

Usporedba različitih pristupa modeliranja vođenja elektroenergetskih sustava

Matija Pavičević, Neven Duić, Tomislav Pukšec

Sažetak

- Uvod
- Metode
- Scenarijska analiza
- Rezultati
- Zaključak

Uvod

- Najnovija dostignuća u području matematičke optimizacije omogućuju **relativno brzo rješavanje kompleksnih problema** bez prevelikog odstupanja od globalnog minimuma ili maksimuma
- Matematičko programiranje postaje **jednostavnije i intuitivnije**
- Krajnji korisnici mogu **relativno lako i u relativno kratkom roku formulirati svoje probleme** i proizvesti rezultate
- To im daje veću slobodu i prebacuje fokus na rezultate a ne samo modeliranje
- Najzastupljeniji algoritmi: MILP, LP, heuristika i drugi

Metode

- Postoji nekoliko **opće poznatih metoda** koje dramatično mogu **utjecat na brzinu i kvalitetu**
 - Ograničavanje relaksirajuće cjelobrojne formulacije
 - Redukcija broja cjelobrojnih varijabli
 - Smanjenje ili segmentacija problema
- **Tradicionalno modeliranje parametara fleksibilnosti**
 - Svako postrojenje zasebno, velik broj ograničenja, visoka točnost, potrebna velika količina memorije
- **Grupiranje u klastere**
 - Manji broj varijabli, veća brzina, manja točnost

Metode

- Generalna formulacija

- Funkcija cilja:

$$C^{tot} = \min \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} (c_{g,t}^{start} + c_{g,t}^{var})$$

- Ograničenja:

- Energetska ravnoteža

$$\sum_{g \in G} P_{g,t} = L_t$$

- Tehnički minimum:

$$U_{g,t} \cdot P_g^{min} \leq P_{g,t} \leq U_{g,t} \cdot P_g^{max}$$

- Brzina promjene snage

$$P_{g,t-1} - P_{g,t} \leq U_{g,t} \cdot \Delta P_g^{down,max} + \max(P_g^{min}, \Delta P_g^{down,max}) \cdot D_{g,t}$$

$$P_{g,t} - P_{g,t-1} \leq U_{g,t} \cdot \Delta P_g^{up,max} + \max(P_g^{min}, \Delta P_g^{up,max}) \cdot S_{g,t}$$

- Minimalno vrijeme rada

$$U_{g,t} \geq \sum_{\tau=t-a_g}^t \min^{up} S_{g,\tau}$$

$$1 - U_{g,t} \geq \sum_{\tau=t-a_g}^t \min^{down} D_{g,\tau}$$

Načini modeliranja

Tradicionalni

- Brzina promjene snage:

$$P_{g,t-1} - P_{g,t} \leq U_{g,t} \cdot \Delta P_g^{\text{down,max}} + \max(P_g^{\text{min}}, \Delta P_g^{\text{down,max}}) \cdot D_{g,t}$$

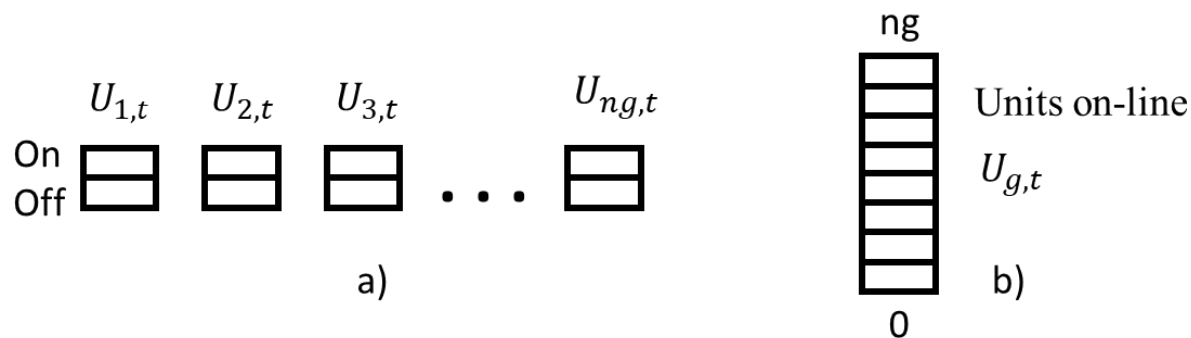
$$P_{g,t} - P_{g,t-1} \leq U_{g,t} \cdot \Delta P_g^{\text{up,max}} + \max(P_g^{\text{min}}, \Delta P_g^{\text{up,max}}) \cdot S_{g,t}$$

Grupiranje u klastere

- Brzina promjene snage

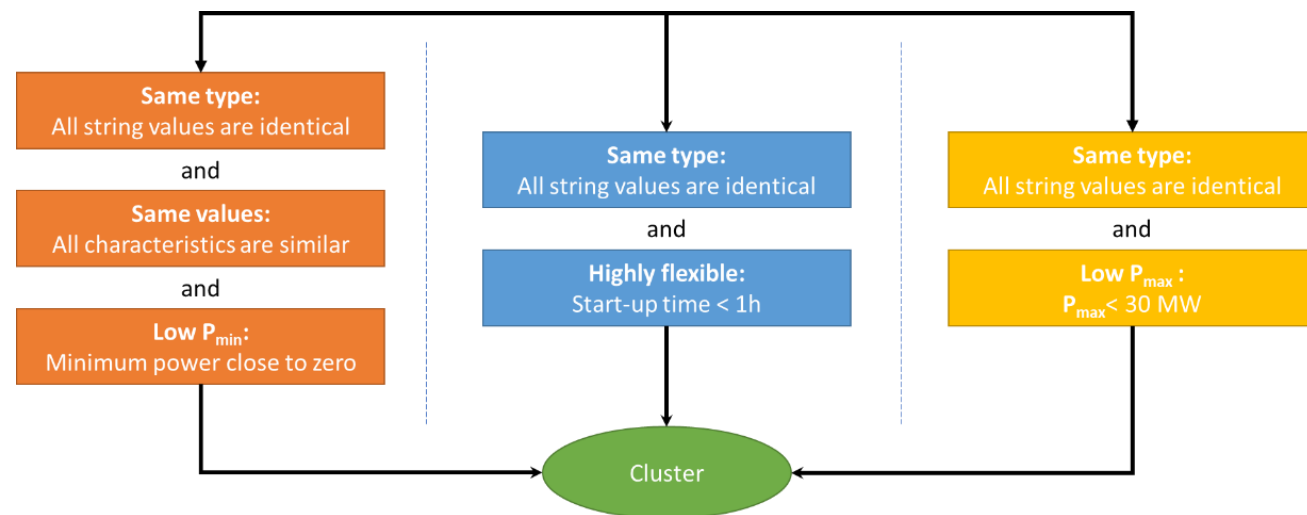
$$P_{g,t-1} - P_{g,t} \leq (U_{g,t} - S_{g,t}) \cdot \Delta P_g^{\text{down,max}} - P_g^{\text{min}} \cdot S_{g,t} + \max(P_g^{\text{min}}, \Delta P_g^{\text{down,max}}) \cdot D_{g,t}$$

$$P_{g,t} - P_{g,t-1} \leq (U_{g,t} - S_{g,t}) \cdot \Delta P_g^{\text{up,max}} + \max(P_g^{\text{min}}, \Delta P_g^{\text{up,max}}, P_g^{\text{quickstart}}) \cdot S_{g,t} - P_g^{\text{min}} \cdot S_{g,t}$$



Metode

- **Alat** za modeliranje **DispaSET** i **H2RES**
- Mogućnost **tradicionalnog i pojednostavljenog** modeliranja
- Tri načina grupiranja u klastere
 1. Isti tip, slične karakteristike, bez tehničkog minimuma
 2. Isti tip, visoka fleksibilnost
 3. Isti tip, niska instalirana snaga



Analiza slučaja

- Nastavak na prijašnje radove (WB-JRC)
- Dodatak Hrvatske i **nova referentna godina (2015)**
- **Dva scenarija**
 - „S1” – tradicionalna formulacija
 - Svako potrojenje modelirano na individualnoj razini
 - Paljenje/gašenje, tehnički minimum, učinkovitost, min broj sati kontinuiranog rada, CO₂, ograničenja vezana za kogeneracije (faktor odnosa električne i toplinske snage)
 - „S2” – pojednostavljena formulacija (formiranje klastera)
 - Grupiranje u manje klastere ovisno o tipu postrojenja
 - Klasteri formirani u svakoj zoni posebno

Ulazni podaci

- Svi ulazni podaci nalaze se online: <https://github.com/balkans-energy-modelling/Dispa-SET-for-the-Balkans>

Jedinica	Zona	Techologija	Snaga	Učinkovitost	Paljenje / gašenje	Minimalan broj sati rada	Brzina promjene snage	Minimalan broj sati u mirovanju	Tehnički minimum	CO2 Intenzitet
			MW	%	h	h	%/min	h	%	kg/MWh
KTE Jertovec	HR	COMC/GAS	78	0.36	2	2	0.06	2	0.062	0.398
EL-TO Zagreb	HR	STUR/GAS	90	0.15	2	2	0.06	2	0.122	0.398
mTEO Jakusevac	HR	GTUR/WST	2.036	0.38	1	0.25	0.1	1	0.2	1.062
TE-TO Zagreb	HR	STUR/GAS	440	0.306	2	2	0.06	2	0.15	0.398
TE -TO Osijek	HR	STUR/GAS	90	0.393	2	2	0.06	2	0.277	0.398
PZ Osatina	HR	ICEN/BIO	1	0.35	1	1	0.2	1	0.2	0.123
Bovis	HR	ICEN/BIO	1	0.35	1	1	0.2	1	0.2	0.123
NE Krsko	HR	STUR/NUC	348	0.57	10	24	0.025	10	0.5	0
TE Sisak	HR	STUR/OIL	396	0.57	6	1.5	0.025	6	0.15	0.517
TE Rijeka	HR	STUR/OIL	303	0.52	6	1.5	0.025	6	0.4	0.517
TE Plomin 1	HR	STUR/HRD	110	0.4	6	1.5	0.025	6	0.3	1.062
TE Plomin 2	HR	STUR/HRD	192	0.42	6	1.5	0.025	6	0.3	1.062

Ulazni podaci

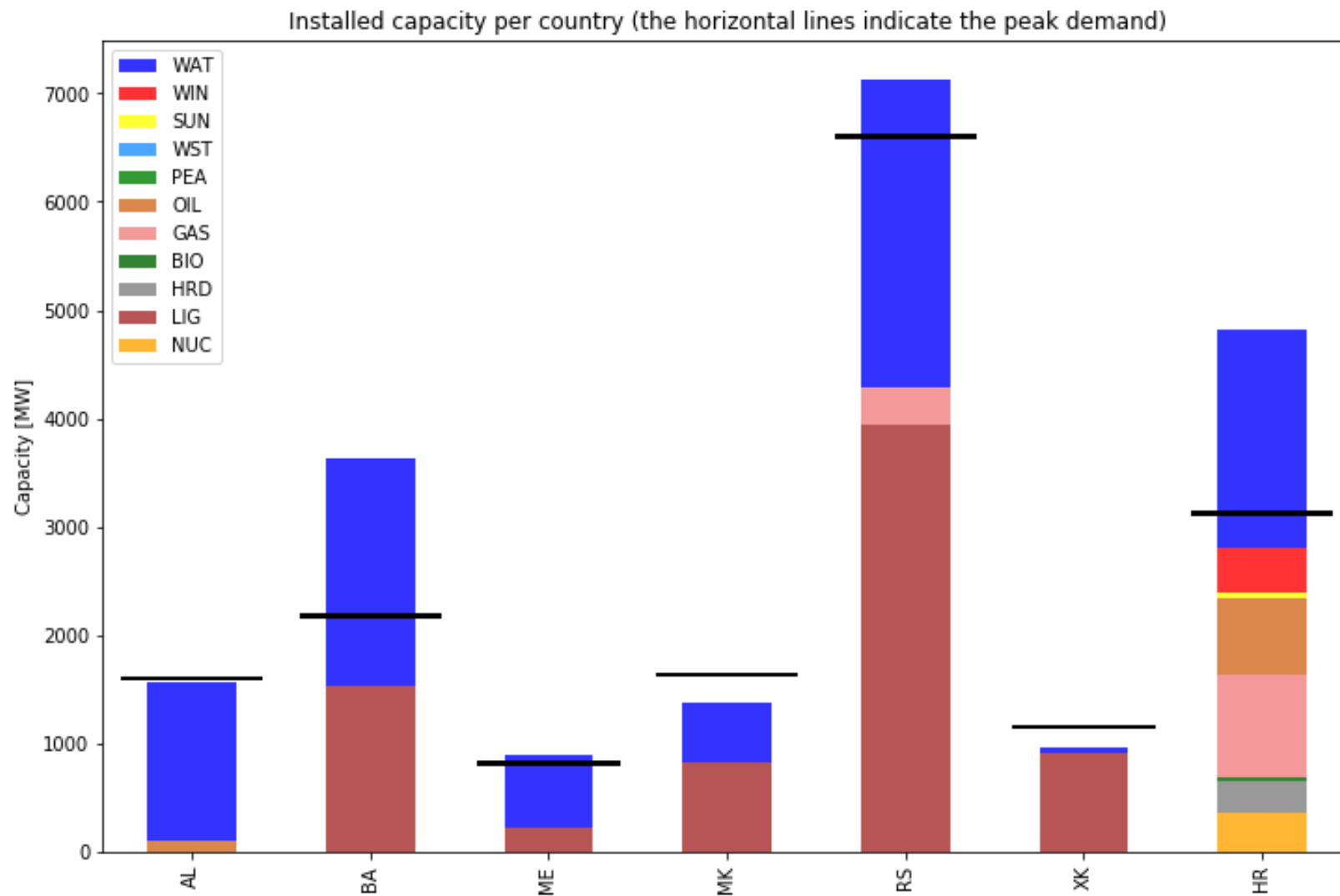
- Kogeneracije

Jedinica	Zona	Tehologija	Tip turbine	Power-to-heat ratio	Faktor gubitka snage	Kapacitet spremnika	Samo-pražnjenje	Toplinska snaga
						MWh	%	MW
EL-TO Zagreb	HR	CHP	Extraction	0.2	0.18			450
TE-TO Zagreb	HR	CHP	Extraction	0.517	0.18	750	0.03	849
TE-TO Osijek	HR	CHP	Extraction	0.647	0.18			139

- Akumulacijske hidroelektrane

Jedinica	Zona	Nominalna snaga	Nazivni protok	Pad	Volumen akumulacije	Energetski kapacitet akumulacije
		MW	m3/s	m	1,000 m3	MWh
HE Zakucac	HR	486	220	250	3.000.000	2.047
HE Senj	HR	216	60	410	128.000.000	143.008
HE Dubrovnik_HR	HR	108	45	272	1.109.000.000	821.991
HE Vinodol	HR	90	16.7	648	1.230.000	2.172
HE Peruca	HR	60	120	47	541.000.000	69.289
HE Sklope	HR	22.5	45	60	128.000.000	20.928
RHE Velebit	HR	276	60	517	12.300.000	14.800
RHE Orlovac	HR	237	70	380	782.000.000	809.761
RHE Vinodol	HR	5.4	16.1	-	-	4.049

Kapaciteti

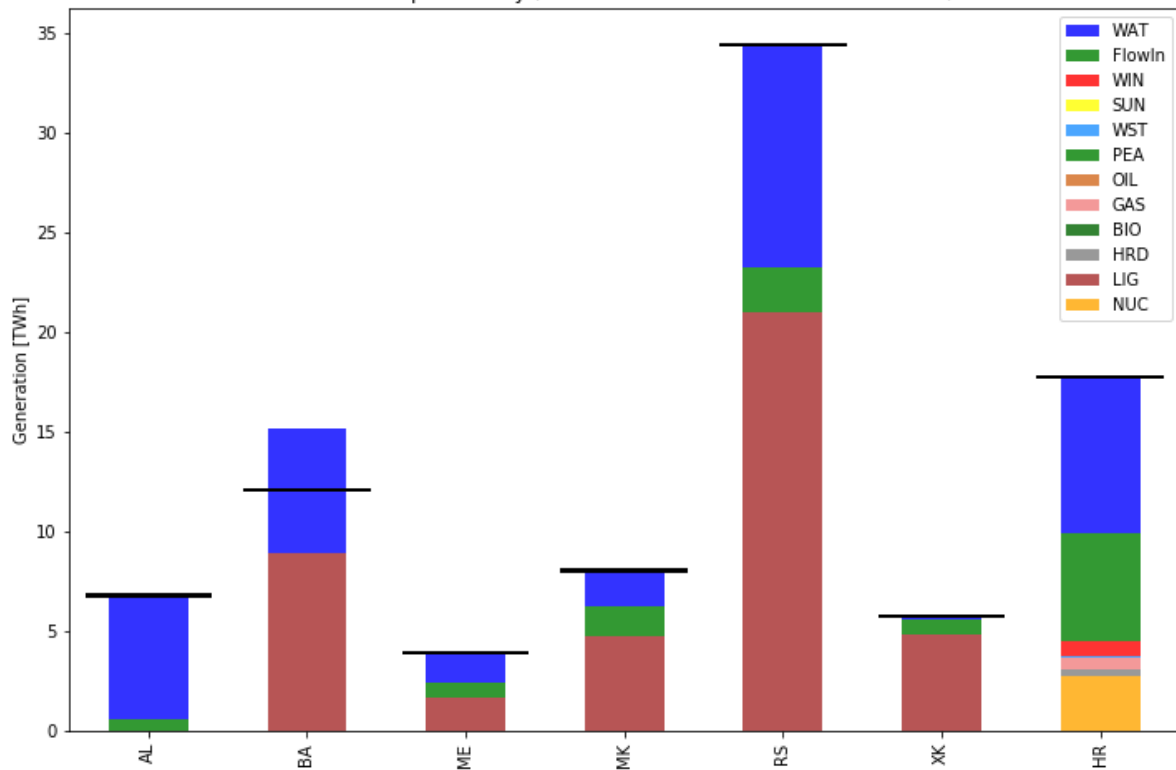


Ulazni podaci

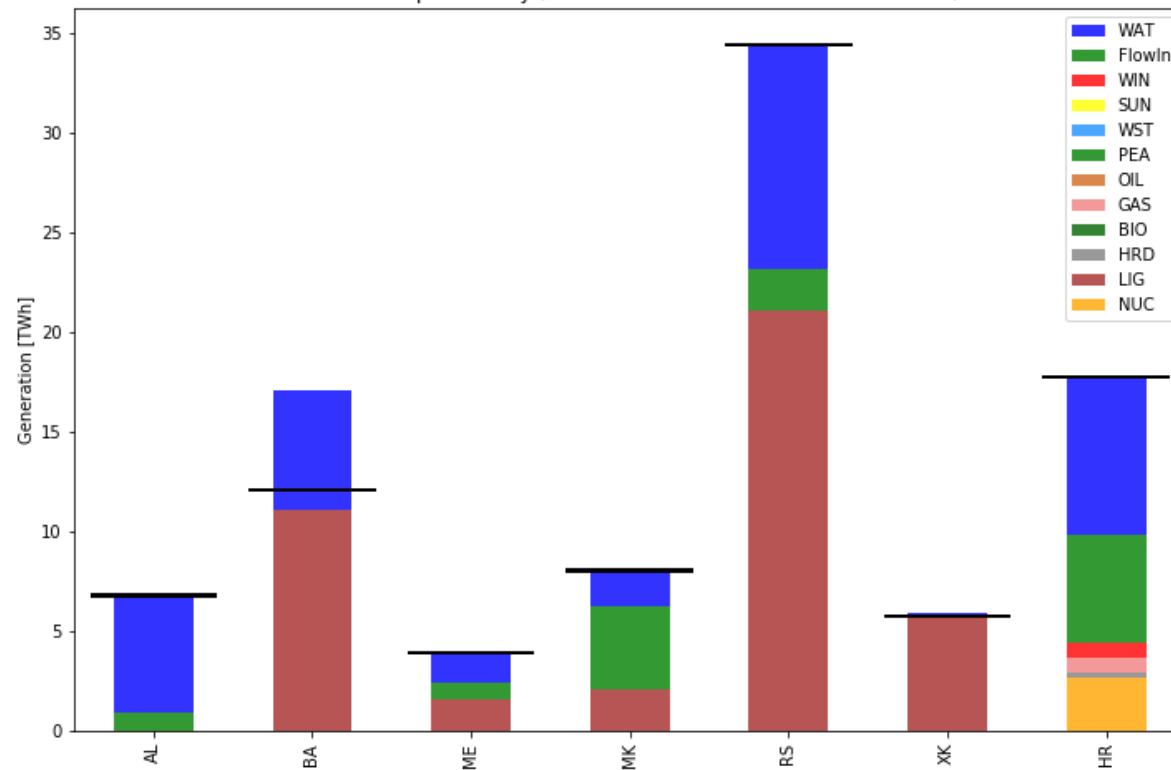
- Međunarodna razmjena električne energije je **preuzeta** s tržišta el. energijom ili **modelirana** korištenjem „in-house” modela za određivanje razine napunjenosti svih akumulacijskih HE (H2RES Hydro)
- **Modeliranje:**
 - Ograničenja (=):
 - Poznati podaci o mjesečnim razmjenama
 - Ograničenja (\leq):
 - Ukupni kapaciteti
 - NTC
- Ograničenja (\geq):
 - Mjesečna akumulacija
 - Mjesečna proizvodnja
 - Satna razina akumulacije (ukoliko poznata)
- **Izlazni podaci:**
 - Prekogranična razmjena (satna razina)
 - Razina akumulacije (satna razina)

Rezultati

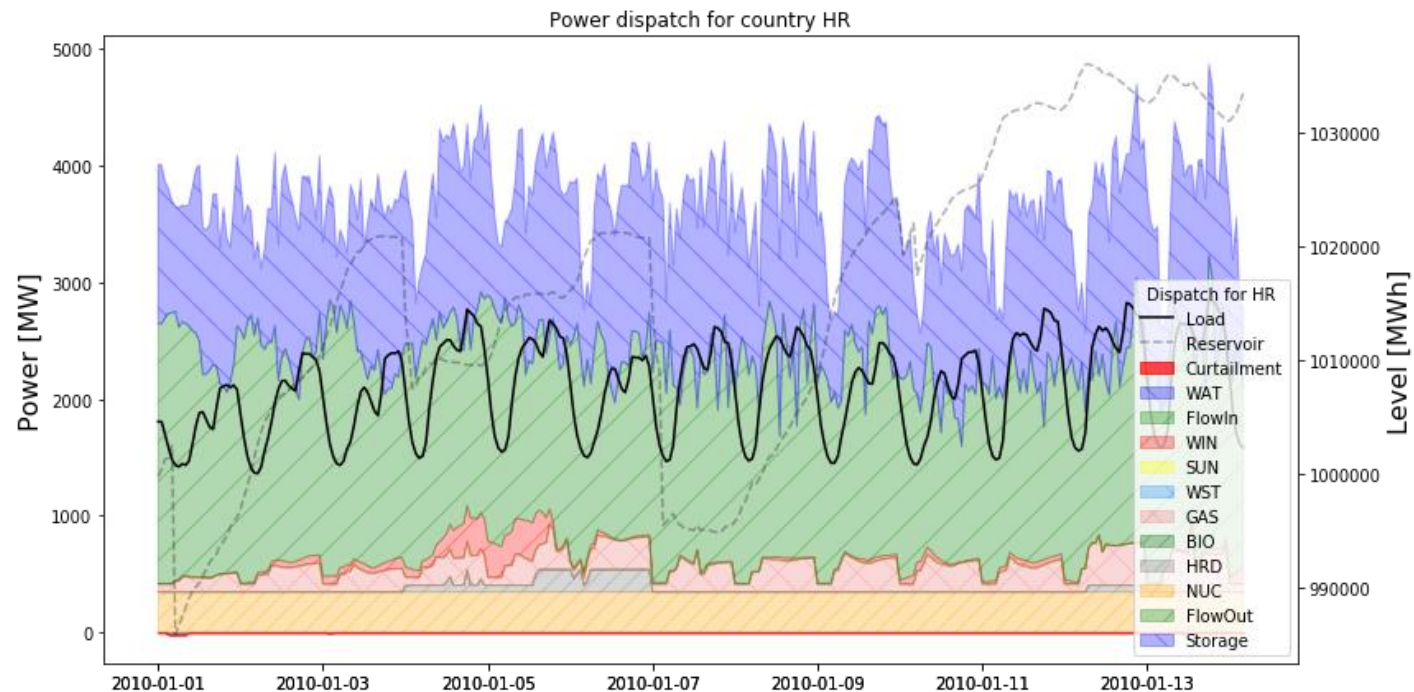
Generation per country (the horizontal lines indicate the demand)



Generation per country (the horizontal lines indicate the demand)



Rezultati (Siječanj)

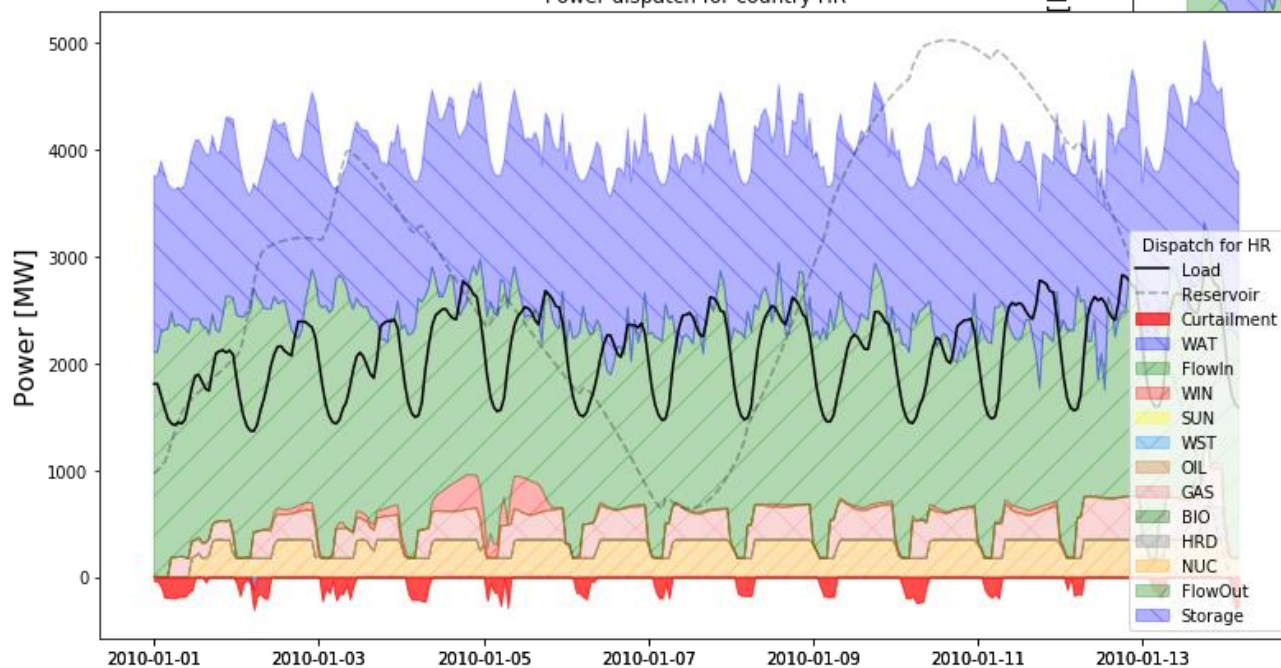


Scenarij „S1”

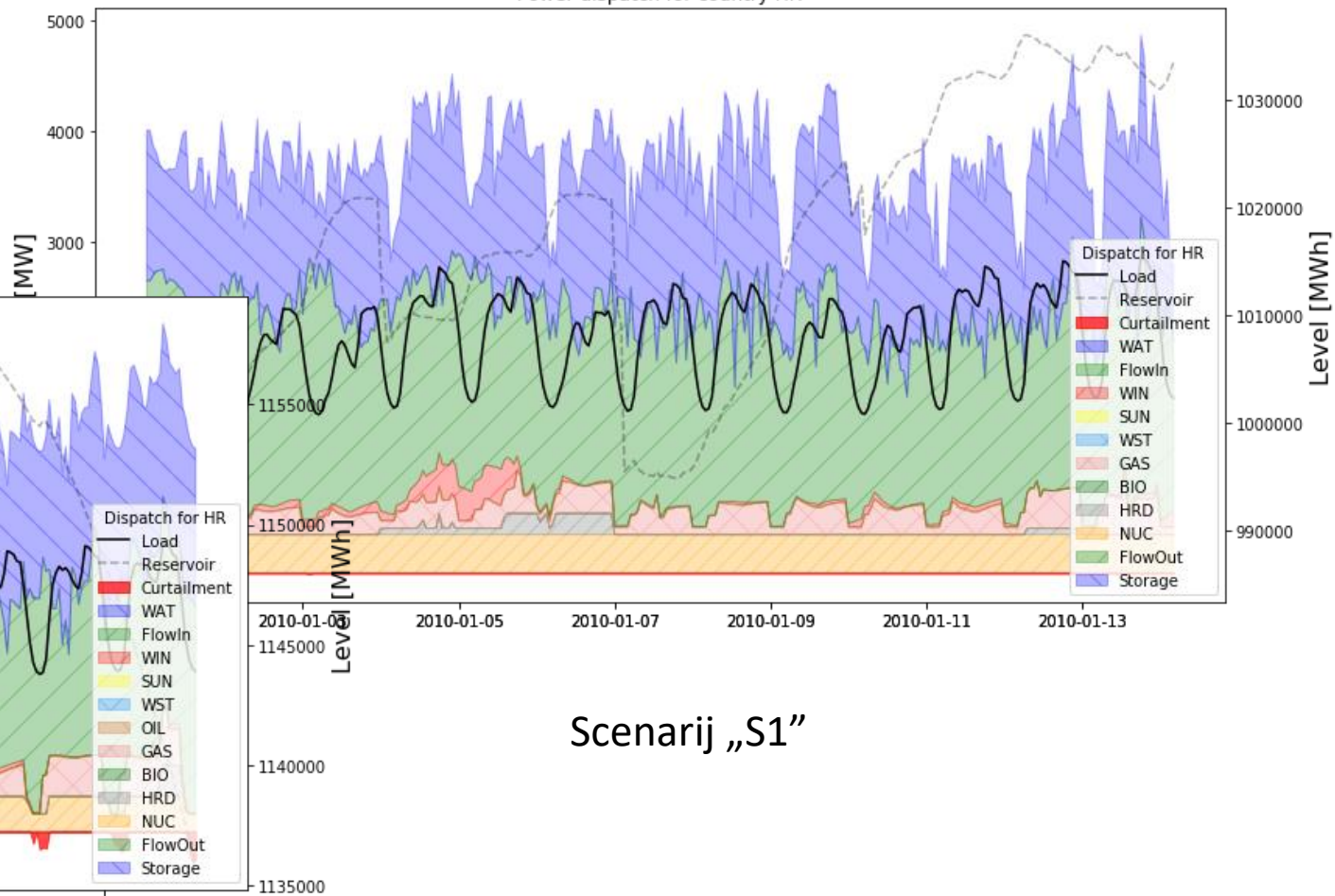
Rezultati (Siječanj)

Scenarij „S2”

Power dispatch for country HR

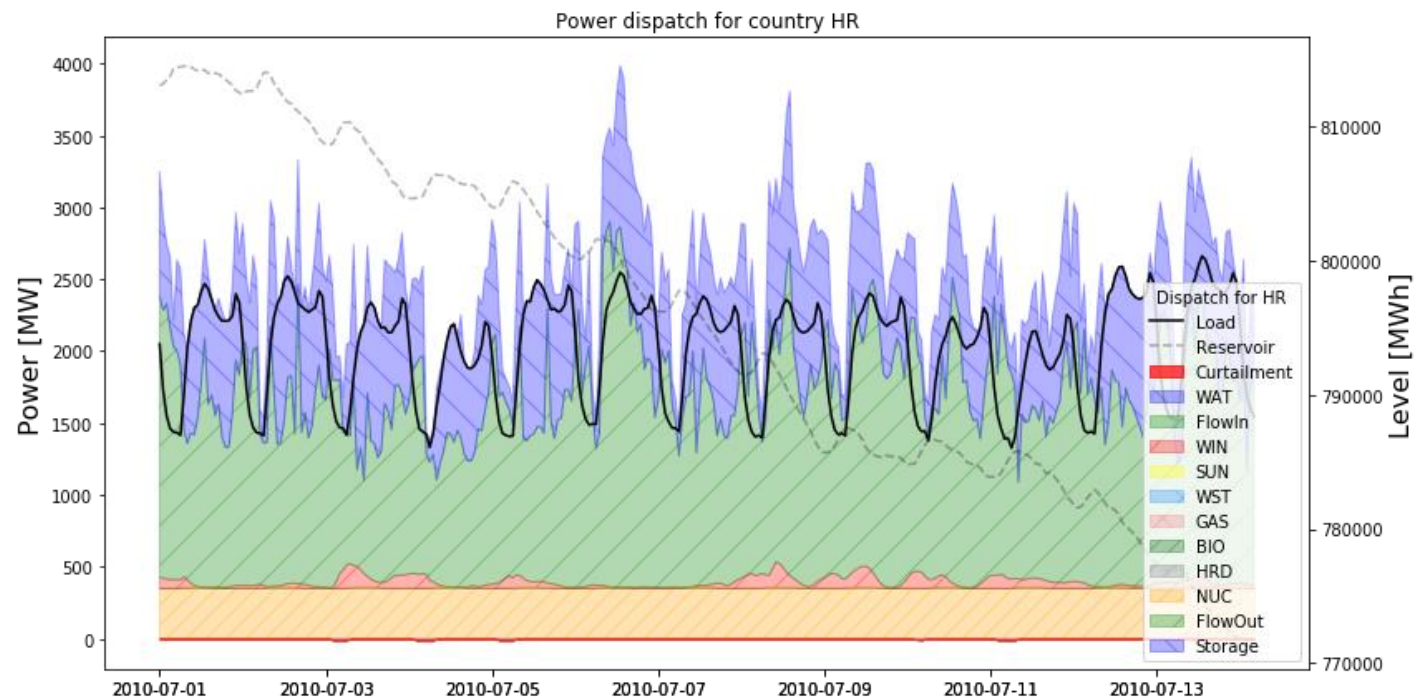


Power dispatch for country HR



Scenarij „S1”

Rezultati (Srpanj)

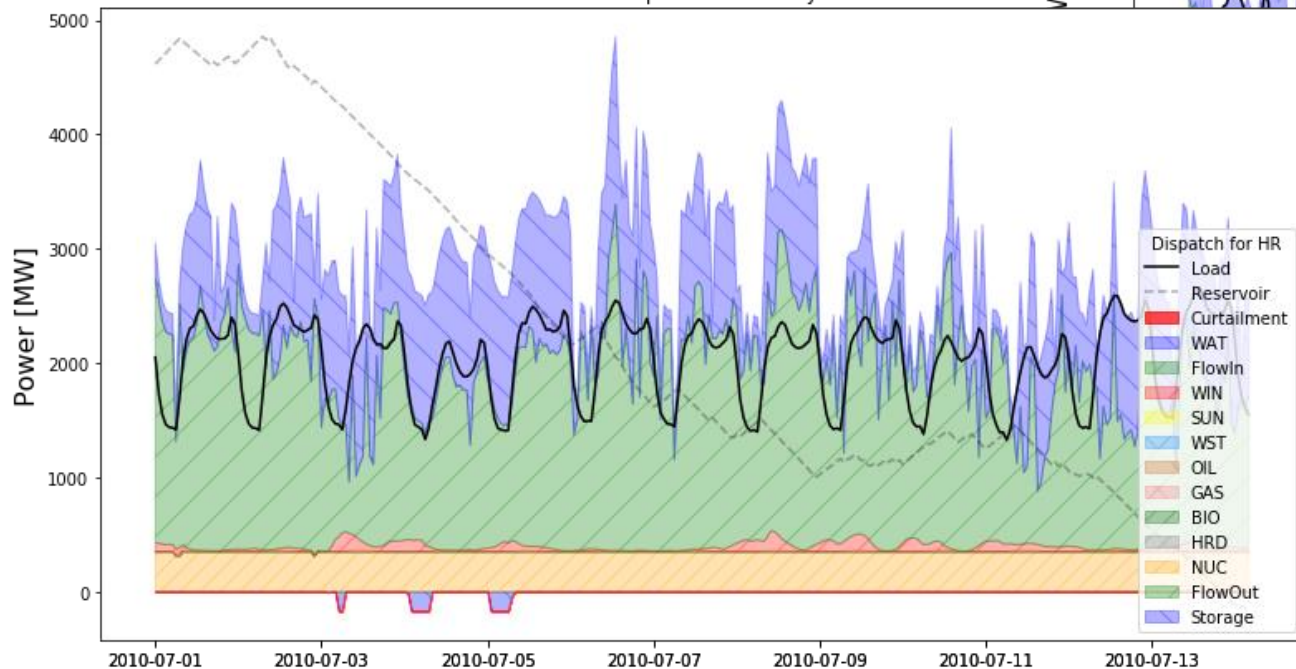


Scenarij „S1”

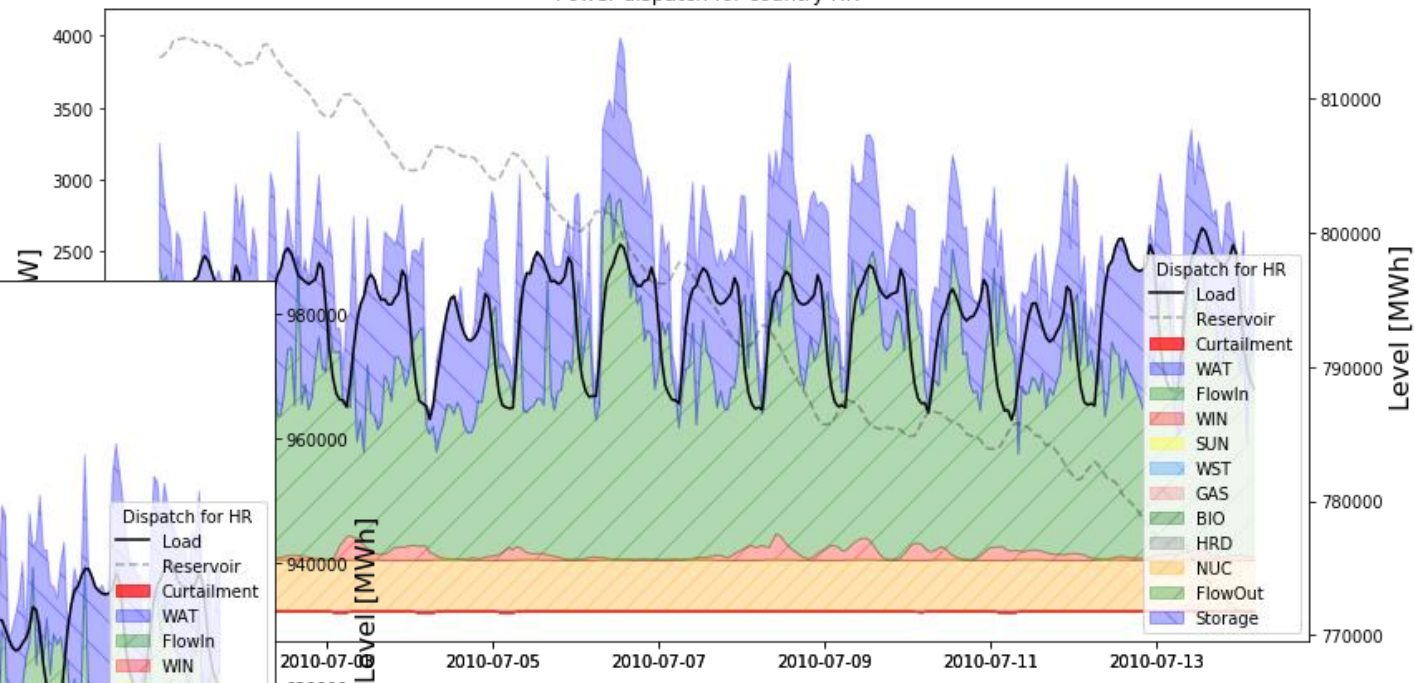
Rezultati (Srpanj)

Scenarij „S2”

Power dispatch for country HR



Power dispatch for country HR



Scenarij „S1”

Zaljučak

- **Dispa-SET i H2RES (Hydro)** primijenjeni na **Zapadni Balkan i Hrvatsku**
- Prikupljena velika količina podataka na razini pojedine elektrane
- **Odstupanja** od stvarnosti (godišnji izvještaji) **unutar 2-5%**
- **Tradicionalni pristup:** Spor, memorijski i CPU zahtjevan ali točan
- **Klusterski pristup:** Znatno brži, ali nešto manje precizan
- Važno je znati procijeniti kada je koji pristup pogodniji

	Memorija (MB)	Vrijeme (hh:mm:ss)	Ispad mreže (GWh)	Prigušenje OIE (GWh)	Marginalni trošak (€/MWh)
Scenarij 1	2729	02:49:51	3.346	201	19.224
Scenarij 2	714	00:33:37	10.233	29	21.503
Deviation	-73.84 %	-80.21 %	+ 305,82 %	- 85.57 %	+11.85 %

Zahvaljujemo na pažnji

Projekt se financira u sklopu Programa Vlade Republike Hrvatske za poticanje istraživačkih i razvojnih aktivnosti u području klimatskih promjena za razdoblje od 2015. do 2016. godine