

Dr Nenad FRIC, docent¹
Dr Dragan BUDEVAC, redovni profesor²
Dr Zoran MIŠKOVIĆ, vanredni profesor³
Dr Zlatko MARKOVIĆ, redovni profesor⁴
Dr Milan SPREMIĆ, docent⁵

VISOKOVREDNI ZAVRTNJEVI SA ZAKLJUČAVANJEM “HUCK BOBTAIL”

UDK: XXXXXXXX

Rezime

Firma “Alcoa Fastening Systems” konstruisala je “Huck BobTail” sistem mehaničkih spojnih sredstava i predstavila ga kao jednu od najnaprednijih tehnologija spajanja do danas. U pitanju su zavrtnjevi sa zaključavanjem (antivandal) naredne generacije koji donose i do pet puta veću čvrstoću na zamor od standardnih zavrtnjeva sa navrtkom, a konstruisani su

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

² Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

³ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

⁴ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

⁵ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

tako da pruže visoku čvrstoću, pouzdanost i otpornost na vibracije i u najekstremnijim uslovima. "Huck BobTail" spojna sredstva odlikuju visoke performance kao i jednostavna i brza ugradnja. U ovom radu prikazan je istorijski razvoj spojnih sredstava sa zaključavanjem. Detaljno je opisano spojno sredstvo sistema "Huck BobTail", oprema i način njihove ugradnje u spojeve kao i način unošenja sile prednaprezanja. Prikazan je izvod iz postojećih predstandarda za proračun nosivosti spojnih sredstava sa zaključavanjem, sa posebnim akcentom na minimalna rastojanja između zavrtnjeva u spoju, nosivost spojnog sredstva na smicanje, pritisak po omotaču rupe i zatezanje.

Ključne reči: zavrtnjevi sa zaključavanjem, antivandal zavrtnjevi, sila prednaprezanja

HIGH STRENGTH LOCKBOLTS "HUCK BOBTAIL"

Abstract

Alcoa Fastening Systems, introduces the Huck BobTail, representing the most advanced fastening technology to date. Recognized as the next-generation lockbolt, the Huck BobTail delivers 5 times the fatigue

strength of conventional nuts and bolts, and is engineered to provide the highest level of strength, reliability, and vibration-resistant performance. Engineered to meet the challenges of a wide range of assembly applications, BobTail offers high performance and easy, quick installation. In this paper historical development of lockbolts is shown. Lockbolts of Huck BobTail type are described in detail, as well as their installation tools, installation process and way of introduction of the pretension force in Huck BobTail lockbolts. Some parts of existing prestandards for design of the connections with lockbolts are shown, with special emphasis on minimal distances between the lockbolts in connections, shear, bearing and tension resistans of lockbolts.

Key words: lockbolts, anti vandal bolts, pretension force,

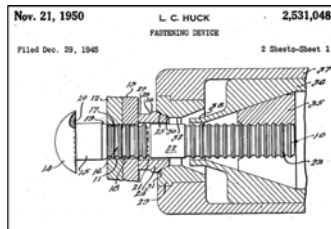
1. UVOD

1.1 Istorijat

Tvorac visokovrednih zavrtnejeva sa zaključavanjem je Louis C. Huck (1896-1956), priznati pronalazač i industrijalac čiji su izumi imali veoma zapaženo mesto u razvoju avio, auto i železničke industrije [1].



a)



b)

Slika 1. a) *Louis C. Huck* b) *Originalna skica jednog od spojnih sredstava [1], [14]*

Nakon završenog mašinskog fakulteta na Cornell Univerzitetu, Louis 1920. godine formira „*Huck Axle Company*“, razvija i patentira Huck osovinu sa dvostrukom redukcijom i počinje sa razvojem Huck kočionih sistema. *General Motors* otkupljuje 1926. godine licencu za Huck kočioni sistem, a Louis postaje inženjer konsultant u *General Motors*-u. U tom periodu Huck kočnice ugrađuju se u *Cadillac*, *LaSalle*, *Buick* i *Chevrolet* vozila. Nakon dve godine razvijanja rešenja za avio industriju, 1930. godine napušta *General Motors* i posvećuje se razvoju aluminijumskih pop-zakivaka (*blind rivets*) za avio industriju. S obzirom na veliku recesiju u Americi i nemogućnost za profitabilnu saradnju sa avio industrijom, Huck je razvio čelične pop-zakivke koji su našli široku primenu u auto industriji.

Ipak, prva praktična primena čeličnih zakivaka bila je u toku 1932. godine i to u prototipu Madaras rotora za proizvodnju električne energije. Veliki uspeh ovog proizvoda rezultovao je formiranjem dve nove kompanije u toku 1933. godine i to „*Hukson Holding Corporation*“, koja se brinula o autorskim pravima za patente Huck Louis-a i „*Huck Manufacturing Corporation*“, koja se bavila razvijanjem patenata. Nakon neuspelog pokušaja spajanja sa kompanijom „*Clark Equipment*“, Huck nastavlja samostalan rad 1939. godine, koju je obeležio početak rata u Evropi i ponovno otvaranje velikog tržišta za aluminijumske zakivke i njihovu primenu u avio industriji. Nakon nekoliko godina rada, aluminijumski pop-zakivci kao i pneumatski pištolj za njihovu ugradnju razvijeni su do nivoa komercijalne primene i masovne proizvodnje, a prva njihova primena bila je 1943. godine kada su ugrađeni u avion B-24 proizveden u fabrici „*Willow Plant*“ u Mičigenu.

Louis Huck izumeo je originalno Huck spojno sredstvo 1944. godine, stvarajući na taj način čitavu novu kategoriju antivandal, ili spojnih sredstava sa zaključavanjem (*lockbolts*). Od 1955. godine ova spojna sredstva nazivaju se zajedničkim imenom „*Huck bolts*“. Ubrzo zatim, za potrebe spojnih sredstava većeg prečnika (preko ½") dizajnirao je i proizveo spojno sredstvo označeno kao C50L (slika 2a). Ovo je za kratko

vreme postalo najčešće primenjivano spojno sredstvo prilikom izgradnje železnice i proizvodnje lokomotiva i vagona.

U potrazi za ekspertima u proizvodnji opreme za ugradnju zakivaka i zavrtnjeva, Huck-ova kompanija je 1965. godine kupila firmu „*Electrol Inc.*“ i objedinila kompletnu proizvodnju sistema za ugradnju u Kingstonu, New York.

Sledeći značajan korak načinjen je u toku devedestih godina XX veka pojavom „*HuckSpin*“ (slika 2b) spojnih sredstava. Ovo rešenje kombinuje izuzetne karakteristike zavrtnjeva sa zaključavanjem (lockbolts) i sofisticirani alat za veoma brzu ugradnju uz eliminisanje gubitka prilikom otkidanja kraja tela zavrtnja (*pin tail waste*) koji je karakterističan za prethodnu generaciju Huck zavrtnjeva.

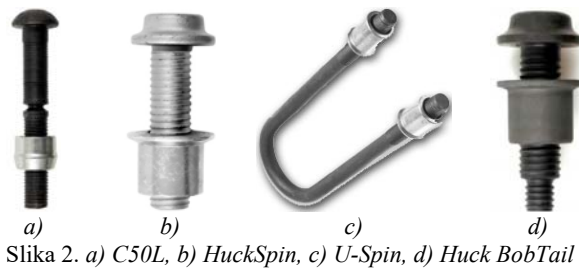
U toku 1991. godine došlo je do konačnog preuzimanja kompanije „*Huck Manufacturing Company*“ od strane „*The Thiokol Corporation*“, koja 1998. godine menja ime u „*Howmet*“. Konačno, „*Alcoa*“ postaje vlasnik kompanije „*Howmet*“ 2000. godine i to je i dan danas. Koncept razvoja bio je usavršavanje dve vrste proizvoda: pop-zakivaka i zavrtnjeva sa zaključavanjem o čemu svedoči činjenica da danas, u paleti proizvoda kompanije Alcoa, postoji na stotine proizvoda koji predstavljaju varijacije ova dva spojna sredstva. Huck sistemi spojnih sredstava, između

ostalog, danas se koriste za izradu aviona Boeing 787 i Airbus A380.

Nakon više od deset godina testiranja na kamionima i prikolicama, u toku vožnje, Alcoa je dizajnirao U-Spin spojno sredstvo (slika 2c). U-Spin spojna sredstva ugrađuju se u paru, za šta je potrebno 10-15 sekundi standardnom Huck tehnologijom „zaviti – utisnuti – odviti“ (*spin on – swage – spin off*). U toku ugradnje u obe grane spojnog sredstva unosi se ujednačena sila prednapreznja što za rezultat ima uravnotežen spoj nakon ugradnje. S obzirom da se primenom ovih spojnih sredstava ostvaruje konzistentna sila prednapreznja eliminiše se potreba za dotezanjem. Više od sedam godina U-Spin spojna sredstva su standard u Volvo vozilima [4].

BobTail sistem spojnih sredstava (slika 2d) razvijen je da zameni, u tom trenutku najčešće primenjivani sistem u železničkoj industriji, C50L. Kombinacija veoma laganog i efikasnog sistema za ugradnju i precizno dizajniranih zavrtnjeva donela je značajan napredak u razvoju železničke industrije. Pojavom „Huck BobTail“ zavrtnjeva (skraćeno HBT), pogotovo onih velikog prečnika (preko 12 mm), otvorilo se pitanje primene ovog sistema u građevinskoj industriji. Svesni ove činjenice, inženjeri kompanije „Alcoa Fastening Systems“ dizajnirali su zavrtnjeve većeg prečnika od onih koji se koriste u auto i avio industriji. Sa

zavrtnjevima prečnika do 25,4 mm (1") i odgovarajućim laganim alatom za ugradnju, velikom brzinom ugradnje i kontrolisanom silom prednaprezanja nema sumnje da će ovi zavrtnjevi zauzeti značajno mesto u polju građevinske industrije.



Na putu do široke primene novog sistema zavrtnjeva u građevinarstvu stoje i neki njegovi nedostaci. Na prvom mestu to je nepostojanje kriterijuma za projektovanje (standarda) koji bi omogućili široku primenu sistema „Huck BobTail“ u inženjerskoj praksi. Na drugom mestu je svakako činjenica da se zavrtnjevi „Huck BobTail“ ne mogu dotezati. Za razliku od primene u avio, auto i železničkoj industriji, gde je akcenat na zaključavanju zavrtnja, u građevinarstvu je veoma važna i veličina sile prednaprezanja koja se ostvaruje u zavrtnjevima nakon ugradnje.

2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE “HUCK BOBTAIL” SPOJNOG SREDSTVA I SISTEMA ZA NJEGOVO UGRADNJU

2.1 “Huck BobTail” zavrtnj i čaura

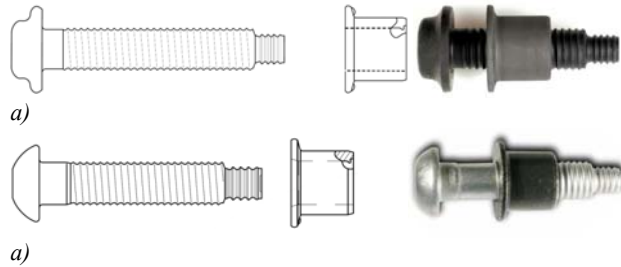
“Huck BobTail” zavrtnj sa zaključavanjem je spojno sredstvo koje se sastoji iz dva dela: zavrtnja i čaure (slika 3).



Slika 3. Spojno sredstvo sistema „Huck BobTail“

Prema obliku glave dele se na: zavrtnjeve sa glavom sa prirubnicom (*flanged head*) (slika 4a) i zavrtnjeve sa okruglom glavom (*round head*) (slika 4b). Zavrtnjevi malog prečnika mogu imati još neke oblike glave, ali se oni izrađuju samo po specijalnom zahtevu. Što se tiče prečnika zavrtnja [11] postoje:

- imperijal zavrtnjevi malog prečnika: 3/16" (4,8 mm), 1/4" (6,4 mm), 5/16" (7,9 mm) i 3/8" (9,5 mm),
- imperijal zavrtnjevi velikog prečnika: 1/2" (12,7 mm), 5/8" (15,9 mm), 3/4" (19,1 mm), 7/8" (22,2 mm) i 1" (25,4 mm),
- metrički zavrtnjevi velikog prečnika: 12 mm, 14 mm, 16 mm i 20 mm.



Slika 4. HBT zavrtnjevi a) sa glavom sa prirubnicom, b) sa okruglom glavom [11]

U zavisnosti od oblika glave i prečnika "*Huck BobTail*" zavrtnjevi izrađuju se u klasama čvrstoće 5.8, 8.8 i 10.9. Svaki tip zavrtnja ima svoju čauru odgovarajućih dimenzija i čvrstoće. Zavrtnjevi se proizvode od srednje ugljeničnog čelika ili legiranog čelika, dok se čaure proizvode isključivo od nisko ugljeničnog čelika što je veoma važno s obzirom na način njihove ugradnje. Antikorozijska zaštita zavrtnjeva je na bazi cinka i to klasično cinkovanje, ili Geomet metoda [12], dok se čaure uvek zaštićuju klasičnim postupkom cinkovanja.

Efektivni prečnik zavrtnja je umanjen u odnosu na nazivni kako bi se omogućilo veće izduženje zavrtnja u postupku ugradnje. Prečnik je konstantan celom dužinom tela zavrtnja, od glave do repa, što olakšava poravnanje spojeva u koje sa ugrađuju. Redukcija prečnika zavrtnja omogućava formiranje većeg radijusa na spoju glave i tela zavrtnja, što garantuje dobru raspodelu sile prednaprezanja iz zavrtnja. Prirubnice (nožica) na glavi zavrtnja i na čauri eliminišu potrebu za podloškama i povećavaju čvrstoću spoja. Produženje zone sa navojem moguće je zahvaljujući činjenici da je navoj BobTail zavrtnjeva 6 do 10 puta veće čvrstoće od navoja običnih zavrtnjeva.

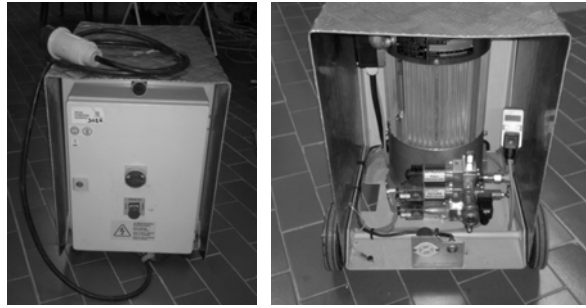
U unutrašnjosti čaure ne postoji navoj već samo vođica („*fit-up*“ *tab*) (slika 3) čija je uloga da omogući uvrtnje čaure na navoj zavrtnja pre ugradnje. Svaka

čaura na nožici ima „*bradavičaste*“ indikatore ugradnje (*bump crease installation indicators*).

Na kraju tela zavrtnja nalazi se rep čiji su prečnik i dužina određeni tako da omogućće normalno funkcionisanje opreme za ugradnju. Na repu se nalaze prstenasti žljebovi (*pull grooves*), koji omoguććavaju povlaćenje zavrtnja u toku njegove ugradnje.

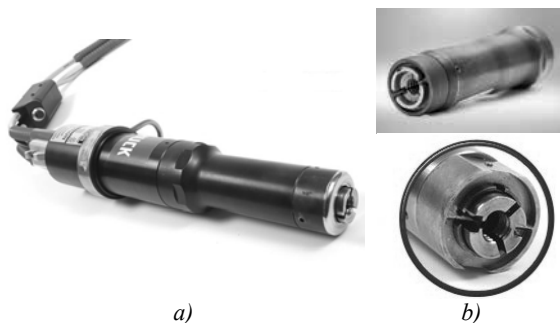
2.2 Oprema za ugradnju “*Huck BobTail*” zavrtnjeva

Postoji veliki broj sistema za ugradnju BobTail zavrtnjeva, zavisno od prečnika zavrtnja, vrste spojeva u kojima se koriste i pristupačnosti mesta na kojima se zavrtnjevi ugrađuju. Da bi se izvršila ugradnja “*Huck BobTail*” zavrtnja neophodna je sledeća oprema: napajanje (slika 5) – služi za napajanje strujom alata za ugradnju zavrtnjeva, presa za ugradnju zavrtnjeva (slika 6a) – hidraulička ili pneumatska, glava za ugradnju zavrtnjeva (*nose assembly*) (slika 6b) – bira se u zavisnosti od tipa alata za ugradnju i vrste zavrtnja [11].



Slika 5. Napajanje za ugradnju HBT zavrtnjeva

Mogućnost brze zamene glave za ugradnju zavrtnjeva (*installation nose*) sistemom za demontažu zavrtnjeva (*cutter nose*) omogućava da se demontaža BobTail zavrtnjeva vrši istom opremom kao i ugradnja. BobTail sistem za demontažu proizvodi se za sve postojeće prečnike zavrtnjeva. U početku, sistem za demontažu imao je problem sa oštećenjima i deformacijom usled toplote kao i sa pojavom varnica i prskanjem materijala u toku demontaže. Sistem za demontažu koji se danas koristi radi na principu bočnog sečenja čaure (*side cutting collar cutter*), a pokazao je najbolje rezultate u praksi. Upotreba ovakvog sistema omogućava jednostavnu i brzu demontažu zavrtnjeva usled koje ne dolazi do oštećenja ostalih elemenata konstrukcije.



Slika 6. a) Presa sa glavom za ugradnju HBT zavrtnjeva, b) glava za demontažu HBT zavrtnjeva

3. POSTUPAK UGRADNJE, NAČIN UNOŠENJA SILE PREDNAPREZANJA I DEMONTAŽA “HUCK BOBTAIL” SPOJNIH SREDSTVA

BobTail sistem podrazumeva kratak ciklus ugradnje zavrtnjeva uz primenu lagane prese. Na primer, vreme potrebno za ugradnju jednog zavrtnja prečnika 5/8", klase čvrstoće 8, je dve sekunde. Dužina jednog ciklusa u dobroj meri proizilazi iz kratkog vremena koje je potrebno da se glava za ugradnju zavrtnja prisloni na kraj zavrtnja i inicira (pritiskom na dugme) postupak ugradnje (slika 7). Od trenutka kada operater pritisne prekidač, postupak gnječenja čaure (*swaging of the*

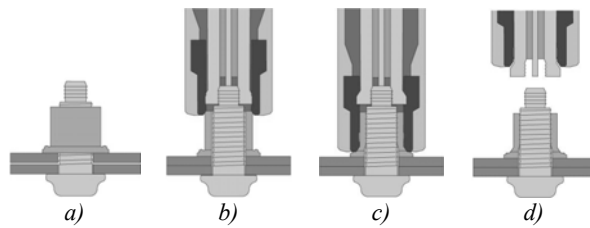
collar) i otpuštanja zavrtnja odvija se bez dodatnog angažovanja operatera.



a) b)
Slika 7. Ugradnja HBT zavrtnjeva prečnika 20 mm: a) crvena lampica kao indikator rada opreme za ugradnju b) postavljanje opreme u položaj za rad

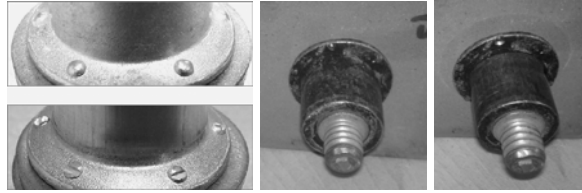
Telo zavrtnja postavi se u pripremljenu rupu i izvrši ručno uvrtanje čaure uz pomoć vođice (*“fit-up” tab*) koja se nalazi sa njene unutrašnje strane (slika 2.8a). Sledeći korak u postupku ugradnje zavrtnja je postavljanje alata za ugradnju na prstenaste žljebove za povlačenje (*annular pull grooves*) koji se nalaze na repu zavrtnja. Kada je alat aktiviran (upaljeno crveno svetlo indikatorske lampice – slika 7a) potezač (*puller*) koji se nalazi u glavi za ugradnju zavrtnjeva uvlači rep zavrtnja u alat što dovodi do oslanjanja nakovnja (*swaging anvil*) na čauru. Na taj način, inicijalnim povlačenjem repa zavrtnja, poništavaju se eventualni zazori između elemenata konstrukcije koji se zavrtnjem povezuju (slika

8b). Kada sila povlačenja repa zavrtnja dostigne definisanu vrednost počinje proces utiskivanja čaure u navoj na telu zavrtnja, pri čemu dolazi do izduženja zavrtnja i čaure što izaziva pojavu sile prednapreznja u zavrtnju (slika 8c). Nakon završetka utiskivanja čaure u navoj zavrtnja alat izbacuje zavrtnj i otpušta potezač čime se postupak ugradnje završava (slika 8d) [2].



Slika 8. a) Zavrtnj pripremljen za ugradnju, b) rep zavrtnja uvučen u alat, c) gnječenje čaure d) kraj procesa ugradnje zavrtnja [2]

Indikatori ugradnje koji se nalaze na nožici čaure pokazuju da li je BobTail čaura u potpunosti utisnuta u navoj na telu zavrtnja. Kratak vizuelni pregled indikatora ugradnje dovoljan je da se operater uveri da li je zavrtnj ispravno ugrađen, odnosno da li je postupak ugradnje sproveden u potpunosti (slika 9).



Slika 9. a) Zavrtnaj pripremljen za ugradnju, b) rep zavrtnja uvučen u alat, c) gnječenje čaure d) kraj procesa ugradnje zavrtnja [2]

Opisanim načinom ugradnje postiže se postupno utiskivanje čaure u navoj tela zavrtnja koji je izgrađen od tvrdog materijala. Sadejstvom zavrtnja i čaure dobija se ugrađeni BobTail zavrtnaj. Postupkom gnječenja (*squeezing action*) smanjuje se debljina zida čaure što, zbog konstantne zapremine čaure, dovodi do njenog izduženja. Kretanje materijala čaure, u kombinaciji sa specijalnom orijentacijom navoja zavrtnja, dovodi do izduženja zavrtnja i uvođenja sile prednaprezanja u spoj (slika 10) [14], [11].



Slika 10. Princip unošenja sile prednaprezanja u HBT zavrtnaj

U poređenju sa drugim zavrtnjevima sa zaključavanjem [10] kao i sa zavrtnjevima sa kontrolisanim prednaprezanjem (*tension controlled bolts*) na kraju tela BobTail zavrtnjeva nalazi se rep (produžetak tela zavrtnja) do čijeg otkidanja ne dolazi u postupku ugradnje. Prednosti ovog rešenja su smanjenje ukupne količine utrošenog materijala za izradu zavrtnja, kao i nepostojanje otpada u procesu ugradnje. Otkidanje repa zavrtnja, u slučaju većih prečnika, izaziva veoma veliku buku, pa se može reći da u slučaju HBT zavrtnjeva imamo čist i tih postupak ugradnje. Takođe, u poređenju sa zavrtnjevima čija ugradnja podrazumeva otkidanje repa zavrtnja, „Huck BobTail“ zavrtnjevi su

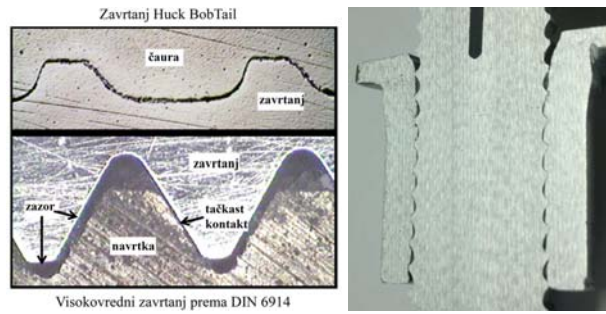
otporniji na dejstvo korozije jer ne postoje delovi bez antikorozijske zaštite nakon ugradnje zavrtnja niti potreba za dodatnim radom.

Što se tiče zaštite na radu rukovaoca opremom ovakav sistem je veoma povoljan. Naime, nepostojanje loma repa zavrtnja povoljno utiče na sluh rukovaoca (nema buke), a povrede komadima metala usled otkidanja repa zavrtnja nisu moguće. Ovakav postupak ugradnje onemogućava prekomerno naprezanja ramena i ruku rukovaoca i povećava njegovu ukupnu bezbednost.

„*Huck BobTail*“ zavrtnjevi ne izlažu se dejstvu torzije u toku postupka ugradnje. Zbog toga se sasvim bezbedno mogu izložiti većim vrednostima sile prednaprezanja. Za razliku od ostalih zavrtnjeva, koji su u postupku ugradnje izloženi kombinaciji torzije i zatezanja, „*Huck BobTail*“ zavrtnjevi izloženi su samo zatezanju.

Pun kontakt metal-metal koji se ostvaruje između materijala čaure i navoja na telu zavrtnja eliminiše zazor koji se inače javlja između navoja kod običnih zavrtnjeva i navrtki (slika 11). U tom slučaju, kontakt se ostvaruje samo na 30-35% ukupne površine navoja navrtke i tela zavrtnja. Mekši materijal čaure ispunjava prostor između navoja u ojačanom materijalu tela zavrtnja. Postojanje zazora je loše jer može dovesti do smanjenja nosivosti zavrtnjeva na zamor, ali i do gubitka sile prednaprezanja u uslovima značajnih vibracija kod

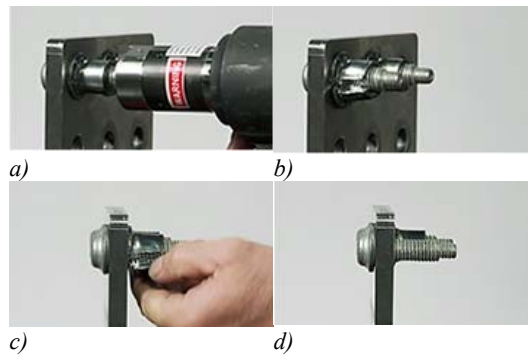
konstrukcija kao što su vetrogeneratori, antenski stubovi, mostovi itd.



Slika 11. Kontakt između zavrtanja i čaure/navrtke nakon ugradnje

Važna osobina ovih spojnih sredstava je da se ne mogu demontirati bez posebnog dela opreme – glave za sečenje, koja se ugrađuje na hidrauličku presu. Na taj način onemogućeno je neovlašćeno uklanjanje ugrađenih spojnih sredstava, za razliku od standardnih HV zavrtneva za čiju je demontažu potreban samo odgovarajući ključ koji je lako dostupan. Takođe, u slučaju nasilnog demontiranja HBT zavrtneva (na primer brusilicom) može doći do ozbiljnih povreda, sa obzirom da se vrsi naglo relaksiranje zavrtanja, a povratne elastične deformacije tela zavrtanja mogu

dovesti do odbacivanja čaure velikom brzinom. U slučaju pravilne demontaže (slika 12) čaura se, sa tri podužna reza, seče na tri dela. Svaki od delova se može jednostavno ukloniti i rukom, a telo zavrtnja ostaje neoštećeno. Ipak, zbog moguće plastifikacije određenih delova tela zavrtnja, njegova ponovna primena nije dozvoljena.



Slika 12. Postupak demontaže HBT spojnog sredstva

4. PRORAČUN NOSIVOSTI ZAVRTNJEVA SA ZAKLJUČAVANJEM

Otežavajuća okolnost za masovnu primenu „Huck BobTail“ zavrtnjeva u građevinarstvu svakako je nedostatak standarda. Do skoro, nosivost ovih spojnih

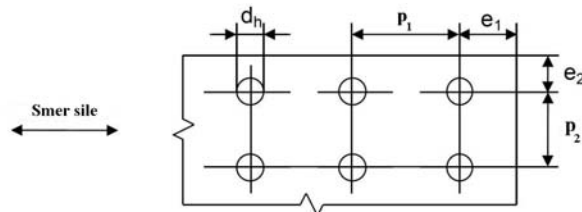
sredstava u smičućim i zatežućim spojevima određivana je isključivo na osnovu kataloških vrednosti nosivosti zavrtnjeva, definisanih od strane proizvođača. Stvari su počele da se menjaju sprovođenjem veoma obimnih i rigoroznih eksperimentalnih istraživanja, u skladu sa važećim standardima. Rezultat je usledio 2013. godine kada su zavrtnjevi sa zaključavanjem sistema „*Huck BobTail*“ proizvođača „*Alcoa Fastening Systems*“ dobili prestižno nacionalno nemačko odobrenje poznato pod nazivom „*allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ)*“ [3]. Ovo odobrenje dodeljuje se onim proizvodima i tipovima konstrukcija za koje ne postoje generalno priznata pravila za proračun i konstruisanje, odnosno za koje ne postoji DIN (*Deutsches Institut Fur Normung e.V.*) standard.

Istovremeno, istraživanja sprovedena od strane nemačkog instituta za građevinarstvo „*DIBt*“ (*Deutsches Institut für Bautechnik*), referentne ustanove formirane od strane nemačke države, definisala su „*Huck BobTail*“ zavrtnjeve kao spojna sredstva koja nije potrebno održavati (*maintance free*) u toku životnog veka spoja u kojem se koriste. Ovo ih svakako izdvaja od svih sličnih proizvoda na tržištu.

Kao kruna rada na razvoju standarda za proračun HBT zavrtnjeva, u januaru 2014. godine pojavio se nacrt standarda pod nazivom „*Sistemi zavrtnjeva sa zaključavanjem – proračun prema Evrokodu 3 i VDI*“

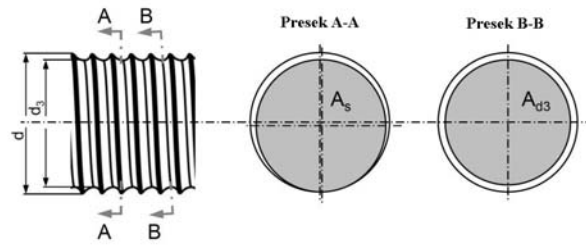
2230 standardu” [7] (*Schließringbolzensysteme - Berechnung von Verbindungen nach Eurocode 3 und VDI 2230*). Ovaj predlog standarda, koji se nalazi u proceduri usvajanja, sačinili su nemačko udruženje za zavarivanje i slične procese DVS (*DVS-Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.*) i evropska asocijacija za istraživanja u oblasti obrade limova EFB (*EFB Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V.*). U pitanju je obiman predstandard, a u daljem tekstu je prikazan samo deo koji definiše proračun nosivosti zavrtnjeva sa zaključavanjem na smicanje, pritisak po omotaču rupe i proklizavanje.

Da bi se mogli opisati izrazi za nosivost zavrtnjeva sa zaključavanjem neophodno je, pre svega, definisati rastojanja između zavrtnjeva u vezi (slika 13) i karakteristične preseke tela zavrtnja (slika 14).



Slika 13. Rastojanje između zavrtnjeva u vezi

Navoj se razlikuje od standardnog metričkog navoja na HV zavrtnjevima pa su i vrednosti površina preseka drugačije. Definisana je efektivna površina poprečnog preseka A_s kao površina tela zavrtnja u ravni upravnoj na podužnu osu zavrtnja. Međutim, neophodno je napraviti razliku između ovog preseka i preseka paralelnog spiralnim žljebovima. Standardom je, kao površina na koju deluju naponi usled prednaprezanja zavrtnja, definisana površina paralelna spiralnim žljebovima i označena sa A_{d3} .



Slika 14. *Stvarni presek tela zavrtnjeva sa zaključavanjem u zoni navoja*

Površina preseka izložena naponu usled prednaprezanja, u zavisnosti od oblika tela zavrtnja sa zaključavanjem definiše se kao:

- u slučaju navoja sa paralelnim žljebovima:

$$A_{d_3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad (1)$$

- u slučaju navoja sa spiralnim žljebovima:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d + 2 \cdot d_3}{3} \right)^2 \quad (2)$$

U skladu sa odredbama standarda Evrokod 3, definišu se kategorije spojeva sa zavrtnjevima sa zaključavanjem. Kategorije A, B i C za smičuće spojeve i kategorije D i E u zatežućim spojevima. U zavisnosti od kategorije spoja zahteva se ispunjenje određenih kriterijuma, a nosivosti zavrtnjeva određuju se na sledeći način:

1. nosivost zavrtnja na smicanje, za jednu ravan smicanja:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (3)$$

gde su:

- α_v – koeficijent smicanja. Za zavrtnjeve klase čvrstoće 5.8, 8.8, 10.9, A2-50 i A4-50 uzima vrednost $\alpha_v=0,55$,
- f_{ub} – čvrstoća materijala zavrtnja pri zatezanju,
- A – površina poprečnog preseka zavrtnja u zoni ravni smicanja. U slučaju da ravan smicanja prokliza

kroz navoj zavrtanja koristi se površina A_s . Kada ravan smicanja prolazi kroz deo tela zavrtanja bez navoja koristi se površina tela zavrtanja A ,
 γ_{M2} – parcijalni koeficijent sigurnosti koji uzima vrednost 1,0;

2. nosivost zavrtnejeva na pritisak po omotaču rupe:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (4)$$

gde su:

k_1 – koeficijent za nosivost na pritisak po omotaču rupe.

Za ivični zavrtanj sa zaključavanjem koeficijent k_1 uzima vrednost:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} \quad (5)$$

Za slučaj unutrašnjeg zavrtanja sa zaključavanjem k_1 uzima vrednost:

$$k_1 = \min \left\{ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} \quad (6)$$

α_b – koeficijent pritiska po omotaču rupe koji uzima vrednost:

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} \quad (7)$$

Za ivični zavrtnj sa zaključavanjem, koeficijent α_d uzima vrednost:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \quad (8)$$

Za unutrašnji zavrtnj sa zaključavanjem, koeficijent α_d uzima vrednost:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \quad (9)$$

γ_{M2} – parcijalni koeficijent sigurnosti koji uzima vrednost 1,0;

3. minimalna propisana sila prednaprezanja u zavrtnju:

$$F_{p,C} = 0,62 \cdot f_{ub} \cdot A_s \quad (10)$$

gde su:

f_{ub} – čvrstoća materijala zavrtnja pri zatezanju,
 A_s – efektivna površina poprečnog preseka. Za slučaj zavrtnjeva sa paralelnim žljebovima koristi se površina A_{d3} , a u slučaju spiralnih žljebova površina A_s ,

4. nosivost zavrtnja na proklizavanje:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \cdot k_s \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} \quad (11)$$

gde su:

n – broj tarnih površina,

- k_s – koeficijent koji zavisi od veličine rupe za spojno sredstvo. Za normalne rupe uzima vrednost 1,0,
 μ – koeficijent trenja
 γ_{M3} – parcijalni koeficijent sigurnosti koji uzima vrednost 1,25.

5. ZAKLJUČAK

Pored prednosti i nedostataka, važan parametar za široku primenu zavrtnjeva sa zaključavanjem je i njihova cena. Na osnovu dostupnih podataka, a na primeru visokovrednih HBT zavrtnjeva sa zaključavanjem i klasičnih HV zavrtnjeva proizvođača “Peiner” [13] (u svemu prema standardima [5], [6]), nazivnog prečnika 20 mm i stezne dužine 30-40 mm, napravljena je uporedna analiza cena. Sve cene odnose se na količinu od 100 komada.

Tabela 1. *Uporedna analiza cena kompleta zavrtnjeva [9]*

Tip zavrtnja	Zavrtnaj [EUR/kom]	Čaura / navrtka [EUR/kom]	Podloške [EUR/2 kom]	Ukupno [EUR/kompletu]
HBT M20 klase 8	1,86	1,17	-	3,03
Peiner M20 10.9	3,21	1,02	0,68	4,91

Jasno je uočljivo da su, što se cene tiče, zavrtnjevi sa zaključavanjem konkurentni. U obzir svakako treba uzeti i inicijalna ulaganja u opremu za ugradnju zavrtnjeva sa zaključavanjem, koja su svakako veća u poređenju sa cenom moment ključa za ugradnju HV zavrtnjeva. Sa druge strane, u slučaju masovne primene (izgradnja čitavih objekata) ova inicijalna ulaganja su zanemarljiva.

Primena zavrtnjeva sa zaključavanjem na tržištu Republike Srbije za sada se svodi na izgradnju objekata specijalne namene, npr. rezervoara, čija se konstrukcija uvozi zajedno sa spojnim sredstvima. Svakako da postoji veliki potencijal za njihovu širu primenu, posebno u slučajevima kada su neophodna i njihova antivandal svojstva, npr. u slučaju izgradnje elektromrežne i telekomunikacione infrastrukture - antenskih i stubova dalekovoda.

Kako bi se efekti najvećeg nedostatka zavrtnjeva sa zaključavanjem, a to je nemogućnost njihovog dotezanja, učinili predvidivim, na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu sprovedeno je opsežno eksperimentalno i teorijsko istraživanje u periodu od 2013. do 2015. godine [8]. Ovim istraživanjem potvrđen je veliki deo, od strane proizvođača specificiranih performansi spojnih sredstava sa zaključavanjem, a poseban akcenat stavljen je na definisanje minimalne sile prednaprezanja u zavrtnjevima nakon njihove ugradnje i na gubitke sile

prednaprezanja u toku vremena. Rezultati istraživanja dostupni su stručnoj javnosti i u kombinaciji sa postojećim prestandardima predstavljaju dobar osnov za masovniju primenu ovih spojnih sredstava.

6. LITERATURA

- [1] AFS: *A Brief History of Huck Manufacturing Company*, https://www.alcoa.com/fastening_systems/commercial/en/resources/data/Product_Bulletins/PB587%20Huck%20History.pdf, dostupno 06. marta 2014., 12:15h
- [2] AFS: *BobTail, Huck's next generation lockbolt*, http://www.alcoa.com/fastening_systems/commercial/catalog/pdf/huck/en/AF1032%20BOBTAIL.pdf, dostupno 06. oktobra 2014., 18:00, (2010).
- [3] AFS: *Huck News*, http://www.afshuck.net/en/more_information/News.html?article=1, dostupno 01. oktobra 2014., 08:30
- [4] AFS: *Product Catalog, Fastening Systems, Huck U-Spin Lockbolts*, http://www.alcoa.com/global/en/products/product.asp?prod_id=903, dostupno 06. marta 2014., 11:50h
- [5] CEN: *EN 14399-4:2005*;, *High-strength structural bolting assemblies for preloading - Part 4: System*

- HV - Hexagon bolt and nut assemblies*, European Committee for Standardization, (2005).
- [6] CEN: *EN 14399-6:2005, High-strength structural bolting assemblies for preloading - Part 6: Plain chamfered washers*, European Committee for Standardization, (2005).
- [7] DVS-Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. und EFB-Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V.: *Schließringbolzensysteme - Berechnung von Verbindungen nach Eurocode 3 und VDI 2230*, (2014).
- [8] FRIC N.: *Teorijsko i eksperimentalno istraživanje gubitaka sile prednaprezanja u visokovrednim zavrtnjevima*, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, (2015).
- [9] FRIC N., BUĐEVAC D., MARKOVIĆ Z., DOBRIĆ J., ISAKOVIĆ J., *Huck bobtail fastening system – new solution for high-strength lockbolts*, 5th International Conference Civil Engineering – Science and practice Žabljak 17-21 February 2014, ISBN 978-86-82707-23-3, pp. 791-798., (2014).
- [10] FRIC N., GLIGIĆ B., DOBRIĆ J., MARKOVIĆ Z.: *Wind towers – design of friction connection for assembling sections of tubular steel towers*, Journal of applied engineering science, 10(2012)1, 221, 49 - 52, doi:10.5937/jaes10-1670.

- [11] KVT Solutioneering: *Huck BobTail, The Next Generation Lockbolts*, (2013), http://www.kvt-fastening.de/media/cbac7236-5480-a5b6-6c95-0247c81e83dc/KVT_Huck-BobTail_EN_092013_web.pdf, dostupno 06. marta 2014., 12:50
- [12] NOF Metal Coatings Group: *Geomet Coatings*, <http://www.anochrome.com/wp-content/uploads/2012/01/NOF.pdf>, dostupno 06. marta 2014., 12:45
- [13] PEINER UMFORMTECHNIC: *PEINER HV – Structural bolt sets*, http://www.peinerut.com/fileadmin/user_upload/PDFs/PUT-Steel_construction-e.pdf, dostupno 01. oktobra 2014., 10:30
- [14] Städler C.H.A.: *Schließringbolzen ohne Sollbruchstelle für wartungsfreie Verbindungen im Nutzfahrzeug- und Stahlbau*, Genehmigte Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur (Dr.-Ing.), Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität Dresden, (2012).