	0.000	202.562
50	0.000	0.000	0.000	243.648	0.000	202.622
51	0.000	0.000	0.000	234.306	0.000	203.398
52	0.000	0.000	0.000	224.705	0.000	205.201
53	0.000	0.000	0.000	213.981	0.000	203.164
54	0.000	0.000	0.000	204.324	0.000	203.362
55	0.000	0.000	0.000	193.724	0.000	202.429
56	0.000	0.000	0.000	185.440	0.000	200.661
57	0.000	0.000	0.000	174.405	0.000	203.121
58	0.000	0.000	0.000	167.273	0.000	200.316
59	0.000	0.000	0.000	158.904	0.000	210.523
60	0.000	0.000	0.000	151.549	0.000	210.933
61	0.000	0.000	0.000	147.841	0.000	222.496
62	0.000	0.000	0.000	143.008	0.000	224.995
63	0.000	0.000	0.000	138.417	0.000	229.545
64	0.000	0.000	0.000	133.750	0.000	

65	0.000	0.000	0.000	130.984	0.000	231.849
66	0.000	0.000	0.000	128.095	0.000	230.894
67	0.000	0.000	0.000	127.592	0.000	228.809
68	0.000	0.000	0.000	126.354	0.000	221.723
69	0.000	0.000	0.000	123.612	0.000	212.852
70	0.000	0.000	0.000	124.605	0.000	205.854
71	0.000	0.000	0.000	120.479	0.000	196.487
72	0.000	0.000	0.000	114.303	0.000	185.769
73	0.000	0.000	0.000	110.627	0.000	182.359
74	0.000	0.000	0.000	106.589	0.000	172.827
75	0.000	0.000	0.000	101.137	0.000	160.619
76	0.000	0.000	0.000	103.202	0.000	156.456
77	0.000	0.000	0.000	101.915	0.000	145.353
78	0.000	0.000	0.000	100.577	0.000	140.844
79	0.000	0.000	0.000	104.245	0.000	147.378
80	0.000	0.000	0.000	104.672	0.000	144.170
81	0.000	0.000	0.000	110.707	0.000	145.794
82	0.000	0.000	0.000	125.382	0.000	151.879
83	0.000	0.000	0.000	132.333	0.000	145.171
84	0.000	0.000	0.000	141.657	0.000	151.075
85	0.000	0.000	0.000	152.954	0.000	165.640
86	0.000	0.000	0.000	154.573	0.000	164.464
87	0.000	0.000	0.000	164.284	0.000	172.993
88	0.000	0.000	0.000	178.427	0.000	180.163
89	0.000	0.000	0.000	180.370	0.000	164.109
90	0.000	0.000	0.000	189.236	0.000	175.807
91	0.000	0.000	0.000	195.261	0.000	191.410
92	0.000	0.000	0.000	184.061	0.000	187.880
93	0.000	0.000	0.000	192.660	0.000	212.612
94	0.000	0.000	0.000	202.725	0.000	218.143
95	0.000	0.000	0.000	202.242	0.000	191.454
96	0.000	0.000	0.000	222.670	0.000	208.399
97	0.000	0.000	0.000	228.621	0.000	212.401
98	0.000	0.000	0.000	212.189	0.000	202.536
99	0.000	0.000	0.000	227.125	0.000	248.626
100	0.000	0.000	0.000	232.825	0.000	240.265

I	AS	AR	AP	HIV	HTE	HIT
τ	$\frac{d\tau}{dt}$	$\frac{d\tau}{dt}$	$\frac{d\tau}{dt}$	$\frac{d\tau}{dt}$	$\frac{d\tau}{dt}$	$\frac{d\tau}{dt}$
1	0.907	0.926	0.310	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.540	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.807	0.715	0.350	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.530	0.150	200.000	200.000	200.000
7	0.707	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
8	0.733	0.455	0.004	200.000	200.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
10	0.607	0.353	0.000	200.000	200.000	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	200.000	200.000
12	0.000	0.253	0.000	200.000	201.542	200.000
13	0.567	0.207	0.000	200.000	203.030	200.000
14	0.533	0.154	0.000	200.000	204.437	200.000
15	0.500	0.125	0.000	200.000	205.736	200.000
16	0.457	0.089	0.000	203.365	205.950	201.797
17	0.433	0.058	0.000	206.612	206.612	203.530
18	0.400	0.032	0.000	209.683	207.672	205.170
19	0.367	0.011	0.000	212.518	209.824	206.684
20	0.333	0.000	0.000	214.753	211.284	206.934
21	0.300	0.000	0.000	217.902	213.102	207.704
22	0.257	0.000	0.000	220.530	213.677	208.940
23	0.233	0.000	0.000	223.621	213.734	211.448
24	0.200	0.000	0.000	224.607	213.635	212.852
25	0.107	0.000	0.000	227.229	213.826	214.684
26	0.133	0.000	0.000	228.001	215.218	215.083
27	0.100	0.000	0.000	228.697	215.611	214.899
28	0.007	0.000	0.000	227.391	216.020	215.098
29	0.033	0.000	0.000	225.902	216.063	215.536
30	0.000	0.000	0.000	226.155	215.480	217.279
31	0.000	0.000	0.000	225.923	213.665	217.621
32	0.000	0.000	0.000	225.649	212.015	217.915
33	0.000	0.000	0.000	224.482	209.310	217.815
34	0.000	0.000	0.000	225.856	206.551	217.314
35	0.000	0.000	0.000	226.614	203.735	215.725
36	0.000	0.000	0.000	228.748	199.701	213.693
37	0.000	0.000	0.000	229.432	195.575	210.487
38	0.000	0.000	0.000	229.798	192.512	206.739
39	0.000	0.000	0.000	229.765	189.957	203.065
40	0.000	0.000	0.000	226.498	189.221	198.221
41	0.000	0.000	0.000	223.857	190.168	193.284
42	0.000	0.000	0.000	220.525	190.083	189.820
43	0.000	0.000	0.000	216.850	191.232	186.600
44	0.000	0.000	0.000	213.602	192.895	185.853
45	0.000	0.000	0.000	210.583	194.226	187.068
46	0.000	0.000	0.000	206.777	198.909	187.353
47	0.000	0.000	0.000	202.533	205.004	188.903
48	0.000	0.000	0.000	199.759	209.906	191.219
49	0.000	0.000	0.000	195.425	216.618	192.859
50	0.000	0.000	0.000	194.156	221.688	197.862
51	0.000	0.000	0.000	193.237	224.478	204.850
52	0.000	0.000	0.000	194.199	228.921	209.622
53	0.000	0.000	0.000	194.959	231.490	216.321
54	0.000	0.000	0.000	195.571	231.648	221.589
55	0.000	0.000	0.000	197.222	230.368	224.382
56	0.000	0.000	0.000	199.090	225.409	229.484
57	0.000	0.000	0.000	202.470	217.905	233.181
58	0.000	0.000	0.000	201.584	213.003	233.391
59	0.000	0.000	0.000	203.507	205.042	231.896
60	0.000	0.000	0.000	203.781	198.150	226.821
61	0.000	0.000	0.000	204.261	190.019	218.513
62	0.000	0.000	0.000	206.528	188.292	213.779
63	0.000	0.000	0.000	210.242	179.300	206.928
64	0.000	0.000	0.000	213.843	174.581	198.083

65	0.000	0.000	0.000	219.548	165.503	196.892
66	0.000	0.000	0.000	225.891	160.569	188.980
67	0.000	0.000	0.000	228.955	165.296	179.052
68	0.000	0.000	0.000	234.393	162.289	174.861
69	0.000	0.000	0.000	237.737	163.311	165.832
70	0.000	0.000	0.000	239.048	168.030	159.714
71	0.000	0.000	0.000	237.054	164.112	164.409
72	0.000	0.000	0.000	231.268	171.248	159.961
73	0.000	0.000	0.000	222.773	185.118	158.130
74	0.000	0.000	0.000	214.396	188.359	162.502
75	0.000	0.000	0.000	202.632	198.168	157.151
76	0.000	0.000	0.000	187.766	206.803	163.204
77	0.000	0.000	0.000	178.984	197.298	179.463
78	0.000	0.000	0.000	164.328	208.119	182.378
79	0.000	0.000	0.000	147.333	220.478	191.294
80	0.000	0.000	0.000	137.230	217.808	202.153
81	0.000	0.000	0.000	123.356	234.298	191.194
82	0.000	0.000	0.000	114.877	234.321	203.081
83	0.000	0.000	0.000	118.058	210.048	221.112
84	0.000	0.000	0.000	115.491	216.908	218.298
85	0.000	0.000	0.000	116.476	214.576	235.604
86	0.000	0.000	0.000	124.318	201.973	238.156
87	0.000	0.000	0.000	124.178	228.051	209.880
88	0.000	0.000	0.000	134.749	213.934	218.805
89	0.000	0.000	0.000	153.613	177.527	223.232
90	0.000	0.000	0.000	160.094	186.887	208.813
91	0.000	0.000	0.000	172.940	163.365	237.468
92	0.000	0.000	0.000	186.208	153.444	224.497
93	0.000	0.000	0.000	180.085	208.271	177.451
94	0.000	0.000	0.000	194.904	189.113	189.422
95	0.000	0.000	0.000	212.728	164.165	170.661
96	0.000	0.000	0.000	212.592	189.055	155.564
97	0.000	0.000	0.000	231.991	134.571	218.743
98	0.000	0.000	0.000	238.813	143.514	198.018
99	0.000	0.000	0.000	216.925	235.347	156.501
100	0.000	0.000	0.000	229.091	205.596	186.621

I	AS	AR	AP	HTK	HTF	HTQ
T	$\frac{dS}{dt}$	$\frac{dR}{dt}$	$\frac{dP}{dt}$	$\frac{h^k}{h^t}$	$\frac{1F}{h^t}$	$\frac{1Q}{h^t}$
1	0.967	0.926	0.810	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.867	0.715	0.360	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.586	0.160	200.000	200.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
8	0.733	0.465	0.004	200.000	200.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
10	0.667	0.353	0.000	200.000	200.000	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	200.000	200.000
12	0.600	0.253	0.000	200.000	200.000	200.000
13	0.567	0.207	0.000	200.000	200.000	200.000
14	0.533	0.164	0.000	200.000	201.183	200.000
15	0.500	0.125	0.000	200.000	203.518	200.000
16	0.467	0.089	0.000	200.000	206.966	200.000
17	0.433	0.058	0.000	200.000	210.380	200.000
18	0.400	0.032	0.000	200.000	213.029	201.367
19	0.367	0.011	0.000	200.000	214.871	204.065
20	0.333	0.000	0.000	200.000	215.990	208.049
21	0.300	0.000	0.000	200.000	218.698	211.994
22	0.267	0.000	0.000	202.222	221.000	215.054
23	0.233	0.000	0.000	204.367	223.445	217.183
24	0.200	0.000	0.000	206.396	225.227	218.474
25	0.167	0.000	0.000	208.268	226.264	221.604
26	0.133	0.000	0.000	208.577	226.482	224.051
27	0.100	0.000	0.000	209.530	226.040	226.457
28	0.067	0.000	0.000	211.058	224.902	227.897
29	0.033	0.000	0.000	214.161	223.342	228.482
30	0.000	0.000	0.000	215.898	221.622	228.257
31	0.000	0.000	0.000	218.165	218.223	227.417
32	0.000	0.000	0.000	218.657	215.399	225.901
33	0.000	0.000	0.000	218.430	211.338	223.612
34	0.000	0.000	0.000	218.149	207.944	221.460
35	0.000	0.000	0.000	218.183	205.447	217.585
36	0.000	0.000	0.000	219.858	203.597	214.727
37	0.000	0.000	0.000	219.838	202.374	210.567
38	0.000	0.000	0.000	219.838	201.355	207.164
39	0.000	0.000	0.000	219.779	199.552	204.745
40	0.000	0.000	0.000	218.797	197.885	203.048
41	0.000	0.000	0.000	216.096	197.691	202.485
42	0.000	0.000	0.000	213.170	197.920	201.812
43	0.000	0.000	0.000	208.668	200.794	200.280
44	0.000	0.000	0.000	203.915	204.000	198.401
45	0.000	0.000	0.000	199.424	207.548	198.293
46	0.000	0.000	0.000	193.498	213.067	198.509
47	0.000	0.000	0.000	187.383	218.748	201.796
48	0.000	0.000	0.000	182.701	223.869	205.321
49	0.000	0.000	0.000	178.730	229.680	208.652
50	0.000	0.000	0.000	177.730	234.752	214.366
51	0.000	0.000	0.000	179.310	233.270	220.097
52	0.000	0.000	0.000	179.901	233.695	225.510
53	0.000	0.000	0.000	182.458	232.840	231.375
54	0.000	0.000	0.000	186.016	229.480	236.600
55	0.000	0.000	0.000	189.113	228.719	234.074
56	0.000	0.000	0.000	196.427	223.177	233.951
57	0.000	0.000	0.000	200.136	214.938	232.025
58	0.000	0.000	0.000	213.443	206.172	226.057
59	0.000	0.000	0.000	223.179	198.266	226.067
60	0.000	0.000	0.000	230.806	187.305	219.651
61	0.000	0.000	0.000	235.201	181.156	209.959
62	0.000	0.000	0.000	241.750	169.536	202.007
63	0.000	0.000	0.000	245.947	159.045	191.950
64	0.000	0.000	0.000	246.066	154.215	180.190

65	0.000	0.000	0.000	243.612	146.130	174.072
66	0.000	0.000	0.000	236.492	142.777	162.508
67	0.000	0.000	0.000	225.481	148.732	151.949
68	0.000	0.000	0.000	217.892	146.795	148.760
69	0.000	0.000	0.000	207.116	148.776	142.029
70	0.000	0.000	0.000	195.185	156.363	140.283
71	0.000	0.000	0.000	190.652	154.607	147.878
72	0.000	0.000	0.000	179.068	164.311	146.901
73	0.000	0.000	0.000	165.744	180.773	149.373
74	0.000	0.000	0.000	159.008	185.525	158.274
75	0.000	0.000	0.000	146.844	197.103	156.691
76	0.000	0.000	0.000	139.248	206.808	166.394
77	0.000	0.000	0.000	145.638	198.239	183.866
78	0.000	0.000	0.000	141.823	209.576	187.420
79	0.000	0.000	0.000	142.158	222.798	198.243
80	0.000	0.000	0.000	149.375	220.596	207.604
81	0.000	0.000	0.000	145.309	237.306	196.417
82	0.000	0.000	0.000	155.625	236.894	206.812
83	0.000	0.000	0.000	176.809	211.051	220.636
84	0.000	0.000	0.000	183.102	216.716	216.945
85	0.000	0.000	0.000	197.350	213.664	233.797
86	0.000	0.000	0.000	212.378	201.034	233.582
87	0.000	0.000	0.000	201.705	228.342	204.989
88	0.000	0.000	0.000	218.209	214.370	211.885
89	0.000	0.000	0.000	238.999	177.033	211.599
90	0.000	0.000	0.000	236.422	186.028	198.932
91	0.000	0.000	0.000	257.749	161.736	229.976
92	0.000	0.000	0.000	259.198	153.280	216.816
93	0.000	0.000	0.000	225.183	210.600	175.365
94	0.000	0.000	0.000	233.779	191.202	187.041
95	0.000	0.000	0.000	234.235	166.063	154.183
96	0.000	0.000	0.000	214.893	189.672	155.349
97	0.000	0.000	0.000	246.976	132.191	219.633
98	0.000	0.000	0.000	227.369	141.605	199.672
99	0.000	0.000	0.000	171.702	235.341	168.552
100	0.000	0.000	0.000	182.600	205.844	195.692

AS τ	AR $\frac{d\tau}{dt}$	AP $\frac{d\tau}{dt}$	HIX $\frac{d\tau}{dt}$	HIX $\frac{d\tau}{dt}$	HIC $\frac{d\tau}{dt}$	C $\frac{d\tau}{dt}$
1	0.967	0.920	0.810	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.784	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.867	0.715	0.350	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.586	0.150	200.000	200.000	200.000
7	0.767	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
8	0.733	0.465	0.064	200.000	200.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
10	0.667	0.353	0.000	200.000	200.000	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	200.000	200.000
12	0.600	0.253	0.000	200.000	200.000	200.000
13	0.567	0.207	0.000	200.000	200.000	200.000
14	0.533	0.164	0.000	200.000	201.061	200.000
15	0.500	0.125	0.000	200.000	202.084	200.682
16	0.467	0.089	0.000	200.000	203.630	201.341
17	0.433	0.058	0.000	200.000	205.902	202.578
18	0.400	0.032	0.000	200.000	207.594	204.274
19	0.367	0.011	0.000	200.000	209.426	205.049
20	0.333	0.000	0.000	200.000	210.631	206.103
21	0.300	0.000	0.000	200.000	211.680	206.081
22	0.267	0.000	0.000	200.000	211.479	205.541
23	0.233	0.000	0.000	200.000	212.427	204.771
24	0.200	0.000	0.000	200.000	212.832	204.457
25	0.167	0.000	0.000	200.000	212.378	203.643
26	0.133	0.000	0.000	201.023	212.496	202.945
27	0.100	0.000	0.000	204.825	212.043	202.038
28	0.067	0.000	0.000	209.553	211.599	199.554
29	0.033	0.000	0.000	214.236	210.315	198.486
30	0.000	0.000	0.000	217.808	208.740	196.317
31	0.000	0.000	0.000	220.395	206.045	194.002
32	0.000	0.000	0.000	221.928	204.189	193.001
33	0.000	0.000	0.000	225.643	201.677	192.610
34	0.000	0.000	0.000	228.548	199.557	190.784
35	0.000	0.000	0.000	231.403	197.488	190.531
36	0.000	0.000	0.000	233.112	195.534	189.435
37	0.000	0.000	0.000	233.807	193.859	188.504
38	0.000	0.000	0.000	233.540	192.413	190.430
39	0.000	0.000	0.000	232.542	192.360	189.260
40	0.000	0.000	0.000	230.743	191.106	189.779
41	0.000	0.000	0.000	228.020	191.336	190.731
42	0.000	0.000	0.000	225.109	191.783	190.277
43	0.000	0.000	0.000	219.971	192.241	193.061
44	0.000	0.000	0.000	215.694	195.053	197.408
45	0.000	0.000	0.000	209.881	200.335	200.209
46	0.000	0.000	0.000	205.163	204.031	205.220
47	0.000	0.000	0.000	201.820	210.414	210.032
48	0.000	0.000	0.000	199.510	210.124	210.904
49	0.000	0.000	0.000	190.150	219.613	215.929
50	0.000	0.000	0.000	190.014	224.742	220.452
51	0.000	0.000	0.000	194.408	228.763	220.805
52	0.000	0.000	0.000	191.912	230.223	224.220
53	0.000	0.000	0.000	191.654	230.045	222.430
54	0.000	0.000	0.000	192.031	220.494	213.354
55	0.000	0.000	0.000	190.048	220.192	209.947
56	0.000	0.000	0.000	200.500	215.501	204.453
57	0.000	0.000	0.000	205.030	209.124	190.109
58	0.000	0.000	0.000	212.347	201.032	197.200
59	0.000	0.000	0.000	220.120	197.018	189.708
60	0.000	0.000	0.000	227.345	189.507	178.021
61	0.000	0.000	0.000	235.393	179.500	177.328
62	0.000	0.000	0.000	242.477	174.090	169.700
63	0.000	0.000	0.000	240.104	160.000	167.187
64	0.000	0.000	0.000	210.300	152.457	179.060

65	0.000	0.000	0.000	239.009	167.320	176.960
50	0.000	0.000	0.000	233.898	164.692	175.396
67	0.000	0.000	0.000	232.080	164.878	184.929
68	0.000	0.000	0.000	224.837	169.307	177.736
69	0.000	0.000	0.000	213.381	166.209	184.771
70	0.000	0.000	0.000	203.872	173.014	208.677
71	0.000	0.000	0.000	191.167	187.201	206.584
72	0.000	0.000	0.000	176.387	190.134	212.269
73	0.000	0.000	0.000	168.284	198.907	222.829
74	0.000	0.000	0.000	153.191	207.179	200.912
75	0.000	0.000	0.000	139.205	198.186	211.945
76	0.000	0.000	0.000	134.059	209.128	237.285
77	0.000	0.000	0.000	124.575	222.817	227.209
78	0.000	0.000	0.000	121.179	220.928	245.731
79	0.000	0.000	0.000	130.637	230.322	248.301
80	0.000	0.000	0.000	129.425	237.117	200.521
81	0.000	0.000	0.000	132.605	213.149	213.617
82	0.000	0.000	0.000	144.137	220.971	226.709
83	0.000	0.000	0.000	142.484	221.721	204.537
84	0.000	0.000	0.000	155.409	210.111	250.032
85	0.000	0.000	0.000	178.348	235.710	237.351
86	0.000	0.000	0.000	184.345	221.995	164.076
87	0.000	0.000	0.000	199.566	184.219	186.377
88	0.000	0.000	0.000	213.440	193.040	170.010
89	0.000	0.000	0.000	201.676	171.786	147.007
90	0.000	0.000	0.000	216.836	160.235	245.759
91	0.000	0.000	0.000	235.859	211.981	216.914
92	0.000	0.000	0.000	232.438	190.631	139.287
93	0.000	0.000	0.000	254.216	159.879	185.826
94	0.000	0.000	0.000	254.595	183.162	110.514
95	0.000	0.000	0.000	218.889	132.285	107.642
96	0.000	0.000	0.000	227.300	139.837	283.833
97	0.000	0.000	0.000	226.366	230.869	228.408
98	0.000	0.000	0.000	209.175	199.841	187.307
99	0.000	0.000	0.000	246.332	201.204	254.133
100	0.000	0.000	0.000	228.285	232.765	59.603

I	AS dt	AR R dt	AP P dt	HIN N ht	HTB B ht	HIM M ht
1	0.907	0.920	0.810	200.000	200.000	200.000
2	0.933	0.854	0.640	200.000	200.000	200.000
3	0.900	0.734	0.490	200.000	200.000	200.000
4	0.867	0.715	0.360	200.000	200.000	200.000
5	0.833	0.650	0.250	200.000	200.000	200.000
6	0.800	0.586	0.100	200.000	200.000	200.000
7	0.707	0.524	0.090	200.000	200.000	200.000
8	0.733	0.405	0.004	200.000	200.000	200.000
9	0.700	0.408	0.010	200.000	200.000	200.000
10	0.667	0.353	0.000	200.000	200.000	200.000
11	0.633	0.302	0.000	200.000	200.000	200.000
12	0.600	0.253	0.000	200.000	200.000	200.000
13	0.567	0.207	0.000	200.000	200.000	200.000
14	0.533	0.164	0.000	200.000	200.000	200.000
15	0.500	0.125	0.000	200.000	200.000	200.000
16	0.467	0.089	0.000	200.000	200.000	200.000
17	0.433	0.058	0.000	200.000	200.567	200.000
18	0.400	0.032	0.000	201.364	201.114	200.000
19	0.367	0.011	0.000	202.681	201.592	200.000
20	0.333	0.000	0.000	205.157	202.469	200.000
21	0.300	0.000	0.000	208.549	202.193	201.134
22	0.267	0.000	0.000	210.098	201.777	202.228
23	0.233	0.000	0.000	212.207	201.643	203.183
24	0.200	0.000	0.000	210.798	200.895	204.939
25	0.167	0.000	0.000	208.402	200.718	204.387
26	0.133	0.000	0.000	204.380	201.026	203.554
27	0.100	0.000	0.000	200.304	201.324	203.287
28	0.067	0.000	0.000	197.189	200.634	201.789
29	0.033	0.000	0.000	193.683	200.151	200.301
30	0.000	0.000	0.000	193.278	197.837	201.024
31	0.000	0.000	0.000	190.700	197.542	199.404
32	0.000	0.000	0.000	192.585	198.222	196.329
33	0.000	0.000	0.000	192.259	197.430	195.915
34	0.000	0.000	0.000	192.135	198.065	192.120
35	0.000	0.000	0.000	193.920	197.954	191.790
36	0.000	0.000	0.000	191.942	195.112	194.654
37	0.000	0.000	0.000	190.802	195.751	194.558
38	0.000	0.000	0.000	188.478	196.648	195.105
39	0.000	0.000	0.000	186.601	195.464	196.445
40	0.000	0.000	0.000	184.874	199.065	193.895
41	0.000	0.000	0.000	186.939	198.707	195.588
42	0.000	0.000	0.000	186.591	195.400	201.177
43	0.000	0.000	0.000	188.697	197.595	199.132
44	0.000	0.000	0.000	192.904	197.007	203.475
45	0.000	0.000	0.000	193.952	197.002	202.970
46	0.000	0.000	0.000	201.249	204.989	195.095
47	0.000	0.000	0.000	207.870	204.092	198.740
48	0.000	0.000	0.000	213.948	202.792	200.238
49	0.000	0.000	0.000	221.754	200.301	199.730
50	0.000	0.000	0.000	227.080	201.801	208.801
51	0.000	0.000	0.000	227.855	203.229	210.252
52	0.000	0.000	0.000	230.010	212.000	202.109
53	0.000	0.000	0.000	233.020	208.750	209.707
54	0.000	0.000	0.000	227.783	207.040	207.900
55	0.000	0.000	0.000	220.699	208.072	207.712
56	0.000	0.000	0.000	217.792	193.002	225.133
57	0.000	0.000	0.000	198.853	193.792	217.700
58	0.000	0.000	0.000	189.284	203.033	200.491
59	0.000	0.000	0.000	175.077	195.000	207.091
60	0.000	0.000	0.000	164.435	201.553	185.214
61	0.000	0.000	0.000	167.033	201.509	177.798
62	0.000	0.000	0.000	161.024	177.100	199.358
63	0.000	0.000	0.000	157.100	183.174	183.400
64	0.000	0.000	0.000	165.372	191.000	177.973

65	0.000	0.000	0.000	163.643	183.938	185.238
66	0.000	0.000	0.000	169.938	208.618	147.841
67	0.000	0.000	0.000	191.487	207.653	159.257
68	0.000	0.000	0.000	192.296	176.977	198.562
69	0.000	0.000	0.000	193.604	193.667	190.079
70	0.000	0.000	0.000	204.486	191.885	217.878
71	0.000	0.000	0.000	191.830	184.970	231.847
72	0.000	0.000	0.000	199.603	235.617	175.981
73	0.000	0.000	0.000	225.867	225.646	202.096
74	0.000	0.000	0.000	220.873	188.984	235.930
75	0.000	0.000	0.000	230.934	213.260	210.683
76	0.000	0.000	0.000	241.172	180.637	272.673
77	0.000	0.000	0.000	209.993	177.624	261.212
78	0.000	0.000	0.000	224.287	260.434	160.090
79	0.000	0.000	0.000	248.703	231.633	194.673
80	0.000	0.000	0.000	233.546	204.328	185.294
81	0.000	0.000	0.000	260.527	233.184	153.152
82	0.000	0.000	0.000	255.431	140.224	284.939
83	0.000	0.000	0.000	191.048	152.078	252.583
84	0.000	0.000	0.000	202.947	268.231	135.982
85	0.000	0.000	0.000	204.715	213.068	205.155
86	0.000	0.000	0.000	175.529	235.554	120.357
87	0.000	0.000	0.000	239.536	262.528	109.484
88	0.000	0.000	0.000	219.271	75.929	351.167
89	0.000	0.000	0.000	137.103	122.518	272.984
90	0.000	0.000	0.000	169.808	250.930	186.168
91	0.000	0.000	0.000	135.305	166.973	272.474
92	0.000	0.000	0.000	118.486	309.351	15.876
93	0.000	0.000	0.000	251.983	315.069	39.881
94	0.000	0.000	0.000	214.557	8.816	381.502
95	0.000	0.000	0.000	141.471	118.930	224.462
96	0.000	0.000	0.000	201.844	190.649	267.534
97	0.000	0.000	0.000	85.723	86.687	357.154
98	0.000	0.000	0.000	96.799	451.540	-168.536
99	0.000	0.000	0.000	315.683	394.147	-34.613
100	0.000	0.000	0.000	242.258	-22.789	365.423

I	AS	AR	AP	P	H1U	H1T
τ	$\frac{ds}{dt}$	$\frac{dr}{dt}$	$\frac{dp}{dt}$	$\frac{p}{dt}$	$\frac{h_1u}{h_1t}$	$\frac{h_1t}{h_1t}$
10	0.667	0.353	0.000	0.000	250.574	267.298
11	0.633	0.302	0.000	0.000	245.499	272.451
12	0.600	0.253	0.000	0.000	245.565	271.267
13	0.507	0.207	0.000	0.000	243.210	270.132
14	0.533	0.104	0.000	0.000	237.974	268.362
15	0.500	0.125	0.000	0.000	235.245	269.480
16	0.467	0.089	0.000	0.000	229.610	269.246
17	0.433	0.058	0.000	0.000	234.498	268.451
18	0.400	0.032	0.000	0.000	234.034	270.781
19	0.307	0.011	0.000	0.000	237.834	268.607
20	0.333	0.000	0.000	0.000	241.476	265.138
21	0.300	0.000	0.000	0.000	246.570	257.653
22	0.267	0.000	0.000	0.000	248.668	248.117
23	0.233	0.000	0.000	0.000	246.604	238.941
24	0.200	0.000	0.000	0.000	245.862	227.613
25	0.167	0.000	0.000	0.000	241.066	217.259
26	0.133	0.000	0.000	0.000	237.050	212.879
27	0.100	0.000	0.000	0.000	222.996	210.809
28	0.067	0.000	0.000	0.000	212.423	214.247
29	0.033	0.000	0.000	0.000	203.262	214.917
30	0.000	0.000	0.000	0.000	194.791	216.163
31	0.000	0.000	0.000	0.000	192.014	220.346
32	0.000	0.000	0.000	0.000	189.203	222.870
33	0.000	0.000	0.000	0.000	196.555	227.113
34	0.000	0.000	0.000	0.000	204.617	229.947
35	0.000	0.000	0.000	0.000	216.429	235.970
36	0.000	0.000	0.000	0.000	226.108	244.027
37	0.000	0.000	0.000	0.000	238.576	252.575
38	0.000	0.000	0.000	0.000	251.712	259.086
39	0.000	0.000	0.000	0.000	259.164	265.755
40	0.000	0.000	0.000	0.000	267.390	270.335
41	0.000	0.000	0.000	0.000	266.965	272.028
42	0.000	0.000	0.000	0.000	267.335	267.980
43	0.000	0.000	0.000	0.000	260.363	266.320
44	0.000	0.000	0.000	0.000	250.375	263.537
45	0.000	0.000	0.000	0.000	237.256	259.703
46	0.000	0.000	0.000	0.000	225.827	256.524
47	0.000	0.000	0.000	0.000	216.467	251.419
48	0.000	0.000	0.000	0.000	204.959	245.214
49	0.000	0.000	0.000	0.000	199.692	238.253
50	0.000	0.000	0.000	0.000	195.100	229.023
51	0.000	0.000	0.000	0.000	195.859	219.294
52	0.000	0.000	0.000	0.000	190.153	209.580
53	0.000	0.000	0.000	0.000	200.046	202.197
54	0.000	0.000	0.000	0.000	205.221	194.854
55	0.000	0.000	0.000	0.000	209.132	190.079
56	0.000	0.000	0.000	0.000	214.001	186.384
57	0.000	0.000	0.000	0.000	212.280	181.998
58	0.000	0.000	0.000	0.000	213.835	180.193
59	0.000	0.000	0.000	0.000	211.005	176.035
60	0.000	0.000	0.000	0.000	206.851	173.460
61	0.000	0.000	0.000	0.000	203.255	172.880
62	0.000	0.000	0.000	0.000	199.350	172.770
63	0.000	0.000	0.000	0.000	194.570	170.602
64	0.000	0.000	0.000	0.000	186.993	173.474
65	0.000	0.000	0.000	0.000	182.949	175.515
66	0.000	0.000	0.000	0.000	173.727	174.067
67	0.000	0.000	0.000	0.000	174.230	170.811
68	0.000	0.000	0.000	0.000	171.823	165.335
69	0.000	0.000	0.000	0.000	167.750	156.752
70	0.000	0.000	0.000	0.000	167.037	152.260
71	0.000	0.000	0.000	0.000	162.045	142.853
72	0.000	0.000	0.000	0.000	154.274	152.908
73	0.000	0.000	0.000	0.000	148.021	128.900

74	0.000	0.000	0.000	140.436	119.278
75	0.000	0.000	0.000	129.297	111.782
76	0.000	0.000	0.000	128.847	110.840
77	0.000	0.000	0.000	118.268	105.329
78	0.000	0.000	0.000	108.998	103.559
79	0.000	0.000	0.000	111.803	107.041
80	0.000	0.000	0.000	108.175	102.344
81	0.000	0.000	0.000	114.670	110.442
82	0.000	0.000	0.000	131.148	126.711
83	0.000	0.000	0.000	139.413	137.055
84	0.000	0.000	0.000	153.962	156.998
85	0.000	0.000	0.000	178.698	179.822
86	0.000	0.000	0.000	184.300	187.319
87	0.000	0.000	0.000	205.473	209.239
88	0.000	0.000	0.000	236.585	232.157
89	0.000	0.000	0.000	239.991	237.913
90	0.000	0.000	0.000	261.326	265.752
91	0.000	0.000	0.000	275.889	281.543
92	0.000	0.000	0.000	259.978	273.170
93	0.000	0.000	0.000	271.808	290.278
94	0.000	0.000	0.000	278.293	291.912
95	0.000	0.000	0.000	253.986	275.038
96	0.000	0.000	0.000	268.899	295.647
97	0.000	0.000	0.000	262.371	280.605
98	0.000	0.000	0.000	216.126	245.880
99	0.000	0.000	0.000	229.913	251.461
100	0.000	0.000	0.000	213.673	214.427



