

METODOLOGIJA ZA REDUKCIJU URBANIH NEPROPUSNIH POVRŠINA ANALIZOM INFILTRACIONOG POTENCIJALA ZEMLJIŠTA

Tamara SUDAR¹⁾, Dragutin PAVLOVIĆ²⁾, Anja RANĐELOVIĆ²⁾,
Dušan PRODANOVIĆ²⁾

¹⁾Zavod za vodoprivredu Bijeljina, ²⁾ Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet

REZIME

Dinamičan razvoj urbanih sadržaja značajno smanjuje raspoložive prirodne infiltracione površine. Da se ovaj trend smanji, a po mogućnosti i usmjeri u obrnutom pravcu, tendencija je primjene obrasca održivog, integralnog upravljanja gradskim vodama. Ključni cilj je održati ili obnoviti lokalni vodni bilans što je moguće bliži prirodnom. Pri tome, lokalna infiltracija i isparavanje dobijaju primarnu ulogu u redukciji oticaja. Uz umanjeње oticaja treba osigurati uslove za poboljšanje njegovog kvaliteta poštujući principe revitalizacije životne sredine i zaštite ekosistema. Prirodi bliska rješenja (Nature Based Solutions - NBS), čiji su ciljevi zaštita, održivo upravljanje i obnavljanje prirodnih ili modifikovanih ekosistema, jedan su od uspješnih modela za ostvarenje prethodno navedenih zadataka.

U ovom radu prikazane su teoretske osnove i primjena metodologije izrade mape infiltracionog potencijala područja i potencijala redukcije vještačkih nepropusnih površina. Analizirana su NBS rješenja usmjerena lokalnom infiltracionom potencijalu na primjeru izgrađenog naselja u Hamburgu. Korišćene su odgovarajuće GIS podloge i urađena njihova dodatna analiza i sistematizacija. Ove analize mogu da budu korisne za veća naselja sa značajnom urbanizacijom, za planiranje dodatnih mjera zaštite od poplava usljed obilnih padavina. Sprovedene analize sa korišćenjem infiltracije u decentralizaciji odvodnje atmosferskih voda mogu biti upotrijebljene za prostorno planiranje novih naselja. Time se u početnoj fazi prostorna organizacija u određenoj mjeri prilagođava zaštiti od poplava usljed obilnih padavina. Moguća je primjena metodologije i na područja sa slabijim fondom podataka, ali uz dorade i poboljšanja raspoloživih podloga.

Ključne riječi: integralno upravljanje atmosferskim vodama, prirodni bliska rješenja, NBS, redukcija nepropusnih površina, Hamburg

1. UVOD

Ubrzani razvoj gradova i urbanizacija ruralnih područja godinama unazad predstavljaju realnost, a trend razvoja će se neminovno nastaviti i u budućnosti. Smatra se da će do polovine 21. vijeka posljedica biti da dvije trećine svjetske populacije (66%) živi u gradovima [17]. Osim nesumnjivih prednosti, ovakav razvoj sa sobom donosi i brojne probleme. Povećavaju se potrebe za vodom kao i količine otpadnih voda, dok sa stanovišta hidrologije i hidroloških procesa, urbanizacija povećava oticaj koji potiče od padavina. Uticaji klimatskih promjena takođe doprinose ovom problemu, sa prognoziranim povećanjem učestalosti obilnih padavina koje za posledicu često imaju bujične poplave [16]. Procesima urbanizacije se značajan dio prirodnih i ujedno retenzionih prostora za prihvatanje atmosferskih voda pretvara u vodonepropusne vještačke površine, što povećava površinski oticaj, smanjuje infiltraciju i evapotranspiraciju. Povećanje oticaja u većini slučajeva podrazumijeva povećanje opasnosti i rizika od plavljenja urbanih sredina, ali ima i negativan uticaj na kvalitet voda i smanjenje zaliha voda u podzemlju.

Istraživanja pokazuju da, ukoliko se ne promijeni način planiranja urbanih područja i ne bude se efektivnije upravljalo površinskim oticajem, ovi problemi će postajati sve nepovoljniji [19]. Tradicionalni sistemi za odvođenje urbanog oticaja imaju za cilj da oticaj što brže odvedu do recipijenta, ne baveći se ekstremnim situacijama obilnih padavina i očuvanjem kvaliteta ekstremnih oticaja i plavljenja prije ispuštanja u recipijent. Tokom godina, javila se potreba za razvojem sistema koji će se baviti kontrolom i smanjenjem količine urbanog oticaja, uz poboljšanje njegovog

kvaliteta kao i integralnim korišćenjem prikupljenih atmosferskih voda, uvažavajući principe revitalizacije životne sredine i ekosistema [2]. Neophodno je uvažiti i ostale elemente integralnosti, koji podrazumijevaju da se ljudske potrebe, sistemi na kojima počiva život u savremenom gradu, njihove interakcije i svi bitni procesi povezuju u jedinstvenu upravljačku cjelinu, kako bi se optimizirala efikasnost svih usluga [3].

2. PRIMJENA PRIRODI BLISKIH RJEŠENJA U ZAŠTITI OD BUJIČNIH POPLAVA USLJED OBILNIH PADAVINA

Negativni uticaji klimatskih promjena i poremećaji prirodnih ciklusa vode u urbanim sredinama mogu se umanjiti primjenom održivog upravljanja vodama zasnovanog na elastičnosti, gdje je urbano upravljanje vodama (*Urban Water Management* - UWM) sastavni dio urbanog planiranja [18]. Planiranje korišćenja zemljišta, funkcionalnost sistema za vodosnabdijevanje i odvodnju, te mjere potrebne za plansko upravljanje oticanjem atmosferskih voda, treba da budu ključni segmenti UWM-a [19]. Koncept prikupljanja i ispuštanja atmosferskih voda u najbliži recipijent je zbog brojnih prirodnih i ostalih ograničenja više puta unaprijeđivan i konačno su predložena rješenja koja ubuhvataju multidisciplinarni pristup i rješavanje urbanih problema i pritiska na vodnu infrastrukturu i ekosisteme [1,18], (slika 1).

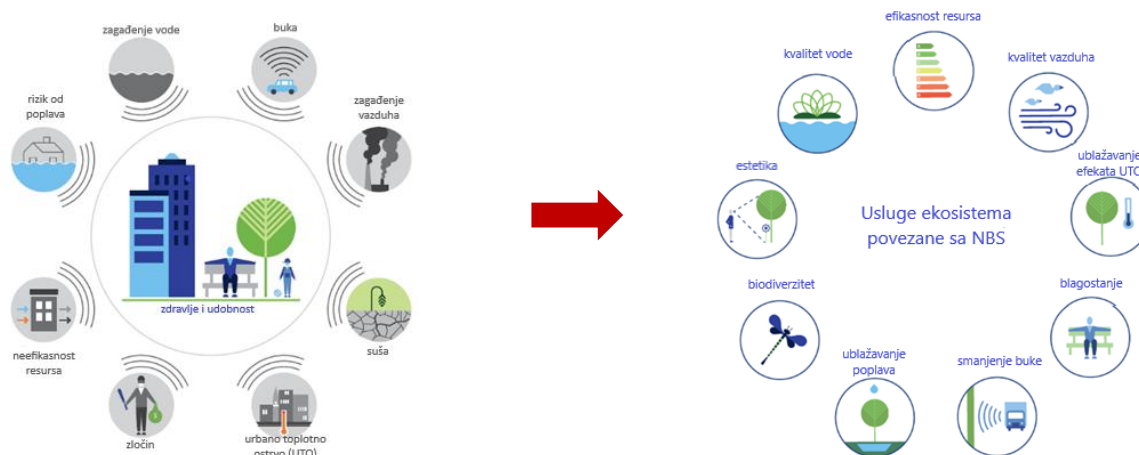


Slika 1. Istorijski razvoj procesa planiranja i upravljanja vodom u velikim gradovima – poželjni slijed aktivnosti [1,18]: 1. Vodovod, 2. Opšta kanalizacija, 3. Regulisan oticaj atmosferskih voda, 4. Grad integrisan sa vodnim tijelima, 5. Vodna infrastruktura planirana u saglasju sa prirodnim bilansom voda, 6. Planiranje vodne infrastrukture sa fokusom na upravljanje njome radi zaštite od poplava i održanje kvaliteta vode, 7. Planiranje i projektovanje zelenih i vodenih prostora u cilju maksimizacije kvaliteta urbanog života; SUDS – održivi sistemi urbanog odvodnjavanja (Sustainable Urban Design Systems), WSUD – urbano planiranje u saglasju sa vodom (Water Sensitive Urban Design), BG-S – sistemski pristup održivom, fleksibilnom i ekonomičnom urbanom razvoju (Blue Green Solutions).

Uprkos rizicima (poplave, suše, zagađenja) koje voda može predstavljati u urbanim prostorima, ona inicira postojanje značajnog dijela infrastrukture grada i vitalni je resurs normalnog funkcionisanja i razvoja. Zbog toga je neophodno na odgovarajući način integrisati vodu u urbane sadržaje, koristeći savremene pristupe urbanističkog planiranja, a pri tome koristiti što više prirodnih ili hibridnih prirodno-tehničko-tehnoloških rješenja, takozvani eko-inženjering [1,18].

Neka od značajnih pitanja upravljanja urbanim vodnim sistemima mogu se uspješno riješiti prirodi bliskim rješenjima (*Nature Based Solutions* - NBS), čiji je cilj zaštita, održivo upravljanje i obnavljanje prirodnih ili modifikovanih ekosistema. NBS pristup i rješenja se efikasno i fleksibilno bave društvenim izazovima, istovremeno pružajući dobrobit za ljude i biodiverzitet [9], sa pozitivnim uticajem na prilagođavanje klimatskim promjenama i smanjenje ranjivosti na prijetnje po životnu sredinu. NBS dozvoljavaju oponašanje hidrološkog režima i zadržavanje oticaja blizu izvora po principu razvoja sa malim uticajem – *Low Impact Development* (LID) i korišćenje biljaka za kasniji povratak vode u lokalni vodni ciklus evapotranspiracijom, podržavajući tako biljke u sušnim periodima. Zbog toga NBS postaju prirodni mehanizam u aktiviranju urbane otpornosti na upravljanje atmosferskim vodama, doprinoseći hlađenju evapotranspiracijom i ublažavajući efekte „urbanih ostrva toplote“ [18]. Primjena NBS rješenja u pružanju zaštite urbanih prostora (od poplave, erozije, itd.) zavisi od stanja i kapaciteta ekosistema u urbanim prostorima i prostornih mogućnosti.

Planiranje infrastrukture za održivo upravljanje rizicima od poplava u urbanim sredinama povezano je sa uspostavljanjem skladnih veza i pronalaženjem ravnoteže između prirodnih i urbanih cjelina [18]. U gradskim sredinama se prekida uobičajni proces kruženja vode zbog narušavanja hidrološkog ciklusa. Prethodno proizilazi iz smanjenja filtracionog kapaciteta tla, isparavanja i privremnog akumulisanja, što rezultuje brzim površinskim oticanjem sa povećanjima količina vode odvodnim urbanim sistemima, prihvatnim vodnim tijelima (površinskim ili podzemnim vodama) i naseljima nizvodno [18]. Obnavljanjem prirodnog ciklusa vode NBS rješenjima, utiče se i na smanjenje rizika od poplava i zagađenja [20]. NBS rješenja u ovoj ulozi u tijesnoj su vezi sa poznatim konceptima održive urbane odvodnje, npr. održivi sistemi urbanog odvodnjavanja (SuDS), urbano planiranje u saglasju sa vodom (WSUD) ili razvoj sa malim uticajem (LID) [18].



Slika 2. Primjena NBS – identifikacija problema sa vodom i urbanih pritisaka, mogućnosti ublažavanja ekonomije [1,18].

NBS rješenja neće moći u potpunosti obnoviti prirodni vodni ciklus ali pružaju višestruke dobrobiti zajednici (ublažavaju rizik od poplave i suše, utiču na lokalne klimatske uslove, povećavaju biološku raznolikost) [1,18]. Značajnije mjere prirodi bliskih rješenja, koje se koriste u praksi za umanjene oticaje na urbanim područjima su:

- zeleni krovovi,
- porozni pločnici,
- infiltracioni sistemi,
- bazeni za zadržavanje vode,
- jezera i močvare.

U nastavku je dat primjer pozitivne prakse integralnog upravljanja oticajima usljed obilnih padavina u gradu Hamburgu (Njemačka).

3. KLIMATSKI USLOVI I ZAŠTITA OD POPLAVA USLJED OBILNIH PADAVINA U GRADU HAMBURGU

Područje grada Hamburga zauzima površinu od 755 km², i čini ga sedam opština [15] (slika 3). Luka grada Hamburga je najveća morska luka u Njemačkoj, što ga čini centrom trgovine, transporta i usluga, kao i važnim industrijskim mjestom u Njemačkoj. Od ukupne kopnene površine Hamburga četvrtina se koristi u poljoprivredne svrhe, 20% za stanovanje, 12% je pokriveno saobraćajnom površinom (od čega je 65% ulica, 12% željezničke stanice i 6% aerodrom). Oko 8% gradskog područja koristi se za industriju, trgovinu i usluge [15]. Pojedine opštine pokazuju značajne razlike u korišćenju zemljišta (slika 4): u centru grada (Hamburg-Mitte) relativno visok procenat od 19% se

koristi u uslužne, komercijalne i industrijske svrhe, dok je u drugim poput Bergedorfa dio pod poljoprivrednim površinama. Najveća gustina saobraćajne infrastrukture je u Hamburgu-Nordu, gdje se nalazi aerodrom.

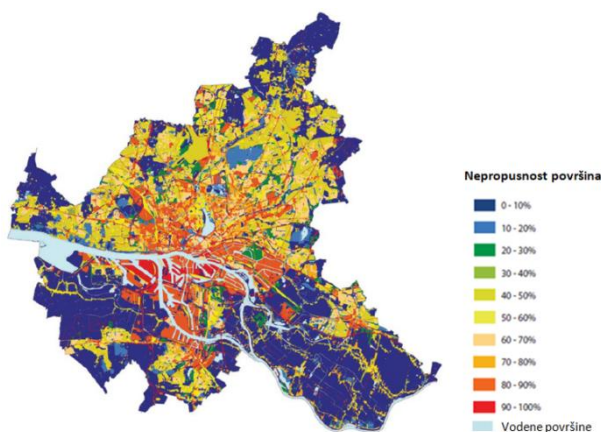
Hydrografsku mrežu i vodne režime grada Hamburga karakterišu rijeka Elba i njene glavne pritoke Alster i Bille, kao i značajni uticaji kolebanja nivoa Sjevernog/Baltičkog mora na glavni vodotok - rijeku Elbu. Iz susjednih saveznih država Schleswig-Holstein i Niedersachsen dotiče nekoliko vodnih tokova i postoji mnoštvo vodnih tijela u močvarnim područjima [10]. Kanalisiranje otpadnih i atmosferskih voda je riješeno mješovitim i separacionim sistemom, a u manjoj mjeri odvodnjom pod pritiskom [7].



Slika 3. Administrativna podjela Hamburga (Izvor: Wikipedia 2021).

Klimatske promjene predstavljaju veliki izazov za grad. Projekcije za Hamburg predviđaju pomijeranje padavina sa ljetnjih na zimske mjesece. Očekuje se 10% povećanja godišnjih padavina [15]. Gotovo polovina površine grada, odnosno područja koja se nalaze direktno uz rijeku Elbu, u opasnosti su od poplava prouzrokovanim olujnim udarima iz pravca mora. Pored očekivanog povećanja nivoa vode usljed olujnih udara, postoje rizici od unutrašnjih poplava usljed obilnijih kišnih događaja i fluvijalnih poplava [15].

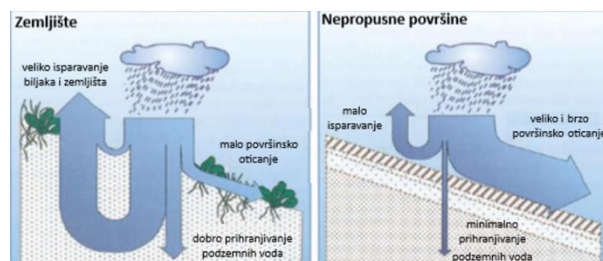
Na urbanom području Hamburga postoji veliki potencijal za nastajanje šteta, odnosno očekivanih rizika od unutrašnjih poplava, zbog dinamičnog razvoja stambenog i poslovnog prostora, kao i prateće infrastrukture u urbanim sredinama. U gradskim sredinama je mnogo prirodnih površina zamijenjeno vještačkim podlogama [7]. Ove površine su uglavnom popunjene zgradama, ulicama ili parkiralištima (slika 4), pa je prirodnih područja za poželjnu infiltraciju padavina u cilju decentralizovanog upravljanja atmosferskim vodama sve manje. Kanalizaciona mreža, retenzioni bazeni i vodene površine projektovani su za odvod kratkih kiša velikih intenziteta [7]. Obilne kiše koje se mogu pojaviti pod uticajem mnogo faktora, preopterećuju odvodne kanalizacione sisteme, pa to na nekim gradskim područjima može prouzrokovati poplave i značajne štete.



Slika 4. Stepennepropusnosti površina u Hamburgu [6].

Grad Hamburg zbog ubrzane urbanizacije (izgradnja 6.000 novih stanova godišnje) i razvoja urbanih sadržaja kojim se redukuju prirodne infiltracione površine, sa napretkom sprovodi savremene konceptualne modifikacije koje podrazumijevaju realizaciju projekata održivog integralnog upravljanja atmosferskim vodama (*Integrated Regional Water Management - IRWM*) [5,7].

Ključni cilj IRWM-a je održati ili obnoviti lokalni vodni bilans u gradu što je moguće bliže prirodnom, a pri tome forsirati što više lokalnu infiltraciju i isparavanje umjesto direktnog ispuštanja oticaja [7]. Ovo je u skladu sa pojmom „Water Cycle City” sa slike 1, odnosno vodna infrastruktura se planira u saglasju sa prirodnim bilansom voda. Ovaj pristup uključuje i mjere za izbjegavanje ili smanjenje ulaska zagađenja u podzemna vodna tijela i mjere za sprječavanje unutrašnjih poplava, naročito u daljem razvoju naselja i njegovih strukturnih karakteristika. Pošto se Hamburg strateški razvija kao „rastući grad na vodi” tj. grad integrisan sa vodnim tijelima (slika 1) pri tome koristeći atraktivne elemente planiranja u gradskom pejzažu i urbanoj kulturi, korišćenje atmosferske vode kao elementa planiranja još više dobija na značaju [6,7]. Hamburg je u ovim novim praksama ostvario značajan napredak. Prirodno stanje tla u Hamburgu se definiše kao „referentni uslov” za formiranje *skoro prirodnog bilansa voda* na urbanim područjima. Zavisno od nagiba terena, stanja tla, stanja podzemnih voda, vegetacije i vremenskih prilika tokom godine, isparavanje čini najveću komponentu, dok infiltracija čini drugu značajnu komponentu vodnog bilansa. To znači da se u razmatranjima i pristupima uravnoteženja vodnog bilansa trenutno stanje (nepropusnost površina-stanje danas) upoređuje sa referentnim (prirodnim) stanjem, kako bi se mogao sprovesti konačan cilj integralnog i održivog upravljanja atmosferskim vodama [7], (slika 5).



Slika 5. Bilans voda prirodnih površina (referentno stanje - lijevo) i vodonepropusnih, izgrađenih površina (desno) [7].

Vraćanjem prirodnog odnosa elemenata bilansa voda i planiranjem dugoročnih održivih rješenja, očekuju se rasterećenja kanalizacionog sistema. Ta rješenja predviđaju uvođenje što više infiltracionih površina i privremenih akumulacija atmosferske vode, te kontrolisano ispuštanje nakon prolaska pika poplave. To se može ostvariti povećanjem urbanih zelenih površina, pretvaranjem parkova, trgova ili ulica u privremene akumulacije kišne vode, sa uklapanjem u održiva rješenja koja su podržana prostornim planiranjem (organizacijom i sadržajem tih prostora), a koja ispunjavaju višenamjenske ciljeve [7].

4. METODOLOGIJA REDUKCIJE NEPROPUSNIH POVRŠINA ANALIZOM INFILTRACIONOG POTENCIJALA ZEMLJIŠTA

Utjecaji koji definišu primjenu planskih mjera u okviru integralnog upravljanja urbanim vodama mogu se podijeliti na: prirodne - prostorne (geološke i hidrogeološke) faktore; faktore uticaja struktura urbanih naselja (upotreba zemljišta, građevinska struktura, itd.) i pravne faktore (legistativa, vlasnička struktura i sl.) [13]. Prirodni – prostorni faktori uticaja sažeti su u tzv. „Mapi infiltracionog potencijala”, dok su strukturni i pravni faktori uticaja sadržani u „Mapi potencijala područja”.

Nakon brojnih realizovanih projekata u Hamburgu i formiranja fonda znanja na osnovu sprovedenih istraživanja i praktičnih rješenja, definisan je i termin „potencijal upravljanja atmosferskim vodama” koji definiše stepen primjenljivosti i izvodljivosti decentralizovanih mjera upravljanja [13]. Takođe, definisan je i termin „potencijal redukcije” koji u suštini podrazumijeva smanjenje/redukciju vještačkih nepropusnih površina [13].

U procesu procjene potencijala područja i redukcije vještački stvorenih nepropusnih površina izdvajaju se sljedeće mape (sa pratećim bazama podataka):

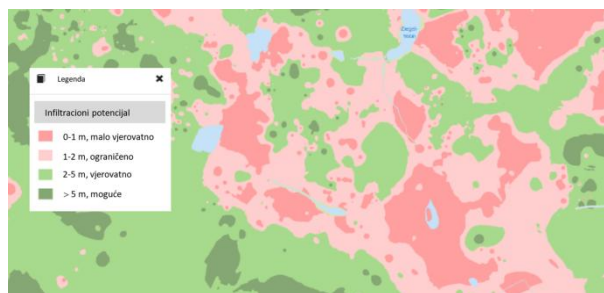
- mapa namjene zemljišta,
- mapa nepropusnosti,
- mapa potencijala isparavanja i
- mapa infiltracionog potencijala.

Posebno je potrebno naglasiti značaj mape infiltracionog potencijala. Metodologija izrade mape infiltracionog potencijala razvijena je kao dio projekta Hamburg Wasser-a (2011) „IRWM – Upravljanje atmosferskom vodom za Hamburg” [6], a u narednim godinama je razvijena za cijelo područje Hamburga. Koristi se za početnu orijentaciju kod planiranja infiltracionih sistema. Podaci, informacije i metodologija izrade mape infiltracionog potencijala preuzeti su iz [7,13,14] i prilagođeni praktičnom primjeru. Mapa infiltracionog potencijala se koristi kao podloga kod analize potencijala redukcije nepropusnih površina, a pruža preliminarne informacije o mogućnostima infiltracije atmosferskih voda.

Metodologija izrade mape infiltracionog potencijala korišćenjem GIS podrške obuhvata analizu više parametara:

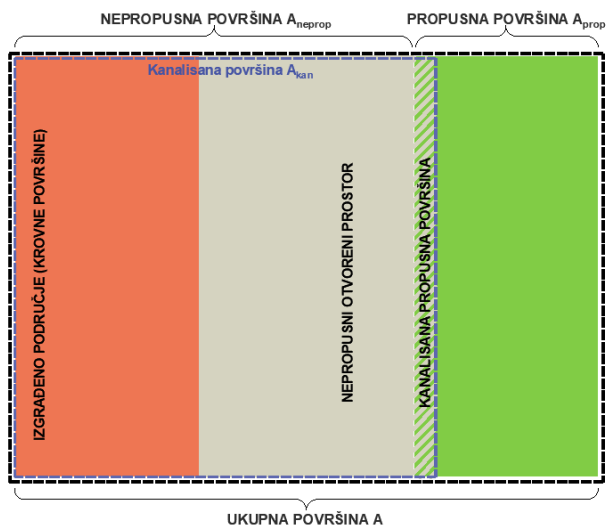
- karakteristika geološkog infiltrirajućeg sloja (dobijaju se iz geološke karte: geološka građa, poželjni koeficijenti filtracije, itd.);
- udaljenost nivoa podzemne vode od površine terena (hidrogeološki parametri osmatranja nivoa podzemnih voda) i
- nagiba terena (dobija se iz digitalnog modela visina/terena).

Dopunska kontrola geološkog infiltrirajućeg sloja obavlja se na osnovu podataka o realizovanim istražnim bušotinama (državni Geološki Zavod), ali se u obzir uzimaju i moguća zagađenja podzemne vode. Faza realizacije mape infiltracionog potencijala podrazumijeva „preklapanje” formiranih „slojeva” koji predstavljaju podatke o geološkoj građi infiltrirajućeg sloja, nivoima – udaljenosti od površine terena podzemnih voda i padovima terena analiziranog područja u GIS-u. Nakon „preklapanja” formiranih slojeva u integrisanoj mapi, jasno se uočavaju područja gdje po bilo kojem kriterijumu postoje ograničenja za realizaciju prirodne infiltracije.



Slika 6. Isječak mape infiltracionog potencijala za Hamburg [4].

U sredinama koje imaju kvalitetne baze podataka, korišćenjem GIS-a moguće je sačinuti preliminarne analize za potrebe planiranja odvodnje na već izgrađenim ili na područjima planiranim za urbanizaciju. Mapa potencijala područja i potencijala redukcije vještačkih nepropusnih površina sa grafičkim i numeričkim rezultatima, izdvajaju se kao korisni alati u sprovođenju decentralizovanog upravljanja odvodnjom, sa potenciranjem infiltracije u tom procesu. U [13] predložena je kategorizacija područja za izradu karte potencijala područja Hamburga, prikazana u opštem obliku na slici 7 dok su svi ostali ključni pojmovi prikazani na slici 8.



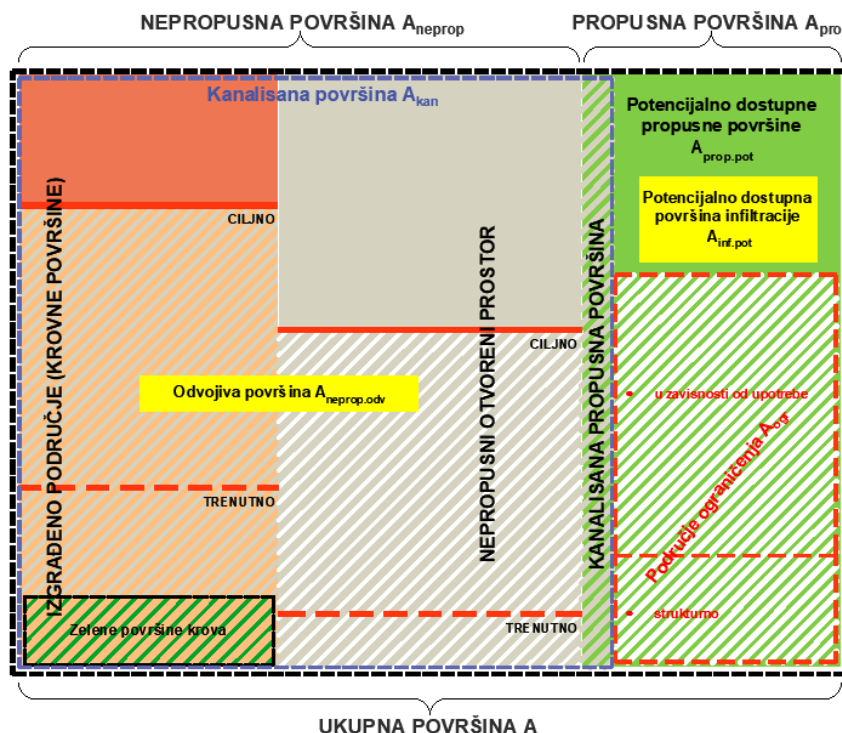
Slika 7. Kategorizacija područja – osnovni pojmovi kod određivanja mape potencijala redukcije.

Kanalisana površina (A_{kan}) opisuje udio površina koje pokriva javna kanalizaciona mreža, uključujući područja nepropusnih i propusnih površina.

U **izgrađenom području** sumirani su svi krovni dijelovi zgrada (kosi ili ravni krovovi) koji imaju različite efekte odvodnje (normalan krov, zeleni krov).

Nepropusni otvoreni prostor uključuje sva otvorena područja koja su ili potpuno nepropusna za vodu ili djelimično nepropusna, te tako imaju značajan uticaj na odvodnju prilikom padavina različitih intenziteta. To uključuje područja različite namjene zemljišta, npr. privatne dvorišne površine, javne prostore, kao i privatne i javne površine intenzivnog i pasivnog saobraćaja (ulice, parkirališta). Obično se priključuju na javnu kanalizacionu mrežu i razlikuju se kako u potrebi za tretmanom površinske vode koja proizlazi iz upotrebe zemljišta, tako i u pogledu stepena redukcije koji se može postići promjenom tipa površine. Zbir izgrađenog područja (krovne površine) i nepropusnog otvorenog prostora čini **nepropusnu površinu** A_{neprop} .

Propusna površina (A_{prop}) uključuje sva neizgrađena područja, tj. zelene površine i otvorene prostore sa prirodnom vegetacijom i odgovarajuće visokim kapacitetom infiltracije. Zbog veoma male izgrađenosti (antropogenih uticaja), ovo područje nudi potencijal za uređenje sistema za infiltraciju (→ potencijalno dostupna površina infiltracije $A_{inf.pot}$).



Slika 8. Kategorizacija područja – ključni pojmovi (trenutno stanje i ciljevi) kod određivanje mape potencijala redukcije [13].

Područje ograničenja A_{ogr} obuhvata dio propusnog područja koji se zbog različitih ograničenja (strukturnih ili ograničenja vezanih za upotrebu), ne može uzeti u obzir za uređenje u formi infiltracionog sistema. Strukturna ograničenja za uređenje infiltracionog sistema sastoje se od konstruktivnih sigurnosnih uslova (za zgrade, drveće) i propisa - ograničenja za susjedne parcele.

Potencijalno dostupne propusne površine ($A_{prop.pot}$) sastoje se od dijela propusne površine A_{prop} umanjenog za područje ograničenja A_{ogr} .

Potencijalno dostupna površina infiltracije ($A_{inf.pot}$) obuhvata dio potencijalno dostupne propusne površine za koji se na osnovu hidrogeoloških svojstava pretpostavlja dovoljan infiltracioni potencijal.

Odvojiva površina ($A_{neprop.odv}$) uključuje sve izgrađene (krovne) i nepropusne površine koje se potencijalno mogu odvojiti od kanalizacijske mreže zbog njihove prostorne blizine potencijalno dostupnom području infiltracije.

Ovdje treba uzeti sljedeće (prikazano na slici 8):

- Redukcija površina odvija se pomoću propusnih područja. Do redukcije površine dolazi npr. pretvaranjem nepropusnih površina u djelimično nepropusne ili uređenjem infiltracijskog sistema.
- U periodu implementacije uočava se polazno - trenutno stanje udjela redukcije koje sadržava već implementirane mjere (na primjer u obliku postojećih zelenih krovova ili sistema za sakupljanje atmosferske vode) i udjela redukcije koji tek treba sprovesti kao buduću ciljnu vrijednost.

Potencijal područja PP predstavlja relativni odnos propusne površine područja (potencijalno dostupna nepokrivena/nepopločana površina $A_{prop.pot}$) i potrebne površine infiltracije $A_{inf.potr}$ za površinsku redukciju nepropusnih površina parcele:

$$PP = \frac{A_{prop.pot}}{A_{inf.potr}} [\%]; PP \leq 100 \% \quad (1)$$

Potencijal područja može se izraziti kao apsolutna veličina u [ha ili m²] množenjem sa odgovarajućom površinom. Ne uzima se u obzir infiltracioni potencijal, tj. hidrogeološki granični uslovi infiltracije na razmatranoj površini.

Potencijal redukcije PR predstavlja relativni odnos nepopločane/propusne površine (potencijalno dostupna površina infiltracije $A_{inf.pot}$) i potrebne površine

infiltracije $A_{inf.potr}$ za redukciju vještačkih nepropusnih površina:

$$PR = \frac{A_{inf.pot}}{A_{inf.potr}} [\%]; PR \leq 100 \% \quad (2)$$

Množenjem PR sa odgovarajućom površinom, potencijal razdvajanja može se izraziti kao apsolutna veličina u [ha ili m²], što čini osnovu za određivanje područja $A_{E.neprop.odv}$ koje se može redukovati. Za razliku od potencijala područja, potencijal redukcije uzima u obzir ne samo strukturna ograničenja i ograničenja vezana za upotrebu, već i hidrogeološke granične uslove infiltracije (infiltracioni potencijal) te daje više informacija od potencijala područja, koji može da posluži kao referentna ili orijentaciona vrijednost potencijala redukcije za područja za koja karta potencijala infiltracije ne pruža dovoljno pouzdane informacije zbog nedovoljne hidrogeološke istraženosti analizirane površine.

Pošto se **potrebna površina infiltracije** $A_{inf.potr}$ koristi za izračunavanje potencijala redukcije i potencijala površine neophodno je definisati i njenu vrijednost. U ovom slučaju se primjenjuje paušalni pristup da 15% popločanog područja A_{neprop} mora biti dostupno kao potrebna površina infiltracije $A_{inf.potr}$, uzimajući u obzir prosječni koeficijent oticanja Ψ_{sr} .

Ključne aktivnosti metodologije

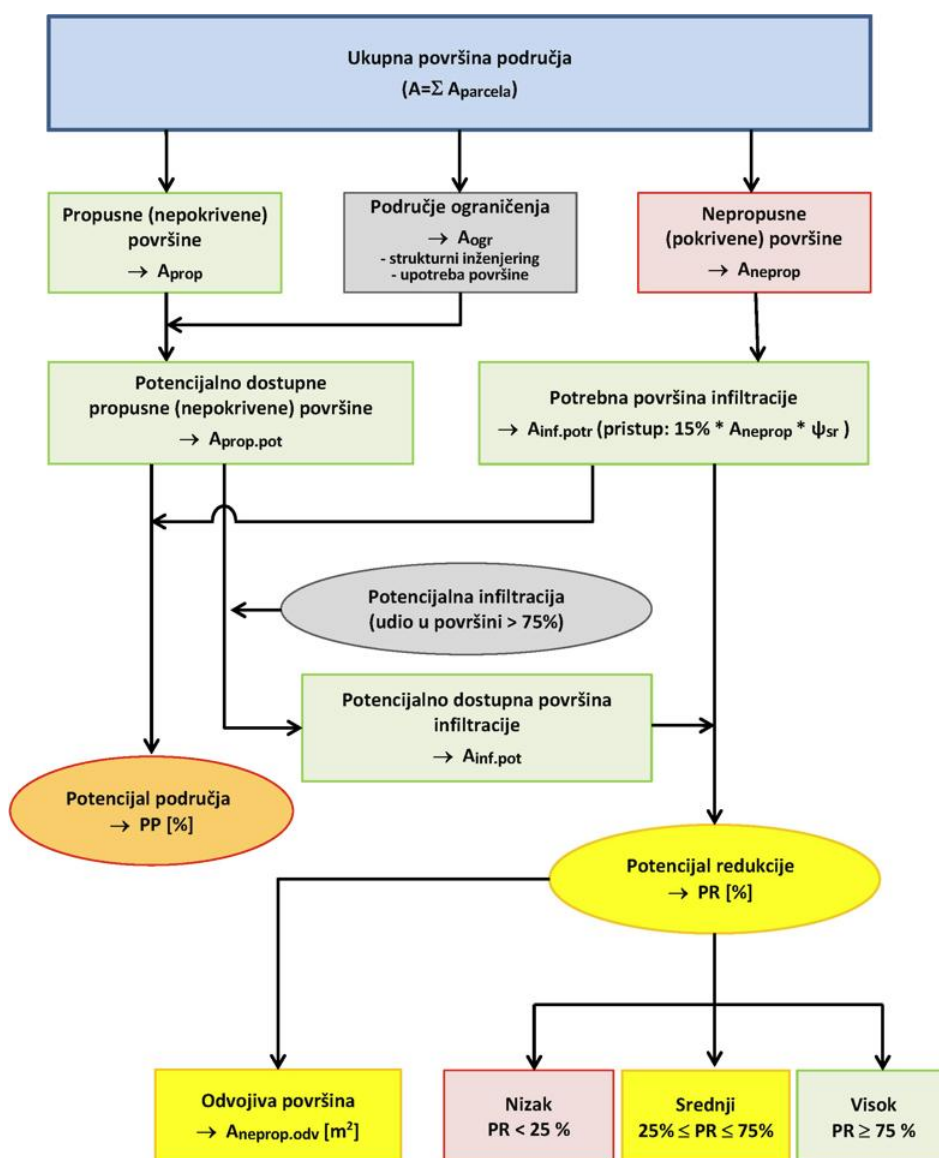
Na osnovu uspostavljene metodologije (slika 9) izdvajaju se sljedeće ključne aktivnosti na definisanju mapa potencijala područja i potencijala redukcije vještačkih nepropusnih površina korišćenjem GIS podrške, odnosno određivanje:

- nepropusnih (popločanih) površina A_{neprop} ,
- propusnih (nepopločanih) površina A_{prop} ,
- ograničenja A_{ogr} na analiziranom području;
- potencijalno dostupne propusne (nepopločane) površine $A_{prop.pot}$,
- određivanje potencijala područja PP (% ili ha) prema obrascu (1),
- potrebna površina infiltracije $A_{inf.potr}$,
- preuzimanje podataka o infiltracionom potencijalu (ukoliko postoje),
- određivanje potencijalno dostupne površine infiltracije $A_{inf.pot}$, na osnovu superpozicije površina $A_{prop.pot}$ i infiltracionog potencijala,
- određivanje potencijala redukcije vještački stvorenih nepropusnih površina PR (% ili ha) prema obrascu (2),
- definisanje odvojive površine za infiltraciju/površine na kojoj je moguća redukcija $A_{neprop.odv}$.

Navedene aktivnosti podrazumijevanju proračune navedenih veličina, ali i superpoziciju mapa kreiranih u GIS okruženju.

Na osnovu razrađene metodologije, u dostupnoj literaturi izdvojene su tri klase odvojivih površina koje su date kao rezultat potencijala područja i potencijala redukcije. Uvažavajući postavke metodologije i realizovanih projekata - primijenjenih NBS mjera (pilot projekata) u gradu Hamburgu, za tri izdvojene klase moguće je dati opseg primjene na izdvojene nepropusne površine i kombinacije ključnih NBS mjera za izdvojene klase.

Kod razvoja navedene metodologije, ključno je optimalno kombinovati tri ciljna faktora „površina - troškovi - vrijeme” sa ciljem postizanja najvećeg mogućeg potencijala redukcije, što je brže moguće i što ekonomičnije. Na kraju, treba istaći presudnu važnost integracije koncepta za upravljanje atmosferskom vodom u holistički, integralni sistem upravljanja, u kojem su naročito interakcije i kombinacije sa mjerama urbanog planiranja presudne za uspjeh primjene metodologije redukcije.



Slika 9. Šematski prikaz metodologije izrade mape potencijala područja i redukcije, prilagođeno iz [13].

Tabela 1. Klase potencijala redukcije – opsezi strategija kombinovanih mjera redukcije i upravljanja (primjer iz literature) [13].

Klasa	Opseg ostvarenog poten. redukcije	Opseg primjene – nepropusne površine	Kombinacija ključnih NBS mjera – realizovani primjeri
Klasa 1 – visok PR	$75\% \leq PR \leq 100\%$	Moguća redukcija svih ili većine nepropusnih površina	1. Zeleni krovovi 2. Spajanje krovnih površina na planiranu infiltraciju 3. Povezivanje potpuno nepropusnih (odvojenih) površina na planiranu infiltraciju
Klasa 2 – srednji PR	$25 \leq PR < 75\%$	Moguća redukcija samo dijela nepropusnih površina	
Klasa 3 – nizak PR	$0\% \leq PR < 25\%$	Redukcija nepropusnih površina moguća u maloj mjeri	1. Zeleni krovovi

5. PRIMJENA METODOLOGIJE NA KONKRETOM PRIMJERU

Implementacija kreirane metodologije analize potencijala redukcije vještačkih nepropusnih površina u sprovođenju decentralizovanih mjera upravljanja atmosferskim vodama izvršena je na delu naselja Bergedorf (slika 10). Radi se o području projekta EKNA-HH (Einfluss des Klimawandels auf das Niederschlags-Abflussgeschehen in Hamburg) čiji je cilj razviti metode i modele pristupa za procijenu plavljenje usljed jakih konvektivnih padavina za grad Hamburg, kao osnovu za procjenu rizika [8].

Na raspolaganju su bile sljedeće GIS podloge [8]:

- pedološke podloge,
- namjena i korišćenje zemljišta,
- geološke podloge,
- objekti na projektnom području,
- slivno područje,
- geodetski podaci terena (x,y,z).

Postojeća mapa infiltracionog potencijala sa [4] dobijena je i vidu GIS baze podataka (slika 11). Infiltracioni potencijal podijeljen je na sljedeće nivoe prema dubinama infiltracije, odnosno vjerovatnoći infiltracije:

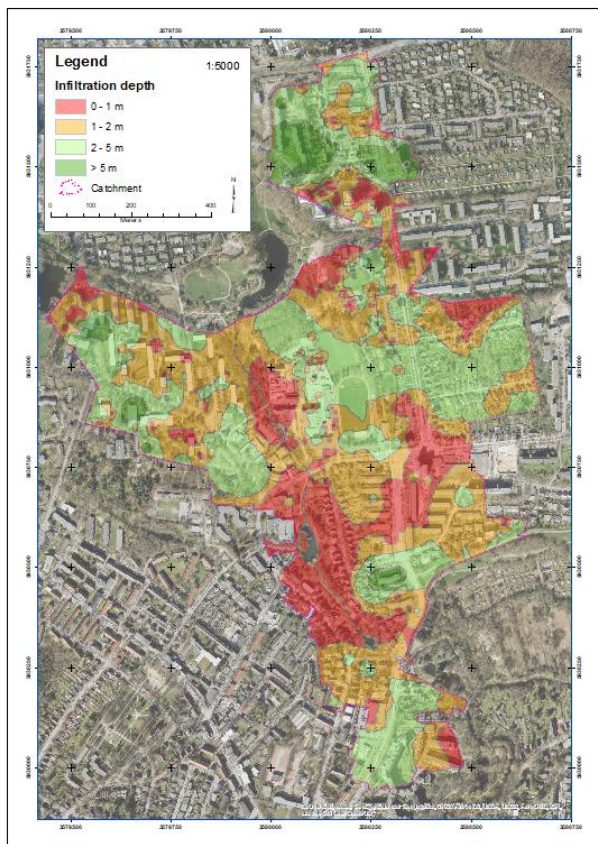
1. 0 – 1 m, malo vjerovatna infiltracija,
2. 1 – 2 m, ograničena infiltracija,
3. 2 – 5 m, vjerovatna infiltracija,
4. > 5 m, moguća infiltracija.

Preporučuje se da rastojanje od nivoa podzemne vode bude bar 1 metar [12] te su područja u kojima je minimalna udaljenost od podzemne vode do površine manja od 1 m klasifikovana kao neprikladna za dalje

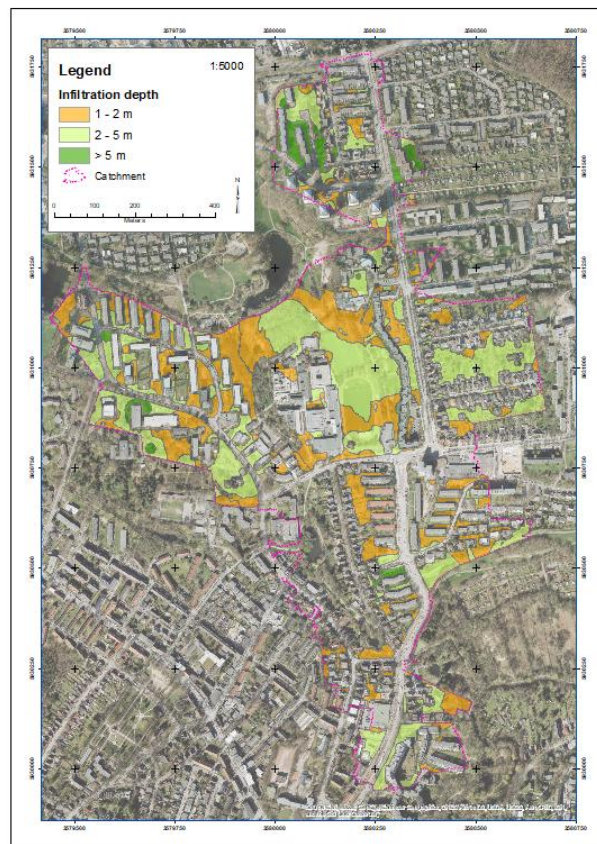
analize. Sva ostala područja potencijalno su pogodna za analizu infiltracije. Na ovaj način je, preklapajući infiltraciono pogodna područja sa potencijalno dostupnim propusnim površinama (GIS slojevi) dobijena potencijalno dostupna površina infiltracije (slika 12).



Slika 10. Područje analize – dio naselja Bergedorf u Hamburgu.



Slika 11. Infiltracioni potencijal na analiziranom području [4].



Slika 12. Potencijalno dostupna površina infiltracije (bez sloja 0-1 m, puteva, stambenih objekata i zone ograničenja).

Nisu bili dostupni podaci o:

- zelenim krovovima,
- djelimično popločanim površinama, odnosno potpuno popločanim površinama,
- ograničenjima vezano za upotrebu zemljišta,
- gradilištima, ali se uvidom na Google maps može konstatovati da se radi o izgrađenom području sa zanemarljivim procentom aktivnih ili potencijalnih gradilišta.

Pretpostavljene su vrijednosti:

- strukturnih ograničenja (6 m oko objekata),
- prosječni koeficijent oticaja $\Psi_{sr}=1$ (sve otiče sa nepropusnih površina).

Koristeći obrasce (1) i (2) dobijene su vrijednosti potencijala područja i potencijala redukcije:

- PP = 10,22 %
- PR = 7,88 %

na osnovu čega se klasificira niska odvojiva površina - slučaj kada je PR < 25%, odnosno klasa 3, prema tabeli 1. Rezultati se mogu smatrati kao okvirni jer su dobijeni na osnovu dostupnih podataka i podloga. Ipak, oni mogu da posluže da se prikaže cilj sprovedenih istraživanja. Analizirano područje je značajno urbanizovano, bez mogućnosti dalje gradnje i planiranja vodonepropusnih površina. Cilj je umanjeno nepropusnih površina na područjima gdje je moguća infiltracija, ali i korišćenje postojećih vodopropusnih površina sa infiltracionim potencijalom za planske mjere zaštite od obilnih padavina i poplava koje one uzrokuju. Za navedena područja može se koristiti infiltracija kao princip u decentralizaciji sistema odvodnje atmosferskih voda, uvažavajući i kriterijume koji imaju u vidu i očuvanje kvaliteta atmosferske vode.

Na nepropusnim podlogama je moguće planirati redukciju nepropusnih površina kao i izgradnju zelenih krovova, te uspostaviti vezu krovova sa propusnim površinama povoljnim za infiltraciju, kako definišu

iskustvene mjere za slučaj klase 3. Primjena koncepta „Strategije zelenih krovova za Hamburg“ na analiziranom slivnom području moguća je na svim ravnim krovovima koji zadovoljavaju uslove izgradnje prema usvojenoj strategiji.

Grad Hamburg je bio prvi veći njemački grad koji je razvio sveobuhvatnu strategiju zelenih krovova. Cilj je bio izgradnja ukupno 100 ha zelene krovne površine na gradskom području do 2020. godine. To bi se postiglo primjenom „Strategije zelenih krovova za Hamburg“, po kojoj bi se najmanje 70% novih zgrada sa ravnim i blago nagnutim krovovima planirali kao zeleni krovovi, čime se ispituju „krovovi“ kao resurs koji do sada nije bio u fokusu, razmatra se i razvija njihov doprinos kvalitetu života i atraktivnosti. U Hamburgu se svake godine izgradi najmanje 6.000 stanova. Tamo gdje se stvara toliko novog životnog prostora, potrebne su ideje koje građanima otvaraju novu slobodu. Strategija zelenog krova se uklapa u hamburšku strategiju „Qualitäts Offensive Freiraum“ - „quality offensive for open space“, uvažavajući strateški pristup da strukturno zgušnjavanje uvijek treba da ide uporedo sa dodatnom vrijednošću zelenih površina i poboljšanjem kvaliteta otvorenih prostora. Da bi se izbjeglo preopterećenje kanalizacionog sistema tokom jakih kiša, zeleni krovovi bi trebalo da zadrže u prosjeku 60% atmosferske vode. Pravni instrumenti kao što su Građevinski zakonik, Zakon o zaštiti prirode, Zakon o otpadnim vodama ili Hamburški zakonik o gradnji koriste se za promociju širenja zelenih krovova [11].

Izgradnju zelenih krovova bi u većoj mjeri trebalo primijeniti na područjima gdje ne postoje infiltracioni potencijali (južno područje), ali ne treba zanemariti ni njihovu gradnju i na područjima sa omogućenom infiltracijom.

Moguće je planirati i neke mjere koje nisu ponuđene u primjeru iz literature datom u tabeli 1. U konkretnom slučaju analize slivnog područja izdvaja se nekoliko značajnih površina (sportski tereni i javne površine) sa infiltracionim slojevima od 2-5 m i veće od 5 m, gdje je moguće planirati direktnu infiltraciju ili multifunkcionalnu upotrebu otvorenih prostora. Na sjevernom području analiziranog sliva najviše su zastupljeni infiltracioni slojevi veći od 5 m (ukupna površina 1,61 ha), dok su u centralnom, zapadnom i istočnom području infiltracioni slojevi 2-5 m (ukupna površina 15,36 ha). Neophodno je dobiti precizne podatke o kanalizacionom sistemu (dispozicija i vertikalni položaji kolektora) ukoliko se radi o nepropusnim površinama, odnosno identifikovati

propusna područja sa pogodnim infiltracionim potencijalom, do kojih bi se dovela voda.

Koncept infiltracije zavisi od izgrađenog kanalizacionog sistema i načina odvodnje, a za tehnička rješenja potrebne su dodatne analize. Strategija korišćenja multifunkcionalnih otvorenih prostora u zaštiti od obilnih padavina zavisi od mnogo faktora, a ključno je obezbijediti da atmosferska voda ne plavi urbano područje i da se ne izliva iz kanalizacionog sistema, već da se višak vode dovodi do npr. obližnjeg sportskog objekta i tamo se kroz sistem infiltrirajućih rovova obezbjeđuje infiltracija u odgovarajuće slojeve.

U Hamburgu je već realizovano nekoliko takvih projekata za višenamjensko korišćenje zemljišta u sklopu projekta RISA (adaptacija kišne infrastrukture) [13,14]. Na primjer, na javnom igralištu stvoreni su uslovi za zadržavanje izuzetno jake kiše kako bi se izbjeglo plavljenje obližnje škole. U drugom projektu, atmosferska voda se preusmjerava iz poplavljenih ulica pod obilnim kišama u park, gdje se voda može akumulirati i infiltrirati u prirodno udubljenje. Ovaj koncept moguće je primijeniti korišćenjem javnih površina sa potencijalno dostupnom dovoljnom površinom infiltracije (trgova, parkova, igrališta sa manjim površinama, bašti i zelenih površina).

Na površinama koje omogućavaju korišćenje infiltracije moguće je primijeniti promjenu postojećih vodonepropusnih površina u vodopropusne (parkinzi, trotoari i slično). Pored ove mjere moguća je primjena jaraka ili zasađivanje drveća u javnim površinama (između trotoara, pored saobraćajnica), odnosno poboljšanje isparavanja kao komponente hidrološkog ciklusa.

Da bi se ova metodologija i analiza koristila i na drugim područjima koja su pod uticajima obilnih padavina, neophodno je da se obezbijede odgovarajuće podloge i podaci. U područjima koja imaju skromne podatke potrebno je da se formiraju operativne GIS podloge i podaci na osnovu postojećih podloga, a taj rad podrazumijeva digitalizaciju postojećih podloga (digitalni model terena, geologija, hidrogeologija, pedologija, itd.). Sa Google maps podloga potrebno je digitalizovati objekte i saobraćajnice, javne površine i ostale karakteristične podloge.

U daljem unaprijeđenju podloga značajno je da se na analiziranim područjima realizuje dovoljan broj istražnih bušotina na osnovu kojih se definišu karakteristike infiltracionih slojeva. Ova aktivnost

zahtijeva značajnija ulaganja, ali je od presudnog značaja da bi se uradila kvalitetna karta infiltracionog potencijala.

6. ZAKLJUČAK

U slučajevima intenzivne i/ili nekontrolisane urbanizacije sa pratećom prekomjernom redukcijom prirodnih ekosistema i prirodnih propusnih površina, javlja se potreba za razvojem metoda koji će se baviti kontrolom i smanjenjem količine urbanog oticaja. Uz umanjenje oticaja potrebno je osigurati uslove za poboljšanje njegovog kvaliteta koristeći održivo integralno upravljanje, uvažavajući principe revitalizacije životne sredine i zaštite ekosistema. Razvijene zemlje svijeta su sa primjenom integralnog upravljanja urbanim vodama značajno odmakle, a vrše se stalna naučna usavršavanja.

Jedan od najvažnijih ciljeva integralnog upravljanja je održavanje ili u što je moguće većoj mjeri obnova lokalnog vodnog bilansa što bliže prirodnom, gdje lokalna infiltracija i isparavanje dobijaju ključnu ulogu u redukciji oticaja. Neka od značajnih pitanja upravljanja urbanim vodnim sistemima mogu se uspješno riješiti prirodi bliskim rješenjima (Nature Based Solutions - NBS), koja imaju za cilj zaštitu, održivo upravljanje i obnavljanje prirodnih ili modifikovanih ekosistema.

U ovom radu prikazane su teoretske osnove i primjena metodologije izrade mape potencijala područja i potencijala redukcije vještačkih nepropusnih površina i analize NBS uz korišćenje infiltracije na praktičnom primjeru izgrađenog naselja u Hamburgu, za koji su obezbijeđene odgovarajuće GIS podloge i urađena njihova dodatna analiza i sistematizacija. Potencijal redukcije služi kao polazna osnova za prijedlog mjera koje je moguće sprovesti na posmatranom području, a u cilju smanjenja/redukcije nepropusnih površina. Na osnovu mape infiltracionog potencijala mogu se sagledati površine gdje je infiltracija moguća, odnosno one površine gdje je vodu moguće dovesti kako bi se infiltrirala u podzemlje.

Za analizirano područje dobijena je vrijednost potencijala redukcije PR = 7,88% na osnovu čega se klasificira niska odvojiva površina - slučaj kada je PR < 25%, odnosno klasa 3 - nizak potencijal redukcije. Na ovom prostoru moguće je planirati redukciju nepropusnih površina kao i izgradnju zelenih krovova, te uspostaviti vezu krovova sa propusnim površinama

povoljnim za infiltraciju, kako definišu iskustvene mjere za slučaj klase 3. Naravno, moguće je planirati i neke mjere koje nisu ponuđene u preporukama iz literature, ukoliko se utvrdi da za to postoje pogodni uslovi.

Ove analize mogu da budu značajne za razvijena naselja sa značajnom urbanizacijom kod planiranja dodatnih mjera zaštite od poplava usljed obilnih padavina. Sprovedene analize sa korišćenjem infiltracije u decentralizaciji odvodnje atmosferskih voda mogu biti korisne kod prostornog planiranja za nova naselja, kada se u početku planiranja prostorna organizacija u određenoj mjeri prilagođava zaštiti od poplava usljed obilnih padavina.

Metodologiju je moguće primijeniti na našim prostorima i to na postojeća urbana naselja i ona koja se planiraju za gradnju. Radi efikasnosti i primjenljivosti projektnih rješenja neophodno je osigurati intenzivnu saradnju inženjera hidrotehnike i prostornih planera. Prema potrebi metodologiju je moguće korigovati i prilagoditi lokalnim uslovima, zavisno od raspoloživosti podataka i podloga. Podloge i podaci se moraju značajno unaprijeđivati, odnosno sistematično dopunjavati koristeći savremene tehnike i tehnologije, čime se efekti upotrebe mapa potencijala područja i potencijala redukcije vještačkih nepropusnih površina u odabiru mjera integralnog upravljanja urbanim vodama značajno povećavaju.

LITERATURA

- [1] Božović, R., Maksimovic, C., Mijic, A., Suter, I., Van Reeuwijk, M., Smith, K. M. (2017). Blue Green Solutions. A Systems Approach to Sustainable, Resilient and Cost-Efficient Urban Development.
- [2] Butler, D., Digman, C. J., Makropoulos, C., Davies, J. W. (2018). Urban Drainage.
- [3] Đorđević B. (2019). Smer razvoja hidrotehničke infrastrukture u procesu transformacije naselja u 'pametne' gradove, Vodoprivreda, Beograd, God.51, No. 297-299, s. 31-54
- [4] Hamburg Geo-Online. <https://geoportal-hamburg.de/geo-online/>
- [5] HAMBURG WASSER. (2010). Regenwassermanagement für Hamburg KompetenzNetzwerkAbschlussbericht.

- [6] HAMBURG WASSER. (2011). Integriertes Regenwassermanagement großräumig planen, Potentiale und Entwicklungsmöglichkeiten für Hamburg.
- [7] HSE; BUE. (2015). Strukturplan Regenwasser 2030, Zukunftsfähiger Umgang in Hamburg.
- [8] Institut für Wasserbau.
<https://www.tuhh.de/wb/forschung/aktuelle-projekte/ekna-hh.html>
- [9] IUCN. International Union for Conservation of Nature.
<https://www.iucn.org/commissions/commissioneco-system->
- [10] LSBG. (2009). Hochwasserschutz für die Hamburger Binnengewässer.
- [11] Official city portal for Hamburg. *Hamburg green roof strategy*. <https://www.hamburg.de/gruendach-hamburg/4364586/gruendachstrategie-hamburg/>
- [12] Prodanović, V., Randelović A., Vasilić Ž., Jaćimović N. i Stanić M. (2016). Dimenzionisanje i kalibracija sistema za infiltraciju kišnice na urbanom slivu u Beogradu, *Vodoprivreda*, Beograd, God.48, No. 279-281, s. 125-130
- [13] RISA. (2014). Handlungsziel lokaler naturnaher Wasserhaushalt: Flächenpotentialkarte (FPK), Abkopplungspotenzialkarte (APK), Wasserhaushaltsbilanzierung (WPK), Analyse von Wasserhaushaltsbilanz (WHB) Potential Zuständen; Pilotgebiet "Schleemer Bach".
- [14] RISA. (2014). Handlungsziel lokaler Wasserhaushalt: Versickerungspotentialkarte (VPK) Hamburg.
- [15] Rose, J., & Wilke, C. B. (2015). Climate change vulnerability in cities - the case of Hamburg. *HWWI*.
- [16] Sene, K. (2013). Flash Floods: Forecasting and Warning.
- [17] UN DESA. (2018). The 2018 Revision of World Urbanization Prospects.
- [18] Volkan Oral, H., Carvahlo, P., Gajewska, M., Ursino, N., Masi, F., van Hullebusch, E., Kazim, J., Exposito A., Cipolleta G., Andersen T., Finger D., Simperler L., Regelsberger M., Rous V., Radinja M., Buttiglieri G., Rizzo A., Dehghamian K., Nikolova M., Zimmermann, M. (2020). Blue-Green Systems: A review of nature-based solutions for urban water management in European circular cities: a critical assessment based on case studies and literature. *IWA* .
- [19] Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. London: CIRIA.
- [20] WWAP. (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*.

METHODOLOGY FOR THE REDUCTION OF IMPERVIOUS URBAN SURFACES BY SOIL INFILTRATION POTENTIAL ANALYSIS

by

Tamara SUDAR¹⁾ Dragutin PAVLOVIĆ²⁾ Anja RANĐELOVIĆ²⁾,
Dušan PRODANOVIĆ²⁾

¹⁾Institute for Water Management Bijeljina, ²⁾University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering

Summary

Dynamic development of urban facilities significantly reduces the available natural infiltration surfaces. Sustainable integrated water management in cities aims to reduce this trend, and, if possible, reverse it. The key goal is to maintain or restore local water balance as close as possible to the natural balance. At the same time, local infiltration and evaporation play a primary role in reducing runoff. In addition to reducing runoff, the conditions for improving its quality should be ensured, respecting the principles of environmental revitalization and ecosystem protection. Nature-based solutions (NBS), whose goals are the protection, sustainable management and restoration of natural or modified ecosystems, are one of the successful models for achieving these tasks.

This paper presents theoretical foundations and application of the methodology for creating a map of the infiltration potential of an area and the reduction potential of artificial impervious surfaces. We analysed

NBSs focused on the local infiltration potential using the example of a settlement in Hamburg. Appropriate GIS data were used and their additional analyses and consolidation was carried out. These analyses can be useful when planning additional flood protection measures during heavy rainfall for larger settlements with significant urbanization. The conducted analyses, which included infiltration in decentralized storm water system, can be used for spatial planning of new settlements. In this way, spatial organization is adapted to a certain extent to protection against floods caused by heavy rainfall in the initial phase. It is possible to apply the methodology to areas with a weaker data base but with refinements and improvements to the available data.

Key words: integrated storm water management, nature-based solutions, NBS, reduction of impervious surfaces, Hamburg