

21 in 22 September 2017

# ODVAJANJE IN ČIŠČENJE ODPADNIH IN METEORNIH VODA V PAMETNIH MESTIH

Nataša Atanasova, Matej Radinja, Mateja Škerjanec,  
Primož Banovec

[natasa.atanasova@fgg.uni-lj.si](mailto:natasa.atanasova@fgg.uni-lj.si)

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

## Kaj je to pametno gospodarjenje z vodo?



poraba virov



odpadki



raba energije



stanje virov



stanje ekosistemov, biodiversiteta

***Ob enakem ali boljšem standardu življenja***

- Pomembnost mest: mesta so glavni potrošnik virov in zato narekujejo dinamiko, intenziteto in način rabe virov.
- Vodno infrastrukturo ne moremo obravnavati ločeno od infrastrukture hrane, energije in drugih sektorjev, ki nujno rabijo vodo za svoj obstoj (EU Načrt o vodah za Evropo)

# 7. KONFERENCA KOMUNALNEGA GOSPODARSTVA

## THE IWA "PRINCIPLES FOR WATER WISE CITIES"



### 17 Principles for Water-Wise Cities

4 Levels of Action

#### 1 Regenerative Water Services

- Replenish Waterbodies and their Ecosystems
- Reduce the Amount of Water and Energy Used
- Reuse and Use Diverse Sources of Water
- Apply a Systems Approach for Integration with Other Services
- Increase the Modularity of Systems for Multiple Options

#### 2 Water Sensitive Urban Design

- Enable Regenerative Water Services
- Design Urban Space to Reduce Flood Risk
- Enhance Livability with Visible Water
- Modify and Adapt Urban Materials to Minimise Environmental Impact

#### 3 Basin Connected Cities

- Secure Water Resources and Plan for Drought Mitigation
- Protect the Quality of Water Resources
- Plan for Extreme Events

#### 4 Water Wise Communities

- Empowered Citizens
- Incentivized Professionals
- Transdisciplinary Planning Teams
- Progressive Policy Makers
- Leaders that Engage and Engender Trust

#### 5 Building Blocks



Vision



Governance



Knowledge & Capacity



Planning Tools



Implementation Tools

Ali je torej obstoječa vodna infrastruktura 'pametna'?



# Voda in hrana v mestih danes

Alternativa 2:  
urbano kmetijstvo

Alternativa 1



Iglesias Esteban, R., & Ortega de Miguel, E. (2008). Present and future of wastewater reuse in Spain. *Desalination*, 218(1–3), 105–119.

Papa, M., Foladori, P., Guglielmi, L., Bertanza, G. How far are we from closing the loop of sewage resource recovery? A real picture of municipal wastewater treatment plants in Italy, *Journal of Environmental Management*, Volume 198, Part 1, 1 August 2017, Pages 9-15, ISSN 0301-4797

## Padavinska voda

- 'odpadna' voda ki se odvaja iz mesta preko mešane ali ločene kanalizacije
- Problem razbremenilnikov

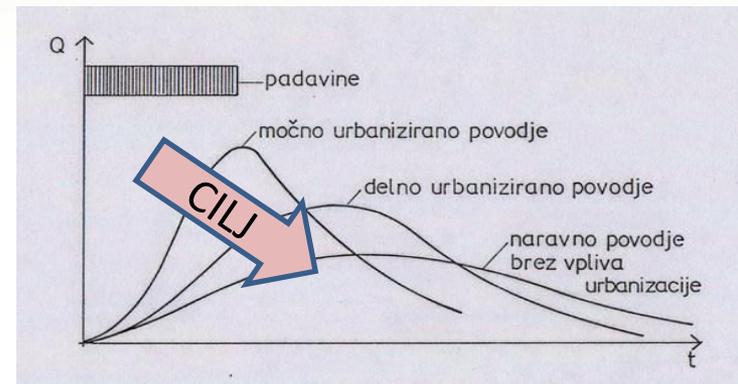


# Alternative

Kroženje 'odpadne' vode



Padavinska voda: ponikanje in zadrževanje na mestu nastanka z večnemensko modro-zeleno infrastrukturo



## Izvedljivost: ovire

- **Obstoječa infrastruktura**, malo izkušenj z decentraliziranimi sistemi
- **Strah pred patogenimi organizmi in mikropolutanti**
  - Mikropolutanti so del našega vsakdanjika, ki večinoma končajo v ekosistemih, bioti ter posledično v naši hrani.
  - Kontrola vira je najučinkovitejši pristop
- **Zakonodajni okvir, ki podpira ponovno rabo vode**
  - EU
    - DIREKTIVA SVETA o čiščenju komunalne odpadne vode (91/271/EGS) oz. UWWD; podpira ponovno rabo vode.
    - Okvirna vodna direktiva, 2000
    - "Blueprint to safeguard Europe's water resources" oz. Načrt o vodah za Evropo, 2016
    - INCEPTION IMPACT ASSESSMENT: Minimum quality requirements for reused water in the EU (new EU legislation)
  - Nacionalni nivo
    - Mediteranske države so sprejele standarde in smernice za ponovno rabo vode: npr. Španija, RD 1620/2007

# 7. KONFERENCA KOMUNALNEGA GOSPODARSTVA

2017

RD 1620/2007

Use	Nematodes	E.coli (UFC/100 mL)	SST (mg/L)	Turbidity (NTU)	Other criteria
<b>1. Urban</b>					
<b>1.1 Residential</b>					
a) Irrigation of private gardens	1 egg/10 L	0	10	2	Legionella spp. (100 CFU/ 100 L)
b) Supply to sanitary appliances					
<b>1.2 Services</b>					
a) Landscape irrigation of urban areas (parks, sport grounds and similar)	1 egg/10 L	200	20	10	Legionella (100 CFU/10L)
b) Street cleansing					
c) Fire hydrants					
d) Industrial washing of vehicles					
<b>2. Agricultural</b>					
2.1 Direct contact	1 egg/10 L	100	20	10	Legionella (1000 CFU/1L)
2.2 After treatment	1 egg/10 L	1000	35	-	Taenia (1 egg/L) and Salmonella
2.3 Indirect contact	1 egg/10 L	10 000	35	-	Legionella (100 CFU/1L)
<b>5. Environmental</b>					
5.1 Aquifer (indirect)	-	1000	35	-	N <sub>T</sub> : 10 mg P/L
					NO <sub>3</sub> : 25 mg P/L
5.2 Aquifer (direct)	1 egg/10 L	0	10	2	N <sub>T</sub> : 10 mg P/L NO <sub>3</sub> : 25 mg P/L
5.3 Irrigation (forests, wetlands; etc.)	-	-	35	-	-

**Primer krožnega gospodarjenja z vodo: hotel Samba, Lloret de Mar - Costa Brava (Španija)**

# Lloret de Mar

**The Costa Brava** (NE, Spain) je pomembna turistična destinacija za Španijo in Evropo.



**Lloret de Mar** je največji turistični center v Costa Brava, (40,000 prebivalcev pozimi in kar 200,000 poleti). Leta 2013 je mesto gostilo 1.5 million obiskovalcev in kar 5 million nočitev. Kapacitete štejejo 30,000 postelj v primerjavi z 64 000 v celotni Costa Bravi in več kot 120 turističnih objektov.



# Vodni viri v Lloret de Mar

Čistilna naprava s terciarnim čiščenjem za ponovno rabo vode

Tordera aquifer

Odpadna in padavinska voda

Desalination plant

BLANES

LLORET DE MAR

TOSSA DE MAR

2015	Februar m3/dan	Julij; Avgust m3/dan
Dotok odpadne vode na ČN	5,800	15,645; 17,400

Delež odpadne vode iz turističnih objektov znaša 10,000 m<sup>3</sup>/dan v sušnih mesecih. Ponovna raba sive vode bi pomenila vsaj 30% prihranka vodnih virov ter zmanjšanje količine odpadne vode za enak procent.

## Količine vode v hotelu

**Samba Hotel** Ima 441 klimatiziranih sob, več zelenih površin in zunanjih bazenov, konferenčne dvorane, bare in restavracije.

- Poraba od 25,000 to 34,000 m<sup>3</sup>/leto
- Sistem ločevanja in rabe sive vode za splakovanje stranišč



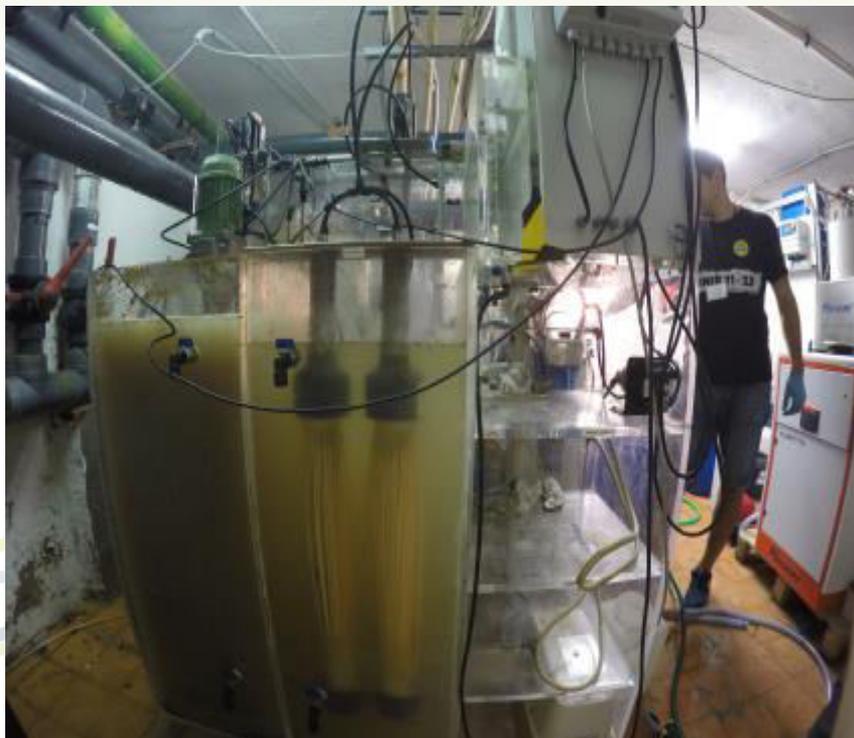
# Zbiranje sive vode



# Karakterizacija sive vode

CHEM. PARAMETERS	unit	Tuši				Pralnica	RD 1620/2007
		Jun-14	Nov-14	Feb-16	Jun-16	Jun-14	
TKN	mg N/L	9.9	10.1	15.8	7.3	3.4	/
P-PO4	mg P/L	0.5	0.5	1.0	0.6	7.2	/
COD	mg O2/L	223.6	219.3	208.7	136.1	175.3	/
BOD5	mg O2/L	159.7	193.4	128.6	88.4	75.1	/
TSS	mg/l			51.1	39.3	75.6	10
<b>Mikrobiologija</b>							
Total count	CFU/ ml	1,1*10 <sup>6</sup>			0,15*10 <sup>6</sup>		/
Total coliforms	CFU/100 ml	5,8*10 <sup>3</sup>			14*10 <sup>3</sup>		/
Intestinal nematodes	eggs/10L	absence			absence		1
E-coli	CFU/100 ml	absence			1300		0

# Pilotni MBR v hotelu Samba

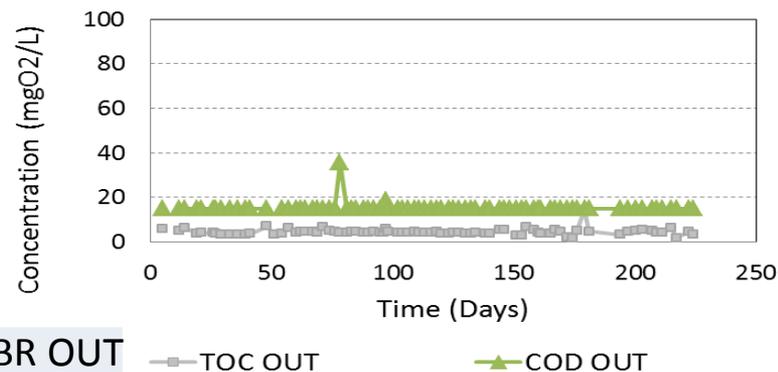
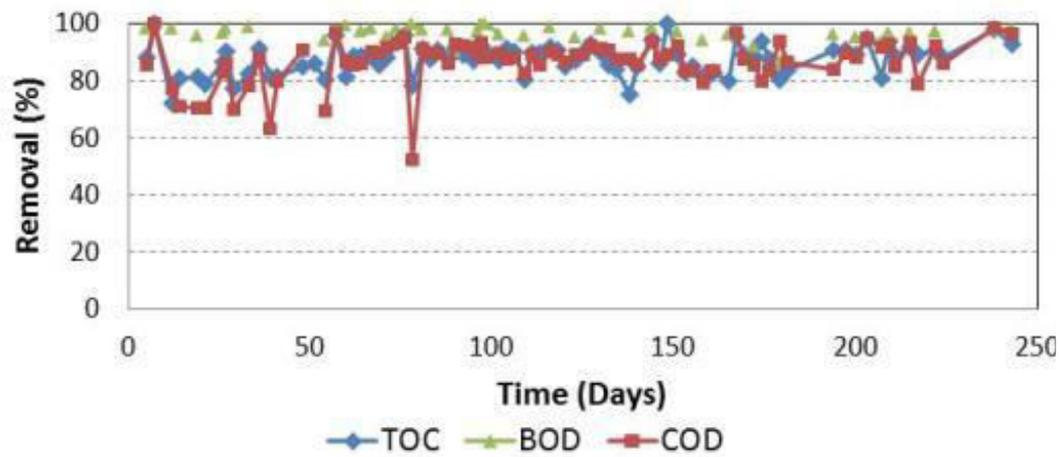


**Delovanje:** 1 m<sup>3</sup>/day od Jan do Julija 2017. Vzorčenje parametrov 3x na teden

Parameter	
Membrane cut-off	0.04 $\mu\text{m}$
Membrane surface	0.93 m <sup>2</sup> * 2 modules
Cycles	10 minutes permeate 1 minute backwashing
Input flow	20-30-40 L/h or 0.5-1 m <sup>3</sup> /day (cca. 15 PE)
Flux	20 LMH
HRT	4-5 h
SRT	~ 20-22 days
Purge flow	7-8 L/d
Air flow	from 3.5 optimized to 0.5 m <sup>3</sup> /h



# Delovanje MBR: kvaliteta efluenta



		MBR OUT
Total count	CFU/ml	1600
Total coliforms	CFU/100 ml	210
Intestinal nematodes	eggs/10L	0
E-coli	CFU/100 ml	5

# Energija

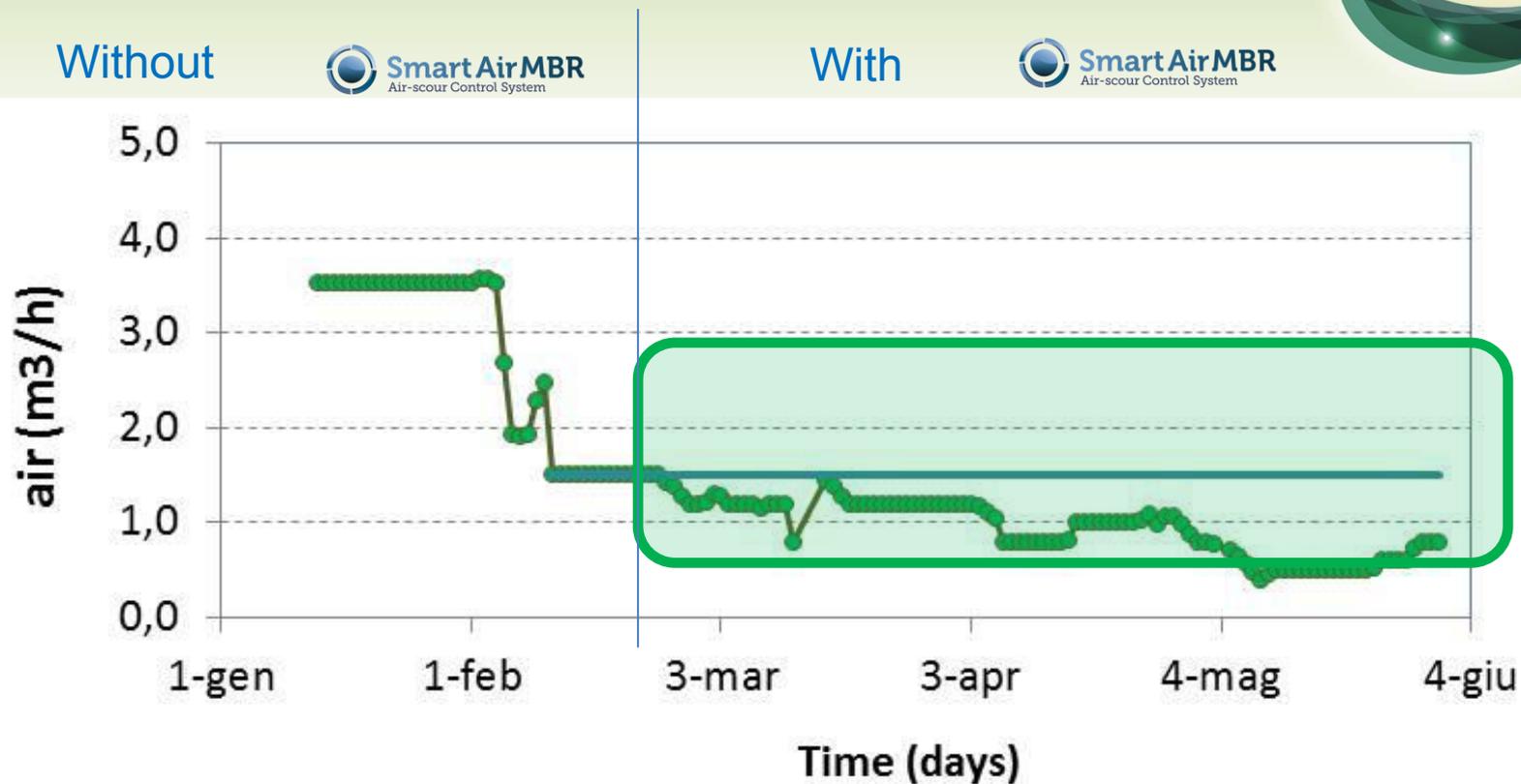
Glavna pomanjkljivost MBR je prevelika poraba energije. Večina energije se porabi za aeracijo membran zaradi preprečevanja mašitve.

Priporočen SAD (specific aeration demand) za pilotno napravo: 0.75 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h)

SAD (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	Type of water	Scale	Ref
0.63	Grey water	Pilot (600 l), flat sheet – microfiltration plate	Atasoy et al., 2007
0.37	Municipal WW	Full scale, hollow fiber	Monclus et al., 2015
1	Grey water	Pilot (630 L), flat sheet	Hocaoglu et al., 2013



Kontrolni sistem za aeracijo, ki jo regulira glede na trend prepustnosti membran



- ✓ V povprečju 35.2 % prihranka vpihovanja
- ✓ (2 membranes, 1.86 m<sup>2</sup>): SAD je bil zmanjšan od 0.75 na [0.27 to 0.45]

# Model: dimenzioniranje in stroški

## INPUT

- Velikost inštalacije, Cene vode in energije.

## DESIGN

- Izravnalni bazen, MBR volumen, površina membran, potrebna moč črpalk za vodo in zrak

## CAPEX

- Ločevalni sistem za sivo vodo, izdelava reaktorjev, črpalke, puhala, predčiščenje (sito), inštalacijski stroški, amortizacija.

## OPEX

- Energija (KWh) za vse elemente, vzdrževanje, odvoz blata, kemijsko čiščenje.

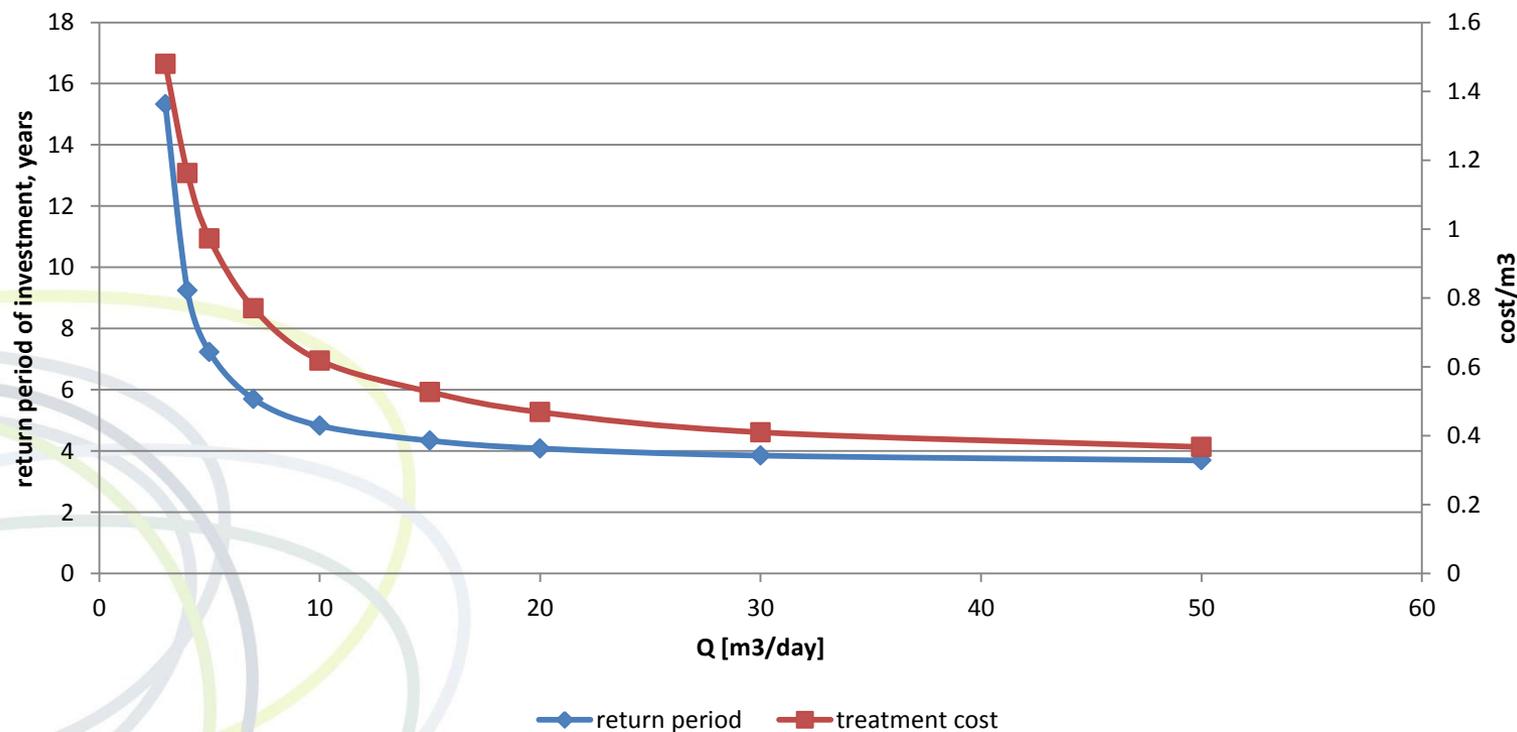
## PAYBACK

- Povratna doba investicije:
- $PB = (Q * WP - OPEX - YD) / CAPEX_0$

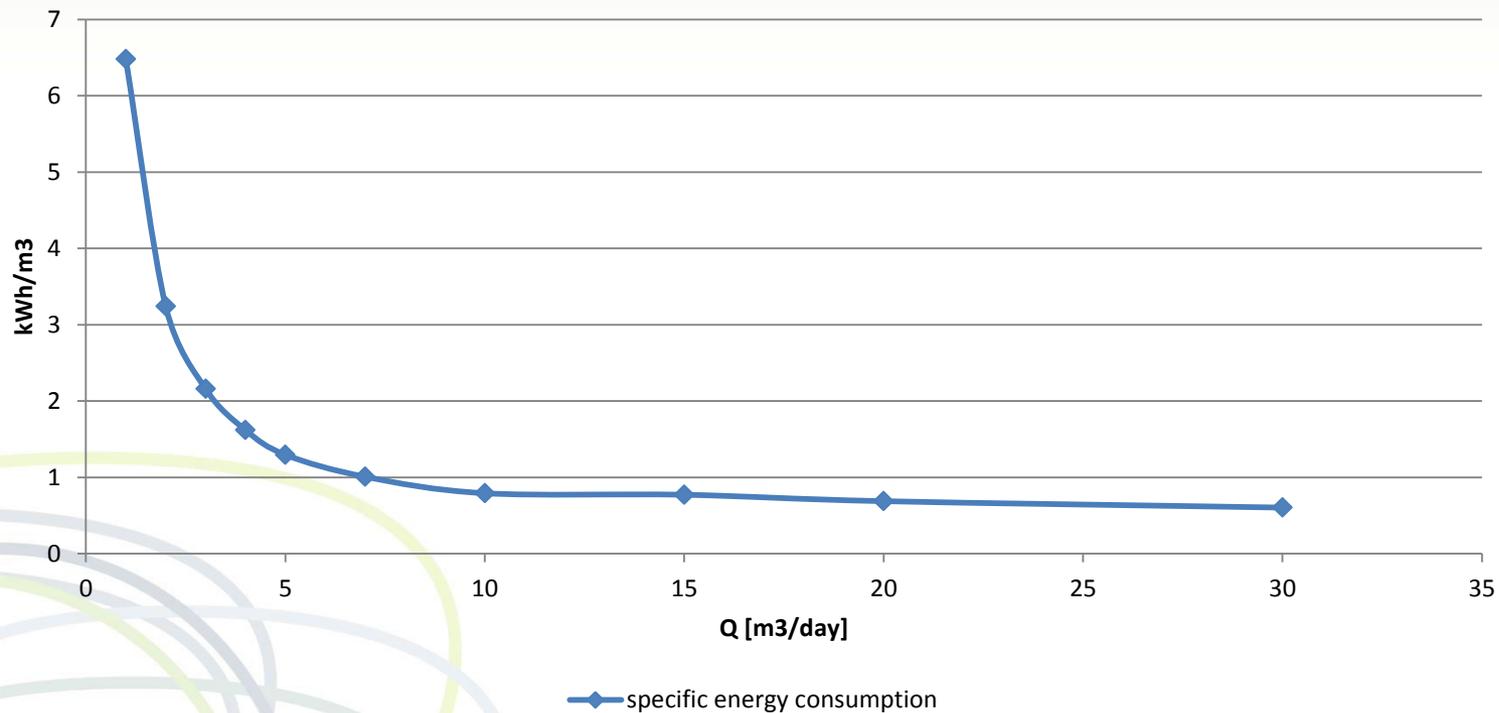
# Strošek očiščene vode in povratna doba investicije

WP = 2.1 EUR/m<sup>3</sup>

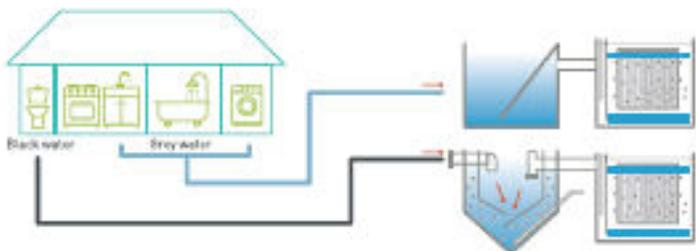
EP = 0.18 EUR/kWh



# Visok OPEX za manjše sisteme



# Potencial črne vode?

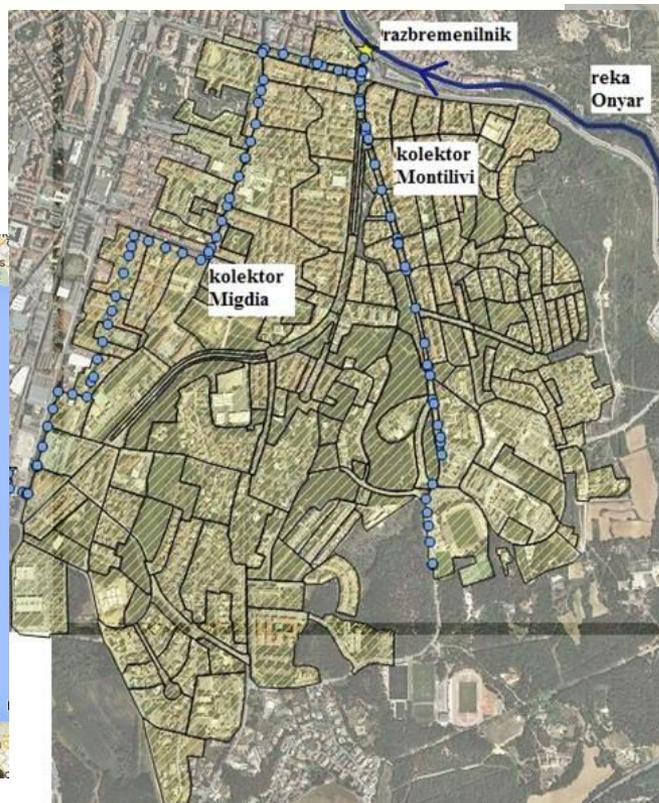


Element	Očiščena odpadna voda (mg/L)*	Tekoče gnojilo za hidroponiko (mg/L)*	Očiščena črna voda
Chlorine	95	85	
Sodium	76	55	
<b>Nitrogen</b>	<b>44</b>	<b>125</b>	<b>130-180</b>
Calcium	20	80	
Sulfur	12	55	
<b>Potassium</b>	<b>11</b>	<b>140</b>	<b>20-60</b>
<b>Phosphorus</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>21-58</b>
Magnesium	4	43	
...	0.1	0.2	

\*Oyama, N., Nair, J. and G. E. Ho (2005). Recycling of Treated Domestic Effluent from an On-site Wastewater Treatment System for Hydroponics. *Water Science and Technology* 51(10): 221-220

Nolde, E., Katayama, V., Bertling, R., Gehrke, I., Dinske, J., Bürgow, G., Million, A. Roof water-farm: A Multidisciplinary Approach to Integrate Wastewater Reuse with Urban Agriculture. *WATEF Conference 2016*, 7th to 9th September, University of Coventry.

# Razpršeni ukrepi urbane odvodnje: mesto Girona (Španija)



## Vrednotenje ukrepov (scenarijev)

- Zbiranje obstoječih podatkov in meritve novih:
  - podatki o padavinah z 10-minutnim intervalom za merilno mesto: Girona – parc Migdia;
  - intenzitetne krivulje padavin;
  - podatke o kanalizacijskem sistemu;
  - karto rabe tal in hidrogeološko karto
- Vzpostavitev in kalibracija hidrološko-hidravličnega modela (modelsko orodje Autodesk Storm and Sanitary Analysis 2016)
- Načrtovanje SUDS-ov (po CIRIA\* in standardu DWA-A 138E\*\*)
- Vzpostavitev in simulacije SUDS-ov v modelu ter primerjalno analizo scenarijev.

\*construction industry research and information association, UK

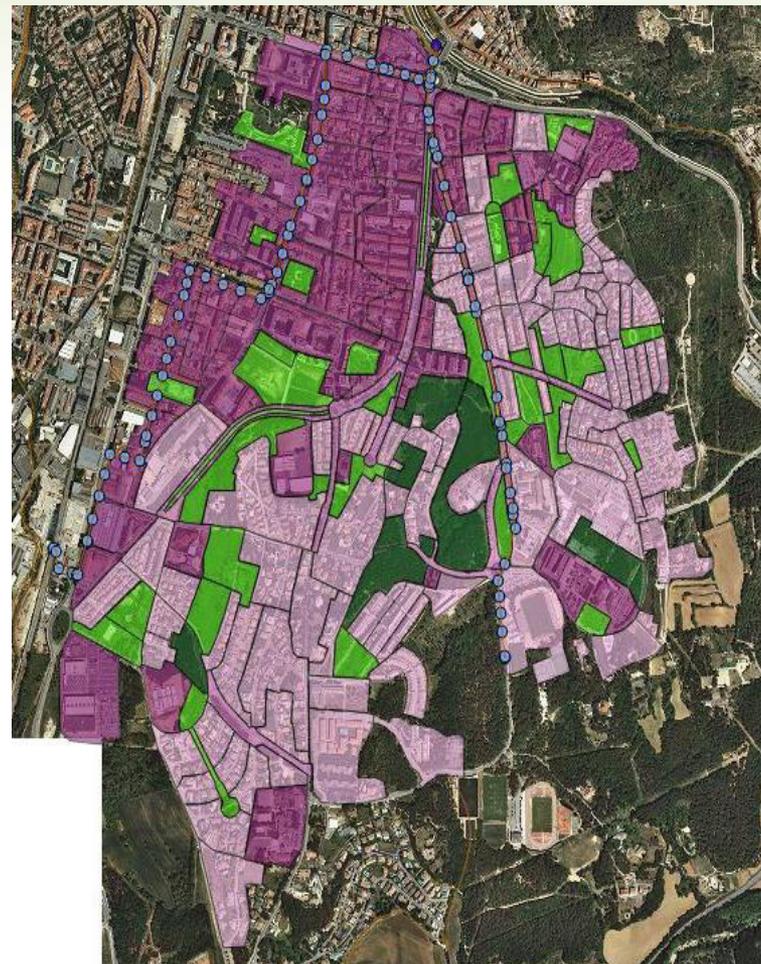
\*\*DWA-Rules and Standards. Standard **DWA-A 138E**. Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water.

## SC0 : » trenutna situacija«

Ta scenarij predstavlja trenutno stanje 198 podpovodij s skupno površino 2,7 km<sup>2</sup>.

Podpovodja si po deležu zastopanosti po površini sledijo tako:

stanovanjska (43,4 %)	(RD)
urbana (34,1 %)	(UD)
parki (12,6 %)	(P)
gozdovi (5,4 %)	(W)
ceste (4,5 %)	(R)



		Number of subbasins	Area [ha]	Area [%]
Land use type	P	37	34.02	12.6
	R	14	12.23	4.5
	RD	92	117.71	43.4
	UD	47	92.37	34.1
	W	8	14.66	5.4
Total:		198	270.99	

# Scenariji

## SC1: infiltracijske kotanje:

- Stopnja infiltracije 130 mm/h,
- Varnostni faktor 2
- Poroznost materiala, uniform gravel, 0.4.

## SC2: infiltracijski jarki:

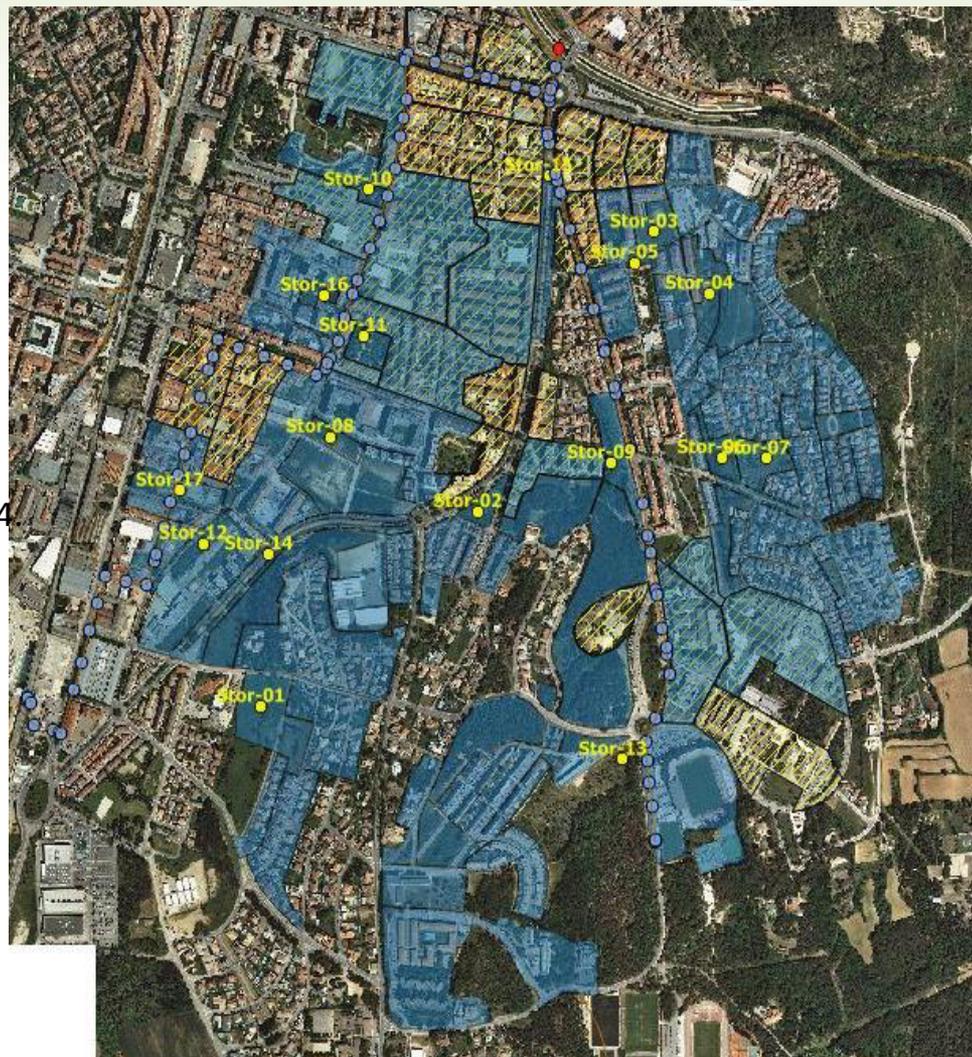
- the infiltration rate of 130 mm/h,
- a factor of safety of 2 and
- porosity of granular fill material, uniform gravel, 0.4

## SC3: zelene strehe

- Ekstenzivne zelene strehe
- 26 podpovodij,
- skupna površina: 115.380 m<sup>2</sup>,
- skupni volumen: 577 m<sup>3</sup>.

$$SC4 = SC1 + SC2$$

$$SC5 = SC1 + SC2 + SC3$$



## Zmanjšanje prelivanja za vse scenarije in simulirane padavinske dogodke

Padavinski dogodek			Scenarij					
			SC0 [m <sup>3</sup> ]	SC1	SC2	SC3	SC4: SC1+SC2	SC5: SC1+SC2+SC3
Trajanje	Povratna doba [leta]	Intenziteta padavin [mm/h]						
15 MIN	2	61	13.300	58%	15%	8%	69%	73%
	5	85	13.375	47%	9%	6%	60%	64%
	10	102	18.740	37%	7%	6%	52%	57%
1 URA	2	31	28.961	49%	7%	5%	61%	65%
	5	46	35.446	31%	5%	3%	44%	46%
	10	56	37.847	24%	3%	3%	36%	36%
6 UR	2	10	73.098	60%	14%	5%	71%	71%
	5	15	125.071	55%	11%	3%	65%	65%
	10	19	151.729	47%	4%	2%	58%	58%
Povprečje:				45%	8%	5%	57%	59%

## Specifična učinkovitost posameznega scenarija

	Površina [m <sup>2</sup> ]	Št. enot [m <sup>3</sup> oz. m <sup>2</sup> ]	Povprečno zmanjšanje prelivanja [%]	Povprečno zmanjšanje prelivanja na 1.000 enot izvedenega ukrepa [%]
SC1: INFIL. KOTANJE	36.550	83.500	45	0,54
SC2: INFIL. JARKI	5.930	16.055	8	0,52
SC3: ZELENE STREHE	115.380	115.380	5	0,04
SC4: SC1+SC2	42.480	99.555	57	0,58
SC5: SC1+SC2+SC3	157.860	214.935	59	0,28

## Zaključki

- Potreba po učinkovitejši rabi virov, kot ugotavlja vsa strokovna in politična javnost
- Urbana voda in krožno gospodarstvo, priložnosti in opozorila
- Siva voda je lahko odličen vir vode, hkrati pa vpliva na zmanjšanje odpadne vode. Sistemi za ponovno rabo sive vode so okoljsko in ekonomsko učinkoviti.
- Turistična mesta v mediteranu in na drugih aridnih območjih so še zlasti primerna za take intervencije.
- Razpršeni ukrepi za urbano odvodnjo lahko poleg svojih osnovnih funkci (odvodnja, čiščenje površinskega odtoka ter zaščita vodotokov pred učinki kanalizacijskega razbremenjevanja) nudijo številne druge:
  - mestu dajo prijeten videz, lahko omilijo vplive vročinskih otokov, izboljšajo biodiverzitetu, ter izboljšajo energetske učinkovitost stavb (zelene strehe in zelene stene)

# Zahvala



Co-funded by the 7th Framework Programme of the EU:



- The research leading to these results was funded by the People Programme (Marie Curie Actions) of the Seventh Framework Programme of the European Union (FP7/2007-2013) under REA grant agreement no. 600388 (TECNIOspring programme), and from the Agency for Business Competitiveness of the Government of Catalonia, ACCIÓ.
- This research has received funding from the European Union's Seventh Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement No. 619116

# HVALA ZA POZORNOST



[www.lequia.udg.edu/research/books.html](http://www.lequia.udg.edu/research/books.html)