

Uporaba modelov za učinkovito upravljanje s padavinskimi vodami v urbanih okoljih

asist. MATEJ RADINJA, doc. dr. NATAŠA ATANASOVA,
doc. dr. PRIMOŽ BANOVEC

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Vsebina:

- 1) Problematika padavinskih voda v urbanih okoljih
- 2) Modeliranje urbane odvodnje
- 3) Razvoj HH modela z vmesnikom GisWater
- 4) Učinkovito upravljanje s padavinsko vodo
- 5) Primer
- 6) Zaključki

Uporaba modelov za učinkovito upravljanje s padavinskimi vodami v urbanih okoljih

SSKJ (ZRC SAZU):

učinkovit učink (i) **1.** ki učinkuje tako, kot se želi, pričakuje ovít -a -o prid. **2.** ki dosega tak učinek, kot se želi, pričakuje

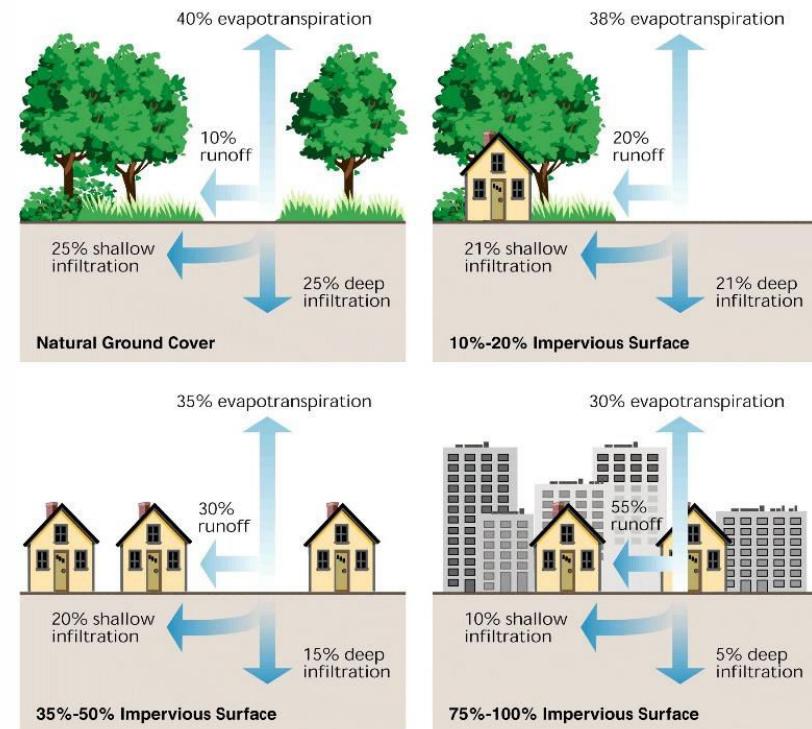
upravljeni upravljati -am nedov. (á) **1.** urejati, usmerjati življenje v kaki družbeni skupnosti. **2.** odločati o uporabi, izkoriščanju, vzdrževanju česa

1) Problematika padavinskih voda v urbanih okoljih

Urbana okolja → spremenjen hidrološki krog

↓ infiltracija in evapotranspiracija

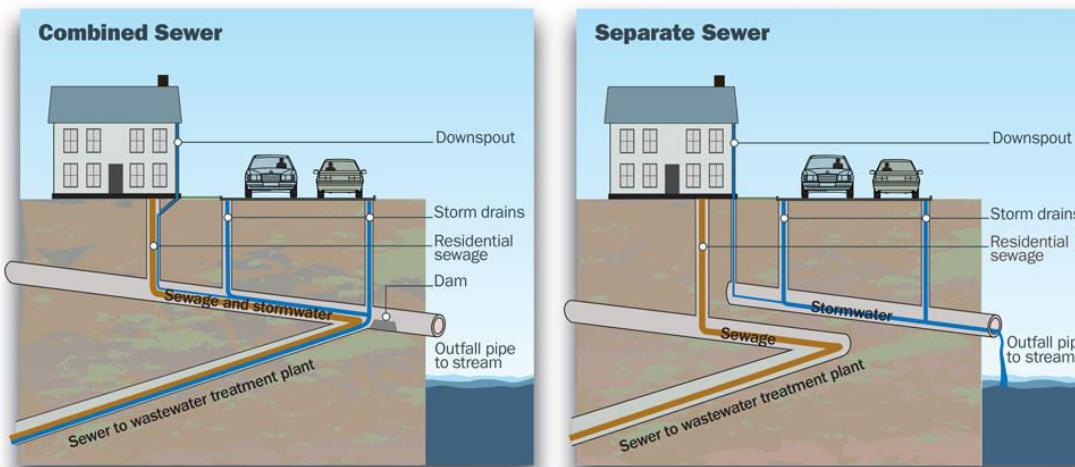
↑ površinski odtok



Kanalizacijski sistemi (KS)

Ločimo:

- mešane (*levo*)
- ločene (*desno*)

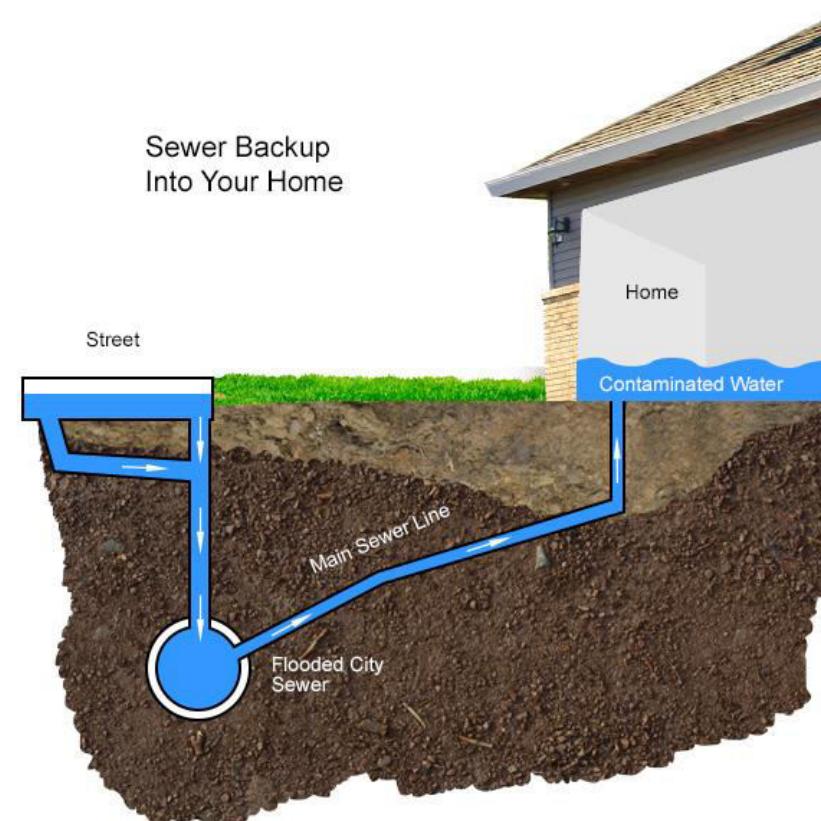


Vir: Potera, C. 2015. After the Fall. Environmental Health Perspectives 123, 9: 243. doi: 10.1289/ehp.123-A243

Ob preobremenitvi KS:

- vdor kanalizacijskih voda v objekte,
- poplavljjanje cest.

Kot mehanizem odvajanja v primeru ekstremnih dogodkov je pomembno analizirati tudi tok po prometnih površinah.



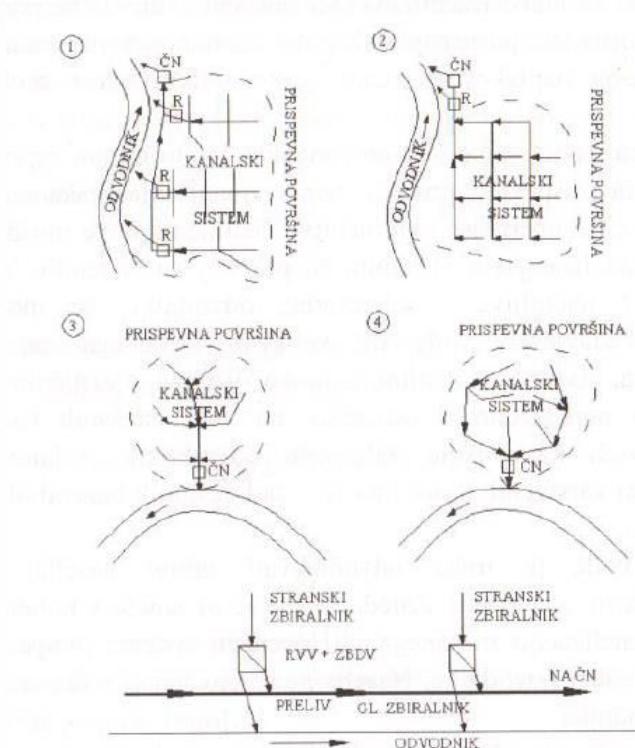
Vir: <http://basementfloodingprevention.ca/storm-sewer-backup.php>

Razbremenilniki

Pomemben element vsakega KS – odvajanje presežnih količin mešane/padavinske vode v odvodnik:

- varovanje ČN pred preobremenitvijo,
- varovanje KS pred preplavitvijo.

Imajo omejeno območje vpliva razbremenjevanja sistema KS.



Vir: Panjan, J. 2005. Osnove zdravstveno hidrotehnične infrastrukture. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 289 str.

RVV - RAZBREMENILNIK VISOKIH DEŽEVNIH VODA
ZBDV - ZADRŽEVALNI BAŽEN DEŽEVNIH VODA

- Zahteva po ustreznem razredčenju sanitarne in padavinske vode: min. stopnja redčenja > 7 . (Vir: ATV-A 128: Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Structures in Combined Sewers)
- Negativni vplivi razbremenilnikov zaradi prezgodnje aktivacije (nezadostno redčenje).
Vzroki:
 - 1) neustrezno dimenzionirani razbremenilniki in
 - 2) spremembe v zaledju (širjenje naselji).

Izzivi

- Urbanizacija, zgoščevanje pozidave – priključevanje novih utrjenih površin na sistem, ki ni bil dimenzioniran zanje.
- Podnebne spremembe

Za Slovenijo do sredine stoletja lahko pričakujemo:

- *ob višji temperaturi zraka hudo vročino poleti*
- *večjo spremenljivost temperature in padavin poleti*
- *več močnih padavinskih dogodkov (na splošno več vodne pare v ozračju), večje izhlapevanje*
- *okrepitev hidrološkega cikla – kroženja vode*
- *pogostejše zdajšnje stoletne poplave (krajšanje povratne dobe ekstremnih padavin)*
- *zelo verjetno znatno povečanje pogostosti poletne suše*
- *verjetno povečanje števila dni z ugodnimi razmerami za nastanek poletnih neurij*

(Vir: Dolinar, Mojca et al. 2014. "PODNEBNE SPREMEMBE V SLOVENIJI PODNEBNE PODLAGE ZA PRIPRAVO OCENE TVEGANJ IN PRILOŽNOSTI, KI JIH PODNEBNE SPREMEMBE PRINAŠAJO ZA SLOVENIJO 1. Poročilo (Različica 2).")

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/področja/podnebne_spremembe/porocilo_podnebne_spremembe1_2.pdf.

Zakonodaja

- Direktiva o čiščenju komunalne odpadne vode: omejevanje onesnaženja zaradi razbremenjevanja. *(Vir: EEC Council. 1991. Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment, EEC Council Directive.)*

PRILOGA I

ZAHTEVE ZA KOMUNALNO ODPADNO VODO

A. Kanalizacijski sistemi (1)

Kanalizacijski sistemi morajo upoštevati zahteve pri čiščenju komunalne odpadne vode.

K načrtovanju, izgradnji in vzdrževanju kanalizacijskih sistemov je potrebno pristopiti v skladu z najboljšim tehničnim znanjem, brez nepotrebnih stroškov, pri čemer je potrebno posebno pozornost nameniti:

- količini in značilnostim komunalne odpadne vode,
- preprečevanju puščanja,
- omejevanju onesnaženja sprejemnih voda zaradi preplavljanja voda ob neurjih.

(1) Ker v praksi ni mogoče zgraditi kanalizacijskih sistemov in čistilnih naprav tako, da bi lahko prečistili vso odpadno vodo v razmerah, kot je neobičajno močno deževje, morajo države članice določiti merila za zmanjšanje onesnaženja zaradi preplavljanja vode ob neurjih. Ta merila lahko temeljijo na stopnji redčenja ali zmogljivosti v razmerju na tok ob suhem vremenu ali pa določajo neko sprejemljivo število preplavljanj na leto.

- Vodna direktiva: doseganje dobrega ekološkega in kemijskega stanja površinskih voda (odvodnikov). *(Vir: European Commission. 2000. Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities L327, 22/12/2000: 1–73)*

Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Uradni list RS, št. 98/15 in 76/17):

24. člen (*ukrepi za javno kanalizacijsko omrežje*)

(3) *Pri načrtovanju, gradnji, rekonstrukciji, obratovanju ali vzdrževanju javnega kanalizacijskega omrežja za odvajanje izključno padavinske odpadne vode, mora investitor, lastnik ali upravljavec tega kanalizacijskega omrežja zagotoviti izvedbo tehničnih ukrepov za zadrževanje padavinske odpadne vode.*

(4) *Pri načrtovanju, gradnji, rekonstrukciji ali vzdrževanju objektov v aglomeraciji mora biti zagotovljeno, da se predvidijo in izvajajo ukrepi za zmanjševanje količin padavinske odpadne vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo.*

26. člen (*program izvajanja javne službe*)

3. opredelitev načina izvajanja javne službe, ki mora vsebovati:

-načrt ukrepov za zmanjševanje količin padavinske odpadne vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo.

Identifikacija problema:

- Izrazito razpršen proces nastanka površinske odvodnje.
- V preteklosti: centraliziranimi sistemi → prinašajo zgolj delne učinke.
- Zmanjševanja obremenitev KS: načrtovanje ukrepov razpršenega ponikanja in zadrževanja padavinskih voda → decentralizirani sistemi.
- Kako? Z uporabo hidrološko-hidravličnih (HH) modelov površinske odvodnje.

2) Modeliranje urbane odvodnje

Namen:

- 1) analiziranje obstoječih KS: spoznati odziv sistema na specifične pogoje ter kako bi s posegi vanj vplivali na njegov odziv.
- 2) načrtovanje novih oz. sanacija obstoječih KS: določiti fizične lastnosti sistema (ukrepi) na način, da se bo ta ob specifičnih pogojih (padavinski dogodek) ustrezno odzval.

Programska orodja

Pester nabor programskih orodji, potrebno izbrati najprimernejšega glede na namen.

Urbana odvodnja: potrebno zagotoviti simuliranje toka po ceveh.

Modeli, ki uporabljajo hidrološke metode:

- MUSIC (Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation),
- P8-UCM (P8 Urban Catchment Model),

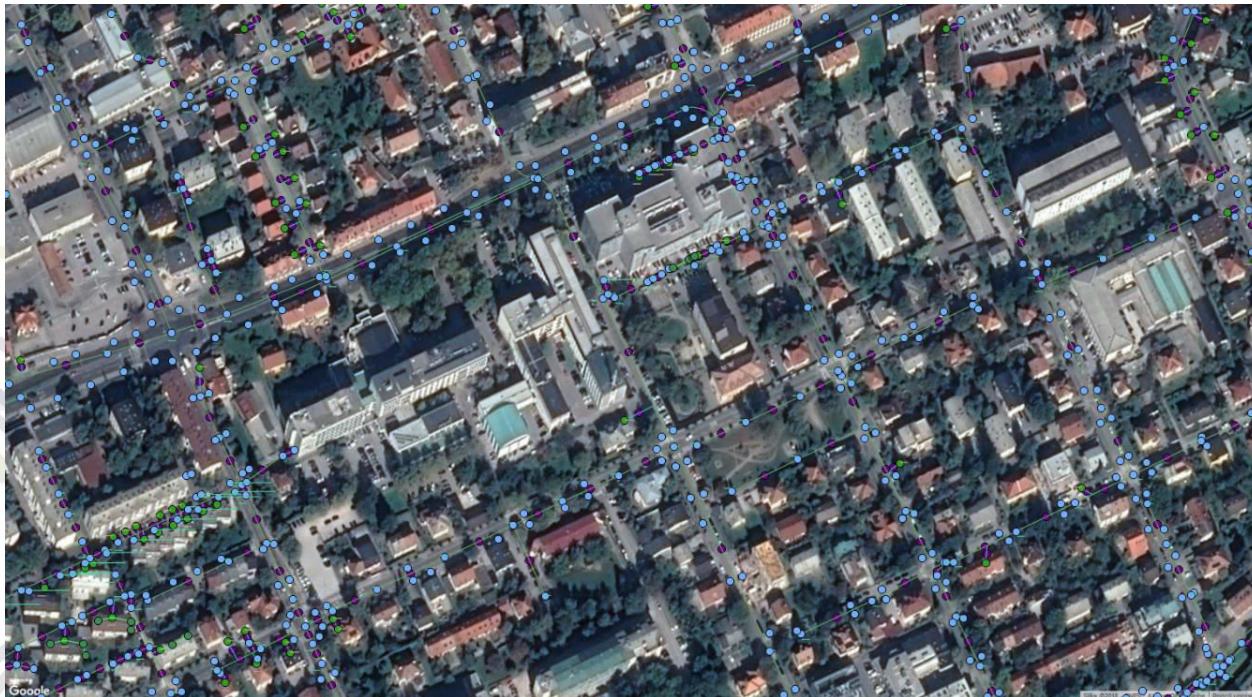
Modeli, ki uporabljajo hidravlične metode (dinamični in kinematični val):

- MIKE URBAN,
- EPA SWMM (Storm Water Management Model).

→ ključno za simuliranje kompleksnih pojavov v KS: povratni tok, tok pod tlakom, vhodne/izhodne izgube, zadrževanje v ceveh.

Zahtevnost procesa

- Podatkovno zahteven proces: kompleksna in obširna mreža točkovnih (jaški, izlivи, zadrževalniki, ...) in linijskih elementov (cevi, prelivи, ...).
- Nujna uporaba GIS-ov ter njihova povezava s HH.



3) Razvoj HH modela z vmesnikom GisWater

Giswater association, Granollers, Barcelona, Španija.

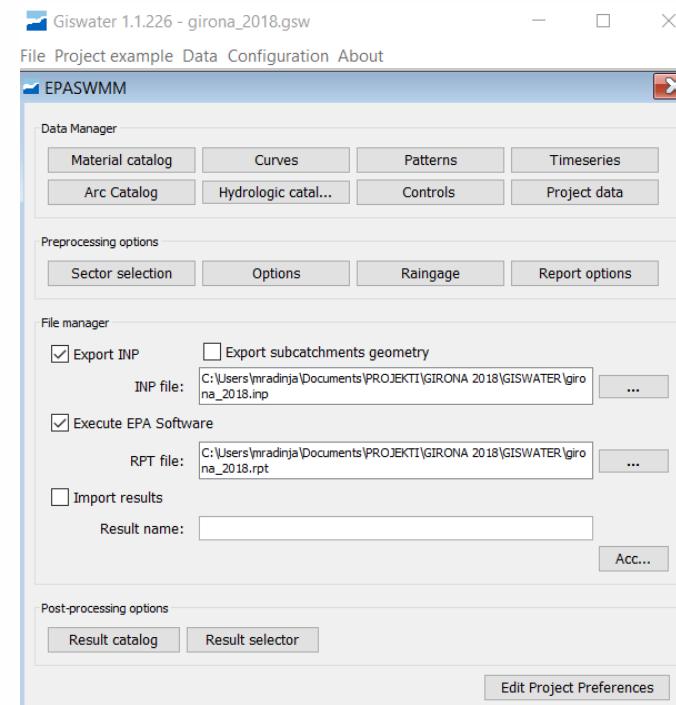
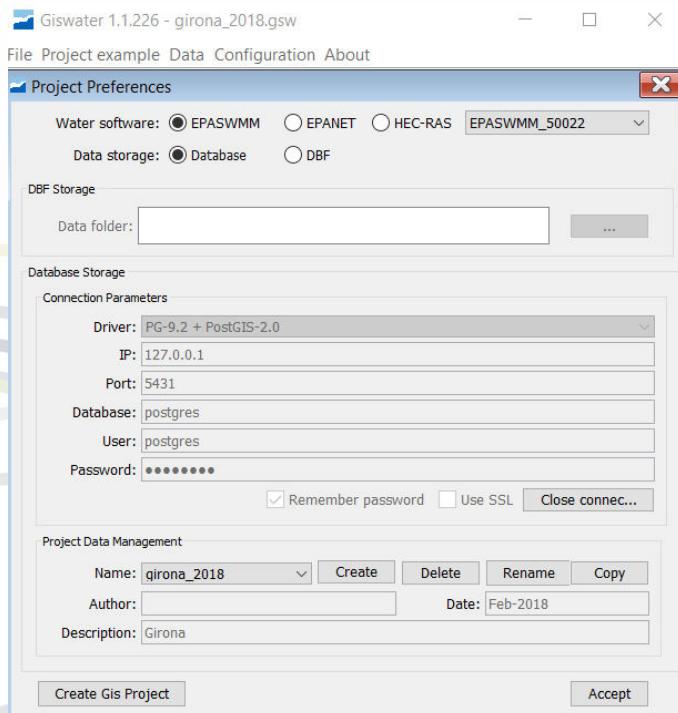
Odprtokodni in brezplačni vmesnik.



„Our mission is to move from acquired knowledge to shared knowledge in the areas of water management, such as supply, sewerage, urban drainage or flood risk assessment, and our vision is to develop Giswater, an open software project with the goal to communicate any water simulation software through any Spatial database with any Geographic Information System (GIS) in order to give everybody a real way of open solution of water management.“

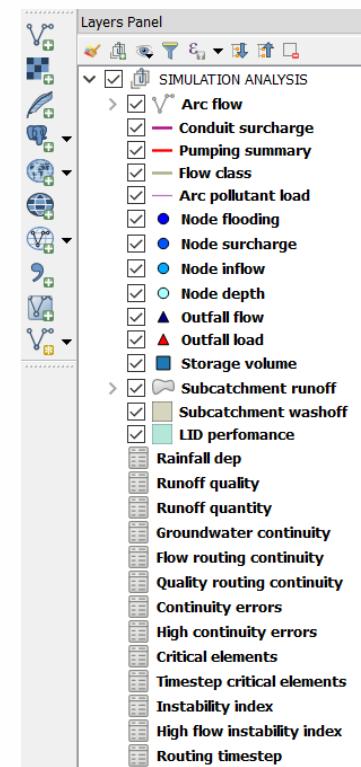
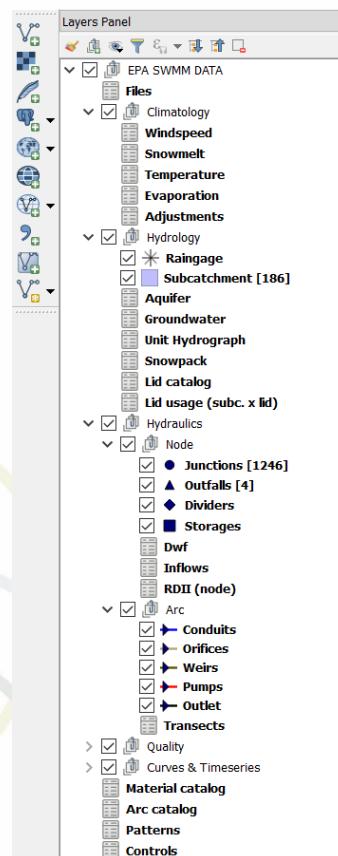
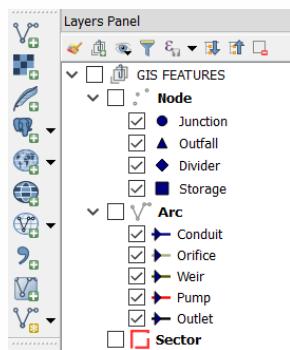
Razvoj modela - Giswater

- Giswater uporablja odprtakodno bazo podatkov (PostgreSQL) s prostorsko razširitvijo (PostGIS).
- Ustvari GIS projekt z uporabo vzorca odprtakodnega GIS (QGIS).



Razvoj modela - QGIS

- Vsebuje sloje z vsemi elementi značilnimi za EPA SWMM.

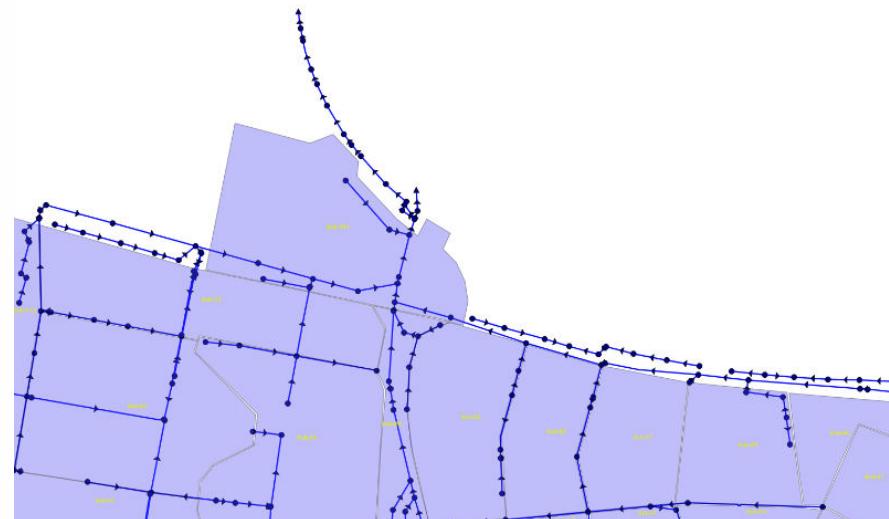


Razvoj modela - QGIS

- ## 1) Vnos podatkov v bazo Giswater:

- tipi cevi (angl. Arc Catalog),
 - vrste materialov (angl. Material Catalog),
 - infiltracijske metode (angl. Hydrological Catalog),
 - časovne serije: padavine, evapotranspiracija, temperature (angl. Timeseries),
 - vzorci (angl. Patterns) ter krivulje: črpalke, preusmeritve (angl. Curves).

- 2) Uvoz ustrezno pripravljenih slojev linijskih elementov (cevi, preliv, črpalke, idr.) in točkovnih elementov (jaški, izlivi, zadrževalniki, idr.) v QGIS.



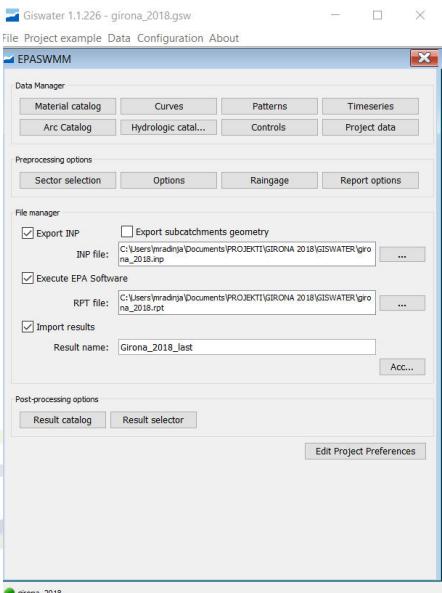
Razvoj modela - QGIS

3) V QGISu se lahko poslužimo koristnih orodji, ki nam olajšajo karakterizacijo povodja oz. podpovodji (Subcatchmenst):

- Ustvarjanje podobmočji preko ustvarjanja Thiessnovih poligonov okoli jaškov;
- Določanje geometrijskih lastnosti podobmočji (površina, dolžina, širina, naklon terena izračunan preko digitalnega modela reliefa (DMR));
- Prekrivanje z drugimi sloji iz katerih pridobimo informacije o podobmočjih: DMR, orto-foto posnetki ter karte rabe tal, pedološka in geološka karta.



Prikaz rezultatov: QGIS in .txt



girona_2018 - Notepad

File Edit Format View Help

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 (Build 5.0.022)

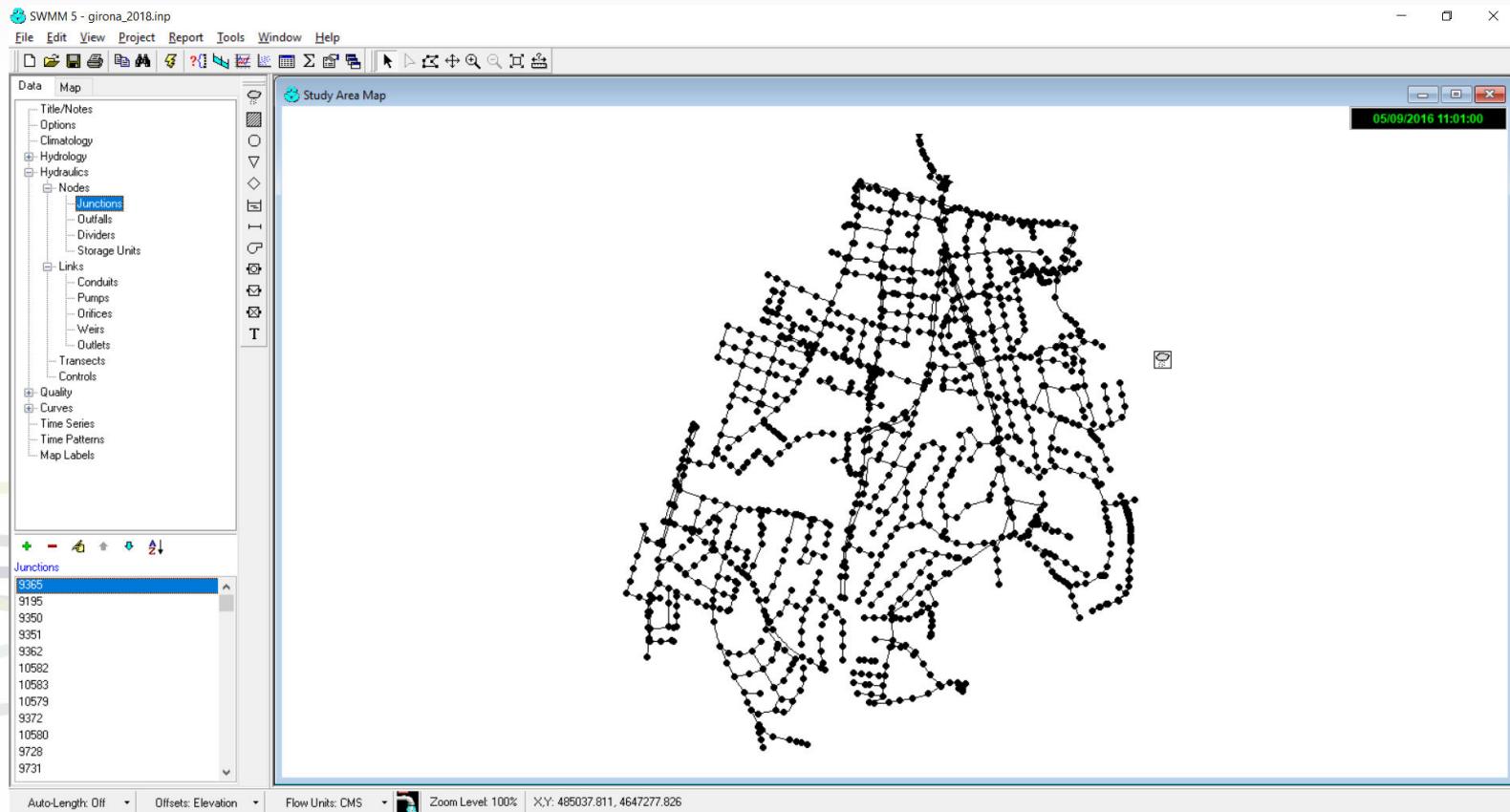
Girona Feb-2018

NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step.

Analysis Options

Flow Units CMS
Process Models:
Rainfall/Runoff YES
Snowmelt NO
Groundwater NO
Flow Routing YES
Ponding Allowed YES
Water Quality NO
Infiltration Method HORTON
Flow Routing Method DYNWAVE
Starting Date MAY-09-2016 11:00:00
Ending Date MAY-09-2016 23:59:00
Antecedent Dry Days 10.0
Report Time Step 00:01:00
Wet Time Step 00:01:00
Dry Time Step 00:01:00
Routing Time Step 5.00 sec

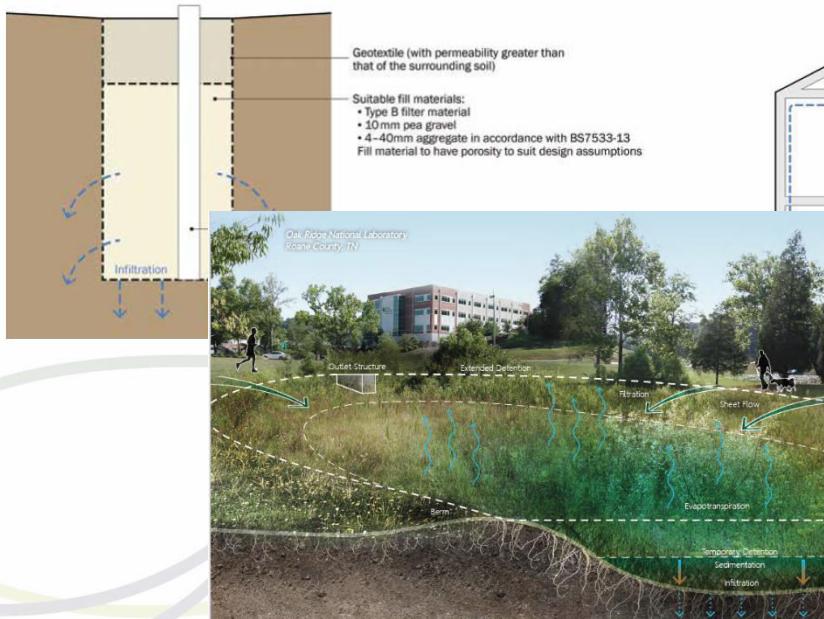
Prikaz rezultatov: EPA SWMM



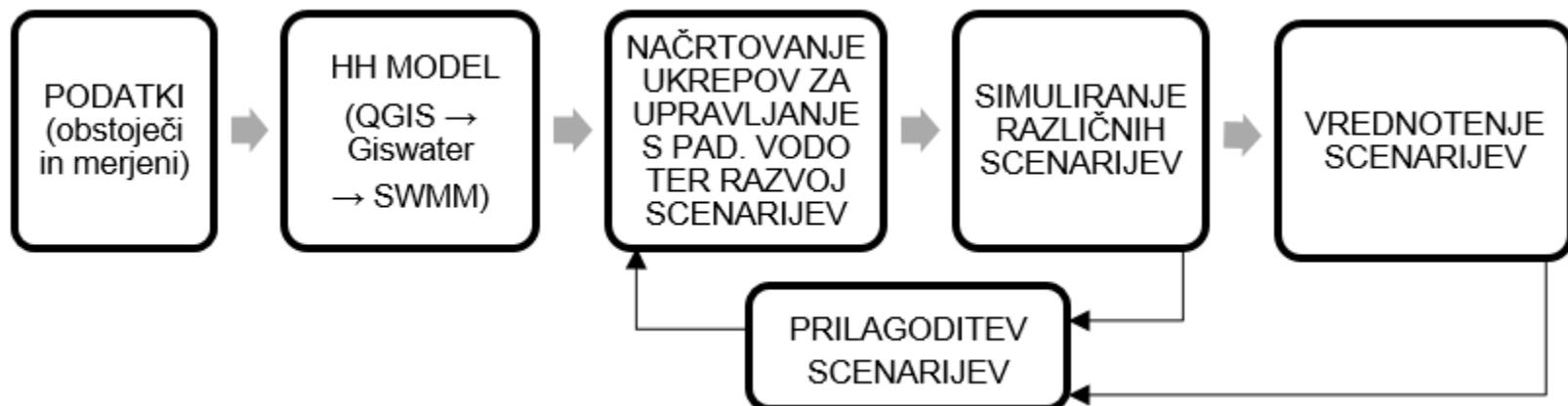
4) Učinkovito upravljanje s padavinsko vodo

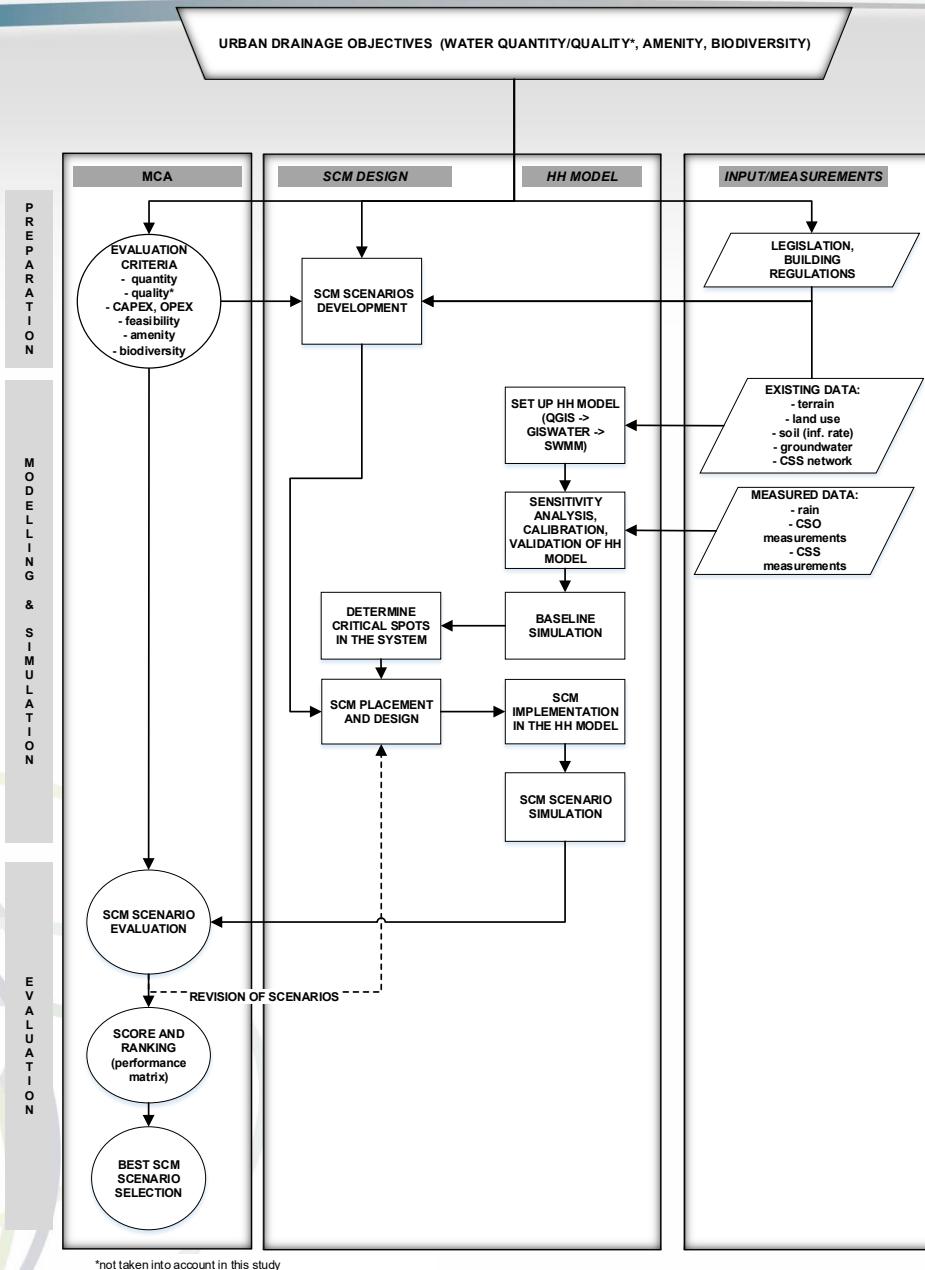
Ukrepi so lahko:

- tradicionalni „sivi“ (npr. podzemni zadrževalniki, cevi z dodatnim volumnom);
- trajnostni „zeleni“ (npr. infiltracijske kotanje, infiltracijski jarki, zelene strehe, itd.).



Metodologija



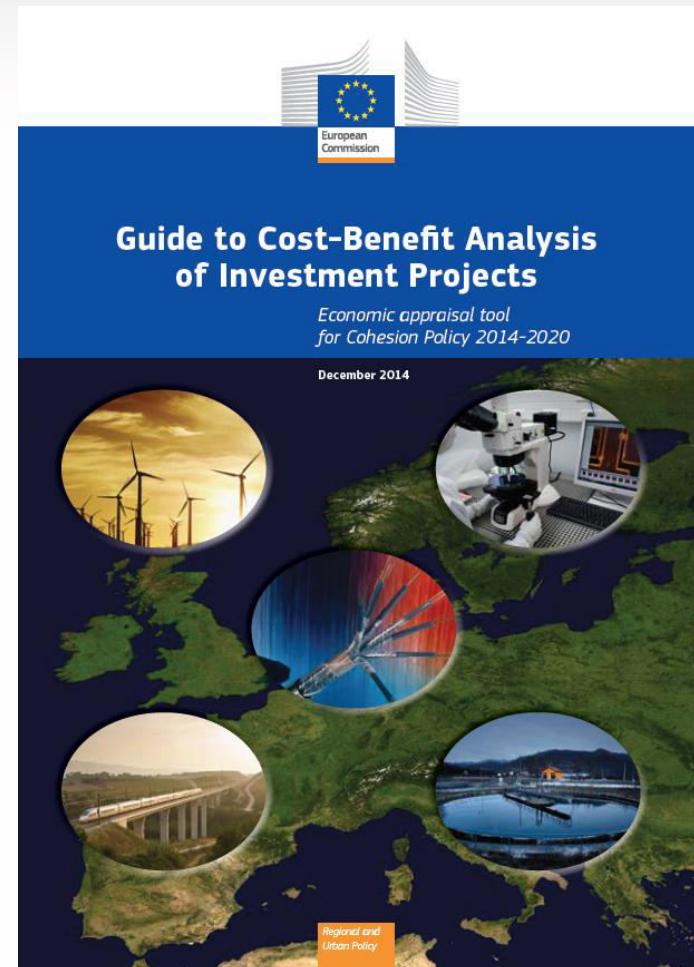


Vrednotenje scenarijev

Preko:

- Multi-kriterijske analize (angl. Multi-Criteria Analysis (MCA)) ali
- Celovite presoje (angl. Integrated assessment (IA)), ki lahko zajema naslednje vidike:
 - **Ekonomski:** Analiza stroškov in koristi (Cost-Benefit Analysis (CBA)), Analiza učinkovitosti stroškov (Cost-Effectiveness Analysis (CEA)), Stroški življenskega cikla (angl. Life-Cycle Costing (LCC));

Ob prijavi za sofinanciranje investicijskih projektov s strani EU skladov je obvezna uporaba metodologije za CBA:
http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/documents/studies/pdf/cba_guide.pdf



- **Sociološki:** Ocena sociološkega vpliva (Social Impact Assessment (SIA));
- **Zdravstveni:** Ocena tveganj (angl. Risk Assessment (RA));
- **Okoljski:** Ocena okoljskega vpliva (Environmental Impact Assessment (EIA)), Analiza življenjskega cikla (angl. Life Cycle Analysis (LCA)).

Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih finančnih sredstev (Uradni list RS, št. 60/06, 54/10 in 27/16)

7. člen (*metode za presojo upravičenosti*)

Pri izračunih in drugih postopkih za presojo upravičenosti projektov se v dokumentaciji lahko uporablja:

1. *analiza stroškov in koristi,*
2. *analiza stroškovne učinkovitosti,*
3. *analiza tveganja,*
4. *analiza občutljivosti,*
5. *analiza vplivov,*
6. *multikriterijska analiza,*
7. *druge primerne metode, ki upoštevajo pravila stroke ter posebnosti posameznega področja.*

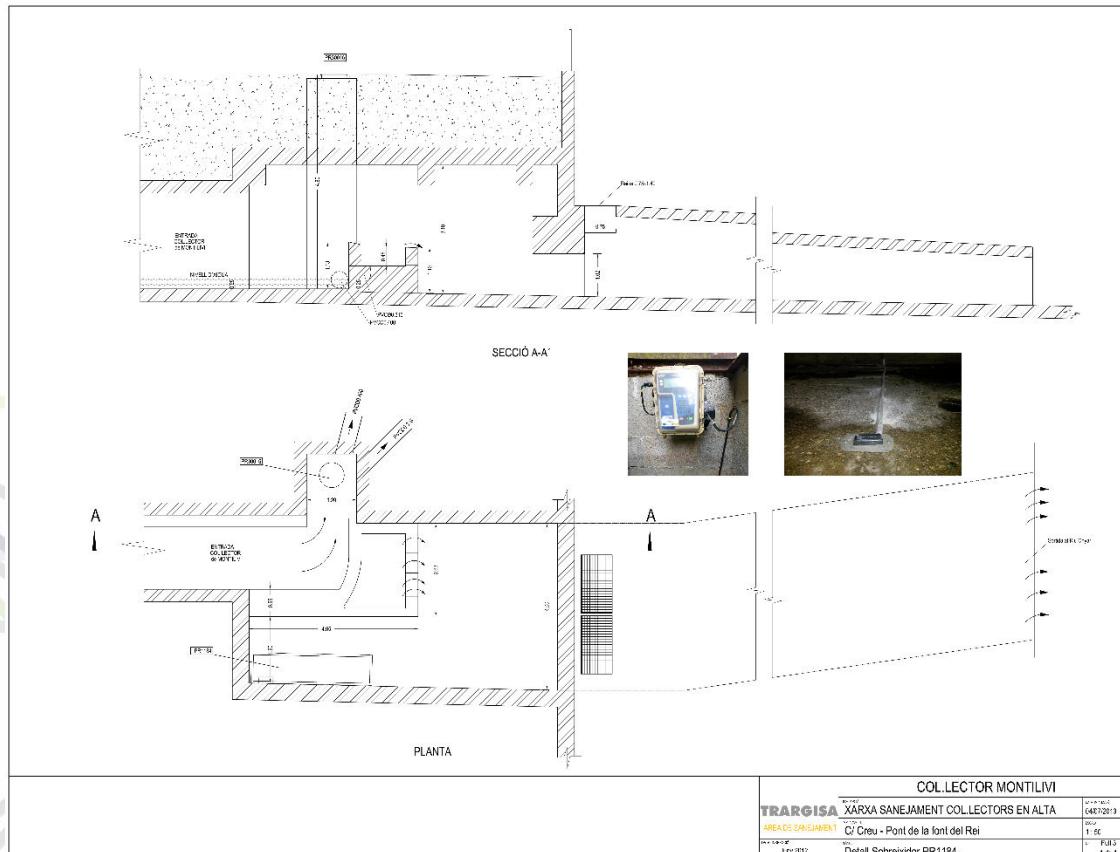
5) Primer

- Girona, Španija
- 2,7 km²



Izvajanje meritev

- Ultrazvočni merilnik pretoka



- Ultrazvočni merilnik pretoka

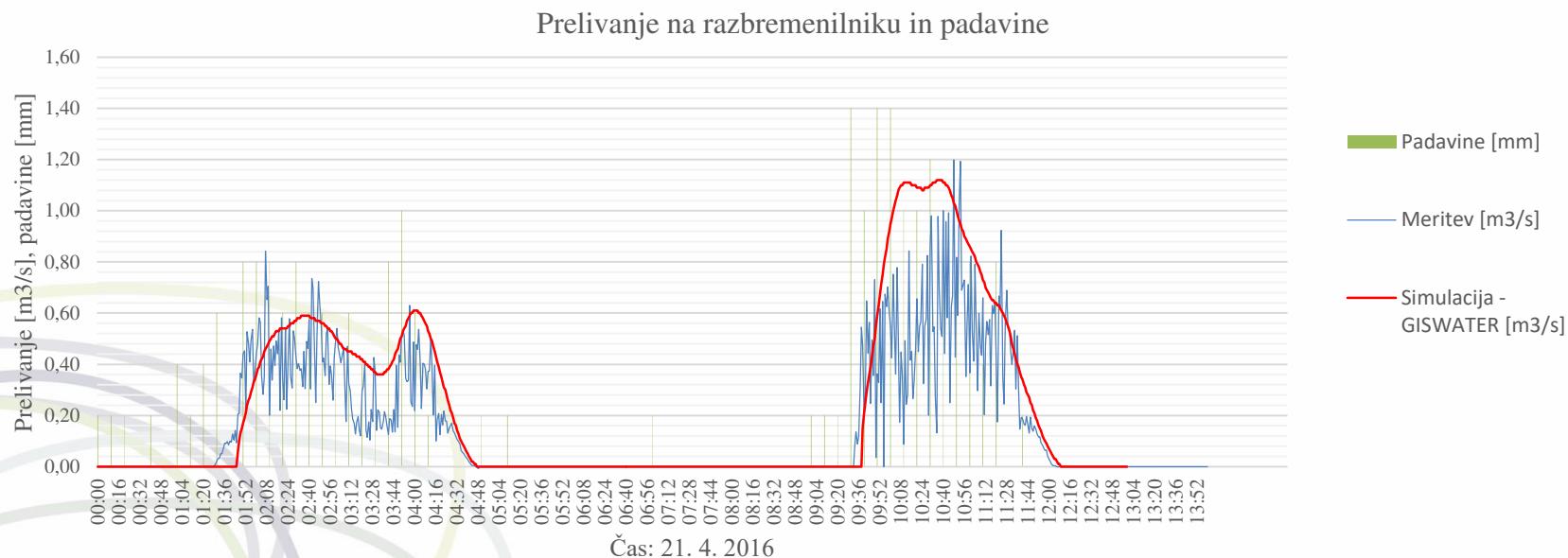


- Temperaturni senzorji



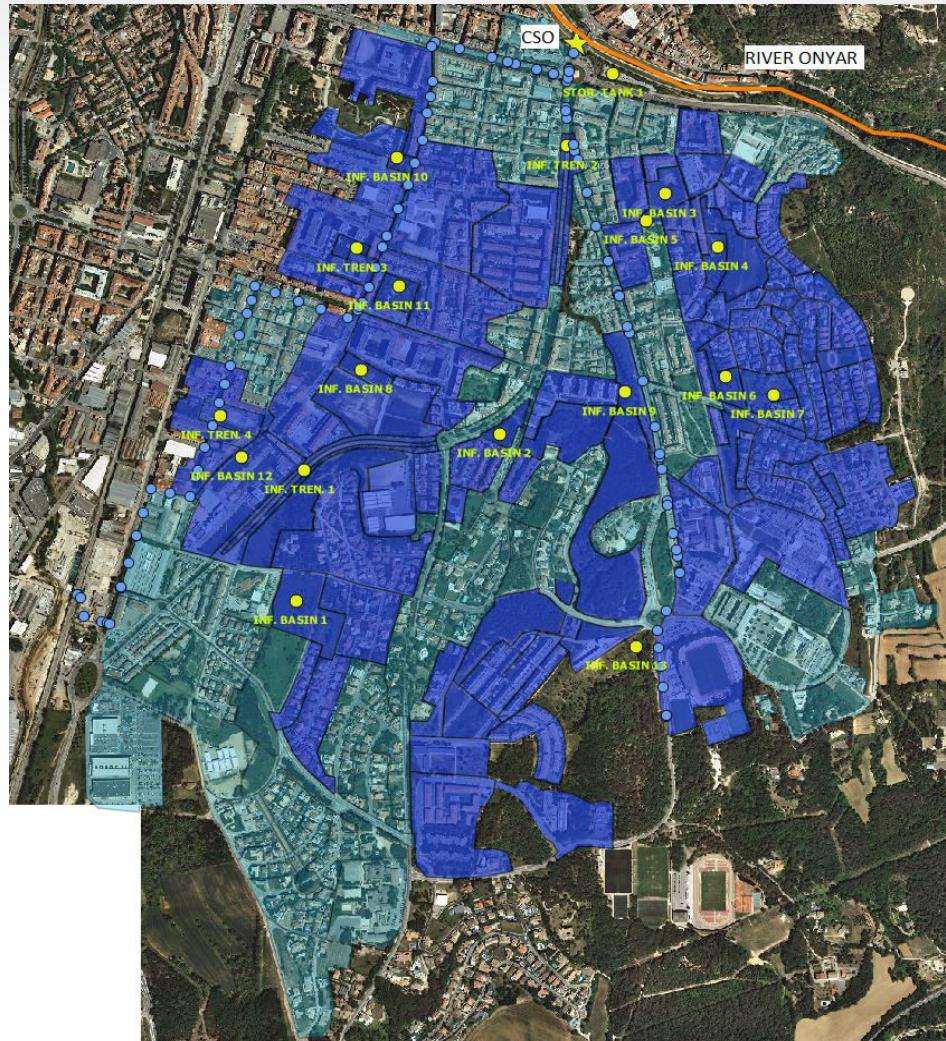
Kalibriran model

Merjeno in simulirano prelivanje na razbremenilniku.



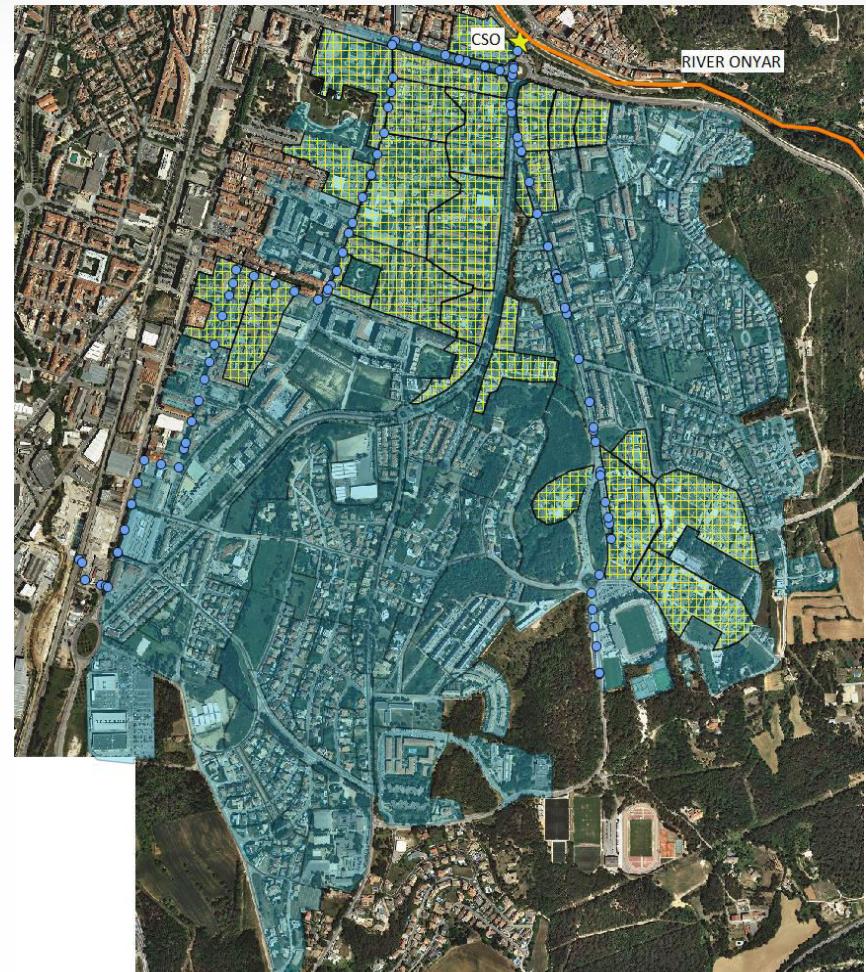
Scenariji

- 1) 14 infiltracijskih kotanj
- 2) 4 infiltracijski jarki
- 3) Zelene strehe: 115.380 m²
- 4) Podzemni zadrževalnik: 1.750 m³



Značilnosti scenarijev

SCM scenario	Surface Area [m ²]	Number of Units	Unit	CAPEX [€]	OPEX [€]
SC1: Infiltration basins	36,550	43,563	[m ³]	566,313	11,326
SC2: Infiltration trenches	5,930	9,645	[m ³]	501,540	8,150
SC3: Green roofs	115,380	115,380	[m ²]	4,124,835	14,999
SC4: SC1+SC2	42,480	53,208	[m ³]	1,067,853	19,476
SC5: SC1+SC2+SC3	157,860	168,588	[m ³ , m ²]	5,192,688	34,476
SC6: Storage tank	1,750	8,750	[m ³]	3,355,625	83,891
SC7: SC1+SC6	38,300	52,313	[m ³]	3,921,937	95,217



Zmanjšanje razbremenjevanja

Duration	Rain event			Scenario						
	Return period [years]	Rainfall intensity [mm/h]	SC0 [m ³]	SC1	SC2	SC3	SC4: SC1 + SC2	SC5: SC1 + SC2 + SC3	SC6	SC7: SC1 + SC6
15 MIN	2	61	8,816	55%	19%	14%	73%	77%	99%	100%
	5	85	15,983	52%	11%	10%	67%	71%	55%	100%
	10	102	20,004	46%	7%	7%	60%	65%	44%	89%
1 H	2	31	27,329	52%	11%	10%	40%	70%	32%	84%
	5	46	38,343	41%	5%	6%	54%	60%	23%	64%
	10	56	42,206	32%	4%	4%	46%	51%	21%	53%
6H	2	10	39,986	56%	18%	15%	74%	80%	22%	78%
	5	15	87,955	56%	13%	12%	68%	74%	10%	65%
	10	19	123,015	54%	10%	10%	65%	70%	7%	61%
Average CSO reduction:				49%	11%	10%	61%	69%	35%	79%
Average CSO reduction per 1,000 implemented units [%]:				1.13%	1.12%	0.08%	1.14%	0.41%	4.0%	1.51%
Average CSO reduction per €10,000 invested [%]:				0.87%	0.22%	0.02%	0.57%	0.07%	0.10%	0.20%

Kriteriji za oceno scenarijev

CRITERIA	Description
CSO reduction: per 1,000 implemented SCM units	$\text{grade} = \frac{\text{reduction}}{\text{reduction_max}} \cdot 5$
CSO reduction: per 10,000 € invested	$\text{grade} = \frac{\text{reduction}}{\text{reduction_max}} \cdot 5$
OPEX	$\text{grade OPEX} = \frac{\text{OPEX_min}}{\text{OPEX}} \cdot 5$
Feasibility with respect to real estate ownership	1: private ownership; 3: mixed ownership; 5: public ownership.
Influence on amenity (multi-functional use of space, climate resilience, improved air quality, reduced noise levels, aesthetically pleasing and natural environment)	1: low; 3: moderate; 5: high.
Influence on biodiversity (level of the ecological value of the system)	1: low; 3: moderate; 5: high.

Rezultati Multi-kriterijske analize

	Average CSO reduction per 1,000 implemented units	Average CSO reduction per €10,000 invested	Annual OPEX	Feasibility	Amenity	Biodiversity	Average grade
SC1: Infiltration basins	1.4	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.6
SC2: Infiltration trenches	1.4	1.2	1.5	5.0	3.0	3.0	2.5
SC3: Green roofs	0.1	0.1	2.9	2.0	5.0	4.0	2.3
SC4: SC1+SC2	1.4	3.3	3.6	5.0	3.9	3.9	3.5
SC5: SC1+SC2+SC3	0.5	0.4	3.0	2.8	4.7	4.0	2.6
SC6: Storage tank	5.0	0.6	0.1	5.0	1.0	1.0	2.1
SC7: SC1+SC6	1.9	1.2	0.7	5.0	3.9	3.9	2.7

6) Zaključki

- Učinkovito upravljanje s padavinsko vodo v urbanih okoljih je strateška pomena za upravljalce KS -> zniževanje stroškov obratovanja in vzdrževanja sistema;
- HH modeli so ključno orodje za načrtovanje in dimenzioniranje ukrepov;
- Obvezne meritve pretokov na iztokih iz sistema (razbremenilniki) in na ključnih zbiralnikih v sistemu;
- Decentralizirani ukrepi ravnanja s padavinsko vodo:
 - ↓ poplavno ogroženost,
 - ↓ obremenitve okolja (razbremenilniki)
 - hkrati nudijo dodatne koristi.

Hvala za vašo pozornost!