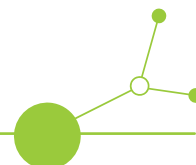


Poročilo D4.4.1

Optimizacija urbane odvodnje in odpornost kakovosti podzemne vode (priročnik):

Uporaba karte ponikalnih sposobnosti - od terenskih
preiskav do načrtovanja, pridobivanja soglasji in odločanja



Končna različica
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 Skupne rešitve za urbane podzemne vode pri izvajanju ukrepov v strateških načrtih za odpornost na podnebne spremembe

Poročilo 4.4.1 Optimizacija urbane odvodne in odpornost kakovosti podzemne vode (priročnik)

Opis končnega izdelka: Sprejet priročnik »Uporaba kart infiltracijske sposobnosti (od terenskih preiskav do načrtovanja, pridobivanja soglasij in odločanja) - povezava na O4.3«

Datum: Perioda 6, 31 - 36

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



Vsebina

Seznam simbolov in oznak	4
UVOD	5
A. VLOGA PONIKANJA V ODVODNJI PADAVINSKIH VODA	6
1. Ponikanje v sodobnem upravljanju padavinskih voda	6
1.1. Sodobni pristopi upravljanja s padavinskimi vodami	6
1.2. Standardi, smernice in priporočila	7
1.3. Ključne prvine odvodnje	8
2. Pregled dobrih praks kart ponikalne sposobnosti	10
2.1. Izkušnje in načini uporabe kart v nekaterih državah	10
2.2. Splošna priporočila in usmeritve	13
2.3. Odločanje za ponikanje	13
B. IZDELAVA KARTE PONIKALNE SPOSOBNOSTI	14
3. Prilagoditev karte namenu uporabe	14
4. Prilagoditev karte lokalnim hidrogeološkim razmeram	15
4.1. Vrhnje geološke plasti in globina obravnave	15
4.2. Način ocene prepustnosti vrhnjih plasti	15
4.3. Omejitve ponikalne sposobnosti	18
5. Prilagoditev karte lokalnim podnebnim razmeram	22
5.1. Jakost nalivov na območju	22
5.2. Ponikalna sposobnost tal glede na značilne nalive	23
5.2.1. Slabša ponikalna sposobnost	23
5.2.2. Boljša ponikalna sposobnost	24
5.2.3. Naravni odtok	24
5.2.4. Povečani odtok po izvedbi posegov	25
5.2.5. Zadrževanje povečanega odтока	26



6. Grafika karte ponikalnih sposobnosti	30
6.1. Prikaz ponikalne sposobnosti	30
6.2. Značilni prerezi	33
6.3. Pogoji uporabe	33
6.4. Vzdrževanje in posodabljanje karte	33
C. PRAKTIČNA UPORABA KARTE PONIKALNE SPOSOBNOSTI	35
7. Podlaga za »Koncept odvodnje padavinskih vod v mestu«	35
7.1. Splošne usmeritve	35
7.2. Podrobnejše usmeritve za koncept odvodnje glede na ponikalno sposobnost zemljišč	36
8. Podlaga za »Načrtovanje na končno stanje ureditve«	38
8.1. Splošne usmeritve	38
8.2. Podrobne usmeritve za načrtovanje odvodnje na končno stanje ureditve	39
9. Podlaga za "Optimizacijo ukrepov"	46
10. Prenos karte v prostorski načrt	48
10.1. Odločanje	48
10.2. Delež parcele, ki ga je treba nameniti ponikanju	48
10.3. Olajšanje priprave in izdaje mnenj in soglasij	50
D. PRIPOROČILA ZA PODROBNEJŠO OCENO PREPUSTNOSTI	51
11. Terenske meritve	51
11.1. Metoda z dvojnim obročem	51
11.2. Nalivalni poskusi	52
11.3. Vrednotenje merskih napak	52
12. ORODJA	53
13. LITERATURA	54
14. PRILOGE	57
14.1. Ovrednotenje vpliva morebitnih napak pri meritvah	57



Priročnik

UPORABA KARTE PONIKALNIH SPOSOBNOSTI - OD TERENSKIH PREISKAV DO NAČRTOVANJA, PRIDOBIVANJA SOGLASIJ IN ODLOČANJA

- Optimizacija urbane odvodnje in odpornost kakovosti podzemne vode -

Seznam simbolov in oznak

Δh - Višina zadržane vode v ponikalnici (m)

A - Površina zemljišča (m^2)

A_{imp} - Zatesnjena površina zemljišča (m^2)

A_p - Površina ponikanja ali ponikalna površina (m^2)

D - Trajanje naliva (minut)

FRP - Faktor raščenenih površin

FU_B - Utrjene površine namenjene bivanju na prostem (npr. dvorišča, terase, tlakovane površine za rekreacijo)

FU_P - Utrjene površine za prometne, komunalne in tehnične namene, ki podpirajo delovanje stavbe.

FZ - Faktor zazidanosti

$h_{(r,D)}$ - Višina vode iz naliva (mm) s povratno dobo r (let) in trajanjem naliva D (minut) (mm/m^2)

h_p - Višina infiltrirane (odtekle) vode z zemljišča (mm/m^2)

i - Hidravlični gradient (-)

$I_{r,D}$ - Intenziteta padavin (mm/h) s povratno dobo r in trajanjem D

k - Koeficient prepustnosti (m/s)

n - Pogostost naliva (kolikokrat na leto (a^{-1}) se tak naliv pojavi)

$q_{(n,D)}$ ali $q_{(r,D)}$ - naliv z določeno pogostostjo in dolžino trajanja ($l/s/ha$)

$q_{(r,D)}$ - Specifični dotok iz naliva s povratno dobo r (let) in trajanjem naliva D (minut) oz. projektna intenziteta naliva ($l/s/ha$)

q_0 - Specifični odtok v naravnem stanju ($l/s/ha$)

Q_{dov} - Dovoljeni odtok je količina, za katero je dovoljeno, da odteka (se izpušča in prelija) na površje, v površinski odvodnik ali v kanalizacijo (m^3/s)

Q_{izp} - Izpust (m^3/s) je količina padavinske vode, ki odteka z zemljišča

Q_{odt} - Skupni odtok z zemljišča (m^3/s)

q_{odt} - Specifični skupni odtok z zemljišča ($l/s/ha$)

Q_p - Količina ponikanja (m^3/s)

q_p - Specifična ponikalna sposobnost zemljišča ($m^3/s/m^2 = l/s/ha \times 10^{-7}$)

Q_{thr} - Dušen izpust ali pretok skozi dušilko (m^3/s)

q_{thr} - Specifični dovoljeni dušeni izpust ($l/s/ha$)

r - Pogostost naliva ali povratna doba (na koliko let (a)) se taki nalivi ponavljajo

r_A - Razmerje med neprepustno površino zemljišča in ponikalno površino A_{imp} / A_p (-)

V_p - Prostornina infiltrirane (odtekle) vode z zemljišča (m^3)

$V_{r,D}$ - Prostornina vode dotekle iz naliva s povratno dobo r (let) in trajanjem naliva D (minut) (m^3)

V'_z - Specifična zadrževalne prostornina (m^3/m^2)

ψ_0 - Odbojni koeficient v naravnem stanju

ψ_m - Srednja vrednost koeficient odtoka



UVOD

Priročnik »Uporaba karte ponikalnih sposobnosti - od terenskih preiskav do načrtovanja, pridobivanja soglasij in odločanja« je sestavljen iz štirih povezanih zvezkov z oznakami A. do D. Vsak zvezek obravnava samostojne vsebine, ki pa se neločljivo povezujejo za razumevanje zasnove in pomena Kart ponikalne sposobnosti.

Zvezek A govori o vlogi in pomenu ponikanja v sodobni odvodnji padavinskih vod v mestnem območju, zvezek B razlaga, kako zasnovati in pripraviti karto ponikalnih sposobnosti tal, zvezek C predstavlja nekatere praktične primere uporabe karte ponikalnih sposobnosti pri načrtovanju in zvezek D podaja praktična navodila za natančnejšo oceno prepustnosti tal na mestu predvidenih posegov.



A. VLOGA PONIKANJA V ODVODNJI PADAVINSKIH VODA

1. Ponikanje v sodobnem upravljanju padavinskih voda

1.1. Sodobni pristopi upravljanja s padavinskimi vodami

Sodobni pristopi upravljanja s padavinskimi vodami v mestih v splošnem sledijo konceptu, ki jo danes v strokovni hidrotehnični literaturi in tudi na uradnih spletnih straneh upravnih organov vedno pogosteje imenujejo “prepustno mesto” (npr., Lyon, Rotterdam) ali “spužvasto mesto” (npr., Berlin, Milano, Kopenhagen).

Prepustno mesto omogoča pretok vode brez večjih zastajanj ali koncentracij vodne mase in masnih tokov. Skrb za preprečevanje koncentracije vodne mase in masnih tokov se izvaja z omejevanjem povečevanja površinskega odtoka in preobremenjevanja naravnih in grajenih odvodnikov. Začenja se že v zaledju mesta na kmetijskih in gozdnih površinah in se nadaljuje na obrobju in proti jedru mesta. Spoštujejo se določeni odmiki in širine priobalnih zemljišč. Vodi se pušča prostor za razlivanje in odtekanje ob izrednih padavinah. Priobalna območja so rezervirana za osnovno protipoplavno zaščito, to je za uravnavanje zadrževalne prostornine in odtekanja površinske vode v podzemlje.

Prostorsko načrtovanje po zasnovi “spužvastega mesta” (Griffiths et al., 2020) se zgleduje po lastnostih spužve, ki sprejema vodo, jo zadrži, očisti in nato zopet odda. Glavne značilnosti upravljanja s padavinsko vodo po pristopu “spužvastega mesta” so ohranjanje prepustnosti tal in ponikanja, zadrževanje padavinske vode v površinskih depresijah, izkoriščanje podtalja za zadrževalno prostornino odtoka ob nalivih, zadrževanje oziroma redčenje snovi iz izpustov v mestu in sezonsko shranjevanje zaloga podzemne vode za uporabo v sušnih razmerah.

Celotno funkcionalno mestno območje naj bi imelo manj kot 3 % pozidanih površin. Prostorske ureditve v enotah urejanja prostora naj bi dosegle čim nižji odtočni koeficient $\Psi_m < 0,6$, optimalno proti $\Psi_m \approx 0,3$. Z manjšim deležem zatesnjenih površin se povečujejo možnosti ponikanja in dobrega upravljanja z odtokom padavinskih vod na splošno.

Spodbujanje ponikanja padavinske vode v urbanih območjih je vedno bolj pomembno. Predvsem zato, ker omogoča razbremenitev iztokov z utrjenih površin v kanalizacijo ali površinske vode in preprečevanje poplavnih dogodkov.

Ponikanje je ključna prvina upravljanja padavinske vode in pomembno za ohranjanje naravne obnovljivosti podzemne vode. Ker pa je ponikalna sposobnost odvisna od naravnih danosti tal in drugih okoljskih omejitev, je na lokalni ravni potrebna priprava smernic in kart ponikalne sposobnosti. Te karte pomagajo opredeliti in omejiti območja glede na njihovo zmogljivost ponikanja ter tako olajšajo celovito načrtovanje odvodnje pri urejanju prostora.

Ponikalna sposobnost je pomembna značilnost zemljišča, ki jo moramo upoštevati za čim boljše:

- dimenzioniranje modro-zelene infrastrukture in na naravi temelječih rešitev (spužvasto mesto),
- opredeljevanje regulacijskih elementov (odpornost na podnebne spremembe),
- zmanjševanje površinskega odtoka in razbremenjevanje javnega kanalizacijskega sistema
- sezonsko shranjevanje podzemne vode (razpoložljivost naravnih virov),
- vzdrževanje naravnih zadrževalnih sposobnosti vodonosnika (krožno gospodarstvo).



1.2. Standardi, smernice in priporočila

Načrtovanje ponikanja zahteva seznanjenost z vrsto standardov, ki vključujejo vsa dosedanja znanja in izkušnje pri načrtovanju odvodnje in v tem okviru tudi ponikanja. Za samo ponikanje so v standardih obravnavane naslednje bistvene zadeve:

- kako zagotoviti dolgoročno zanesljivo delovanje ponikalne naprave,
- kako dimenzionirati ponikalno površino in zadrževalno prostornino za zmanjšanje hipnih odtokov,
- kako ustrezno prečistiti vodo, da je primerna za ponikanje v podtalje,
- kako predvideti minimalne odmike od parcelnih mej in sosednjih objektov,
- kakšne so rešitve, če je ponikalna sposobnost nizka ali praktično zanemarljiva.

Standardi podajajo različne pristope, rešitve, priporočila. Prvenstveno so prilagojeni lokalnim zakonodajam in predpisom, v splošnem pa sledijo enakim ciljem, kako ustrezno in čimbolj praktično obvladovati padavinsko vodo na lastnem zemljišču brez škode na lastnih in sosednjih nepremičninah na čimbolj gospodaren način.

Sodobni standardi vključujejo rešitve, ki olajšujejo izvedbo ponikanja, ki upošteva tudi obremenjenost vod z onesnaževali in na drugi strani značilnosti tal za zadrževanje onesnaževal. S tem se olajšuje doseganje ustrezne kakovosti odpadnih vod in pogoje za razvoj krožnega gospodarstva. V tem poglavju so izpostavljeni nekateri izbrani standardi in priporočila, ki so bili pri pripravi tega priročnika najbolj uporabljani.

ATV - A 128E: »Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Structures in Combined Sewers« (1992)

CIRIA C753: "The SuDS Manual" (2015)

CIRIA C768: "Guidance on the construction of SuDS" (2017)

CIRIA Report R156: »Infiltration Drainage - Manual of Good Practice" (1996)«

DWA-A 138E: »Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water« (2005)

DWA-M 153E: »Advisory Leaflet DWA-M 153E Recommended Actions for Dealing with Stormwater« (2007)

DWA-A 117E: »Bemessung von Regenrückhalteräumen« (2013)

DWA-A 100E: »Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE)« (2006)

SIST EN ISO 14688-1:2018 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 1. del: Prepoznavanje in opisovanje (ISO 14688-1:2017)

SIST EN ISO 14688-2:2018 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Prepoznavanje in razvrščanje zemljin - 2. del: Načela za razvrščanje (ISO 14688-2:2017)

SIST-TP CEN/TR 12566-5:2006: »Filtrirne naprave za predčiščene hišne odpadne vode. Male čistilne naprave do 50 PE.« (2006)

SIST-TP CEN/TR 12566-2:2006: »Sistemi za infiltracijo v zemljo. Male čistilne naprave do 50 PE.« (2006)

SNV »SN 592 000:2024 - Installations pour l'évacuation des eaux des biens-fonds« (2024)

VSA »Gestion des eaux urbaines par temps de pluie. Envoi complet« (2019)

Publikacije



Aqua Urbanica, 2022. Zbornik konference Aqua Urbanica 2022: Trajnostno upravljanje z vodami v urbanem prostoru. Avstrijsko združenje za vodno gospodarstvo (ÖWAV) & Nemško združenje za vodno gospodarstvo, odpadne vode in odpadke (DWA).

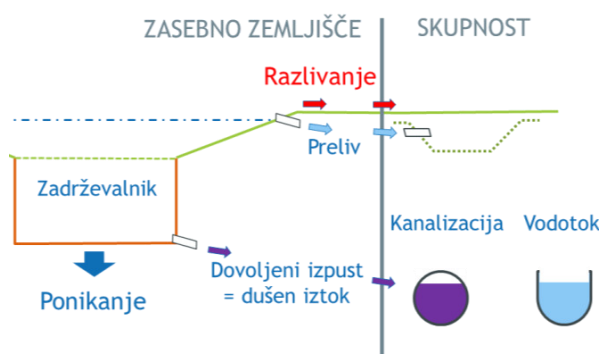
VÍTEK, Jiří, STRÁNSKÝ, David, KABELKOVÁ, Ivana, BAREŠ, Vojtěch and VÍTEK, Radim. Rainwater Management in the Czech Republic. Prague: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.

CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering. Standards for Rainwater Management in Prague. Authors: Stránský, David, Hora, David, Kabelková, Ivana, Vacková, Michaela, Vítek, Jiří. Prague: City of Prague, 2016.

WATER IN THE CITY. Methodology for Rainwater Management Linked to Green Infrastructure. Prague: CTU, 2018. ISBN 978-80-01-06817-5.

1.3. Ključne prvine odvodnje

Ključne prvine odvodnje padavinske vode so uravnavanje odtoka, zadrževanje, izpust in preliv (Slika 1).



Slika 1. Ključne prvine odvodnje

Površinski odtok uravnavajo zatesnjenost oziroma prepustnost površja, naklon in predhodna vlažnost tal, medtem ko se ostale prvine uravnavajo tudi s ponikanjem.

Zadrževanje je lahko rešeno na različne načine, to je od uleknin in bazenov na površini do podzemnih zasutih jarkov.

Izpust se lahko odvaja v tla in podtalje s ponikanjem, v površinski odvodnik ali v kanalizacijo.

Preliv je mogoče odvajati z razlivanjem po terenu ali v površinski odvodnik skladno s pogoji upravljavca. Prelivov praviloma ni dovoljeno odvajati v javno kanalizacijo.

Ponikanje je omejeno s ponikalno sposobnostjo. Ponikalna sposobnost je v prvi vrsti odvisna od prepustnosti, in še od vrste drugih dejavnikov.

Odvodnja v površinski odvodnik in kanalizacijo je omejena z njuno zmogljivostjo.

Dovoljenje za mesto in količino odvedene vode v kanalizacijo ali površinski odvodnik izdajajo upravljalci oziroma upravni organi.

■ Odtok

V naravnem stanju, pred izvedbo posegov, s površine zemljišča A (m^2) odteka naravni odtok. S posegi in ureditvami se spreminja odtočni koeficient zemljišča ψ_m , s tem pa tudi površinski odtok Q_{odt} (m^3/s) ob naliču.



Naliv je količina padavin, ki pade na enoto površine v času trajanja naliva D (minut) in ga opredelimo s pogostostjo (n (a⁻¹)), kolikokrat na leto se tak naliv pojavi, ali na koliko let (r (a)) se taki nalivi ponavljajo $q_{(n,D)}$ ali $q_{(r,D)}$ (l/s/ha).

Odtok z zemljišča se uravnava z izbiro rešitev, ki v čim manjši meri povečujejo njegovo zatesnjenost. Primer določitve površinskega odtoka s pomočjo t.i. racionalne metode:

$$A_{imp} = A \times \Psi_m \quad (1)$$

$$Q_{odt} = q_{(r,D)} \times A_{imp} = q_{(r,D)} \times A \times \Psi_m \quad (2)$$

kjer je A_{imp} efektivna neprepustna površina, $q_{(r,D)}$ specifični padavinski pretok (projektna intenziteta naliva).

Načrtovanje posegov s čim manjšim zatesnjevanjem površin zmanjšuje zahtevnost in obsežnost ukrepov za varovanje ljudi in premoženja pred preplavljanjem. Hkrati se ohranja čim večji delež vode v naravnem vodnem krogu.

■ Zadrževanje

Zadrževanje odtoka padavinske vode z zemljišča je potrebno za zmanjšanje vršnega odtoka. Če se vršni pretok toliko zmanjša, da ne presega takega vršnega odtoka, kot je bil pred posegom, bo vpliv na režim odtoka razmeroma majhen. Na ta način bo lahko sprejemljiv, saj ne bo prišlo do povečanja erozije, preobremenitve kanalizacije ali odvodnika.

■ Ponikanje

Ponikanje je odtekanje vode v prepustna tla. Količina ponikanja Q_p (m³/s) je odvisna od koeficienta prepustnosti tal k (m/s), površine ponikanja A_p (m²) in hidravličnega gradienta (i), oziroma višine zadržane vode v ponikalnici Δh (cm).

■ Izpust

Izpust Q_{izp} (m³/s) je količina padavinske vode, ki odteka z zemljišča v:

- izpust v okolje (po površini)
- površinski odvodnik (jarek, potok, reka, jezero, morje),
- kanalizacijo (padavinsko, mešano).

Dovoljeni izpust Q_{dov} (m³/s) ali dušeni iztok je količina, za katero je dovoljeno, da se izpušča na površje, v površinski odvodnik ali v kanalizacijo.

□ Izpust v okolje - po površini

Izpust po površju je omejen s površino, po kateri odteka dokler ne ponikne v tla. Vršni odtok ob nalivih se z izpustom ne bi smel povečati glede na naravnega na zemljišču namenjenem odtoku. Pri tem ne sme prihajati do erozije, izpiranja organske snovi, povečanega odtoka na sosednja zemljišča ali proti sosednjim nepremičninam.

□ Izpust v površinski odvodnik

Izpust v površinski odvodnik je omejen s hidravlično zmogljivostjo. Vršni pretok v površinski odvodnik se z izpustom ne bi smel povečati glede na naravnega, če želimo, da ne poslabšamo razmer glede nevarnosti erozije in poplavljanja.

Dovoljeni izpust je lahko večji, če je to preverjeno s hidrološko hidravlično oceno, ali tudi manjši, če je potrebna večja varnost.



□ Izpust v kanalizacijo

Izpust v padavinsko kanalizacijo je praviloma dovoljen do določene količine, ki jo omejuje zmogljivost kanalizacije. Zmogljivost kanalizacije je praviloma dimenzionirana tako, da vsi izpusti padavinskih vod iz prispevnega območja na posamezni odsek kanalizacije in načrtovane končne prostorske ureditve ne presežejo določene zmogljivosti, npr., do 70 % zapolnitve kanalizacijskega voda ob nalivu z določeno povratno dobo. Zmogljivost določi in nadzira upravljalec. Povratna doba je določena z varnostjo glede na občutljivost območja, na primer enkrat v 10 letih ($n = 0,1 \text{ a}^{-1}$) za prometne podzemne objekte ali podvoze (po standardu SIST EN 752-2).

Pri izpustih padavinske vode v mešano kanalizacijo je drugače. Taki izpusti so dovoljeni izjemoma, zato so lahko dovoljene količine nižje ali samo minimalne, toliko, da omogočajo vsaj počasno praznjenje zadrževalnikov.

■ Preliv

Preliv je odtok vode ob izrednih nalih, ki presegajo varnost, na katero so dimenzionirani zadrževanje in ponikanje ali dovoljeni izpust.

Preliv je lahko z dovoljenjem speljan, deloma ali v celoti, v razlivanje po terenu, v odvodnik ali v posebne razlivne, zadrževalne ali ponikalne površine. Odvod preliva v kanalizacijo praviloma ni dovoljen.

Do preplavljanja ob višjih nalih naj bi prišlo s pogostostjo enkrat v 30 ali več letih ($n \leq 1/30 \text{ a}^{-1}$, $r \geq 30 \text{ a}$), odvisno od tipa poselitve in vrste infrastrukture, ki se nahaja na posameznem območju.

Na območjih, kjer sta prepustnost tal in podtalja dobri, je možno s ponikanjem odvajati tudi celoten ali vsaj delni preliv.

2. Pregled dobrih praks kart ponikalne sposobnosti

2.1. Izkušnje in načini uporabe kart v nekaterih državah

Prvi pregled obstoječih smernic za izvedljivost sistemov infiltracije so leta 2016 pripravili (Gerolin et al., 2016). Ugotavljajo, da so specifična navodila in smernice na voljo v nacionalnih dokumentih (ARSIT, 1995; Barraud et al., 2009; Cerema in DGALN, 2014; DWA, 2005) ali bolj splošno v smernicah za ravnanje s padavinskimi vodami (DWA, 2007; MDDEFP, 2014; SIA, 2012; VSA, 2002; Woods-Ballard et al., 2007). Lokalne skupnosti pogosto oblikujejo tudi lastna navodila, vendar večina teh priporočil ne vsebuje posebnih smernic za izdelavo kart ponikalne sposobnosti (potenciala infiltracije) padavinske vode (Gerolin et al., 2016).

Gerolin in sodelavci (Gerolin et al., 2016) so leta 2016 zbrali in analizirali 22 različnih "Kart ponikalne sposobnosti" iz različnih delov sveta in jih primerjali na podlagi uporabljene terminologije ter izhodišč in ciljev. V tem dokumentu smo izbrane obstoječe študije primerjali z vidika uporabljenih kategorij in kriterijev za pripravo kart ponikalne sposobnosti. Karte so v splošnem namenjene predvsem informativnim namenom, strateškemu načrtovanju in predhodni oceni izvedljivosti gradbenih projektov. V večini primerov so na terenu potrebne dodatne raziskave za gradbene projekte, razen na območjih s slabo ponikalno sposobnostjo (Dearden, 2016; État de Genève, 2005; Gerolin et al., 2016). Mednarodni primeri kart ponikalne sposobnosti pogosto temeljijo na različnih t.i. odločevalnih shemah, ki obravnavajo naravne predispozicije za infiltracijo, kot so ocene prepustnosti tal ali vodne bilance, ocena ranljivosti podzemne vode in morebitna ogroženost glede na tip in rabo tal.

■ Švica (État de Genève, D. de l'Eau, 2005; Gerolin et al., 2016)

Kategorije (3): 1. dober potencial za infiltracijo, 2. potencial, ki ga je treba določiti posamično in 3. slab potencial ali infiltracija prepovedana



Kriteriji: prepustnost tal; globina do podzemne vode; debelina površinskih nanosov; stabilnost tal; onesnažena tla; kamnolomi; izviri; vodnjaki;

- Velika Britanija (Dearden, 2016)

Kategorije (4): 1. zelo združljivo s sistemi trajnostnega odvodnjavanja z infiltracijo; 2. verjetno združljivo s sistemi trajnostnega odvodnjavanja z infiltracijo; 3. priložnosti za prilagojene sisteme trajnostnega odvodnjavanja z infiltracijo; 4. zelo značilne omejitve (npr. globina do podzemne vode, debelina nanosov nad neprepustno podlago)

Kriteriji: prepustnost nanosov in podlage; omejitve povezane z umetnimi nasipi in/ali onesnaženo zemljino; omejitve povezane z nestabilnostjo tal (plazovi, kamnine/sedimenti podvrženi raztapljanju in posedanju); omejitve povezane s plitvim rudarjenjem; omejitve povezane s prisotnostjo poplavnega materiala; okoljevarstvena in vodovarstvena območja; dominantni mehanizem toka (medzrnski, razpoklinski);

- Češka (Hradec Kralove) (Suchanek et al., 2013)

Kategorije (4) infiltracije padavinske vode (nalivov): 1. brez omejitev; 2. pogojno primerno; 3. težavno; 4. ni možno.

Kriteriji: lokacija in funkcija stavbe; onesnažena območja; naklon tal; lastništvo območja za ponikanje in neposredne okolice (javno/ zasebno); razpoložljivost prostora in prisotnost območij, primernih za infiltracijo padavinske vode;

- ZDA (Sonoma Valley) (SEC in SCWA, 2011)

Kategorije (6): Potencial za infiltracijo na podlagi geologije: 1. slab; 2. slab do zmeren; 3. zmeren; 4. zmeren do dober; 5. dober; 6. dober do zelo dober.

Kriteriji (7): Potencial za infiltracijo: klasifikacija v 7 naravnih razredov vrednosti po Jenksovi metodi ("Jenks methodology"), ki združuje podatke v skupine, ki minimizirajo varianco znotraj skupin in maksimirajo varianco med skupinami. 4-elementaren model z naslednjimi utežmi: vegetacija (10 %); vrsta tal (25 %); geologija (50 %); naklon tal (15 %);

Omejitve: neprepustne površine; varovana območja; vinogradi; plitva podzemna voda.

- Francija (Hauts-de-Seine) (Hauts de Seine, 2011)

Kategorije (9): 1. Tla, ki so večinoma prepustna: infiltracija je na splošno možna; 2. Tla, ki so na splošno prepustna z možnimi manj prepustnimi območji: infiltracija je na splošno možna; 3. Teren z >10 % naklonom: infiltracija ni priporočljiva; 4. Možnost prisotnosti sadre: potrebna je strokovna presoja; 5. Možnost prisotnosti nabrekajočih glin (visoko do srednje tveganje): potrebna je strokovna presoja; 6. Možnost prisotnosti sadre in nabrekajočih glin (visoko do srednje tveganje): potrebne so strokovne presoje; 7. Območja zaščite vodnih zajetij: infiltracija je prepovedana; 8. Možna prisotnost starih kamnolomov: potreben je posvet z Inštitutom za geologijo in rudarstvo (IGC); 9. Območja onesnaženih tal (maj 2009): varnostno območje s polmerom 50 metrov: preverjanje regulativnih omejitev.

Kriteriji: prepustnost tal; začasna ali trajna vlažnost tal; naklon terena; prisotnost sadre in nabrekajočih glin v tleh ali podtalju ter prisotnost jam; bližina podzemne vode; zaščitna območja zajetij za oskrbo s pitno vodo; bližina onesnaženih ali potencialno onesnaženih območij in tal, ki vključujejo tveganje migracije onesnaževal v tla in podtalje.

- Francija (Nantes)(Nantes Metropole, 2022)

Kategorije (3): 1. Zelena cona - "ugodno": lokacija na splošno predstavlja malo ali nič omejitev za infiltracijo padavin. Študija tal bi morala potrditi enostavnost izvedbe infiltracijskih rešitev; 2. Rumena cona - "srednje ugodno": infiltracija je verjetno možna. Nekatere omejitve lahko zahtevajo dodatne preiskave za prilagoditev in optimizacijo rešitev infiltracije; 3. Rdeča cona - "neugodno": verjetno obstajajo določene omejitve, ki zahtevajo podrobnejše preiskave za lokalno oceno izvedljivosti rešitev za infiltracijo. Rezultati



teh preiskav lahko v nekaterih primerih privedejo do tega, da se poleg infiltracije razmisli o reguliranem izpustu. Tudi v primeru nizke zmogljivosti infiltracije je še vedno možno infiltrirati vsaj rahel dež.

Kriteriji: narava tal; globina do podzemne vode; indeks razvoja in obstojnosti omrežja, ki odraža sposobnost tal za prepuščanje padavin.

Primer mesta Nantes v Franciji (Nantes Metropole, 2022) je še posebej zanimiv, ker so poleg karte primernosti območja za infiltracijo pripravili tudi karto, ki prikazuje prednostna območja opredeljena glede na minimalne kriterije za infiltracijo in zadrževanje vode. Za posamezna območja so določene minimalne prostornine vode, ki jih je treba zadržati na zemljišču z infiltracijo, stopnja padavin, ki jih je treba zadržati (padavine z 10 do 50 letno povratno dobo) in maksimalni možni pretok odtoka vode (3 ali 10 l/s). Območja so v prvi vrsti razdeljena glede na tip lastništva - individualni objekti ali poslovni/javni objekti, bloki in parkirišča.

Območja individualnih objektov so razdeljena na 2 coni - 1. enotna cona, kjer ni posebnih predpisov, in 2. druga proizvodna območja, kjer je treba zagotavljati infiltracijo minimalno 16 l/m² neprepustne površine, z omejitvijo odtoka do 3 l/s.

Območja drugih objektov (poslovni/javni objekti, bloki, parkirišča, itd.) so razdeljena na 4 cone:

1. Glavno prednostno proizvodno območje: Zagotavljati infiltracijo minimalno 16 l/m² neprepustne površine in zadrževanje padavin s 50-letno povratno dobo in omejitvijo odtoka (q_{thr}) na 3 l/s/ha.
2. Sekundarno prednostno proizvodno območje: Zagotavljati infiltracijo minimalno 16 l/m² neprepustne površine in zadrževanje padavin s 30-letno povratno dobo in omejitvijo odtoka na 3 l/s/ha.
3. Neprednostno proizvodno območje: Zagotavljati infiltracijo minimalno 16 l/m² neprepustne površine in zadrževanje padavin z 10-letno povratno dobo in omejitvijo odtoka na 3 l/s/ha.
4. Enotno območje: Zagotavljati infiltracijo minimalno 6 l/m² neprepustne površine in zadrževanje padavin z 10-letno povratno dobo in omejitvijo odtoka na 10 l/s/ha.

V pomoč projektantom je Nantes Metropole izdelal tudi sintezno karto potenciala tal za infiltracijo padavin, ki upošteva naravo tal, globino do podzemne vode ter indeks razvoja in obstojnosti omrežja, ki odraža sposobnost tal za prepuščanje padavin (Nantes Metropole, 2022). Območja na karti so razvrščena v 3 razrede primernosti:

- Zelena cona, "ugodna": lokacija na splošno predstavlja malo ali nič omejitev za infiltracijo padavin. Študija tal bi morala potrditi enostavnost izvedbe infiltracijskih rešitev.
- Rumena cona, "srednje ugodna": infiltracija je verjetno možna. Nekatere omejitve lahko zahtevajo dodatne preiskave za prilagoditev in optimizacijo rešitev infiltracije.
- Rdeča cona, "neugodna": verjetno obstajajo določene omejitve, ki zahtevajo podrobnejše preiskave za lokalno oceno izvedljivosti rešitev za infiltracijo. Rezultati teh preiskav lahko v nekaterih primerih privedejo do tega, da se poleg infiltracije razmisli o reguliranem izpustu. Tudi v primeru nizke zmogljivosti infiltracije je še vedno možno infiltrirati vsaj rahel dež.

Karta vključuje tudi pomembne informacije, ki jih je treba upoštevati pri infiltraciji, kot so prisotnost zajetij pitne vode ali strmih pobočij. Kot del preiskave tal je treba analizirati tudi druge zelo lokalne informacije, ki na karti niso prikazane: prisotnost geotehničnih tveganj ali onesnaženih tal...

Če za lokacijo veljajo posebne omejitve, je treba izvesti podrobnejše preiskave, da se preverijo veljavne omejitve in oceni, pod kakšnimi pogoji je mogoče uporabiti rešitve za infiltracijo padavin.



2.2. Splošna priporočila in usmeritve

Upravljanje z odpadnimi vodami na zemljišču je **odgovornost lastnika zemljišča** (Nantes Metropole, 2020).

Lastnik zemljišča mora odvodni sistem prilagoditi vrsti projekta, topografiji zemljišča ter vrsti tal in podtalja tako, da je zagotovljeno pravilno zbiranje, obdelava, zadrževanje in odvajanje odpadnih voda, vse v skladu z zahtevami na ravni lokalne ali državne zakonodaje.

Za vzdržno in trajnostno upravljanje z odpadno vodo na urbanih območjih je treba:

1. izogibati se ne nujno potrebnemu zatesnjevanju tal;
2. zatesnjenost tal je treba zmanjševati z izbiro prepustnih materialov za parkirišča, poti, pločnike, zelenih streh za stavbe;
3. čim večjo količino padavin poskusiti ponikati, da se čim manjša količina odvaja na druga zemljišča in v odvodnike;
4. padavinsko vodo le v skrajnem primeru odvajati v omrežje in javne sisteme;
5. nadomeščati površine, ki jih je bilo treba neizogibno zatesniti.

2.3. Odločanje za ponikanje

Ključna vprašanja pred uvedbo ponikanja (Dearden, 2016):

- **Kakšna je ponikalna sposobnost?**

Ponikalna sposobnost se opredeli z informacijami o globini do podzemne vode, prepustnosti in vlažnosti krovnih plasti in zasičene cone ter prepustnosti kamninske podlage, tipu vegetacije in naklonu tal.

- **Ali obstajajo kakršnikoli pomisleki glede stabilnosti tal?**

Upoštevane nevarnosti vključujejo prisotnost ali bližino zemeljskih plazov, tla, ki so podvržena posedanju ali krčenju ali nabrekanju (židki in gnetni melji in gline, nabrekli gline in melji), likvifabilni pesek, plitvo rudarjenje ter kamnine, podvržene raztapljanju (različni tipi soli, tudi karbonati).

- **Ali bi ponikanje lahko povzročilo poslabšanje kakovosti podzemne vode?**

Upoštevati je potrebno lokalne predpise za zaščito vodnih virov (npr. morebitne omejitve glede na vodovarstvena območja) in potencialno prisotnost onesnažene zemljine, bodisi v naravnem stanju ali v obliki umetnih nasipov.



B. IZDELAVA KARTE PONIKALNE SPOSOBNOSTI

Izdelava karte sledi namenu njene uporabe, lokalnim hidrogeološkim razmeram na funkcionalnem mestnem območju in podnebnim razmeram.

Večinoma je želja, da bi karta služila kar najširšemu razponu možne uporabe. Vendarle gre ponavadi za en glavni prvi motiv, ki usmeri razvoj karte.

Pri tem je zelo pomembno, kakšna je predhodna karta, geološka, hidrogeološka, ki je na območju že na voljo in kakšen nabor podatkov je na razpolago iz predhodnih raziskav.

Bistveno razliko za zasnovo karte lahko predstavlja tudi podnebje. Razlika v podnebnih značilnostih lahko pomeni bistveno različne ponikalne sposobnosti, če gre za mestno območje z visokimi ali nizkimi nalivi, med katerimi je lahko tudi večkratnik razlike.

Najprej zato opredelimo razpon možne uporabe karte, nato razpon hidrogeoloških značilnosti in nato še jakost nalicov in presežkov padavinske vode, ki jo je treba odvajati.



3. Prilagoditev karte namenu uporabe

Karta ponikalne sposobnosti prikazuje prostorsko porazdelitev potenciala podtalja za ponikanje padavinske vode na ravni mestnega območja.

Karta ponikalne sposobnosti se bo uporabljala za enega ali več namenov:

- Strateško prostorsko načrtovanje
- Izvedbeno prostorsko načrtovanje
- Preliminarno presojo izvedljivosti ponikanja pri projektiranju
- Podporo pri pridobivanju projektnih pogojev
- Oceno primernosti lokacij za ponikanje pri izdajanju soglasij.

Ključne prvine odvodnje (Poglavje 1.3) kažejo, da je poglavitno vprašanje, kakšen delež presežka padavin, ki ga ustvarimo na parceli, lahko ponikamo. Zanima nas predvsem, ali bomo pri načrtovanem posegu za odvodnjo padavinske vode z našega zemljišča potrebovali prelive in izpuste na sosednja zemljišča ali javne površine in javno omrežje. Nato nas zanima, kakšno površino in prostornino bomo potrebovali na parceli za zadržanje vode pred izpustom in prelivom, oziroma pred ponikanjem.

Ti dve vprašanji se postavita že v fazi pobude za pripravo prostorskega akta (za načrtovane ureditve ali spremembe namenske rabe) in nato podrobneje še pri projektiranju in optimiziranju rešitev za pridobitev soglasij in dovoljenj.



4. Prilagoditev karte lokalnim hidrogeološkim razmeram

4.1. Vrhnje geološke plasti in globina obravnave

Padavinsko vodo praviloma ponikamo v vrhnje geološke plasti nad gladino podzemne vode. V splošnem velja, da je večina gradenj plitvejša od 15 m, oziroma do 5 kletnih etaž. Večina geomehanskih preiskav je narejena do te globine. Največ geotehničnih poročil obravnava teren do globine 5 m, bistveno manj pa globlje od 10 m. S tega stališča je tudi karta ponikalnih sposobnosti najbolj potrebna do globine 15 m.

Namesto izraza “vrhnje plasti” (ang. “overlying strata”) se uporablja tudi izraz “krovne plasti” (ang. cover layers”). Pri tem je treba upoštevati, da imata oba izraza lahko tudi poseben in različen pomen. Izraz “vrhnje plasti” označuje geološke plasti, ki so razvite od površja do določene globine, na primer do globine podzemne vode ali, v obravnavanem primeru, do globine 15 m. Izraz “krovne plasti” pa je velikokrat uporabljen tudi v hidrodinamskem pomenu in označuje slabše prepustne plasti, ki prekrivajo vodonosnik in mu dajejo poseben hidrodinamski značaj, na primer zaprt, polzaprt ali polodprt vodonosnik. Izraz “krovne plasti” se zato velikokrat uporablja tudi za opis ranljivosti vodonosnika in podzemne vode na onesnaženje.

Za pripravo karte ponikalne sposobnosti uporabimo razpoložljive prostorske in terenske podatke, ki omogočajo oceno prepustnosti tal s poudarkom na zgornjih 15 m pod površjem:

- obstoječe karte vrhnjih ali krovnih plasti in gladin podzemne vode (če so na voljo),
- geološki in hidrogeološki podatki iz popisov vrtin (sestava tal, prisotnost slabo prepustnih plasti, globina do podzemne vode in do neprepustne podlage),
- rezultati meritev prepustnosti (infiltracijski in ponikalni poskusi v zgornjih 15 m tal, meritve prepustnosti v vrtinah¹),
- podatki meritev zrnastostne sestave vzorcev tal do globine 15 m.

4.2. Način ocene prepustnosti vrhnjih plasti

Najboljša podlaga za dobro oceno prepustnosti vrhnjih plasti so geotehnična poročila, ki podajajo popise vrhnjih plasti v skladu s standardom za prepoznavanje in razvrščanje zemljin (npr. SIST EN ISO 14688:2018) (= geotehnični popis). Takih podatkov je na mestnem območju dovolj veliko, da so možne statistično značilne analize. Čim bolj dosledno je pri geotehničnih preiskavah upoštevan standardni geotehnični popis, tem bolj so ti podatki uporabni za oceno prepustnosti.

V množici standardnih opisov vzorcev zemljin, ki so na določenem območju odvzeti pri sondažnih geotehničnih preiskavah, je manjši del tistih, na katerih je bila preiskovana zrnastostna sestava. Vzorce, ki imajo na razpolago rezultate zrnastostne sestave, uporabimo za oceno prepustnosti po znanih uveljavljenih empiričnih metodah za določitev koeficienta vodoprepustnosti.

Analiza granulometrijskih krivulj pogosto vključuje izračun koeficienta prepustnosti (k) po metodah USBR in/ali Hazen, ki temeljita na zrnastosti sestavi vzorcev ter razmerjih med posameznimi frakcijami sedimentov (enačbi 1, 2; Urumović et al., 2020):

$$k_{USBR} = 0,36 \cdot d_{20}^{2,3} \quad (3)$$

$$k_{Hazen} = 1,0 \cdot d_{10}^2 \quad (4)$$

kjer je k koeficient prepustnosti ocenjen po empirični metodi USBR ali Hazen izražen v cm/s, d_{10} je premer zrn (mm) pri 10 % presejku in d_{20} je premer zrn (mm) pri 20 % presejku.

¹ SIST EN ISO 22282-1/2



Razpršenost tako izračunanih vrednosti prepustnosti in mestoma visoka odstopanja od dejanske prepustnosti so razmeroma velika iz več razlogov:

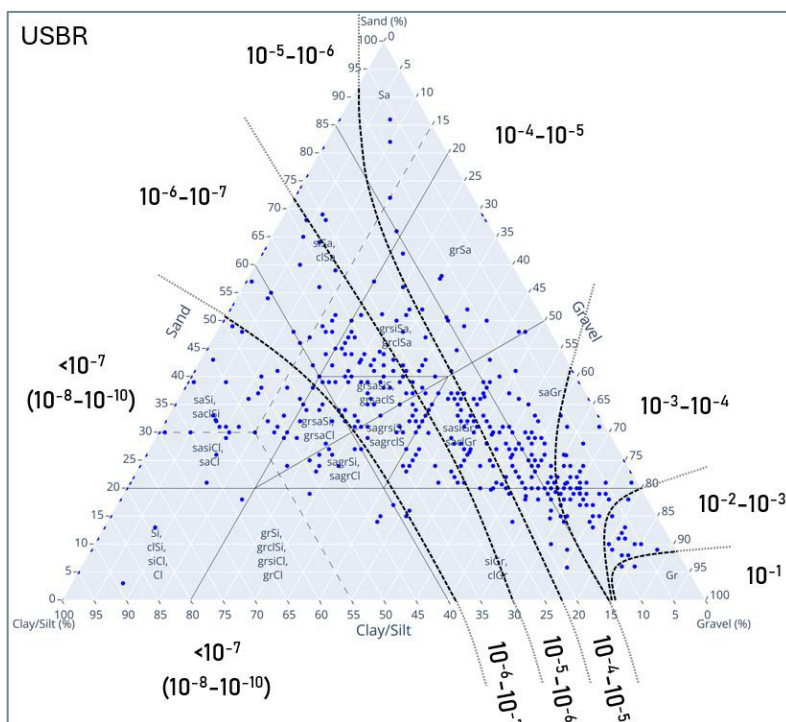
- metode so bolj ali manj primerne za določen tip sedimentov in pogoje sedimentacije,
- vzorci niso odvzeti naključno in za namen analize prepustnosti, temveč so izbrani večinoma za potrebe stabilnostnih razmer in temeljenja,
- odvzeti vzorci so reprezentativni za določeno tanjšo plast znotraj vrhnjih plasti,
- uniformnost, sortiranost, zbitost sedimenta in oblikovanost zrn je zelo raznolika,
- kakovost jedrovanja iz vrtin je zelo raznolika.

Posamezna zrnavostna sestava vzorca z določene globine ali lokacije ima zato zelo omejeno uporabnost pri dimenzioniranju zadrževalnih in ponikalnih sistemov, če ni vključena v celovito geotehnično in hidrogeološko presojo zemljišča. Šele kombinacija rezultatov več zrnavostnih sestav z drugimi vrstami preiskav omogoča zanesljivo oceno za načrtovanje sistemov za ponikanje in zadrževanje padavinskih voda.

Nekatere raziskave (npr., Urumović et al., 2020) in standardi (npr. DWA-A138E, str. 57) predlagajo določene korekcije prepustnosti, dobljene po različnih metodah. Tudi te korekcije pa so zopet lahko veljavne le za določeno območje ali določene razmere.

Šele na podlagi večjega števila vzorcev z območja mesta, ki vsebujejo podatke o zrnavostni sestavi tal, je možno izvesti statistično analizo, s katero se opredelijo značilni deleži posameznih sedimentnih frakcij in njihova povezava z razponi prepustnosti (Slika 2, Slika 3).

Geotehnične razvrstitve vzorcev zemljin so zelo raznolike zaradi sprememb standardov in nedoslednosti popisovalcev. V razpoložljivih popisih je potrebna preveritev teh popisov in izvedba popravkov, kjer se da zanesljivo ugotoviti odstopanja od standardnih opisov. Na primer, opis "prodno peščena zemljina" lahko nadomestimo s standardnim opisom "prodnat pesek (grSa)", če je to razvidno iz zrnavostne sestave ali drugih informacij (npr. značilnih prereзов).



Legenda

k (m/s)

odstotek gline/ mulja / peska

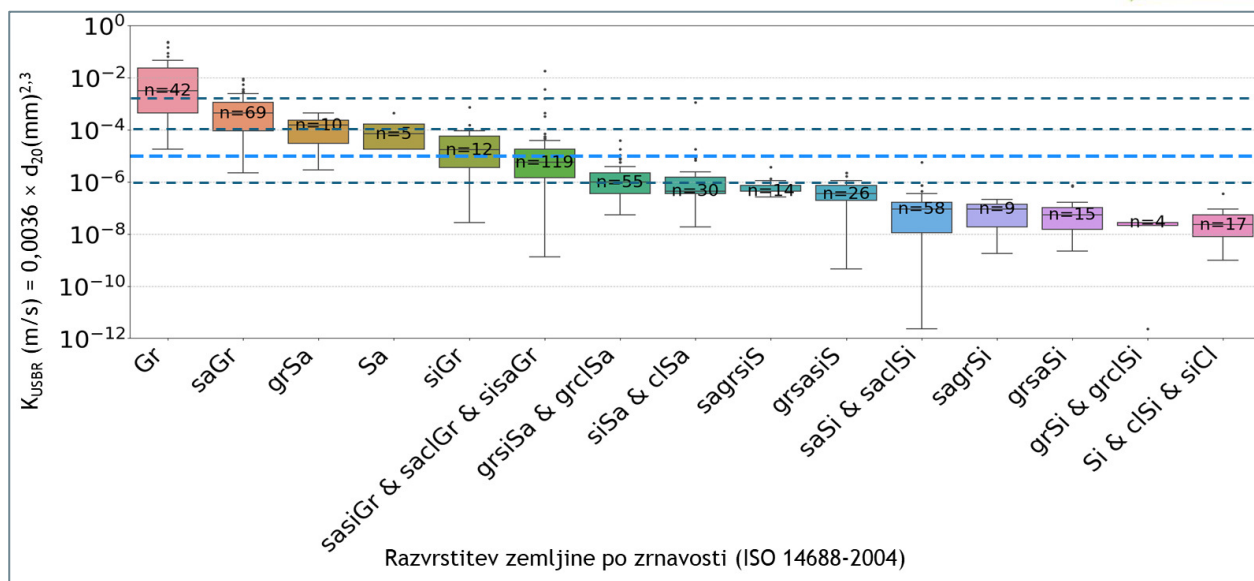
Sand - Sa - pesek

Gravel - Gr - gramoz

Clay - Cl - glina

Silt - Si - mulj

Slika 2. Pregled vzorcev z izmerjenimi zrnavostno sestavo in ocenjene vrednosti koeficienta vodoprepustnosti k po empirični enačbi USBR (primer Ljubljane).



Slika 3. Box-Whisker graf koeficienta prepustnosti USBR (k) za različne kategorije sedimentov na območju Ljubljane ($n = 496$). Iz grafa sta razvidna mediana in razpon koeficienta prepustnosti.

Ocenjene koeficiente vodoprepustnosti po enačbi (3) in (4) razvrstimo po skupinah zemljin glede na njihov geotehnični opis. Iz te primerjave je razvidno, kakšni so razponi prepustnosti po kategorijah zrnavostne sestave glede na izbrano empirično metodo določanja (npr. enačba 3 ali 4).

S statistično analizo izračunanih prepustnosti po enačbi (1) in (2) in standardnim geotehničnim opisom vzorca (Slika 3) lahko potem ocenimo prepustnosti vzorcev, na katerih ni bilo ugotovljene zrnavostne sestave ampak je podan le geotehnični opis. Zanesljivost napovedi koeficienta vodoprepustnosti teh vzorcev je manjša glede na tiste kateri je bila zrnavostna sestava ugotovljena.

Na primeru Ljubljane se pokaže, da se značilne razlike v izračunanih prepustnostih pojavijo pri mediani in kvartilnih vrednostih Q_1 in Q_3 (Slika 3) med ključnimi skupinami zemljin. Tako lahko računamo s prepustnostmi $k > 1 \times 10^{-4}$ m/s pri zemljinah, ki se uvrščajo v prod (Gr) in peščen prod (saGr). Pri zemljinah, ki se uvrščajo v prodnat pesek (grSa), pesek (Sa) in meljast prod (siGr), lahko računamo na prepustnosti med $k \approx 1 \times 10^{-4}$ m/s in $k \approx 1 \times 10^{-5}$ m/s. Za zemljine, ki se uvrščajo med peske z 20 do 30 % drobnnozrnate frakcije, lahko računamo na prepustnost med $k \approx 1 \times 10^{-5}$ m/s in $k \approx 1 \times 10^{-6}$ m/s. Pri zemljinah, pri katerih prevladuje melj, moramo računati na prepustnosti pod $k < 1 \times 10^{-6}$ m/s.

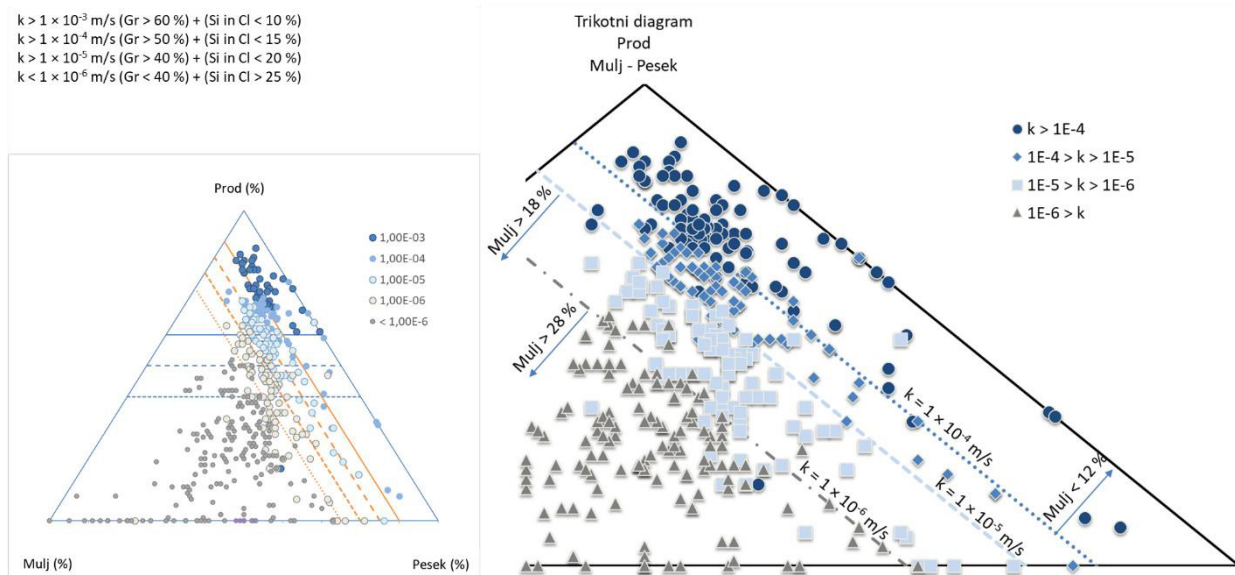
S pomočjo tega lahko pripravimo dovolj zanesljivo prostorsko razporeditev prepustnosti v vrhnjih plasteh, če upoštevamo, da imajo vrhnje plasti, kjer prevladujejo zemljine prodne in peščeno prodno sestave, dobro ponikalno sposobnost $k > 1 \times 10^{-4}$ m/s, peščene zemljine in prodne zemljine z več kot 18 % drobnnozrnate frakcije pa slabšo ponikalno sposobnost $k < 1 \times 10^{-5}$ m/s.

Hkrati lahko tudi pripravimo priporočilo, kako se iz geotehničnega opisa vzorca že lahko okvirno oceni pričakovani razred prepustnosti glede na delež mulja (Slika 4 - primer za Ljubljano).

Na sliki (Slika 4) je na levi strani prikazan celoten trikotni diagram, na desni strani pa povečava desnega dela tega diagrama. Na povečavi so podrobneje razvidni razredi velikosti prepustnosti (-6, -5 -4) in podrobnejši deleži mulja (28 %, 18 % in 12 %), ki predstavljajo privzete razmejitve med navedenimi razredi.



Ocena prepustnosti iz granulometrijskih analiz



Slika 4. Prikaz ocene prepustnosti peščeno prodnega materiala glede na delež mulja - prilagojene za primer Ljubljane.

Oceno prepustnosti vrhnjih plasti je potrebno opraviti, ne glede na uporabljene metode, s poznavanjem in upoštevanjem geoloških, hidrogeoloških oziroma geotehničnih razmer na obravnavanem območju, na podlagi katerih je možno ovrednotiti reprezentativnost arhivskih podatkov.

4.3. Omejitve ponikalne sposobnosti

Ključno vprašanje za geotehniko je, kakšne so omejitve za ponikanje.

Osnovna opredelitev ponikalne sposobnosti je prepustnost vrhnjih plasti tal.

Vrhnje plasti s prepustnostjo nižjo od $k = 5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ (ponikalna sposobnost 15 mm/uro, 50 l/s/ha) omogočajo učinkovito odvodnjo z večjim zadrževanjem, vsaj delnim ponikanjem padavinskih voda na gradbeni parceli in s prelivom. S takim delnim ponikanjem lahko kljub prelivu še vedno vračamo pomemben delež padavinske vode v vodonosnik in ohranjamo večji del naravne infiltracije padavin.

Tla so ugodna za ponikanje, kadar se prepustnost, merjena na podlagi nasičene vodrepustnosti (k_f), giblje med 10^{-6} m/s in 10^{-2} m/s . Kljub temu je ponikanje lahko priporočljivo tudi, če je prepustnost nižja od 10^{-6} m/s , saj lahko ustrezni ukrepi povečajo ponikalno sposobnost tal ali omogočijo globlje pronicanje vode, na primer z uporabo ponikalnega jaška ali vkopanega jarka.

Ponikanja praktično ne moremo priporočiti na glinenih tleh in mokriščih, saj so tla že do površja omočena, pretakanje vode pa je izredno majhno in počasno (Teller et al., 2023).

Omejitve ponikanja pa lahko predstavljajo še raznovrstne razmere, ki lahko nastopijo na določenem območju (TRCA, 2012), (Hauts de Seine, 2011):

1. Plitva gladina podzemne vode

Sezonsko visoka gladina podzemne vode, ki je manj kot 1 meter od dna ponikalnega sistema, omejuje ponikalno sposobnost iz dveh razlogov:

- poveča se vplivno območje ponikanja, ki se ob visokem vodnem stanju lahko razširi do bližnjih objektov, sosednjih zemljišč ali sosednjih ponikalnic. To lahko v neugodnih primerih povzroči zamakanje;



- zmanjša se zadrževalna vloga nenasičene cone, saj lahko visoka voda spere zadržana onesnaževala.

En meter debela nenasičena plast, ki ni prepustnejša od $k = 1 \times 10^{-3}$ m/s zagotavlja osnovne naravne čistilne sposobnosti filtriranja in zadrževanja sedimenta. S tem se preprečuje prenos sedimenta v vodonosnik. Na delce sedimenta se veže veliko onesnaževal, zato se s filtracijo omeji tudi prenos onesnaževal naprej v podzemno vodo.

2. Viseča podzemna voda

Viseča podzemna voda nastane zaradi prisotnosti vmesnih bolj prepustnih in slabo prepustnih plasti. Zaradi tega se navpična komponenta prepustnosti za infiltracijo padavin močno zmanjša. To povzroči vsaj občasno zastajanje podzemne vode na slabo prepustnih plasteh (glej poglavje 5.2), preden se zdrenirajo v globlje plasti.

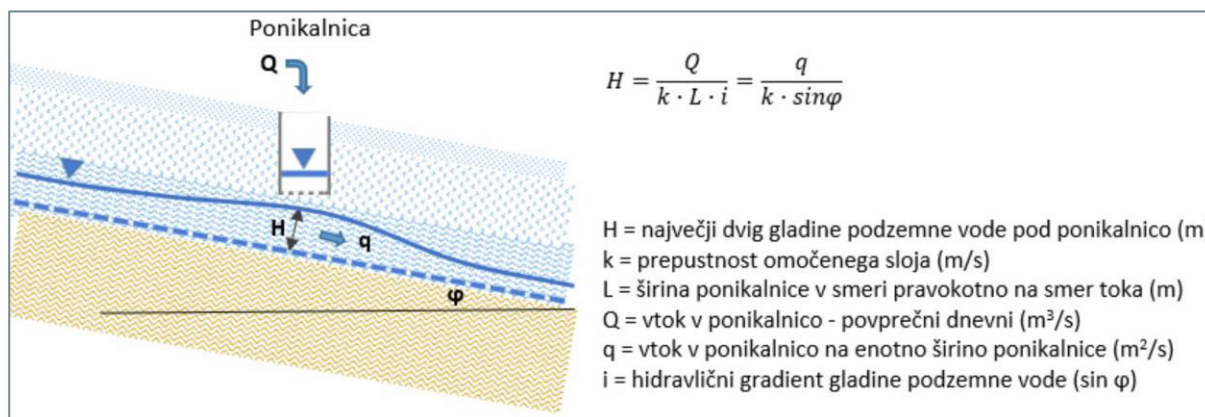
Če se viseča podzemna voda nahaja že plitvo pod površjem, se lahko vplivno območje ponikalnice razširi tako, da standardni priporočeni minimalni odmiki ne zadoščajo. V takih primerih je treba računati z večjim minimalnim odklikom od sosednjih objektov, zemljišč ali ponikalnic. Minimalni odklik se lahko preveri analitično ali z modelom (glej naslednjo točko).

3. Bližina sosednjih objektov ali zemljišč

Dvig gladine podzemne vode pod ponikalnico in vplivno območje dviga je najmočnejše pri tanki nezasičeni coni, nizki prepustnosti in velikih intenzitetah padavin. Model je posebej občutljiv na hidravlično prevodnost in debelino sedimentne plasti. Enostavnih analitičnih metod za izračun dviga in vplivnega območja ni. Uporabljajo se poenostavljene metode in numerični modeli. Uporaba modela, npr. HYDRUS omogoča tudi bolj realistično upoštevanje geometrije in hidrogeoloških lastnosti podtalja kot klasični analitični modeli (Carleton, G. B. 2010; Thompson, et al., 2007; Ali, S., Islam, A. 2019). Dobro oceno omogoča spletno orodje <https://dss.inowas.com/tools/T02>. Omejitve zaradi vplivov $dh > 0,1$ m na sosednjih zemljiščih ali objektih so ponavadi pričakovane pri tankem vodonosnem sloju (red velikosti 1 m) z nižjo prepustnostjo (red velikosti $k < 1 \times 10^{-5}$ m/s) in nizko učinkovito poroznostjo (10 %).

4. Plitva kamninska podlaga

Ob nalivih se na kamninski podlagi vzpostavi začasna gladina podzemne vode, zmanjšajo se zadrževalne sposobnosti suspendiranih delcev, pod dnom ponikalnice se dvigne gladina podzemne vode (Slika 5), poveča se vplivno območje ponikalnice, iz nenasičene cone se sperejo predhodno zadržana onesnaževala. Zmogljivost odvodnje v sedimentih nad plitvo kamninsko podlago je zelo omejena že pri prepustnostih okoli $k \approx 1 \times 10^{-4}$ m/s.



Slika 5. Ocena največjega dviga gladine podzemne vode pod ponikalnico (prirejeno po Bernier, 2001).

Prisotnost podlage vodonosnika, ki je manj kot 1 meter od dna ponikalnega sistema, ima podoben učinek kot plitva gladina podzemne vode, ki je manj kot 1 m pod dnom ponikalnice.



9. Bližina zajetij podzemne vode

Vodnjaki za pitno vodo lahko pridejo pod pomemben vpliv ponikalnic že zaradi mikrobiološkega onesnaženja. Mikroorganizmi preživijo pod gladino podzemne vode od nekaj do več deset dni. Minimalni potrebni odmiki so lahko zelo različni, glede na raznolikost razmer, predvsem na hitrost toka podzemne vode od ponikalnice proti vodnjaku. Tudi če tok ni usmerjen proti vodnjaku, je treba računati z minimalnim odkom vsaj 30 m. Vendarle je vsak primer treba posebej analitično preveriti, ali ta razdalja zadošča.

10. Onesnažena območja, odlagališča, območja onesnaženih tal

Ponikanje na območju onesnaženih tal ali podtalja bi povzročilo spiranje onesnaženja in prenašanje ter napredovanje onesnaževal v širše okolje.

Ponikanje izven območja onesnaženih tal, vendar v bližnji okolici, lahko vpliva na spremembo hitrosti in smeri odtekanja onesnaževal s tokom podzemne vode. S tem lahko pride do preusmeritve onesnaženja. Čeprav gre za navidezno majhno spremembo smeri, ima ta lahko pomembne posledice za drugo zajetje ali za sanacijske ali remediacijske ukrepe degradiranega območja. V kolikor se ponikalni sistem nahaja v bližini obstoječih vrtin za spremljanje kakovosti podzemne vode (v vplivnem območju), lahko hidravlična anomalija, ki nastane pri ponikanju večje količine vode, izkrivlja dejanske koncentracije onesnaževal na območju in vpliva na reprezentativnost vzorčenja.

Priporočljivo je računati z večjim odkom lokacije, to je 250 metrov od meje območja oziroma odlagališča.

11. Bližina rudarskih objektov ali drugih podzemnih prostorov

Praznina pod površjem tal predstavlja prazen prostor, v katerega se lahko nasuje material zaradi porušitev ali spiranja. Ponikanje, ki na majhni ponikalni površini A_p ponika padavinsko vodo z veliko večje zatesnjene površine A_{imp} , ima večjo erozijsko moč in lahko povzroči spiranje materiala, če se v bližini nahaja prazen prostor. To imenujemo notranja erozija. Učinek je enak kot v primeru nagnjenega površja (točka 5).

V primerih, ko obstaja možnost takih prostorov, je treba količino ponikanja omejiti tako, da ne bo večja od naravne infiltracije in da vplivno območje ponikanja ne sega do takih prostorov.

12. Možnost nastopanja sadre

Velja enako kot pri pojavih nabreklih glin. Pri pripravi karte ponikalne sposobnosti je treba preveriti, ali na obravnavanem območju nastopajo geološke plasti, ki vsebujejo sadro. Take plasti je treba prikazati v posebnem sloju in ugotoviti, ali lahko kakršnokoli izvajanje ponikanja kakorkoli vpliva na povečanje stika sadre z vodo. Kjer obstaja taka možnost, je treba ponikanje prepovedati.

13. Možnost nastopanja nabreklih glin

Velja enako kot pri možnosti pojava sadre. Pri pripravi karte ponikalne sposobnosti je treba preveriti, ali na obravnavanem območju nastopajo geološke plasti, ki vsebujejo nabreklih glin. Take plasti je treba prikazati v posebnem sloju in ugotoviti, ali lahko kakršnokoli izvajanje ponikanja kakorkoli vpliva na povečanje stika nabreklih glin z vodo. Kjer obstaja taka možnost, je treba ponikanje prepovedati.

14. Varovana območja

Če gre za ponikanje na varovanem območju, je treba natančno preučiti omejitve in zahteve, ki veljajo na določenem območju.

Okvirno velja, da ima ponikanje sprejemljiv vpliv, če ne more povzročiti:

- pojava nevarnih snovi v podzemni vodi,
- pojava naraščanja drugih snovi ali presežanja relativne občutljivosti podzemne vode zaradi katerekoli druge snovi,
- spremembe temperature podzemne vode za več kot 1°C na sosednjih zemljiščih,
- spremembe smeri toka podzemne vode,
- spremembe gladine podzemne vode za več kot 0,1 m na sosednjih zemljiščih.



Navedeni pogoji lahko veljajo tudi za določitev odmika ponikanja od varovanega območja, če niso določeni ali dogovorjeni drugačni pogoji ali odmiki.

15. Zamrznjena tla

Posebna problematika je ponikanje padavin, ki padejo na zmrznjena tle brez snega. Gre za poseben primer kot so tudi posebni primeri vse tč. 1-13. Priporočilo je, da se načrtujejo tudi takšni elementi odvodnjavanja, ki omogočajo odvod vode v podzemne ponikovalnice, ki so običajno pod cono zamrzovanja in omogočajo ponikanje tudi ob zamrznjenih tleh.

5. Prilagoditev karte lokalnim podnebnim razmeram

5.1. Jakost nalivov na območju

Intenziteta nalivov je v različnih krajih lahko bistveno različna. Na spodnjem primeru so prikazane ekstremne padavine za Ljubljano (Preglednica 1), ki so razmeroma visoke. Vrednosti so preračunane po podatkih modela Crossrisk (2022) iz $h_{(r,D)}$ (mm) v $q_{(r,D)}$ (l/s/ha). Podatki se običajno podajajo na tri načine: to je v mm, mm/h ali l/s/ha. Pretvorbe so podane v enačbah (5) do (7).

Preglednica 1. Primer podatkov qrD za ekstremne padavine za Ljubljano (l/s/ha) (crossrisk.eu/sl/climate).

r (let)	1*	2*	5	10	25	50	100	250
D (min)								
5	320	358	400	467	567	633	667	767
10	217	246	283	333	400	450	500	583
15	175	199	233	267	322	367	411	478
20	145	166	192	233	275	317	358	417
30	117	133	156	183	222	250	283	333
45	90	103	122	141	174	196	222	263
60	75	86	100	119	144	164	186	219
90	58	66	78	93	111	128	144	170
120	48	55	64	76	92	106	119	140
180	37	43	50	58	70	81	91	106
240	31	35	41	49	58	66	74	88
300	27	31	36	42	50	57	64	74
360	24	27	32	37	44	50	56	65
540	19	21	24	28	33	37	42	48
720	15	17	20	23	27	30	34	38
900	13	15	17	19	23	25	28	32
1080	11	13	15	17	20	22	24	28
1440	9	10	12	13	16	17	19	22
2880	5	6	7	8	9	10	11	12
4320	4	4	5	6	6	7	8	9
5760	3	4	4	4	5	6	6	7
7200	3	3	3	4	4	5	5	6

*interpolirane vrednosti

$$1 \text{ l/s/ha} = 1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s/m}^2 = 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

$$q_{(r,D)}[\text{l/s/ha}] = \frac{h_{(r,D)}[\text{mm}]}{D[\text{min}]} \times 166,7 \quad (5)$$

$$h_{(r,D)}[\text{mm}] = q_{(r,D)}[\text{l/s/ha}] \times D[\text{min}] \times 0,006 \quad (6)$$

$$q_{(r,D)}[\text{l/s/ha}] = I_{(r,D)}[\text{mm/h}] \times 2,87 \quad (7)$$



5.2. Ponikalna sposobnost tal glede na značilne nalive

5.2.1. Slabša ponikalna sposobnost

Če je intenziteta naliva ($q_{(r,D)}$) višja od specifične ponikalne sposobnosti zemljišča (q_p), pride do zastajanja vode na zemljišču in prelivanja z njega. Ponikalna sposobnost tal je praktično konstantna, medtem ko se intenziteta naliva spreminja. Presežek dotoka vode iz naliva je treba torej zadrževati v času naliva, ko je dotok padavin večji od ponikalne sposobnosti tal na danem zemljišču ($q_{(r,D)} > q_p$).

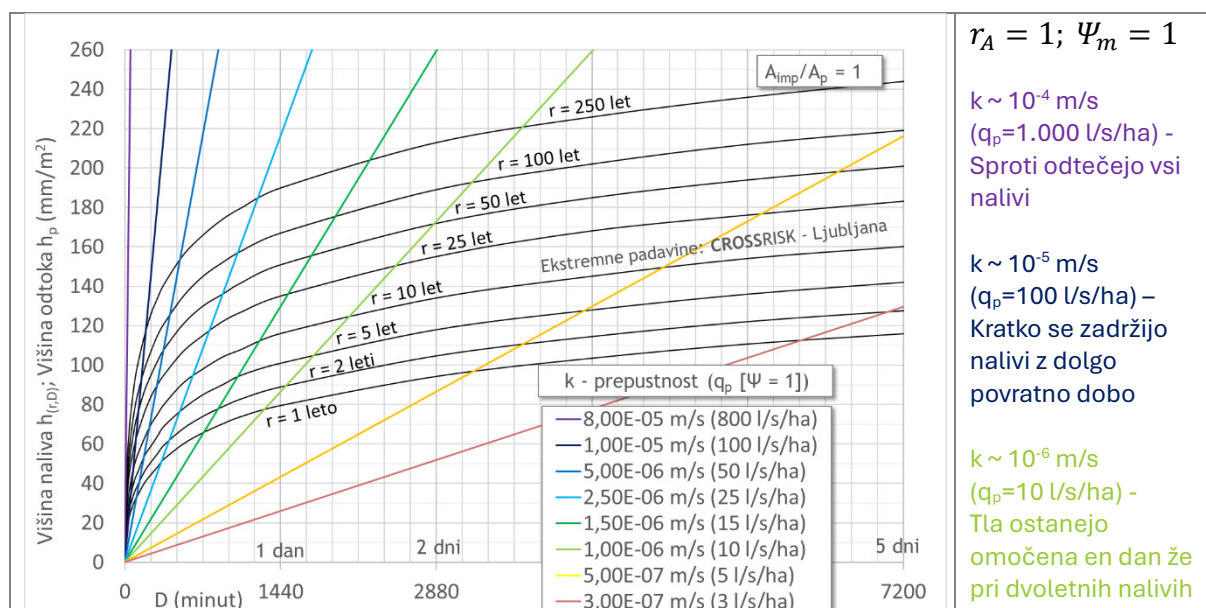
$$V_p = q_p \times D \times A = h_p \times A \quad (8)$$

$$h_p = q_p \times D \quad (9)$$

$$V_{r,D} = h_{(r,D)} \times A \quad (10) \quad q_p = \frac{k}{r_A} \times i \quad (11)$$

$q_{(r,D)}$	Specifični dotok iz naliva s povratno dobo r (let) in trajanjem naliva D (minut) (l/s/ha)
$I_{r,D}$	Intenziteta padavin (mm/h)
q_p	Specifična ponikalna sposobnost ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2 = \text{l/s/ha} \times 10^{-7}$)
k	Koeficient vodoprepustnosti (m/s)
i	Hidravlični gradient (-)
D	Čas naliva (s)
A	Površina zemljišča (m^2)
h_p	Višina infiltracije (odtoka) vode z zemljišča (mm/ m^2)
V_p	Prostornina infiltrirane (odtekle) vode z zemljišča (m^3)
A_{imp}	Zatesnjena površina zemljišča (m^2)
A_p	Površina ponikanja (m^2)
r_A	Razmerje med neprepustno površino zemljišča in ponikalno površino A_{imp} / A_p (-)
$h_{(r,D)}$	Višina vode iz naliva s povratno dobo r (let) in trajanjem naliva D (minut) (mm/ m^2)
$V_{r,D}$	Prostornina vode doteke iz naliva s povratno dobo r (let) in trajanjem naliva D (minut) (m^3)

Prepustnost in specifična ponikalna sposobnost tal morata biti v danem primeru Ljubljane vsaj $k \geq 1,5 \times 10^{-6}$ m/s, oziroma $q_p = 15$ l/s/ha, da lahko v enem dnevu ponikne večja količina vode, kot je pade v enodnevem desetletnem nalivu (Slika 7). Za odtok enoletnih dnevnih padavin mora biti prepustnost vsaj $k \geq 1,0 \times 10^{-6}$ m/s in $q_p = 10$ l/s/ha.



Slika 7. Intenziteta nalivov (primer Ljubljana) v primerjavi s ponikalno sposobnostjo tal ($D = 0$ do 5 dni).



Pri prepustnosti $k \approx 5 \times 10^{-7}$ m/s, oziroma specifični ponikalni sposobnosti $q_p = 5$ l/s/ha so vsakoletne 2-dnevne padavine višje kot lahko odtečejo v podtalje. Pri prepustnosti $k \approx 3 \times 10^{-7}$ m/s, oziroma specifični ponikalni sposobnosti $q_p = 3$ l/s/ha pa so tla lahko omočena še pri vsakoletnih štiridnevni padavinah (Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.).

5.2.2. Boljša ponikalna sposobnost

Prepustnost $k \geq 1,75 \times 10^{-5}$ m/s, oziroma specifična ponikalna sposobnost vrhnjih plasti $q_p = 175$ l/s/ha je že povsem ugodna, saj pri dvoletnih nalivih ne more priti do kakršnegakoli odtoka s parcele, če se na zemljišču kratkotrajno zadrži le 5 mm padavinske vode (5 l/m² ali 50 m³/ha) (Slika 8).

Pri prepustnosti $k \approx 5 \times 10^{-5}$ m/s, oziroma specifični ponikalni sposobnosti $q_p = 500$ l/s/ha se nalivi s povratno dobo do 10 let niti kratkotrajno ne zadržijo v tleh.

Pri prepustnosti $k > 8 \times 10^{-5}$ m/s pa sproti poniknejo tudi nalivi s povratno dobo 250 let (Slika 8).

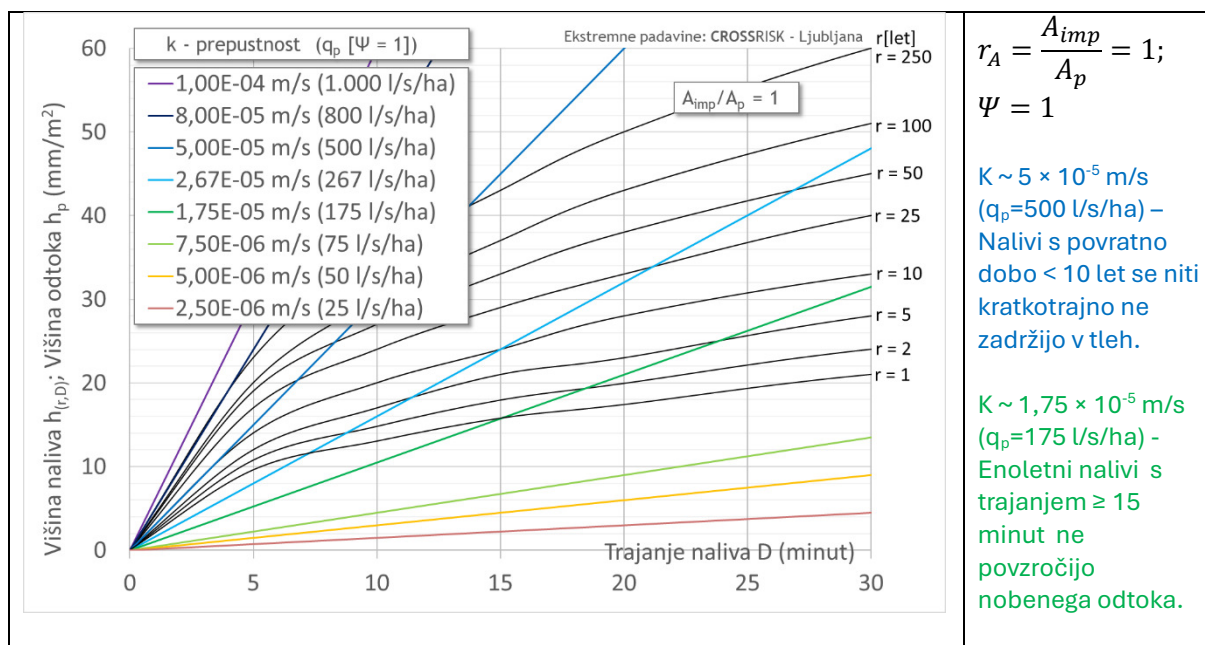
Za naravne razmere privzamemo, da pri ponikanju sodeluje celotna površina zemljišča. Če želimo, da voda iz naliva na zemljišču ponika le na delu zemljišča (A_p), se njegova ponikalna sposobnost sorazmerno zmanjša, kolikor je ponikalna površina manjša od odvodnjavane zatesnjene površine (A_{imp} / A_p).

$$q_p = \frac{k}{r_A} \times i \quad (12)$$

$$r_A = \frac{A_{imp}}{A_p} \quad (13)$$

$$i = 1 \wedge r_A = 1 \Rightarrow q_p = k \quad (1 \text{ l/s/ha} = 1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s/m}^2 = 1 \times 10^{-7} \text{ m/s})$$

Na primer: $i = 1$; $r_A = 1$; $k = 1,75 \times 10^{-5}$ m/s $\Rightarrow q_p = 175$ l/s/ha; $r_A = 10 \Rightarrow q_p = 17,5$ l/s/ha



Slika 8. Intenziteta nalivov (primer Ljubljana) v primerjavi s ponikalno sposobnostjo tal ($D = 0$ do 30 minut).

5.2.3. Naravni odtok

Naravna zadrževalna sposobnost padavin na zemljišču lahko delno zadrži padavine, da ne odtečejo s polno intenziteto. Privzamemo lahko, da gre, podobno kot pri padavinskem pragu, za manjšo zadržano specifično prostornino, verjetno okoli 5 do 10 mm/m², ki se zadrži v prvih 15 minutah. Če se na zemljišču lahko zadrži



vsaj 5 mm in če lahko odteče 175 l/s/ha ($q_{(1,15)}$), potem ta količina odтока ne bo presežena, čeprav je 5-minutna intenziteta skoraj dvakrat večja, to je 320 l/s/ha ($q_{(1,5)}$) (Slika 8, Preglednica 1).

Naravno stanje na območju prostorskega razvoja mesta običajno predstavljajo zemljišča s travnatimi ali zaraščenimi površinami, vrtovi, orno zemljo, z ravnim do strmim nagibom. Koeficient odтока v takem izhodiščnem stanju Ψ_0 je med 0,0 in 0,3. V splošnem lahko računamo, da je površinski odток, ki ga je treba urejati s teh zemljišč v izhodiščnem stanju, q_0 približno 10 % - 20 % vode iz naliva $q_{(r,D)}$:

$$q_{(r,15)} \text{ (l/s/ha)} \times \Psi_0 = 0,1 \times q_{(r,15)} < q_0 < q_{(r,15)} \text{ (l/s/ha)} \times \Psi_0 = 0,2 \times q_{(r,15)} \quad (14)$$

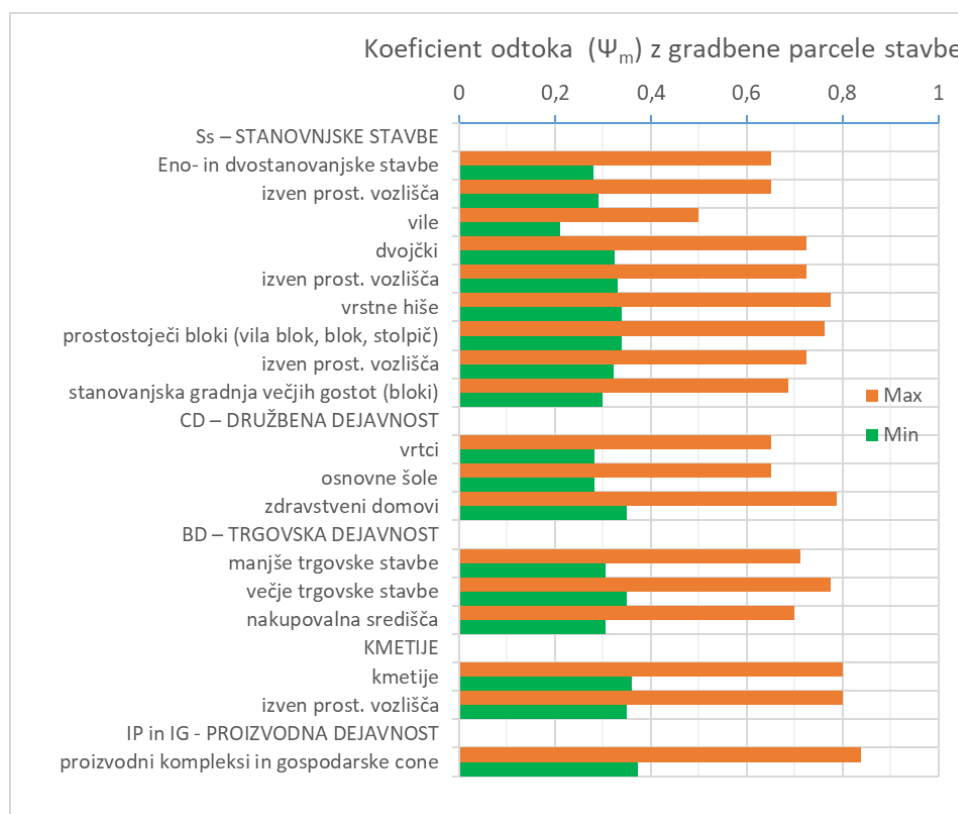
Če urejamo zemljišča za varnost s povratno dobo 5 let in tako dimenzioniramo sistem odvodnje, je treba v prikazanem primeru računati z zmogljivostjo sistema 23,3 do 46,6 l/s/ha (Preglednica 2). Če gre pretežno za zemljišča z blagim nagibom, bi bil sistem odvodnje dimenzioniran na odток 23,3 l/s/ha.

Preglednica 2. Petnajstminutni nalivi s povratnimi dobami 1 – 10 let (Slika 9).

	$h_{(r,15)}$ (mm)	$q_{(r,15)}$ (l/s/ha)	$q_{(r,15)}$ (l/s/ha); $\Psi_0=0,1$	$q_{(r,15)}$ (l/s/ha); $\Psi_0=0,2$
$r=1$ leto	16	175	17,5	35
$r=2$ leti	18	199	19,9	39,8
$r=5$ let	21	233	23,3	46,6
$r=10$ let	24	267	26,7	53,4

5.2.4. Povečani odток po izvedbi posegov

Posegi in gradnja na zemljišču lahko bistveno povečajo zatesnjenost zemljišča in skupni odtočni koeficient Ψ_m . S tem se bistveno poveča tudi odток padavinske vode ob nalivu. Okvirni razpon pričakovanih vrednosti odtočnega koeficienta Ψ_m gradbene parcele stavbe je med 0,2 in 0,8 (Slika 9).



Slika 9. Računski razpon koeficienta odтока z različnih gradbenih parcel stavbe.



Če vzamemo za primer običajno gradbeno parcelo velikosti 310 m², namenjeno vrstni hiši, lahko računamo, da se bo največji površinski odtok ob nalivu z dvoletno povratno dobo povečal z 0,62 l/s na 3,98 l/s (Preglednica 3). Odtok se je v tem primeru povečal zaradi povečanja zatesnjenosti zemljišča in skupnega odtočnega koeficienta z $\psi_m = 0,1$ na $\psi_m = 0,65$.

Če želimo, da površinski odtok tudi po posegu ne bo večji od 0,62 l/s, moramo vodo iz naliva začasno zadrževati in jo počasi oziroma dušeno odvajati. V nasprotnem primeru bo povečani površinski odtok obremenil sosednje zemljišče, odvodni jarek ali kanalizacijo.

Če lahko ponikamo ves presežek vode, ki nastane zaradi posega in povečane zatesnjenosti zemljišča, ni potrebno zadrževanje oziroma odvajanje v površinske jarke, vode ali v kanalizacijo.

Preglednica 3. Prikaz spremembe odtoka na primeru gradbene parcele z vrstno hišo.

Vrstna hiša		310	m ²	$q_{(n,D)}$ (l/s/ha)	$q_{(2,15)}$	199
Novo stanje						Novo stanje
Površine		m ²	ψ_m		A_{imp} (m ²)	odtok l/s
FZ 48%	Zemljišče pod stavbo in pripadajočimi pomožnimi objekti	150	0.9	Poševna streha - strešniki	135	2.69
FRP 23%	Zelene površine - raščeni teren	70	0.1	Travniki, ravno površje	7	0.14
FU-I 6%	Odperte bivalne površine - zelene	20	0.15	Tlakovci z vmesno travo	3	0.06
	Odperte bivalne površine - tlakovane	20	0.5	Trdni tlak s prodniki	10	0.20
FU-I 16%	Tlakovane prometne in funkcionalne površine	50	0.9	Asfalt, brezšivni beton	45	0.90
SKUPAJ		310	0.65		200	3.98

		310		$q_{(n,D)}$ (l/s/ha)	$q_{(2,15)}$	199
Izhodišno stanje						Izhodišno stanje
Površine		m ²	ψ_m		A_{imp} (m ²)	odtok l/s
100%	zazidana površina	0	0.9	Poševna streha - strešniki	0	0.00
	zelene površine	310	0.1	Travniki, ravno površje	31	0.62
	odperte bivalne površine - zelene	0	0.15	Tlakovci z vmesno travo	0	0.00
	odperte bivalne površine - tlakovane	0	0.6	Trdni tlak s prodniki	0	0.00
	tlakovane prometne in funkcionalne površine	0	0.9	Asfalt, brezšivni beton	0	0.00
SKUPAJ		310	0.10		31	0.62

Razlika (l/s):						3.36
----------------	--	--	--	--	--	------

5.2.5. Zadrževanje povečanega odtoka

Potreba po zadrževanju presežka odtoka, ki nastane zaradi posega na zemljišču (gradnje, ureditve, idr.), je odvisna od stabilnostnih razmer na zemljišču, ponikalne sposobnosti zemljišča, zmogljivosti odvodnega jarka ali vodotoka, ali nazadnje, od zmogljivosti kanalizacije. Lahko pa tudi od kombinacije vseh naštetih možnosti.

Ponikalna sposobnost q_p (m/s) je v prvi vrsti odvisna od prepustnosti k (m/s) in ponikalne površine A_p (m²). Če želimo ponikati vodo iz naliva na ponikalni površini, ki predstavlja eno desetino zatesnjene površine ($r_A = 10$), potem bo ponikalna sposobnost desetkrat manjša.

$$q_p(\text{m/s}) = \frac{k \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \times i}{r_A} \quad (15)$$

Za čas trajanja naliva, ko je dotok iz naliva večji kot je ponikalna sposobnost, je treba predvideti zadrževanje.

Specifična zadrževalna prostornina V'_z (m³/m²), oziroma višina zadrževanja Δh [mm] je odvisna od razmerja r_A , od koeficienta prepustnosti k (m/s) in povratne dobe naliva r (let) (Slika 10, Slika 11).

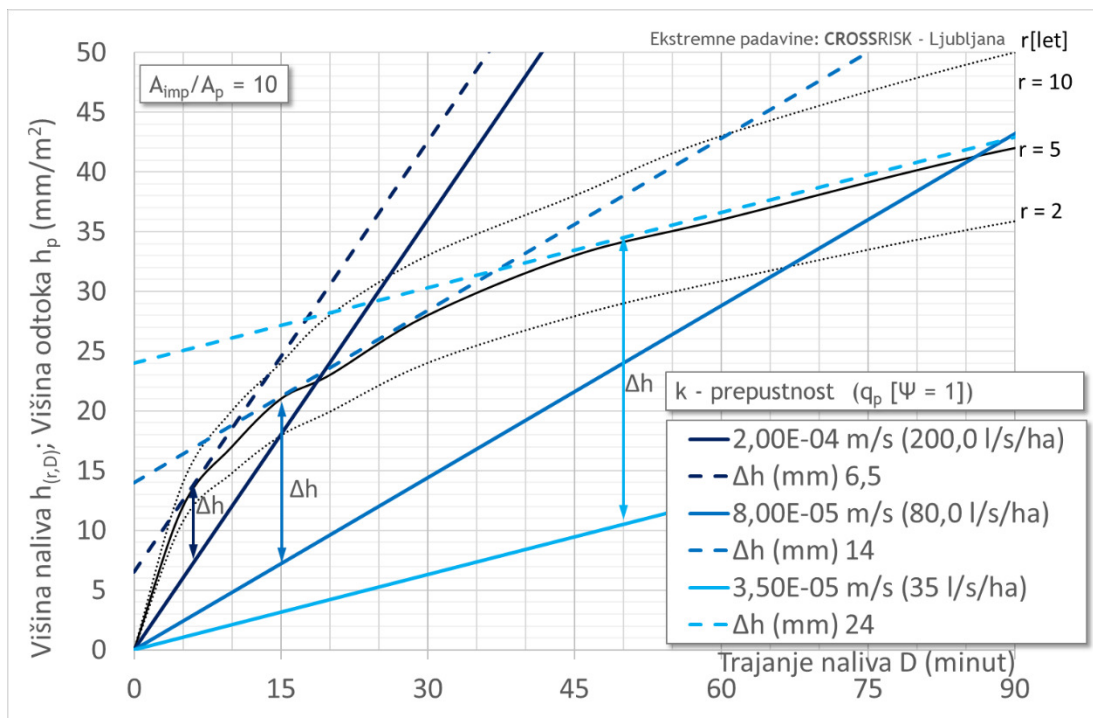
$$\text{Enačba za } V'_z \text{ in } \Delta h: V'_z = \Delta h = D(q_{(r,D)} - q_p) \quad (16)$$



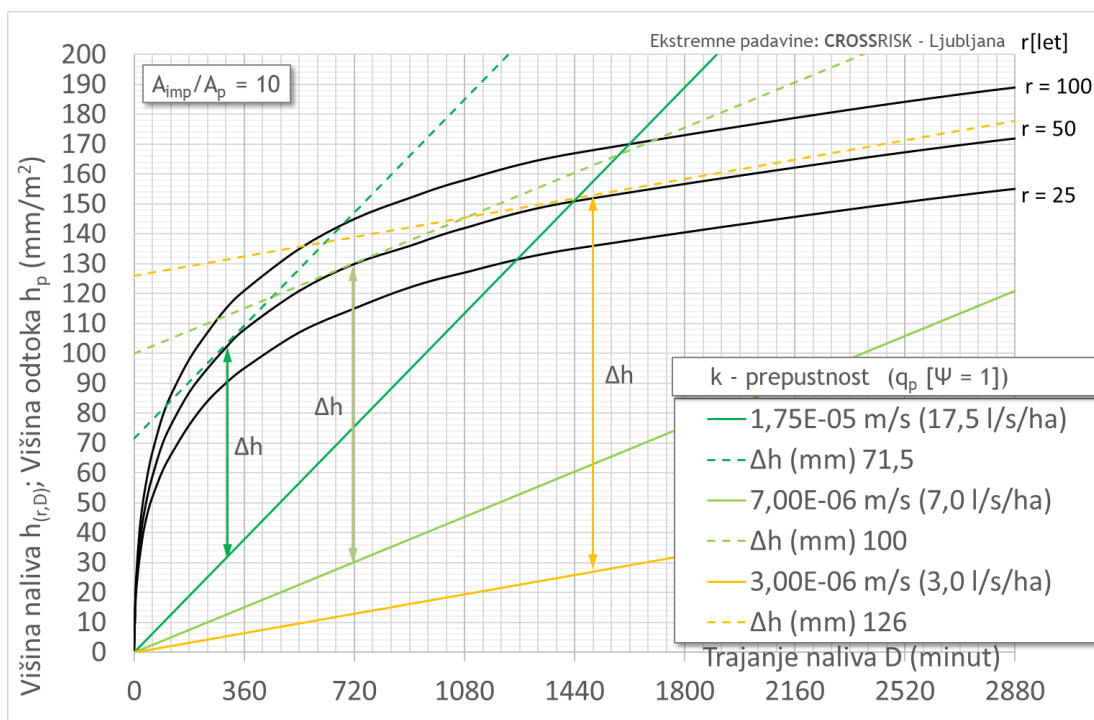
Na podlagi tega lahko za določeno mesto izdelamo tipske krivulje za izračun specifične zadrževalne prostornine (Slika 12, Preglednica 4).

Potrebna največja zadrževalna prostornina V_z se potem izračuna kot:

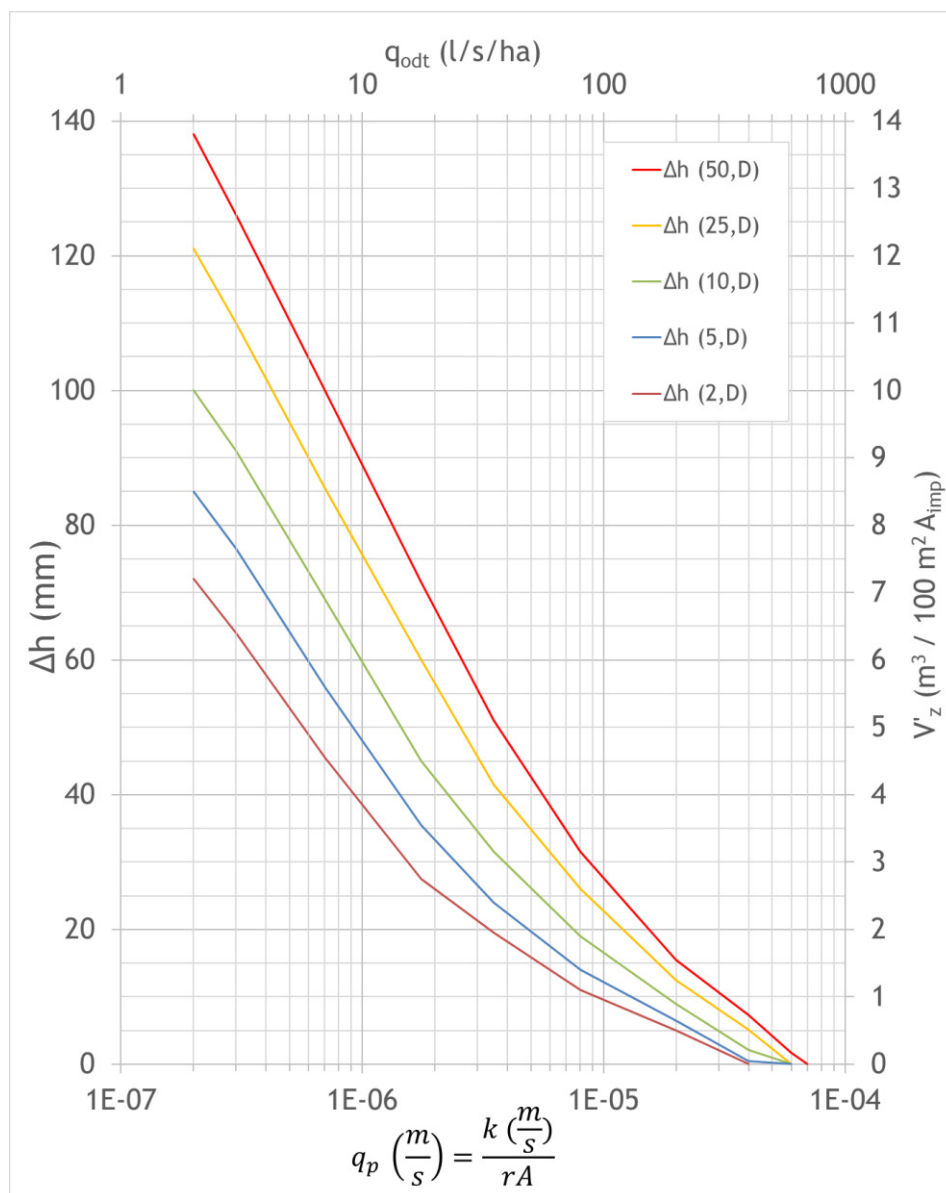
$$V_z = \Delta h \cdot A_{imp} \quad (17)$$



Slika 10. Višina zadrževanja Δh (mm) = $f(k$ (m/s), $r_A=10$, $r = 2, 5, 10$ let), primer Ljubljana.



Slika 11. Višina zadrževanja Δh [mm] = $f(k$ [m/s], $r_A=10$, $r = 25, 50, 100$ [let]), primer Ljubljana.



Slika 12. Tipске krivulje za Ljubljano za izračun specifične zadrževalne prostornine za padavinske vode.

Preglednica 4. Višine zadrževanja Δh (mm) pri nalivih z različno povratno dobo in trajanjem (r, D).

k (m/s)	Δh (2,D)	Δh (5,D)	Δh (10,D)	Δh (25,D)	Δh (50,D)
2,00E-07	72	85	100	121	138
3,00E-07	64	76,5	91	110	126
7,00E-07	45,5	56	69	85,5	100
1,75E-06	27,5	35,5	45	60	71,5
3,50E-06	19,5	24	31,5	41,5	51
8,00E-06	11	14	19	26	31,5
2,00E-05	5	6,5	9	12,5	15,5
4,00E-05	0	0,5	2,1	5,1	7,3
6,00E-05		0	0	0	1,7
7,00E-05					0

Za oceno potrebne zadrževalne prostornine nalivov z različnimi povratnimi dobami moramo poznati koeficient prepustnosti zemljišča (k) in predvideno razmerje med zatesnjeno in ponikalno površino (r_A). S



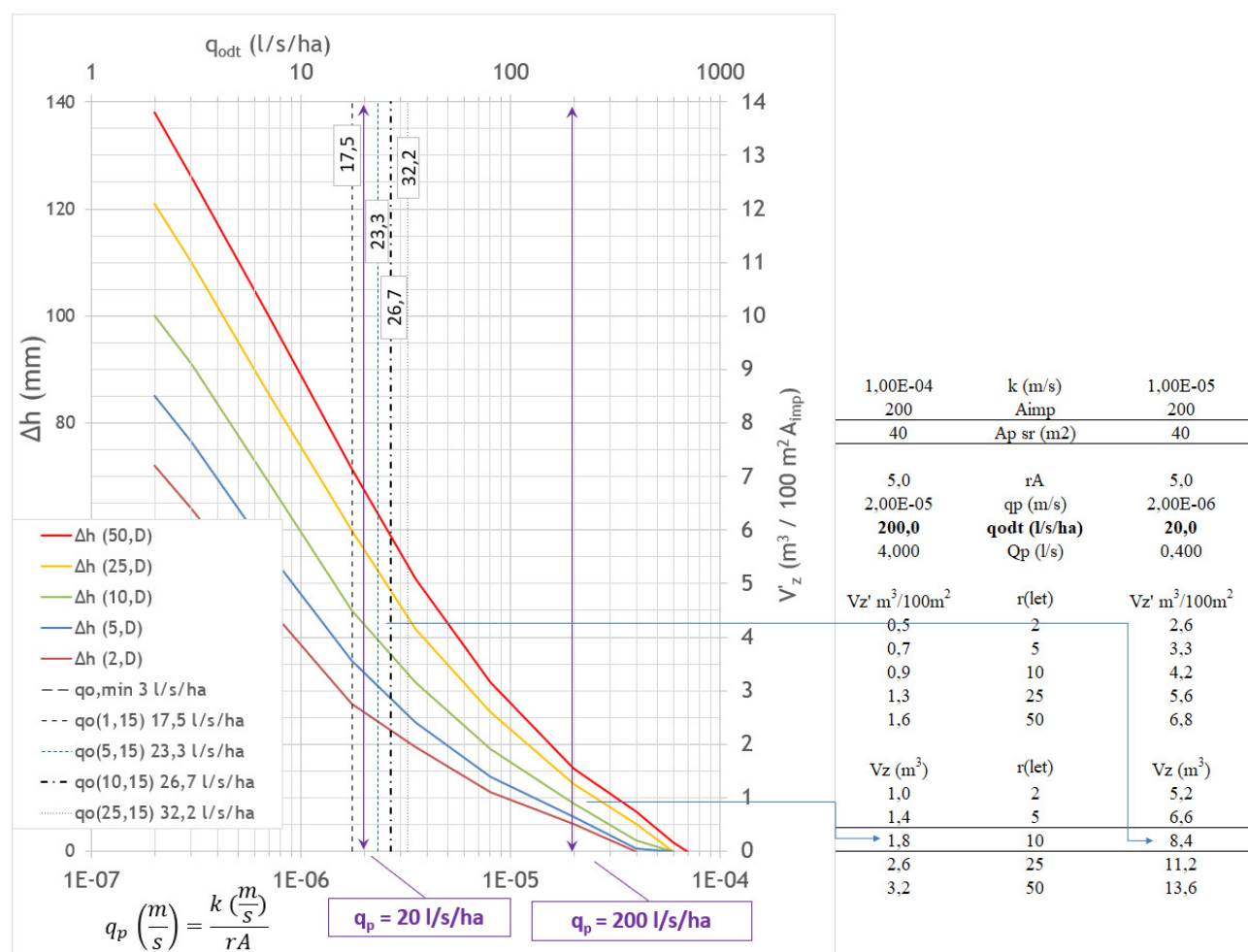
tem izračunamo ponikalno sposobnost q_p in nato iz tipske krivulje odčitamo specifične zadrževalne prostornine V'_z (m^3/m^2) za nalive z različnimi povratnimi dobami. Če specifično zadrževalno prostornino pomnožimo z zatesnjeno površino A_{imp} , dobimo potrebno zadrževalno prostornino V_z (m^3) za naliv z izbrano povratno dobo r (let) (Slika 12).

Če je poleg ponikanja predviden še drug izpust (na površje, v jarek, vodotok, kanalizacijo), se vrednost dovoljenega izpusta prišteje kot prispevek k zmogljivosti ponikanja in nato s krivulje odčitamo, kakšna je specifična zadrževalna prostornina.

Primer vrstne hiše (Preglednica 3) lahko uporabimo za ponazoritev mejnih vrednosti prepustnosti oziroma ponikalne sposobnosti na Karti ponikalne zmogljivosti.

Primer vrstne hiše (Preglednica 3):

Izbrani primer predpostavlja, da bo ponikalna površina obsegala vsaj 20 % zatesnjene površine ($r_A = 5$). Celotna raščena površina ($\text{FRP} \geq 0,2$) je velikosti 70 m^2 , zatesnjena površina $A_{\text{imp}} = 200 \text{ m}^2$. Ponikalna površina bi torej zavzela $A_p = 40 \text{ m}^2$, kar je dobro polovico od skupne površine raščenelega terena. Tako razmerje med zatesnjeno in raščeno površino je zelo ugodno s stališča čiščenja padavinske vode, posebej če se ponikanje izvede prek zelene površine, torej biološko aktivnih tal.



Slika 13. Primer izračuna zadrževalnih prostornin za nalive različnih povratnih dob s pomočjo tipskih krivulj za Ljubljano.

1) Prepustnost $\geq 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (srednja ponikalna sposobnost):

V primeru srednje ponikalne sposobnosti bi bila potrebna največja zadrževalna prostornina največ $5,2 \text{ m}^3$ (2-letna povratna doba) ali $8,4 \text{ m}^3$ (10 letna povratna doba) (Slika 13). Če bi bila na ponikalni površini 40 m^2



na raščnem terenu urejena uleknina, bi se ob 10-letnem nalivu v njej zadržala voda v višini 21 cm, ki bi odtekla v 5,8 ure (Preglednica 5).

2) Prepustnost $\geq 1 \times 10^{-4}$ m/s (dobra ponikalna sposobnost):

V primeru dobre ponikalne sposobnosti bi bila največja potrebna zadrževalna prostornina $1,0 \text{ m}^3$ (2-letna povratna doba) ali $3,2 \text{ m}^3$ (50 letna povratna doba) (Slika 13). Če bi bila na ponikalni površini 40 m^2 na raščnem terenu urejena uleknina, bi se ob 50-letnem nalivu v njej zadržala voda v višini 8 cm, ki bi odtekla v 2,2 ure (Preglednica 5).

Preglednica 5. Višina vode v uleknini Δh (m) in čas praznjenja $t(h)$ v primeru dobre in srednje ponikalne sposobnosti.

Povratna doba naliva	1×10^{-4} m/s		1×10^{-5} m/s	
	Višina vode	Čas praznjenja	Višina vode	Čas praznjenja
r (let)	Δh (m)	$q_p(h)$	Δh (m)	q_p (h)
2	0,025	0,7	0,13	3,6
5	0,035	1,0	0,165	4,6
10	0,045	1,3	0,21	5,8
25	0,065	1,8	0,28	7,8
50	0,08	2,2	0,34	9,4

6. Grafika karte ponikalnih sposobnosti

6.1. Prikaz ponikalne sposobnosti

Prednostne aktivnosti pri upravljanju padavinske odpadne vode so odvisne od posamezne lokalne skupnosti ali države in lahko kot prednostno izbiro navajajo bodisi infiltracijo ali zadrževanje padavinske vode, ki pade v obliki nalivov.

V primerih dobrih praks (poglavje 1.2) so območja na kartah »potenciala infiltracije« oz. ponikalne sposobnosti razvrščena v kategorije, ki opredeljujejo primernost območja za infiltracijo odpadne padavinske vode, npr. dober potencial, zmeren potencial, slab potencial in območja z omejitvami, kjer infiltracija ni priporočljiva ali je celo prepovedana.

Na prikazanem primeru Ljubljane je na podlagi lokalnih hidrogeoloških (poglavje 4.) in podnebnih razmer (poglavje 4.3.) na njenem funkcionalnem mestnem območju smiselno prikazati ponikalne sposobnosti vrhnjih plasti v treh razredih (Slika 16):

- 1- Dobra ponikalna sposobnost: $q_p > 1 \times 10^{-4}$ m/s
- 2- Srednja ponikalna sposobnost: 1×10^{-4} m/s $> q_p > 1 \times 10^{-5}$ m/s
- 3- Slabša ponikalna sposobnost: $q_p < 1 \times 10^{-5}$ m/s

Karta ponikalne sposobnosti vpeljuje tri glavne kategorije in usmeritve za ponikanje:

- 1: Dobra ponikalna sposobnost:

Izvedljivo je ponikanje celotne količine padavinske vode iz nalivov, praktično brez ali z manjšim zadrževanjem.



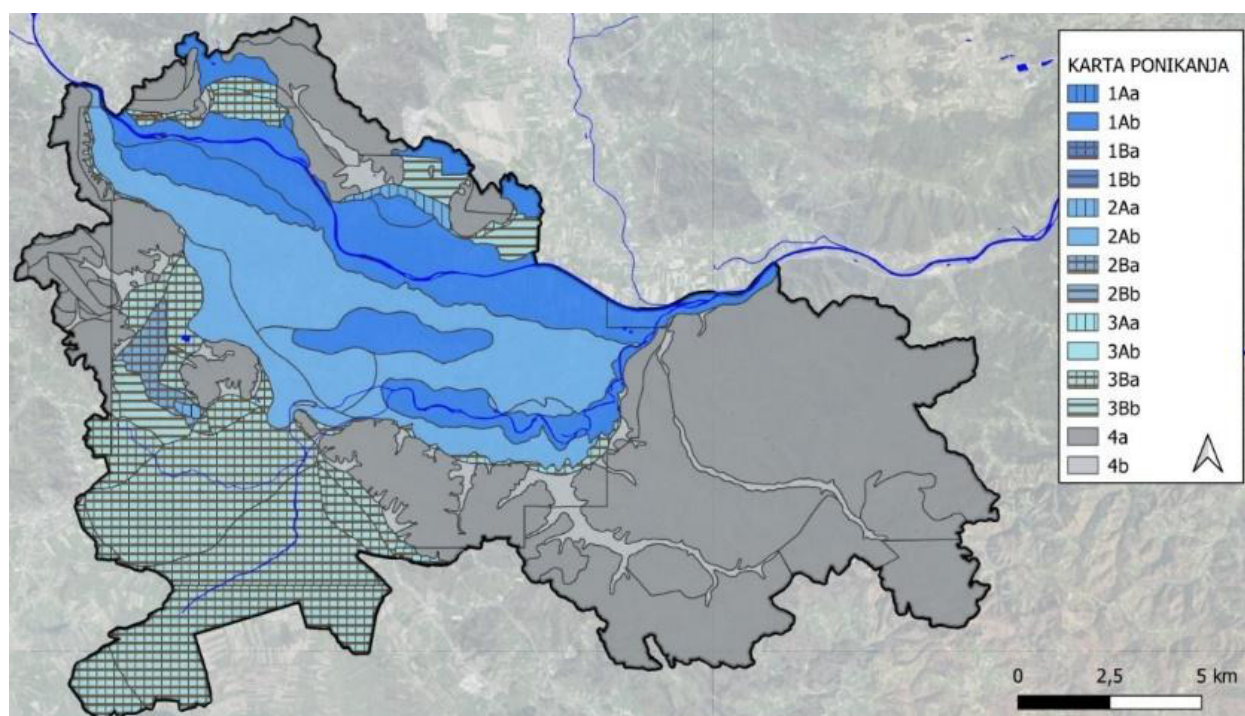
2: Srednja ponikalna sposobnost:

Izvedljivo je ponikanje celotne količine padavinske vode iz nalivov z zadrževanjem in ali ponikanje večjega dela padavinske vode z vsaj delnim dovoljenim izpustom.

3: Slabša ponikalna sposobnost

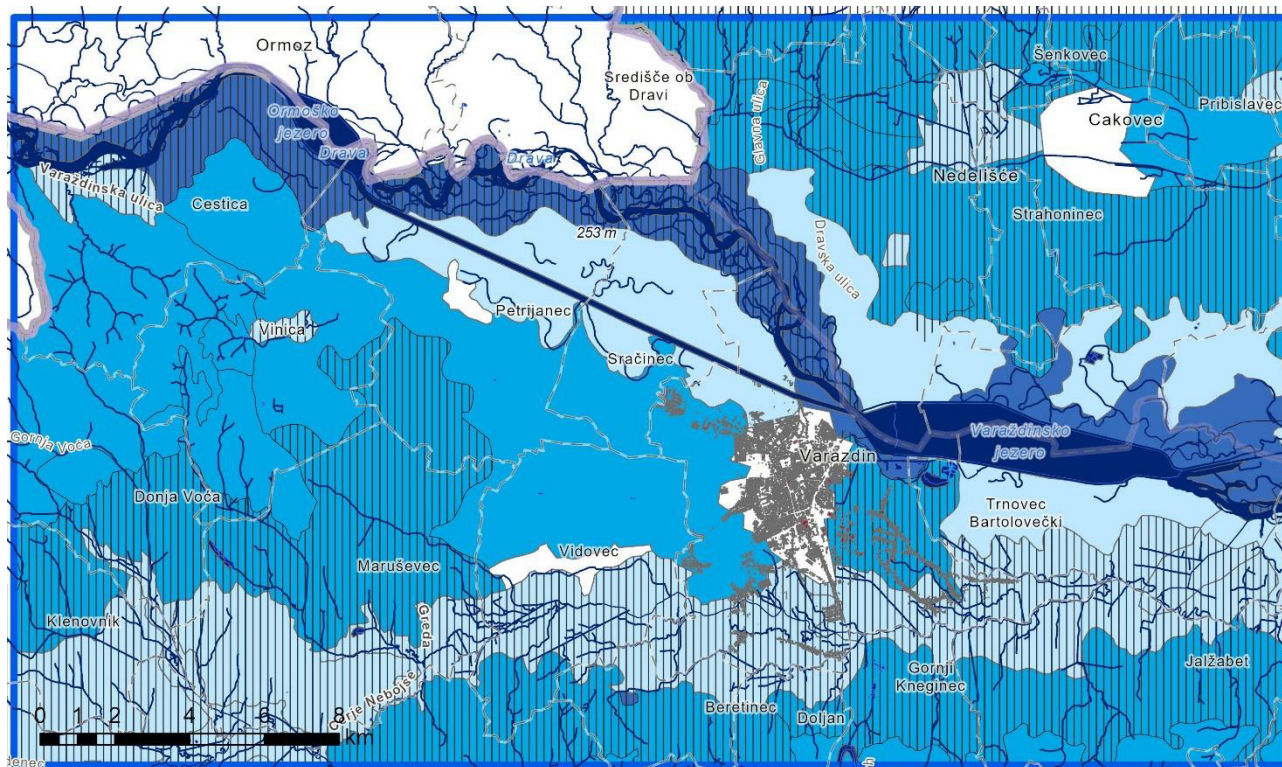
Ponikanje je izvedljivo za zelo majhne količine padavinske vode iz nalivov z zadrževanjem in dovoljenim izpustom, Količina ponikanja je premajhna, da bi se z njo lahko zmanjšala potrebna zadrževalna prostornina. Pomembna je le za obnavljanje naravne infiltracije ter obnavljanje napajanja vodonosnika in izvirov, za obnavljanje pornih tlakov v temeljnih tleh proti posedanju ter proti izsuševanju tal.

Dovoljeni izpust v vodotok ali nazadnje v kanalizacijo, bi moral omogočati količino enakovredno vsaj površinskemu odtoku v naravnem stanju zemljišča. Odtok v naravnem stanju je lahko opredeljen, kot odtok z bolj ali manj ravnega travnatega zemljišča, torej z odtočnim koeficientom $\psi_m = 0,1$ ali v razponu med 0,05 in 0,15.



Ponikalna sposobnost (m/s)	Ponikalna sposobnost (mm/min)	Ponikalna sposobnost (l/s/ha)	Debelina krovne plasti	Globina do podzemne vode
1:Dobra ($k > 1 \times 10^{-4}$ m/s)	1:Dobra ($q_p > 6$ mm/min)	1:Dobra ($q_p > 1000$ l/s/ha)	A: <3 m	a: <3 m
2: Srednja ($1 \times 10^{-5} < k$ (m/s) < 1×10^{-4})	2: Srednja ($0,6 < q_p$ (mm/min) < 6)	2: Srednja ($100 < q_p$ (l/s/ha) < 1000)	B: >3 m	b: >3 m
3: Slabša ($< 1 \times 10^{-5}$ m/s)	3: Slabša ($< 0,6$ mm/min)	3: Slabša (< 100 l/s/ha)		
Podzemna voda tik nad kamninsko podlago				
Podzemna voda v dolinskem delu				

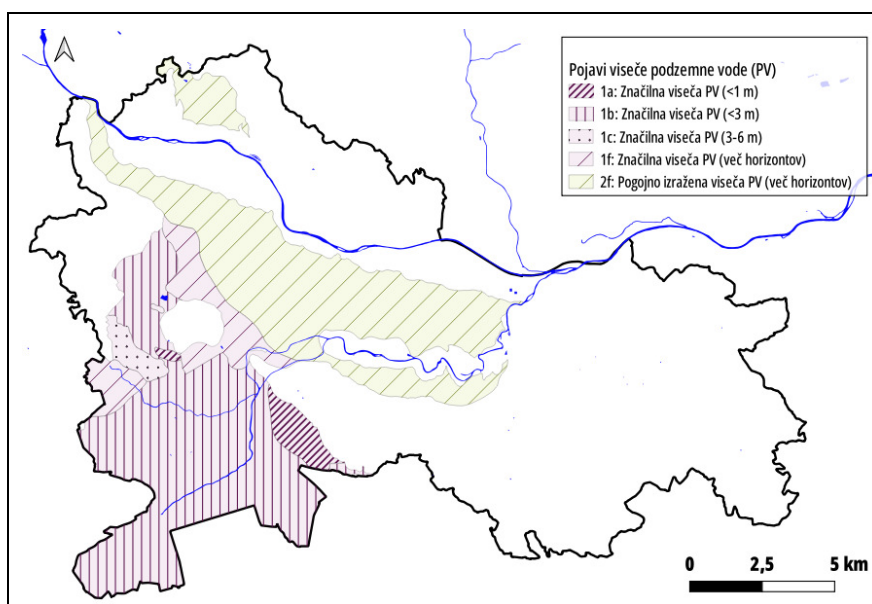
Slika 14. Grafični prikaz Karte ponikalnih sposobnosti na primeru Ljubljane – sloji s ponikalno sposobnostjo po prepustnosti, debelini krovne plasti in globine do podzemne vode.



Slika 15. Grafični prikaz Karte ponikalnih sposobnosti na primeru Varaždin – sloji s ponikalno sposobnostjo po prepustnosti, debelini krovne plasti in globine do podzemne vode.

Ponikalna sposobnost (m/s)	
	Dobra ($k > 1 \times 10^{-4}$ m/s)
	Srednja ($1 \times 10^{-5} < k \text{ (m/s)} < 1 \times 10^{-4}$)
	Slabša ($k < 1 \times 10^{-5}$ m/s)
	Naselja

Debelina krovne plasti (m)	
	< 2 m
	> 2 m



Značilnost pojavov viseče podzemne vode:

1 - značilno pojavljanje viseče podzemne vode;
2 - pogojno izražena viseča podzemna voda

Globina pojavov viseče podzemne vode:

a - globina pojavov < 1 m;
b - globina pojavov < 3 m;
c - globina pojavov 3-6 m;
d - globina pojavov 6-9 m;
e - globina pojavov 9-12 m;
f - različni horizonti pojavov

Slika 16. Grafični prikaz Karte ponikalnih sposobnosti na primeru Ljubljane – sloj s pojavi viseče podzemne vode.



Enako velja za območja, kjer so pomembne omejitve ponikanja zaradi:

- preplitke visoke gladine podzemne vode ter posledično premajhne zadrževalne sposobnosti onesnaževal ali zamakanja sosednjih objektov ali zmanjšanja možnosti ponikanja na sosednjih zemljiščih,
- preplitke hribinske podlage in posledično možnih vplivov na sosednja zemljišča zaradi zamakanja ali notranje erozije,
- viseče gladine podzemne vode in posledično prevelikih vplivov na zamakanje ali zmanjšanje ponikalne sposobnosti na sosednjih zemljiščih.

6.2. Značilni prerezi

Karta ponikalne sposobnosti naj vključuje čim več značilnih hidrogeoloških prereзов, ki ponazarjajo vse tipične vrhnje plasti glede na njihovo ponikalno sposobnost.

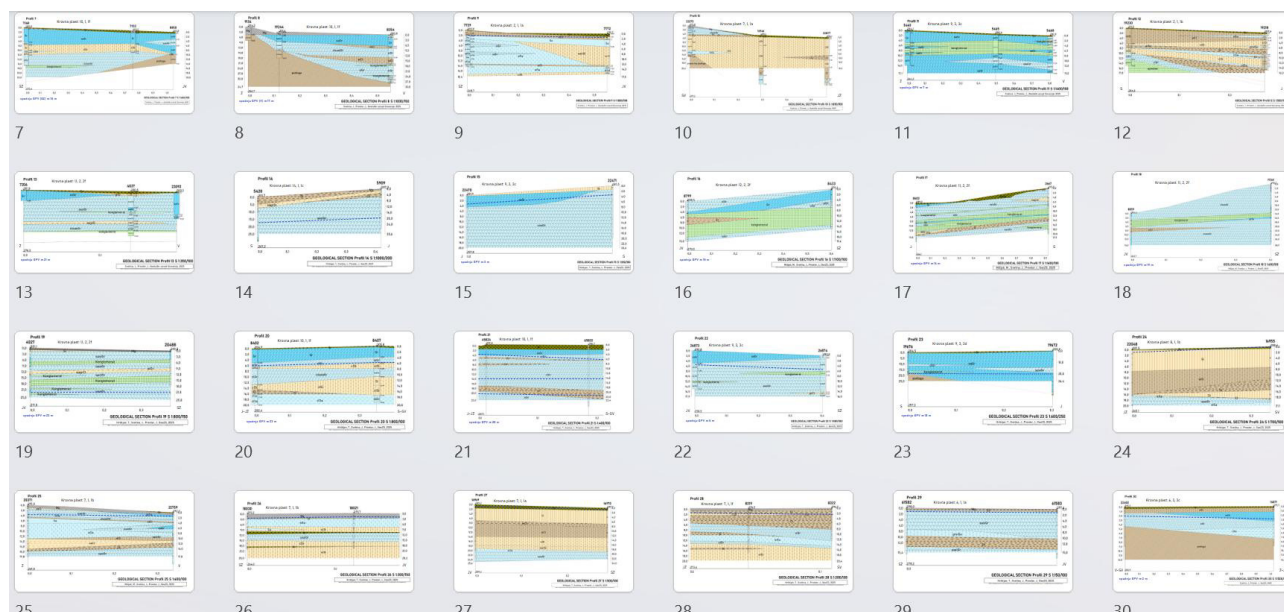
Iz prereзов so razvidni kategorija prepustnosti, gladina podzemne vode, viseče gladine podzemne vode, debelina krovnih plasti (Slika 17, Slika 18, Slika 19).

6.3. Pogoji uporabe

Pogoji uporabe morajo biti razvidni iz standardnega metapodatkovnega opisa. Predvsem morajo biti izrecno določeni in opisani namen slojev, atributi, lastnik, avtor, vzdrževalec, posredovalec, dostopnost, omejitve in izključitve.

6.4. Vzdrževanje in posodabljanje karte

Za karto mora biti predvideno vzdrževanje in posodabljanje. Protokol vzdrževanja in posodabljanja izoblikuje GIS oddelek na podlagi uskladitve z deležniki. Za posodabljanje je treba predvideti časovno obdobje, ki zagotavlja, da se lahko novi podatki obdelajo, preverijo in da v tem času karta ni zastarela.

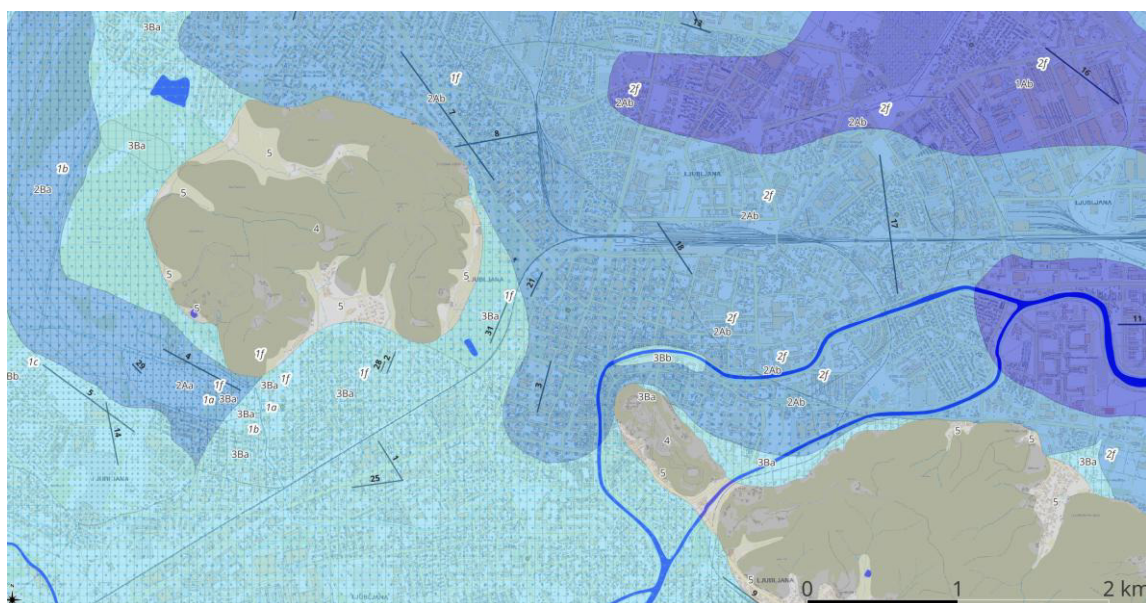


Slika 17. Izsek iz primera nabora hidrogeoloških prereзов s podatki o ponikalni sposobnosti podtalja.



Gr; K: 10^{-2}-10^{-4} m/s saGr; K: 10^{-3}-10^{-4} m/s grSa; K: 10^{-3}-10^{-4} m/s sasiGr; K: 10^{-4}-10^{-5} m/s Sa; K: 10^{-4}-10^{-5} m/s siGr; K: 10^{-4}-10^{-7} m/s clGr; K: 10^{-4}-10^{-7} m/s saciGr; K: 10^{-4}-10^{-7} m/s	clsasiGr; K: 10^{-4}-10^{-7} m/s grsiSa; K: 10^{-4}-10^{-7} m/s siSa; K: 10^{-4}-10^{-7} m/s clSa; K: 10^{-4}-10^{-7} m/s	saSi; K: 10^{-4}-10^{-7} m/s grsaSi; K: 10^{-7}-10^{-8} m/s sagrCl; K: 10^{-7}-10^{-8} m/s grSi; K: 10^{-7}-10^{-9} m/s grCl; K: 10^{-7}-10^{-9} m/s	saCl; K: 10^{-8}-10^{-10} m/s clSi; K: 10^{-8}-10^{-10} m/s saciSi; K: 10^{-8}-10^{-10} m/s Si; K: 10^{-7}-10^{-8} m/s siCl; K: 10^{-9}-10^{-10} m/s Cl; K: 10^{-9}-10^{-10} m/s	Or; konglomerat; apnenec Mg podlaga preperina podlage
---	---	---	--	---

Slika 18. Primer iz legende hidrogeoloških prereзов s podatki o ponikalni sposobnosti podtalja.



Slika 19. Primer izseka iz karte ponikalnih sposobnosti s položajem značilnih hidrogeoloških prereзов.



C. PRAKTIČNA UPORABA KARTE PONIKALNE SPOSOBNOSTI

7. Podlaga za »Koncept odvodnje padavinskih vod v mestu«

7.1. Splošne usmeritve

<i>Presežek padavinske vode</i>	Presežek padavinske vode nastane zaradi posegov ali ureditev na zemljišču, zaradi katerih se poveča odtočni količnik zemljišča.
<i>Odgovornost za odvodnjo padavinske vode</i>	Padavine, ki padejo na območje zemljišča, naj tam tudi naravno ponikajo oziroma odteka v naravno okolje. Če padavinska kanalizacija ni na voljo ali ima premajhno zmogljivost, so ureditve, ki so potrebne za odtok in zadrževanje padavinske vode, izključno v pristojnosti lastnika, ki mora izvesti odvodnjo in potrebne naprave, prilagojene zemljišču in dejavnosti. Lastnik mora zagotoviti pravilno odvodnjo in po potrebi obdelavo padavinskih voda.
<i>Prednostne rešitve</i>	Rešitve za odvajanje presežka padavinske vode je treba prednostno iskati s ponikanjem na samem zemljišču. Sistem odvodnje vključuje tri različne načine odvajanja, to so 1. ponikanje, 2. odvod v površinske vode in 3. odvod v padavinsko kanalizacijo. Odvodnja se načrtuje strogo po tem prednostnem vrstnem redu. Če samo ponikanje ni izvedljivo, se načrtujejo kombinacije, ali pa druga dva načina.
<i>Odvodnja z zemljišča</i>	Odvajanje padavinske odpadne vode mora biti zasnovano tako, da bo največji odtok z zemljišča manjši ali enak odtoku pred posegom. To velja za vse nalive ki so manjši od predpisanega.
<i>Prepovedi</i>	Odvajanje odpadne komunalne ali industrijske vode v padavinsko kanalizacijo je prepovedano.



7.2. Podrobnejše usmeritve za koncept odvodnje glede na ponikalno sposobnost zemljišč

Zasnova odvodnje - Primer 1:

■ Slabša ponikalna sposobnost

Na območjih s slabšo ponikalno sposobnostjo se uvaja odvodnja s ponikanjem delne količine padavinske vode, dovoljenim izpustom v vodotok ali padavinsko kanalizacijo in prelivom.

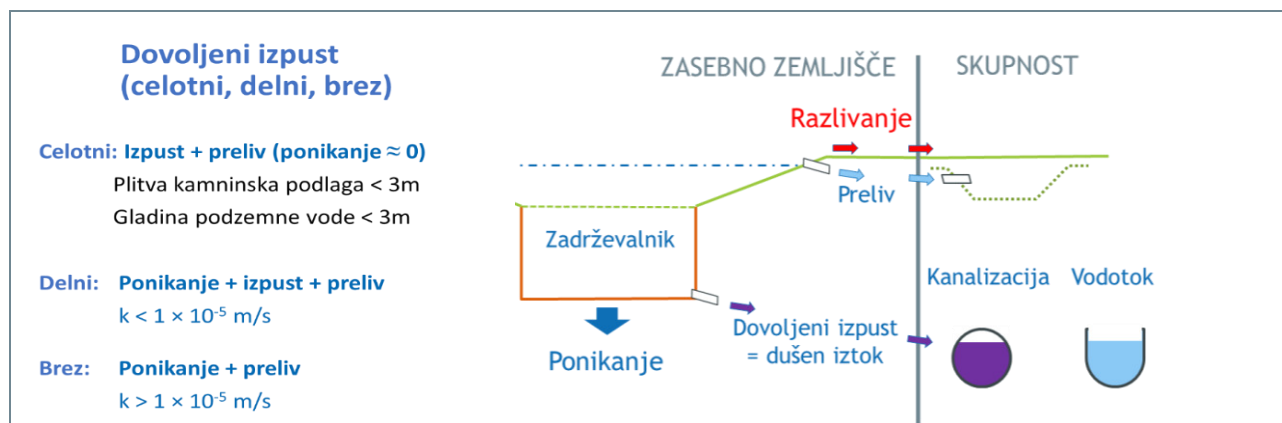
Priporoči se, da se prelive omogoči za nalive s povratno dobo, npr. 5 let.

Priporoči se, da se omogoči dovoljeni izpust (dušeni iztok) na enega od naslednjih načinov (Slika 20):

- v količini zmogljivosti padavinske kanalizacije,
- v količini naravnega odtoka $\psi_m = 0,1$ s povratno dobo $r = 1$
- v količini naravnega odtoka $q_{thr} = q_{0(r,15)} = \dots$ l/s/ha (npr. $q_{0(1,15)} = 17,5$ l/s/ha)
- v količini minimalne priporočene vrednosti (npr., $q_{thr} = 3$ l/s/ha za neposeljena ali redko poseljena območja ali $q_{thr} = 10$ l/s/ha za gosteje poseljena območja)
- v količini minimalne vrednosti za praznjenje zadrževalnikov ali za izjemoma dovoljene izpuste na območjih mešane kanalizacije ali na območjih občutljivih za ekosistem in geotehnične stabilnostne razmere, npr. $q_{thr} = 2$ l/s/ha)

■ Plitva gladina podzemne vode ali plitva kamninska podlaga

Na območjih s plitvo kamninsko podlago in gladino podzemne vode bližje kot 3 m pod površjem se uvaja odvodnja brez ponikanja ali z delnim razpršenim ponikanjem, z določenim dovoljenim izpustom in določenim dovoljenim prelivom v kanalizacijo.



Slika 20. Vloga dovoljenega izpusta in preliva v odvodnji padavinskih voda.

■ Srednja ponikalna sposobnost

Na območjih s srednjo ponikalno sposobnostjo se uvaja odvodnja s ponikanjem celotne količine padavinske vode, z omogočenim prelivom v odvodnike in razlivne površine.

Priporoči se, da se prelive omogoči za nalive s povratno dobo nad, npr. 10 let.

■ Dobra ponikalna sposobnost

Na območjih z dobro ponikalno sposobnostjo se uvaja odvodnja s ponikanjem celotne količine padavinske vode.

Priporoči se, da se odtok s ponikanjem zagotovi za vse nalive s povratno dobo, npr. 30 let.

**Zasnova odvodnje - Primer 2:****A. Ponikanje**

Ponikanje mora biti prilagojeno glede na vse morebitne omejitve ponikalne sposobnosti (poglavje 4.3), predvsem pa usklajeno s tveganji za stabilnostne razmere in zamakanje na zemljišču in sosednjih zemljiščih ter z zaščito vodnih virov.

Za ponikanje celotnega naliva mora biti koeficient prepustnosti k (m/s) med 10^{-5} in 10^{-2} .

Če je koeficient prepustnosti k (m/s) nižji od 10^{-5} , je treba izbrati najprimernejše tehnične rešitve z delnim ponikanjem, da se ohranja naravna infiltracija.

Če je koeficient prepustnosti k (m/s) 10^{-3} m/s, je treba namestiti standardno predčiščenje ali standardni filtrski zasip, da se prepreči izpiranje tal. Brez tega je ponikanje v podtalje strogo prepovedano.

B. Odvajanje v naravno okolje

V primeru, da se izkaže, da odvodnje tehnično ni možno reševati v celoti s ponikanjem (za kar so potrebne terenske meritve - poglavje 11), je treba presežek, ki ga ni mogoče ponikati, prvenstveno odvajati v naravno okolje, to je na površje ali v površinski odvodnik.

Pogoji za izpust v naravno okolje so enaki kot za izpust v javno omrežje.

C. Odvajanje v javno omrežje in skupne razlivne površine

Izpusti in prelivi morajo biti usmerjeni v skupni sistem lokalne skupnosti za odvodnjo padavinske vode (javno omrežje in razlivne površine), kolikor to dopušča njihova zmogljivost.

- Izpust

Dovoljeni izpust se lahko določi kot dušeni iztok, npr. desetina odtoka iz enoletnega naliva pri odtočnem koeficientu izhodiščnega stanja $\Psi_m = 0,1$. Če je skupna površina posega (zatesnjena površina A_{imp}) manjša od 0,1 ha, se dušeni iztok lahko določi kot absolutna količina 2 l/s (prirejeno po Breil, P. & al 2009). V tem primeru bo skupni iztok z manjših zemljišč 20 l/s/ha.

- Preliv

Preliva se ne sme odvajati v kanalizacijski sistem za komunalne in industrijske odpadne vode, v mešani kanalizacijski sistem ali v kanalizacijsko omrežje državnih in občinskih cest.

D. Zadrževalni prostor

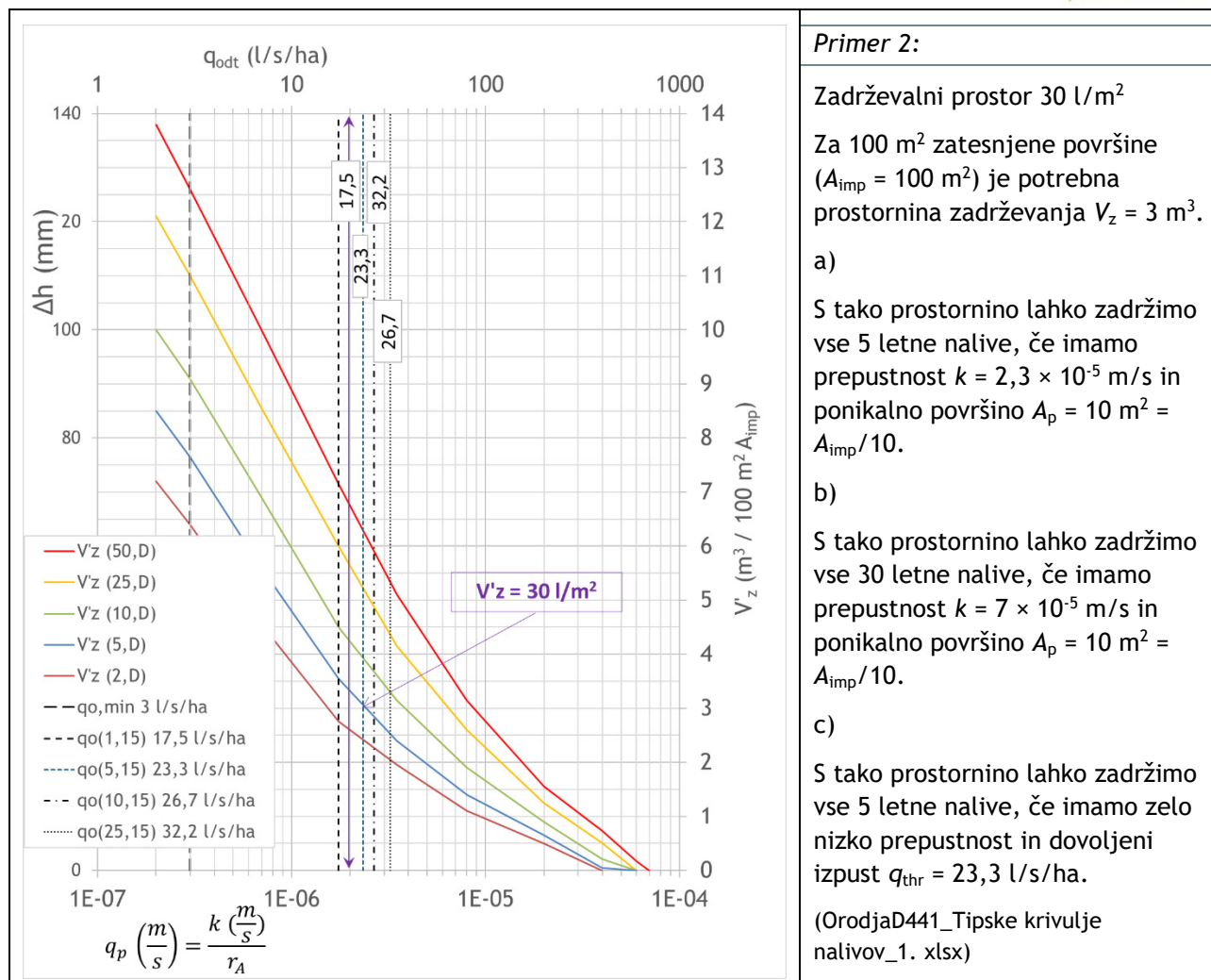
Za območja posega »središče mesta/ industrijsko / trgovsko območje« s površino pod 1 hektar se lahko predvidi enoten pogoj za zadrževanje naliva, npr. 30 l/m² zatesnjene površine (= $V_z = 3 \text{ m}^3 / 100 \text{ m}^2 A_{imp}$) (primer opredelitve za Ljubljano - Slika 21). Ta prostornina bi zadoščala za izpust v padavinsko kanalizacijo, če bi bila zgrajena za tako območje, to je s sprejemljivo povratno dobo preplavitve 30 let.

E. Izbira naliva

Izbiro povratne dobe za dimenzioniranje zadrževalnika se utemelji na določen standard (Preglednica 6).

Preglednica 6. Kriteriji za izbiro nalivov za dimenzioniranje sprejemljive pogostosti preplavitve (npr. SIST EN 752-2).

Območja poselitve	Projektna pogostost padavin, povratna doba (r , leta)
Podeželska območja	1 v 1
Stanovanjska območja	1 v 20
Mestna središča/ industrijska/ poslovna območja	1 v 30
Podzemne železnice/ podvozi	1 v 50



Slika 21. Prikaz opredelitve priporočene zadrževalne prostornine za zeleno varnost (primer za Ljubljano). $Q_{izp} (\text{l/s/ha}) = q_p + q_{thr}$; q_o = naravni odtok; $A_{imp}/A_p = r_A$.

8. Podlaga za »Načrtovanje na končno stanje ureditve«

8.1. Splošne usmeritve

Končno stanje ureditve določene prostorske enote (enote urejanja prostora) kaže, kakšna bo ureditev te enote, ko bo dosežena polna izkoriščenost glede na dane regulacijske elemente.

Končno stanje ureditve nas pri načrtovanju zanima najprej iz naslednjih razlogov:

- kakšna bo zatesnjenost površine in koliko odpadne padavinske vode bo treba odvajati,
- koliko bo na voljo raščene površine, kjer je možno računati s ponikalno površino in zadrževalno prostornino,
- koliko je strešnih površin s čisto padavinsko vodo, ki jo bo možno ponikati v podtalje brez posebnega čiščenja,
- koliko je obremenjenih utrjenih prometnih površin, s katerih bo potrebno ponikati vodo skozi biološko aktivna tla z dovolj veliko površino,



- e) ali bodo predpisani ali standardni minimalni odmiki ponikalnic od parcelnih mej in sosednjih objektov zadoščali, ali je potrebno računati z dodatnimi odmiki
- f) ali bo treba zagotoviti dodatna soglasja in dovoljenja za odvodnjo, ki jo bodo treba zagotoviti v končni ureditvi.

V primeru, da za načrtovano rabo in končno ureditev z regulacijskimi elementi niso zagotovljene tem pogojem sorazmerne površine, bodo težave in nedoločeni zastoji pri izdaji vodnih soglasij, soglasij za priključitev, soglasij sosednjih lastnikov.

8.2. Podrobne usmeritve za načrtovanje odvodnje na končno stanje ureditve

Možnost uporabe Karte ponikalnih sposobnosti za načrtovanje posegov in odvodnje na končno stanje ureditve je prikazana na prispevnem zaledju podvoza Celovške ceste v Ljubljani.

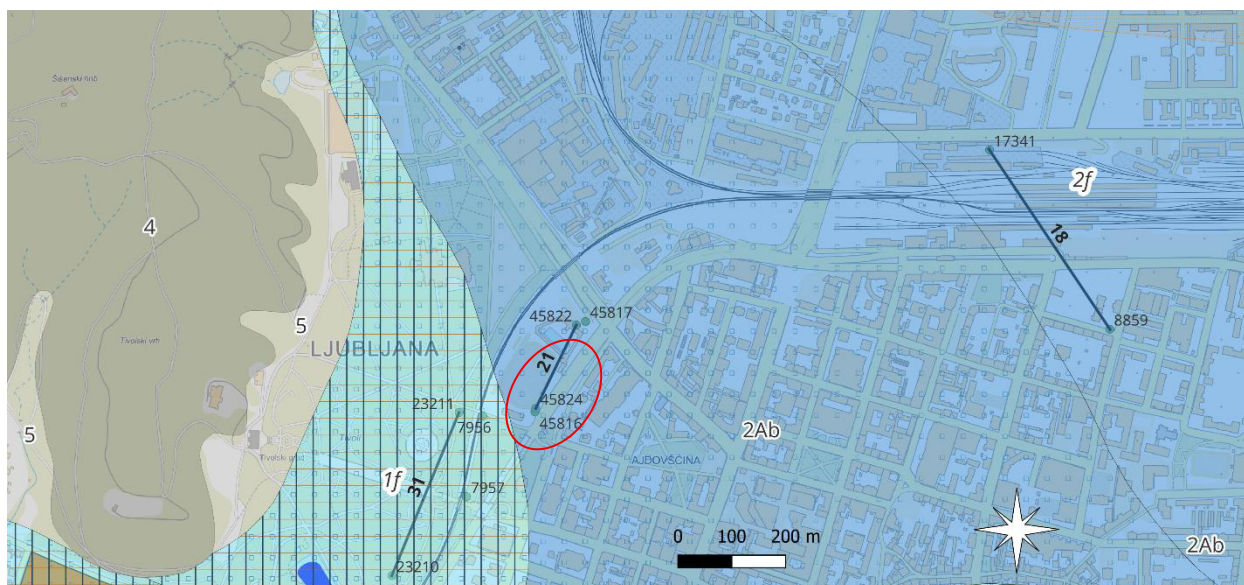
Primer prikazuje:

1. Položaj obravnavanega posega in prispevnega zaledja na Karti ponikalne sposobnosti.
2. Pričakovano ponikalno sposobnost in omejitve na obravnavanem območju.
3. Izbiro projektnega naliva.
4. Možnosti zmanjšanja stroškov odvodnje z zmanjševanjem odtočnega koeficienta.
5. Preveritev vplivnega območja zaradi viseče podzemne vode.
6. Uporabo tipskih krivulj specifične zadrževalne prostornine za zmanjševanje stroškov odvodnje.
7. Vplivno območje ponikanja - potrebni odmiki

Ad 1.) Položaj obravnavanega posega in prispevnega zaledja na Karti ponikalne sposobnosti

Za primer načrtovanja na končno stanje ureditve smo uporabili primer enote urejanja prostora (velikosti 1.200 m²) z namensko rabo za stanovanjske stavbe, in sicer za stanovanjsko gradnjo večjih gostot (bloki).

Poseg se nahaja na robu mestnega jedra, na območju s srednjo ponikalno sposobnostjo (Slika 22).



Slika 22. Položaj obravnavanega primera na Karti ponikalnih sposobnosti (2Ab) – omejitve (1f) – Prerez 21.



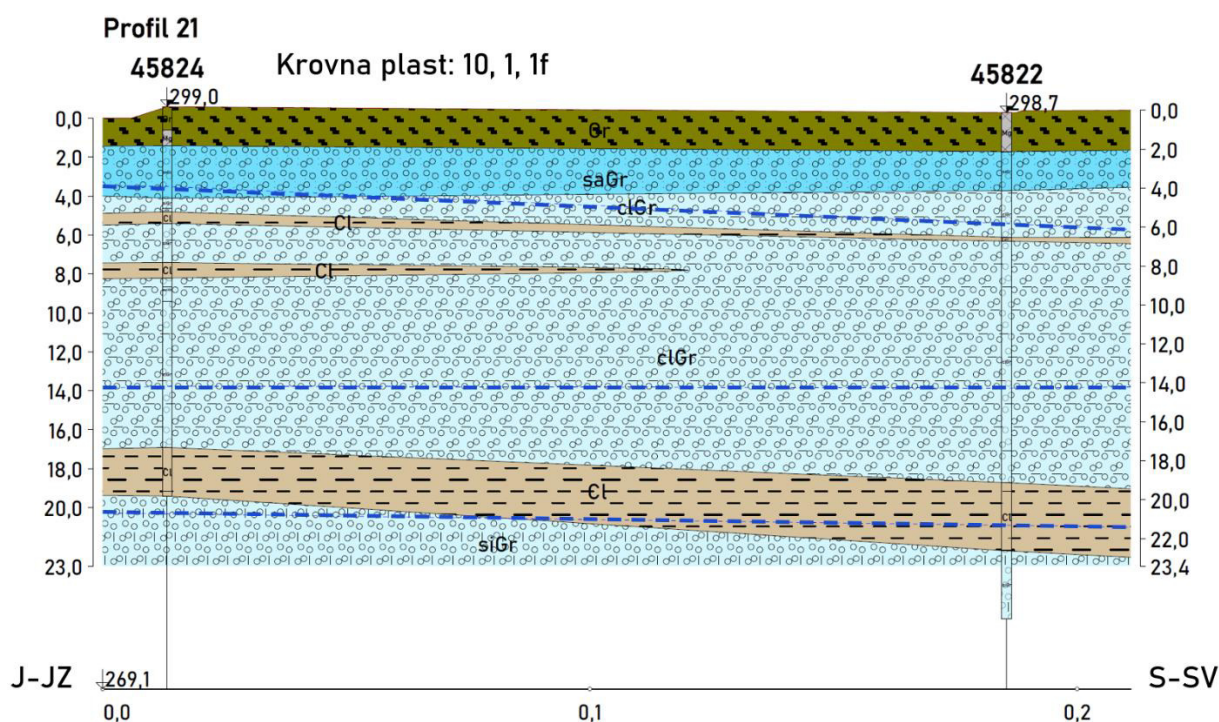
Ad 2.) Pričakovana ponikalna sposobnost in omejitve na obravnavanem območju

Enota urejanja prostora se nahaja na območju »srednje ponikalne sposobnosti 2Ab« in »viseče podzemne vode 1f« najpogosteje na globinah 3-6 in 6-9 m, redkeje 9-12 m« (Slika 16):

Ponikalna sposobnost	Omejitve
2: srednja ponikalna sposobnost $> 10^{-5}$ m/s	1 - značilno pojavljanje viseče podzemne vode
A: debelina krovne plasti < 3 m	f - več horizontov: najpogosteje na globinah 3-6 m in 6-9 m, redkeje 9-12 m
b: globina do podzemne vode > 3 m	

Pričakovana debelina krovne plasti je manjša od 3 m. Pričakuje se lahko visečo podzemno vodo v več plasteh, vendar ne plitveje od 3 m (1f). Spodnja gladina podzemne vode se nahaja globlje od 20 m (

):



Slika 23. Tipični prerez št. 21 čez vrhnje plasti s srednjo ponikalno sposobnostjo (2) in pojavi viseče podzemne vode na treh globinah (1f).

Ad 3.) Izbira projektnega naliva

Gre za stanovanjsko naselje v središču mesta in srednjo ponikalno sposobnostjo. Če je možen preliv, je treba na zemljišču zadržati 5 letni naliv (Preglednica 6), to je $q_{(5, 15)} = 233$ l/s/ha (Preglednica 1).

Če preliv ni možen (če je kanalizacija preobremenjena, ali zmogljivost ni znana, ipd.), je treba na zemljišču zadržati 30 letni naliv (Preglednica 6).

Model Crossrisk ima podatke za 25-letni in 50-letni naliv. Za 30-letni 15 minutni naliv privzamemo srednjo vrednost, to je $q_{(30, 15)} \approx 344$ l/s/ha (Preglednica 1).

Ad 4.) Možnosti zmanjšanja količine odvodnje z zmanjševanjem odtočnega koeficienta

V danem primeru upoštevamo, da končna ureditev povsem izkoristi predpostavljene faktorje izkoriščenosti. Pri tem uporabimo dve možni izvedbi: površine v končni ureditvi imajo A- zelo visoke odtočne koeficiente



in B- zelo nizke odtočne koeficiente (Preglednica 7). Koeficient odtoka ψ_m je v izvedbi A- več kot dvakrat višji, to je 0,74, kot v izvedbi B-, kjer je 0,34.

Preglednica 7. Primer obravnavane odvodnje enote urejanja prostora na končno stanje ureditve.

A Koeficient odtoka (ψ) Max		0,95	0,9	0,75	0,1			
Ss - stanovanjske stavbe - bivanje		FZ	FU_P	FU_B	FRP	Koef. odt. (ψ_m)	Ponikanje v podtalje	Posebne zahteve za odvodnjo
	prostostoječi bloki (vila blok, blok, stolpič)	40	25	15	20	0,74	69%	31%
	izven prost. vozlišča	35	25	15	25	0,70	68%	32%
	stanovanjska gradnja večjih gostot (bloki)	35	20	15	30	0,66	73%	27%
B Koeficient odtoka (ψ) Min		0,4	0,5	0,3	0,05			
Ss - stanovanjske stavbe - bivanje		FZ	FU_P	FU_B	FRP	Koef. odt. (ψ_m)	Ponikanje v podtalje	Ponikanje v biološko aktivna tla
	prostostoječi bloki (vila blok, blok, stolpič)	40	25	15	20	0,34	63%	37%
	izven prost. vozlišča	35	25	15	25	0,32	61%	39%
	stanovanjska gradnja večjih gostot (bloki)	35	20	15	30	0,30	67%	33%

V obeh prikazanih primerih je upoštevan predpostavljeni najmanjši zahtevani delež raščene površine, to je 20 %, oziroma 240 m². V izvedbi B- je koeficient odtoka blizu vrednosti 0,3, kar je optimalni skupni odtočni koeficient z uporabo modro-zelene infrastrukture.

Konični odtok za robni pogoj dimenzioniranja odvodnje s prelivom v padavinsko kanalizacijo je v prvem primeru $Q_{(5,15)} = 20,6$ l/s, v drugem pa $Q_{(5,15)} = 9,5$ l/s (Preglednica 8).

Preglednica 8. Izračun koničnih odtokov za primer možnosti preliva v padavinsko kanalizacijo.

Večstanovanjski objekt		1200	m ²	$q_{(n,D)}$ (l/s/ha)		$q_{(5,15)}$	233
		Novo stanje					Novo stanje
Površine		m ²	ψ_m		A_{imp} (m ²)		odtok l/s
FZ	40%	Zazidalna površina FZ	480	0.95	poševna kovinska streha	456	10.62
FRP	25%	Prometne in druge utrjene površine FU_P	300	0.9	asfalt	270	6.29
FU-B	15%	Prometne in druge utrjene površine FU_B	180	0.75	tlak s tesnjenimi stiki	135	3.15
FU-P	20%	Zelene površine FRP	240	0.1	travniki	24	0.56
SKUPAJ		1200	0.74		885		20.62
Večstanovanjski objekt		1200		$q_{(n,D)}$ (l/s/ha)		$q_{(5,15)}$	233
		Novo stanje					Izhodiščno stanje
Površine		m ²	ψ_m		A_{imp} (m ²)		odtok l/s
Zazidalna površina FZ		480	0.4	zelena streha	192		4.47
Prometne in druge utrjene površine FU_P		300	0.5	tlak z odprtimi stiki	150		3.50
Prometne in druge utrjene površine FU_B		180	0.3	nevezan prodni tlak	54		1.26
Zelene površine FRP		240	0.05	travniki	12		0.28
SKUPAJ		1200	0.34		408		9.51
Razlika (l/s):							11.11

Konični odtok za robni pogoj dimenzioniranja odvodnje s prelivom v padavinsko kanalizacijo je v prvem primeru $Q_{(30,15)} = 30,4$ l/s, v drugem pa $Q_{(30,15)} = 14,0$ l/s (Preglednica 9).

Preglednica 9. Izračun koničnih odtokov za primer brez možnosti preliva v padavinsko kanalizacijo.



Večstanovanjski objekt		1200	m ²	$q_{(n,D)}$ (l/s/ha)	$q_{(30,15)}$	344
Novo stanje						Novo stanje
Površine		m ²	ψ_m		A_{imp} (m ²)	odtok l/s
FZ 40%	Zazidalna površina FZ	480	0.95	poševna kovinska streha	456	15.69
FRP 25%	Prometne in druge utrjene površine FU_P	300	0.9	asfalt	270	9.29
FU-B 15%	Prometne in druge utrjene površine FU_B	180	0.75	tlak s tesnjenimi stiki	135	4.64
FU-P 20%	Zelene površine FRP	240	0.1	travnik	24	0.83
						0.00
SKUPAJ		1200	0.74		885	30.44

Večstanovanjski objekt		1200		$q_{(n,D)}$ (l/s/ha)	$q_{(30,15)}$	344
Novo stanje						Izhodiščno stanje
Površine		m ²	ψ_m		A_{imp} (m ²)	odtok l/s
	Zazidalna površina FZ	480	0.4	zelena streha	192	6.60
	Prometne in druge utrjene površine FU_P	300	0.5	tlak z odprtimi stiki	150	5.16
	Prometne in druge utrjene površine FU_B	180	0.3	nevezan prodni tlak	54	1.86
	Zelene površine FRP	240	0.05	travnik	12	0.41
						0.00
SKUPAJ		1200	0.34		408	14.04

Razlika (l/s): 16.41

Ad 5.) Preveritev ponikalne sposobnosti na zemljišču

■ Ponikalna sposobnost glede na prepustnost

Za ponikanje predvidimo ponikalno površino $A_p = 177 \text{ m}^2$, kar je $\frac{3}{4}$ predvidene raščene površine. V primeru A- predstavlja ponikalna površina $\frac{1}{5}$ zatesnjene površine 885 m^2 ($r_A = 5$). Ponikalna sposobnost je $q_p = 20 \text{ l/s/ha}$. V primeru B- je razmerje med zatesnjeno in ponikalno površino $r_A = 2,3$. Ponikalna sposobnost je $q_p = 43,4 \text{ l/s/ha}$.

■ Ponikalna sposobnost glede na obremenjenost vode

Približno $\frac{1}{3}$ vode bi bilo možno ponikati z razpršenim ponikanjem skozi biološko aktivna tla, oziroma z drugim ustreznim čiščenjem, če je razmerje med zatesnjeno in ponikalno površino $r_A < 5$ (Preglednica 7).

V obeh primerih je približno $\frac{2}{3}$ vode iz naliva primerne za neposredno ponikanje v podtalje.

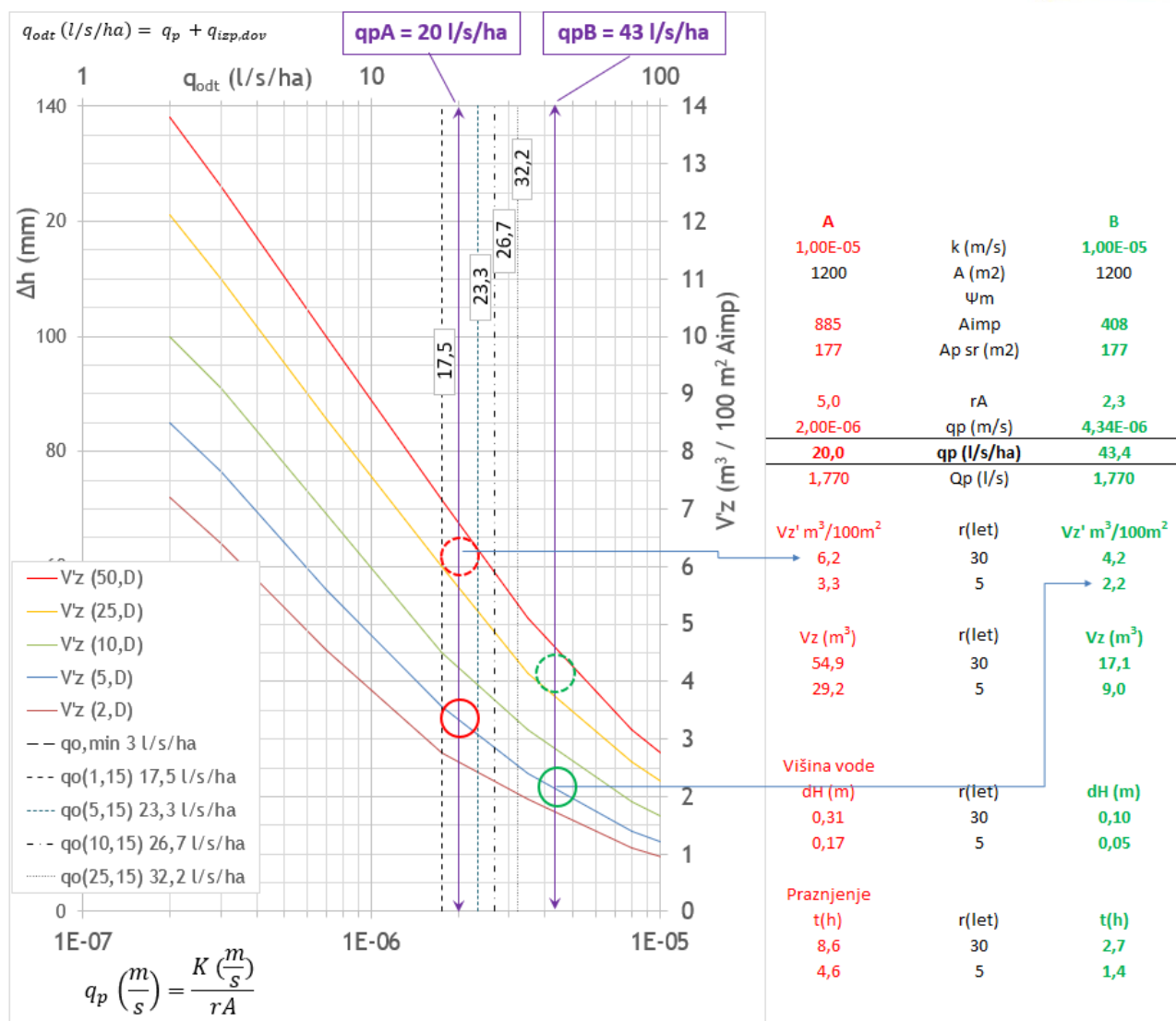
Ad 6.) Optimizacija zadrževalne prostornine in koeficienta odtoka

Izvedba A- z velikim odtočnim koeficientom ($\psi_m = 0,74$) bi potrebovala zadrževalno prostornino $54,9 \text{ m}^3$, če ne bi bilo možnosti preliva v odvod izven zemljišča. Če bi bil preliv možen, bi zadoščala prostornina $29,2 \text{ m}^3$ (Slika 24 - rdeča pisava). Voda v uleknini bi se zadržala do višine največ $0,31 \text{ m}$, oziroma $0,17 \text{ m}$ in odtekla v največ $8,6$ oziroma $4,6$ urah (Slika 24).

V primeru A- bi bilo smiselno del zadrževalnika izvesti podzemno, nadzemni del pa izkoristiti le za izredne nalive s povratno dobo 10 let in več.

Izvedba B- z zelo nizkim odtočnim koeficientom ($\psi_m = 0,34$ (v modro zeleni infrastrukturni rešitvi) bi zahtevala $17,1 \text{ m}^3$, če ne bi bilo možnosti preliva v odvod izven zemljišča. Če bi bil preliv možen, bi zadoščala prostornina 9 m^3 (Slika 24 - zelena pisava). Voda v uleknini bi se zadržala do višine največ $0,1 \text{ m}$, oziroma $0,17 \text{ m}$ in bi odtekla v največ $8,6$ urah oziroma $4,6$ urah (Slika 24).

V primeru B- bi bilo možno potrebno prostornino zagotoviti tudi samo nadzemno in jo skoraj neopazno vključiti na raščeni del zemljišča.



Slika 24. Optimizacija potrebne zadrževalne prostornine na izbranem primeru s pomočjo tipskih krivulj za Ljubljano.



■ Preveritev izračuna

Spodnja preglednica (Preglednica 10) prikazuje primer za preveritev izračuna.

Preglednica 10. Preveritev izračuna.

SCENARIJ A	$r_A = 5$ let		5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	300
prisp pov 1		m^2	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
odtočni koef		ψ_m	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
dotočni čas		min	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	300
naliv 5-let	Bežigrad	$l/s \cdot ha$	400	283	233	192	156	122	100	78	64	50	41	36
dotok		l/s	35.520	25.130	20.690	17.050	13.853	10.834	8.880	6.926	5.683	4.440	3.641	3.197
ponikanje		l/s	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770	1.770
zadrževani pritok		l/s	33.750	23.360	18.920	15.280	12.083	9.064	7.110	5.156	3.913	2.670	1.871	1.427
potrebni volumen		m^3	10.125	14.016	17.028	18.336	21.749	24.472	25.596	27.845	28.175	28.836	26.940	25.682
maksimalni potrebni volumen		m^3	28.84											
ponikalnica polje (poglej dimenzije standardnih ponikovalni elementov)														
dolžina	13.30 m			888	A_{imp}									
širina	13.35 m			177.6	A_p									
prosta globina	0.162 m			5	r_A									
volumen ponikalnice	28.84 m^3			20.0	$l/s/ha$									
PONIKANJE	177.6	m^2												
koef. prepustnosti	0.00001	m/s	100.0	$l/s/ha$										
ponikalna sposobnost	1.770	l/s												

Na prikazani način lahko iščemo najugodnejšo rešitev. Na primer, če je robni pogoj zadrževalna prostornina $V_z \leq 18 m^3$ in površina za ponikanje $A_p = 177 m^2$, pri čemer je možen preliv v odvod izven zemljišča, bi moral biti odtočni koeficient $\psi_m = 0,55$:

Preglednica 11. Primer »C-« optimizacije odvodnje z robnim pogojem zadrževalne prostornine $V_z \leq 18 m^3$.

	k	1,00E-05	m/s
	A	1200	m^2
Robni pogoj	V_z	18	m^3
	A_p	177	m^2
Prilagajanje	ψ_m	0,55	
Izračun	A_{imp}	660	m^2
	r_A	3,73	
	q_p	2,68E-06	m/s
	V_z	2,7	$m^3/100m^2$
Ciljani rezultat	V_z	17,82	m^3

Izvedena optimizacija kaže, da je robni pogoj zadrževalne prostornine $V_z \leq 18 m^3$ možno doseči pri danih ponikalnih sposobnostih in urbanističnih kazalnikih z običajnimi strešnimi površinami. Odtok se lahko dovolj zmanjša, če so odprte prometne površine (FU_P) izvedene, na primer, s tlaki z odprtimi stiki in odprte bivalne površine (FU_B) z nevezanim prodnim tlakom, zložbo tlakovcev s stiki ali podobnimi rešitvami.

Preglednica 12. Primer »C-« optimiziranega koeficienta odtoka za dane urbanistične kazalnike.

C	Koficient odtoka (ψ) Min	0,9	0,5	0,3	0,05			
Ss - stanovanjske stavbe - bivanje	FZ	FU_P	FU_B	FRP	Koef. odt. (ψ_m)	Ponikanje v podtalje	Ponikanje v biološko aktivna tla	
prostostoječi bloki (vila blok, blok, stolpič)	40	25	15	20	0,54	40%	23%	
izven prost. vozišča	35	25	15	25	0,32	61%	39%	
stanovanjska gradnja večjih gostot (bloki)	35	20	15	30	0,30	67%	33%	



Ad 7.) Vplivno območje ponikanja - potrebni odmiki v navpični in vodoravni smeri

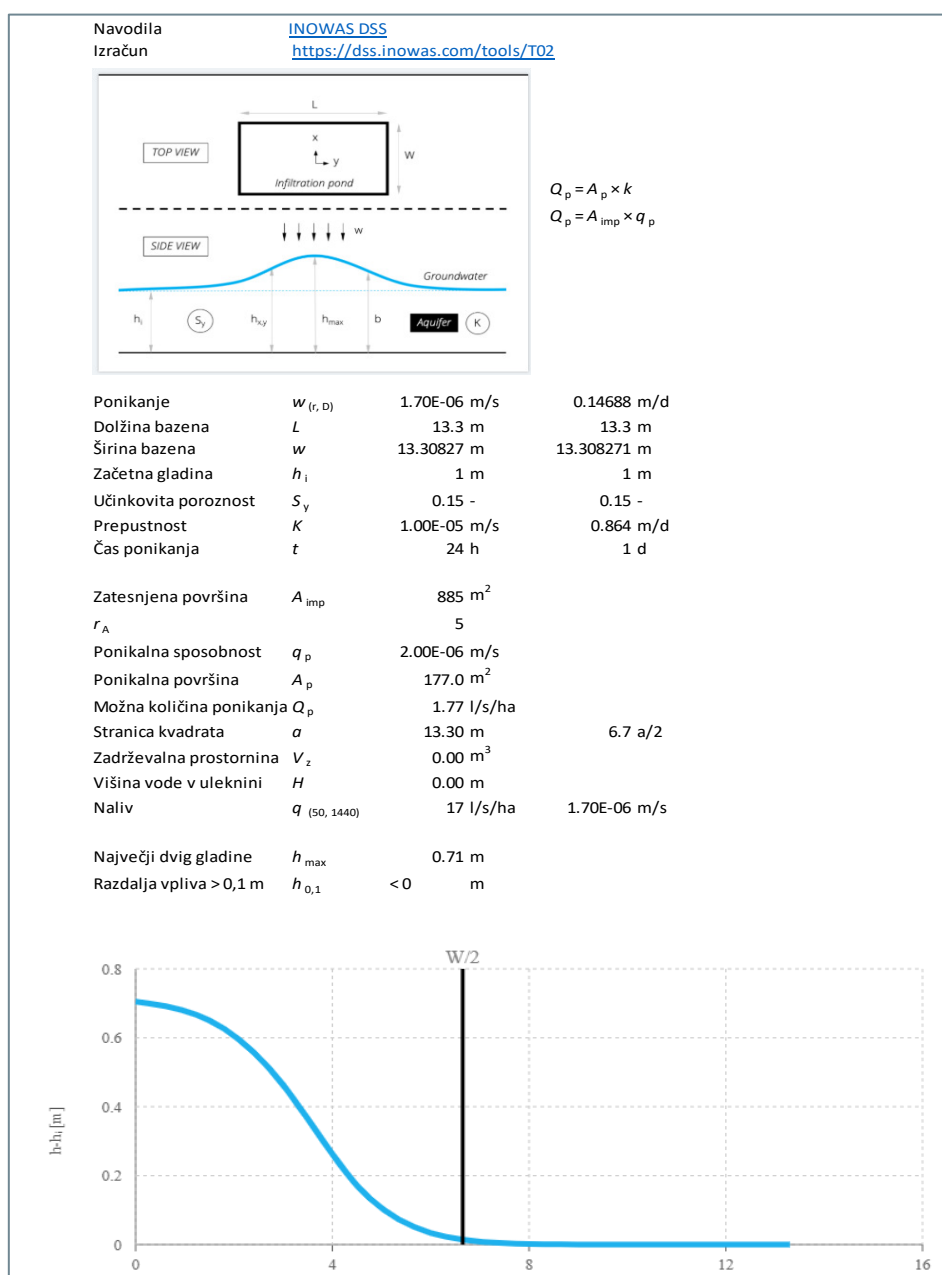
Zaradi plitve viseče gladine podzemne vode preverimo, kakšen bi bil lahko dvig gladine podzemne vode pod ponikalnim poljem in kakšno bi bilo vplivno območje.

Na sliki (Slika 25) je za obravnavani primer A- prikazana preveritev po Hantushevem analitičnem modelu.

Pri izračunu je upoštevan primer brez možnega preliva v odvod izven zemljišča. Upoštevan je 50 letni enodnevni naliv 17 l/s/ha.

Če bi bil sloj viseče podzemne vode ob visoki vodi debel 1 m, bi se gladina pod ponikalnim poljem dvignila največ za 0,71 m. Priporočljivo je torej, da bi bilo dno ponikalnice 1,75 m nad najvišjo gladino podzemne vode.

Vplivno območje ne bi seglo dlje od roba ponikalnega polja v zaznavni višini. Na robu polja bi bil dvig reda velikosti 0,02 m (Slika 25).



Slika 25. Pričakovan dvig gladine podzemne vode pod ponikalnico in vplivno območje ponikanja.



9. Podlaga za “Optimizacijo ukrepov”

- Optimizacija v fazi pobude in idejne zasnove ter pridobivanja mnenj

Na spodnji meji prepustnosti razreda srednje ponikalne sposobnosti ($k = 1 \times 10^{-5}$ m/s) je optimizacija zadrževanja možna z določanjem najustrežnejše površine ponikanja in na drugi strani z določanjem največjega dovoljenega izpusta v padavinsko kanalizacijo, oziroma odvodnik.

Prepustnosti v srednjem razredu ponikalne sposobnosti omogočajo dobro razmerje med ponikalno površino in zadrževalno prostornino. Tudi pri spodnji meji prepustnosti $k = 1 \times 10^{-5}$ m/s je možno zagotavljati ponikalno zmogljivost, ki omogoča, da se ne povečuje pretoka z zemljišča, oziroma da ta ostane enak kot bi bil v naravnem stanju ($q_{o(r,D)}$).

- Optimizacija v fazi pridobivanja soglasij - izboljšanje varnosti investicije

Že v fazi idejne zasnove, predinvesticijske analize, študije variant in študije izvedljivosti se začne optimizacija. Karta ponikalne sposobnosti vsebuje torej več informacij, ki so pomembne za geotehnično poročilo in načrt: globina do podzemne vode, pojavi viseče podzemne vode, debelina krovnih plasti in prepustnost vrhnjih plasti.

Pri nadaljnjem načrtovanju posega je v okviru geotehničnega poročila treba izvesti dimenzioniranje ponikanja in zadrževanja.

Če je na obravnavanem območju prisotna viseča podzemna voda, plitva kamninska podlaga ali nagibi površja 10° in več, je treba posebno pozornost posvetiti vplivnemu območju ponikanja, ustrezni razporeditvi ponikanja in varnim odmikom.

Varni odmiki so pomembni zaradi zamakanja, stabilnosti, notranje erozije, zmogljivosti lastne ponikalne naprave, zmogljivosti obstoječih sosednjih ponikalnih naprav.

- Načrtovanje terenskih preiskav prepustnosti in ponikalne sposobnosti

Točna ocena prepustnosti je lahko zelo pomembna za gospodarno načrtovanje odvodnje, ponikanja in zadrževanja. Glede na to se je treba odločiti, kako in v kakšnem obsegu in v katerih fazah bomo pristopili k izvedbi terenskih preiskav in meritev.

S pomočjo tipskih krivulj nalivov (*OrodjaD441_Tipske krivulje nalivov_1.xlsx*) lahko enostavno preverimo, kakšen vpliv ima na oceno zadrževalne prostornine točnost ocene prepustnosti. S tipskimi krivuljami lahko dobimo pregledno oceno kakšen vpliv ima poleg tega še razmerje med zatesnjeno in ponikalno površino in kakšen vpliv ima prilagajanje odtočnega koeficienta.

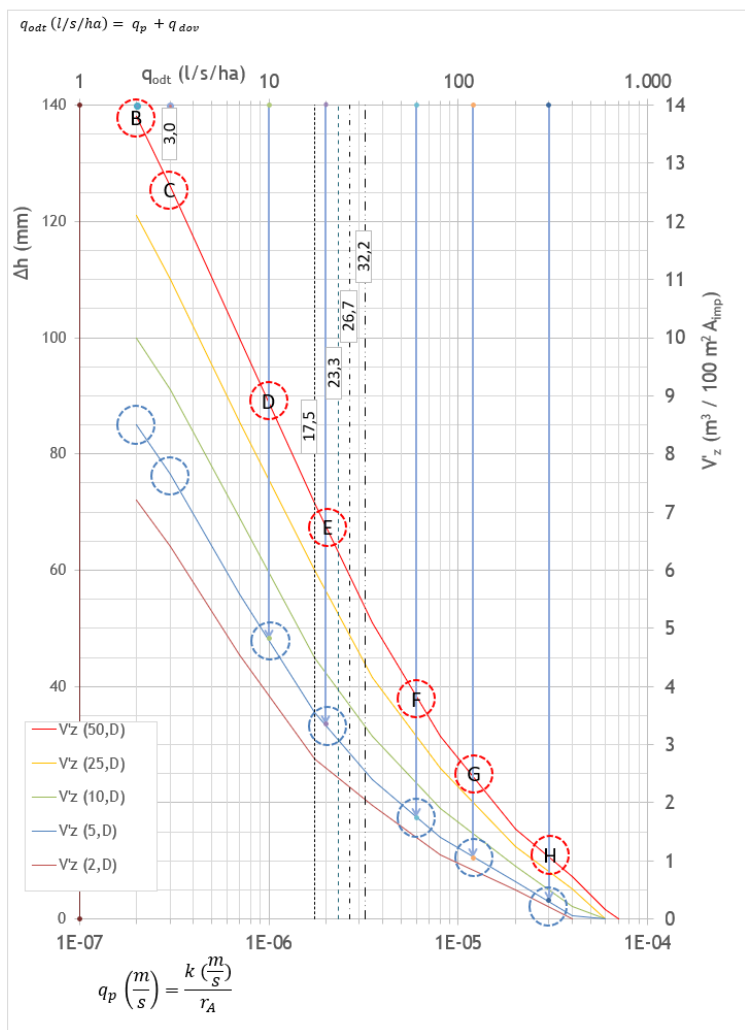
Primer (Slika 26) predstavlja zemljišče s površino 1.200 m^2 , skupni odtočni koeficient $\psi_m = 0,74$, obremenjeno padavinsko vod s ponikalno površino $1/5$ zatesnjene površine. Primer je podan v orodju “*OrodjaD441_ZadrževalneProstornine_1.xlsx*”.

V srednjem razredu prepustnosti $k > 1 \times 10^{-5}$ m/s je lahko ocenjena zadrževalna prostornina od 30 do 3 m^3 (primeri E do H), če nas zanimajo 5-letni nalivi.

Za optimalne rešitve je smiselno izvesti preizkus točno na mestu in na globini predvidenega ponikanja.



MAURICE



r (let)	1*	2*	5	10	25	50	100	250
15 minut	175	199	233	267	322	367	411	478

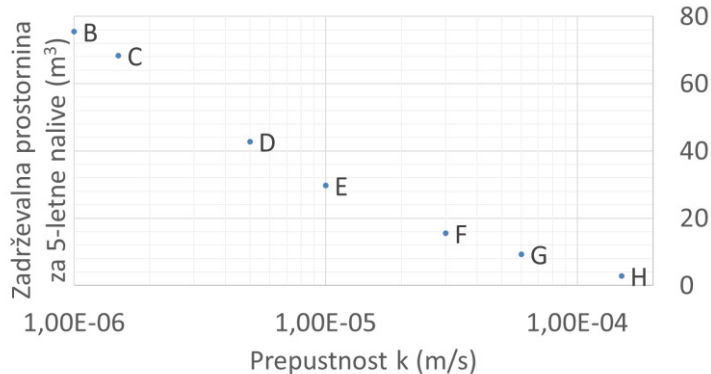
A (m²)	1200	FRP	0,3
Ψ_m	0,74	RP (m²)	360
A_{imp}	888		
A_p sr (m²)	177,6		
r_A	5,0		

Primer	k (m/s)	q_p (m/s)	q_{odt} (l/s/ha)	Q_p (l/s)
A	5,00E-07	1,00E-07	1,0	0,089
B	1,00E-06	2,00E-07	2,0	0,178
C	1,50E-06	3,00E-07	3,0	0,266
D	5,00E-06	1,00E-06	10,0	0,888
E	1,00E-05	2,00E-06	20,0	1,776
F	3,00E-05	6,00E-06	60,0	5,328
G	6,00E-05	1,20E-05	120,0	10,656
H	1,50E-04	3,00E-05	300,0	26,640

Primer	$r(\text{let}) = 30$ $V_z \text{ m}^3/100\text{m}^2$	$V_z \text{ (m}^3\text{)}$	$r(\text{let}) = 5$ $V_z \text{ m}^3/100\text{m}^2$	$V_z \text{ (m}^3\text{)}$
A	-	-	-	-
B	13,8	122,5	8,5	75,5
C	12,6	111,9	7,7	68,4
D	8,9	79,0	4,82	42,8
E	6,75	59,9	3,35	29,7
F	3,85	34,2	1,75	15,5
G	2,45	21,8	1,05	9,3
H	1,1	9,8	0,32	2,8

Primer	Višina vode $r(\text{let}) = 30$ dH (m) na A_p	dH (m) na RP	Višina vode $r(\text{let}) = 5$ dH (m) na A_p	dH (m) na RP
A	-	-	-	-
B	0,69	0,34	0,43	0,21
C	0,63	0,31	0,39	0,19
D	0,45	0,22	0,24	0,12
E	0,34	0,17	0,17	0,08
F	0,19	0,09	0,09	0,04
G	0,12	0,06	0,05	0,03
H	0,06	0,03	0,02	0,01

Vpliv ocene prepustnosti



Primer predstavlja zemljišče s površino 1.200 m², skupni odtočni koeficient $\Psi_m = 0,74$, obremenjeno padavinsko vod s ponikalno površino 1/5 zatesnjene površine.

V srednjem razredu prepustnosti $k > 1 \times 10^{-5}$ m/s je lahko ocenjena zadrževalna prostornina od 30 do 3 m³ (primeri E do H), če nas zanimajo 5-letni nalivi.

Za optimalne rešitve je smiselno izvesti preizkus točno na mestu in na globini predvidenega ponikanja.

Slika 26. Primer vpliva ocene prepustnosti na oceno potrebne zadrževalne prostornine za ponikanje padavinske vode (OrodjaD441_ZadrževalneProstornine_1.xlsx).



10. Prenos karte v prostorski načrt

10.1. Odločanje

Ključno pri odločanju za razvoj koncepta odvodnje je določitev deležev skrbi za odvodnjo padavinske vode med skupnostjo in posameznim investitorjem. V najboljšem razmerju obeh deležev je gospodarnost najboljša. Prevelik del bremena na enem ali drugem ne omogoča vzdržnega in trajnostnega upravljanja. Skupni interes je varnost investicij.

Skupnost išče rešitve za kumulativne vplive odvodnje s celotnega funkcionalnega mestnega območja. Najbolj izrazit kumulativni vpliv je na izpustih skupnih količin vode v reko. Drugi pomembni vidiki so razporejeni na fizikalnih do socialnih področjih (npr., erozija, obnavljanje zalog vode, ohranjenost ekosistema, enake možnosti za vse uporabnike prostora, idr.).

Posamezni investitor išče rešitve za najboljšo izkoriščenost parcele, varnost stavbe in druge bistvene zahteve, ki jih mora izpolnjevati objekt.

10.2. Delež parcele, ki ga je treba nameniti ponikanju

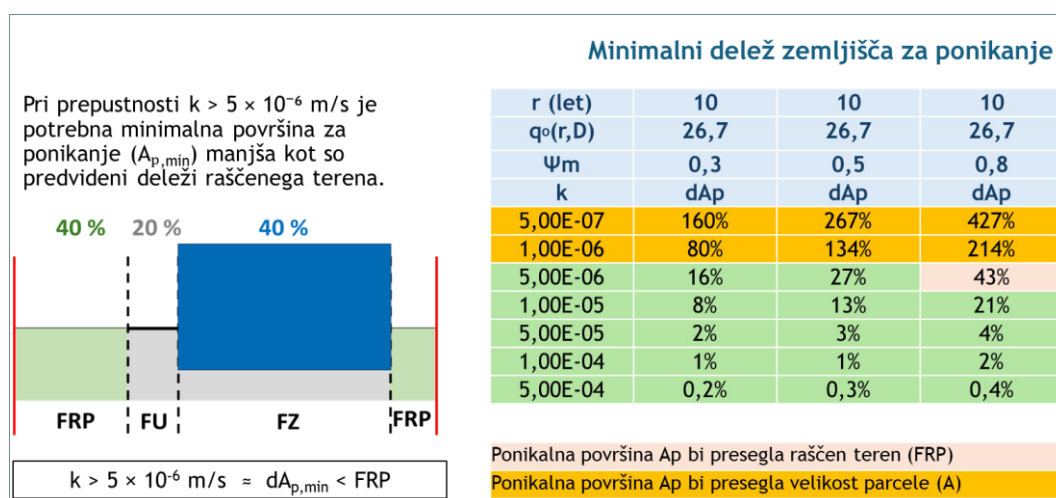
Delež parcele, ki ga moramo nameniti ponikanju, je vezan na koeficient prepustnosti k , skupni odtočni koeficient Ψ_m zemljišča, ciljno ponikalno sposobnost q_p (enačbe 12, 13, 14) in minimalne odmike.

Za izhodišče privzamemo, da je ciljna ponikalna sposobnost q_p enaka naravnemu odtoku q_0 , na primer, odtoku z ravne travnate površine s skupnim odtočnim koeficientom $\Psi_m = 0,1$.

Na ta način bi bila za zadržanje hipnega odtoka iz naliva potrebna enaka zadrževalna prostornina kot na zemljišču z zelo nizko ponikalno sposobnostjo, kjer je namesto ponikanja treba zagotoviti minimalni izpust v okolje ali v površinski odvodnik ali v kanalizacijo, da sunkoviti hipni odtok ne bi bil večji kot pred posegom.

Če je $k > 5 \times 10^{-6}$ m/s, bo minimalna površina za zadrževanje in ponikanje že lahko nižja od minimalnega priporočenega faktorja raščenih površin.

$$\frac{A_p}{A} = dA_p = \frac{\Psi_m \times q_0 \times 10^{-7}}{k} \quad (18) \quad \text{Za dejansko površino je treba preveriti še minimalne odmike!}$$

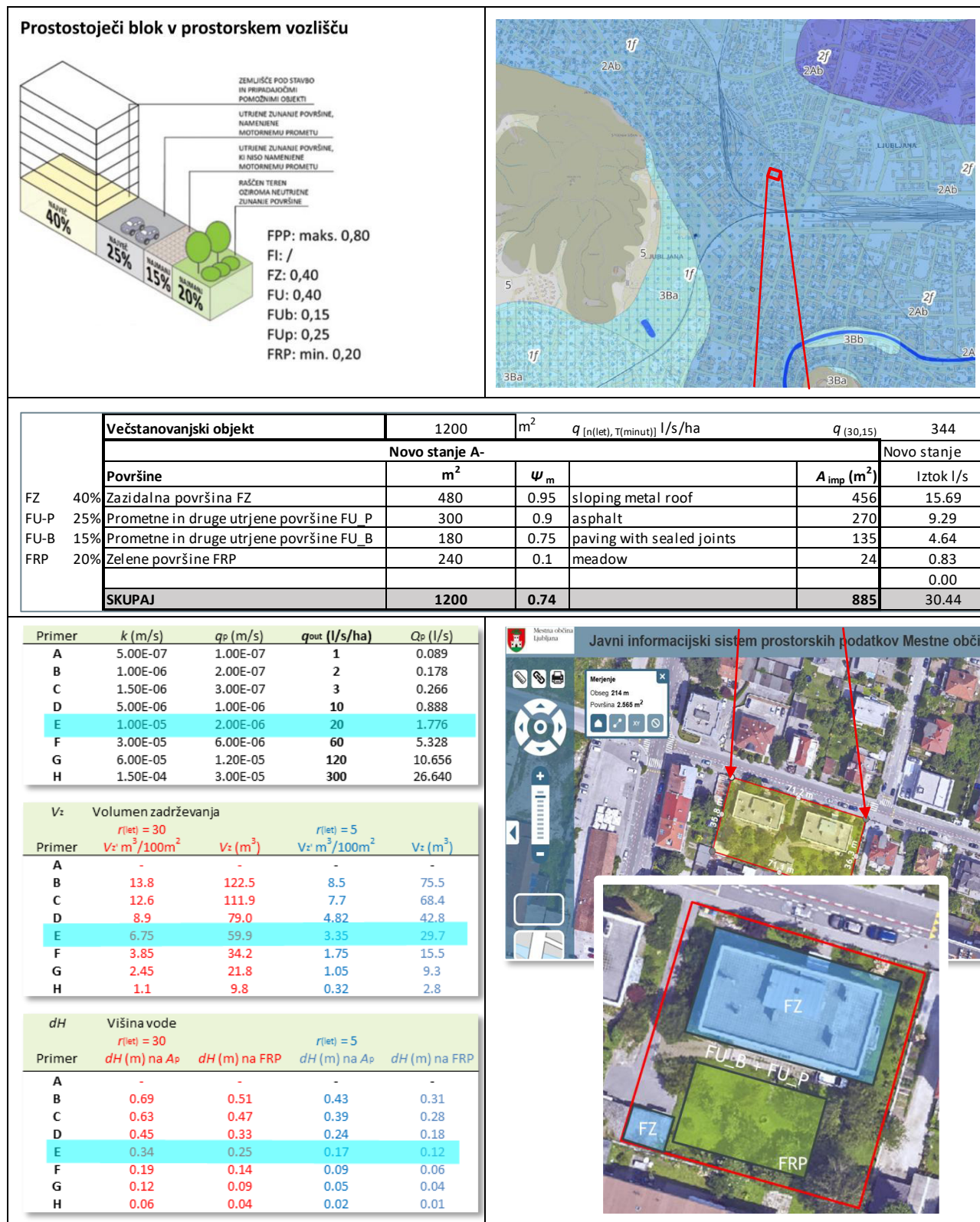


Slika 27. Minimalni delež zemljišča za ponikanje.



■ Primer uporabe raščene površine za ponikanje in zadrževanje

Primer (Slika 28, Slika 26) prikazuje gradbeno parcelo z večstanovanjsko stavbo na območju s srednjo ponikalno sposobnostjo (2Ab), kjer je možno ponikanje celotne količine padavin na predvideni raščeni površini FRP 240 m² z zadržanjem 30-letnega naliva v višini $dH = 0,25 - 0,04$ m ($1 \times 10^{-5} < k$ (m/s) $< 1,5 \times 10^{-4}$).



Slika 28. Primer uporabe raščene površine za ponikanje in zadrževanje.



10.3. Olajšanje priprave in izdaje mnenj in soglasij

Najpomembnejši prispevek k olajšanju postopkov pri pridobivanju soglasij je, če je vnaprej jasno, kaj se preverja v postopkih za sklenitev soglasij in kadarkoli kasneje v času rabe oziroma obratovanja.

Soglasja so potrebna v treh ključnih postopkih:

- Vodno mnenje v postopkih priprave prostorskih aktov,
- Soglasje za priključitev,
- Vodno soglasje v postopkih izdaje gradbenih dovoljenj.

Bolj kot so rešitve opredeljene že v prostorskem aktu, lažje je pridobivanje soglasij in hitrejši so administrativni postopki.

Ključno je, da so z vidika odvodnje in ponikanja že v prostorskem aktu izvedene naslednje preveritve na ravni prostorskega akta oziroma prostorske enote na končno stanje ureditve in nato v nadaljnjih postopkih na ravni gradbene parcele stavbe pred pridobitvijo gradbenega dovoljenja:

■ Vsa območja

- Ali je prikazana optimizacija odtočnega koeficienta
- Ali sta opredeljeni prepustnost in ponikalna sposobnost na zemljišču
- Ali je predvidena povratna doba za dopustno razlivanje
- Ali je ocenjena količina padavinskih vod po obremenjenosti (strešne vode, vode z utrjenih odprtih bivalnih površin, vode z odprtih prometnih površin)
- Ali je predviden način ponikanja glede na načrtovano vrsto padavinskih vod po obremenjenosti
- Ali sta ocenjena ponikalna površina in potrebna zadrževalna prostornina
- Ali je preverjena možnost nastopanja viseče podzemne vode
- Ali je preverjena pomembnost višine dviga gladine podzemne vode pod ponikalnico in doseg vpliva dviga za več kot $dH > 0,1$ m

■ Srednja ponikalna sposobnost

- Ali je določeno mesto preliva in povratna doba dopustnega preliva

■ Slabša ponikalna sposobnost

- Ali sta predvidena možnost izpusta (dušen iztok - dušilka) in mesto izpusta
- Ali je opredeljena dovoljena količina

■ Plitva gladina podzemne vode ali plitva kamninska podlaga

- Ali je izračunano vplivno območje razpršene odvodnje z ozirom na sosednja zemljišča in objekte
- Ali je izrecno opredeljena potreba po posebnih odmikih,
- Ali je izračunano, kakšni so minimalni odmiki ponikanja s stališča zamakanja, medsebojnega vpliva med sosednjimi ponikalnicami, možnosti notranje erozije v pobočjih in terasah



D. PRIPOROČILA ZA PODROBNEJŠO OCENO PREPUSTNOSTI

11. Terenske meritve

Obstaja več vrst terenskih poskusov za oceno stopnje infiltracije naravnih tal, vključno z uporabo permeametrov ali infiltrometrov, nalivalnimi testi in empiričnimi povezavami med porazdelitvijo velikosti zrn in koeficientom prepustnosti (hidravlično prevodnostjo). Med temi metodami so določene razlike.

S pomočjo Guelphovega permeametra in infiltrometra z dvojnim obročem lahko ocenimo navpično gibanje vode skozi dno testnega območja. Zunanji obroč pomaga zmanjšati lateralno gibanje vode v tleh. Nalivalni testi omogočajo gibanje vode tako skozi dno kot tudi ob straneh testnega območja.

Za preverjanje stopnje infiltracije naravnih tal pri načrtovanju je močno priporočljivo, da se izvedejo infiltracijski poskusi po metodah za določitev hidravlične prevodnosti v zasičenih pogojih (TRCA, 2012), npr. z uporabo standardizirane metode infiltrometra z dvojnim obročem (ASTM, 2009).

V splošnem se izvedba infiltracijskih poskusov ne priporoča med padavinami ali v 24 urah po večjih padavinskih dogodkih (>15 milimetrov), niti ko je temperatura pod lediščem (TRCA, 2012). Optimalni čas za izvajanje infiltracijskih poskusov je april in maj, ko je verjetno, da bo infiltracija zmanjšana zaradi zasičenih pogojev (TRCA, 2012). Če se nalivalni testi izvajajo med 1. junijem in 31. decembrom, se priporoča 24-urno predhodno namakanje, da se simulirajo zasičeni terenski pogoji (TRCA, 2012). Predhodno namakanje ni potrebno za teste s permeametrom in infiltrometrom.

Alternativno se lahko uporabijo tudi druge metode preizkusov prepustnosti, ki dajejo vrednosti zasičene hidravlične prevodnosti, kot so enačbe, razvite s strani Elricka in Reynoldsa, ali podobne metode za izračun hidravlične in zasičene hidravlične prevodnosti (TRCA, 2012).

Vsaj en poskus bi moral biti izveden na predvideni globini dna ponikovalnega/infiltracijskega sistema, dodatni poskusi pa se opravijo v vsakem drugem sloju tal, ki se nahaja do 1,5 metra pod predlaganim dnom ponikovalnega/infiltracijskega sistema (TRCA, 2012). Priporoča se izvedba vsaj dveh poskusov na vsakem testnem polju. Če so rezultati prvih dveh poskusov bistveno različni, so potrebni dodatni poskusi. Za določitev povprečne stopnje infiltracije za vsak sloj tal po več poskusih se uporabi geometrijska sredina (TRCA, 2012).

11.1. Metoda z dvojnim obročem

Infiltrometer z dvojnim obročem (DRI) je vrsta cilindričnega infiltrometra, ki se uporablja za merjenje infiltracije v nasičenih pogojih po standardizirani metodi (ASTM, 2009). V tla se vstavi dva kovinska obroča, notranji (≈30 cm) in zunanji (≈60 cm), do izbrane globine, običajno do 10 cm. Zunanji obroč zmanjšuje bočni odtok in zagotavlja predvsem vertikalni tok vode. Oba obroča se napolnita z vodo do izbrane višine (5-15 cm), pri čemer tekom poskusa ohranjamo konstanten nivo vode v obročih z dodajanjem vode. Na podlagi količine dodane vode v določenih časovnih intervalih se izračuna hitrost infiltracije. Meritev traja, dokler se ne vzpostavi stacionarna infiltracija, običajno najmanj eno uro, pri manj prepustnih tleh pa tudi več. Nasičeno hidravlično prevodnost je mogoče oceniti z enačbo (3) (Arriaga et al., 2010; Bodhinayake et al., 2004; USDA, 2014), ki temelji na načelih infiltracije iz infiltrometrov, opisanih v študijah (Reynolds and Elrick, 1990; Youngs et al., 1995):

$$K_s = \frac{q_s}{\left(\left(\frac{H}{B_1 d + B_2 a} \right) + \left(\frac{1}{\alpha (B_1 d + B_2 a)} \right) + 1 \right)} \quad (19)$$



kjer je K_s nasičena hidravlična prevodnost (cm/s), q_s je kvazi-konstantna hitrost infiltracije (cm/s), H je povprečna višina vodnega stolpca (cm), a je polmer notranjega obroča (cm), d je globina vstavitve obroča v tla (cm), B_1 in B_2 sta brezdimenzijski kvazi-empirični konstanti (za $d > 3$ in $H > 5$ cm: $B_1 = 0,316\pi$, $B_2 = 0,184\pi$), a pa je makroskopska dolžina kapilare (1/cm).

11.2. Nalivalni poskusi

Nalivalni poskusi se izvedejo v izkopu poljubne velikosti, npr. 1 m³, pri čemer pa so dimenzije stranic izkopa pomembne za kar se da pravilen izračun prepustnosti. Koeficient prepustnosti se lahko izračuna na podlagi metode stalnega nalivanja v izkop (Brenčič, 2011) in trenutnega nalitja vode v izkop ter spremljanja padca nivoja vode (NE.CH, 2018; Prestor, 2021).

Pri metodi stalnega nalivanja v izkop vodo nalivamo s stalno enakim pretokom in merimo, na kakšni višini nad dnem se ustali gladina vode v izkopu. Izbrati moramo tak pretok, ki lahko v celoti ponika in nalivamo toliko časa, da se višina vode v izkopu povsem ustali, torej da ne upada ali ne narašča. Koeficient prepustnosti (m/s) se izračuna iz stacionarnega dela poskusa po enačbah (4), (5) (Brenčič, 2011):

$$K_s = \frac{Q}{A} \quad (20)$$

$$A = a \cdot b + 2 \cdot (a + b) \cdot h \quad (21)$$

Kjer je K_s nasičena hidravlična prevodnost (m/s), Q je stalna količina nalivanja vode v izkop (m³/s), A je površina omočenega dela izkopa (m²), a = dolžina izkopa (m), b = širina izkopa (m), h = ustaljena višina vode nad dnem izkopa pri nalivanju stalne količine vode Q (m).

Pri metodi trenutnega nalitja v izkop nalijemo vodo do želene višine in nato merimo, za koliko in v kolikšnem času upade gladina vode v izkopu.

Prepustnost izračunamo po enačbah (6) in (7):

$$k = \frac{-C}{60 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left(\frac{h_2 + C}{h_1 + C} \right) \quad (22)$$

$$C = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)} \quad (23)$$

Kjer je k = koeficient prepustnosti (m/s), t_1 = čas začetka meritev upadanja gladine vode v izkopu (min), t_2 = čas konca meritve upadanja gladine vode v izkopu (min), h_1 = višina vode nad dnem v času t_1 , h_2 = višina vode nad dnem v času t_2 , a = dolžina izkopa (m), b = širina izkopa (m), C = razmerje med površino in obsegom dna izkopa (m).

11.3. Vrednotenje merskih napak

Vrednotenje merskih napak in njihov vpliv na izračunano vrednost koeficienta prepustnosti s pomočjo infiltracijskih in nalivalnih poskusov

Primer vrednotenja potencialnega vpliva merskih napak na izračunano vrednost koeficienta prepustnosti je prikazan v prilogah (poglavje 14.1). Izračuni kažejo, da lahko največje morebitne napake pri izračunu koeficienta prepustnosti (red velikosti 1·10⁻⁵ m/s) pričakujemo zaradi napak pri popisu dimenzij izkopa, ki so tudi najbolj realne. Napake, ki izhajajo iz napak pri merjenju pretokov in nivoja vode s tlačno sondo so bistveno manjše (red velikosti 1·10⁻⁶ m/s).



12. ORODJA

1. OrodjaD441_Uporaba Karte PS.xlsx
2. OrodjaD441_Tipske krivulje nalivov_1.xlsx
3. OrodjaD441_ZadrževalneProstornine_1.xlsx



13. LITERATURA

- Ali, S., Islam, A. 2019: *Evaluation of Hantush's S Function Estimation Methods for Predicting Rise in Water Table*. Water Resources Management, 33, 2239-2260.
- Arriaga, F.J., Kornecki, T.S., Balkcom, K.S., Raper, R.L., 2010. A method for automating data collection from a double-ring infiltrometer under falling head conditions. Soil Use Manag 26, 61-67. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00249.x>
- ARSIT, 1995. Engineering Guideline for Rainwater Infiltration Facilities Survey and Planning.
- ASTM, 2009. Standard D3385-09. Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer.
- Barraud et al., 2009. L'infiltration en questions - Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain.
- Bernier, B., 2001. Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique. Direction des politiques du secteur municipal. Service de l'expertise technique en eau. Février 2001.
- Bodhinayake, W., Cheng Si, B., Noborio, K., 2004. Determination of Hydraulic Properties in Sloping Landscapes from Tension and Double-Ring Infiltrometers. Vadose Zone Journal 3, 964-970.
- Breil, P. & VALLA, Eric & Le Nouveau, Nathalie & ARCOS, Muriel & PADET, Julien & Bacot, Laëticia & Brelot, Elodie & VALIN, Karine & CHAPGIER, Jean & SIBEUD, Elisabeth & Lipeme Kouyi, Gislain & ALZATZ, Luisa & MARTINET, Alain & MORIN-BATUT, Carine & PASQUIER, Vincent & GIOL, Stephan & PIERLOT, Daniel & SENECHAL, Christelle. (2009). Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme.
- Brenčič, M., 2011. Practical Guidelines for Water Percolation Capacity Determination of the Ground. Geologija 54, 65-80. <https://doi.org/10.5474/geologija.2011.005>
- Carleton, G. B. 2010: *Simulation of Groundwater Mounding Beneath Hypothetical Stormwater Infiltration Basins*. U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report 2010-5102, 64 p., Reston, Virginia.
- Cerema, DGALN, 2014. Études de sols pour les ouvrages d'infiltration ou de rétention d'eaux pluviales, fact sheet n°6, decembre 2014.
- CROSSRISK (2022). Cross-Risk modelling framework for flood risk analysis. Interreg [program].
- Dearden, R., 2016. User Guide for the Infiltration SuDS Map: Detailed.
- DWA, 2007. Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, Notice DWA-M 153F.
- DWA, 2005. Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, DWA-A 138.
- Elrick, D.E., Reynolds, W.D., Tan, K.A., 1989. Hydraulic Conductivity Measurements in the Unsaturated Zone Using Improved Well Analyses. Groundwater Monitoring & Remediation 9, 184-193. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6592.1989.tb01162.x>
- État de Genève, D. de l'Eau, 2005. Plan général d'évacuation des eaux (PGEE) - Notice méthodologique relative à l'élaboration du rapport sur l'état de l'infiltration, version 1.0.
- Gerolin, A., Dumont, E., Degrave, M., Pétillon, G., Le Nouveau, N., 2016. Stormwater infiltration capacity maps: a brief international overview to question French practices, in: Novatech 2016 -



9th International Conference on Planning and Technologies for Sustainable Management of Water in the City. HAL, Lyon, France.

Griffiths, J., Chan, F. K. S., Shao, M., Zhu, F., & Higgitt, D. L. (2020). Interpretation and application of Sponge City guidelines in China. Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences, 378(2168), 20190222. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0222>

Hauts de Seine, 2011. Cartographie de l'infiltrabilité dans les sols du département des Hauts-de-Seine.

MDDEFP, 2014. Guide de gestion des eaux pluviales, annexe B.

Nantes Metropole, 2022. Intégrer la gestion des eaux pluviales dans son projet: Guide pratique à l'usage des professionnels de l'aménagement. Volet 4. Nantes, France.

Nantes Metropole, 2020. Fiche Pratique: La règle de gestion des eaux pluviales; Plan Local D'Urbanisme Metropolitain. Nantes, France.

NE.CH, 2018. Infiltration des eaux non polluées. Essai d'infiltration. Tombet 24, 2034 Peseux. République et Canton de Neuchâtel.

Prestor, J., P.S., 2021. Priprava strokovnih mnenj za potrebe dela območnih sektorjev. Navodila: Urejanje in dimenzioniranje ponikalnih sistemov na flišnih območjih. Ljubljana.

Reynolds, W.D., Elrick, D.E., 1990. Ponded Infiltration From a Single Ring: I. Analysis of Steady Flow. Soil Science Society of America Journal 54, 1233-1241. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400050006x>

SEC, SCWA, 2011. Sonoma Valley Groundwater Recharge Potential Mapping Project. SEC Report No. 20100922.

SIA, 2012. Installations pour évacuation des eaux des biens-fonds - Conception et exécution - Norme Suisse SN 592000:2012.

Suchanek, M., Vitek, J., Finfrlova, P., Stransky, D., Kabelkova, I., 2013. Drainage Area Study of the city of Hradec Kralove, Czech Republic, and its utilization for urban planning, in: Novatech 2013 - 8th International Conference on Planning and Technologies for Sustainable Management of Water in the City. Lyon, France.

Teller, J., Djanaralieva, L., Flas, M., Moulana, M.L., Onan, L., Privot, J., 2023. Gestion durable des eaux pluviales.

TRCA, 2012. Stormwater Management Criteria. Toronto, ON.

Thompson, A., Nimmer, M., Misra, D. 2007: *Groundwater Mounding and Contaminant Transport Beneath Stormwater Infiltration Basins*. Wisconsin Department of Natural Resources Project #189, Wisconsin Groundwater Coordinating Council Joint Solicitation Project, Madison, Wisconsin, 46 p.

Urumović, K., Borović, S., Urumović, K., Navratil, D., 2020. Validity range and reliability of the United States Bureau of Reclamation (USBR) method in hydrogeological investigations. Hydrogeol J 28, 625-636. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02080-2>

USDA, 2014. Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual; Soil Survey Investigations Report No. 51; Version 2 (2014).

VSA, 2002. Directive sur l'infiltration, la rétention et l'évacuation des eaux pluviales dans les agglomérations.

Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., 2007. The SUDS manual. C697. London.



Youngs, E.G., Leeds-Harrison, P.B., Elrick, D.E., 1995. The hydraulic conductivity of low permeability wet soils used as landfill lining and capping material: analysis of pressure infiltrometer measurements. Soil Technology 8, 153-160.



14. PRILOGE

14.1. Ovrednotenje vpliva morebitnih napak pri meritvah

Infiltracijski poskusi z dvojnim obročem

Napake se lahko pojavijo pri merjenju znižanja gladine vode v Mariottovi napravi in pri vzdrževanju višine vode v obroču.

Višina vode v mariotovi napravi se meri s pomočjo tlačne sonde, in sicer na desetinko mm natančno, npr. 1000,0 mm. Če se na 1 m vodnega stolpca lahko pojavi 0,1 % napake, to pomeni napako 1 mm. Če se na 1 m lahko pojavi 1 % napake, ta napaka znaša 10 mm, oz. 1 cm.

Izračunali smo, kako lahko ta napaka vpliva na zanesljivost izračunov koeficienta prepustnosti.

Vpliv napak pri meritvi znižanja vode v mariotu na časovno enoto (zadnja krivulja)						
parameter	enota	original	ds -1cm	ds +1cm	ds -1mm	ds +1mm
qs	cm/s	0.00350	0.00323	0.00377	0.00348	0.00353
H	cm	5	5	5	5	5
a	cm	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
d	cm	5	5	5	5	5
B1	-	0.9927	0.9927	0.9927	0.9927	0.9927
B2	-	0.5781	0.5781	0.5781	0.5781	0.5781
alfa	/cm	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Ks	cm/s	3.69E-03	3.40E-03	3.97E-03	3.66E-03	3.72E-03
Ks	m/s	3.69E-05	3.40E-05	3.97E-05	3.66E-05	3.72E-05
napaka	m/s		-2.86E-06	2.86E-06	-2.86E-07	2.86E-07

Če je znižanje v mariotu manjše ali večje za 1 mm, je napaka v izračunu koeficienta prepustnosti reda velikosti do $\pm 3 \times 10^{-7}$ m/s. Če je znižanje v mariotu manjše ali večje za 1 cm (10 mm), je napaka v izračunu koeficienta prepustnosti reda velikosti do $\pm 3 \times 10^{-6}$ m/s, kar ne vpliva bistveno na izračunan K, ki je reda velikosti 3×10^{-5} m/s.

V nadaljevanju ovrednotimo še možno napako pri vzdrževanju višine vode v obroču. Predvidimo scenarije, ko je višina vode v obroču 0,5 cm ali 1 cm višja ali nižja od predvidene (5 cm). Na podlagi izračunov se izkaže, da je tudi tu napaka v izračunu koeficienta prepustnosti reda velikosti do $\pm 3 \times 10^{-6}$ m/s, kar ne vpliva bistveno na izračunan k, ki je reda velikosti 3×10^{-5} m/s.

Vpliv napake pri vzdrževanju višine vode v obroču						
parameter	enota	original	dH -0.5cm	dH +0.5cm	dH -1cm	dH +1cm
qs	cm/s	0.00350	0.00350	0.00350	0.00350	0.00350
H	cm	5	4.5	5.5	4	6
a	cm	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
d	cm	5	5	5	5	5
B1	-	0.9927	0.9927	0.9927	0.9927	0.9927
B2	-	0.5781	0.5781	0.5781	0.5781	0.5781
alfa	/cm	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Ks	cm/s	3.69E-03	3.83E-03	3.56E-03	3.99E-03	3.43E-03
Ks	m/s	3.69E-05	3.83E-05	3.56E-05	3.99E-05	3.43E-05
napaka	m/s		-1.44E-06	1.33E-06	-2.99E-06	2.57E-06



Nalivalni poskusi po stacionarni metodi

Predvidimo možne napake pri meritvah pretoka z vedrom in merilnikom časa ter pri meritvi dimenzij izkopa za nalivalni poskus.

Kumulativni vpliv napake merjenja časa (+/- 0,5 s in +/- 1 s) in količine vode v vedru (+/- 1 dcl in +/- 2 dcl) kaže, da je vpliv na napako izračuna koeficienta prepustnosti reda velikosti do $\pm 2,4 \times 10^{-6}$ m/s.

Vpliv kumulativne napake merjenja časa in merjenja volumna na IZRAČUN KOEFICIENTA PREPUSTNOSTI						
parameter	enota	original	-0.5s&+1dcl	+0.5s&-1dcl	-1s&+2dcl	+1s&-2dcl
K	m/s	4.96E-05	5.07E-05	4.84E-05	5.19E-05	4.73E-05
napaka	m/s		1.18E-06	-1.15E-06	2.38E-06	-2.29E-06

Po drugi strani pa smo ugotovili, da so napake, ki izhajajo iz napačno popisanih dimenzij izkopov bistveno večje.

Če bi bile vse dimenzije (dolžina in širina izkopa ter višina vodnega stolpca) napačne za +/- 10 cm, bi bila napaka pri izračunu koeficienta prepustnosti reda velikosti do $\pm 1,6 \times 10^{-5}$ m/s.

Če bi bile vse dimenzije (dolžina in širina izkopa ter višina vodnega stolpca) napačne za +/- 20 cm, bi bila napaka pri izračunu koeficienta prepustnosti reda velikosti do $\pm 4,1 \times 10^{-5}$ m/s.

Vpliv napake pri ovrednotenju dimenzij izkopa na IZRAČUN KOEFICIENTA PREPUSTNOSTI						
parameter	enota	original	-10 cm	+10 cm	-20 cm	+20 cm
K	m/s	4.96E-05	6.54E-05	3.89E-05	9.03E-05	3.14E-05
napaka	m/s		1.58E-05	-1.07E-05	4.08E-05	-1.82E-05

Nalivalni poskusi po nestacionarni metodi

Predvidimo možne napake pri meritvi dimenzij izkopa (+/- 10 cm in +/- 20 cm) za nalivalni poskus in pri meritvi upadanja gladine vode v izkopu (+/- 10 cm in +/- 20 cm).

KUMULATIVNI VPLIV NAPAKE PRI MERITVI DIMENZIJ IZKOPA IN NAPAK PRI MERITVI UPADA GLADINE VODE NA IZRAČUN KOEFICIENTA PREPUSTNOSTI						
parameter	enota	original	-10cm&+10cm	+10cm&-10cm	-20cm&+20cm	+20cm&-20cm
K	m/s	1.4E-05	7.3E-06	2.2E-05	2.5E-06	3.2E-05
napaka	m/s		-6.4E-06	8.2E-06	-1.1E-05	1.9E-05

Izračunan kumulativni vpliv na izračun koeficienta prepustnosti kaže na možno napako pri izračunu koeficienta prepustnosti reda velikosti do $\pm 1,9 \times 10^{-5}$ m/s.