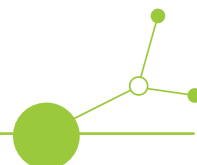


Poročilo D.4.4.2

Spremljanje učinkovitosti urbane odvodnje za večjo odpornost kakovosti podzemne vode

Koncept za ocenjevanje presežkov in primanjkljajev urbane vodne mase ter poti onesnaževal za določitev podnebno odpornih ciljev za odvodnjo in infiltracijo



Končna različica
11 2025, 03 2026





Opis aktivnosti iz prijavnice - Slovenska različica:

DS 4 Odpornost kakovosti urbane podzemne vode na podnebne spremembe, s pomočjo elementov prostorskega načrtovanja

Aktivnost 4.4 4 Skupne rešitve za urbane podzemne vode pri izvajanju ukrepov v strateških načrtih za odpornost na podnebne spremembe

Poročilo 4.4.2 Spremljanje učinkovitosti urbane odvodnje za odpornost kakovosti podzemne vode

Opis končnega izdelka: Sprejet strokovni dokument "Koncept za ocenjevanje presežkov in primanjkljajev urbane vodne mase ter poti onesnaževal za določitev podnebno odpornih ciljev za odvodnjo in infiltracijo" - povezava na O4.4

Datum: Perioda 6, 31 - 36

Avtorji: Prestor, J., Svetina, J., Pestotnik, S., Biondić, R., Plantak, L., Viršek, S., Loborec, J., Leskovar, K., Meaški, H., Grčić, I.



Vsebina

UVOD	3
A. VODNA IN MASNA BILANCA NA RAVNI FUNKCIONALNEGA MESTNEGA OBMOČJA	4
STALIŠČE	4
1. MASNA BILANCA VODNEGA KROGA	5
1.1. Vzroki za dolgoročne spremembe vodne bilance	5
1.2. Pomen sprememb vodne bilance v vodonosniku	6
1.3. Ocena presežkov onesnaževal	9
2. MASNA BILANCA ONESNAŽEVAL	9
2.1. Vrste onesnaževal	9
2.2. Ocena mase onesnaževal	10
2.2.1. Točkovni viri - Metoda prereza (<i>ang. "Transect method"</i>)	10
2.2.2. Razpršeni viri - Metoda srednje vrednosti koncentracije na območju vodonosnika	12
2.3. Ocena presežkov onesnaževal	13
3. VODNA BILANCA NALIVA	15
3.1. Strešne vode	15
3.2. Določanje ciljev in konkretnih nalog	17
3.2.1. Potencial za ponikanje in zadrževanje	17
3.2.2. Prioritete za ponikanje	18
3.3. Preusmeritev strešnih vod v ponikanje	19
3.4. Minimalni odmiki od objektov in parcelnih mej	20
B. EVIDENCA PONIKALNIH SISTEMOV	23
4. VODENJE PODATKOV IN OBDELAVA PODATKOV	23
4.1. Potekovni diagram gradbenega projekta: načrtovanje odvodnjavanja padavinske vode	24
4.2. Robni pogoji za dimenzioniranje zadrževalno ponikalnih sistemov	25
4.3. Podatki o dimenzioniranju zadrževalno ponikalnega sistema	26
C. OPREDELITEV CILJEV ZA PODNEBNO ODPORNOST	29
5. PRIMER VARAŽDIN	29
6. PRIMER LJUBLJANA	30



Spremljanje učinkovitosti urbane odvodnje za večjo odpornost kakovosti podzemne vode

Koncept za ocenjevanje presežkov in primanjkljajev urbane vodne mase ter poti onesnaževal za določitev podnebno odpornih ciljev za odvodnjo in infiltracijo

UVOD

Kakovost podzemne vode je ena najpomembnejših sestavin funkcionalnosti mesta. Pomembna je za ohranjanje celotnega ekosistema in za vse druge vrste možne rabe vode, še zlasti pa za oskrbo s pitno vodo.

Funkcionalnost mestnega območja je dobra, če jedro in njegovo zaledje zagotavljata zadostno količino in kakovost vode za ekosistem in za čim več namenov rabe vode. Funkcionalno mestno območje je tako veliko, da lahko letna količina padavin obnavlja ekosistem in oskrbo z vodo ter hkrati dovolj razredči izpuste, da v vodi ni zaznavnih koncentracij nevarnih snovi in da ni naraščajočih trendov pojavljanja drugih onesnaževal.

Urejanje urbane odvodnje in varovanje kakovosti podzemne vode imata pomembno skupno zadevo upravljanja, to je ponikanje. Naravno ponikanje ne prispeva le k zmanjšanju obremenitev kanalizacijskih sistemov, temveč ima ključno vlogo pri obnavljanju podzemne vode in zagotavljanju hidrološkega ravnovesja.

Sodobna mesta se soočajo s presežki ali primanjkljaji vode zaradi naraščajoče urbanizacije, preobremenjenosti kanalizacijskih sistemov in močnih podnebnih sprememb. Prekomerne količine padavinske vode ob nalivih preobremenjujejo kanalizacijske sisteme, kar povečuje tveganje za razlitje neprečiščene odpadne voda in onesnaženje površinske in podzemne vode. Močna sušna in deževna obdobja zmanjšujejo zmožnosti naravnega obnavljanja zalog podzemne vode v vodonosnikih.

Podnebne spremembe prinašajo dodatno negotovost, saj moramo pričakovati še pogostejše in intenzivnejše padavinske dogodke ter daljša sušna obdobja. To bo vplivalo ne le na kakovost in količino podzemnih vodnih virov, temveč tudi na delovanje kanalizacijskih omrežij, ki se bodo še težje spopadala s povečanimi obremenitvami.

Zato se razpravlja o možnih rešitvah, kot so uvajanje sistemov za ponikanje padavinske vode, zadrževanje vode v urbanem okolju in spodbujanje naravnega hidrološkega kroga. Ti ukrepi zahtevajo usklajeno delovanje različnih deležnikov, vključno z mestnimi oblastmi, strokovnjaki za vodno gospodarstvo, urbanisti in lokalnimi skupnostmi. Pomembno je prepoznavati, slediti in napovedovati lokacije in glavne vzroke preobremenitev, to je presežkov onesnaževal ter presežkov in primanjkljajev vodne mase. Na tej podlagi je mogoče oceniti, koliko bi z zmanjšanjem obremenitev, zlasti z uporabo ponikalnic in drugih naravnih rešitev, izboljšali delovanje sistema odvajanja padavinskih vod ter še naprej ohranjali dobro količinsko in kemijsko stanje podzemnih vod.

V tem poročilu so podana ključna priporočila in navodila za pregled presežkov padavinskih vod in onesnaževal in možni koncepti za razbremenjevanje kanalizacijskega sistema in vodnega vira za oskrbo mesta.



A. VODNA IN MASNA BILANCA NA RAVNI FUNKCIONALNEGA MESTNEGA OBMOČJA

STALIŠČE

Odpornost na podnebne spremembe pomeni, da kljub naraščajočim obremenitvam okolja in zahtevnejšim vremenskim pogojem ne pride do prenašanja bremen na dolvodna in gorvodna mesta.

Trajnostna in vzdržna raba naravnih virov je temelj in pogoj krožnega gospodarstva.

Funkcionalnost ekosistema in posameznega mestnega območja je močno odvisna od trajnostnosti in vzdržnosti rabe vodnega vira.

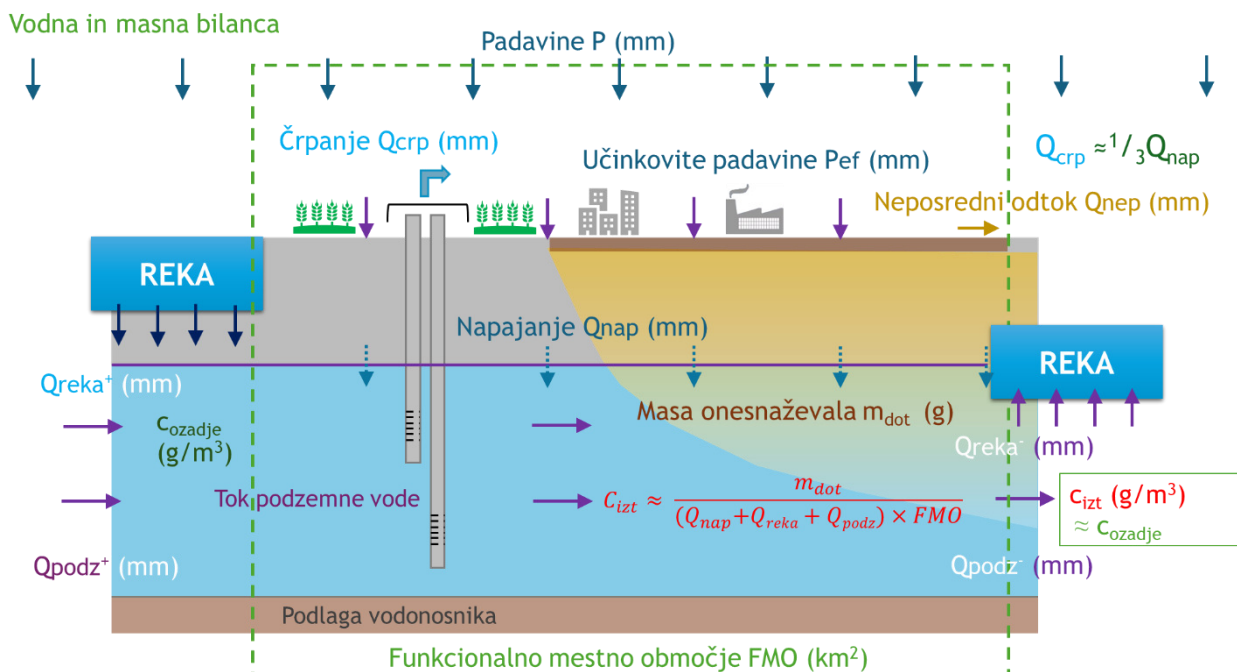
Občutljivost vodnega vira na spremembe in obremenitve je različna od primera do primera. Okvirno velja, da je trajnostnost in vzdržnost lahko dosegati ob zmernih obremenitvah:

- Odvzem vode iz vodonosnika v količini do ene tretjine dinamičnih zalog, ki se letno obnavljajo.
- Preprečevanje, da bi v podzemno vodo prodirale snovi, ki so toksične ali se kopičijo v organizmih.
- Omejevanje prodora vseh drugih snovi, ki bi se lahko širile v okolje.

Ključni parametri, ki so pomembni za sledenje sprememb v vodni in masni bilanci ter trajnostnosti in vzdržnosti rabe so naštet v preglednici (Preglednica 1) in prikazani na sliki (Slika 1).

Preglednica 1. Ključni parametri sprememb v vodni in masni bilanci.

Ključni parametri v vodni in masi bilanci	Opomba
Letne učinkovite padavine ($P_{ef} = P - ETR$)	P =padavine / ETR =evapotranspiracija
Neposredni odtok v reko (Q_{nep})	Odtok zaradi zatesnjenosti
Napajanje podzemne vode iz padavin (Q_{nap})	$Q_{nap} \approx P_{ef} - Q_{nep}$
Napajanje podzemne vode iz reke (Q_{reka})	Precejanje skozi dno struge
Pretok skozi vodonosnik ($Q_{vod} = Q_{nap} + Q_{reka} + Q_{podz}$)	Celotna masa vode v gibanju
Koncentracije onesnaževal na vstopni strani (C_{ozadje})	V reki ali v podzemnem dotoku
Masa onesnaževal na vstopu v podzemno vodo (m_{dot})	Točka skladnosti POC1
Koncentracije onesnaževal na izstopni strani (C_{izt})	Iztok v reko ali sosednji vodonosnik
Sprememba gladine podzemne vode ($dGPV$)	Odstopanje od današnjega stanja
Sprememba smeri toka podzemne vode ($d\omega$)	Odstopanje od današnjega stanja



Slika 1. Shematski prikaz ključnih elementov vodne in masne bilance.

1. MASNA BILANCA VODNEGA KROGA

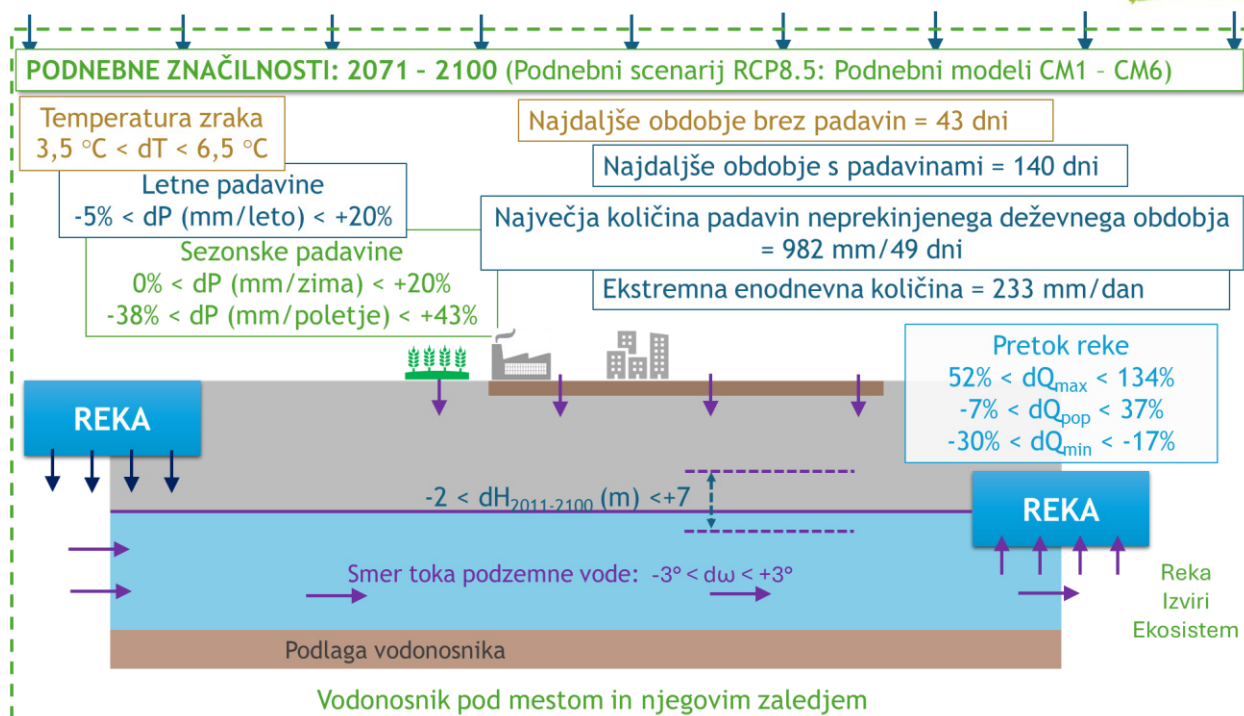
1.1. Vzroki za dolgoročne spremembe vodne bilance

Spremembe vodnih masnih tokov so bile od začetka 20. stoletja, torej od obdobja pred industrializacijo do danes, izrazitejše zaradi človekovih posegov kot zaradi podnebnih sprememb. Med najpomembnejšimi posegi so bila urejanja rečnih strug za pridobivanje prostora za kmetijstvo, gradnja vodnih akumulacij za hidroelektrarne ter izrazito povečano črpanje podzemne vode za oskrbo prebivalstva in industrijsko dejavnost. Ti posegi so močno vplivali na spremembo gladin in smeri tokov podzemne vode.

Za prihodnost je treba vedno bolj računati na vplive podnebnih sprememb. S spremembami temperature zraka se spreminjajo glavne komponente vodne bilance: površinski odtok, infiltracija padavin, evapotranspiracija, napajanje iz reke in dreniranje v reko.

Te spremembe vplivajo na spremembe gladine podzemne vode, smeri tokov podzemne vode in pretok vode skozi vodnosnik.

Podnebne spremembe se v atmosferskem delu najprej odražajo na spremembah v letnih vrednostih in sezonski porazdelitvi minimumov in maksimumov. To se prenaša v litosferski del vodnega vira in iz litosferskega nazaj na hidrološki in atmosferski del (Slika 2).



Slika 2. Prikaz značilnosti podnebnih sprememb in njihov vpliv na vodnosnik.

Primer podrobnejše analize in spremljanja sprememb v vodni bilanci je prikazan na sliki (Slika 3). Podrobnejša shema prikazuje 15 različnih komponent vodne bilance na primeru vodnosnika Ljubljanskega polja. Primera izračuna je narejen z matematičnim modelom na podlagi podnebnega scenarija RCP8.5 in podnebnega modela CM4.

1.2. Pomen sprememb vodne bilance v vodnosniku

- Sprememba gladine podzemne vode
 - Zaloga vode in zadrževalna prostornina

Sprememba gladine podzemne vode (ΔH) v vodnosniku pomeni spremembo zalog podzemne vode (dV_z). Vodnosnik je vodni rezervoar s prostornino, ki jo določa učinkovita poroznost vodnosnika (m_{ef}). Učinkovita poroznost je delež med seboj povezanih por, iz katerih lahko voda odteče gravitacijsko in jo lahko zato izkoriščamo s črpanjem ali pa jo tam uskladiščimo.

V odprtem peščeno prodnem vodnosniku je $m_{\text{ef}} = 15\%$ ($1,5 \times 10^{-1}$). Prostornina vode, ki se zadrži v enem metru vodnosnika s površino $A = 1\text{ km}^2$ ($= 100\text{ ha} = 1 \times 10^6\text{ m}^2$), je $dV_z = 1,5 \times 10^5\text{ m}^3$.

Znižanje gladine podzemne vode pomeni izpraznjene zaloge podzemne vode.

Dvig gladine podzemne vode pomeni zmanjšanje zadrževalne prostornine za zadrževanje vode iz nalivov.

- Izdatnost zajetij

Z znižanjem gladine podzemne vode se zmanjša izdatnost zajetij in poveča potrebna višina dviganja vode pri črpanju.

- Zamakanje objektov

Z zvišanjem plitve gladine podzemne vode na ravni temeljnih tal pride do zamakanja temeljev, oziroma globljih podzemnih delov stavb. Dvig lahko povzroči povečanje vplivnega območja ponikalnic in s tem prav tako zamakanje sosednjih zemljišč ali objektov.



- Drugi gradbeni vplivi

Znižanje gladine podzemne vode v stisljivih drobnozrnatih zemljinah (glinastih in meljnih) plasteh povzroči izcejanje vode iz por in posledično posedanje tal ter poškodbe objektov in naprav.

Dvig gladine podzemne vode lahko povzroči povečanje vzgona na objekte, podzemne rezervoarje ali cevovode ter morebitne premike ali poškodbe.

Dvig gladine podzemne vode nad kanalizacijske vode lahko poveča dreniranje v njo in s tem obremenitev kanalizacije.

Dvig gladine vode v slabo nosilnih ali labilnih tleh lahko poveča nevarnost plazov ali sproži, pospeši ali poveča premike temeljnih tal.

Dvig gladine podzemne vode v območju praznih prostorov (izkopov, vodov, rovov, ipd.) lahko povzroči spiranje okoliškega materiala v prazne prostore, notranjo erozijo in poškodbe temeljnih tal in objektov.

Dvig gladine podzemne vode v nabrekli plasti povzroči deformacije v temeljnih tleh ter poškodbe objektov in naprav.

- Naravne zadrževalne sposobnosti onesnaževal

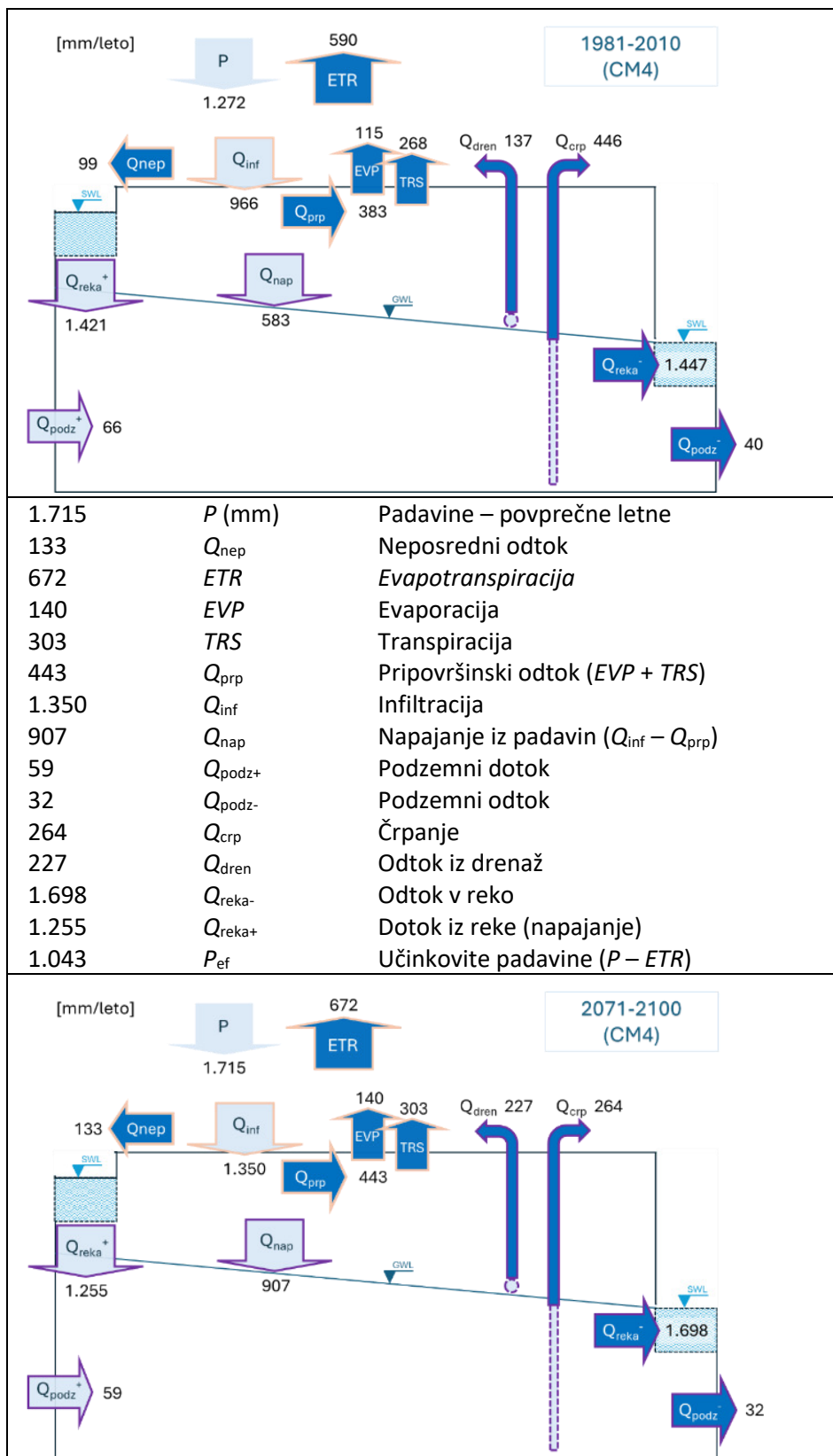
Dvig gladine podzemne vode zmanjša debelino nezasičene cone in s tem njeno sposobnost, da zadrži onesnaževala pred prodorom v podzemno vodo in nadaljnjim širjenjem s tokom podzemne vode v širše okolje.

- Sprememba pretoka skozi vodonosnik

Sprememba pretoka skozi vodonosnik pomeni spremembo redčenja onesnaževal, torej povišanje ali znižanje njihovih koncentracij. Sprememba pretoka nastane na račun spremembe napajanja iz reke ali padavin. Sprememba kakovosti vode je posledično odvisna od kakovosti vode v reki ter kakovosti tal in podtalja, skozi katera ponika padavinska voda.

- Sprememba smeri toka podzemne vode

Sprememba režima napajanja in črpanja podzemne vode povzroči tudi spremembe smeri toka podzemne vode. Z odklonom smeri toka pride tudi do odklona poti onesnaževal ter posledično do prenosa onesnaženj na druga zajetja. Odklon smeri tokovnice za 1° pomeni odstopanje za 17,5 m na razdalji 1 km.

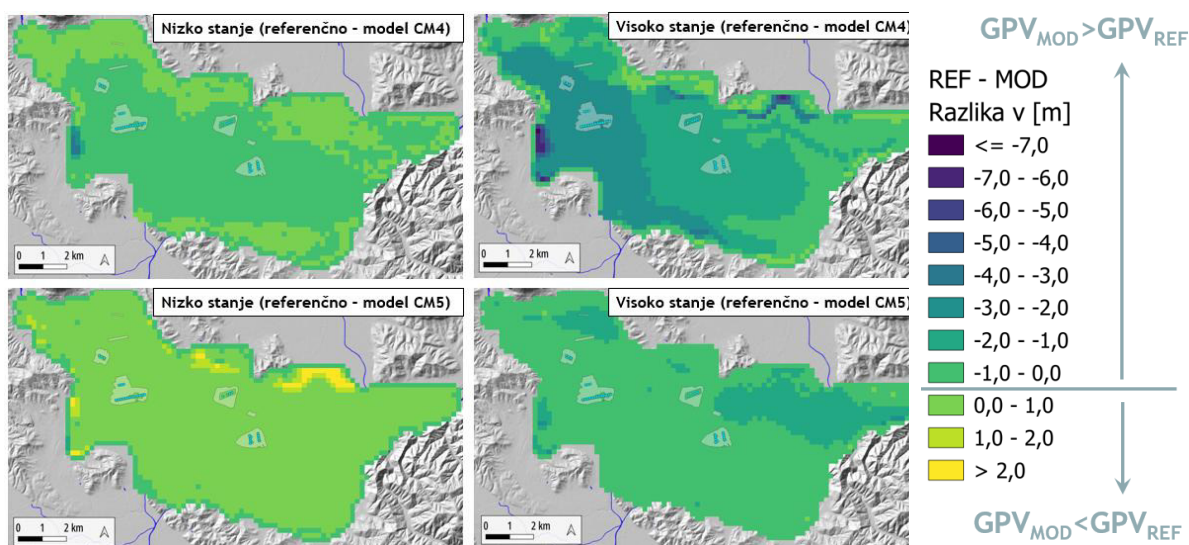


Slika 3. Shematski prikaz komponent vodne bilance v različnih modeliranih podnebnih razmerah.



1.3. Ocena presežkov onesnaževal

- 1- Preveri se odpornost črpališč in vodnih dovoljenj (izdatnost, globina in višina črpanja) ob znižanju minimalne gladine podzemne vode do 2 m ter se določijo ukrepi za operativno trajnost.
- 2- Preveri se odpornost podzemnih gradenj na zastajanje vode ob morebitnem dvigu gladine podzemne vode glede na njihovo prostorsko razporeditev (Slika 4) ter določijo ukrepi za operativno trajnost.
- 3- Preverijo se minimalne razdalje infiltracijskih objektov (glej točko 3.2.3).
- 4- Ohranja ali zmanjša se neposredni površinski odtok.
- 5- Ohranja se napajanje iz reke.



Slika 4. Potencialne spremembe gladine podzemne vode zaradi vpliva podnebnihih sprememb (- dvig / + znižanje) – primer Ljubljanskega vodonosnika.

2. MASNA BILANCA ONESNAŽEVAL

2.1. Vrste onesnaževal

Bilanco onesnaževal sestavljajo najrazličnejše snovi.

Z naraščanjem poselitve, kmetijstva in industrije so se močno povečale obremenitve na kakovost podzemne vode. Pojavile so se visoke koncentracije nitratov in pesticidov v regionalnem smislu ter bolj lokalizirana onesnaženja zaradi izpustov in izgub snovi iz industrije, na primer kroma (CrVI) in organskih topil (PCE, TCE).

V začetku 21. stoletja, z uvedbo skupne evropske vodne politike, so se vplivi obremenitev že bistveno zmanjšali. Danes se v prvi vrsti soočamo z vedno novimi številnimi onesnaževali, ki prihajajo z naraščanjem proizvodnje sintetičnih snovi in proizvodov. To so predvsem ostanki farmacevtskih sredstev, plastifikatorji, zaviralci rjavenja, mikroplastika in drugo.

Za sledenje presežkov v podzemni vodi lahko onesnaževala razdelimo v dve značilni skupini:

- Točkovna onesnaženja, ki imajo izvor na ožjih območjih ali točkah in jih sledimo v preseku toka onesnaženja z »metodo prereza«.
- Razpršena onesnaženja, ki so prisotna na celotnem vodonosniku in jih sledimo z oceno mase iz povprečnih vrednosti koncentracije na območju vodonosnika.



2.2. Ocena mase onesnaževal

2.2.1. Točkovni viri - Metoda prereza (ang. "Transect method")

Za onesnaževala, ki se širijo v značilni obliki oblaka onesnaženja, se najpogosteje uporablja metoda prereza (eng. *Transect method*) (Newell et al., 2003, Farhat et al., 2006). Glede na razpoložljivost prostorskih podatkov jo lahko uporabimo v 2D ali 3D obravnavi območja. Metoda temelji na postavitvi kontrolne ravnine pravokotno na glavno smer toka podzemne vode, ki jo razdelimo na reprezentativne odseke glede na izmerjene koncentracije onesnaževala. Za vsak odsek se nato izračuna delni masni tok, pri čemer se upoštevata Darcyjeva hitrost in površina posameznega odseka. Vsota vseh delnih tokov predstavlja skupni masni odtok (*mass discharge*, M_d) skozi izbrani prerez (Slika 5):

$$M_d = \sum_{i=1}^n q_i C_i A_i \quad (1)$$

Kjer je:

M_d : skupni masni odtok onesnaževala skozi prerez [g/dan]

q_i : Darcyjeva hitrost oziroma specifični pretok vode, pravokoten na prerez, v posameznem odseku i [m/dan],

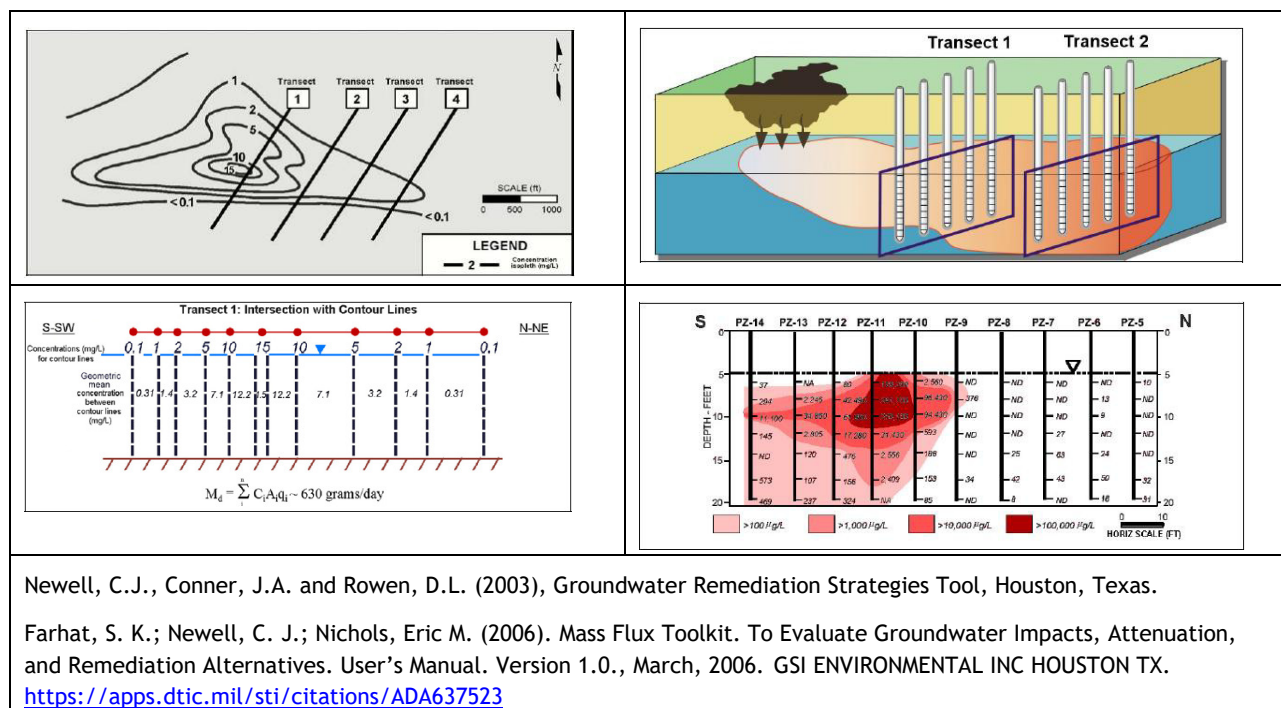
C_i : koncentracija onesnaževala v odseku i [mg/L]

A_i : površina posameznega odseka prereza [m^2],

n : skupno število odsekov, na katere je razdeljen prerez.

Prednosti: omogoča neposredno kvantifikacijo toka v realnem sistemu.

Omejitve: zahteva dobro prostorsko razporeditev meritev in natančno poznavanje hidravličnih parametrov.



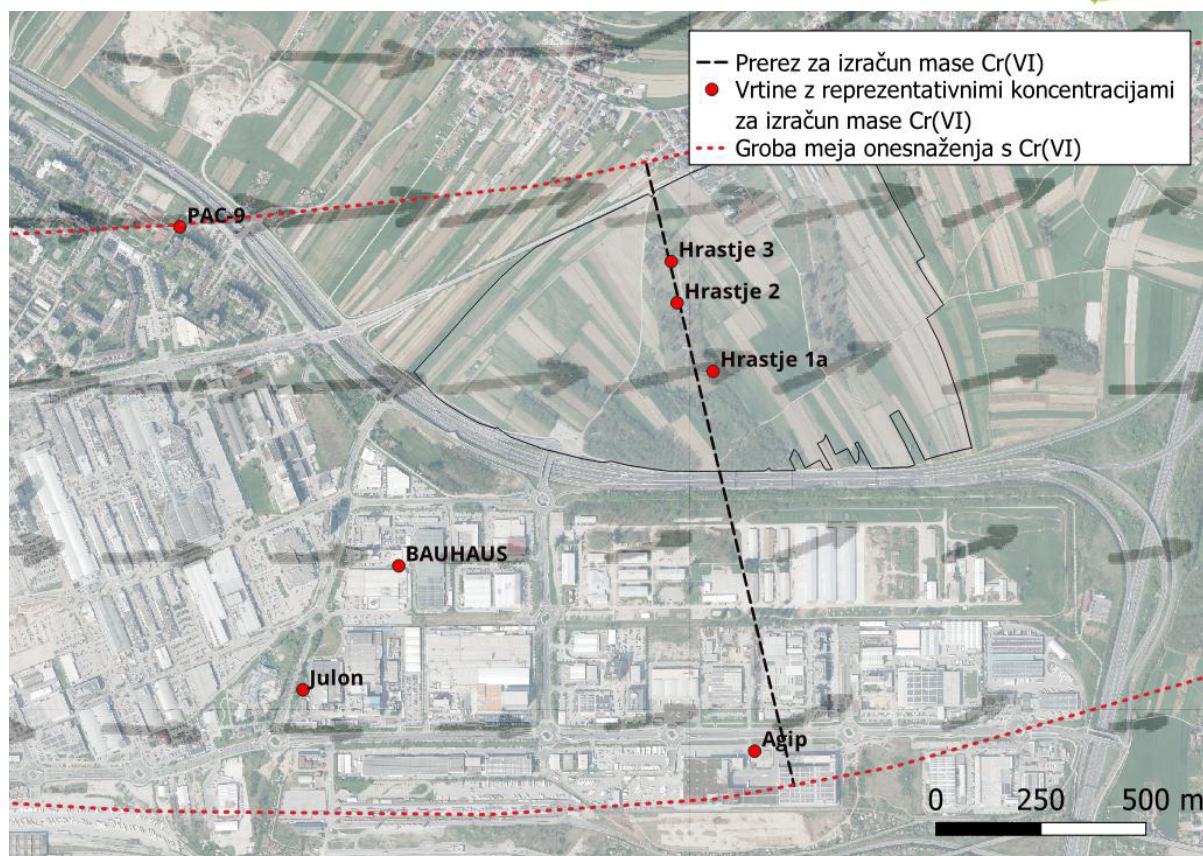
Newell, C.J., Conner, J.A. and Rowen, D.L. (2003), Groundwater Remediation Strategies Tool, Houston, Texas.

Farhat, S. K.; Newell, C. J.; Nichols, Eric M. (2006). Mass Flux Toolkit. To Evaluate Groundwater Impacts, Attenuation, and Remediation Alternatives. User's Manual. Version 1.0., March, 2006. GSI ENVIRONMENTAL INC HOUSTON TX.

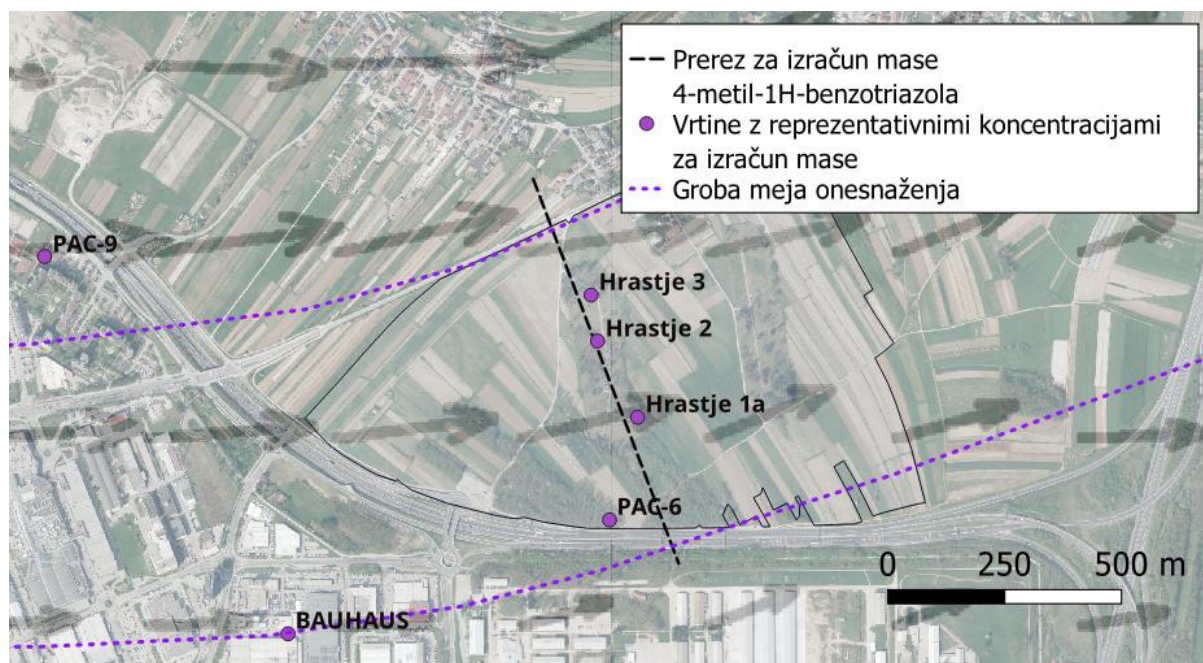
<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA637523>

Slika 5. Primeri uporabe metode prereza v 2D in 3D območju (Vir slik: Newell et al., 2003, Farhat et al., 2006).

Na slikah (Slika 6, Slika 7) sta prikazana dva primera tokov onesnaženja dveh različnih onesnaževal s prerezoma in določenimi reprezentativnimi merilnimi mesti za sledenje mase onesnaževala.



Slika 6. Primer toka onesnaženja s šestvalentnim kromom ter izbranega prereza z določenimi merilnimi mesti.



Slika 7. Primer toka onesnaženja z benzotriazolom ter izbranega prereza z določenimi merilnimi mesti.



2.2.2. Razpršeni viri - Metoda srednje vrednosti koncentracije na območju vodonosnika

- Metoda srednje vrednosti koncentracije

Ocena mase onesnaževala na podlagi povprečnih vrednosti koncentracij v celotnem vodonosniku je smiselna predvsem v primerih, ko gre za razpršena (difuzna) onesnaženja, ki se pojavljajo na ravni celotnega vodonosnika. Takšni primeri so značilni za onesnaževala z izrazitim naravnim ozadjem in posameznimi lokalnimi anomalijami, pri čemer so na voljo meritve z velikega števila merilnih mest ter daljše časovne serije podatkov.

Prednosti: omogoča hitro, okvirno oceno celotne mase oziroma toka onesnaževala skozi vodonosnik.

Omejitve: rezultat je zgolj groba, neeksplicitna ocena, ki ne upošteva prostorskih heterogenosti in lokalnih variacij v koncentracijah ali pretoku.

- Metoda s hidrogeološkim modelom transporta (eng. *Solute Transport Model Method*)

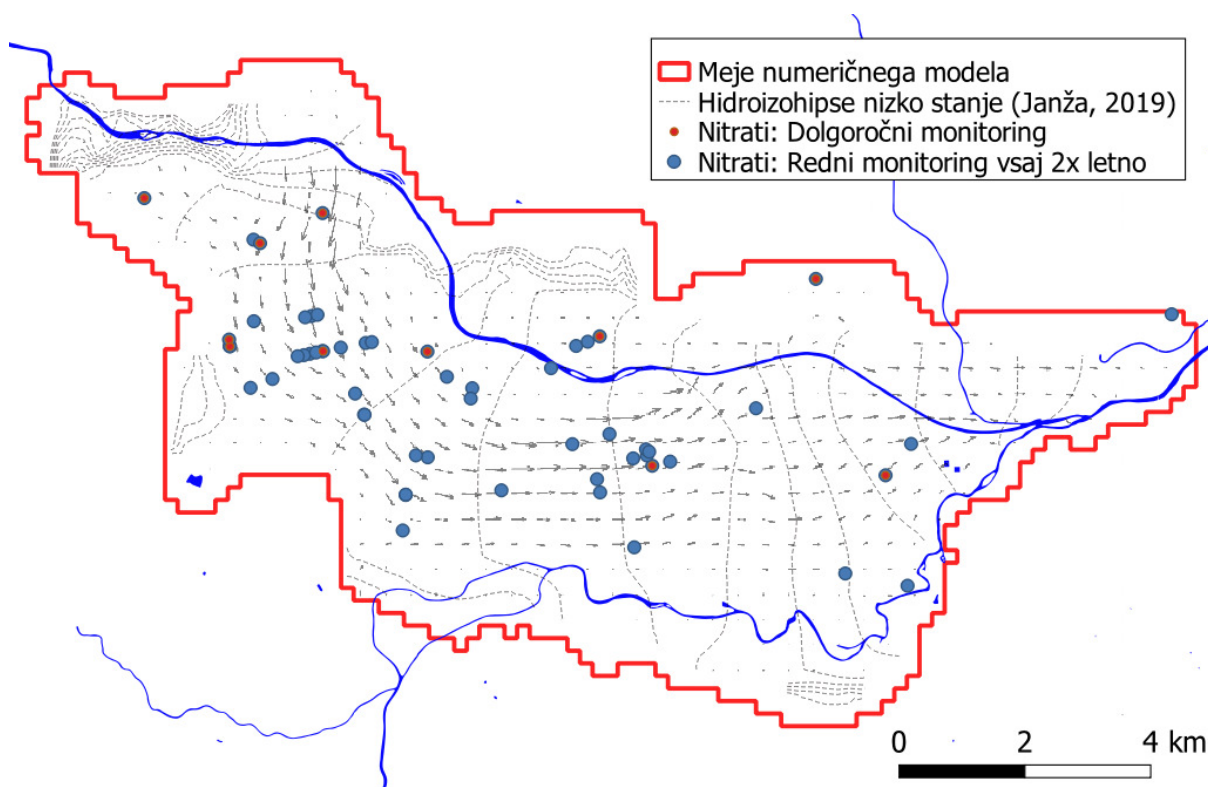
Masni tok se lahko oceni tudi z uporabo analitičnih ali numeričnih modelov transporta, ki povezujejo podatke o koncentraciji z modelirano hitrostjo toka podzemne vode.

Prednosti: omogoča simulacijo različnih scenarijev, vključno z biodegradacijo in disperzijo.

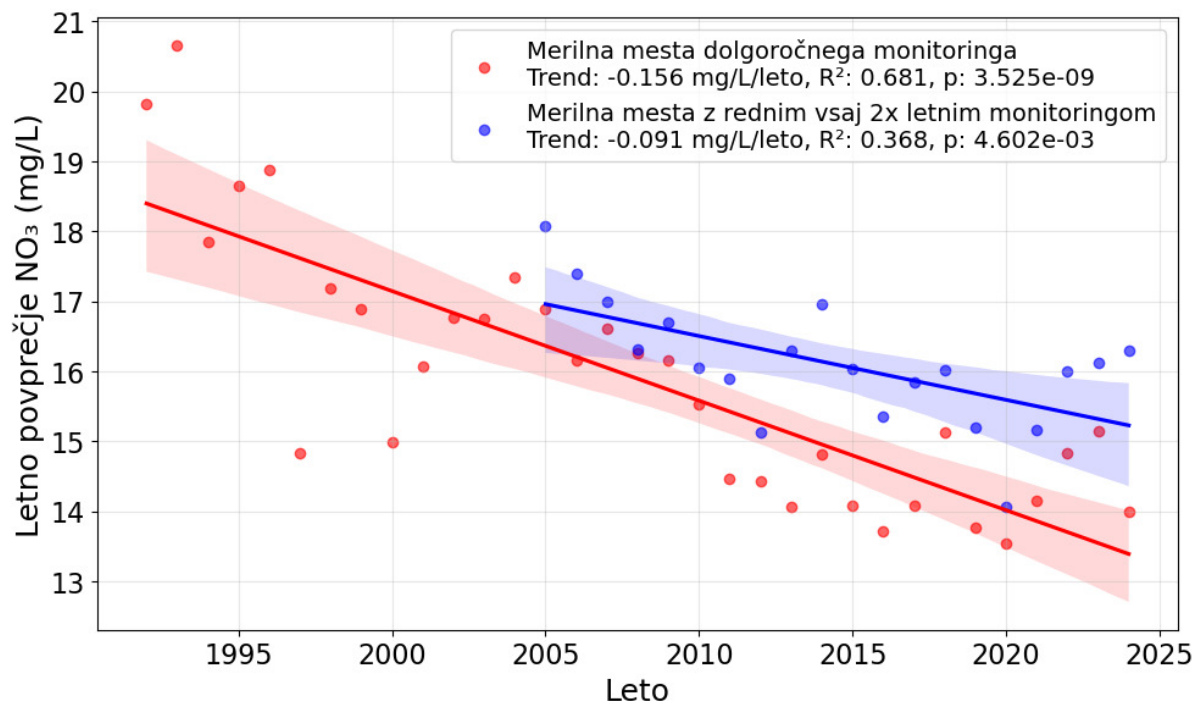
Omejitve: rezultat je odvisen od kakovosti vhodnih podatkov in predpostavk modela.

Izračun srednje vrednosti in trenda koncentracije izvedemo na dva načina, z dvema vrstama merilnih mest (Slika 8, Slika 9):

- z merilnimi mesti, ki so del rednega monitoringa z vsaj dvakrat letno sezonsko analitiko in so dobro razporejena po prostoru, tako da lahko predstavljajo značilnost razporeditve in prenosa onesnaževal vodnem viru;
- z merilnimi mesti, ki imajo najdaljše skupne časovne nize opazovanj in jih je možno še naprej vzdrževati za namen sledenja dolgoročnih trendov.



Slika 8. Razporeditve merilnih mest vrste A (rdeča) in B (modra) na primeru vodonosnika Ljubljanskega polja.



Slika 9. Dolgoročni in kratkoročni trend srednje vrednosti nitrata na primeru vodonosnika Ljubljanskega polja.

Primerjava srednjih vrednosti in trendov, izračunanih z “dolgoročnim” in “rednim” naborom merilnih mest, kaže značilno razliko (Slika 9). Razlika v trendih je posledica bistveno večjih obremenitev pred letom 2000. Oba trenda pa kažeta konec značilnega zniževanja koncentracij po letu 2015.

Razlika v srednji vrednosti enega in drugega nabora merilnih mest je posledica tega, da so dolgoročna merilna mesta razporejena predvsem na območjih zajetij in manj na bolj obremenjenih območjih.

Primer opravljene analize kaže, da je smiselno nadaljevati spremljanje trenda z rednim naborom merilnih mest. Za analizo trenda ni več tako pomemben “dolgoročni” nabor merilnih mest. Pomembno je, da je “redni” nabor sestavljen iz merilnih mest z območij zajetij in tudi z bolj obremenjenih območij. Tako se lahko sledi celotno maso skupaj ali ciljno vsako maso posebej.

2.3. Ocena presežkov onesnaževal

Presežek onesnaževal na ravni funkcionalnega mestnega območja nastane, če se celotna masa onesnaževala, ki prodre v podzemno vodo, ne razredči dovolj, da ne bi obremenila dolvodnega območja oziroma vodnega vira.

Najbolj vzdržno je, če za razredčenje zadostuje količina vode iz učinkovitih padavin (P_{ef}) ali, še bolje, iz količine napajanja podzemne vode iz padavin (Q_{nap}).

Z enostavnim mešalnim razmerjem lahko izračunamo, kakšno bi morale biti zmanjšanje mase onesnaževala, ki se izgublja v podtalje in podzemno vodo (Slika 9).

$$C_{out} \approx \frac{m_{in}}{(Q_{in} + Q_{reka} + Q_{PV}) \times FMO} \quad (2)$$

Kjer je:

C_{out} : koncentracija onesnaževala, razredčenega v učinkovitem padavinskem dotoku [g/m^3]

m_{in} : masa onesnaževala, ki vstopa v vodonosnik [g]



Q_{reka} : dotok iz reke [m]

Q_{pv} : dotok iz podzemne vode [m]

FMO: funkcionalno mestno območje [m²]

Primer na sliki (Slika 10) kaže, da razredčenje iz učinkovitih padavin (P_{ef}) ne zadošča, prav tako ne zadošča, če prištejemo še napajanje iz reke (Q_{reka+}).

Onesnaževali CrVI in nitrat upoštevamo kot onesnaževali, ki sta prisotni v naravnem okolju. Onesnaževali atrazin (AT) in benzotriazol (BT) upoštevamo kot sintetični organski onesnaževali, nevarni za vodo.

Atrazin je priznано nevarna snov, benzotriazol pa obravnavamo kot nevarno snov, dokler posledice njegovega širjenja v okolje niso znane. Atrazin je izrazito staro breme, že dolgo povsem prepovedan in na njegovo sproščanje iz starih onesnaženj nimamo bistvenega vpliva; dejansko le odkrivamo njegove izvore.

Šestvalentni krom ima verjetno najpomembnejši izvor v starih onesnaženjih zadržanih v nenasičeni coni vodonosnika še iz časa največje industrializacije v mestu; vendar so prisotni še možni aktivni viri (delujoči obrati), od katerih so le nekateri znani in evidentirani.

Obremenitve z dušikom iz kmetijstva in kanalizacije so se do leta 2015 bistveno znižale, v zadnjih 10 letih pa se je napredek pri zmanjševanju izgub ustavil.

Ocena mase benzotriazolov v podzemni vodi kaže, da v podzemno vodo prodre vsako leto okoli 1000 kg (eno tona) snovi, ki vsebujejo to snov. Zelo verjetno je največji vzrok teh izgub nezavedanje prebivalcev, da se teh snovi (na primer tekočin za prenos toplote v hladilnih ali ogrevalnih sistemih) nikakor ne smejo izpuščati v okolje.

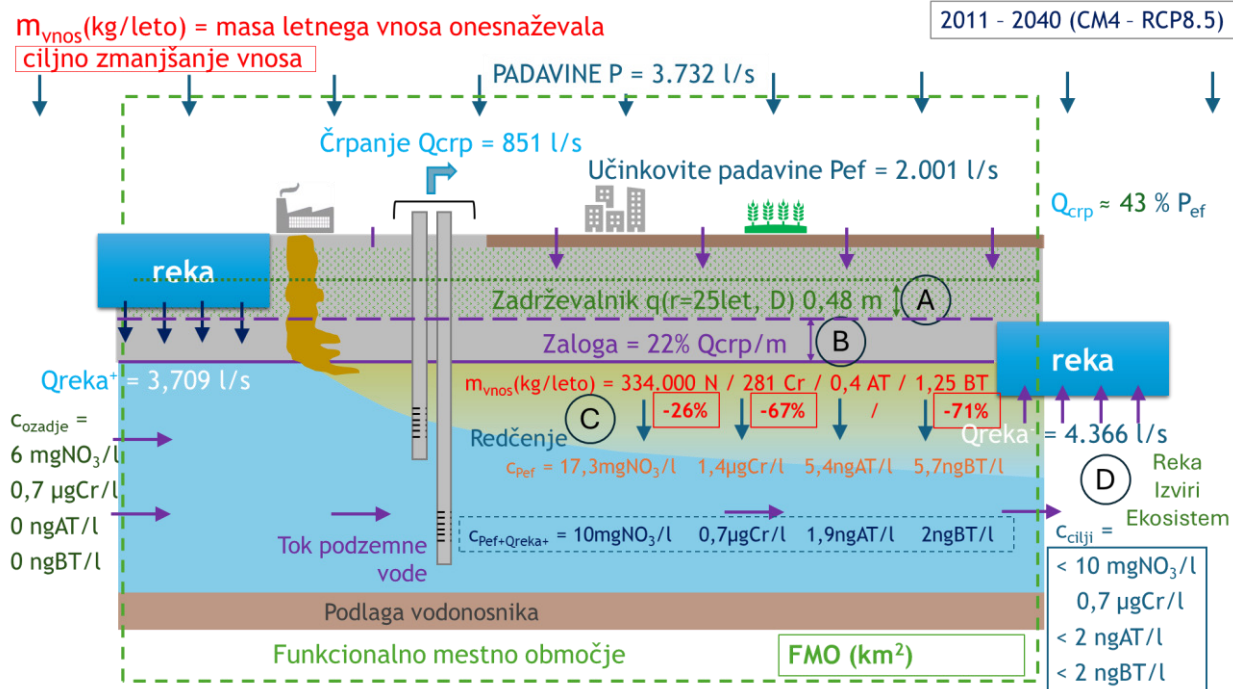
Primer opredelitve ciljev upravljanja na podlagi analize masne bilance (Slika 10):

Nadaljevati je treba z manjšanjem izgub dušika v podzemno vodo z rednim vzdrževanjem kanalizacije in izboljševanjem kmetijskih praks. Skupne izgube bi bilo treba zmanjšati še za 26 % v naslednjih 20 letih postopoma, vendar stalno in redno. Na kmetijskem področju predvsem z vedno boljšim in bolj praktičnim uvajanjem prakse integriranega načina kmetovanja. S tem se kakovost podzemne vode ne bo začela ponovno slabšati, kljub podnebnim spremembam in intenzivnejšemu razvoju poselitve in dejavnosti.

Ravnanje s snovmi, ki vsebujejo benzotriazole, je treba bolje organizirati, omogočiti ustrezno odstranjevanje in seznaniti prebivalstvo - s ciljem, da se izgube v okolje zmanjšajo za 71 %.

Vire šestvalentnega kroma je treba odkrivati in preprečevati njihovo sproščanje v podtalje. Med gradnjami na kritičnem območju je treba evidentirati material, ki bi lahko bil kakorkoli onesnažen in ga izolirati ali odstraniti v skladu z obstoječimi navodili. Sedanje oblake onesnaženja je treba sistematično slediti do izvornih mest. Za obstoječe obrate (aktivne vire) je treba zagotoviti redno preverjanje ustreznosti priključkov na kanalizacijski sistem. Sedanje izgube je treba zmanjšati za 67 %.

Trend preostalih koncentracij atrazina je treba še spremljati na mestih ugotovljenih povišanih koncentracij. Pri najdbah zakopanih odpadkov ali onesnaženega materiala je treba biti pozoren, da ne gre za ostanke pesticidov ali njihove embalaže. V tem primeru je treba material ustrezno izolirati, odstraniti, ali samo nadzorovati.



Slika 10. Prikaz ocene presežka onesnaževal v vodni in masni bilanci na primeru vodnosnika Ljubljansko polje.

3. VODNA BILANCA NALIVA

3.1. Strešne vode

■ Površina streh

Na ravni prostorskega načrta lokalne skupnosti in funkcionalnega mestnega območja so najpomembnejši presežki vodne mase s streh, saj gre za razmeroma čiste padavinske vode, ki jih je smiselno čim bolj lokalno ponikati ali zadrževati. V prvem koraku izvedemo analizo strešnih površin. Podatke o velikosti in razporeditvi streh pridobimo iz prostorskih evidenc, na primer iz katastra stavb.

V Mestni občini Ljubljana je skupna površina streh približno 1619 ha, kar predstavlja okoli 6 % celotne površine občine. Za mesto Varaždin razpoložljivi podatki kažejo, da je skupna površina streh približno 271 ha, kar je okoli 4-5 % celotne površine obravnavanega območja. Opomba: ker pa ni celotna občina opremljena s kanalizacijo, te strehe predstavljajo neprimerno večji % od vseh površin ki se stekajo v kanalizacijo.

Presežek vodne mase s strešnih površin se lahko oceni tudi na ravni občinskega prostorskega načrta. Na ravni občinskega prostorskega načrta (OPN) lahko izračunamo, kolikšen volumen vode predstavlja naliv določene povratne dobe in koliko zadrževanja oziroma ponikanja bi potrebovali za zmanjšanje konic odtoka.

Analizo površin streh je možno opraviti tudi glede na namensko rabo prostora občine.

Za primer Ljubljane pri izračunani vodni bilanci k odtoku padavinskih voda največ prispevajo stanovanjska območja (S) – skoraj polovico skupnega odtoka (49 %), sledijo centralne dejavnosti (C) z 22 % odtoka in proizvodne dejavnosti (I) z 10 % odtoka. Omeniti velja tudi kazalnik "pov_streh/pov OPN", ki prikazuje delež streh glede na skupno območje posamezne rabe. Najvišje vrednosti imajo območja centralnih dejavnosti (62 %), stanovanj (53 %) in posebna območja (53 %), kar dodatno potrjuje visoko stopnjo pozidanosti teh območij.



■ Letna količina strešne vode

V naslednjem koraku izvedemo poenostavljen hidrotehnični izračun maksimalnega možnega odtoka s streh ob močnem naliivu. Uporabimo racionalno formulo:

$$Q = C \times i \times A \quad (3)$$

kjer je:

Q odtok (m^3/s),

C odtočni koeficient,

i intenziteta padavin,

A pa zadevna površina.

Za strehe privzamemo odtočni koeficient $C = 0,9$, kar pomeni, da približno 90 % padavin, ki padejo na streho, odteče, 10 % pa se zadrži na površini, izhlapi ipd.

Površina streh približno 1619 ha v Mestni občini Ljubljana in 271 ha streh v Mestu Varaždin lahko v enem letu prispevajo približno 15,2 oziroma 2,3 milijona m^3 odtoka padavinske vode. Strehe so torej pomemben dejavnik pri odtoku padavinskih voda.

■ Odtok strešne vode ob naliivih

Intenziteto naliva določimo glede na projektne predpostavke - na primer, 15-minutni naliv s pogostostjo 2-krat letno ima po tehničnih smernicah intenziteto okoli 131,8 l/s/ha. To ustreza približno 0,132 litra na sekundo na kvadratni meter oziroma približno 8 mm dežja v 15 minutah. S temi podatki lahko izračunamo t. i. reducirano površino streh in konični odtok.

V Ljubljani znaša skupna reducirana površina streh (upoštevaje $C = 0,9$) približno 1457 ha, ob naliivu z intenziteto 131,8 l/s/ha pa bi teoretično skupni odtok dosegel 192 m^3/s , če bi enakomeren močan naliv zajel vse strehe hkrati. V Varaždinu je skupna reducirana površina streh približno 244 ha ($271 \text{ ha} \times 0,9$). Ob enaki intenziteti 15-minutnega naliva (131,8 l/s/ha) bi maksimalni odtok s vseh streh znašal okoli 32 m^3/s (pretočni vrh), če bi naliv hkrati zajel celotno mesto. To je precej manj kot v Ljubljani (kjer zaradi večje strešne površine izračun znaša 192 m^3/s), a še vedno kaže na zelo velik hipni pretok padavinske vode, ki bi ob neoviranem odvajanju močno obremenil kanalizacijo.

Seveda je tak scenarij poenostavljen (dejanski nalivi običajno ne pokrijejo enakomerno celotnega območja; pri tako veliki površini streh na danem območju, 5 min naliv za ugotavljanje skupne površne konice odtoka ni merodajen; in drugo), vendar služi kot orodje za oceno potencialnega odtoka in potrebe po ukrepih za njegovo obvladovanje.

■ Zadrževalne prostornine in površine

V Ljubljani bi za 25-letni 15-minutni naliv (322 l/s/ha) na območju MOL morali zadržati približno 700.000 m^3 vode, da bi preprečili obremenitve kanalizacije. Za Varaždin, ki ima manjšo strešno površino, je ta količina sorazmerno manjša - ocenjujemo, da je reda velikosti $0,1 \times 10^6 m^3$ (približno 100.000-120.000 m^3).

Če bi želeli to količino zadržati na površju, ki predstavlja 10 % reducirane strešne površine v Ljubljani, bi zadržanje 700.000 m^3 zahtevalo približno 146 ha površine do višine 0,48 m vode (Preglednica 2).



Preglednica 2. Primerjava odtokov 5-, 25- in 50-letnih 15-minutnih nalivov s strešnih površin z odtoki pred pozidavo ter potrebno zadrževalno prostornino (V_z) ali višino (ΔH) za območje OPN MOL in posamezno streho površine 200 m².

$q_{(r,D)}$ [r (let), D (minut)]	OPN MOL			Streha	
Izhodiščno stanje - travnik	Odtok (l/s)	V_z (m ³)	ΔH (m)	Odtok (l/s)	V_z (m ³)
$q_{(5,15)}=233$ l/s/ha	37.723	0	0	0,47	0
Novo stanje - strehe					
$q_{(5,15)}=233$ l/s/ha	339.504	408.279	0,28	4,2	5,0
$q_{(25,15)}=322$ l/s/ha	469.186	699.991	0,48	5,8	8,6
$q_{(50,15)}=367$ l/s/ha	534.756	860.272	0,59	6,6	10,6

Varaždin ima skupno precej manjšo količino odtoka; če privzamemo, da lahko uporabimo 10 % zatesnjenih površin v mestu za začasno zadržanje padavinske vode (travniki, parkirišča, poplavne površine ipd., kar bi bilo približno 70-80 ha v primeru Varaždina), bi bila višina vode ob zadržanju 25-letnega naliva le okoli 0,15 m (15 cm). To kaže, da je prostorninsko zadrževanje ekstremnega naliva v Varaždinu izvedljivo z razmeroma nizkimi zadrževalnimi bazeni ali razlivnimi površinami.

Za praktično izvedbo ponikanja strešnih vod je treba zagotoviti dovolj visoko prepustnost tal oziroma ponikalno površino A_p . Iz ljubljanskega primera izhaja, da bi koeficient prepustnosti $k \geq 2,61 \times 10^{-5}$ m/s ($\approx 0,00225$ m/dan) zadostoval, da ponikovalnice absorbirajo odtok 25-letnega naliva v nekaj urah (torej da se zadrževalna prostornina ne preplavi). Če je $k \geq 3,22 \times 10^{-4}$ m/s, bi lahko celotno količino ekstremnega naliva neposredno ponikali brez površinskega zastajanja vode.

V kontekstu Varaždina so izmerjene prepustnosti tal večinoma precej višje od teh pragov (npr. $>4,8$ m/dan = $5,56 \times 10^{-4}$ m/s v avtomorfni prodnati tleh), zato je teoretično mogoče ponikniti celoten odtok s streh, kjer so vgrajeni ustrezni ponikovalni sistemi. Seveda je treba upoštevati lokalne razmere - na nekaterih zahodnih robnih območjih s $k \approx 1 \times 10^{-7}$ do 5×10^{-6} m/s ponikanje ne bi bilo učinkovito, tam bi bile potrebne alternativne rešitve (zadrževalniki, drenaža).

V naslednji fazi preverimo, koliko teh površin se nahaja na določeni prepustnosti, koliko streh je mogoče v celoti ponikati in kaj je mogoče rešiti z zadrževanjem.

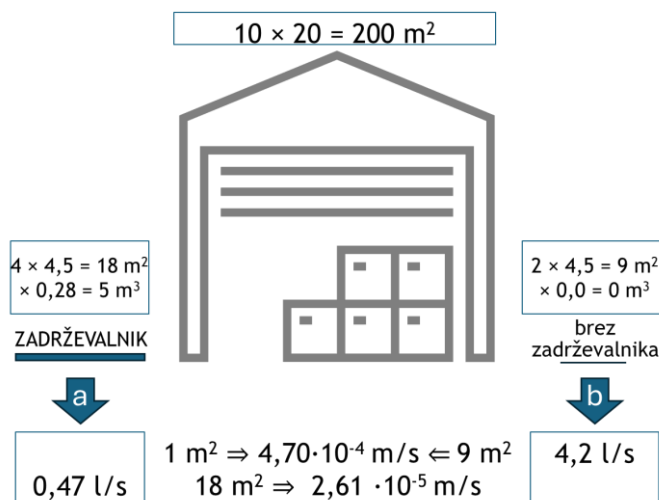
3.2. Določanje ciljev in konkretnih nalog

3.2.1. Potencial za ponikanje in zadrževanje

Za ponazoritev presežka na ravni ene stavbe lahko vzamemo za primer stavbo s strešno površino 200 m². Pri odtočnem koeficientu $\Psi_m = 0,9$ je reducirana strešna površina 180 m². Na ravni take stavbe je presežek padavinske vode 5 m³. Upoštevamo, da je stavba na območju kanalizacije, ki je dimenzionirana s stopnjo zaščite za mestna središča in industrijska območja, torej za nalive s povratno dobo 5 let in pogostostjo poplavljanja 1-krat na 30 let. Kanalizacija omogoča dušen izpust za praznjenje zadrževalnika v količini 10 odstotkov odtoka z zemljišča ob 15-minutnem nalivu s povratno dobo 5 let, to je 23,3 l/s/ha.

Za odprti zadrževalnik, ki bi bil na površini ene desetine zatesnjene površine, je za tako prostornino potrebna višina vode 0,28 m. Pri zasutem zadrževalniku s poroznostjo 30 % bi zadoščala globina 0,93 m.

Če bi bila ponikalna sposobnost $4,7 \times 10^{-4}$ m/s, bi za ponikanje zadoščala ponikalna površina 1 m², da bi celoten 5-letni naliv vračali v vodni krog namesto da bi ga kot odpadke odvajali v kanalizacijo. Pri ponikalni sposobnosti $2,61 \times 10^{-5}$ m/s bi za ponikanje morali izkoristiti celotno površino pod zadrževalnikom, to je 18 m². Če bi imeli na zemljišču površino 9 m² s ponikalno sposobnostjo $4,7 \times 10^{-4}$ m/s, zadrževalnik ne bi bil potreben. Izračun je narejen po padavinski metodi (Slika 11).

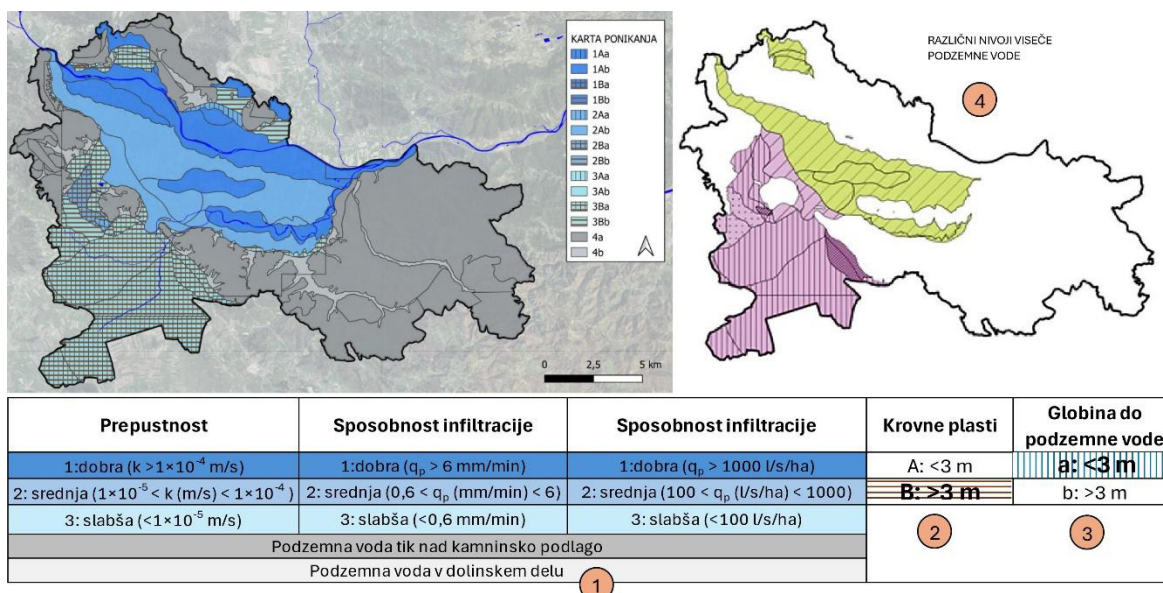


Slika 11. Presežek vodne mase zaradi odtoka strešne vode (5-letni naliv).

Za oceno, koliko streh je mogoče v celoti ponikati in za katere je potrebno zadrževanje, dušen izpust, se lahko sloj strešnih površin prekrije s karto ponikalnih sposobnosti. Takšne karte običajno razmejujejo območja z dobro, srednjo in slabo sposobnostjo infiltracije.

3.2.2. Prioritete za ponikanje

V Ljubljani je približno 16 % površine stavb na temeljnih tleh z dobro ponikalno sposobnostjo, 46 % na srednji in 29 % na nizki ponikalni sposobnosti. Preostale strešne površine (9 %) so na območjih, kjer je kamninska podlaga na površju ali blizu površja. Nizka ponikalna sposobnost in hkrati omejujoča globina do podzemne vode (< 3 m) sta značilni predvsem za južno območje Ljubljane (Slika 12).



Slika 12. Ponikalne sposobnosti vrhnjih plasti na območju MOL. Vir: Prestor et al., 2025

16 % streh je lahko prioriteta za ponikanje celotne padavinske vode. 46 % streh bi lahko imelo prioriteto za delno ponikanje in preliv. 38 % streh bi lahko predstavljalo prioriteto za dovoljeni izpust in preliv.

Večina objektov zato potrebuje podatek o dovoljeni količini izpusta. Za načrtovanje posegov je nujno, da se z izhodiščno informacijo o dovoljenem izpustu v vodotok ali javno kanalizacijo ter o možnosti vzpostavitve preлива na razlívne površine lahko računa že v pobudi in idejni zasnovi.



Za oceno možnosti ponikanja padavinskih voda s streh v mestu Varaždin so bila določena štiri območja z različno ponikalno sposobnostjo: območja z zelo dobro ponikalno sposobnostjo (prepustnost > 4,8 m/dan), območja z zmerno ponikalno sposobnostjo (1,4-4,8 m/dan), območja z nizko ponikalno sposobnostjo (0,01-0,5 m/dan) ter območja z zelo nizko prepustnostjo (npr. epiglejna tla, mokrotna območja). V pilotnem območju Varaždina prevladujejo avtomorfna tla z visoko prepustnostjo - približno 60 % streh se nahaja na območjih z zadostno ponikalno sposobnostjo, kjer je možno celotno ponikanje padavinske vode brez potrebe po zadrževanju; okoli 25-30 % streh je na območjih z zmerno ponikalno sposobnostjo, kjer je možno delno ponikanje, preostanek pa je treba zadržati ali odvesti; preostalih 10-15 % streh je na območjih z nizko ali zelo nizko ponikalno sposobnostjo, kjer je ponikanje omejeno ali neizvedljivo - tam je treba načrtovati zadrževalne ukrepe in dušene izpuste v kanalizacijo.

Tako kot v Ljubljani je tudi v Varaždinu za večino objektov pomembno, da se že v fazi idejne zasnove pridobi informacija o dovoljeni količini izpusta v kanalizacijo. To omogoča načrtovanje ustreznih zadrževalnih ali ponikalnih sistemov, ki zagotavljajo trajnostno upravljanje z vodami ter zmanjšujejo tveganje za poplave in obremenitve kanalizacije.

3.3. Preusmeritev strešnih vod v ponikanje

Spodbudo za odklop strešnih vod iz kanalizacijskega sistema ter prehod na sistem ponikanja lahko predstavljajo navodila, ki jih upravljalec javne službe odvajanja in čiščenja padavinske odpadne vode posreduje posameznim uporabnikom ob pregledu internih priključkov, zlasti ob obnovah ali novogradnjah.

V številnih evropskih državah izvajalci komunalnih služb in lokalne oblasti aktivno spodbujajo lastnike objektov, da odklopijo odtočne cevi streh (žlebove) iz javne kanalizacije in padavinsko vodo ponikajo na lastni parceli. Takšne spodbude so motivirane z okoljskimi cilji (razbremenitev kanalizacije, zmanjšanje poplav, izboljšanje podzemne vode) ter podprte s pravnimi okviri in finančnimi mehanizmi. V praksi se to izvaja na različne načine: z zakonskimi obvezami, tehničnimi navodili in brošurami za občane, finančnimi spodbudami ter svetovalnimi programi. Spodaj so predstavljeni primeri dobrih praks, vključno s povezavami s predpisi, občinskimi ukrepi ter morebitnimi subvencijami ali svetovalnimi projekti.

Zakonske zahteve in cilji: Nekaterе države (npr. Švica, Belgija) obvezno predpisujejo ponikanje čistih padavinskih vod na parceli, skladno z okoljskimi cilji in predpisi. V Franciji nacionalni akcijski načrti (2022-2024) spodbujajo lokalne ukrepe trajnostnega ravnanja z deževnico.

Tehnična navodila in brošure: Upravljalci pogosto izdajajo priročnike in navodila za občane. V Švici mesta ponujajo informativne brošure o odvodnjavanju in ponikanju za lastnike hiš, v Franciji pa združenja (npr. ADOPTA) in komunalna podjetja pripravljajo priročnike („Je débranche ma gouttière“) za odklop žlebov in trajnostno rabo deževnice.

Finančne spodbude in svetovanje: Velja pravilo “naj onesnaževalec plača”: kjer je strešna voda priključena v kanalizacijo, se zaračunava posebna taksa (npr. v Nemčiji na m² neprepustnih površin, v Sloveniji na m² površine strehe). Mnoge občine oziroma lokalne skupnosti ponujajo subvencije za odklop ali zadrževanje deževnice. V Flandriji (Belgija) ob obvezni ločitvi kanalizacije lastnikom svetuje strokovnjak (t. i. “afkoppelingsdeskundige”), ki pripravi načrt odklopa in pomaga zagotoviti finančno podporo.

Dobre prakse v Evropi kažejo, da kombinacija jasnih predpisov, finančnih spodbud in praktičnih navodil uspešno spodbuja posameznike k odklopu strešnih vod od kanalizacije. V okolju, kjer upravljalec ob pregledu priključkov stranki izroči rešitev na papirju, se poveča verjetnost, da bo lastnik ukrep izvedel, saj ima v rokah dobro motivacijo (npr. nižji stroški, skladnost s predpisi) za konkretno ukrepanje (načrt ali navodila, kako urediti ponikanje). Tako se lastnik pri odločitvi, ali bo investiral v obnovo neustreznega, zastarelega priključka na kanalizacijo ali v ponikalnico, raje odloči, da bo denar vložil v izvedbo ponikalnice.



Takšni ukrepi podpirajo tudi lokalne in nacionalne okoljske cilje (manj poplav, čistejši vodotoki, bogatenje podzemne vode) in predstavljajo učinkovit model, ki ga marsikje nadgrajujejo še svetovalne storitve in finančna pomoč, da se čim več objektov “odklopi” od kanalizacije in poveže nazaj z naravnim krogom vode.

3.4. Minimalni odmiki od objektov in parcelnih mej

Pri načrtovanju ponikovalnih sistemov je poleg hidravličnih zmogljivosti (poglavji 3.1 in 3.2) treba posebno pozornost nameniti tudi ustreznim odmikom ponikovalnic od stavb, infrastrukture in sosednjih parcel. Pravilno izbrani odmiki zagotavljajo, da ponikanje padavinske vode ne ogroža stabilnosti in varnosti objektov (npr. temeljev, kleti, cest ali vodovodnih napeljav) ter ne povzroča škode ali motenj na sosednjih zemljiščih.

Odmiki ponikovalnic od lastnih objektov: Ponikovalna naprava mora biti umeščena tako, da ne poslabša stabilnosti konstrukcije ali povzroča vdora vode v klet oziroma temelje. Zemljina okrog objekta se zaradi ponikane vode navlaži, gladina podzemne vode pa se lahko dvigne - oboje lahko vpliva na temeljenje, zlasti na slabše prepustnih tleh. Različni standardi (DWA, SIA) zato zahtevajo minimalne odmike od stavbe, odvisno od globine in tipa temeljenja ter hidroloških razmer:

- Priporočeni minimalni odmik ponikovalnice od objekta je približno 1,5-kratnik globine izkopa ponikovalnice. Če na primer ponikovalni jašek sega 2 m globoko, naj bo oddaljen vsaj okoli 3 m od temeljev najbližje stavbe. Ta razdalja zagotavlja, da nasičena cona okoli ponikovalnice ne seže neposredno do temeljev.
- Pri objektih z globoko kletjo ali zahtevnejšo hidroizolacijo je treba odmike določiti posebej previdno. Kadar stavba nima kleti (plitvi temelji), se odmik določi glede na globino temeljev v tleh. Če pri starejših objektih natančna globina temeljev ni znana, se pri presoji uporabi konservativen kriterij: predvidi se naklon širjenja vode 1:1 (45°) od dna temeljev navzgor. To pomeni, da mora biti ponikovalnica postavljena zunaj tega kota - na primer, če se temelj nahaja 1 m pod površjem, naj bo ponikovalnica odmaknjena vsaj 1 m od roba temeljenja in dodatnih 0,5 m varnostnega pasu. Ta odmik $\geq 0,5$ m od projekcije roba temeljev zagotavlja, da ponikajoča voda ne bo pronicala neposredno v tamponski (zasipni) material ob zidu objekta.
- Če so temelji stavbe dobro hidroizolirani, ponikanje v bližini ne predstavlja neposredne grožnje vdora vode v klet, vendar je še vedno treba upoštevati konstrukcijske vplive (npr. dvig podzemne vode lahko povzroči dodatne vzgonske sile na objekt, zlasti pri lažjih konstrukcijah). Tudi v tem primeru so priporočljivi odmiki vsaj v velikosti 1,5-kratnika globine ponikovalnice, razen če projektant na podlagi geotehničnih izračunov dokaže, da je varno tudi pri manjših razdaljah.
- Pri večjih centraliziranih ponikovalnih poljih ali zbiralnikih, ki ponikajo vode z večje površine na eni točki, naj bo razdalja od roba ponikovalne naprave do najbližjega objekta večja od povprečnega premera (širine) ponikovalnice. Na primer, če imamo podzemni zadrževalni ali ponikovalni blok širine 4 m, ga ne smemo položiti tik ob temelje objekta - odmik naj presega 4 m, da med sistemom in objektom ostane dovolj nezasičenega terena, ki prevzame in razprši vodo.

Minimalni odmiki od drugih objektov in infrastrukture: Tudi do drugih gradbenih elementov na parceli ali v njeni bližini moramo zagotoviti ustrezne razdalje. Sem sodijo ceste, dovozne poti, podporni zidovi ter napeljave (vodovod, kanalizacija, elektrika), ki bi jih lahko ogrozila padavinska voda.

- Ponikovalnih sistemov ni priporočljivo graditi neposredno ob robovih cestišč ali obcestnih jarkov. Večja količina odvajane vode lahko razrahlja nosilno plast ceste ali povzroči erozijo v bankini. Priporočljiva je umestitev ponikovalnice vsaj nekaj metrov od cestnega roba. V praksi velja, da mora biti ponikanje izvedeno tako, da voda odteka proč od cestnega telesa, bodisi z naklonom terena ali z usmeritvijo ponikanja na drugo stran. Če to ni mogoče, je treba izvesti konstrukcijske ukrepe (npr. drenaže z robnim odtokom), da cesta ostane zaščitena.



- Podzemne komunalne napeljave, zlasti vodovodne cevi, zahtevajo premišljeno ravnanje. Neposredna bližina ponikovalnice lahko vpliva nanje: v primeru puščanja vodovoda bi se voda lažje stekala v ponikovalnico, obratno pa lahko ponikanje povzroči stalno omočenje okoli cevi, s tem spremembo ležišča cevi ali morebitno onesnaženje (če bi v ponikovalnico prišle nevarne snovi). Smernice zato svetujejo, da se ponikovalne naprave ne umeščajo neposredno nad ali tik ob javne vode, temveč raje na drugo stran parcele ali vsaj izven območja izkopa komunalnih vodov. Tako je med ponikovalnico in cevjo vedno plast neomočene ali manj mokre zemljine, ki ohranja stabilnost. Če se ponikanje izvaja v bližini kanalizacijskih vodov, je treba zagotoviti, da meteorna voda ne bo nehoteno vdiral v kanal (npr. skozi slabo tesnjene spoje) in s tem izničila namen odklopa padavinske vode iz kanalizacije.
- Podobno velja za druge objekte, kot so podporni in škarpni zidovi ali temelji ograj: bistvo minimalnega odmika je, da nasičenje tal ne doseže območja, ki nosi obremenitev teh objektov. Na primer, pri podpornih zidovih na brežini lahko preblizu postavljena ponikovalnica povzroči zasičenje zemljine za zidom in s tem zmanjša stabilnost brežine (povečanje pornih tlakov lahko privede do zdrsa). Varnostni odmik se določi glede na višino zidu in geomehanske lastnosti tal - višji kot je zid in bolj kot je teren nagnjen, večja razdalja je potrebna. Ponekod smernice omejujejo ponikanje na vrhu brežine in priporočajo odvod viška vode stran od kritičnega pobočja, na primer v linijske ponikovalnike ob vznožju.

Odmik od parcelne meje in sosednjih zemljišč: Ena ključnih zahtev je, da ponikanje ne povzroča težav sosedom. Čeprav predpisi lahko lokalno določajo konkretne razdalje (pogosto na primer 2 do 5 m od meje parcele kot splošno pravilo), standardi poudarjajo predvsem, da mora projektant odmike prilagoditi lokalnim hidrogeološkim pogojem in značilnostim ponikovalne naprave, tako da ne pride do sporov ali škode čez parcelno mejo. To pomeni:

- Preprečevanje zamakanja sosednjih objektov: Ponikanje na eni parceli lahko dvigne gladino podzemne vode tudi pod sosednjo parcelo. Še posebej problematično bi bilo, če bi se zaradi tega podzemna voda dvignila do pod nivo temeljev sosednje hiše - posledica bi lahko bile mokre kleti ali celo poškodbe temeljev. Da do tega ne pride, mora biti ponikovalnica od meje dovolj odmaknjena, da se vplivno območje ponikanja zaključi znotraj parcele investitorja. Posplošeno si lahko predstavljamo stožec omočitve tal pod točkovno ponikovalnico: voda se širi navzdol in stransko približno pod kotom 45° . Če bo torej ponikovalna jama globoka 2 m, bo voda pod zemljo lahko dosegla približno 2 m stran od nje v vse smeri. Od tod izhaja pravilo, da naj bo razdalja do meje sosedja večja od globine ponikovalnice, razen če je med njima neprepustna pregrada ali podobno. Pri linijskih ponikovalnih jarkih (podolgovate oblike) se voda razširja v obliki prizme - če je daljša stranica jarka vzporedna s sosednjo parcelo, mora biti tudi v tem primeru zagotovljen zadosten pas suhe zemlje do meje.
- Medsebojni vpliv več ponikovalnic: V gosto pozidanih območjih se lahko zgodi, da imata dve sosednji parceli vsaka svojo ponikovalnico blizu skupne meje. Če sta preblizu, se lahko njuni vplivni stožci prekrivajo in voda se kopiči na manjšem območju, kar poveča možnost zamakanja. Zato za odmik med dvema ponikovalnicama (na isti ali sosednjih parcelah) velja enako kot med ponikovalnico in objektom - razmik naj bo vsaj tolikšen, da se vplivi ne seštevajo prekomerno. V praksi se pogosto uskladi lokacija naprav med sosedji ali pa se namesto dveh ločenih uredi ena skupna ponikovalnica, dimenzionirana za obe površini, ki je nato ustrezno bolj oddaljena od mej in objektov. Za tak poseg mora biti urejeno soglasje med lastniki.
- Zaščita pred erozijo in plazenjem na sosednjih zemljiščih: Če teren meji na sosednjo parcelo z nižjo nadmorsko višino (na primer, če ima sosed spodaj ležeče zemljišče ali je tik ob strmi brežini), mora biti ponikovalna naprava na naši parceli dovolj odmaknjena od roba, da pronicala voda ne izteka iz brežine ali ne oslabi stabilnosti pobočja. Varna razdalja od vrha brežine je odvisna od količine ponikane vode glede na naravno infiltracijo. Na nagnjenem terenu običajno velja: v ponikovalnico



speljemo le toliko vode, kot bi je tam naravno poniknilo, preostanek (ob ekstremnih nalivih) pa raje odvedemo stran od brežine. Tako se tla pod ponikovalnico ne bodo bolj namočila, kot so vajena, in ne bodo povzročila novih izvirov vode na pobočju. Na primer, če se z nove strehe ponika približno 22 % letne količine padavin (kar ustreza nekdanji naravni infiltraciji 173 mm/leto na določenem terenu), preostalih približno 78 % pa se ob največjih nalivih odvaja drugam - s tem ukrepom je v tem primeru zagotovljeno, da ponikovalnica le minimalno vpliva na sosednji klif (strmo brežino), potrebni odmik od roba klifa pa je ocenjen na približno 34 m za obravnavani primer. Splošno vodilo je: bolj ko je teren občutljiv (večji naklon, manj prepustna spodnja plast, bližina izvirov), bolj konzervativno je treba določiti odmike in morda omejiti delež ponikane vode.

- Omejitev v bližini vodnih virov: Če se v bližini nahaja vodnjak, izvir ali vodovarstveno območje, mora biti ponikovalna naprava dovolj oddaljena, da ne predstavlja tveganja za kakovost vode. Standardi priporočajo, če ni konkretnega lokalnega predpisa, najmanj 30 m varnostne razdalje od mesta ponikanja do najbližjega zajetja pitne vode. Natančna potrebna razdalja je lahko tudi večja, odvisno od prepustnosti tal in hitrosti podzemne vode; v vodovarstvenih pasovih se pogosto zahteva izračun t. i. 50-dnevnega zadrževalnega časa (razdalja, ki jo podzemna voda prepotuje v 50 dneh do zajetja). Če je ponikovalnica bliže od te izračunane razdalje, se šteje, da ne izpolnjuje pogojev varovanja vira pitne vode. V kontekstu odmikov od parcelnih mej to pomeni, da ponikanje ne sme segati do sosednjih parcel, kjer so na primer vodnjaki - temu se izognemo s pravilno izbiro lege ponikovalnice stran od takih točk ali z izvedbo tesnjenih sistemov, ki vodo odvajajo globlje in dolvodno od vira.



B. EVIDENCA PONIKALNIH SISTEMOV

4. VODENJE PODATKOV IN OBDELAVA PODATKOV

Namen evidence ponikalnih sistemov je:

1. izboljševanje spodbud za ponikanje in zmanjševanje obremenitev na kanalizacijo,
2. sledenje dejanskih obremenitev na kanalizacijo in
3. možnost preverjanja ustreznega delovanja naprav.

■ Izboljševanje spodbud za ponikanje:

Vodenje evidence ponikalnih sistemov je pomembno za spremljanje učinkov obstoječih spodbud za ponikanje in načrtovanje novih.

Najpomembnejša in osnovna spodbuda za ponikanje so določbe, ki ponikanje postavljajo kot prednostni način odvodnje povsod, kjer je to mogoče, odvodnjo v kanalizacijo pa kot zadnjo možnost, ko druge možnosti niso izvedljive.

Naslednja najpomembnejša spodbuda je pogoj, da je odvodnja padavinske vode možna le v padavinsko kanalizacijo, pri čemer je omejena z zmogljivostjo te kanalizacije. Odvodnja v mešano kanalizacijo je možna le izjemoma, določena od primera do primera oziroma območja.

Finančne spodbude oziroma subvencije za ponikanje, zadrževanje padavinske vode in odklop od kanalizacije temeljijo na primerjalni analizi stroškov in dobrobiti, ki so povezani z obnovo, nadgradnjo ali novogradnjo kanalizacije v okviru skupnosti in v primerjavi z investicijo v decentralizirano odvodnjo. Pri tem so pomembni tudi stroški, ki jih predstavlja prelivanje odpadne vode v reko oziroma v okolje ali dotok na čistilno napravo oziroma iztok iz nje.

Sledenje učinkov navedenih ukrepov omogoča prilagajanje spodbud s podrobnejšimi usmeritvami in zahtevami. To so lahko prednostna območja ali tehnični kriteriji pri določanju omejitev dovoljenega izpusta, preliwa, izbire naliva in varnostnega faktorja.

Ponikanje strešnih vod na dobro prepustnih tleh $k > 1 \times 10^{-4}$ m/s, je smiselno najbolj spodbujati, saj je možno strešne vode na takih območjih večinoma ponikati v podtalje le z majhnim zadrževanjem in brez posebnega čiščenja, razen naravnega. Območja odprtih prometnih površin rabijo večjo površino ponikanja skozi biološko aktivna tla ali z drugim enakovrednim postopkom čiščenja.

■ Obdelava podatkov iz evidence

Evidenca ponikalnih sistemov se lahko vzpostavlja:

- a. iz strokovnih podlag k pobudam za pripravo prostorskih aktov,
- b. iz projektnih podatkov za pridobitev soglasja za priključitev,
- c. iz projektnih podatkov za pridobitev vodnega soglasja v postopku za pridobitev gradbenega dovoljenja.

Načrtovanje odvodnje gre skozi postopek, ki ga sistematično z vseh vidikov ponazarja primer sheme na sliki (Slika 13), prirejeni po spletni strani ASIC (*fr. Association suisse infrastructures communales*), kjer je na voljo potekovni diagram, ki vodi skozi proces načrtovanja odvodnjavanja padavinske vode.



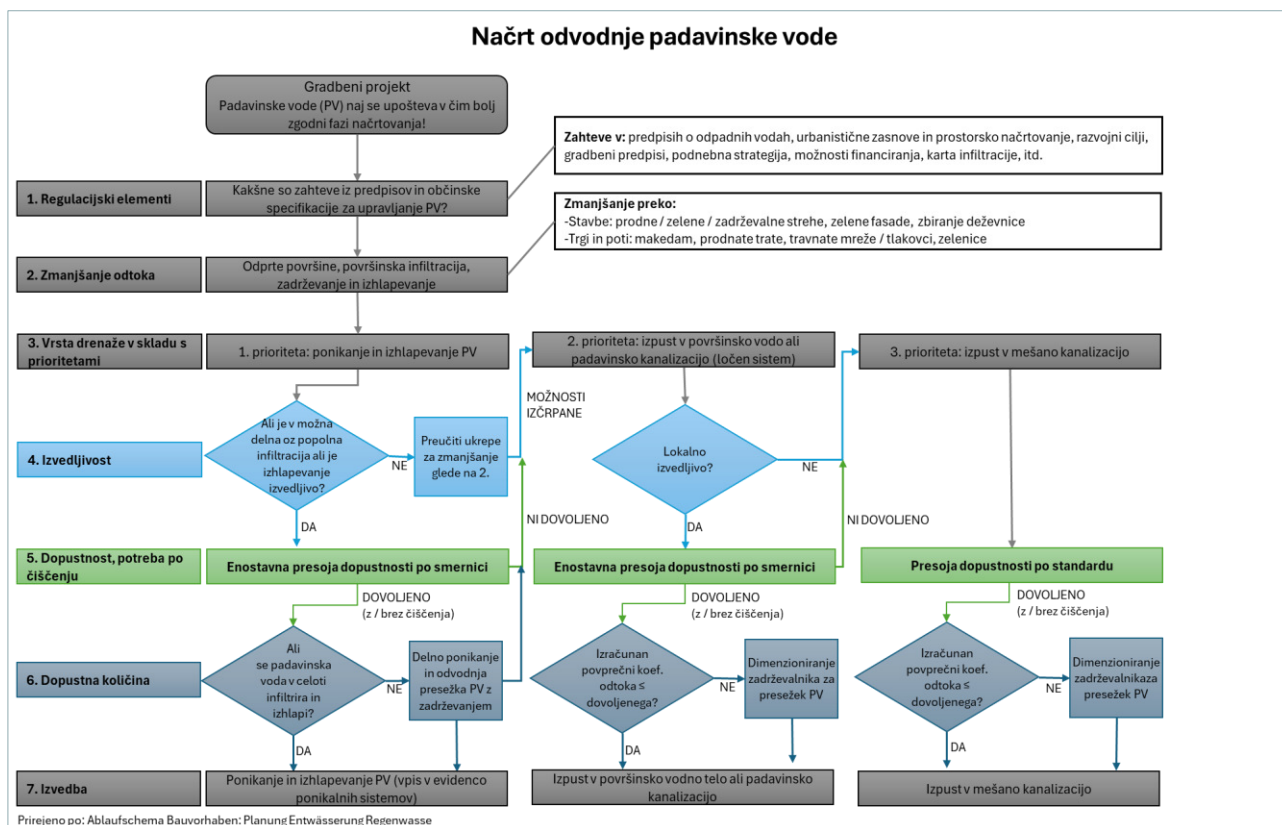
4.1. Potekovni diagram gradbenega projekta: načrtovanje odvodnjavanja padavinske vode

Za učinkovito načrtovanje in izvajanje ukrepov za trajnostno odvodnjavanje padavinskih vod je ključno, da se procesi načrtovanja, odločanja in izvajanja vodijo po jasno določenem poteku. V ta namen je bil v okviru projekta uporabljen potekovni diagram gradbenega projekta, ki sistematično prikazuje vse ključne korake pri načrtovanju zadrževalno-ponikalnih sistemov.

Potekovni diagram (Slika 13) temelji na dobri praksi švicarskega združenja za komunalno infrastrukturo (ASIC) in je bil prilagojen za uporabo v slovenskih in hrvaških urbanih okoljih.

Diagram vključuje naslednje faze:

- **Zbiranje vhodnih podatkov:** vključuje podatke o prispevnih površinah, geoloških značilnostih tal, višini podzemne vode, obstoječi infrastrukturi in prostorskih omejitvah.
- **Določitev robnih pogojev:** izbira projektnega padavinskega dogodka, določitev dopustnega odtoka (Q_{dov}), ocena ponikalne sposobnosti tal (k), ter upoštevanje varnostnih faktorjev in lokalnih omejitev.
- **Izračun potrebne zadrževalne prostornine in ponikalne površine:** na podlagi vhodnih podatkov in robnih pogojev se izvede hidravlični izračun, ki določi dimenzije sistema.
- **Izbira tipa sistema:** odločitev med odprtim, zasutim ali kombiniranim sistemom, glede na prostorske možnosti, estetske zahteve in vzdrževalne pogoje.
- **Pridobivanje soglasij in dovoljenj:** vključuje usklajevanje z upravljavcem kanalizacije, pridobitev vodnega soglasja in gradbenega dovoljenja.
- **Izvedba in nadzor:** gradnja sistema, nadzor kakovosti izvedbe in začetno testiranje delovanja.
- **Vnos v evidenco ponikalnih sistemov:** po zaključku gradnje se sistem evidentira v občinsko bazo podatkov, kar omogoča nadaljnje spremljanje in vzdrževanje.



- Slika 13. Potekovni diagram gradbenega projekta: načrtovanje odvodnjavanja padavinske vode (vir: ASIC).

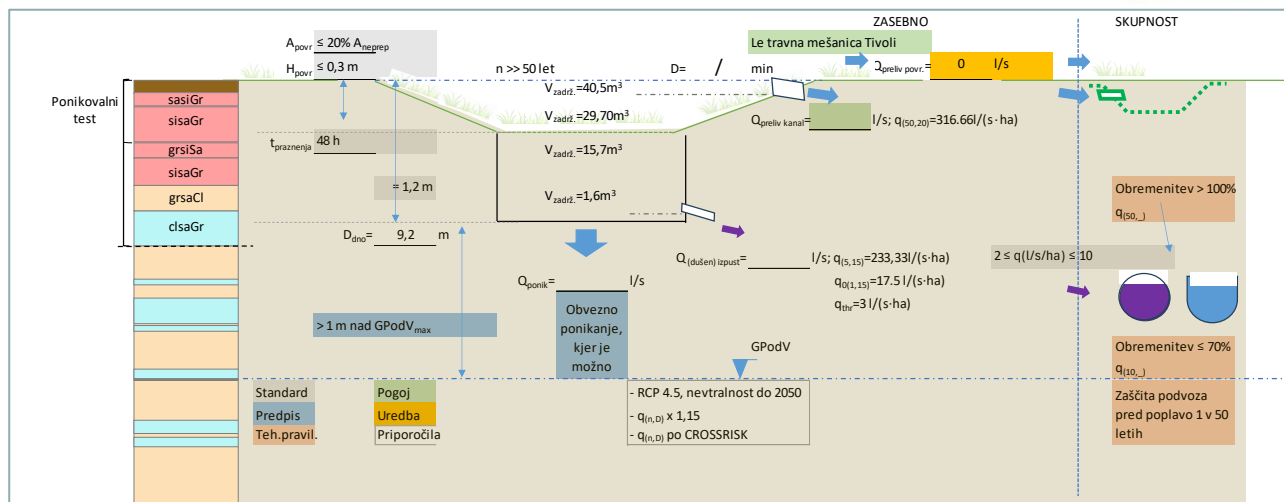


Ta potekovni diagram omogoča enoten pristop k načrtovanju in izvedbi ukrepov, kar je ključno za zagotavljanje podnebne odpornosti urbanih območij. Z njegovo uporabo se zmanjšuje tveganje za napake, izboljšuje se preglednost postopkov in omogoča boljše sodelovanje med vsemi vključenimi deležniki - od projektantov in investitorjev do upravljalcev infrastrukture in občinskih organov.

4.2. Robni pogoji za dimenzioniranje zadrževalno ponikalnih sistemov

Za pravilno dimenzioniranje zadrževalno-ponikalnega sistema je treba najprej določiti ključne robne pogoje, ki omejujejo in usmerjajo načrtovanje. Ti pogoji vključujejo:

- Projektni padavinski dogodek - izbere se izhodiščna obremenitev padavinske vode, npr. naliv določene intenzitete in trajanja s podano povratno dobo (n let) za obravnavano območje. Izbrani dogodek predstavlja največjo pričakovano obremenitev, ki jo bo sistem še obvladal.
- Dopustni odtok v javno omrežje (Q_{dov}) - če je dovoljeno del padavinske vode odvesti v kanalizacijo, mora načrtovalec upoštevati omejitve te količine. Q_{dov} je običajno določen s tehničnimi smernicami ali soglasjem upravljavca; pogosto se določi maksimalni odtok v kanalizacijo (dušilka) v l/s na hektar. Ta vrednost predstavlja kapaciteto kontroliranega odtoka, ki je še sprejemljiva za obstoječe omrežje, presežki pa morajo biti zadržani ali ponikani na lokaciji.
- Vodoprepustnost tal in ponikalna zmogljivost (k) sta določeni na podlagi geoloških raziskav in označujeta hitrost, s katero podlaga vpija vodo (m/s). Skupaj z razpoložljivo površino za ponikanje (npr. površina ponikovalnega polja ali jaška) k določa maksimalni ponikovalni pretok (Q_p) sistema. Če je na lokaciji izmerjen koeficient prepustnosti $k = 2,6 \times 10^{-4}$ m/s, lahko skozi 1 m² ponikovalne površine odteče približno 0,26 l/s vode v tla. Višja prepustnost in večja ponikovalna površina pomenita večjo zmogljivost ponikanja, kar neposredno vpliva na potrebno velikost zadrževalnika.
- Lokalne omejitve in varnostni faktorji - pri robnih pogojih je treba upoštevati tudi morebitno visoko gladino podzemne vode, zaščitena vodovarstvena območja, omejitve zaradi bližine objektov in infrastrukture ipd. (ti vidiki so podrobneje obravnavani v poglavju o odmikih). Ti pogoji lahko omejujejo globino ponikanja ali zahtevajo dodatne ukrepe, na primer izvedbo tesnjenih bazenov namesto ponikanja v občutljivih območjih. Prav tako se pri izračunih določijo varnostni faktorji, na primer zmanjšanje izračunane prepustnosti za določen faktor, da se zagotovi zanesljivost sistema tudi ob nepredvidenih odklonih.
- Našteti robni pogoji določajo okvir, znotraj katerega potekata izračun in dimenzioniranje zadrževalno-ponikalnega sistema. Pri načrtovanju konkretnega sistema je treba te parametre uravnotežiti: če je dopustni odtok majhen, mora sistem omogočati večje ponikanje ali zadrževanje; če je prepustnost tal nizka, je treba predvideti večjo zadrževalno prostornino itd. S celostno obravnavo robnih pogojev se zagotovi, da bo končni sistem varno prevzel predvideni naliv ter prispeval k zmanjšanju poplavne ogroženosti in izboljšanju stanja voda v urbanem okolju.



Slika 14. Primer vrste robnih pogojev pri dimenzioniranju zadrževalno ponikalnih polj.

4.3. Podatki o dimenzioniranju zadrževalno ponikalnega sistema

Dimenzioniranje zadrževalno-ponikalnega sistema poteka v več korakih, pri čemer se uporabijo vhodni podatki o prispevnih površinah in izbrani robni pogoji (poglavje 4.2). Spodaj je povzeta metodologija izračuna v treh glavnih fazah, kot je prikazano tudi v preglednici parametrov (Preglednica 3):

1. Splošni podatki o površinah: Najprej zberemo podatke o prispevni površini (A), s katere padavinska voda doteka v sistem. To vključuje seštevek neprepustnih površin (A_{neprep} , npr. streh in asfaltov) in vodoprepustnih površin (A_{prep} , npr. zelenic), ki pripadajo zadrževalno-ponikalnemu sistemu. Na podlagi teh vrednosti določimo značilni povprečni koeficient odtoka ($\psi_{m,s}$), ki predstavlja delež padavine, ki dejansko odteče - v izhodišču se oceni iz deleža neprepustnih površin. Nato izračunamo reducirano prispevno površino (A_{imp}), ki upošteva učinkovitost odtoka celotnega območja. V preglednici je tako za primer navedeno skupno območje 400 m^2 , od tega polovica neprepustnih ($A_{\text{imp}} \approx 200 \text{ m}^2$) in polovica prepustnih površin (200 m^2). Ti podatki predstavljajo osnovo za nadaljnje izračune.
2. Izbor projektnega naliva in pretok izpusta: Določi se projektni padavinski dogodek - v našem primeru npr. naliv s povratno dobo 2 leti ($r = 2$) in izbrane trajanje (npr. 15 min). Za ta dogodek se izračuna dotok padavinske vode z reduciranega območja in preveri, kakšen odtok iz sistema (Q_{odt}) lahko dopustimo. Pri tem upoštevamo omejitev Q_{dov} (če odtok v kanalizacijo je dovoljen) in prispevek ponikanja Q_p (če je vključen ponikovalni element). V preglednici je primer, kjer je predpisan dovoljeni odtok v kanalizacijo $Q_{\text{dov}} = 1 \text{ l/s}$. Ker sistem hkrati ponika vodo, je izračunan tudi ponikovalni prispevek $Q_p \approx 0,008 \text{ l/s}$, ki ustreza ponikanju skozi dno izkopane ponikovalnice (dimenzij $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$) pri danem k . Skupni kontrolirani odtok Q_{izp} iz sistema (kanalizacija + ponikovanje) tako znaša približno $1,01 \text{ l/s}$, kar pomeni, da bo ob nalivu do $1,01 \text{ l/s}$ vode varno odvedeno ($0, \approx 1 \text{ l/s}$ v kanalizacijo in $\approx 0,01 \text{ l/s}$ v podtalje), vse ostalo pa mora biti zadržano v zadrževalniku. V praksi načrtovalec preveri različne kombinacije velikosti ponikovalnih površin in dušenih odtokov, da doseže optimalno razmerje med ponikanjem in odtokom, skladno z lokalnimi predpisi in cilji (npr. maksimizacija ponikanja ob hkratnem spoštovanju omejitve odtoka).
3. Dimenzioniranje zadrževalne prostornine: Na podlagi dotoka padavin (z upoštevanjem A_{imp}) in dogovorjenega Q_{izp} se določi potrebna zadrževalna prostornina sistema. Izračun temelji na razliki med krivuljama dotoka in odtoka: za izbrani naliv se integrira presežek padavinske vode, ki ga je treba zadržati, da odtok ne preseže Q_{izp} . V preglednici je ta postopek prikazan posredno - izračunana je specifična stopnja praznjenja (q_{izt}) v mm/min , ki skupaj z velikostjo reducirane površine določa višino zadržane vode (Δh) potrebne v zadrževalniku. Končni rezultat je zahtevana prostornina



zadrževanja ($V_{\max}$), ki jo mora zagotavljati zadrževalnik, da se ob izbranem nalivu voda ne prelija. V našem primeru (naliv 2-letne povratne dobe, $A_{\text{imp}} \approx 200 \text{ m}^2$, $Q_{\text{izp}} \approx 1 \text{ l/s}$) bi moral zadrževalnik zadržati največji volumen padavinske vode, izračunan kot $V_{\max} = 1,2 \times 10 \times \Delta h \times A_{\text{imp}}$ (pri čemer je Δh ocenjena iz hidrograma, faktor 1,2 je varnostni, faktor 10 pretvorba enot). S tako določeno prostornino lahko dimenzioniramo konkreten zadrževalni element (npr. volumen podzemnega zadrževalnega rezervoarja ali velikost zadrževalne površine na terenu).

Opomba: Poleg hidravličnega dimenzioniranja je treba preveriti tudi kakovostne vidike - v primeru ponikanja ne sme priti do vnosa nevarnih snovi v podtalje. Če so prisotne večje prometne ali industrijske površine, je treba pred ponikanjem zagotoviti ustrezno čiščenje padavinske vode (npr. z lovilci olj ali rastlinskimi filtri). Prav tako se pri končnem načrtu vnese varnostni faktor na izračunano prostornino (npr. +10-20%), da sistem varno deluje tudi ob morebitnem zamuljenju ali nekoliko večjih nalivih, kot je projektni.



Preglednica 3. Primer podatkov za načrtovanje sistemov za zadrževanje in ponikanje.

KORAK IZRAČUNA	VREDNOST, KI JO MORAMO IZRAČUNATI	PRIVZETA ALI IZRAČUNANA VREDNOST	
Splošni podatki	Skupna površina (A) $A = A_{\text{neprep}} + A_{\text{prep}}$ v m ² <i>Opomba: Skupna površina je celotna prispevna površina, od koder lahko priteče voda ob naluvi - neprepustne in prepustne površine skupno.</i>	$A \text{ [m}^2\text{]} =$ <i>Opomba: 1 ha = 10.000 m²</i>	400
		$A_{\text{neprep}} \text{ [m}^2\text{]} =$	200
		$A_{\text{prep}} \text{ [m}^2\text{]} =$	200
	Koeficient odtoka ψ_m <i>Opomba: Glej prilogo</i>	$\psi_{m \text{ neprep}} =$	1
		$\psi_{m \text{ prep}} =$	0
	Dopustna količina izpusta (Q_{dov}), če je dovoljen	$Q_{\text{dov}} \text{ [l/s]} =$	1
	Prepustnost tal (k), če je predvideno ponikanje	$k \text{ [m/s]} =$	$2,6 \times 10^{-4}$
1. Izbor padavin- skega dogodka	Pogostost - povratna doba	$r \text{ [leta]} =$	2
2. Pretok izpusta	Pretok izpusta (Q_{izp}):	$Q_{\text{izp}} \text{ [l/s]} =$	1,01
	a) Vrednost podana s predpisom	$Q_{\text{dov}} \text{ [l/s]} =$	1
	b) Ponikanje:	$Q_{\text{pon}} \text{ [l/s]} =$	0,0078
	v bazen: $Q_{\text{pon}} = A_{\text{dno bazena}} \times k$	$Q_{\text{pon}} \text{ [l/s]} =$	0
	$A_{\text{dno bazena}} =$ površina dna bazena	$A_{\text{dno bazena}} \text{ [m}^2\text{]} =$	
	v izkop: $Q_{\text{pon}} = a \times b \times k$	$Q_{\text{pon}} \text{ [l/s]} =$	0,0078
	$a =$ dolžina izkopa	$a \text{ [m]} =$	6
	$b =$ širina izkopa	$b \text{ [m]} =$	5
	v jarek: $Q_{\text{pon}} = 0,5 \times A_{\text{navpična stena}} \times k$	$Q_{\text{pon}} \text{ [l/s]} =$	0
	$A_{\text{navpičnih sten}} =$ površina navpičnih sten	$A_{\text{navpičnih sten}} \text{ [m}^2\text{]} =$	
	<i>Vse enote v enačbah so v m². Opomba: 1 m³/s = 1000 l/s</i>		
3. Zadrževanje	Povprečni koeficient odtoka: $\psi_{m, s} = (\psi_{m \text{ neprep}} \times A_{\text{neprep}} + \psi_{m \text{ neprep}} \times A_{\text{prep}}) / A$	$\psi_{m, s} =$	0,5
	Reducirana prispevna površina: $A_{\text{imp}} = \psi_{m, s} \times A$ (A v m ²)	$A_{\text{imp}} \text{ [m}^2\text{]} =$	200
	Specifična stopnja praznjenja (pretok iztoka): $q_{\text{izt}} = 60\,000 \times Q_{\text{izp}} / A_{\text{imp}}$ (Q_{izp} v m ³ /s in A_{imp} v m ²)	$q_{\text{izt}} \text{ [mm/min]} =$	0,30
	Največja višina za zadrževanje (določena iz grafikona v prilogi)	$\Delta h \text{ [mm]} =$	
	Prostornina zadržane padavinske vode: $V_{\text{max}} = 1,2 \times 10 \times \Delta h \times A_{\text{imp}}$ (z Δh v mm in A_{imp} v ha)	$V_{\text{max}} \text{ [m}^3\text{]} =$	



C. OPREDELITEV CILJEV ZA PODNEBNO ODPORNOST

Na podlagi analiz vodnih in masnih bilanc ter rezultatov javnega posvetovanja so bili določeni ključni cilji za povečanje podnebne odpornosti urbane odvodnje in s tem varovanja podzemne vode. Ti cilji predstavljajo merljive usmeritve, h katerim bodo mestne oblasti in upravljavci stremeli v prihodnje. Kljub različnim razmeram v Ljubljani in Varaždinu so strateški cilji skupni in vključujejo:

- Zmanjšanje količin onesnaževal v vodnem krogu: Osredotoča se na nevarna in druga problematična onesnaževala v podzemni vodi (npr. nitrati, pesticidi, težke kovine, industrijske kemikalije). Cilj je zmanjšati presežke onesnaževal, ki vstopajo v vodonosnik, tako da njihova koncentracija ne bo presegala naravne čistilne zmoglosti okolja. Redno monitoring program (spremljanje kakovosti podzemne vode) bo beležil trende koncentracij; v primeru zaznanih naraščanj bo to sprožilo ukrepe (npr. izboljšave kanalizacije, zmanjšanje rabe gnojil).
- Povečanje ponikanja padavinskih vod: Ključna usmeritev je, da se čim več padavinske vode upravlja lokalno na mestu padavin in ne odvaja po kanalizaciji. Konkretno to pomeni povečanje deleža streh, odklopljenih od kanalizacije in preusmerjenih v ponikovalnice ali zadrževalnike. S tem se zmanjšata tako količinski problem (ujetje večje količine padavin v tleh namesto v cevovodih) kot kakovostni (filtracija vode skozi zemljo). V Ljubljani so npr. identificirali, da je približno 16 % streh na območjih z zelo dobro infiltracijsko sposobnostjo - tam je ponikanje najbolj smiselno spodbujati. Hkrati ta cilj prispeva k ohranjanju napajanja podzemne vode, saj večji delež padavin ostaja v lokalnem vodnem krogu in dopolnjuje vodonosnik.
- Uveljavitev trajnostnega koncepta odvodnje v praksi: Mestni organi naj v celoti vključijo načela podnebne odpornosti v svoje prostorske akte, strateške dokumente in investicije. To pomeni, da se za vsa nova urbana razvoja že v fazi načrtovanja predvidi ustrezno odvajanje in ponikanje padavinskih vod, obstoječi sistemi pa se nadgrajujejo po načelu "najprej na naravni način". Sprejetje strokovnega dokumenta - koncepta v formalne okvire (npr. kot podlaga za odloke ali smernice za načrtovanje) zagotavlja, da bodo ti cilji zavezujoči in sledljivi. Kazalniki za ta cilj so na primer delež območij, pokritih s programom trajnostne odvodnje, število vgrajenih ponikovalnih sistemov na leto ipd.

5. PRIMER VARAŽDIN

Varaždin je opredelil koncept načrtovanja in odločanja pri upravljanju urbane odvodne, in tudi v okviru javnega posvetovanja izvedel prilagoditve v okviru naslednjih akcij in dokumentov:

- *Zaključak o smjernicama za održivo upravljanje oborinskim vodama na području Grada Varaždina, uključno z njegovim okvirom in usmeritvami za prihodnje načrtovanje ter naložbene aktivnosti, povezane s trajnostnim upravljanjem padavinskih voda, je odgovornost dodeljena Upravnomu oddelku za gradnjo in komunalne storitve Mestne občine Varaždin.*

Za večjo podnebno odpornost odvodnje v Varaždinu je vzpostavljen opozorilni sistem za nadzor presežkov onesnaževal in spodbude za razvoj ponovne uporabe strešnih padavinskih vod in razbremenjevanje kanalizacijskega sistema.

V Varaždinu je mestni svet sprejel Sklep o smernicah trajnostnega upravljanja z padavinsko vodo, ki vključuje nov okvir in usmeritve za prihodnje urejanje odvodnje. S tem sklepom je bila uradno dodeljena odgovornost za upravljanje izvedbe ukrepov mestnemu upravnemu oddelku za gradnjo in komunalne zadeve. Poleg tega je bil v Varaždinu vzpostavljen sistem zgodnjega opozarjanja za spremljanje presežkov onesnaževal v podzemni vodi ter uvedeni so bili novi finančni in tehnični mehanizmi za spodbujanje ponovne



uporabe zbranih padavinskih vod (npr. za zalivanje) in razbremenitev kanalizacije. Ti ukrepi povečujejo ozaveščenost in pripravljenost na hitre ukrepe ob morebitnih odstopanjih (npr. če monitoring zazna dvig koncentracij nevarnih snovi).

6. PRIMER LJUBLJANA

Primer Ljubljana je opredelil koncept načrtovanja in odločanja pri upravljanju urbane odvodnje, in tudi v okviru javnega posvetovanja izvedel prilagoditve v okviru naslednjih akcij in dokumentov:

- predstavitev za zaposlene na VOKA
- pripombe na predlog OPN MOL glede ponikanja in raščenege terena itd.
- Program izvajanja javne službe odvajanja in čiščenja 2025-2028
- Posodobljen TEHNIČNI PRAVILNIK ZA KANALIZACIJO, JP VOKA-SNAGA, EAD-116244, April 2025
- Za večjo podnebno odpornost odvodnje in ponikanja v Ljubljani so opredeljeni konkretni cilji za preusmeritev strešnih padavinskih vod iz kanalizacije v ponikanje, vzdrževanje napajanja podzemne vode in zmanjšanje presežkov določenih onesnaževal.

V Ljubljani je lokalno komunalno podjetje (JP VOKA SNAGA) pripravilo dodatna interna navodila in usposabljanja za zaposlene, da bodo načela novega koncepta uporabljena pri vsakodnevem delu (npr. pri izdajanju soglasij, pregledih priključkov). Mesto je prek javne razprave prejelo pripombe pri pripravi Občinskega prostorskega načrta (OPN) - posebej glede obveznega ponikanja padavinskih vod in ohranjanja čim več naravnih ponikovalnih površin v mestu. Te pripombe so usmerjene k cilju podnebne odpornosti (npr. zahteva po zadrževalnikih pri novih parkiriščih, omejitve priključevanja streh na mešano kanalizacijo ipd.). Prav tako je bil v Program izvajanja javne službe odvajanja in čiščenja za obdobje 2025-2028 vključen niz ukrepov iz koncepta (od načrtov obnove kanalizacije z ločevanjem sistema, uvedba dušilk, do vzpostavitve več novih pilotnih ponikovalnih polj). S temi integracijami koncept ni le teoretičen dokument, temveč že del operativnih načrtov občine.