

# ZAGREB NA SAVI

*Šansa ili zabluda? Mašta ili stvarnost?*

Pogled jednog energetičara

**Prof. dr. sc. Slavko KRAJCAR**

Zagreb, rujan 2014.





*“Often the difference between a successful man and a failure is not one’s better abilities or ideas, but **the courage** that one has **to bet** on his ideas, **to take a calculated risk** and **to act.**”*

Maxwell Maltz

# GOVORIT ĆEMO O ...

Što rade drugi?

Osnovno o Savi

Postojeća situacija

Razlozi za realizaciju

Prikaz sustava iz 80tih 20. st

Prikaz sustava iz početka 21. st

**Prikaz sustava iz 13tih 21. st**

Provedba?

Gradovi na rijekama

Zaključak



# ŠTO RADE DRUGI?



# Bohinjsko jezero

## Izvor rijeke Save

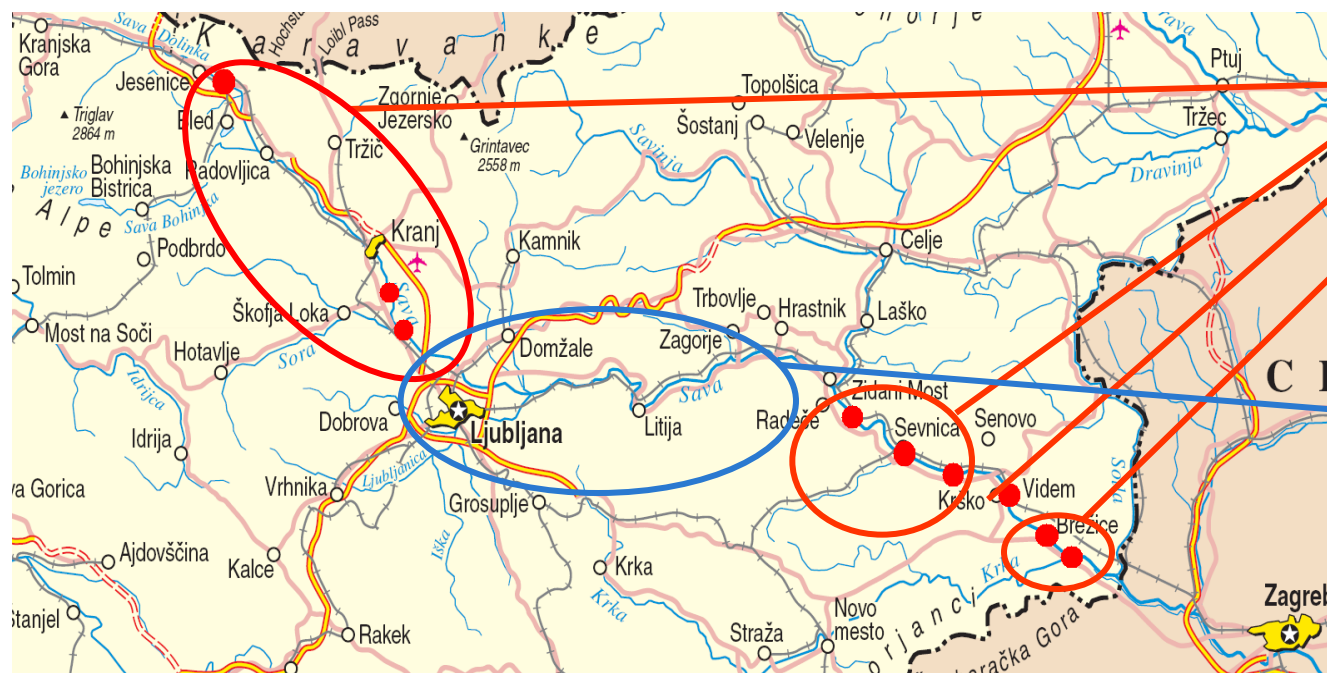


Jezero je ledenjačko-tektonskog porijekla. Glavni pritok jezera je rijeka Savica. Bohinjsko jezero je protočno - iz jezera ističe rječica Jezernica i nakon 100 m spaja s potokom Mostnica, koja dolazi iz doline Voj, i tvore rijeku Savu Bohinjku (Sava).

# SAVA U SLOVENIJI vs RH



- Korištenje hidropotencijala Save od **Zidanog Mosta do Siska** planirano još u doba SFRJ
- U RH 1991. - načelna suglasnost za izgradnju **HE Podsused** (izrađeno cca 16 % Glavnog projekta te projekata za izvođenje - odgođeno zbog ratnih događanja)



6 izgrađenih  
1 u izgradnji  
2 planirane  
(do 2015.)

10 planiranih na  
srednjoj Savi  
(2025.-2028.)

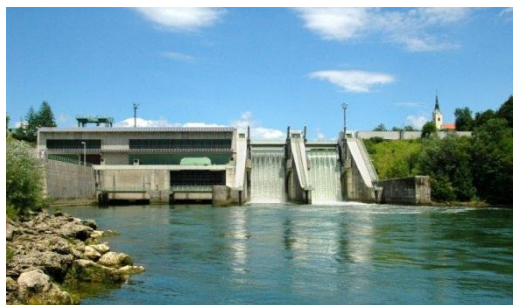
**UKUPNO: 19 HE**  
(630 MW; 2050 GWh)



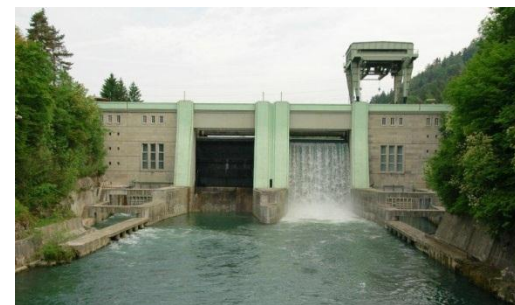
# HE na rijeci Savi Slovenija



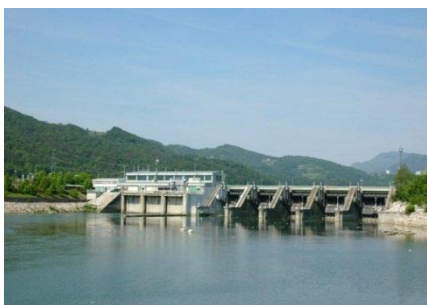
HE Moste	
Instalirana snaga	14 MW
Instalirani protok	32 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	56 GWh



HE Mavčiče	
Instalirana snaga	38 MW
Instalirani protok	260 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	62 GWh



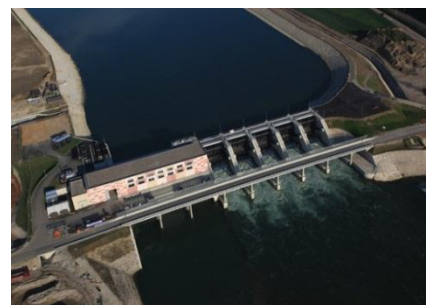
HE Medvode	
Instalirana snaga	25 MW
Instalirani protok	150 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	72 GWh



HE Vrhovo	
Instalirana snaga	34 MW
Instalirani protok	501 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	116 GWh



HE Boštanj	
Instalirana snaga	33 MW
Instalirani protok	500 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	115 GWh



HE Blanca	
Instalirana snaga	39 MW
Instalirani protok	500 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	144 GWh



HE Krško	
Instalirana snaga	39 MW
Instalirani protok	500 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	144 GWh

# HE na rijeci Savi (planirano) Slovenija



HE Brežice	
Instalirana snaga	41.5 MW
Instalirani protok	500 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	161 GWh



HE Mokrice	
Instalirana snaga	30.5 MW
Instalirani protok	500 m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja	135 GWh

Hidroelektrana	Investicija (mil €)	Snaga (MW)	Proizvodnja (GWh)
HE Suhadol	131	41	145
HE Trbovlje	122	34	114
HE Renke	123	35	115
HE Ponovice	252	68	212
HE Kresnice	89	29	90
HE Jevnica	104	29	89
HE Zalog	116	15	44
HE Šentjakob	89	19	44
HE Ježica	281	55	151
HE Gameljne	153	27	70
HE Tacen	128	33	89

U dogledno vrijeme izgledan je početak izgradnje prve tri HE (Suhadol, Trbovlje i Renke).



# Dunav u Beogradu

## Ušće rijeke Save



Širina korita u Zagrebu je 100 m, najveća širina joj je do 700 m (Šabac), na ušću u Dunav 290 m. **Sava je najvodonosnija pritoka Dunava.**



# A ŠTO RADIMO MI?

# ŠTO IMAMO?

- Srednji protok: oko 320 m<sup>3</sup>/s
  - Minimalni zabilježeni protok: ispod 50 m<sup>3</sup>/s
  - Maksimalni **zabilježeni** protok: 3300 m<sup>3</sup>/s (2012.)
  - Tisućugodišnji veliki protok: preko 5400 m<sup>3</sup>/s
  - Širina glavnog korita: 100 m
  - Širina između nasipa: 3\*100 m
- 
- Rijeka Sava od **granice** s Republikom Slovenijom do **Rugvice** (pogled i prema Sisku radi Kupe)
    - neiskorišteni energetska potencijal s padom od 1 ‰ (1m pada na duljinu od 1km)

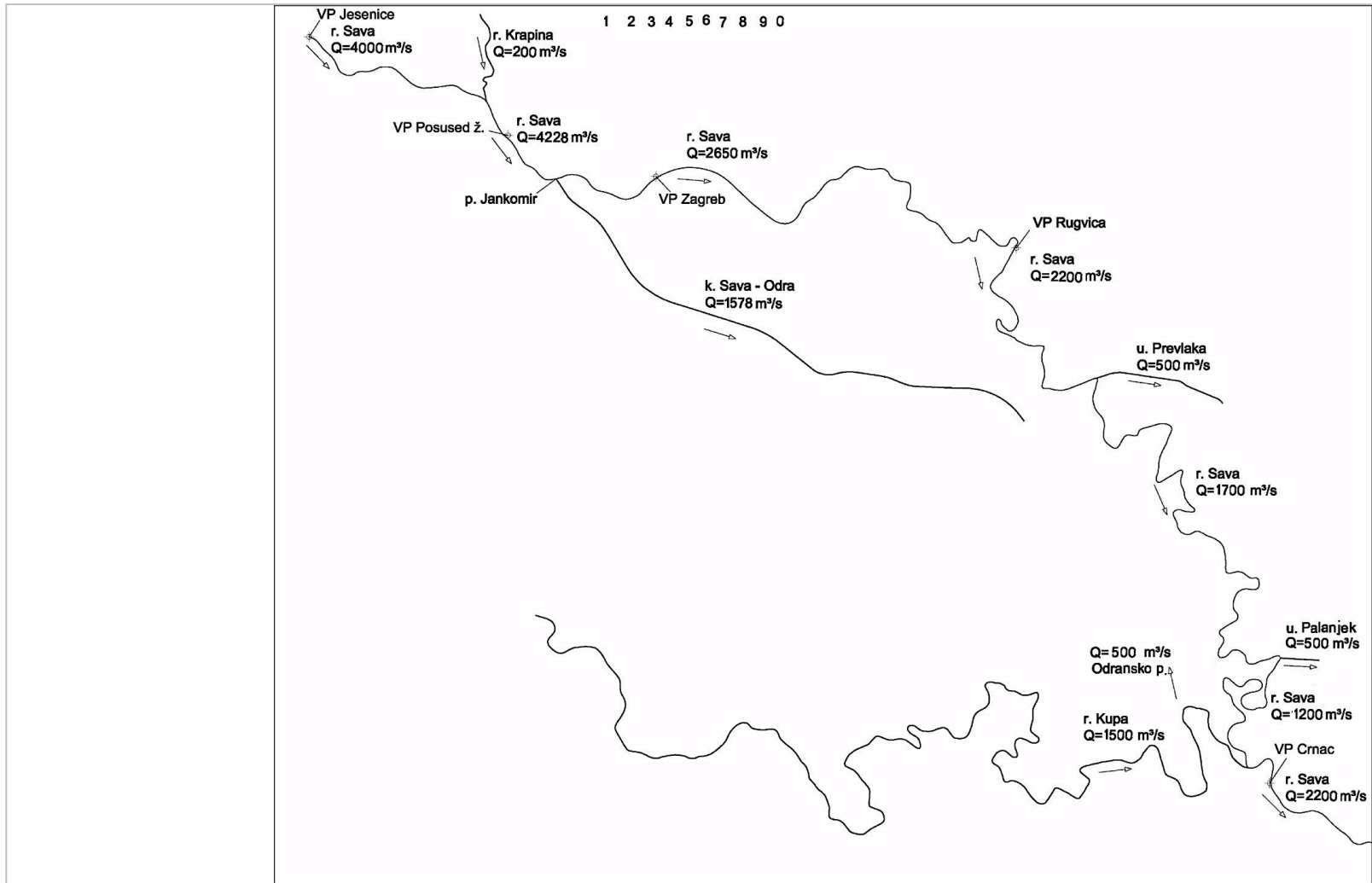
# Katastrofalne poplave 1964. i 1966.



Pogled na Savsku cestu s tada još nezavršenoga "Vjesnikova" nebodera



# Kako s vodama? (100 godišnjim)



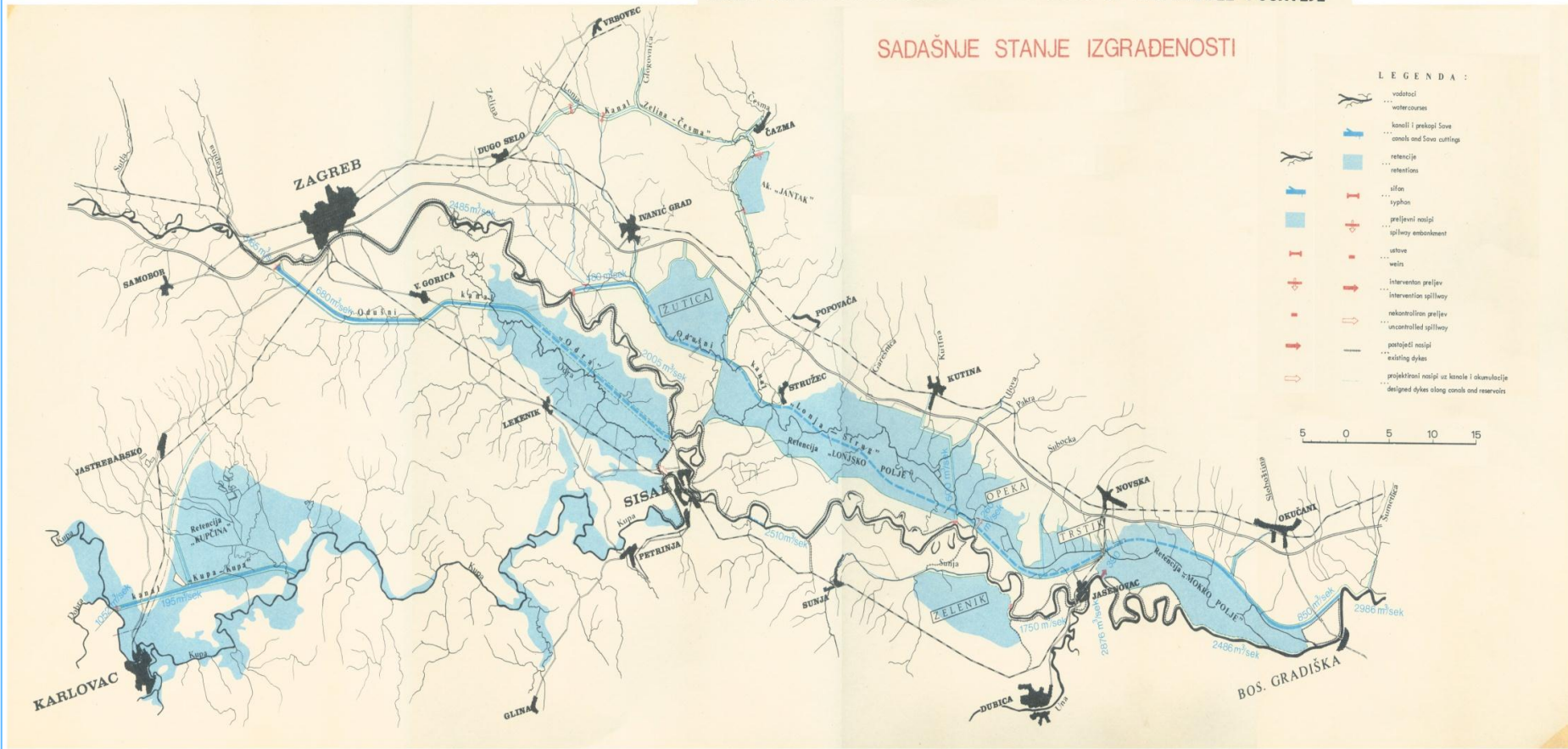


# Sadašnje stanje izgrađenosti nakon polpava

40% planiranog izgrađeno

## VODOPRIVREDNO RJEŠENJE SREDNJEG POSAVLJA MULTIPURPOSE HYDRODEVELOPMENT SOLUTION OF THE MIDDLE POSAVLJE

SADAŠNJE STANJE IZGRADENOSTI





# Poplave iz 2010. godine



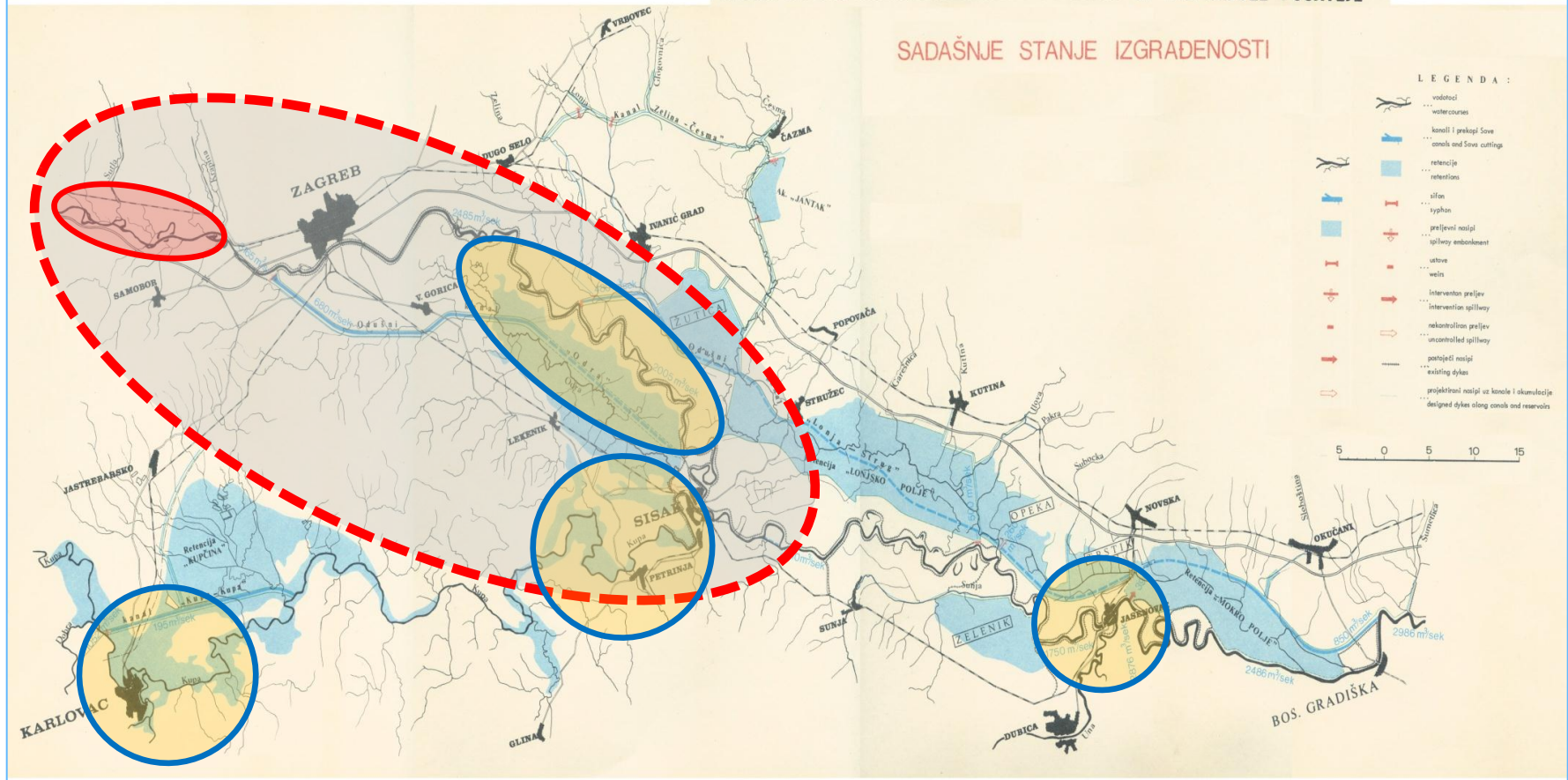


# Pregled ugroženosti

## UGROŽENA PODRUČJA

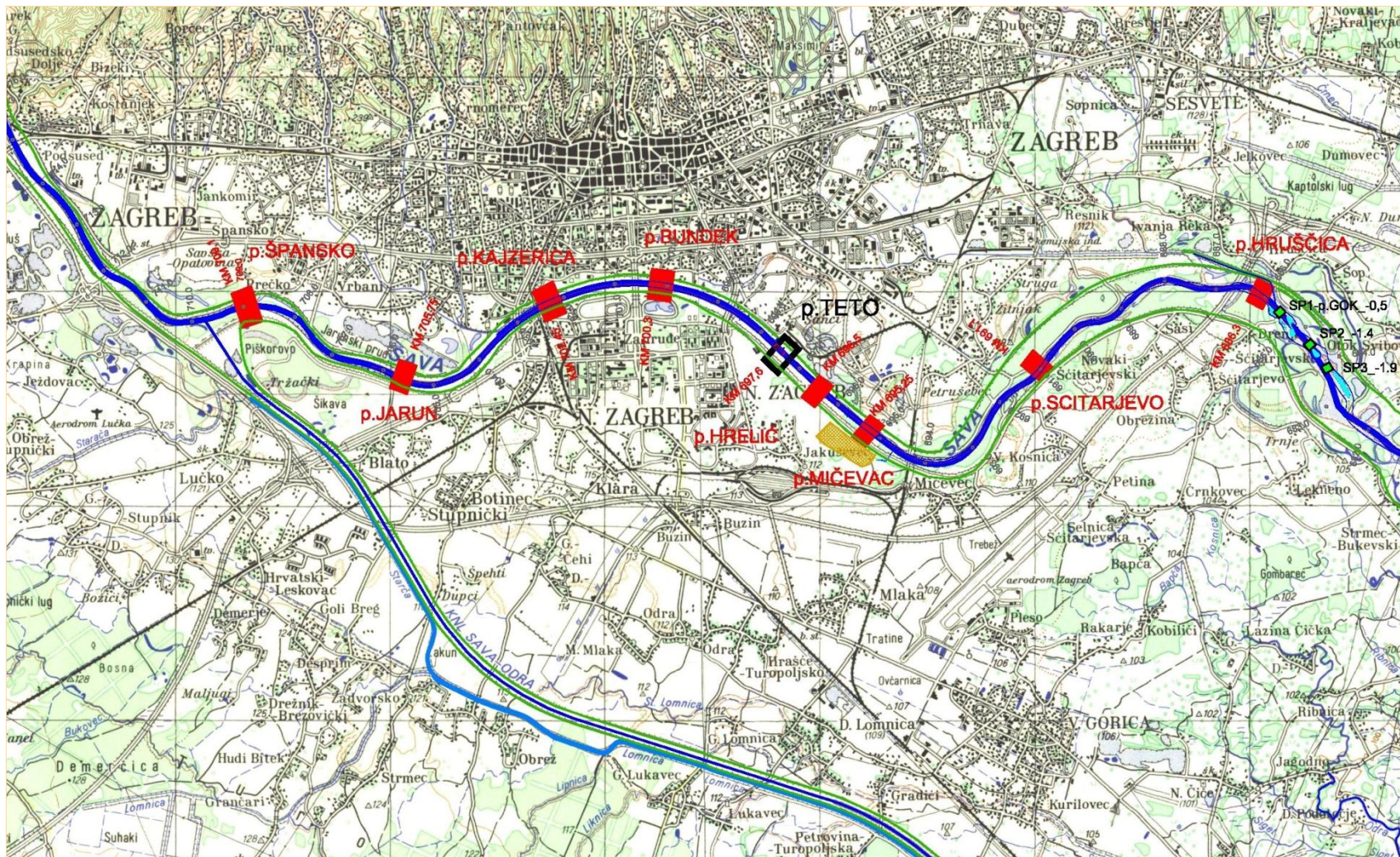
## VODOPRIVREDNO RJEŠENJE SREDNJEG POSAVLJA MULTIPURPOSE HYDRODEVELOPMENT SOLUTION OF THE MIDDLE POSAVLJE

### SADAŠNJE STANJE IZGRADENOSTI





# Izgradnja pragova ...







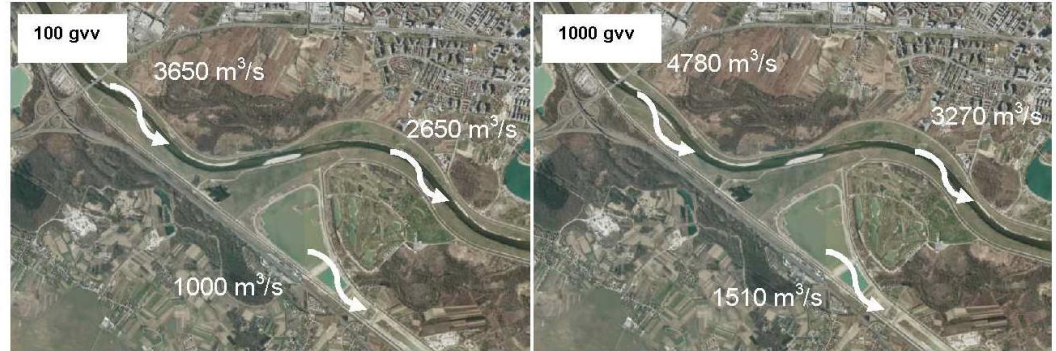


**ZOVIMO OVO OPCIJA 0<sub>(NULA)</sub> ...**

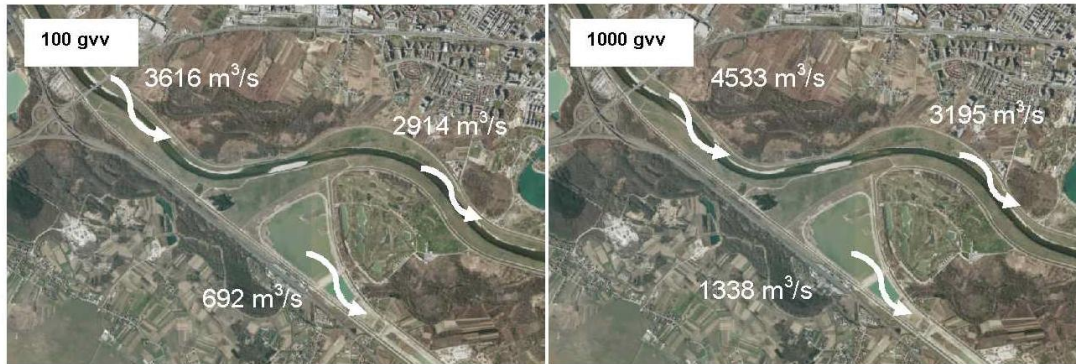
# Kako sada dalje, ako imamo ...?

RUBNI HIDROLOŠKI ULAZI

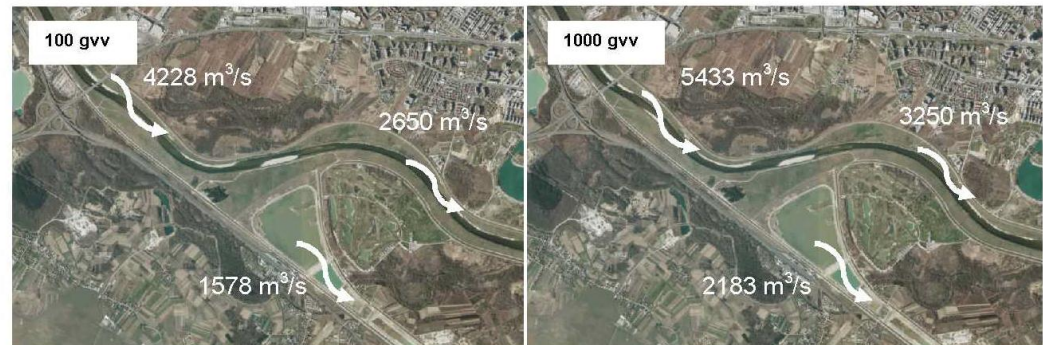
PROJEKTNO RJEŠENJE 1972.godina



POSTOJEĆI UVJETI DISTRIBUCIJE VODA



PLANIRANI UVJETI DISTRIBUCIJE VODA U BUDUĆEM STANJU ZA OPCIJU 0



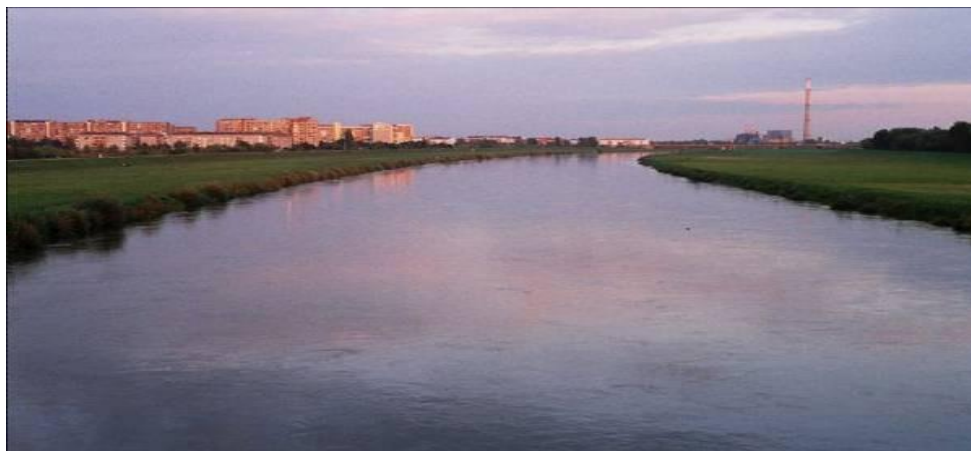
- Sustav uređenja i korištenja prostora i vodnih resursa na području Grada Zagreba i Zagrebačke županije **nije ostvaren** (samo 40% planiranog):
- Izostanak mnogih **posrednih i neposrednih** koristi za stanovnike Hrvatske i njeno gospodarstvo ako voda ide kroz gard povremeno.
- Možda izgradnjom sustava, na neki drugi način, možemo pomirti različite interese korisnika prostora, a i izlazak građana Zagreba na Savu ... ideja “**grad na rijeci**” (primjer Beča, Pariza, Lyona, Praga, Chicaga...)

- **izgrađenost vodnih stepenica** na rijeci Savi u Republici Sloveniji, i **neizgrađenost hrvatskog**, ima za posljedicu nedostanak vučenog nasipa i time:
  - **produbljenje korita** rijeke Save i sniženje vodostaja za 2 m u razdoblju od 20-ak godina – propadanje mostova npr.;
  - smanjenje prosječnog protoka za 10%; i
  - **sniženje vodostaja** podzemne vode - kapaciteti izvorišta pitke vode.



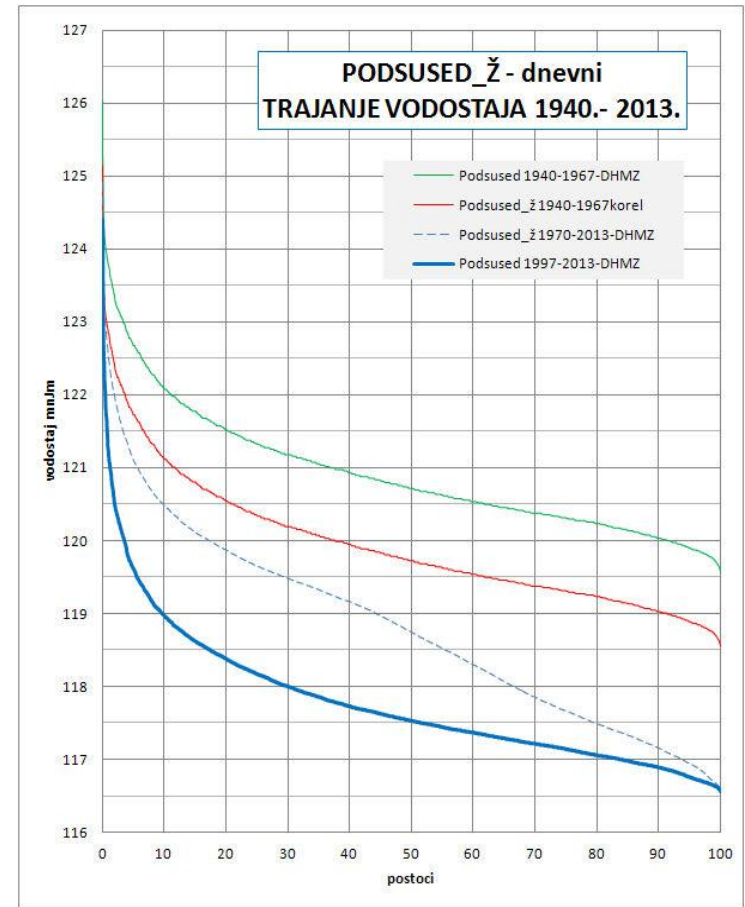
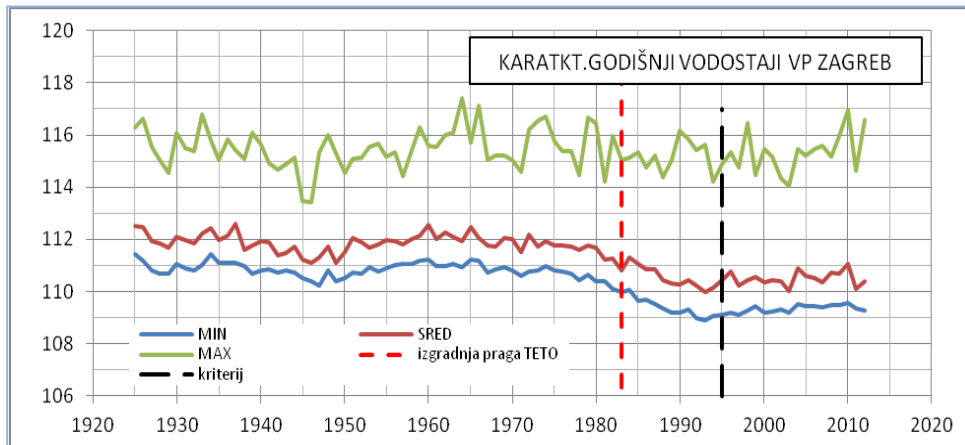


- **pojačan proces produbljenja korita** nizvodno od vodnog praga za zahvat rashladne vode TE-TO Zagreb
- **neravnomjerno raspoređene količine vode** (krivulje trajanja protoka) - velike razlike vodostaja pri malim i velikim protocima
- **nedovršen odteretni kanal Sava-Odra**
- **neiskorišten energetska potencijal** uslijed pada od 1‰  
– uobičajeno za proizvodnju električne energije





# Primjeri vodostaja i trajanja protoka





# OPCIJA 1 JE SLJEDEĆA PRILIKA?



- **urbanistički** ciljevi (približavanje Grada rijeci, prometna povezanost mostovima)
- ciljevi **zaštite okoliša** (kvaliteta površinske i podzemne vode, povrat flore i faune, smanjenje emisija stakleničkih plinova)
- **vodoprivredni** ciljevi (zaštita od poplava, vodoopskrba)
- ciljevi **energetike** (korištenje hidropotencijala za proizvodnju iz obnovljivih izvora energije, sigurnost opskrbe)
- ciljevi **zapošljavanja** domaćeg gospodarstva (mogući udjel domaćih izvođača iznosi 95%, od čega se 70% odnosi na građevinarstvo)
- ciljevi **poljoprivrede** (navodnjavanje), **sporta i rekreacije** (oplemenjivanje jezera Jarun, Bundek i sl.)
- uređenje odnosa s Republikom Slovenijom (dogovor o režimu voda)

- **Uređenje i izgradnja** područja uz rijeku Savu (povećanje vrijednosti zemljišta, povećanje naseljenosti, razvoj naselja)
- Stvaranje **novih korisnih površina**:
  - Izgradnja poslovnih i stambenih sadržaja;
  - Izgradnja sportsko rekreativnih centara (stvaranje novih vodnih površina); i
  - poljoprivreda ... itd





- Izgradnja **mostova i cestovne mreže**
- **Integracija predviđenih rješenja** s novonastalim uvjetima u prostoru, planiranim mostovima (Jarun, Bundek), novom zagrebačkom obilaznicom itd.



- Integracijom postojećih ili budućih mostova s pregradnim profilima hidroelektrana dobiva se rješenje s povećanom vrijednošću za sve buduće korisnike sustava

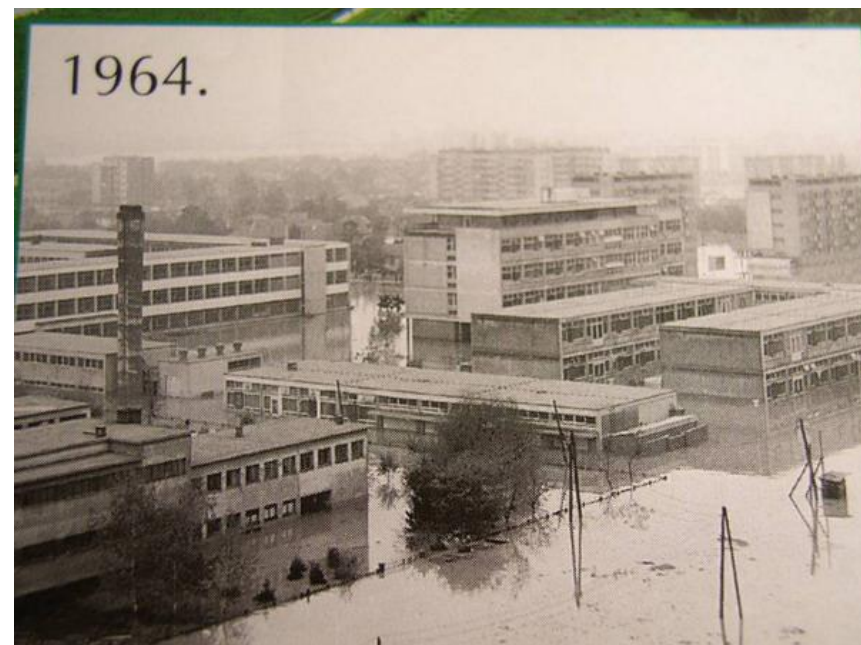


- **Očuvanje** postojećih **prirodnih** vrijednosti
- Pобоljšanje **kakvoće voda**
- Pобоljšanje **kakvoće zraka** (zamjena fosilnih goriva hidropotencijalom)
- Pобоljšanje stanja u **stajaćim vodama** zaobalja (Jarun, Bundek, Savica...) i uređenje šljunčara





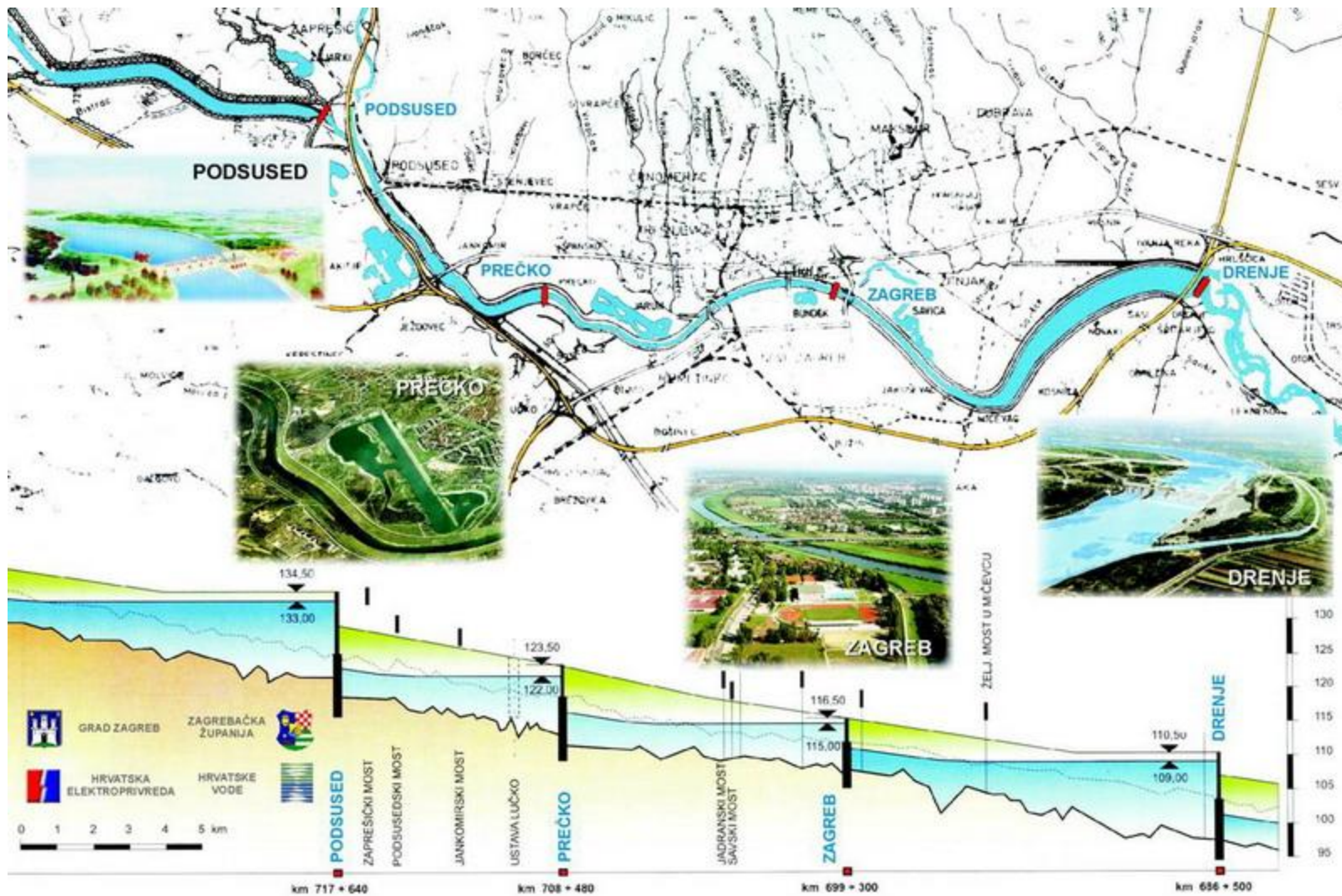
- Povećanje **sigurnosti od poplava**
- **Stabilizacija obala i korita rijeke Save**
- **Uređenje odvodnje zaobalja**
- Pобољшanje **sigurnosti vodoopskrbe** Grada Zagreba i Zagrebačke Županije



# Uz raspored vodnog toka ...



# HE U ZAGREBU projekt iz 90tih 20.st i početak 21.st

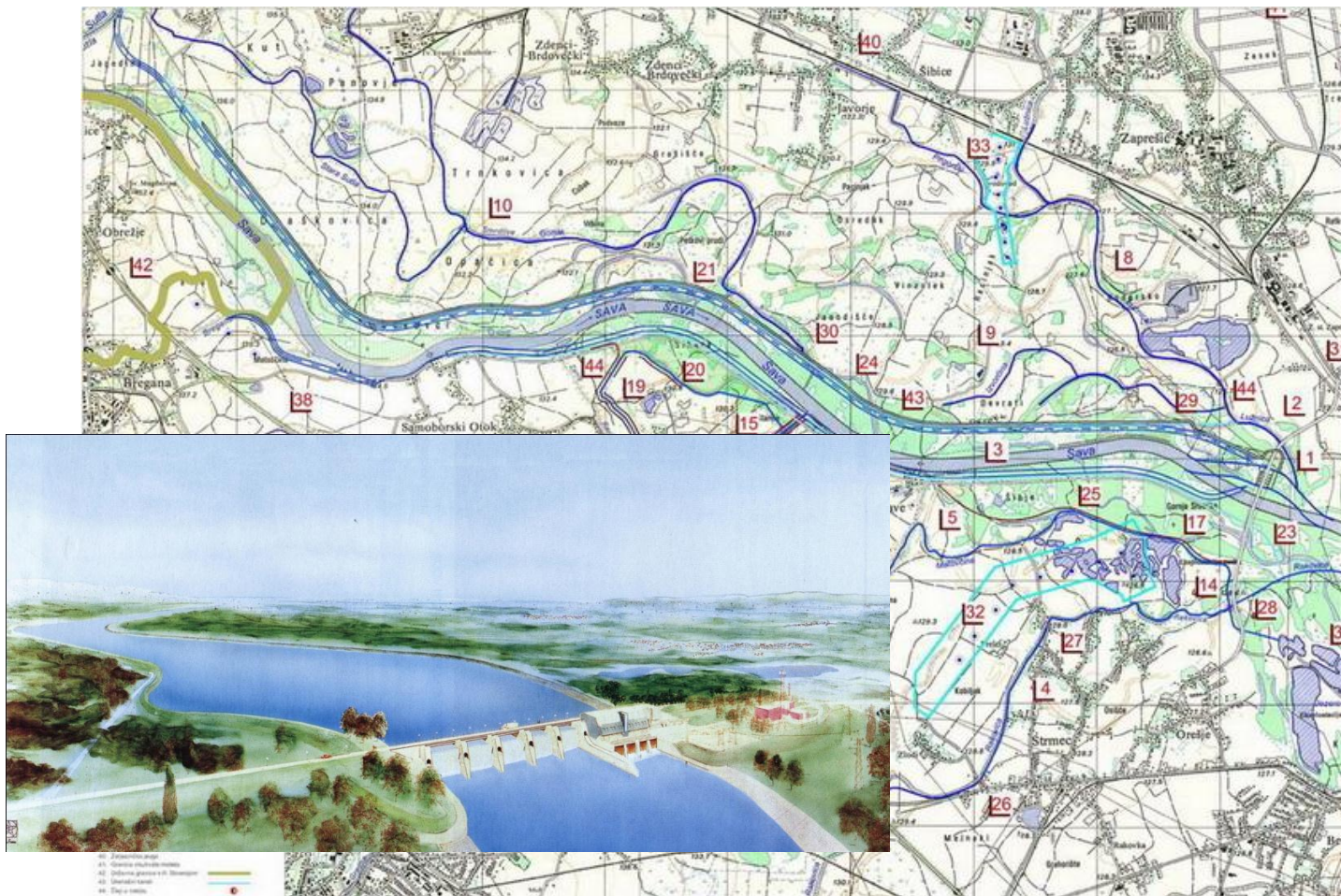




- Energetskim korištenjem vodnog potencijala Save u Zagrebu zadovoljilo bi se oko **20% potrošnje električne energije Grada**
- Proizvodnja električne energije **obnovljivim izvorima** bez značajnijeg štetnog djelovanja na okoliš (Natura 2000)
- **Smanjenje zagađenja** na području Grada jer se ne koriste fosilna goriva za proizvodnju električne energije

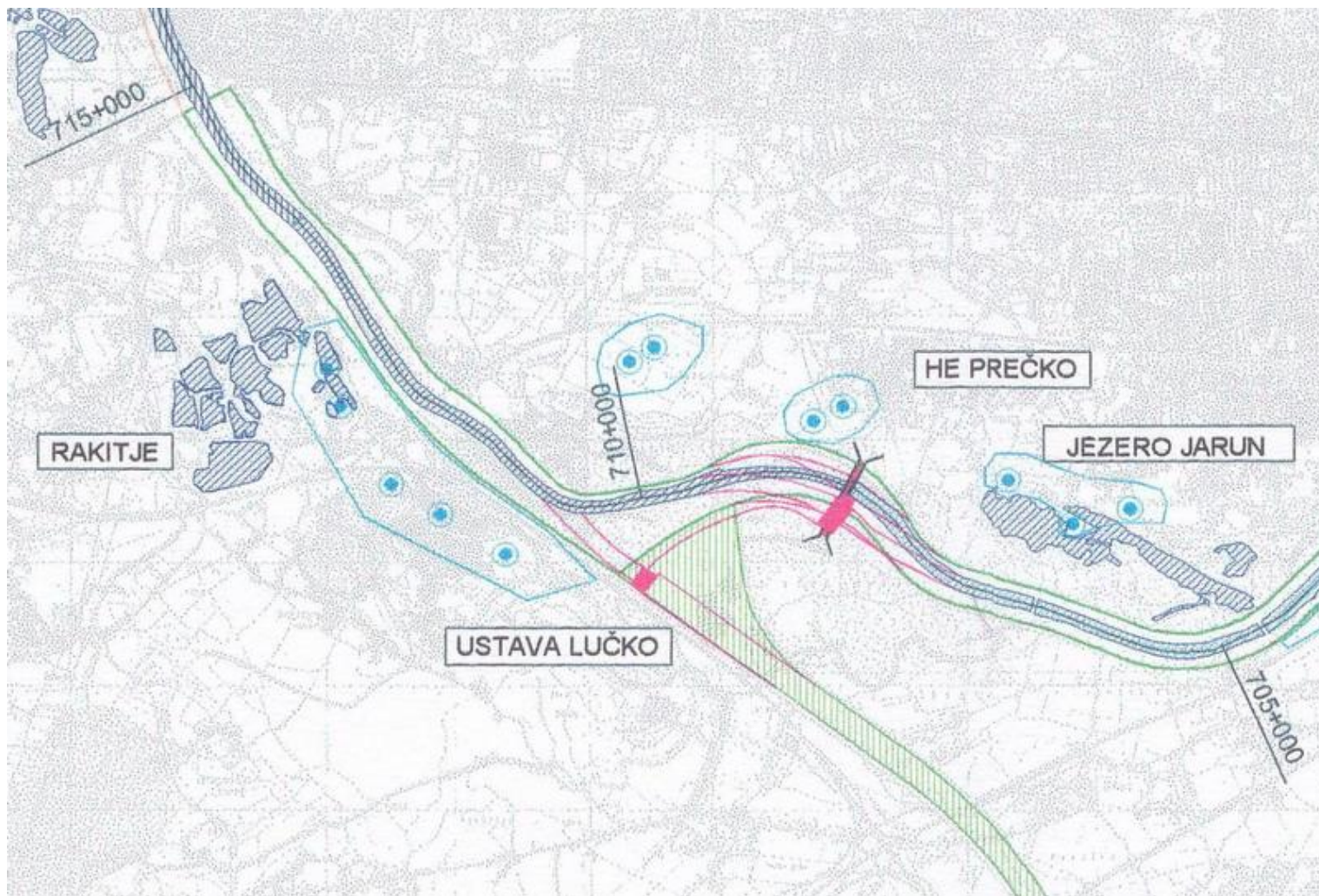
	HE Podsused	HE Prečko	HE Zagreb	HE Drenje	UKUPNO
Instalirani protok	500 m3/s	500 m3/s	500 m3/s	500 m3/s	
Srednji protok	327 m3/s	327 m3/s	327 m3/s	327 m3/s	
Snaga	41 MW	23,08 MW	19 MW	39,3 MW	<b>122,38 MW</b>
Proizvodnja	202,4 GWh	121,4 GWh	97,6 GWh	189,1 GWh	<b>610,5 GWh</b>

# HE PODSUSED



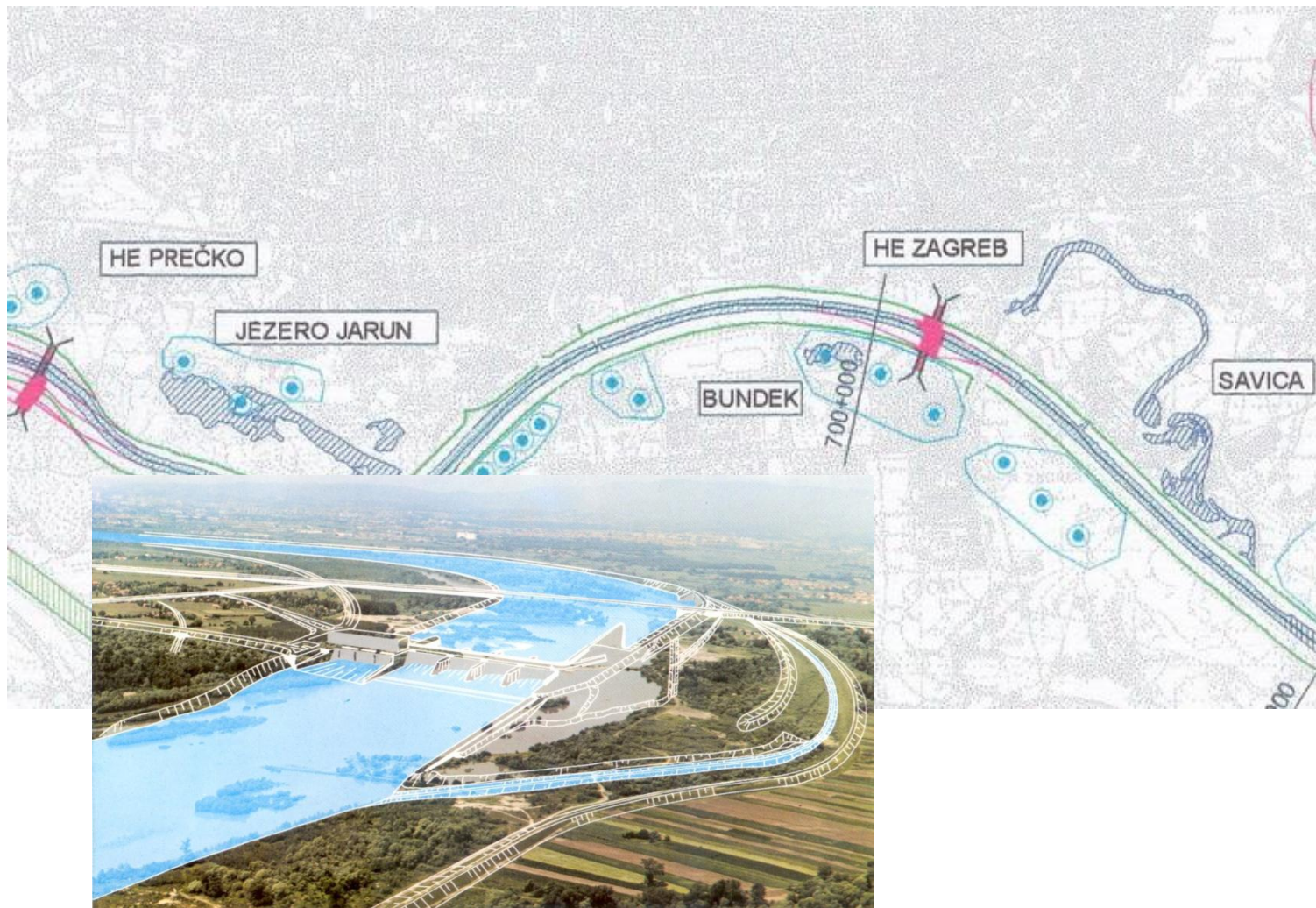


# HE PREČKO I USTAVA LUČKO





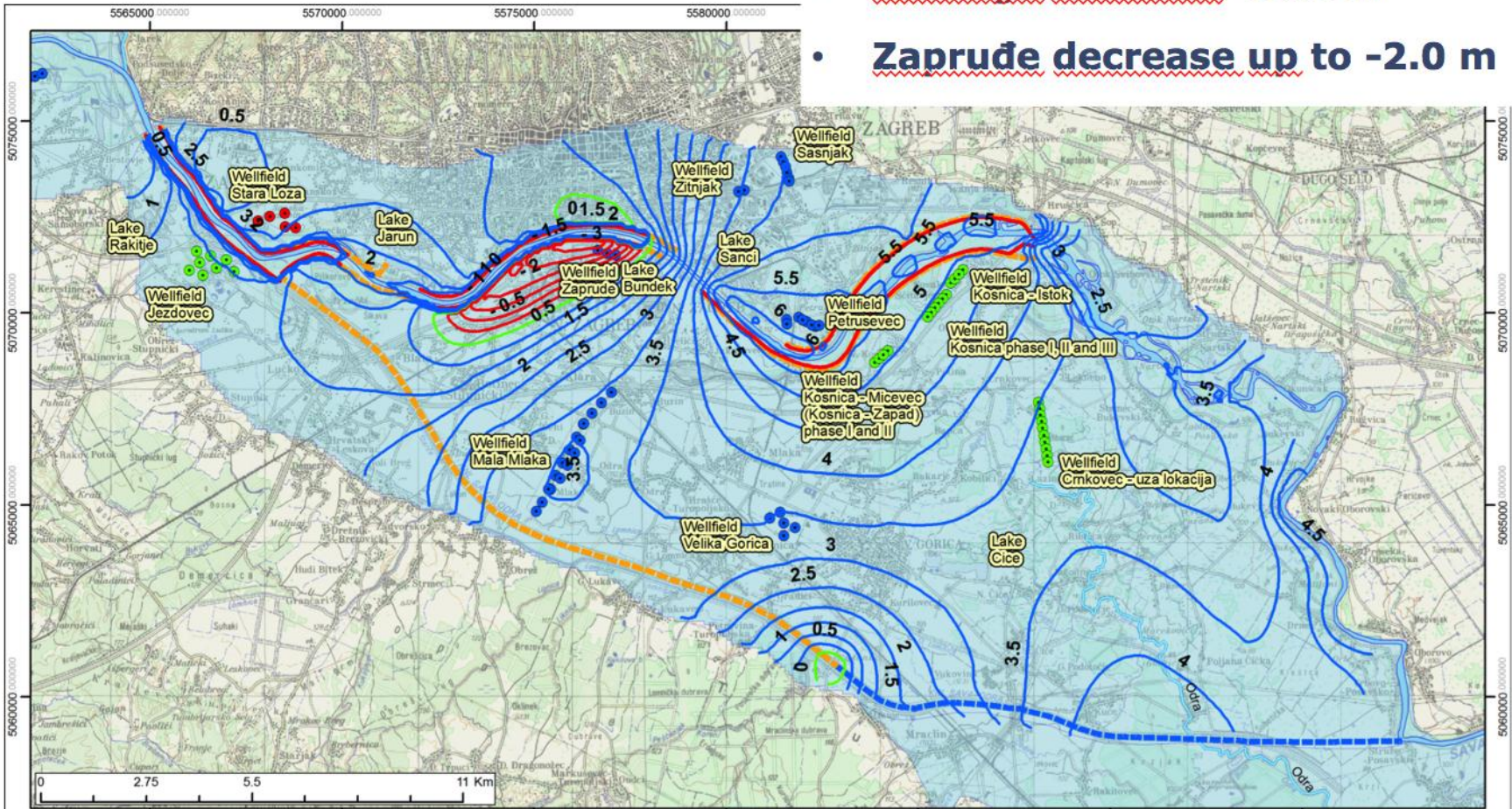
# HE ZAGREB i ostale u nizu ...





# Utjecaj na podzemne vode ...

- Average increase +3.5 m
- Zaprude decrease up to -2.0 m

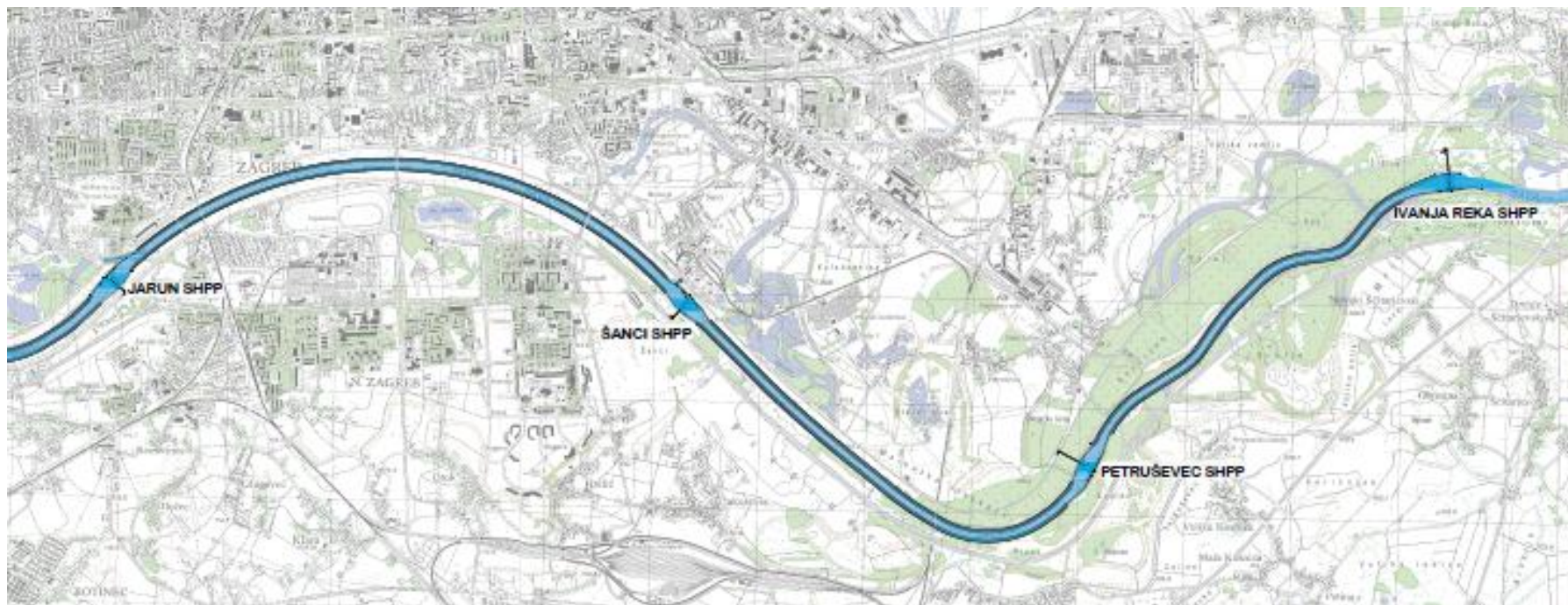




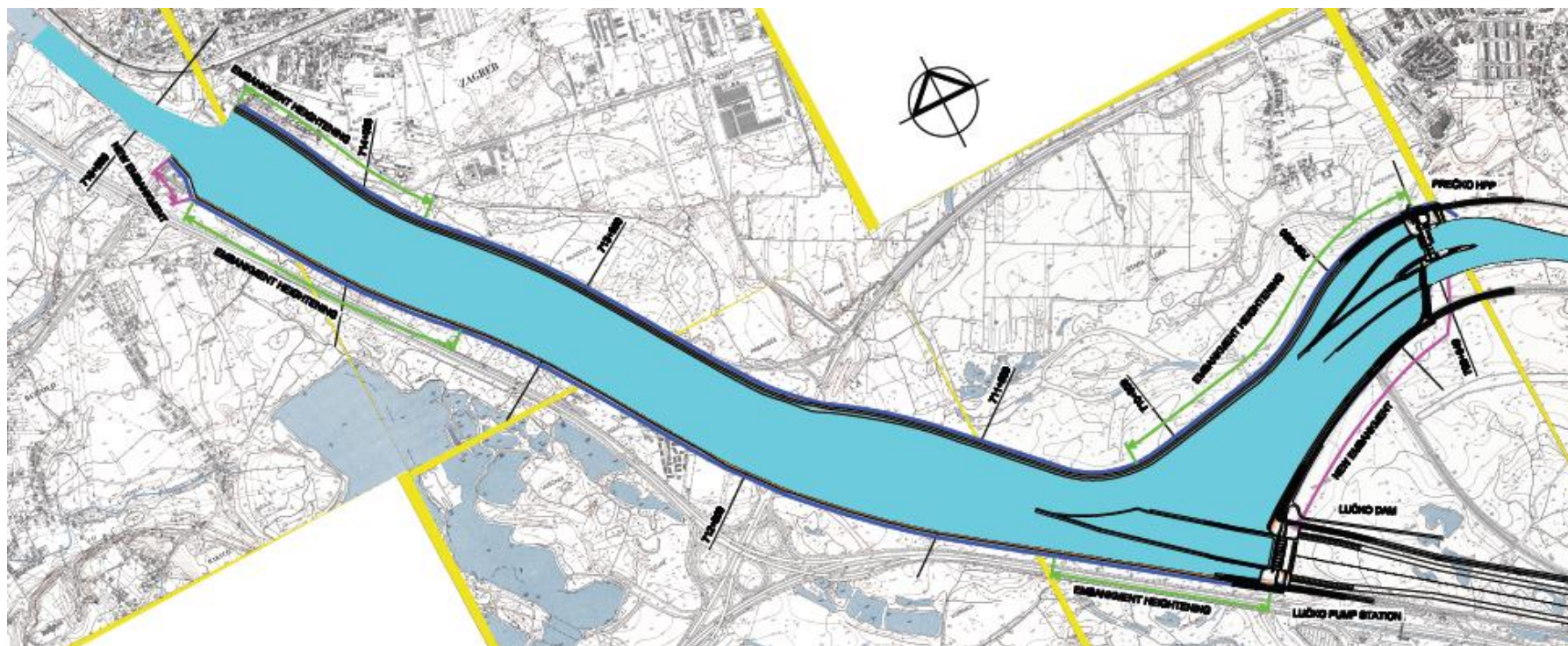
# Može li i **MALO DRUGAČIJE?**



# Zagreb na Savi ...



# Ključna građevina ... HE Prečko i brana Lučko



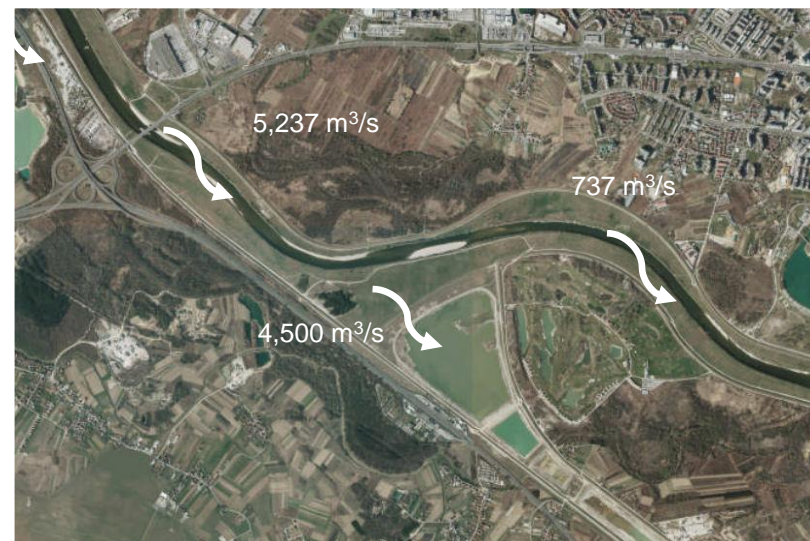


# Rasporedom vode kako slijedi ...

100 year (1% AEP)

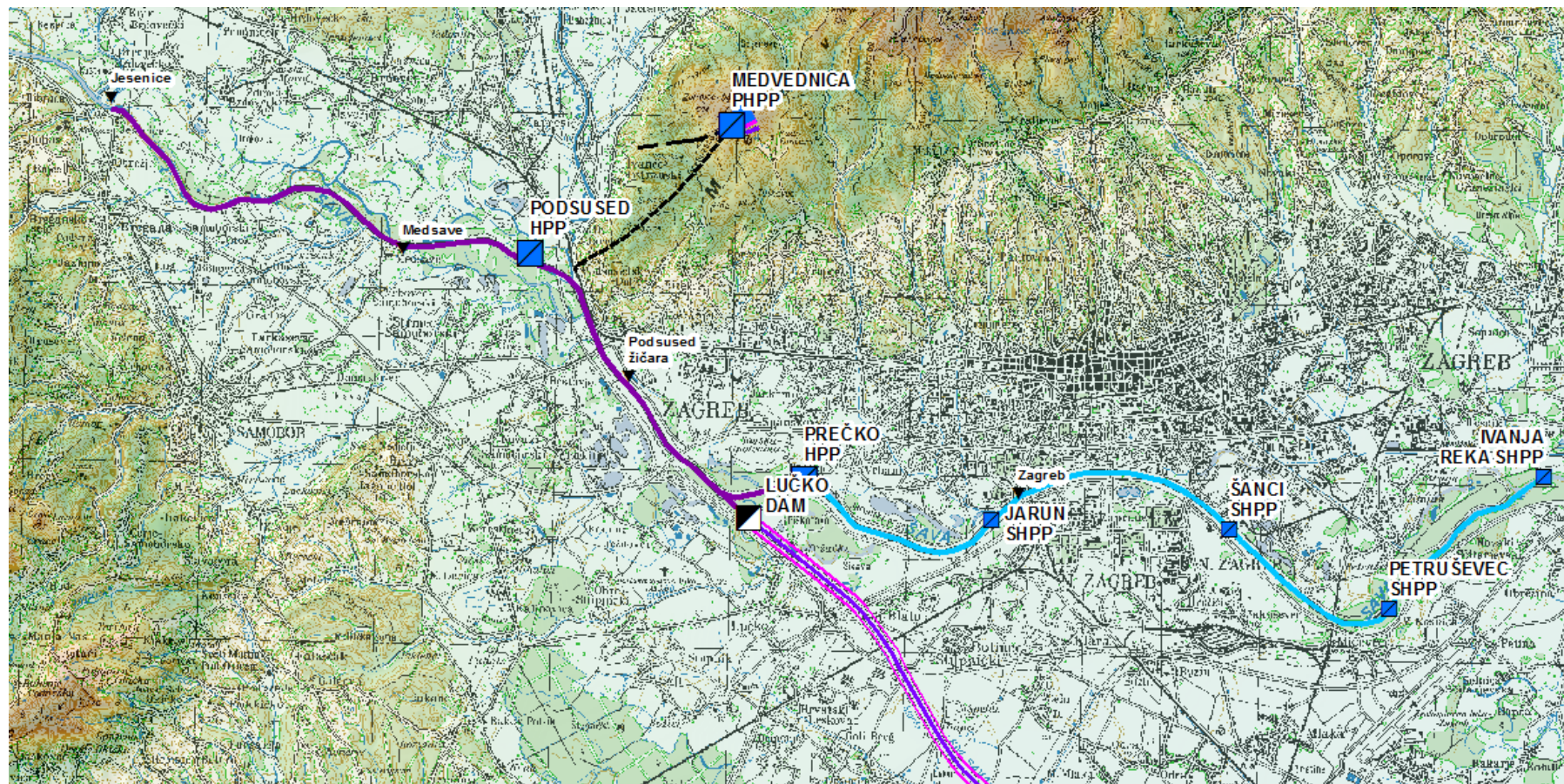


1000 year (0.1% AEP)



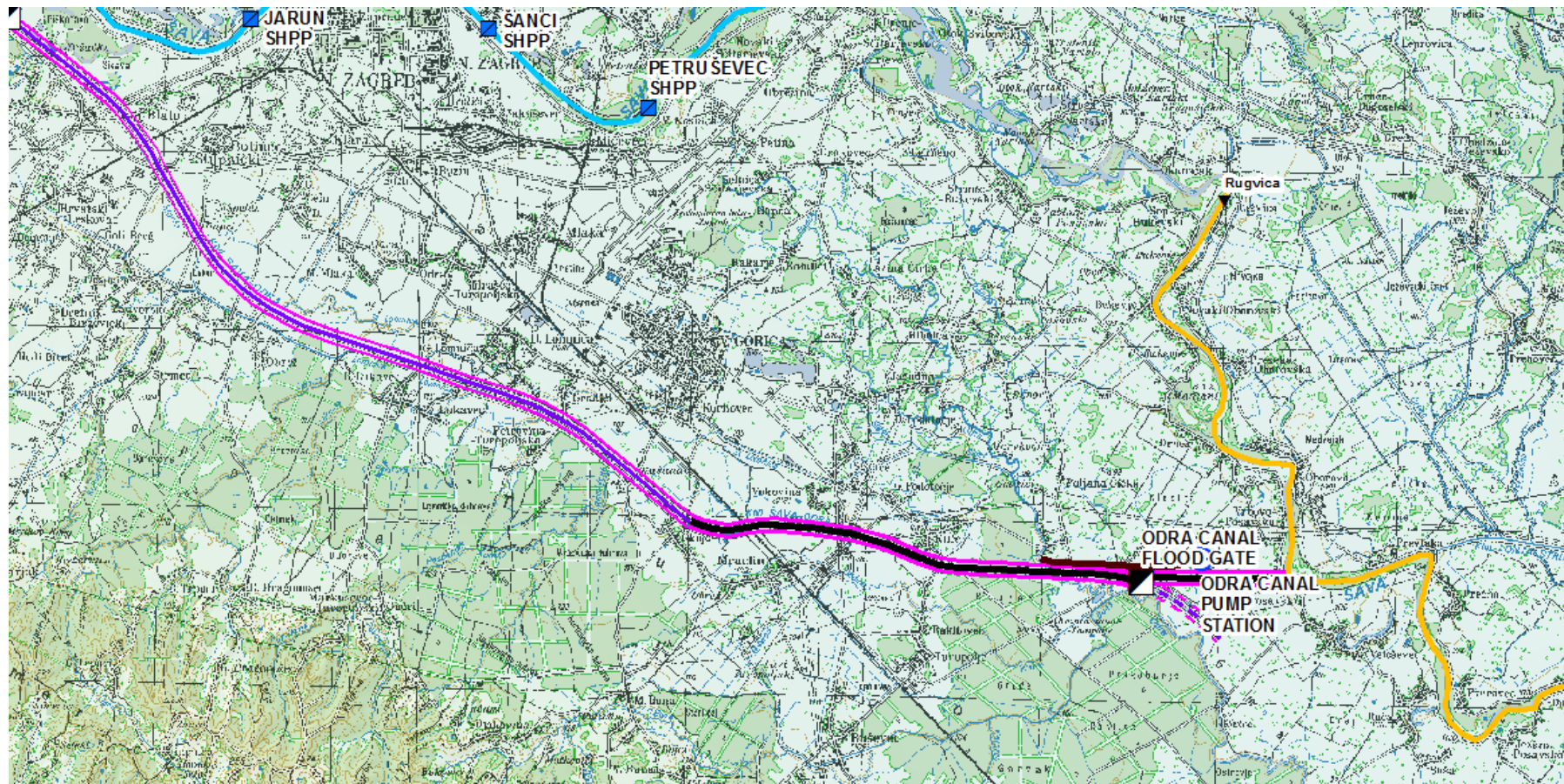


# U Zagreb i kanal Odra ...





# ... natrag do Save (uz moguću plovnost do VG)





**Model hidroenergetskog sustava Sava (HES Sava)** predstavljen u ovom radu matematički opisuje:

- **6 protočnih hidroelektrana** (HE Podsusud, HE Prečko s ustavom Lučko, HE Zagreb 1, HE Zagreb 2, HE Zagreb 3, HE Zagreb 4),
- i **pripadajuće akumulacije** dimenzionirane s ciljevima:
  - minimalna intervencija u postojeće stanje (s ciljem minimalnih troškova)
  - osiguranje stabilnog protoka rijeke Save kroz Zagreb koje omogućava iskorištavanje atraktivnog zemljišta u inundaciji **UNUTAR KORITA RIJEKE**
- Također modeliran je i **kanal Sava-Odra** (Sava-Sava) s dimenzijama koje osiguravaju **stabilne protoke kroz prirodno korito rijeke Save.**

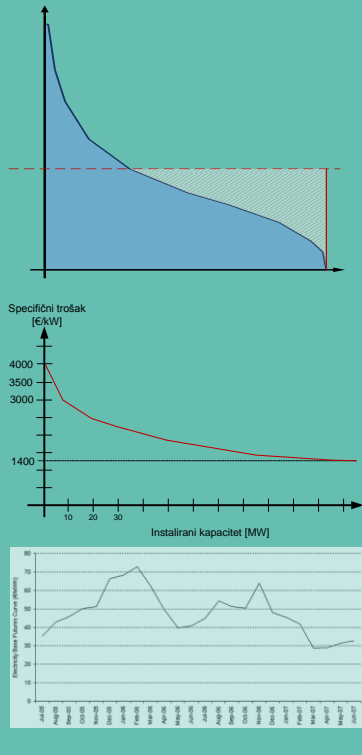




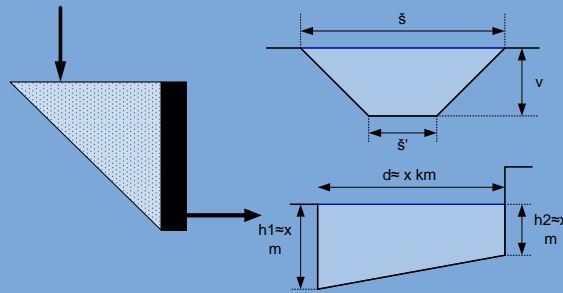
- ▶ Model se ne bavi neizravnim koristima izgradnje HES Sava niti se oni uzimaju u obzir. Funkcija cilja modela HES Sava je osigurati **maksimalnu NSV (NPV) prihodom od prodaje električne energije.**
- ▶ Model daje **dimenzije akumulacija te posljedično i tehničke parametre hidroelektrana** (očekivane instalirane protoke, padove, koeficijente pretvorbe) koji omogućuju maksimalnu NSV.
- ▶ Rezultati dobiveni iz modela bazirani su na dugoročnim povijesnim podacima i očekivanim vrijednostima dobivenih statističkim metodama.

## Model HES Sava

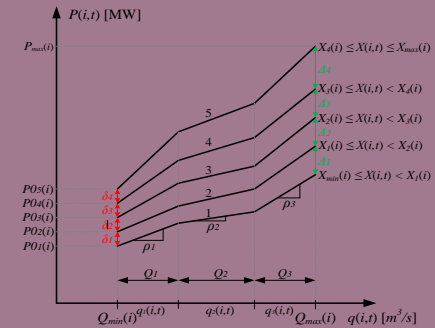
### Ulazni podaci



### Model Akumulacija



### Model proizvodnih karakteristika HE-a

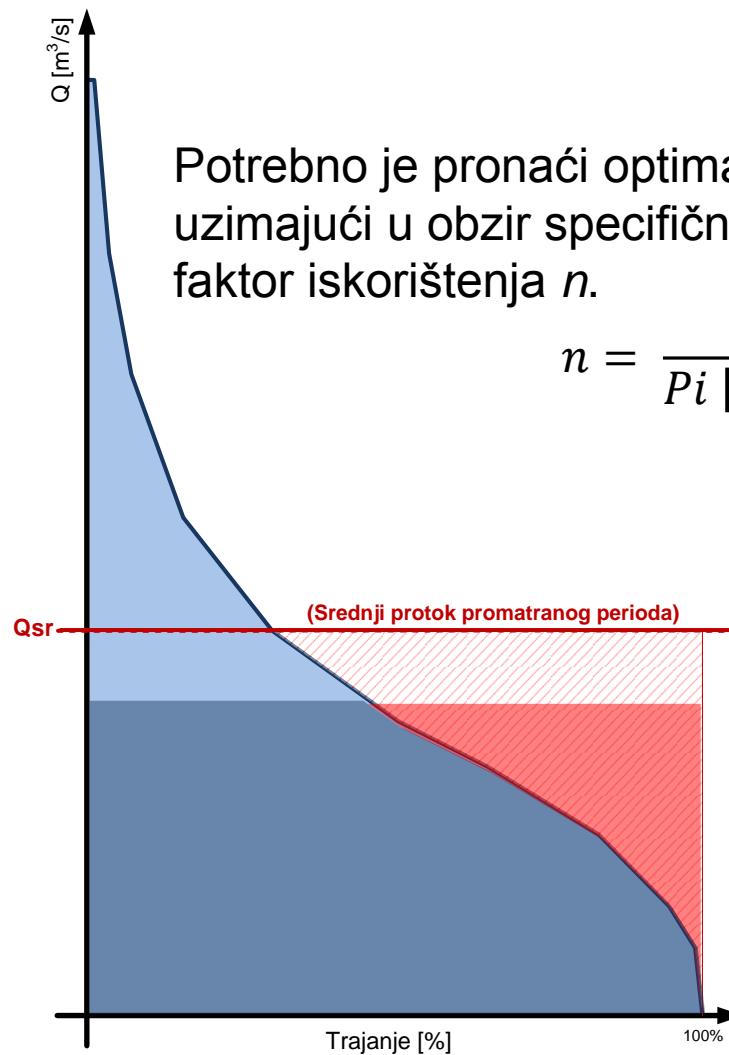
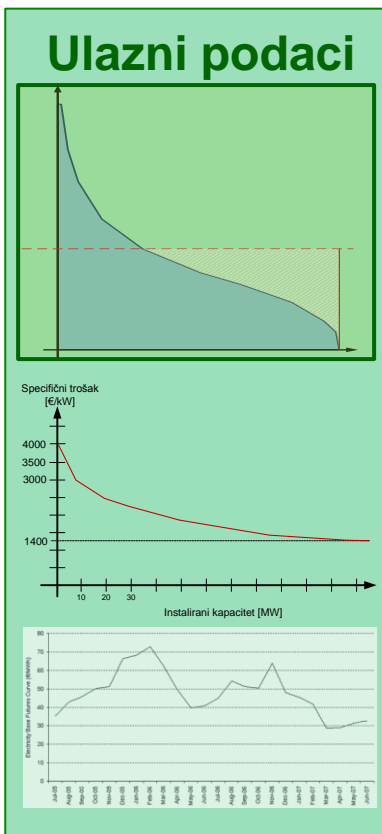


Model 3-D međuovisnosti pada, protoka i izlazne snage

Funkcija cilja  
Maks. {NPV}

# Ulazni podaci u model

## Linearizirana krivulja trajanja protoka



Potrebno je pronaći optimalni instalirani protok  $Q_i$  uzimajući u obzir specifične troškove  $c$  [€/kW] i faktor iskorištenja  $n$ .

$$n = \frac{W [MWh]}{P_i [MW] \cdot 8760 [h]}$$

$Q_i$  (Instalirani protok)

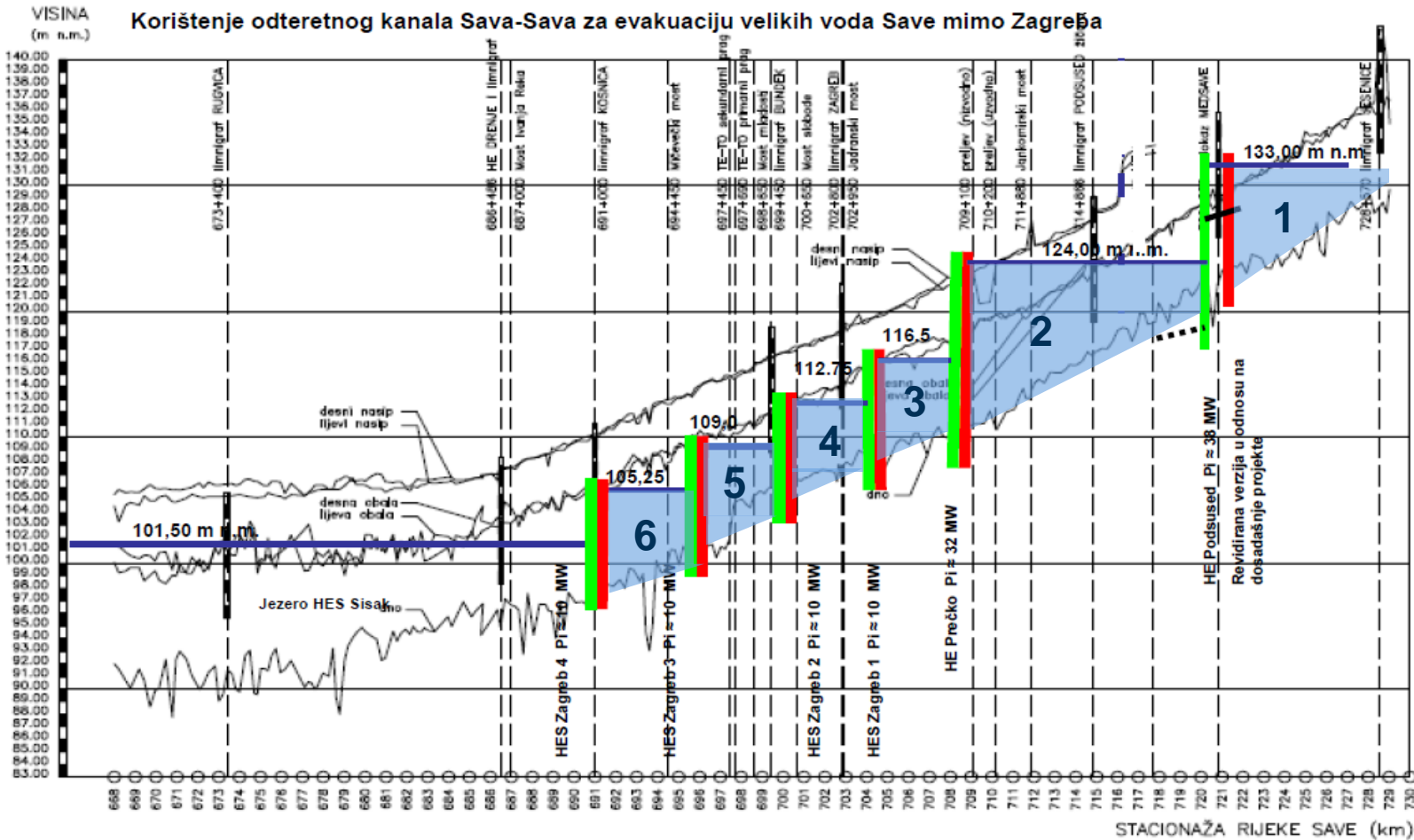




### RIJEKA SAVA – UZDUŽNI PROFIL

#### Konceptijsko rješenje Save od slovenske granice do Siska

Korištenje odteretnog kanala Sava-Sava za evakuaciju velikih voda Save mimo Zagreba



1. Akumulacija Podsused
2. Akumulacija Prečko
3. Akumulacija Zagreb 1
4. Akumulacija Zagreb 2
5. Akumulacija Zagreb 3
4. Akumulacija Zagreb 4

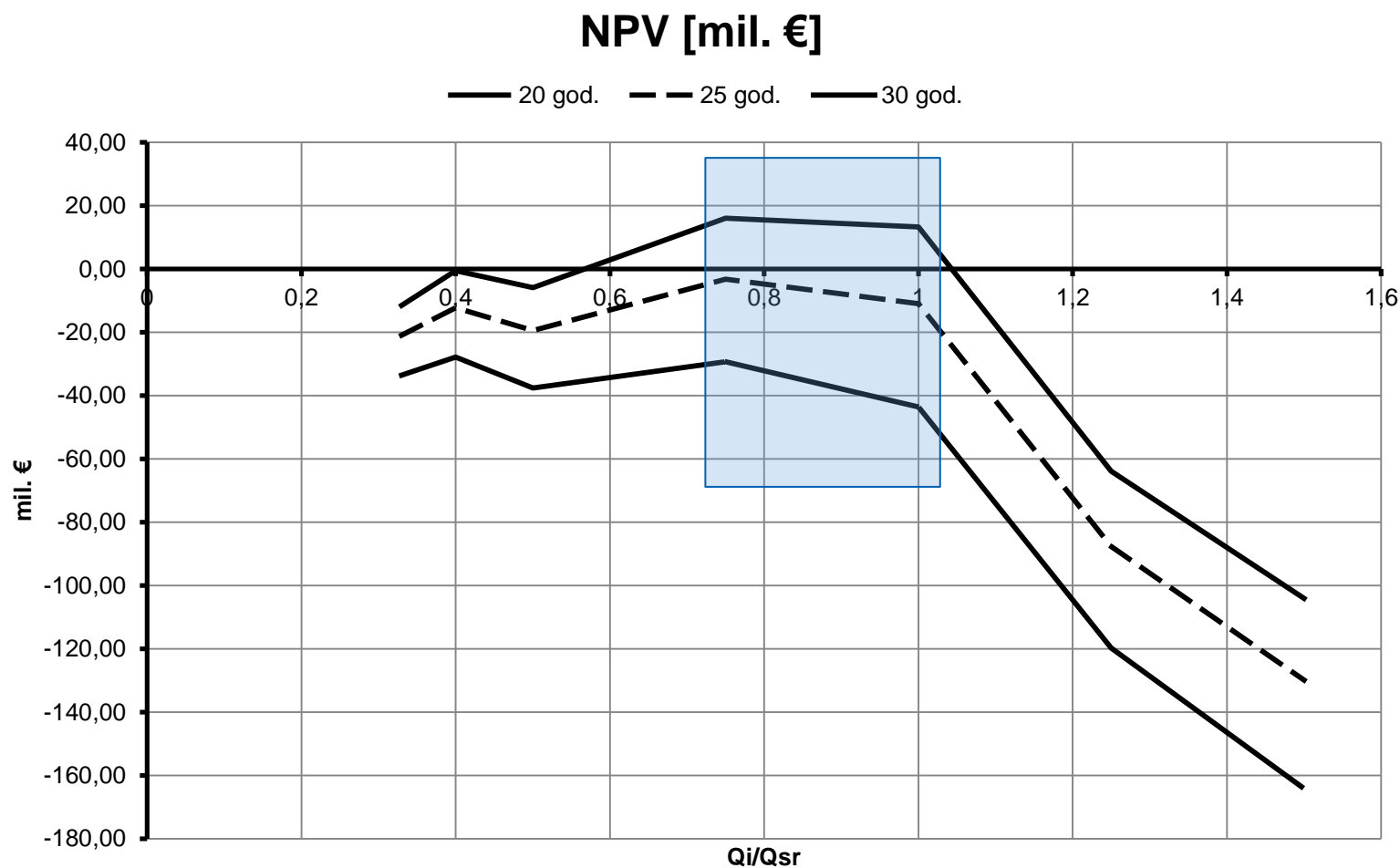


Srednji protok rijeke Save od 1926. do 1995. od 320 m <sup>3</sup> /s umanjen za cca 10% zbog iskorištenja vode uzvodno od garnice sa Slovenijom	<b>300 m<sup>3</sup>/s</b>
Biološki minimum (Q95% s krivulje trajanja protoka)	<b>30 m<sup>3</sup>/s</b>
Cijena električne energije: HE iznad 10 MW desetogodišnji prosjek s eex-a	<b>43.6 €/MWh</b>
Cijena električne energije: HE ispod 10 MW tarifne cijene RH za proizvođače iznad 15000 MWh	<b>56 €/MWh [5]</b>
Diskontna stopa	<b>8.2% [6]</b>
Indeks inflacije	<b>2 % [7]</b>
Tehničke specifikacije hidroelektrana i akumulacije, dimenzije korita rijeke Save, proizvodne karakteristike kaplan turbine (koeficijenti pretvorbe [MW/m <sup>3</sup> /s], minimalna izlazna snaga, minimalni protok), funkcija koja opisuje odnos pada i volumena akumulacije.	
Investicijski troškovi malih i velikih HE [€/kW].	
O&M troškovi velikih i malih HE [€/kW/godina].	

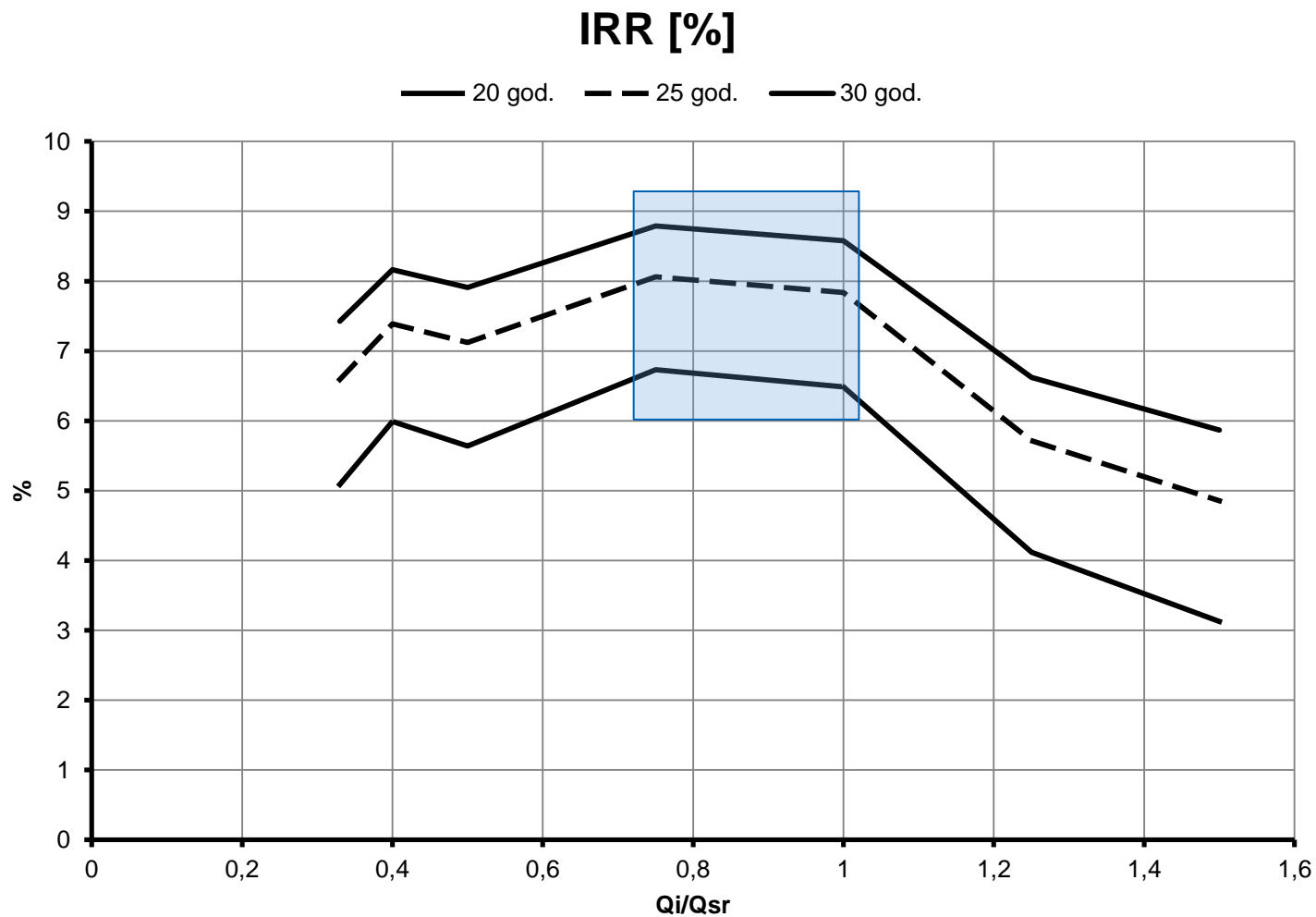
[5] (NN 033/2007)

[6] OECD stats; BBVA research, october 2012

[7] DZS





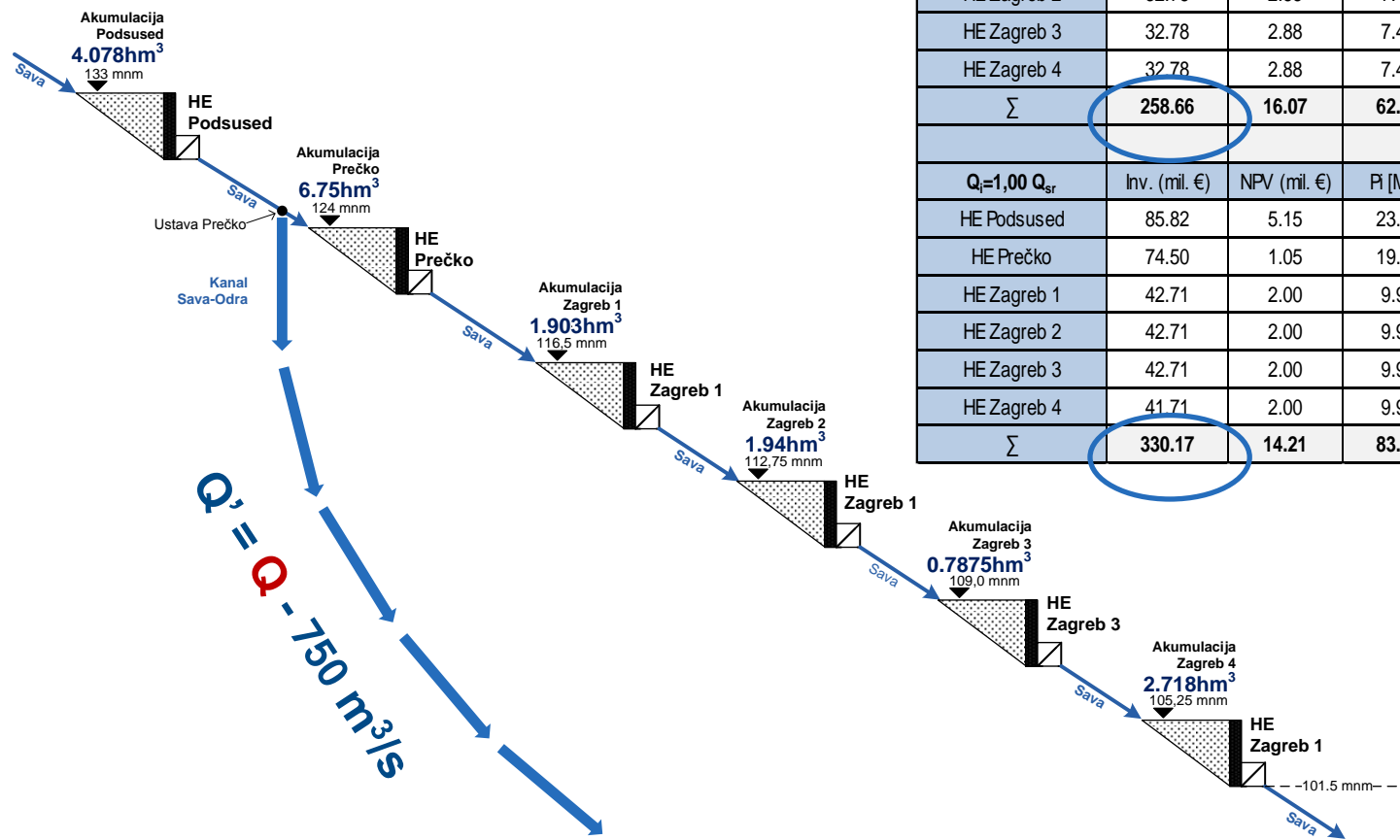


# Studija slučaja - HES Sava

## Rezultati - 3



$Q > 750 \text{ m}^3/\text{s}$



$Q_i=0,75 Q_{sr}$	Inv. (mil. €)	NPV (mil. €)	P <sub>i</sub> [MW]	W [GWh/god.]
HE Podsused	67.94	5.78	17.88	134.78
HE Prečko	59.60	-1.23	14.90	111.73
HE Zagreb 1	32.78	2.88	7.45	53.68
HE Zagreb 2	32.78	2.88	7.45	53.68
HE Zagreb 3	32.78	2.88	7.45	53.68
HE Zagreb 4	32.78	2.88	7.45	53.68
<b>Σ</b>	<b>258.66</b>	<b>16.07</b>	<b>62.58</b>	<b>461.21</b>
$Q_i=1,00 Q_{sr}$	Inv. (mil. €)	NPV (mil. €)	P <sub>i</sub> [MW]	W [GWh/god.]
HE Podsused	85.82	5.15	23.84	164.66
HE Prečko	74.50	1.05	19.87	136.63
HE Zagreb 1	42.71	2.00	9.93	66.12
HE Zagreb 2	42.71	2.00	9.93	66.12
HE Zagreb 3	42.71	2.00	9.93	66.12
HE Zagreb 4	41.71	2.00	9.93	66.12
<b>Σ</b>	<b>330.17</b>	<b>14.21</b>	<b>83.44</b>	<b>565.79</b>

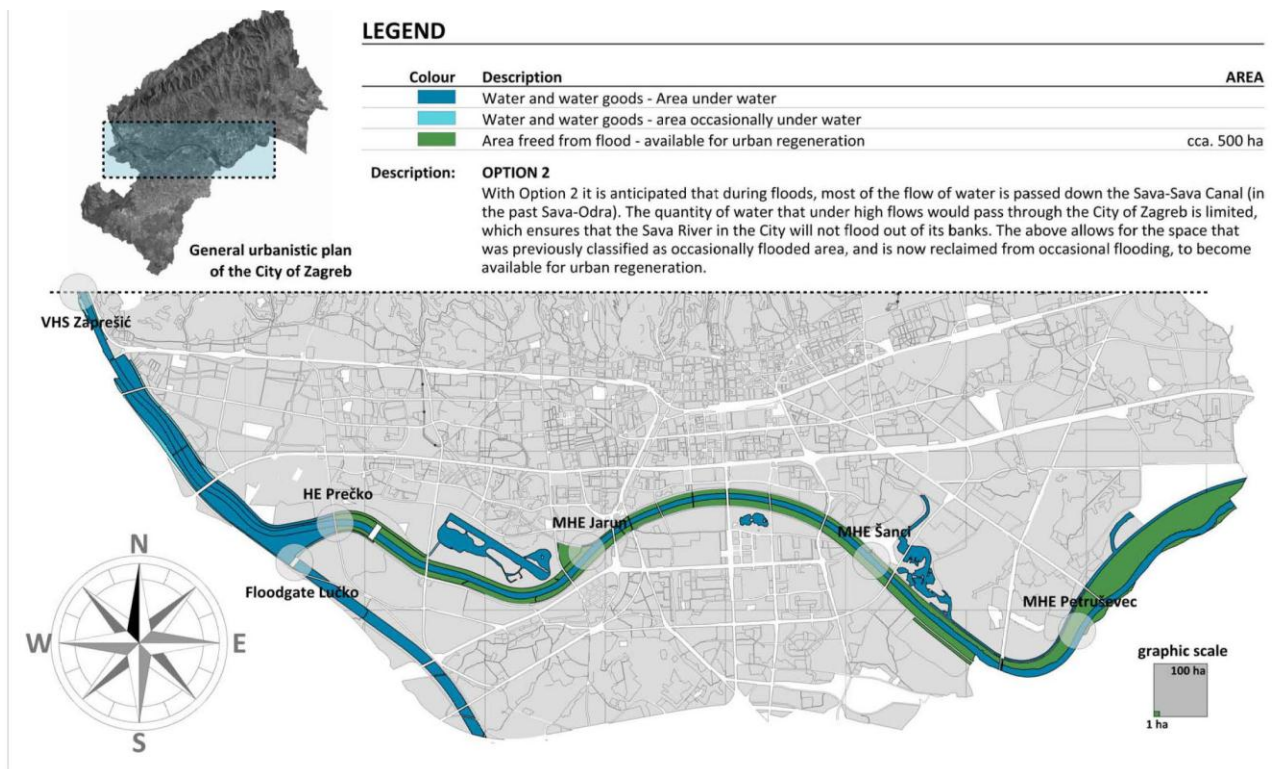
# Inačica iz “Programa Sava”

HPP Station	Capacity (MW)	Energy generation (GWh/year)
Podsused	45.0	175.6
Prečko	42.0	163.3
SHPP Jarun – ZG1	9.3	52.0
SHPP Šanci – ZG2	9.3	52.0
SHPP Petruševac – ZG3	9.3	52.0
SHPP Ivanja Reka – ZG4	9.3	52.0
Sisak	26.9	97.4
Total	151	644



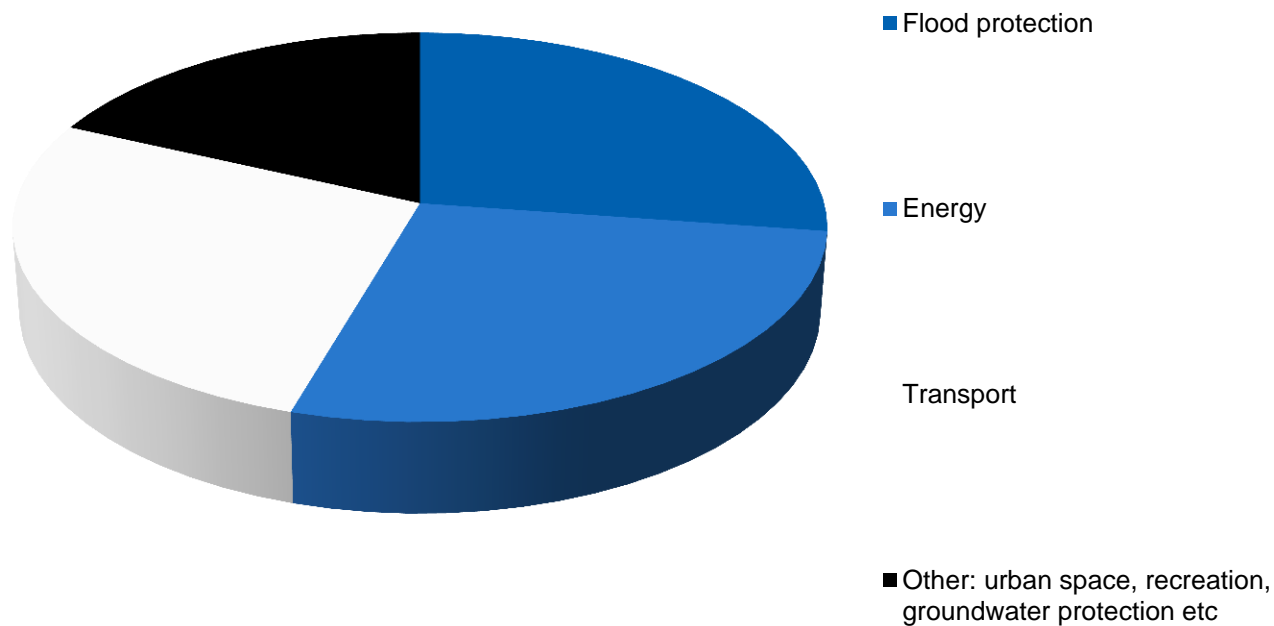


# A na to dodajemo još i ...



Circa 500 ha within City administrative boundary, circa 350 ha net

## Ukupna ulaganja cca 1.600.000 Eura





**A ŠTO SADA** KADA SU RJEŠENJA RAZNOLIKA ?

ILI

TKO JE “THE WINNER”?





**koristimo suvremene alate:**

# ***MULTI-CRITERIA DECISION MAKING***

***ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS ...***



**u našem slučaju:**

***weightening and scoring* na temelju 14  
kriterija u 44 indikatora** (razrađenih od stručnjaka)

**THE WINNER** WAS ...



# A ŠTO DALJE?



- **Izrada konceptijskog rješenja** s fiksnom kotom HE Prečko (123-125) kao najbitnijeg objekta u sustavu zaštite od poplava (odteretni kanal Sava-Odra)
- Izrada konceptijskog rješenja za HE Podsused, HE Zagreb I do IV uz integraciju u ostale infrastrukturne sadržaje (postojeći i planirani mostovi, autoceste)
- Izrada zajedničke **Studije utjecaja na okoliš** za cijeli sustav
- Izrada **studije izvodljivosti**
- **Osnivanje Hrvatskog energetskeg klastera** za vođenje realizacije projekta
- **Zakon o uvjetima koncesije** za iskorištenje energetskeg potencijala Save (primjer u Republici Sloveniji gdje su projekti HE na Savi u fazi realizacije)
- **Priprema realizacije** (istražni radovi, izrada projektne dokumentacije, imovinsko-pravni poslovi, ishođenje suglasnosti i dozvola) itd ...
- Provedba projekta (2015. – 2020.) ☹

# GRADOVI NA RIJEKAMA (1)



Lyon, Francuska



Pariz, Francuska



# GRADOVI NA RIJEKAMA (2)



Prag, Češka



Chicago, SAD



# GRADOVI NA RIJEKAMA (3)



Passau, Njemačka



Budimpešta, Mađarska



# Između sadašnjosti i budućnosti ...





# Između sadašnjosti i budućnosti ...







## A GENEARCIJAMA KOJI DOLAZE ...

# Mašta za stvaranje grada po njihovom viđenju ...





# ***“Non progredi est regredi”***

latinska izreka

(ne napredovati znači nazadovati)





**HVALA NA POZORNOSTI**

