



# Problematika uklapanja/integracije vjetroelektrana u elektroenergetski sustav Hrvatske

[marko.lovric@hep.hr](mailto:marko.lovric@hep.hr)

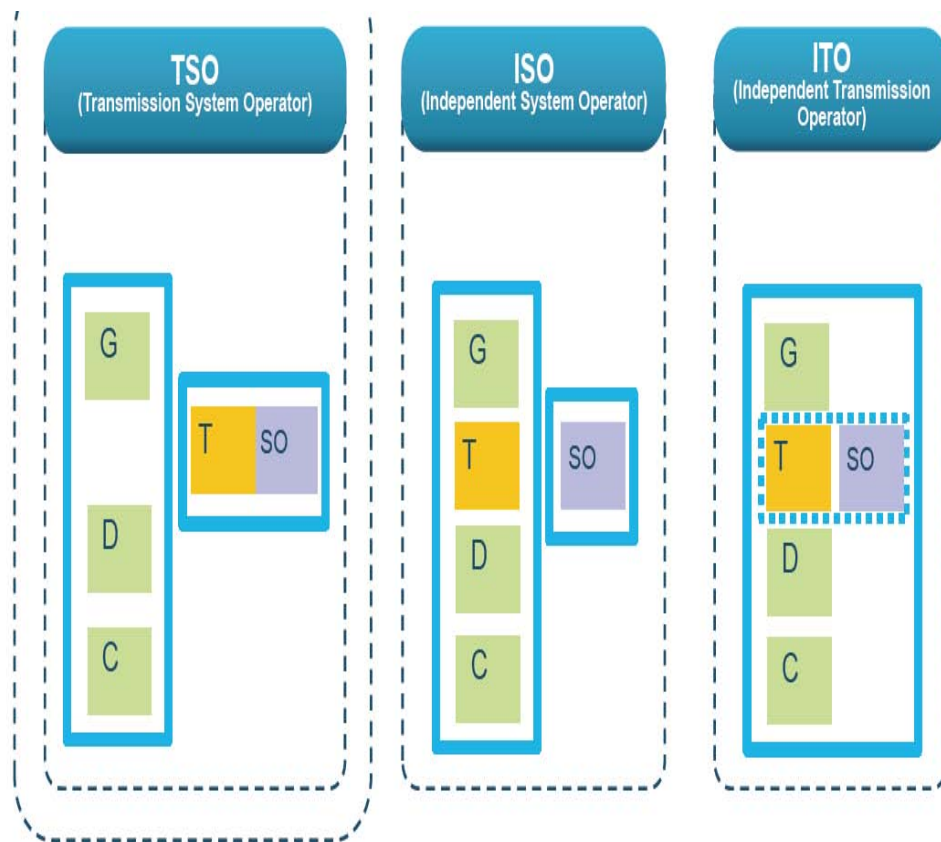


# Sadržaj:

- Širi aspekti uklapanja vjetroelektrana u elektroenergetski sustav
- Lokalni utjecaji na prienosnu i distribucijsku mrežu
- Izgradnja i rekonstrukcije okolne elektroenergetske mreže
- Sistemski utjecaji – stabilnost EES-a
- Sistemski utjecaji – planiranje i vođenje EES-a
- Planiranje rada ees-a
- Integracija VE u EES
- Vjetroelektrane u pogonu u RH i ostvarenje proizvodnje u 2011. godini i 2012. godini
- Prognoza proizvodnje VE i greška u prognozi
- Rezerva i regulacija u ees-u
- Tehnologije vjetroagregata
- Tehnički uvjeti za priključenje VE na mrežu
- Postupak priključenja
- Provjere prije priključenja i u pogonu
- Centri vođenja (planiranje, nadzor i upravljanje ) VE
- Moguća snaga integracije VE u RH u narednom razdoblju sa tehničkog, ekonomskog i regulatornog aspekta.
- Potrebni razvoj prienosne mreže za priključenje VE
- Zaključci

# Osnovna misija Operatora prijenosnog sustava

- Kao Operator prijenosnog sustava, HEP-OPS ima osnovnu misiju javne usluge koja se odnosi na :
- Eksploataciju i održavanje mreže visokog (110 kV) i vrlo visokog napona (220 kV i 400 kV);
- Integraciju objekata prijenosne mreže u okoliš;
- Osiguranje u svakom momentu ravnoteže tokova električne energije/snage u elektroenergetskom sustavu, kao i održavanje sigurnosti, pouzdanosti i efikasnosti rada elektroenergetskog sustava i ;
- Garantiranje pristupa i stavljanje na korištinje prijenosne mreže svim korisnicima (proizvođačima, kupcima, distributerima, trgovcima, opskrbljivačima ) na jasan i nediskriminatoran način.
- **Tri modela organiziranja Operatora prijenosnog sustava prema EU direktivama**



# Osnovna misija Operatora prijenosnog sustava

- Jedan od glavnih zadataka HEP-OPS je pružanje usluga i informacija svim sadašnjim i budućim korisnicima prijenosne mreže i sudionicima na tržištu električne energije na jasan/transparentan, fer/pošten i nediskriminatorni način.
- Time se osigurava svim sudionicima jednak tretman sa jasno definiranim pravima i obvezama. U ovu svrhu HEP-OPS razvija ugovorne okvire koji jasno definiraju sve odnose između HEP-OPS-a i korisnika prijenosne mreže i sudionika na tržištu električne energije.
- Ti ugovori pokrivaju slijedeće usluge:
  - Priključenje na prijenosni sustav svih novih korisnika (elektrana, novih elektrodistribucijskih postrojenja i direktnih potrošača);
  - Pristup prijenosnom sustavu za korištenje mreže;
  - Pristup interkonekcijskim vodovima/dalekovodima za razmjenu (kupnju/prodaju) električne energije;
  - Osiguranje usluga sustava:
    - vođenje elektroenergetskog sustava,
    - regulacija napona i jalovih snaga ,
    - regulacija frekvencije (primarna regulacija, sekundarna rezerva i regulacija,)
    - ponovna uspostva normalnog rada sustava nakon poremećaja/raspada
    - rješavanje zagušenja u prijenosnoj mreži i
    - nabava energije za pokrivanje gubitaka u prijenosnom sustavu;
- Organiziranje sustava odgovornosti uravnoteženja za sve sudionike na tržištu;
- Osiguranje mehanizma uravnoteženja u sustavu (tercijalna rezerva i regulacija);
- Koordinacija remonata i planova održavanja proizvodnih, distribucijskih i prijenosnih postrojenja;
- Mjerenje i obračun energije na nivou prijenosne mreže i elektroenergetskog sustava i dostava/razmjena podataka na povjerljiv i transparentan način korisnicima prijenosne mreže i sudionicima na tržištu električne energije

## Uvod

VE se u RH priključuju na distribucijsku mrežu (10 kV, 20kV i 35 kV)  
(do 10 MW) i prijenosnu 110 kV, 220kV i 400 kV (>10 MW)

HR regulativa

Vrijeme pripreme 4-5 godina

Vrijeme gradnje 1 godina



Prezentacija na FER-u, Zagreb,  
20.03.2012. godine



# Vjetroelektrane u pogonu u Hrvatskoj – Veljača 2012. godine

## 2. Osnovne karakteristike VE u pogonu

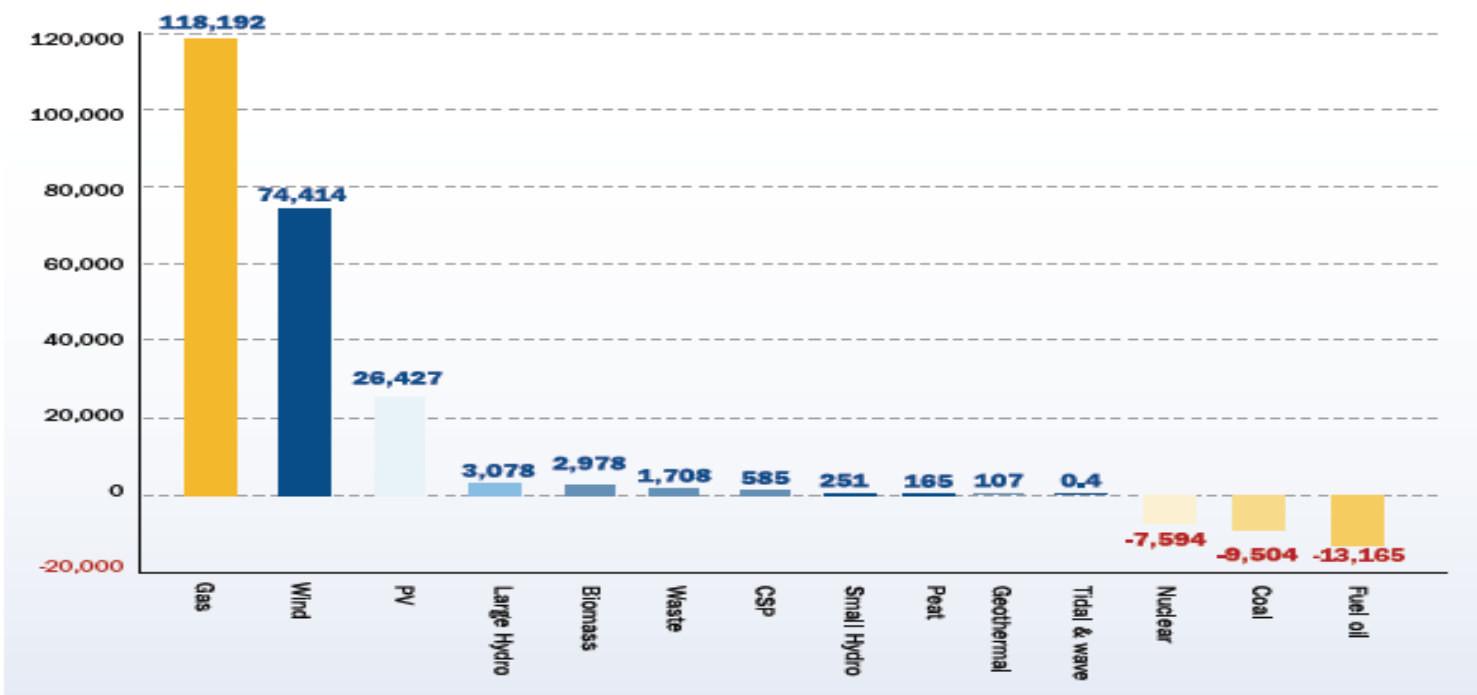
Red. broj	Naziv VE	Proizvođač agregata	Broj agregata kom	Snaga agregata (kW)	Ukupna snaga VE (kW)	Napon priključenja (kV)	U pogonu od
1.	Trtar-Krtolin	Enercon	14	800	11.200	30	2007.
2.	Ravne-Pag	Vestas	7	850	5.950	10	2007
3.	Orlice	Enercon	8 + 3	900 +800	9.600	30	2009
4.	Vrataruša	Vestas	14	3.000	42.000	110	2010
5.	Velika Popina	Siemens	4	2.300	9.200	35	2011
6.	Pometeno Brdo	Končar	6	1.000	6.000	110	2010
7.	Crno Brdo(p.p)	Leitwind	7	1.500	10.500	10	2011
8.	Bruška – ZD2	Siemens	8	2.300	18.400	110	2011
8.	Bruška – ZD3	Siemens	8	2.300	18.400	110	2011
9.	<b>Ukupno</b>		<b>79</b>		<b>131.250</b>		

# Izgrađene elektrane u EU u razdoblju 2000-2010. godine

izvor publikacija EWEA

NET ELECTRICITY GENERATING INSTALLATIONS IN EU 2000 - 2010 IN MW

FIGURE 2.2



Total installed power capacity



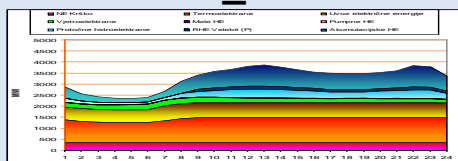
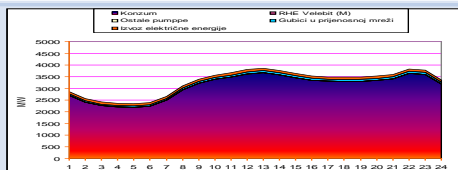
# Širi aspekti uklapanja vjetroelektrana u elektroenergetski sustav (1)

- “Lokalni” utjecaji na prijenosnu i distribucijsku mrežu
  - Opterećenje elemenata okolne elektroenergetske mreže
  - Statičke varijacije napona u distribucijskoj mreži
  - Dinamičke promjene napona, flikeri, viši harmonici, nesimetrije...
  - Snaga kratkog spoja u priključnom čvoru, zahtjevi na zaštitu
  - Pitanje definiranja tehničkih uvjeta, primarno u fazi definiranja optimalnog tehničkog rješenja priključka
  
- Izgradnja i rekonstrukcije okolne elektroenergetske mreže
  - U distribucijskoj mreži “zona utjecaja” uglavnom ograničena na postojeći izvod na koji se priključuje vjetroelektrana
  - U prijenosnoj mreži “zona utjecaja” može biti:
    - ograničena na DV/TS gdje se vjetroelektrana priključuje (u načelu na područjima deficitarnim proizvodnim objektima)
    - proširena na susjedne objekte i veći dio mreže (u načelu na područjima s viškom proizvodnje i/ili u slučaju većeg broja vjetroelektrana na užem geografskom području)
  - Pitanje financiranja troškova priključka i dugoročnog razvoja/izgradnje prijenosne mreže

# Širi aspekti uklapanja vjetroelektrana u elektroenergetski sustav (2)

- **Sistemske utjecaji – stabilnost EES-a**
  - dinamička stabilnost s obzirom na poremećaje - kvarove u prijenosnoj mreži
  - povratni utjecaj ispada vjetroelektrane ili više njih uslijed propada napona u prijenosnoj mreži (“fault ride through”)
  - ponašanje VE za vrijeme značajnijih naponskih i frekvencijskih devijacija u mreži
  - Pitanje definiranja tehničkih uvjeta pogona – vođenja VE
  
- **Sistemske utjecaji – planiranje i vođenje EES-a**
  - ograničene mogućnosti dugoročnog planiranja proizvodnje
  - ograničene mogućnosti kratkoročnog planiranja proizvodnje
  - dodatni kapaciteti potrebni za sekundarnu P/f regulaciju
  - dodatni kapaciteti potrebni za tercijarnu P/f regulaciju i energiju uravnoteženja
  - potreba za rezervnim kapacitetima klasičnih elektrana s obzirom na nemogućnost garancije snage vjetroelektrana („capacity credit”)
  - koordinacija na razini sustava vođenja (TSO)
  - Pitanje načina osiguranja sistemskih usluga i pokrivanja pripadnih troškova

# Vođenje elektroenergetskog sustava



## Planiranje

- Najava programa, dnevnih planova sudionika
- Izrada i usklađivanje
- Provjera i raspoloživost
- Provjera sigurnosti mreže
- Planiranje potrebne rezerve

JUČER



## Realizacija

- Nadzor izvršenja planova
- Nalozi i promjene u kratkom vremenu
  - Provjere pouzdanosti
- Mjere u slučaju poremećaja
- Korištenje rezerve i regulacija
- Stalne analize sigurnosti mreže

DANAS



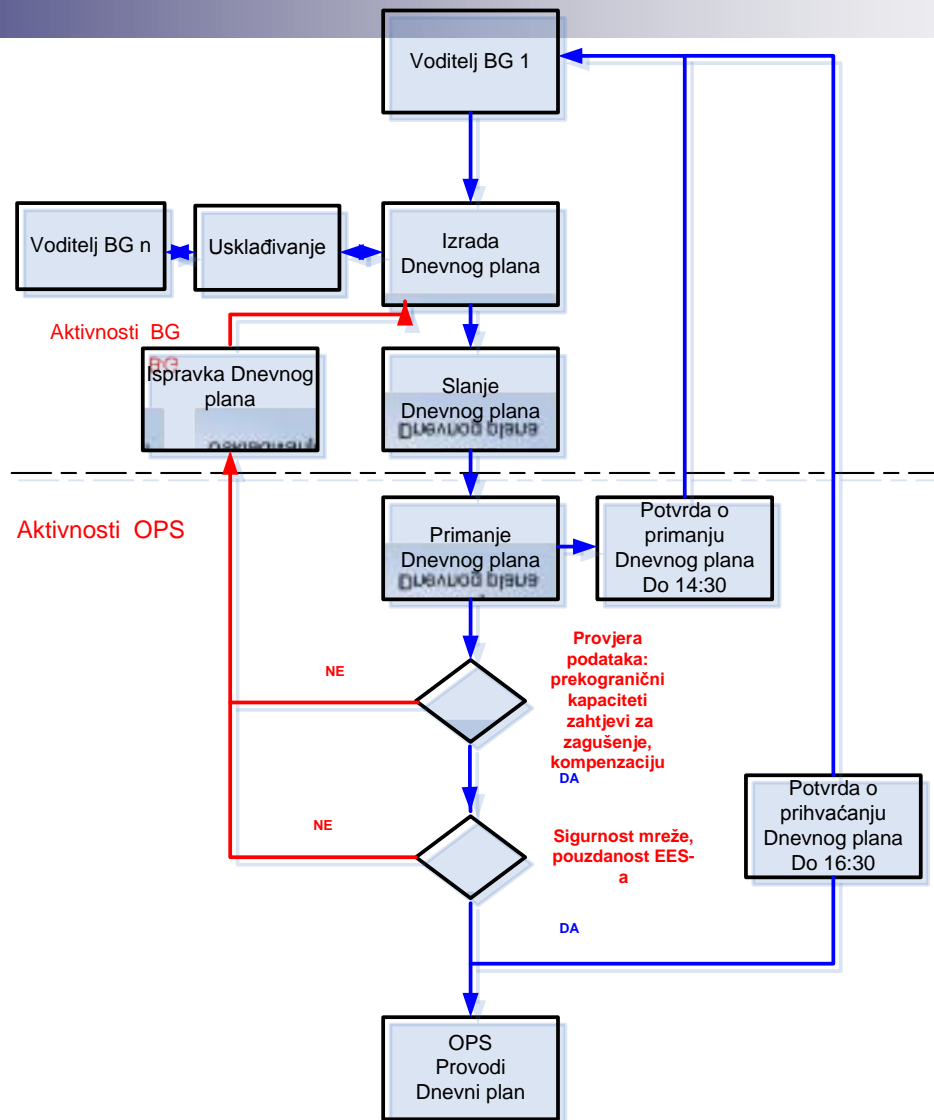
## Obračun

- Obračun prometa el. energije
- Obračun rezerve i pomoćnih usluga
- Obračun odstupanja

SUTRA

Prezentacija na FER-u, Zagreb,

20.03.2012. godine



Pojednostavljena shema izrade, najave i prihvaćanja Dневnih planova Voditelja Bilančne grupe od strane Operatora prijenosnog sustava

# Planiranje rada EES-a

- Operativno planiranje rada proizvodnih jedinica jedna je od najvažnijih komponenti u vođenju elektroenergetskog sustava, kojim se može značajno povećati njegova sigurnost, kvaliteta, pouzdanost, učinkovitost i efikasnost.
- Osnovni cilj planiranja proizvodnje je na optimalan način iskoristiti postojeće izvore, i to u prvom redu proizvodne izvore, ali i prijenosnu mrežu, te mogućnosti razmjene i tranzita električne energije (i ostalih sistemskih resursa) sa susjednim ees-ima.
- Način i metode planiranja rada EES-a ovise prvenstveno o slijedećim bitnim faktorima:
  - ✓ Veličine EES-a,
  - ✓ Strukture elektrana prema tipu i
  - ✓ Veza s susjednim EES-ima i mogućnosti razmjene

# Integracija VE u EES

- Mogućnost uklapanja vjetroelektrana velikih snaga u elektroenergetski sustav, te usklađivanje njihova rada s ostalim klasičnim proizvodnim objektima/elektranama (termoelektrane, hidroelektrane) i razmjenom električne energije sa inozemstvom uvjetovana je s tehničkog gledišta s tri osnovna elementa:
- Prvi se odnosi na stanje prijenosne mreže (110 kV, 220 kV i 400 kV) (sadašnje stanje i njen razvoj) koja će omogućiti siguran plasman i prijenos proizvedene električne energije iz postojećih i novih elektrana do potrošača/ drugih mreža.
- Drugi element vezan je za sistemski utjecaj na planiranje i pogon elektroenergetskog sustava s relativno visokim udjelom vjetroelektrana( rezervacija sekundarne i tercijarne snage, angažiranje rezerve za regulaciju , uravnoteženje, regulacija napona i jalove snage, rješavanje poremećaja u sustavu)
- I konačno, treći bitan element odnosi se na probleme vezane za dinamičku stabilnost rada elektroenergetskog sustava s visokim udjelom vjetroelektrana.

# Integracija VE u EES

- Uključenje velike snage vjetroelektrana u plan rada elektroenergetskog sustava ovisi o slijedećim parametrima i ograničenjima u ees-u:
- Tehničke karakteristike elektrana, akumulacija, prijenosne mreže i ostalih komponenti ees-a,
- Raspoloživosti navedenih komponenti,
- Hidrologije,
- Karakteristike, mogućnosti i strategije korištenja akumulacijskih bazena,
- Cijene energenata te mogućnosti i ograničenja njihove dobave ,
- Mogućnosti kupoprodaje/razmjene i tranzita električne energije i njihove cijene ,
- Stupnja otvorenosti tržišta
- Karakteristike, zahtjevi i ograničenja prijenosne mreže
- Način korištenja termoelektrana - toplana
- Mogućnosti i strategija korištenja reverzibilnih hidroelektrana
- Zahtjevi i sigurnosti ees-a
- Ekološki faktori i ograničenja
- Mogućnosti upravljanja potrošnjom i dr.

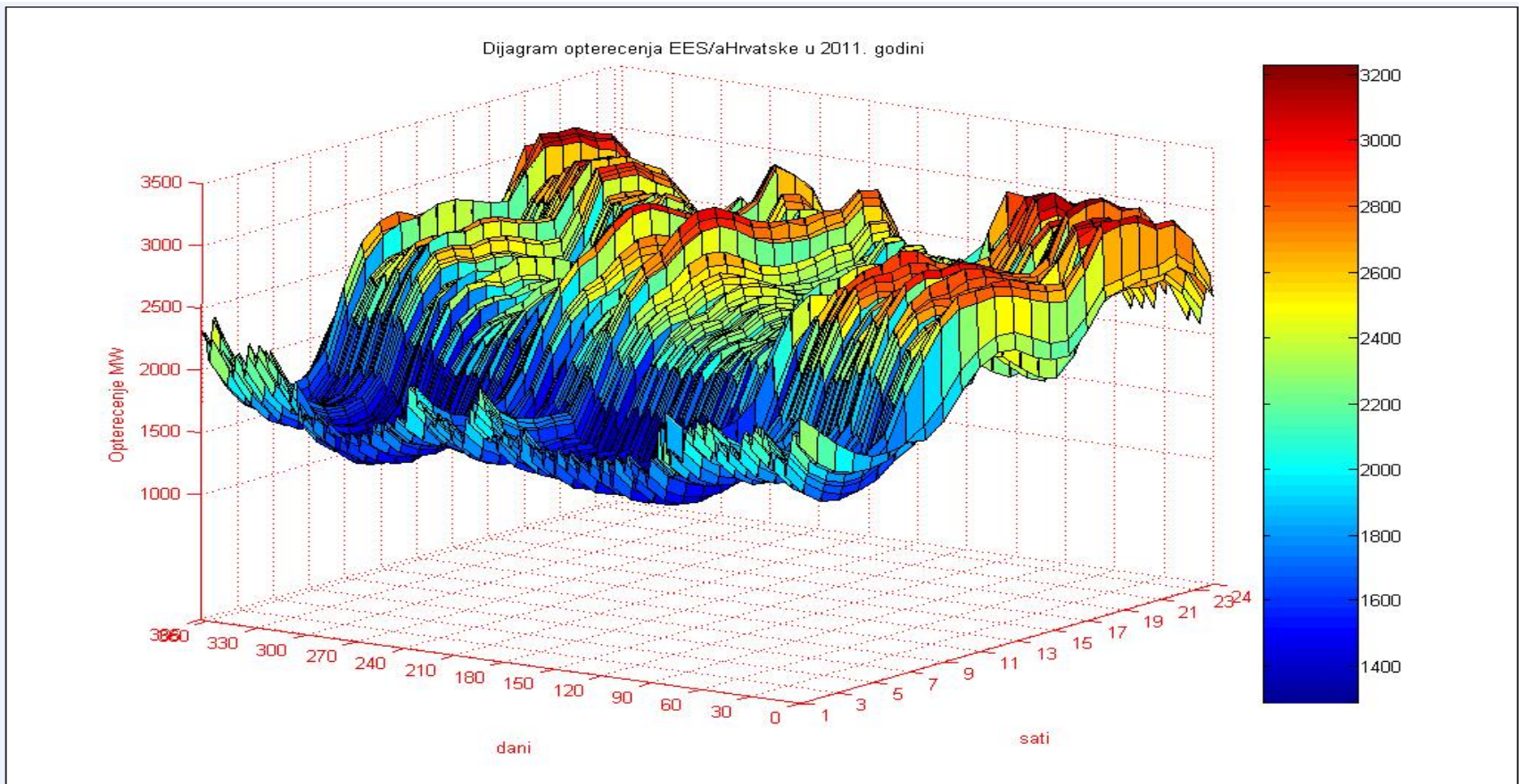
# Integracija VE u EES

- Promjenjivost proizvodnje vjetroelektrana (vremenski i prostorno-fluktuacija snage) uvjetovana je promjenljivošću inteziteta vjetra na svim vremenskim razinama, što zahtijeva da se pogon klasičnih elektrana mora prilagođavati (prednost u dispečiranju) kako bi se osigurala stalna ravnoteža proizvodnje i potrošnje električne energije.
- Mogućnosti takve podrške su ograničene, a vezane su za strukturu ostalih elektrana u sustavu.
- Hidroelektrane su idealni komplement vjetroelektrana u smislu predhodno navedene podrške, budući da su, pogotovo akumulacijske hidroelektrane i naročito reverzibilne elektrane , u mogućnosti osigurati brzu regulaciju djelatne snage na razini primarne, sekundarne i tercijarne regulacije, a također i prilagođavanje proizvodnje na satnom, dnevnom, tjednom i višemjesečnom nivou.

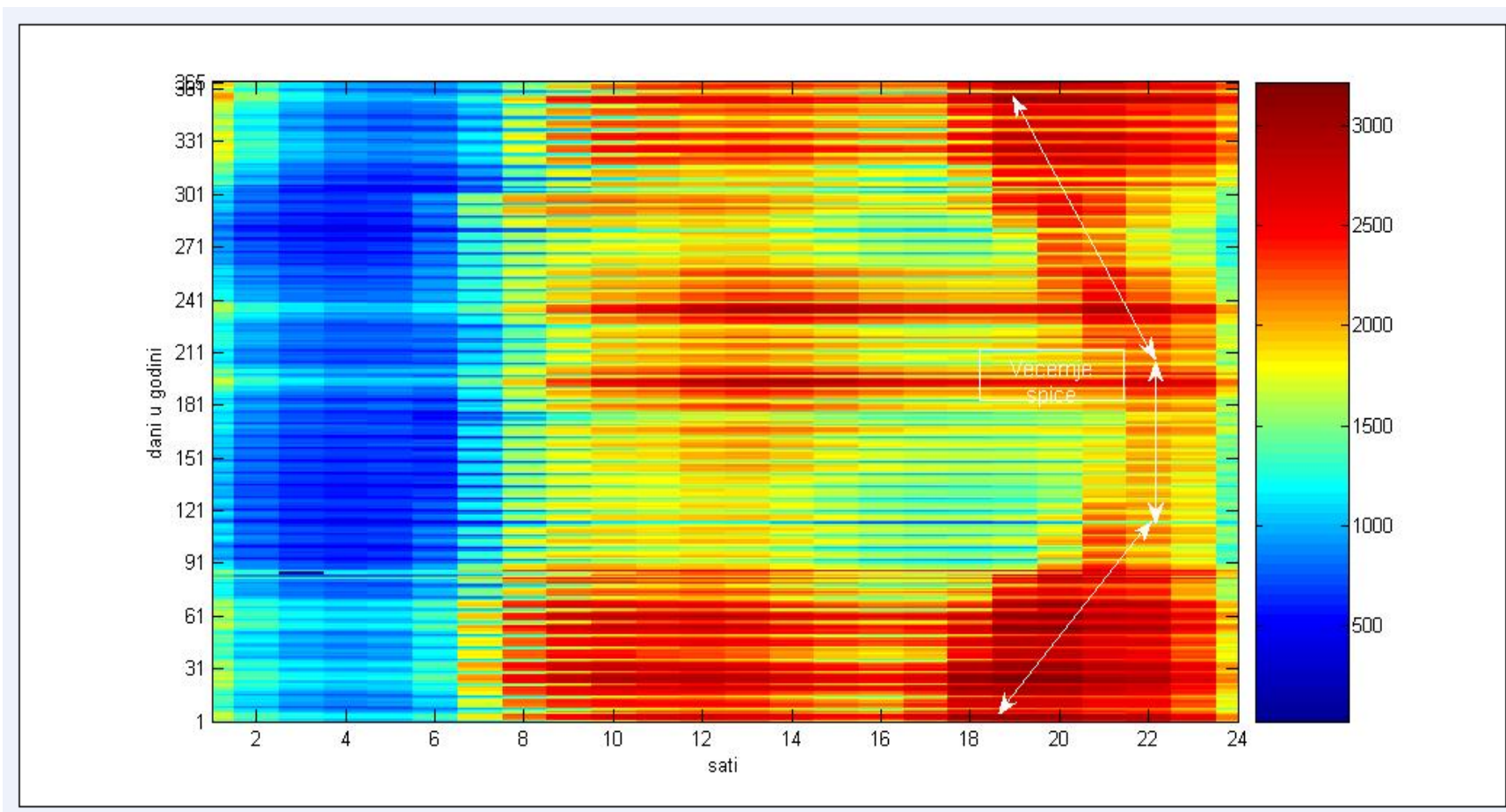


# Dijagram opterećenja EES-a Hrvatske-2011. godina

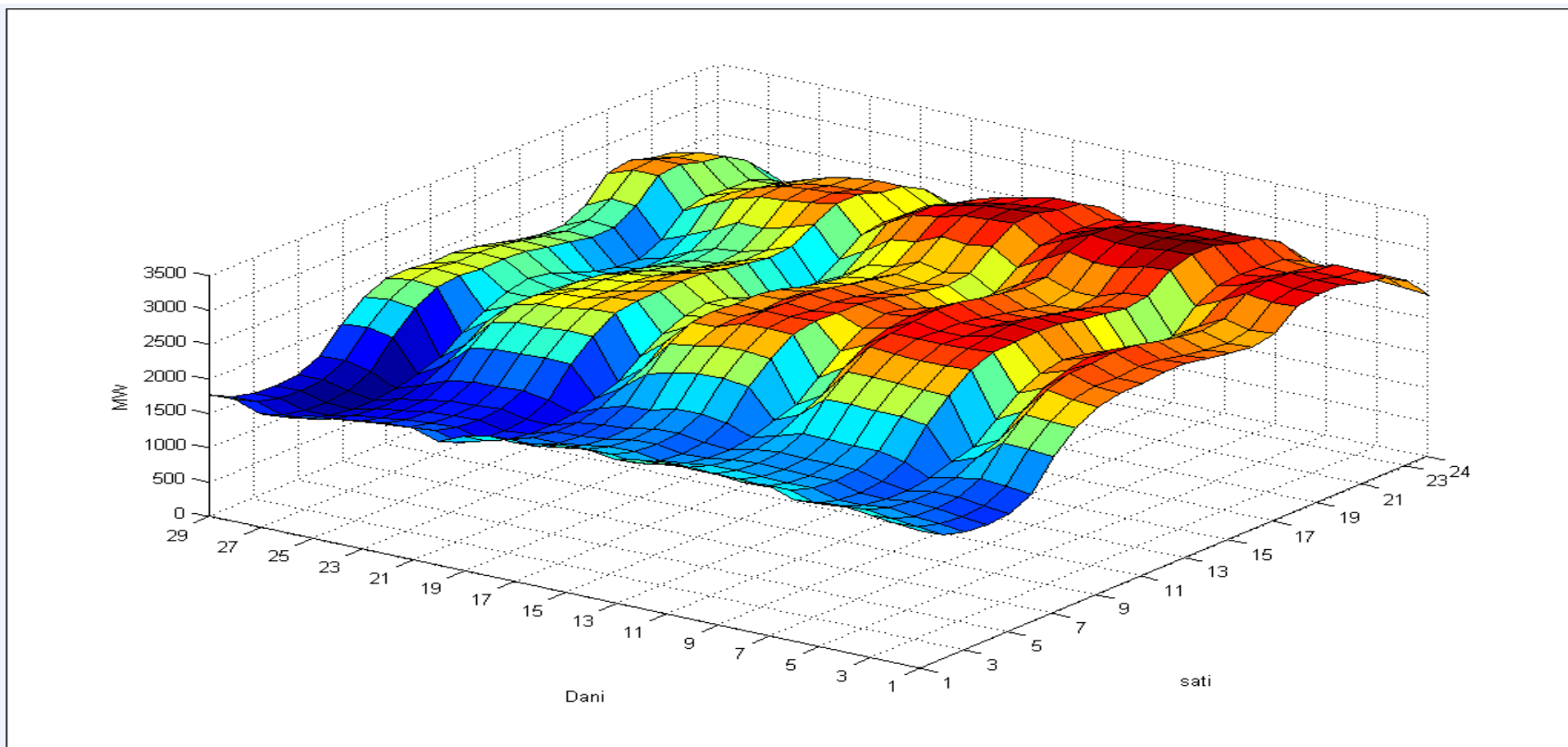
zima/  $-1^{\circ}\text{C}=+30$  MW -grijanje  
ljetu/  $+1^{\circ}\text{C}=+25$  MW - hlađenje



# Dijagram opterećenja EES-a Hrvatske-2011. godina

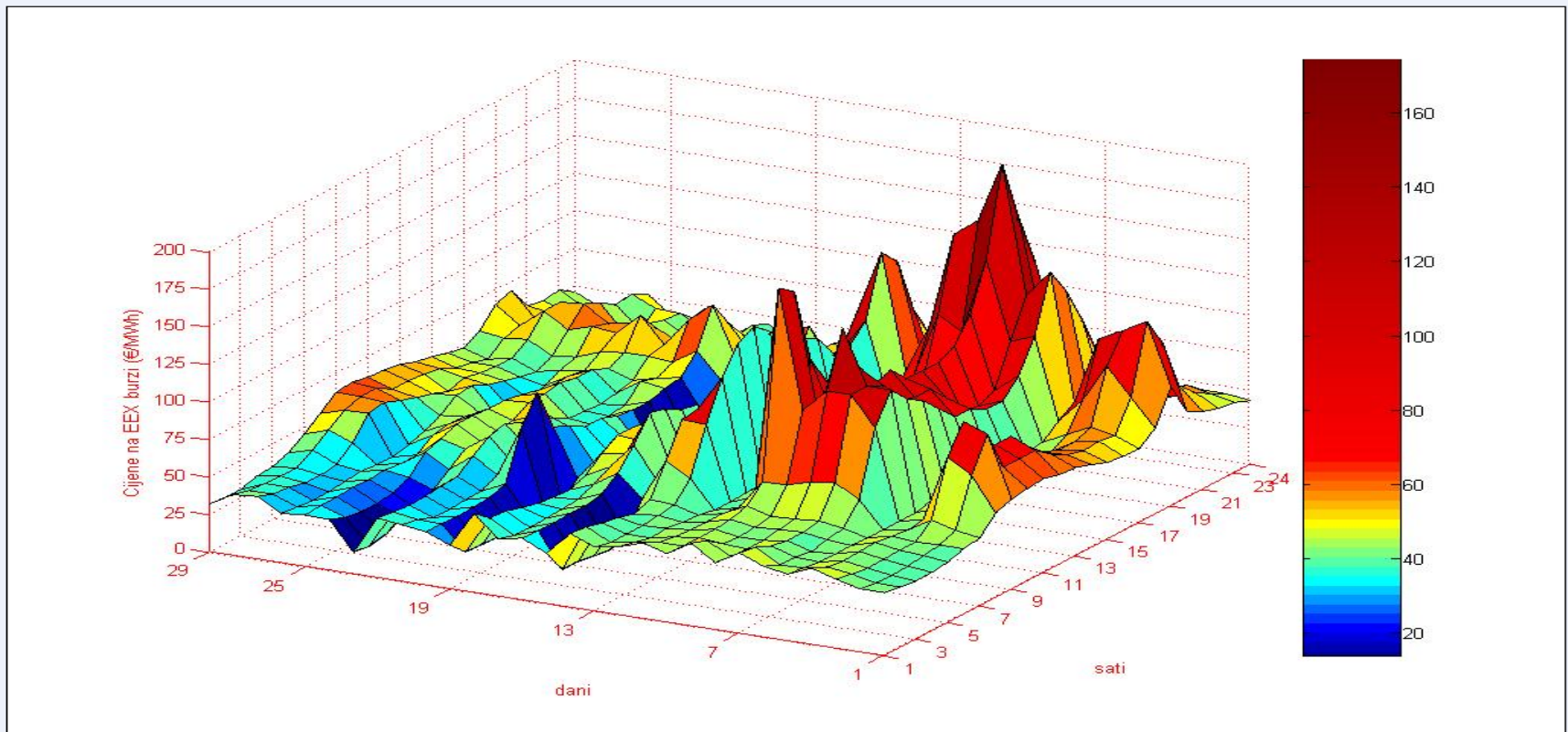


# Dijagram opterećenja EES-a Hrvatske- Veljača 2012. godine

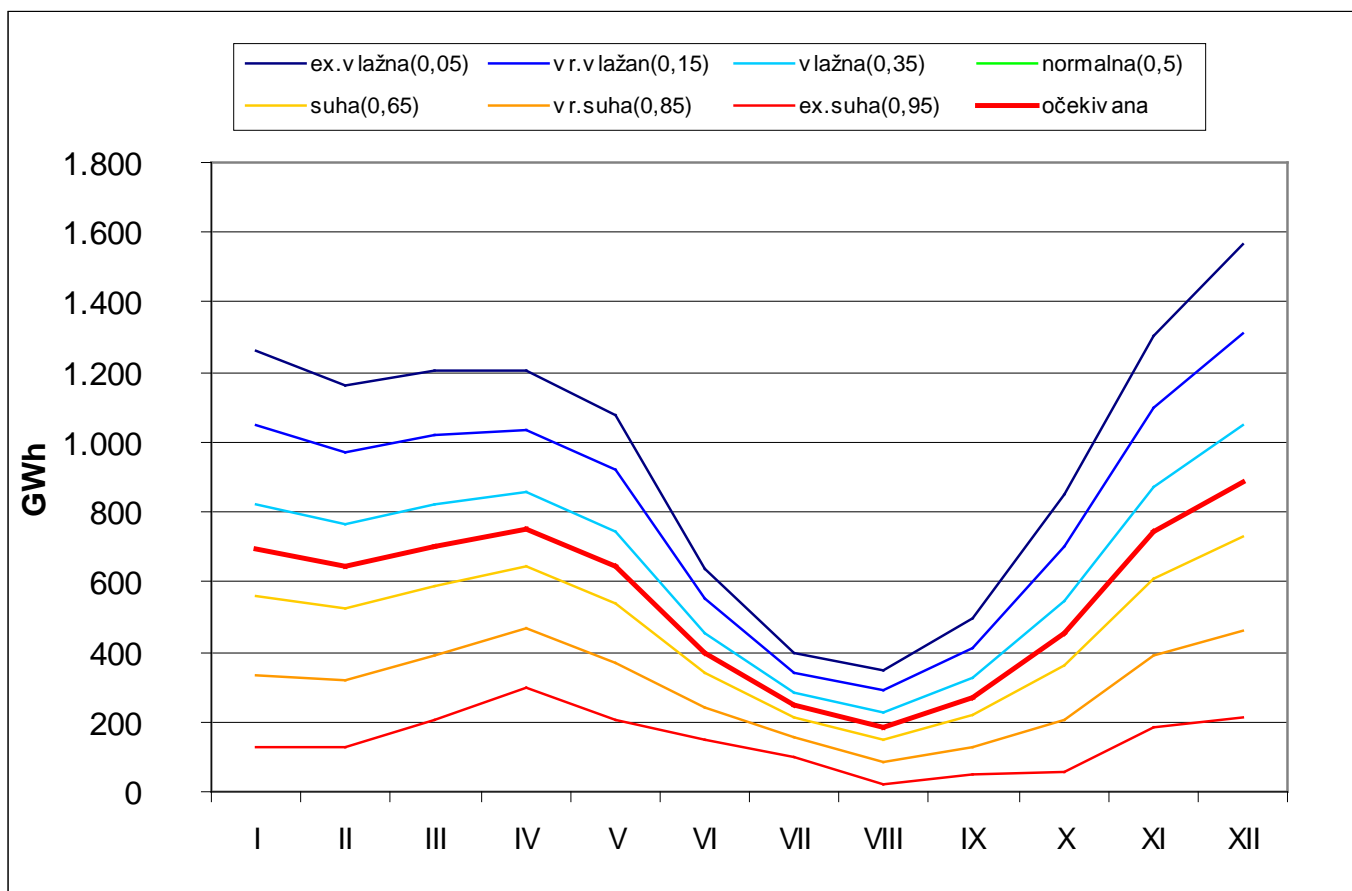


# Cijena električne energije na spot tržištu burza Epex-Germany – veljača 2012.

-1°C=+5000 MW u EU-sezona grijanja



# Mjesečna energetska vrijednost dotoka vode za HE za različite vjerojatnosti pojave

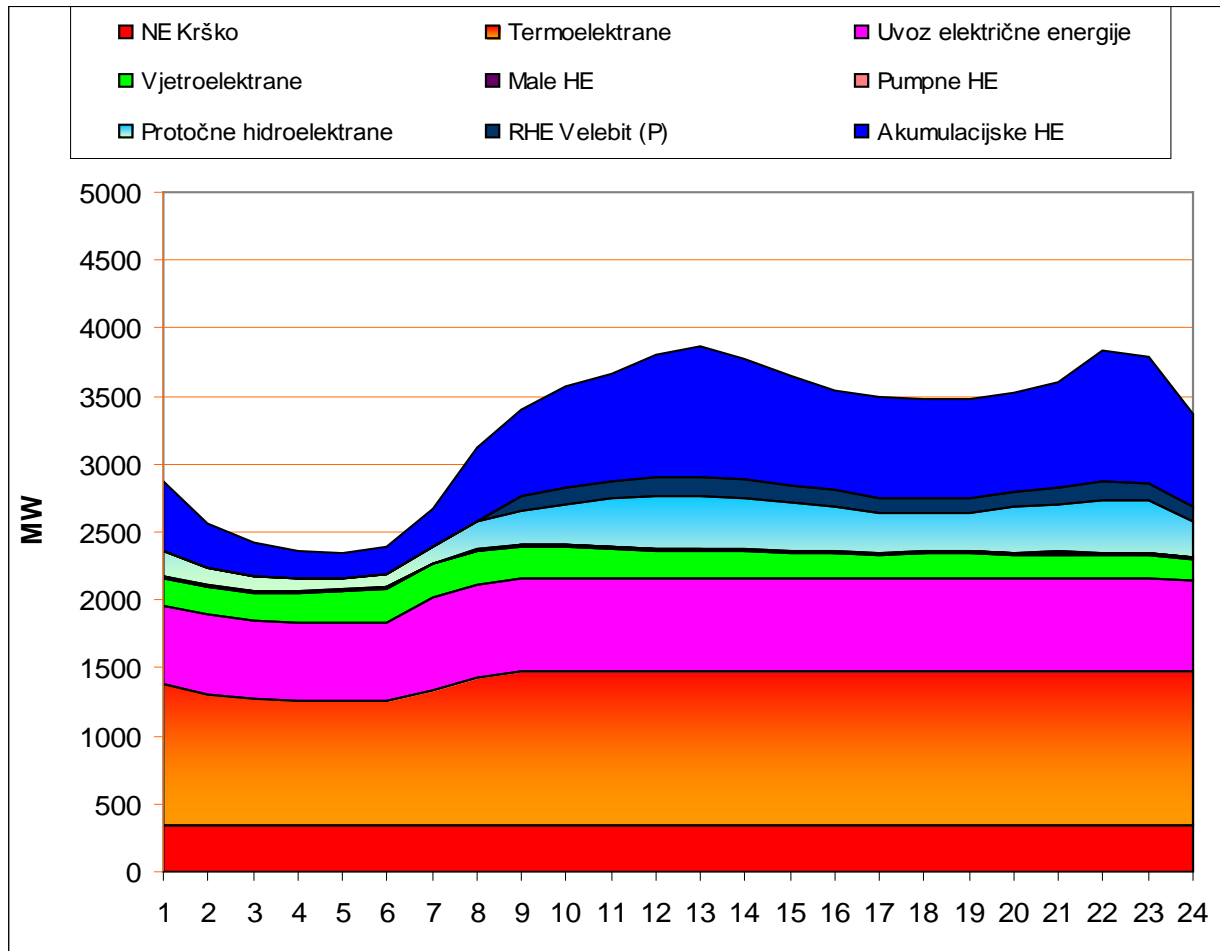


Prezentacija na FER-u, Zagreb,  
20.03.2012. godine

# Primjer voznog reda s VE

2020. godina

*nakon ulaska TE Plomin 3 i 400MW u VE*



Prezentacija na FER-u, Zagreb,  
20.03.2012. godine

# Tehnologije vjetroagregata

Asinkroni

Sinkroni

Sinkroni sa permanentnim magnetima

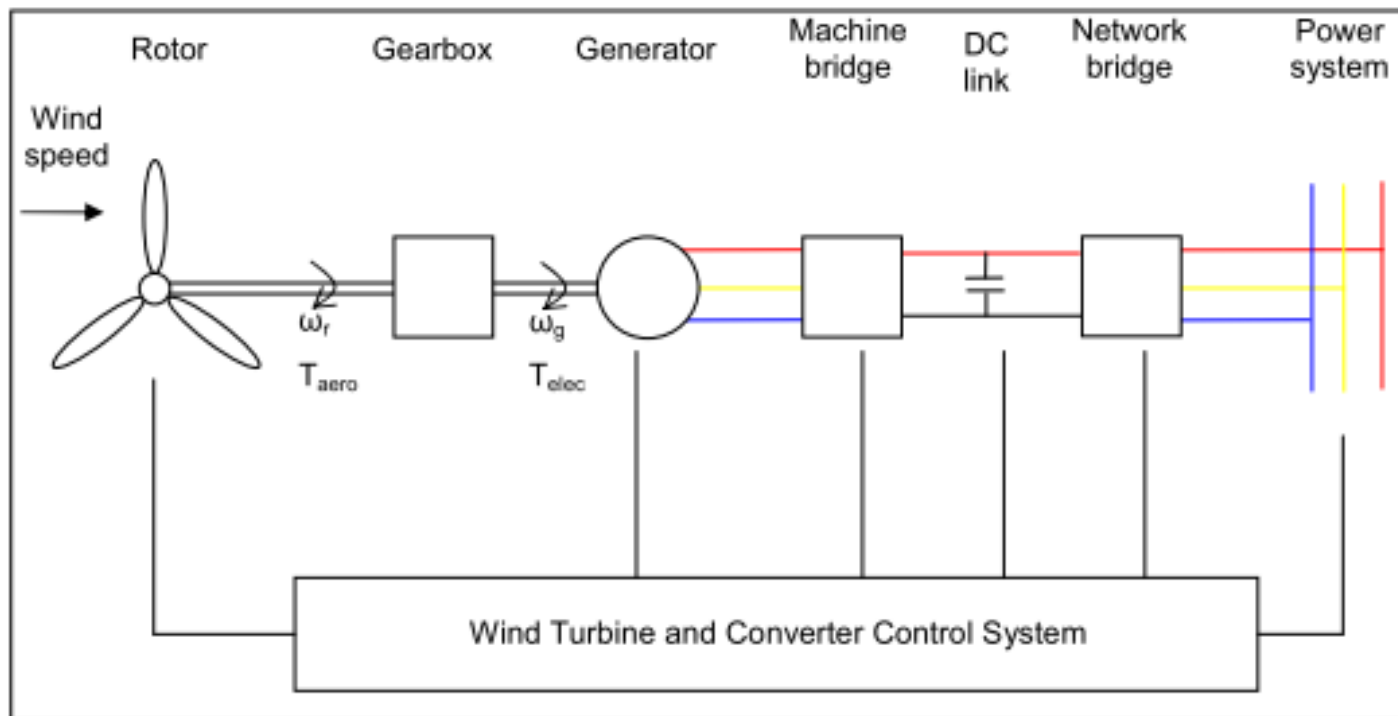
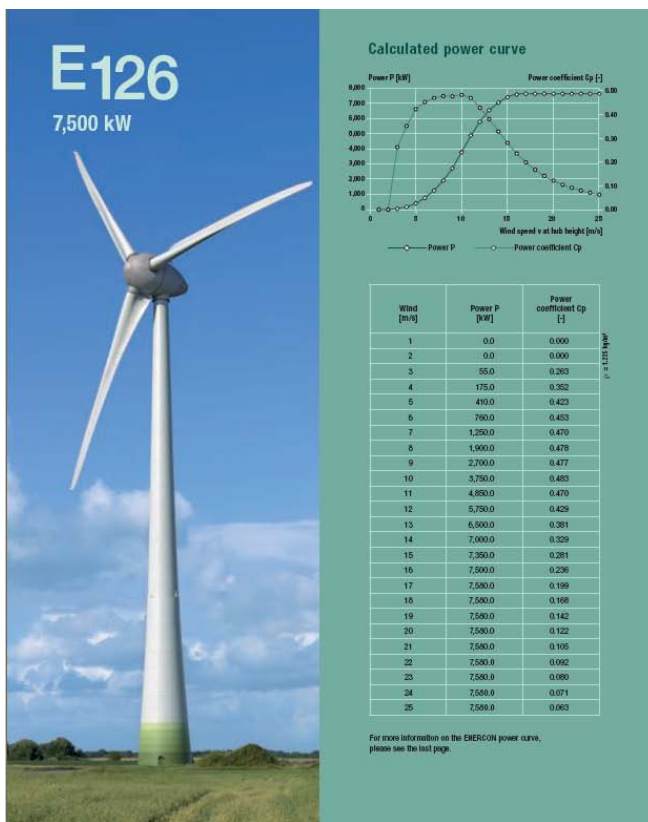


Fig. 1. Basic outline of Siemens variable speed wind turbine

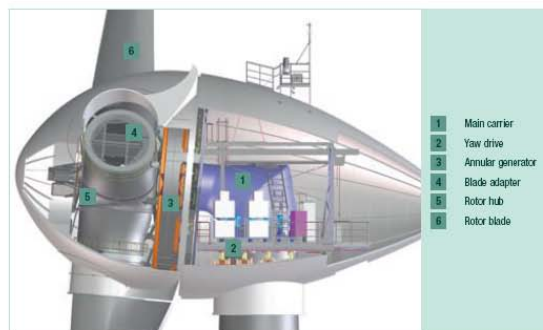
# Tehnologije vjetroagregata



**Technical specifications E-126**

<b>Rated power:</b>	7,500 kW	<b>Drive train with generator:</b>	High
<b>Rotor diameter:</b>	127 m	<b>Hub:</b>	Single-row tapered roller bearing
<b>Hub height:</b>	135 m	<b>Main bearing:</b>	ENERCON direct-drive annular generator
<b>Wind class (DIE):</b>	WE III	<b>Generator:</b>	ENERCON inverter
<b>Wind class (IEC):</b>	IEC/WVA IA	<b>Grid feed:</b>	- 3 independent pitch control systems with emergency power supply
<b>WEC concept:</b>	Gearless, variable speed Single blade adjustment	<b>Brake systems:</b>	- Rotor brake
<b>Rotor:</b>		<b>Yaw system:</b>	Active via yaw gear, load-dependent damping
<b>Type:</b>	Upwind rotor with active pitch control	<b>Cut-out wind speed:</b>	28-34 m/s (with ENERCON storm control)
<b>Rotational direction:</b>	Clockwise	<b>Remote monitoring:</b>	ENERCON SCADA
<b>No. of blades:</b>	3		
<b>Swept area:</b>	12,668 m <sup>2</sup>		
<b>Blade material:</b>	GRP (epoxy resin) /GRP GRP (epoxy resin) /albeit Built-in lightning protection		
<b>Rotational speed:</b>	Variable, 5-11.7 rpm		
<b>Pitch control:</b>	ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply		

\*For more information on the ENERCON storm control feature, please see the last page.



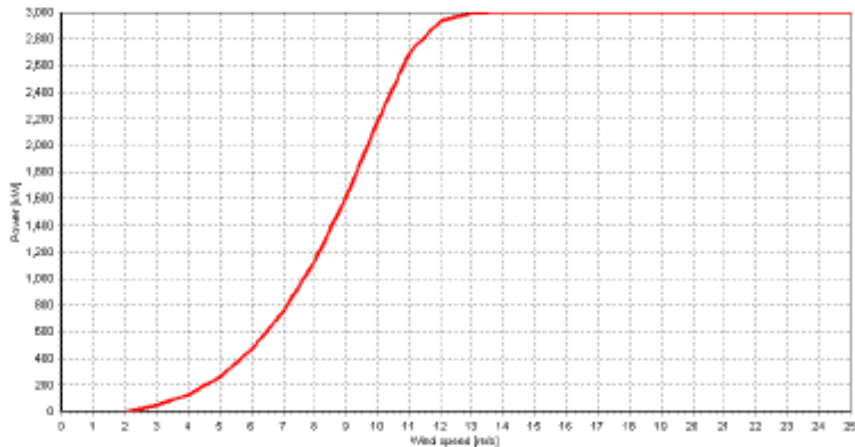


# Tehnologije vjetroagregata

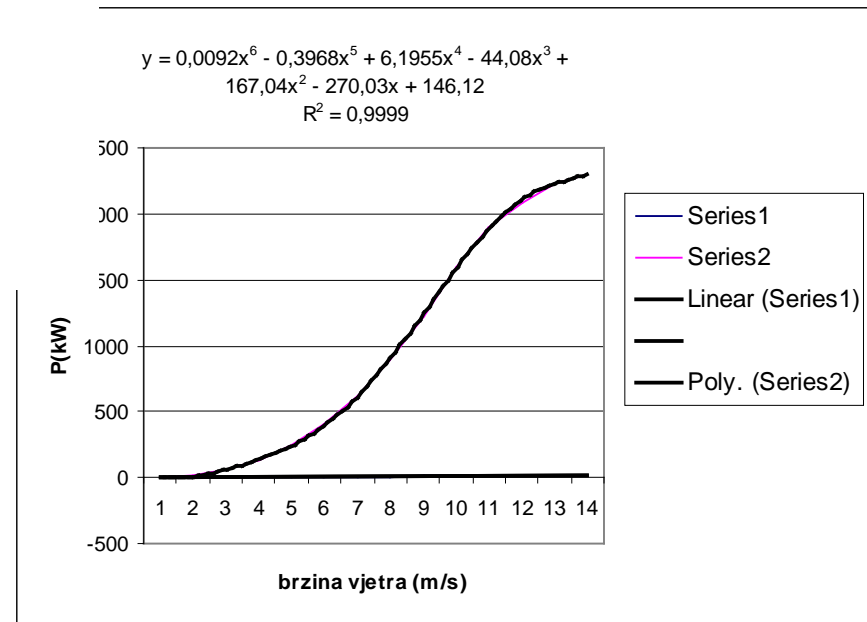
## VE Crno Brdo 1,5 MW-permanentni magneti



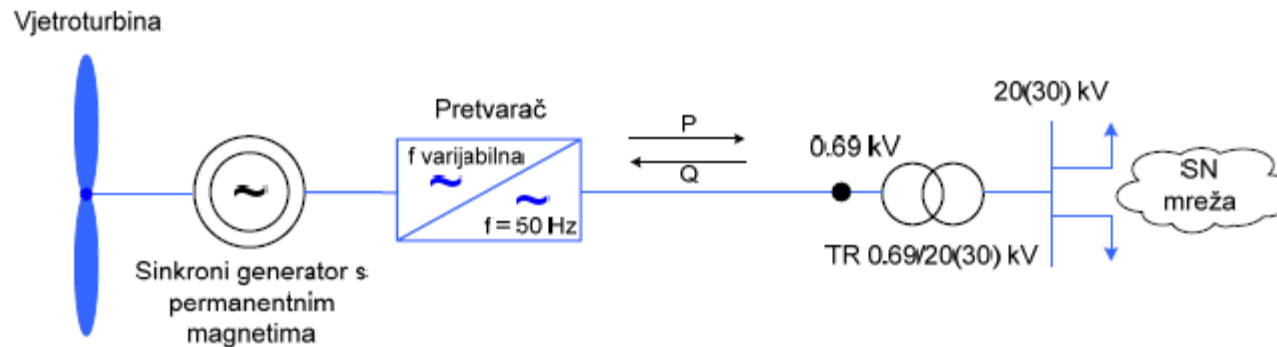
# Krivulja $P = f(v)$ Enercon E82



Slika 3-89 Krivulja snage vjetroturbina SWT-2.3-101 (VE ZD3)

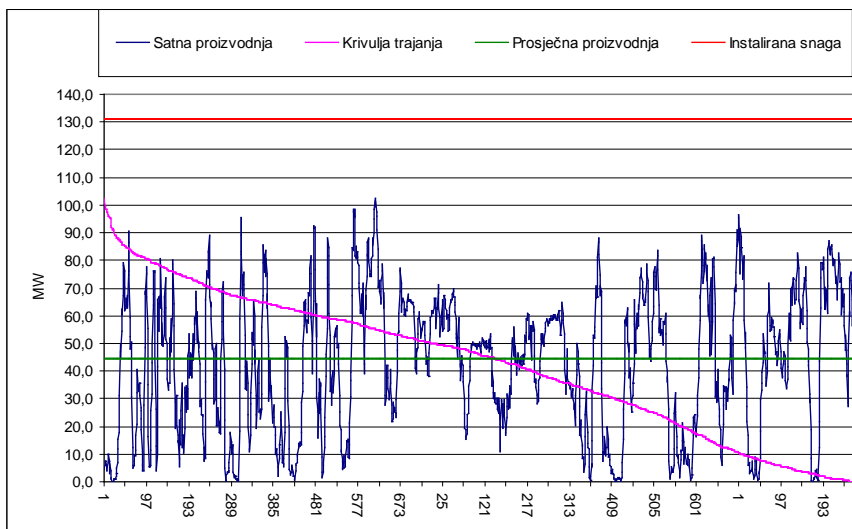
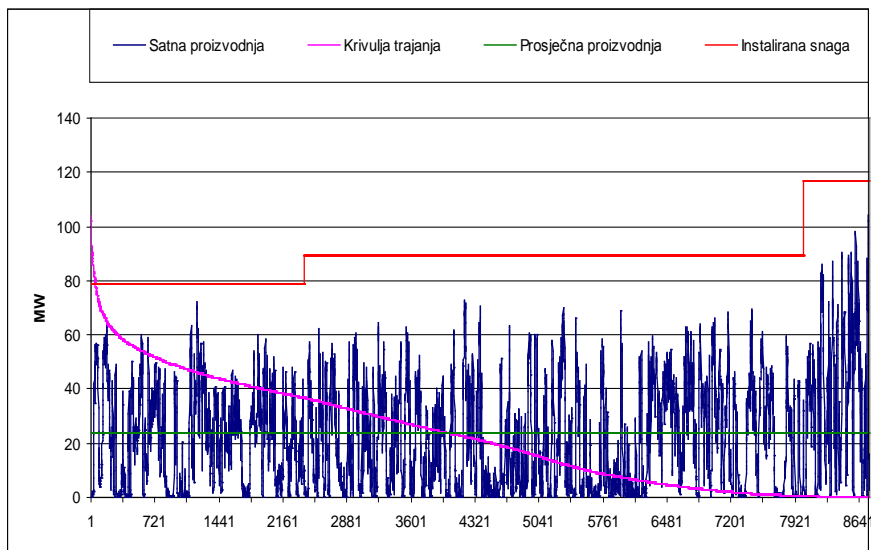


# Tehnologije vjetroagregata

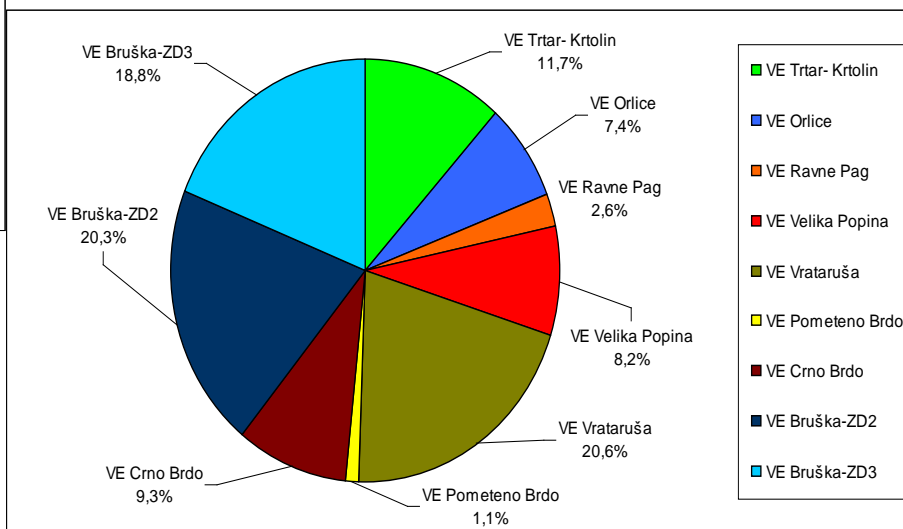
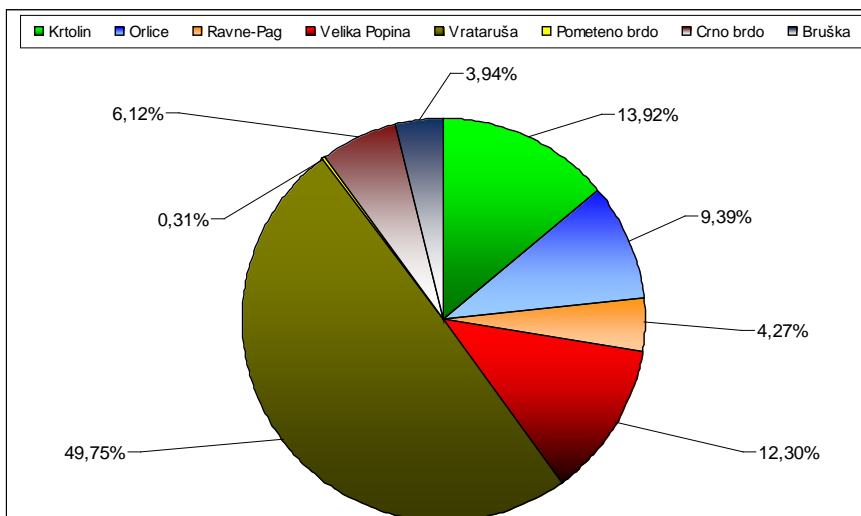


Slika 2-2 Sinkroni generator s permanentnim magnetima promjenjive brzine vrtnje s pretvaračem u glavnom strujnom krugu

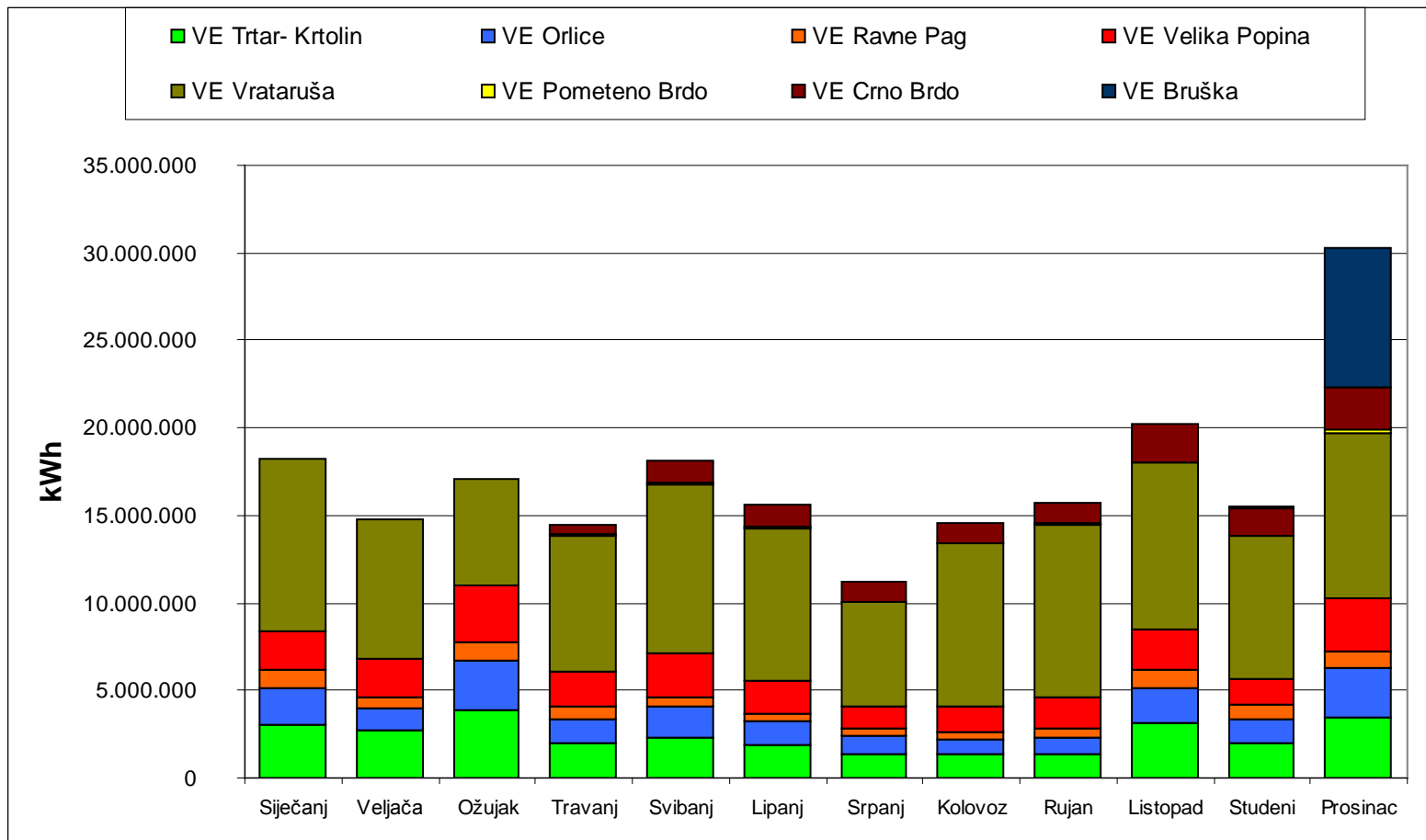
# Satna proizvodnja VE u 2011. godini i od 1.01. do 12.03.2012. godine



# Udio proizvodnje pojedine VE u ukupnoj proizvodnji u 2011. godini i razdoblju 1.01.-12.03.2012. godine

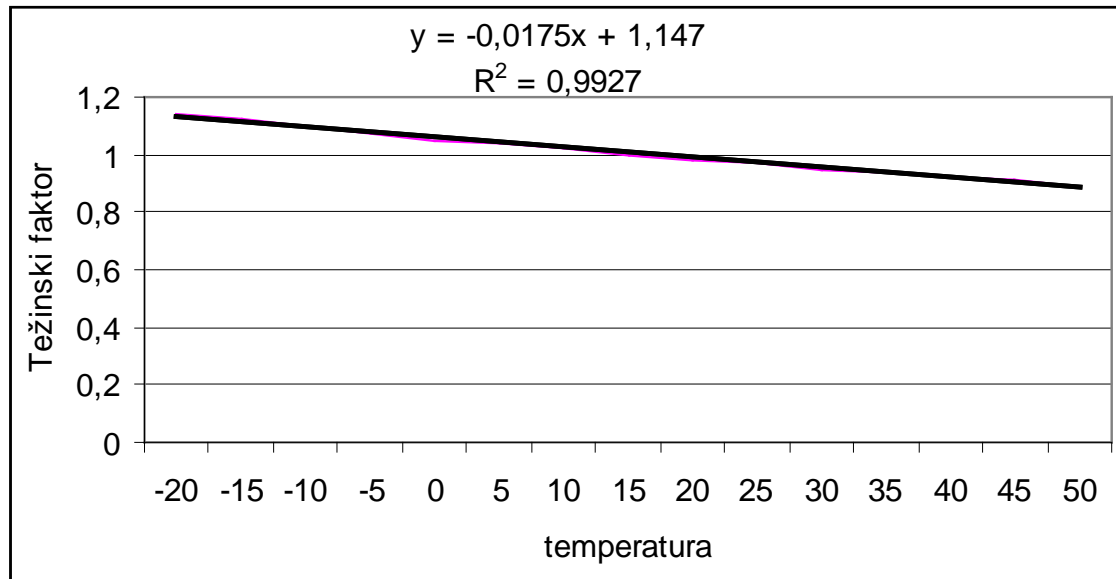


# Mjesečna proizvodnja u 2011. godini

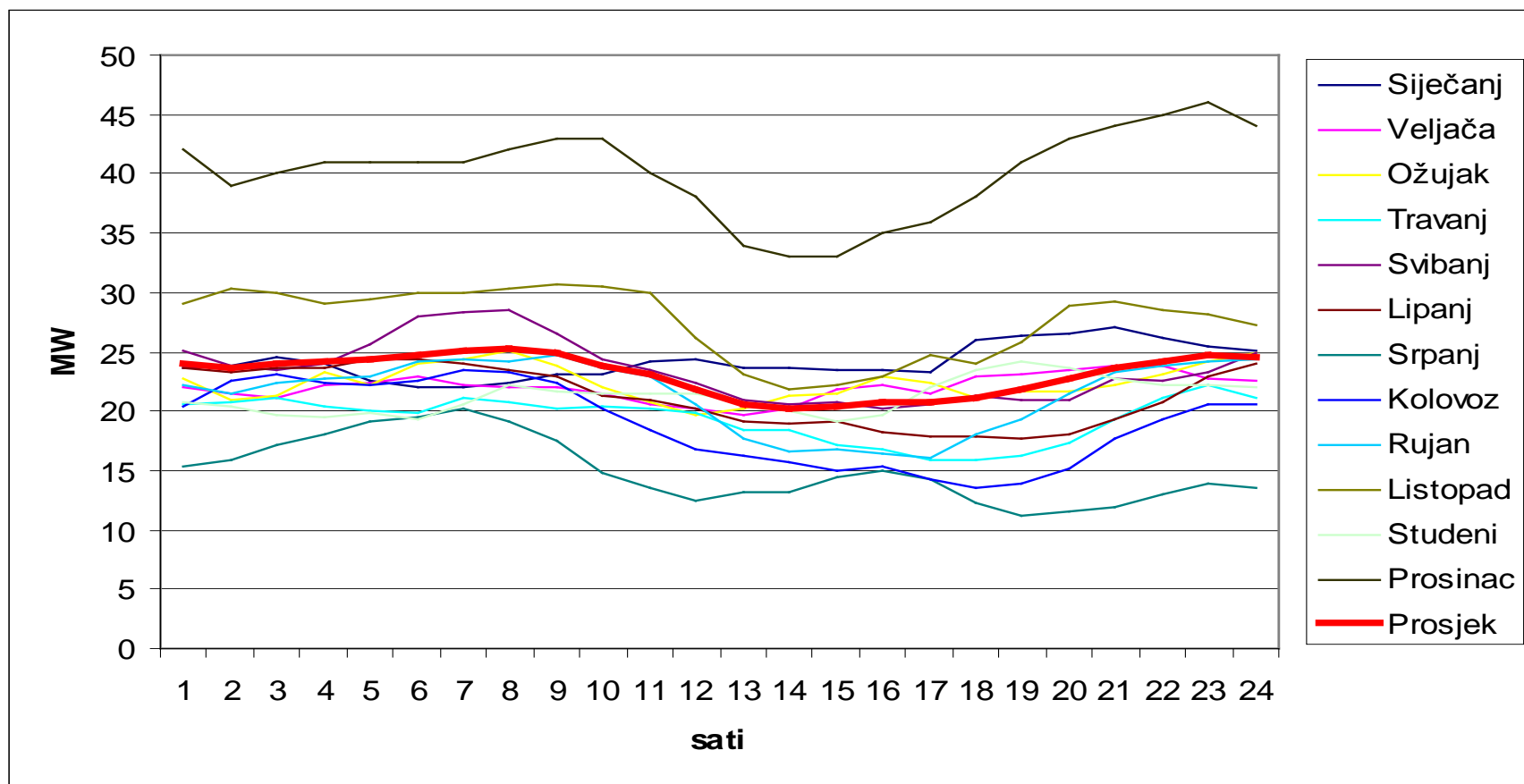


Prezentacija na FER-u, Zagreb,  
20.03.2012. godine

# Ovisnost proizvodnje o temperaturi zraka

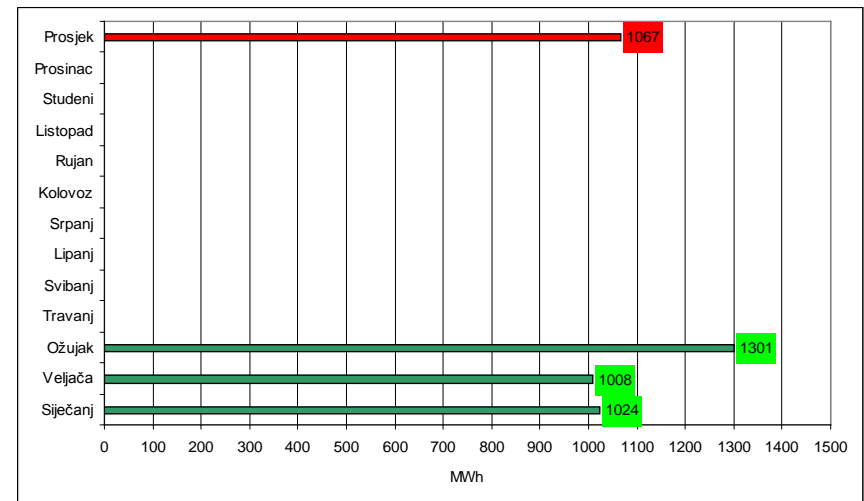
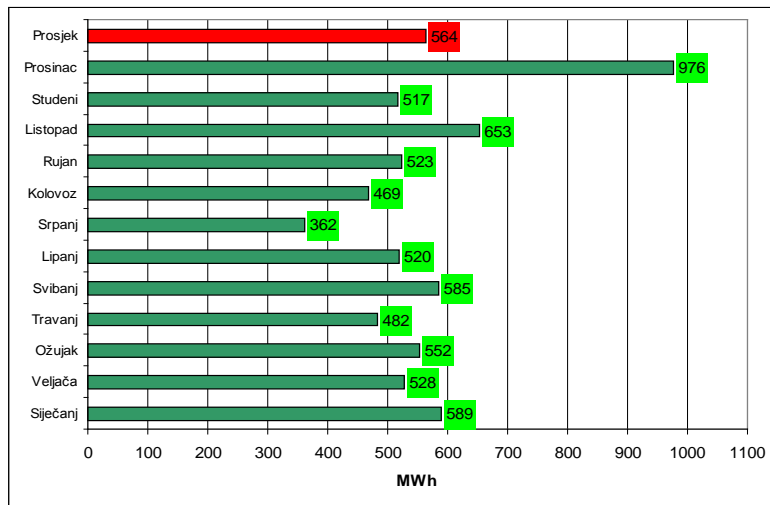


# Prosječna satna proizvodnja na mjesečnom nivou u 2011. godini



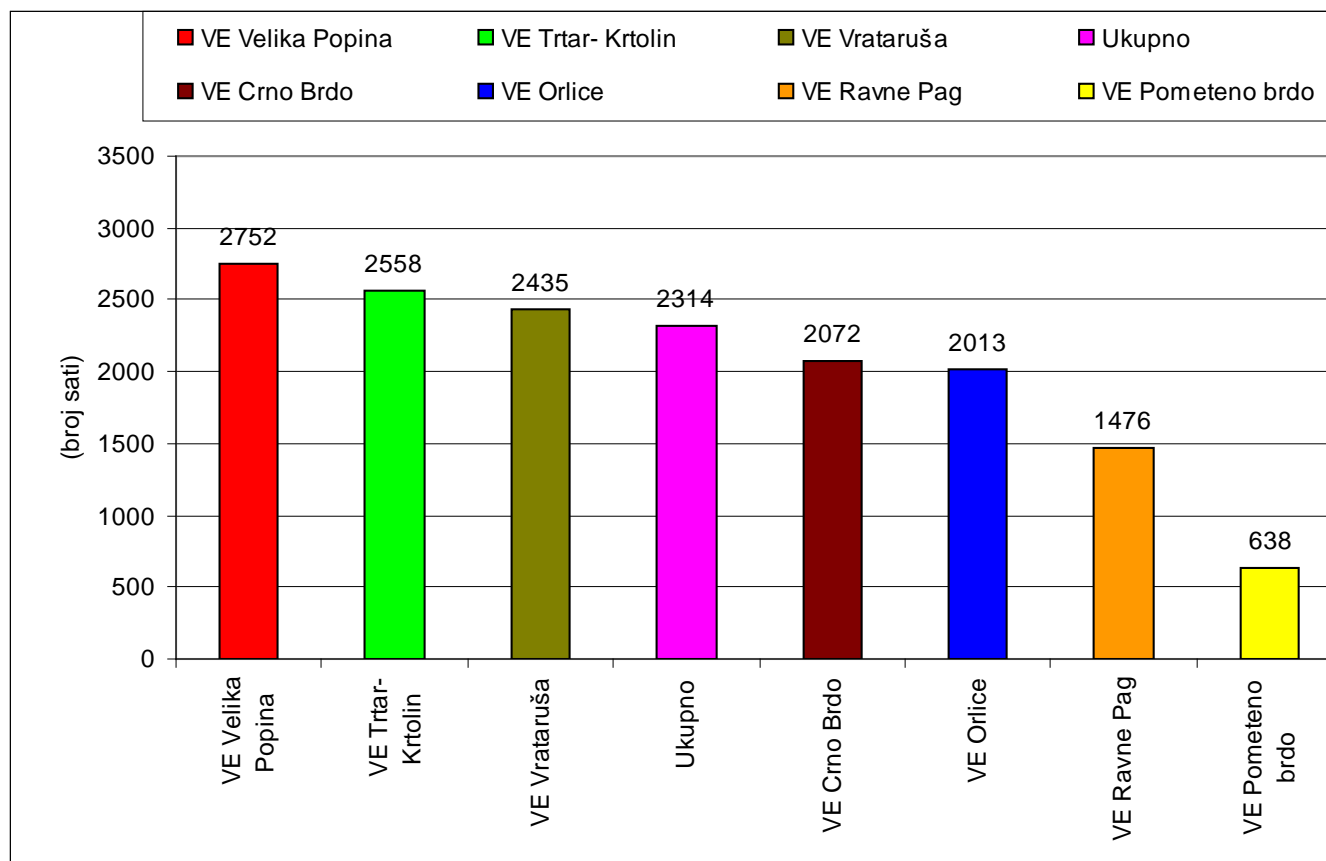


# Prosječna dnevna proizvodnja u pojedinom mjesecu 2011. godine (oko 1% potrošnje) i razdoblju 1.01.-13.03.2012. godine (oko 2%)



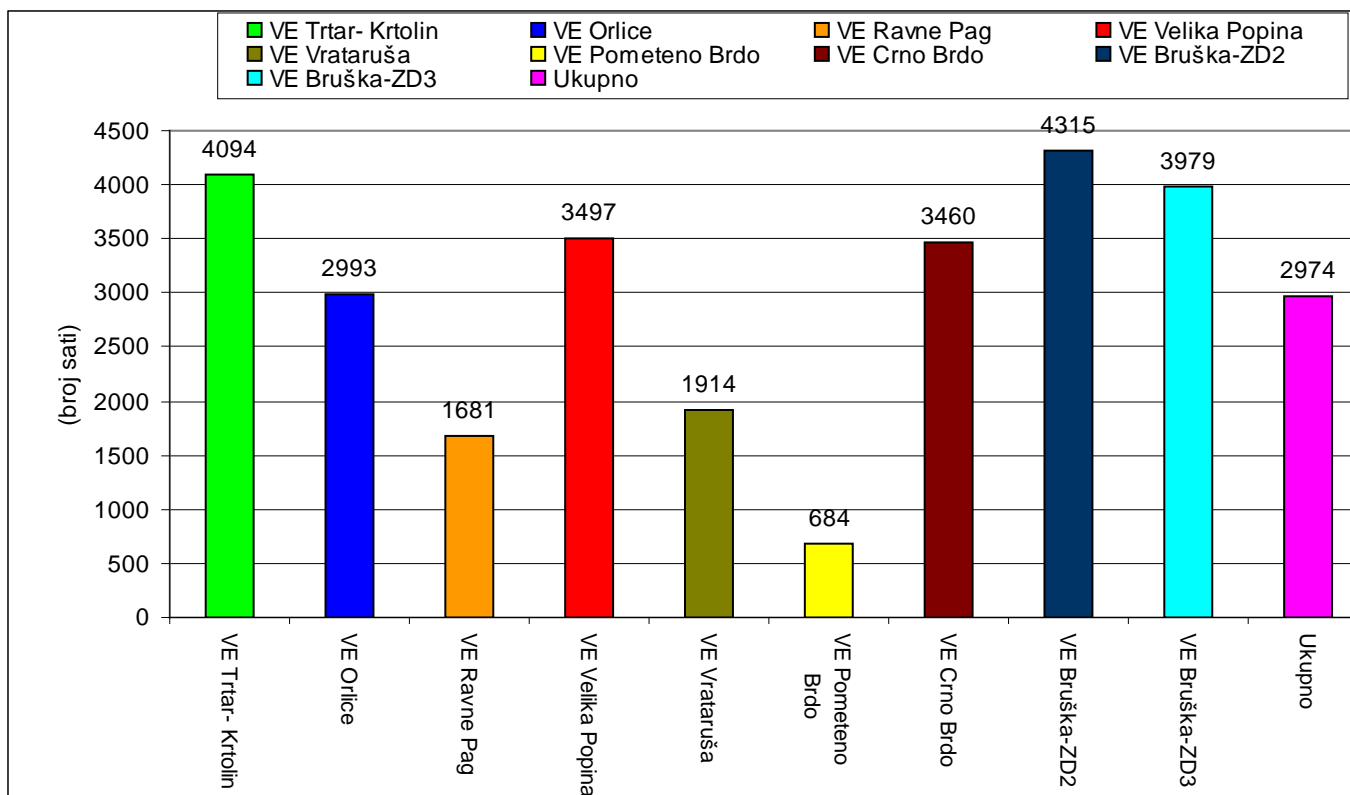
# Vrijeme korištenja instalirane snage na godišnjem nivou u 2011. godini

proizvedeno 206 GWh –podmirenje potrošnje RH za 4 dana



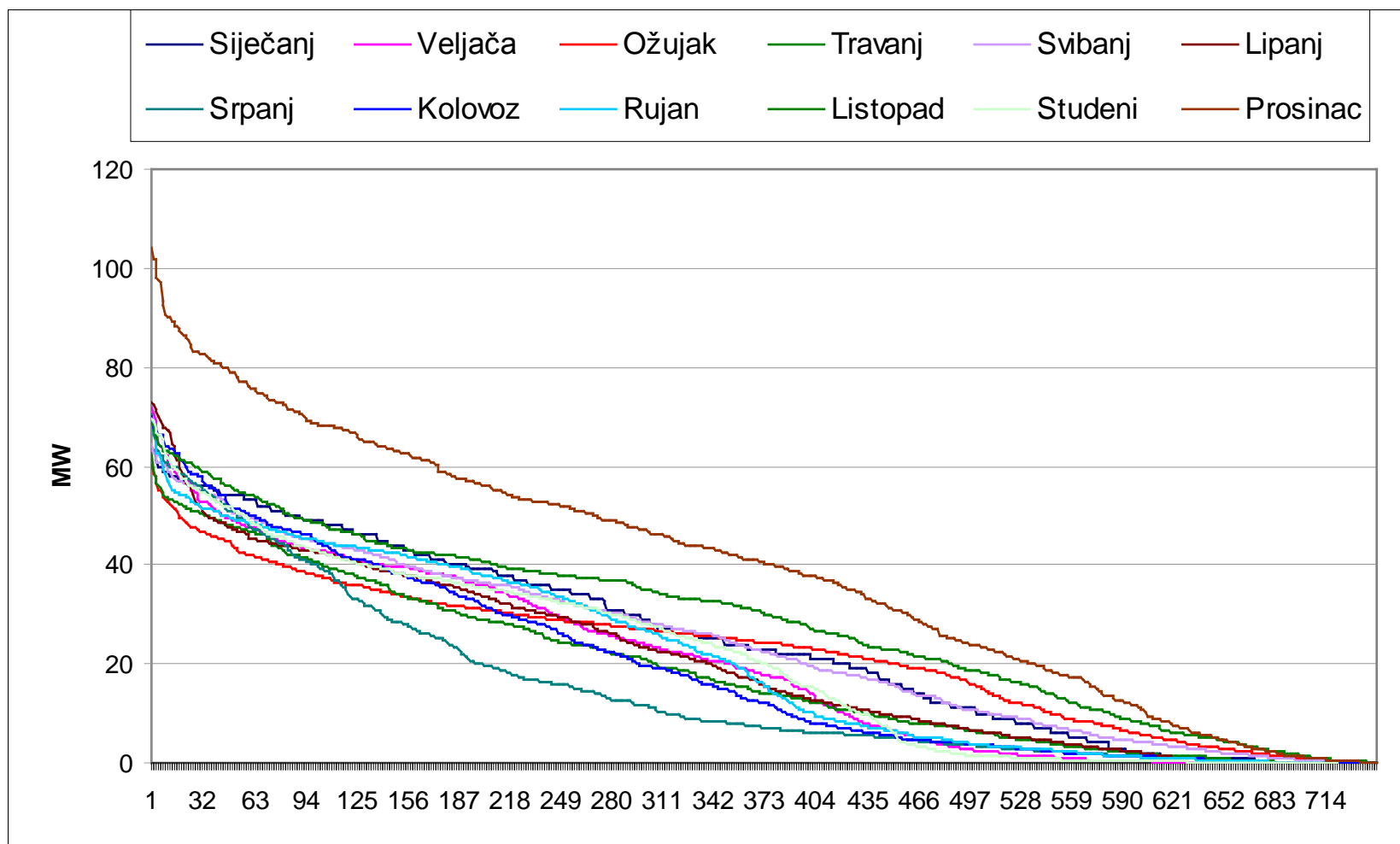
# Vrijeme korištenja instalirane snage na godišnjem nivou u razdoblju 1.01-13.03.2012.godine

Očekuje se proizvodnja VE 300 GWh –podmirenje potrošnje RH za 6dana u 2012. godini



# Mjesečne krivulje trajanja proizvodnje VE

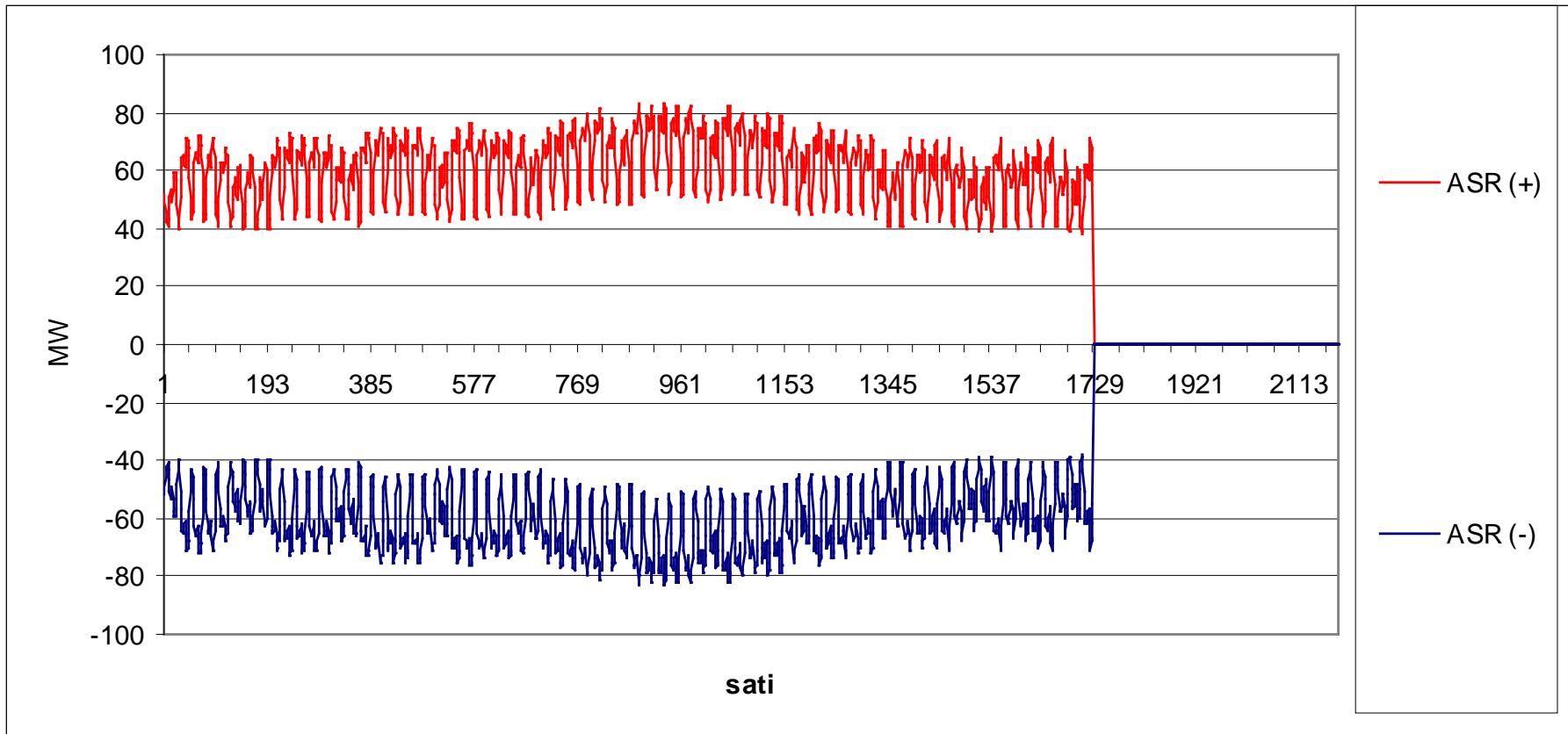
*vjetra uvijek ima i uvijek će ga biti*



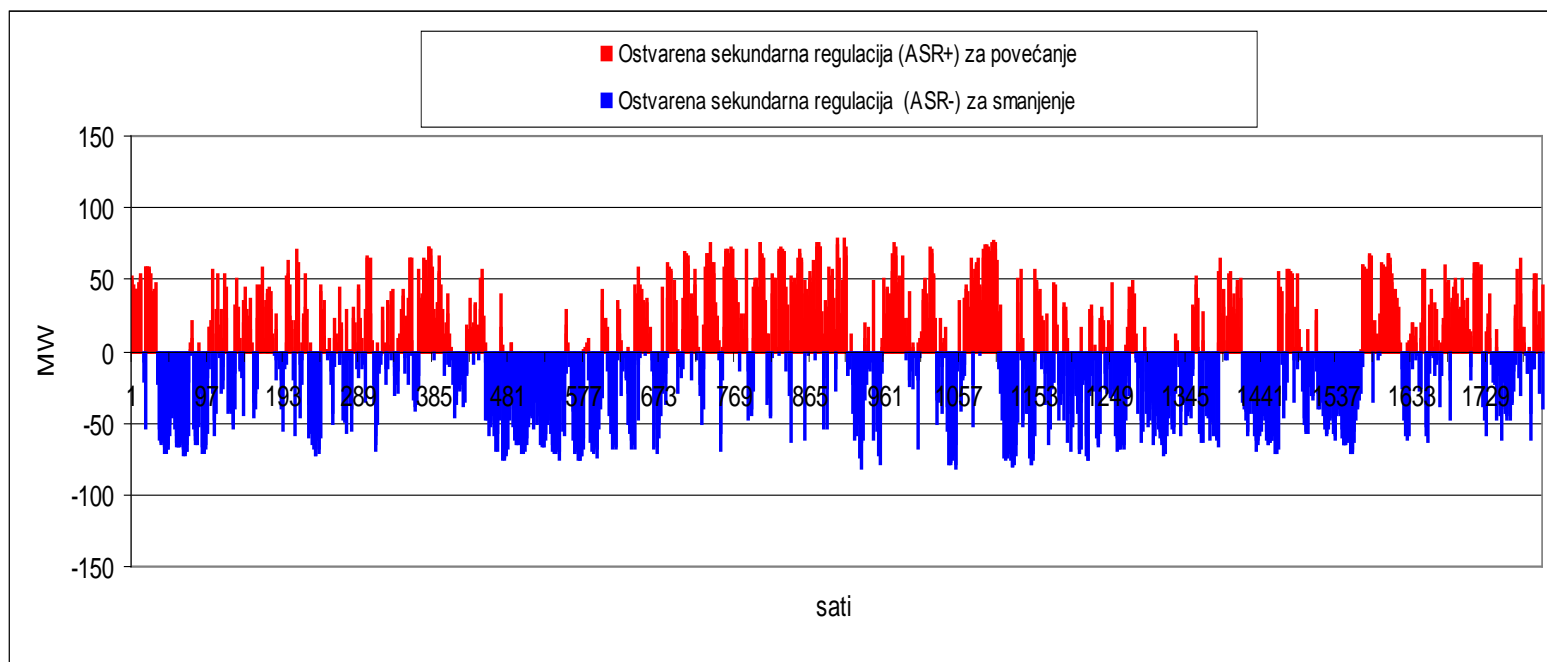
Prezentacija na FER-u, Zagreb,  
20.03.2012. godine

# Potrebna rezerva snage za automatsku sekundarnu regulaciju

## 1.01. - 12.03.2012. godine



# Ostvarena sekundarna regulacija u razdoblju od 1.01.-15.03.2012. godine



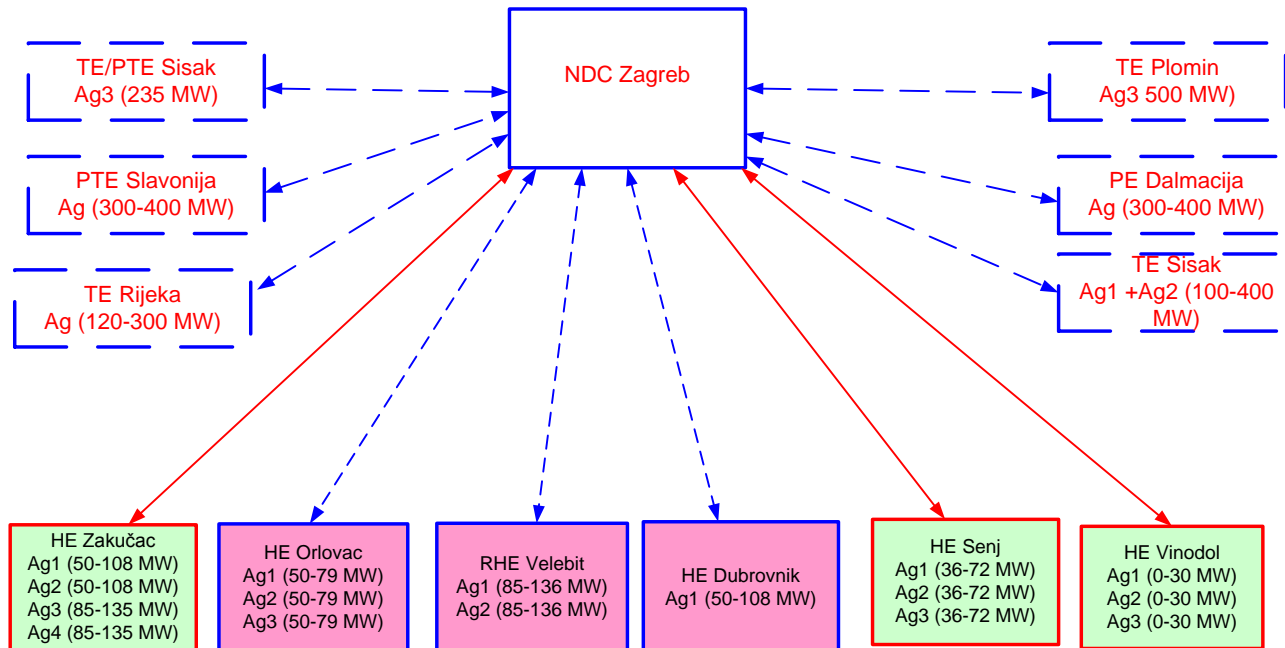
# Glavne elektrane koje pružaju rezervu i regulaciju u regulacijskom području HR

*danas i sutra*

*(poželjna reverzibilna elektrana od 3X200MW u sustavu-zlata vrijedna)*

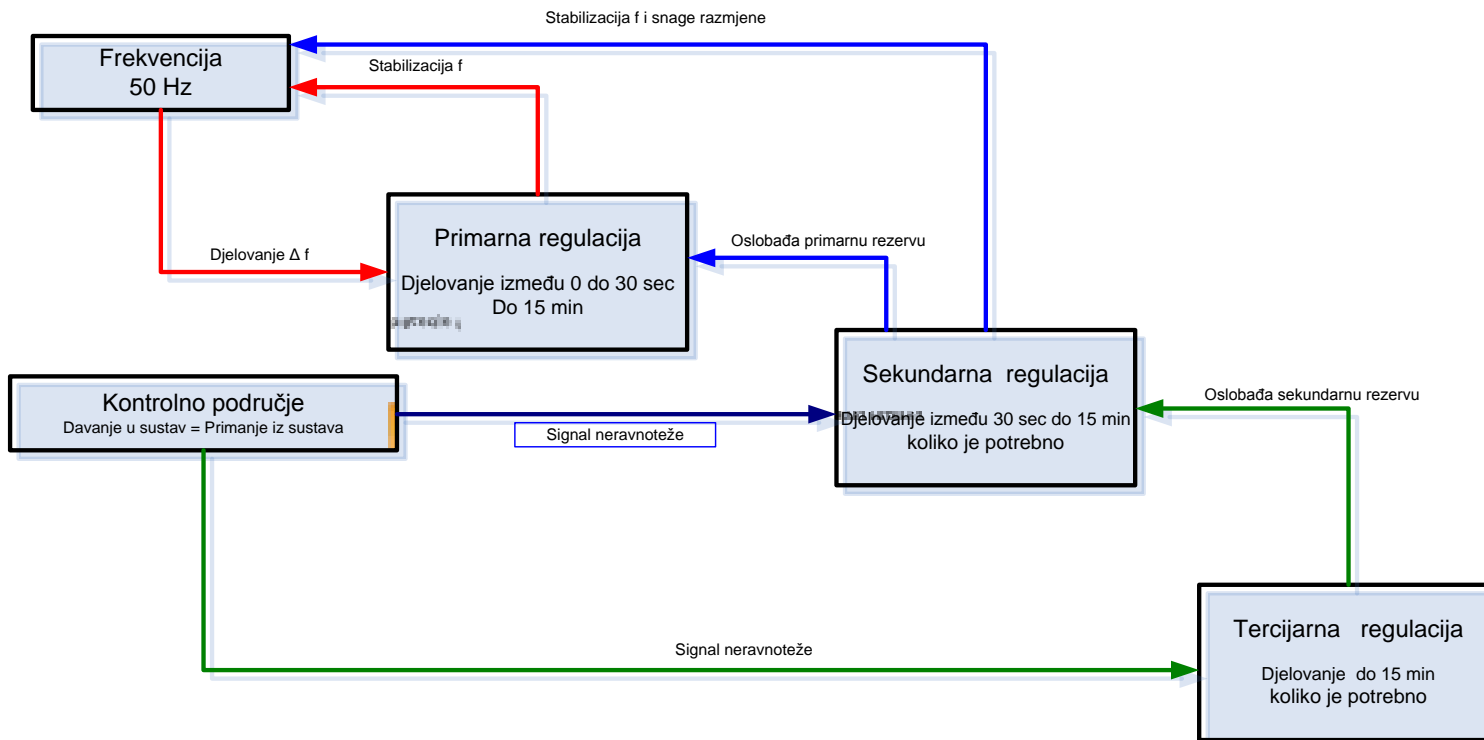
HEP Operator prijenosnog sustava

Rezerva/Regulacija f/P u EES-u



Rezerva sekundarne regulacije prema formuli UCTE je  $=\sqrt{(10 * 3200 + 150 * 150)} - 150 = + 83,5 \text{ MW} / -83,5 \text{ MW}$  kod maksimalnog opterećenja

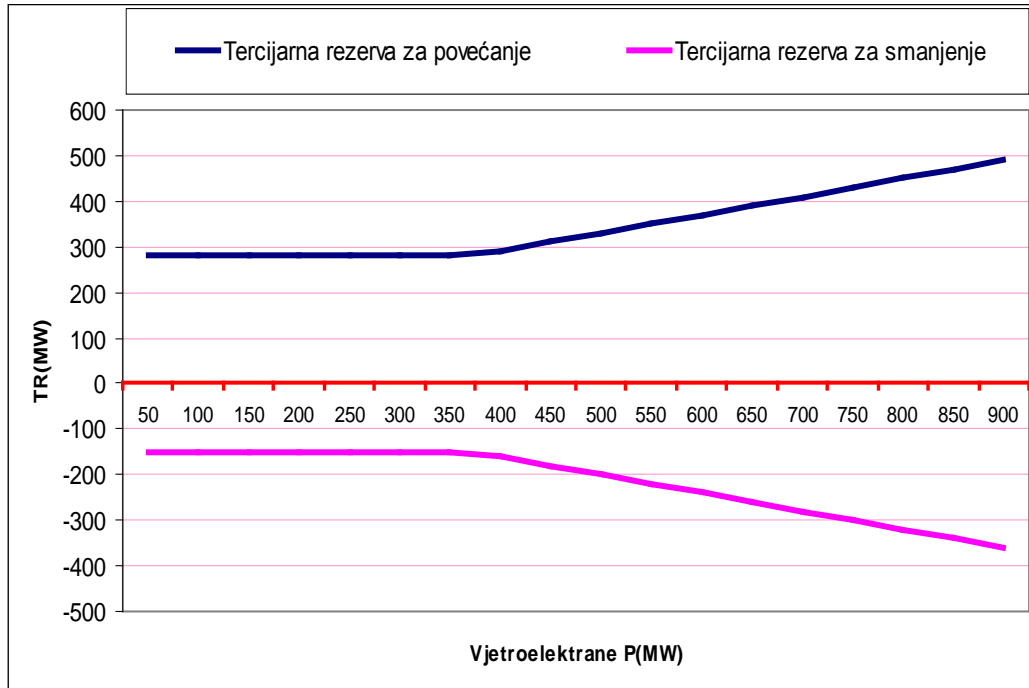
# Sustavi regulacije u EES-u



marko.lovric@hep.hr

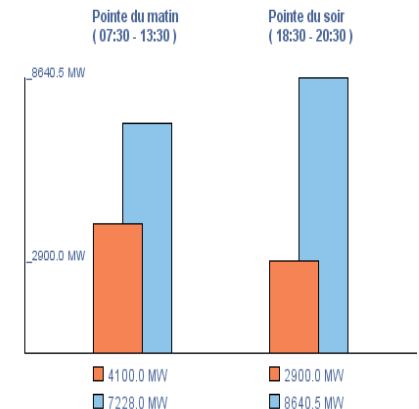


# Potrebna tercijarna rezerva snage za "ručnu" regulaciju u ovisnosti instalirane snage vjetroelektrana



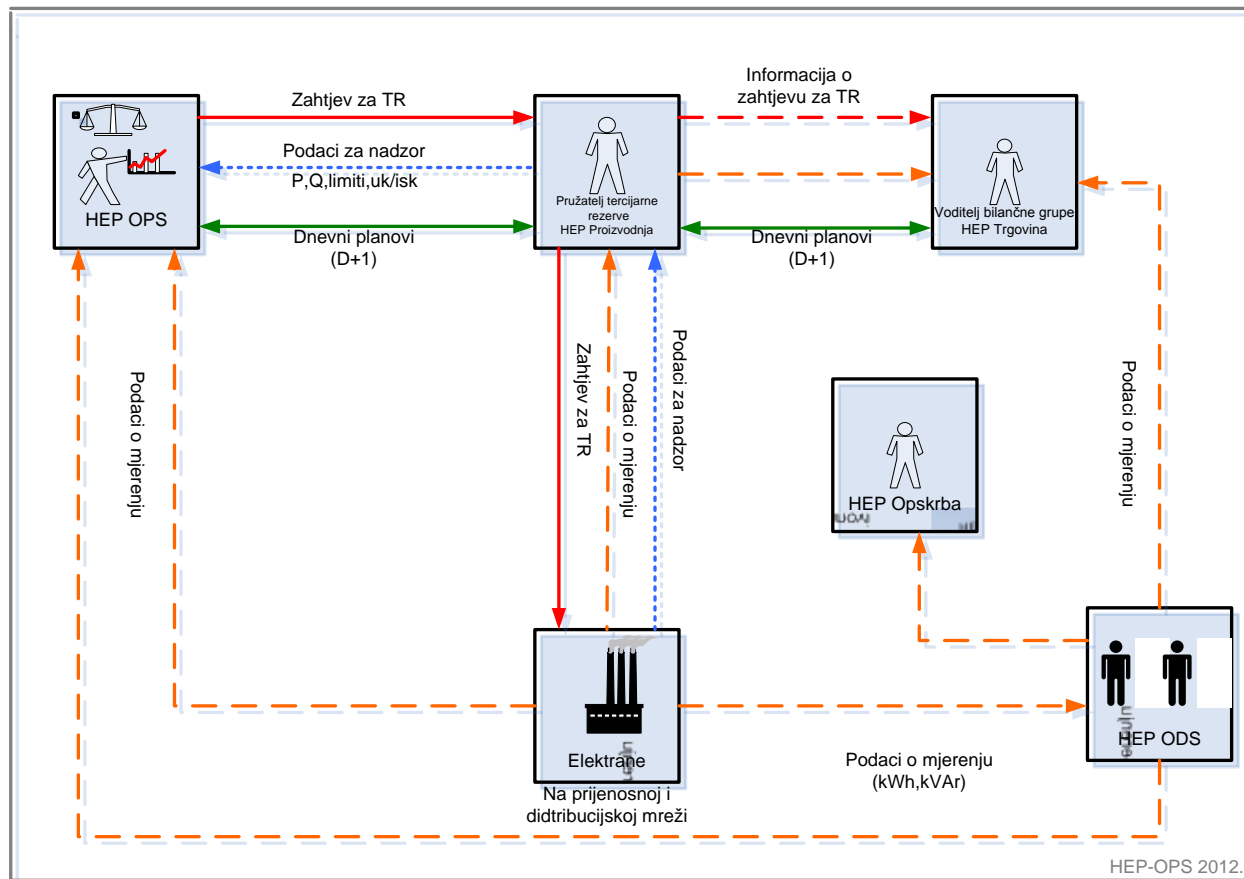
Marges journalières d'exploitation aux points de consommation

Marges d'exploitation pour la journée du 14/03/2012



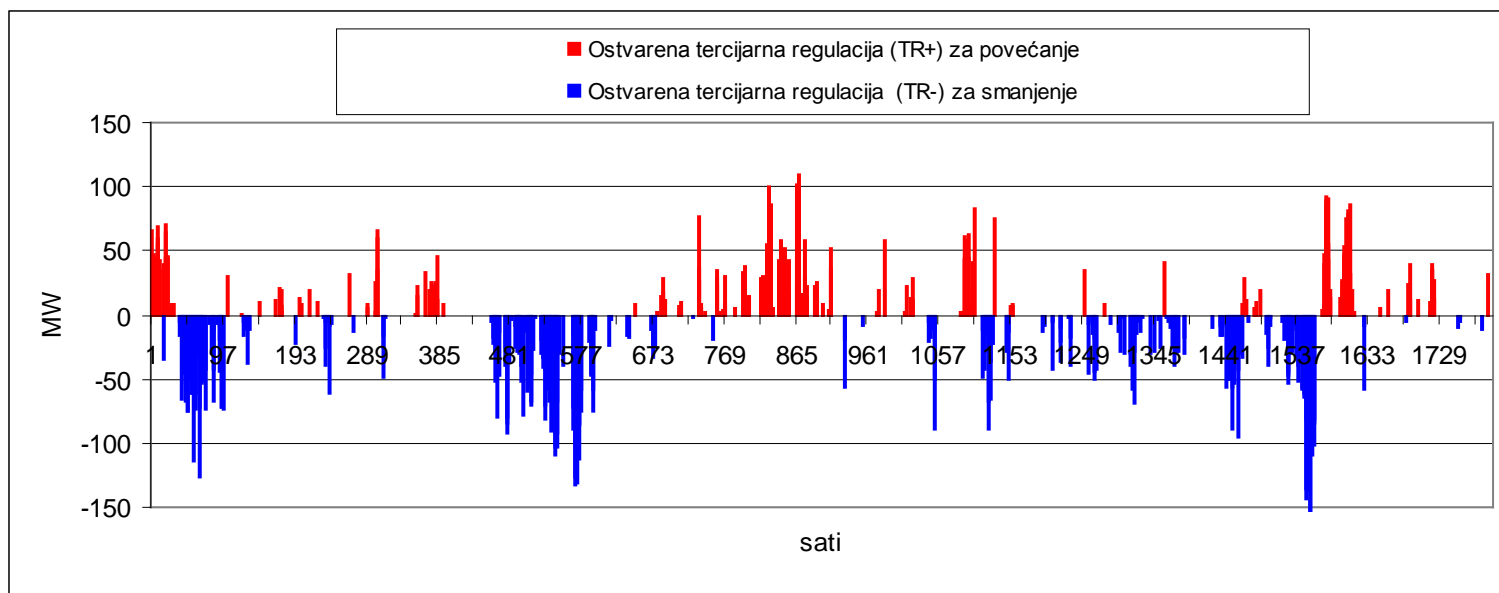
Marge disponible après élaboration du programme de marche (blue bar) / Marge requise pour la Sûreté du Système (orange bar)

# Osnovni principi angažiranja tercijarne rezerve

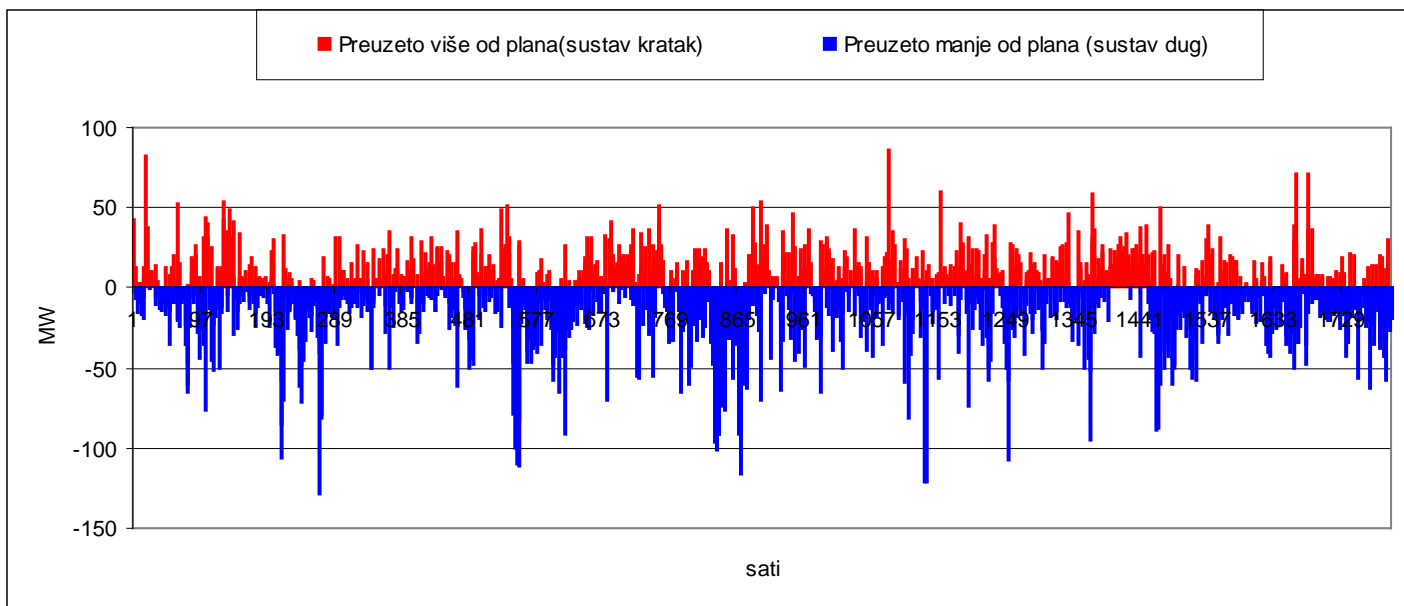


Prezentacija na FER-u, Zagreb,  
20.03.2012. godine

# Ostvarena tercijarna regulacija u razdoblju od 1.01.-15.03.2012. godine



## Ostvarena razmjena električne energije sa susjednim regulacijskim područjima - greška 1,66% od planirane razmjene –vrlo dobro



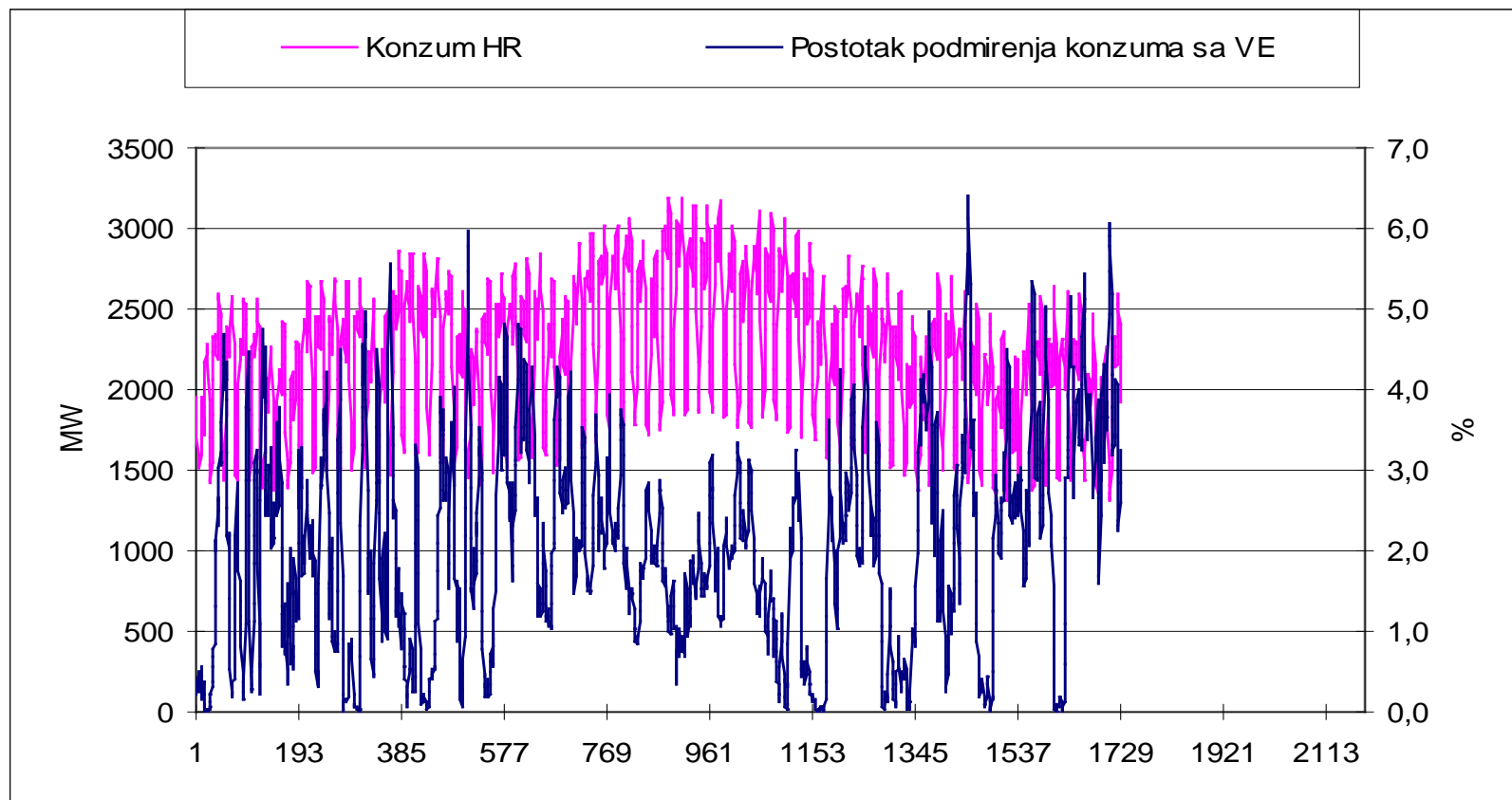
# Satno podmirenje konzuma u HR

u razdoblju 1.01. – 12.03.2012. godine

maksimalno

u HR 6,5% na satnom nivou i 3,9 na dnevnom nivou

u Svijetu (Spain) 59,6 % na satnom nivou i 34% na dnevnom nivou



# Regulacija napona i jalove snage

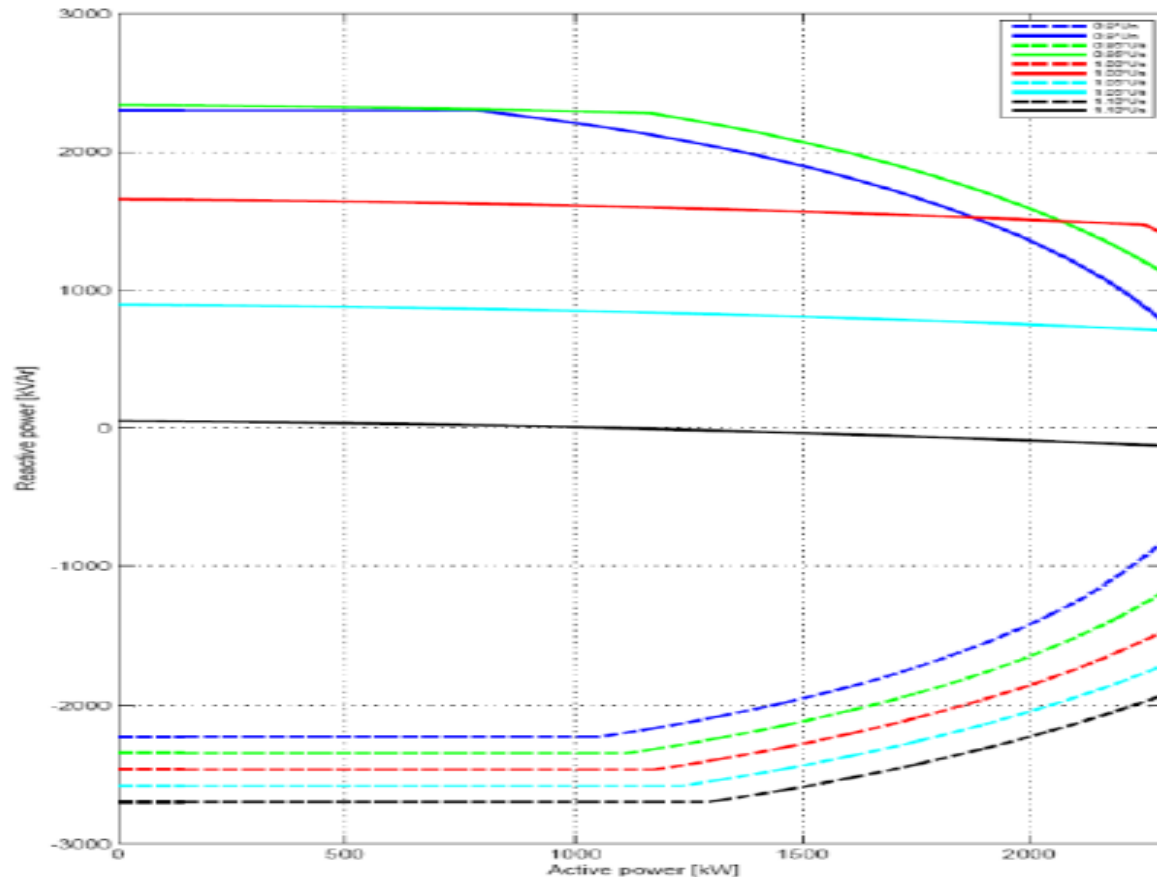
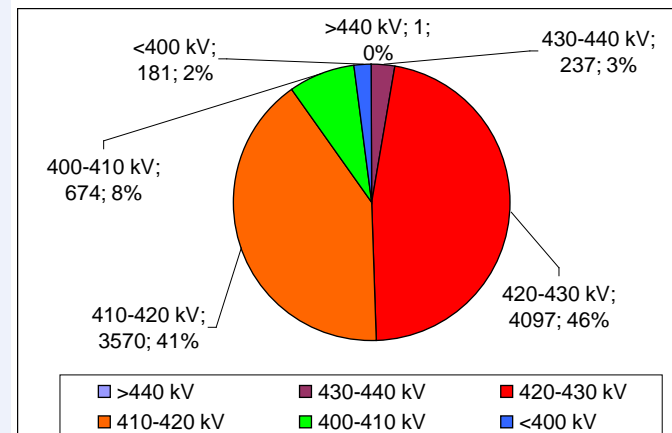
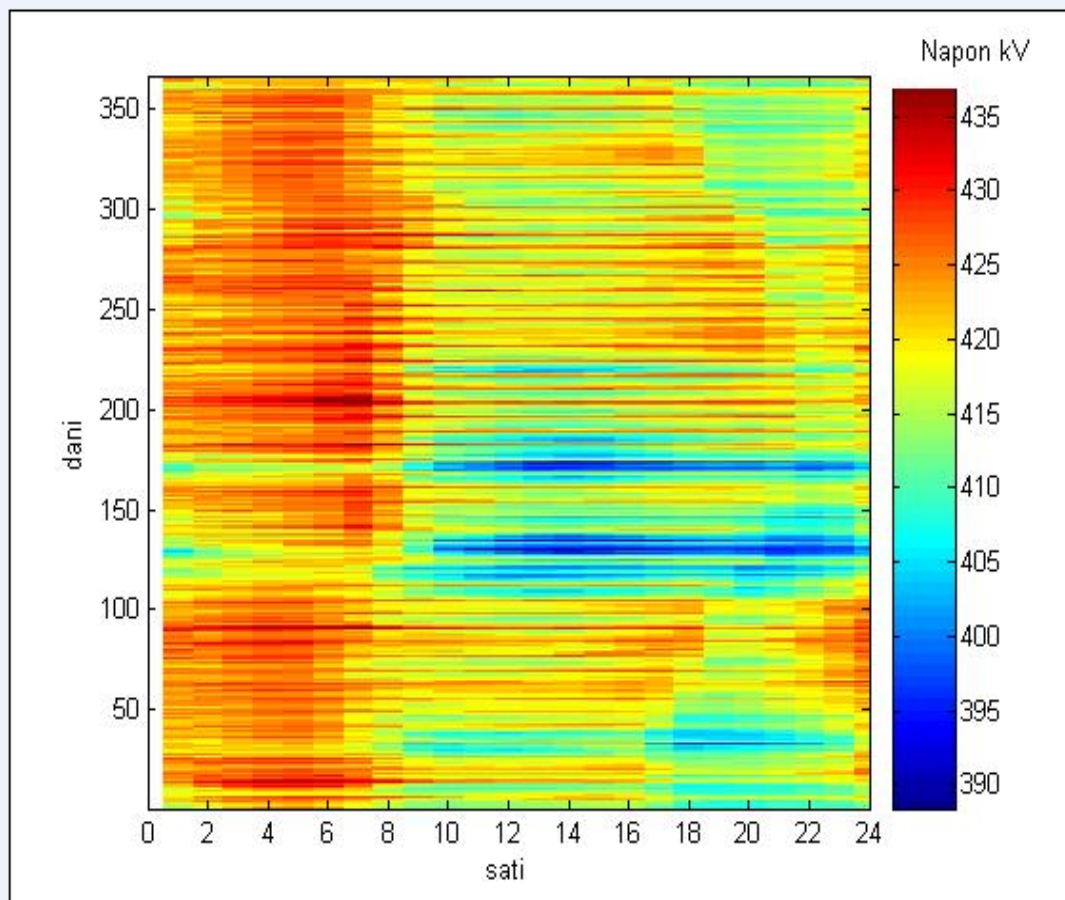


Fig. 2. Reactive power capability as function of active power and terminal voltage.  
Remark: For one wind turbine the Machine MVA-base is 2.3 MVA.

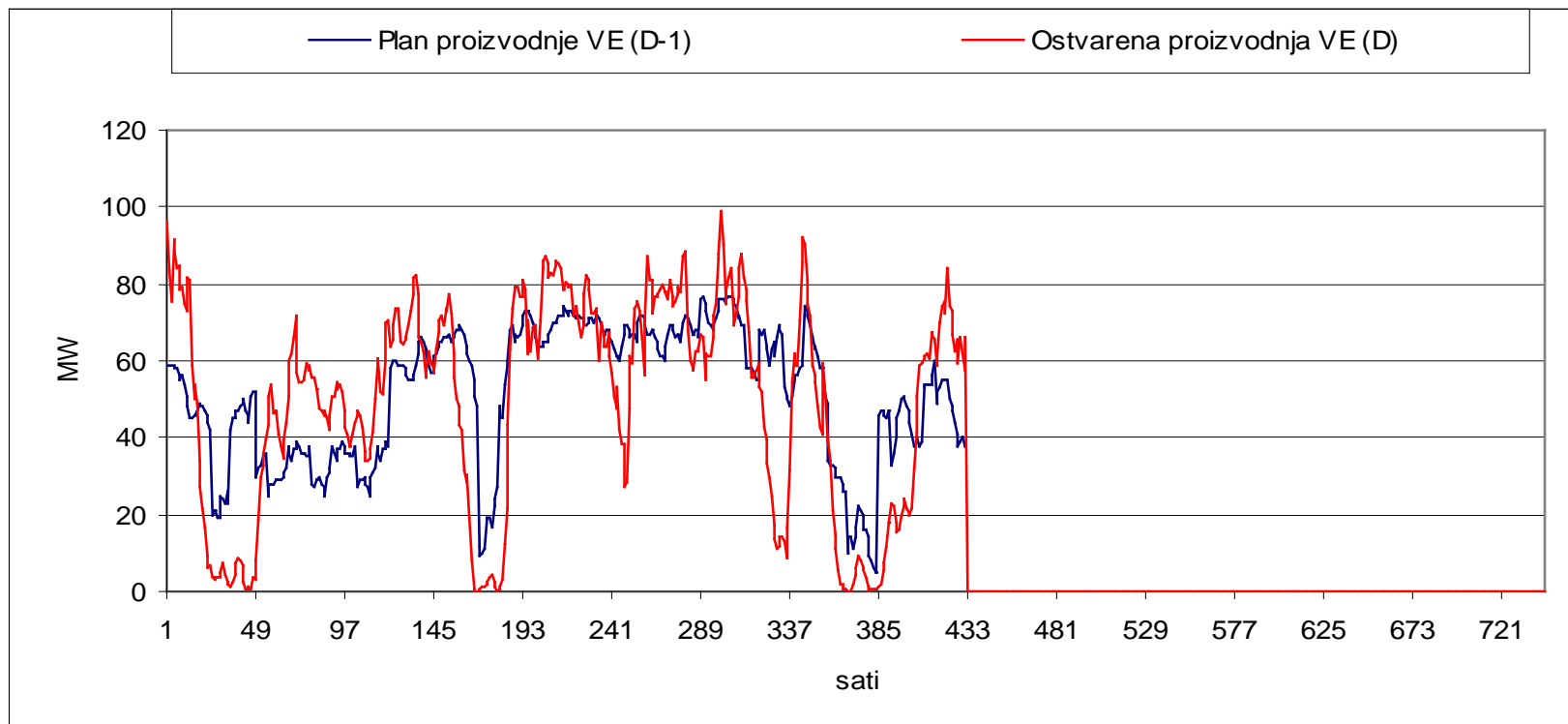
# Naponske prilike u TS Konjsko na 400 kV - 2011. godine) potrebna ugradnja prigušnice 150 MVar (10 G)

Izvršne mogućnosti VE za regulaciju napona  
400 MW u VE u Dalmaciji – Regulacija napona  
obveza +/-135 MVar za  $\cos \varphi = \pm 0,95$  - +/-9 kV u TS Konjsko  
ugovor kao pomoćna usluga +/- 200 MVar za  $\cos \varphi = \pm 0,9$  +/-13 kV u TS Konjsko



# Uporedba planirane i ostvarene satne proizvodnje VE razdoblju 1.03 do 18.03.2012. godine

greška u prognozi (brzina i smjer vjetera, temperatura zraka)  
20-30% za dan unaprijed  
5% za sat unaprijed  
2% za 15 minuta unaprijed

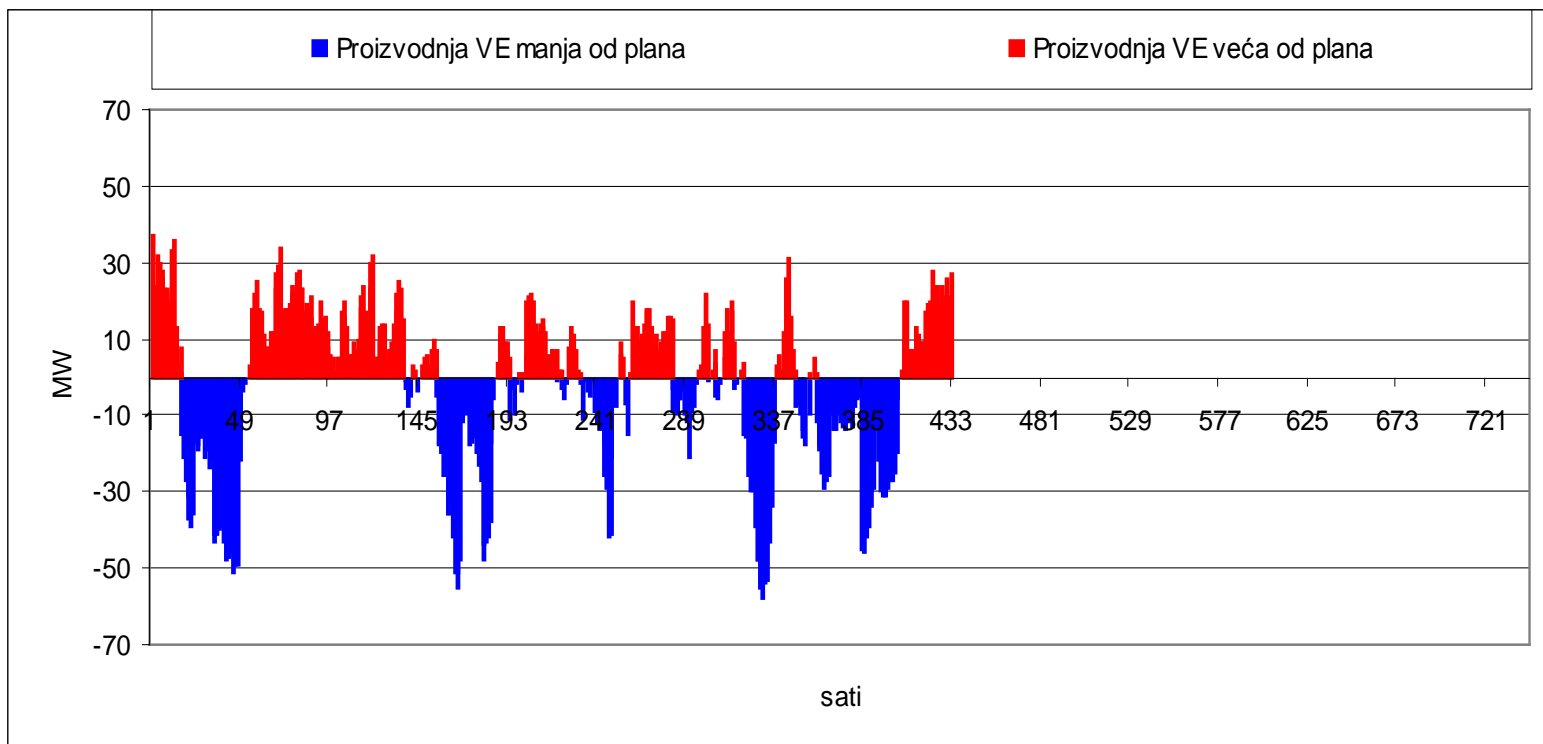




# Greška u prognozi VE

## od 1.03. – 18.03.2012. godine

Kvaliteta prognoze proizvodnje VE je bitan element za uravnoteženje u elektroenergetskom sustavu  
ima direktan utjecaj na njegovu sigurnost



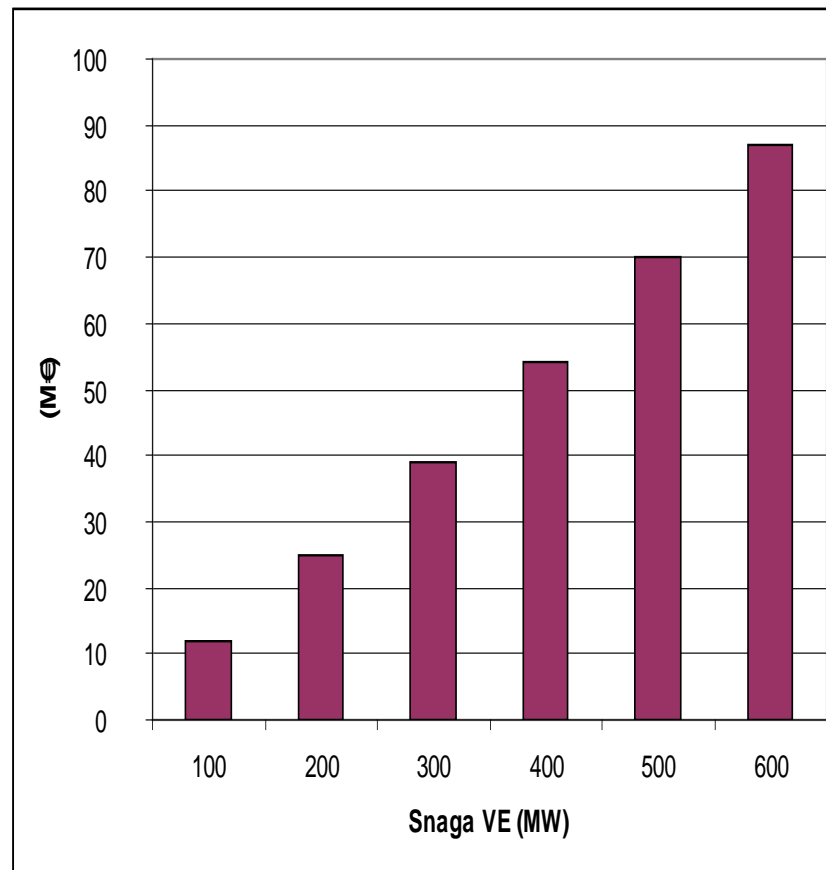
# Potrebno radno mjesto za nadzor i vođenje Vjetroelektrana u NDC HEP OPS-a za 24/24 sata *Primier Španjolska*



Prezentacija na FER-u, Zagreb,  
20.03.2012. godine

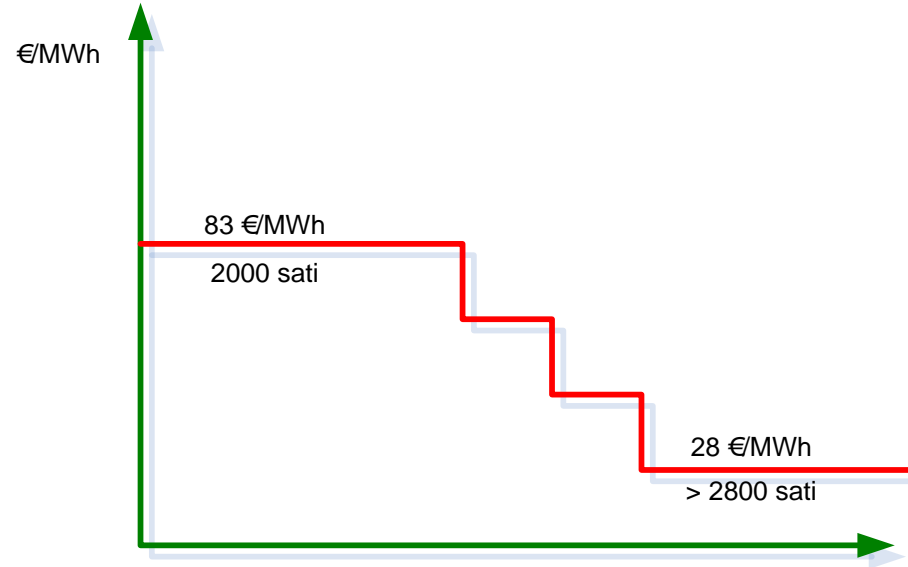
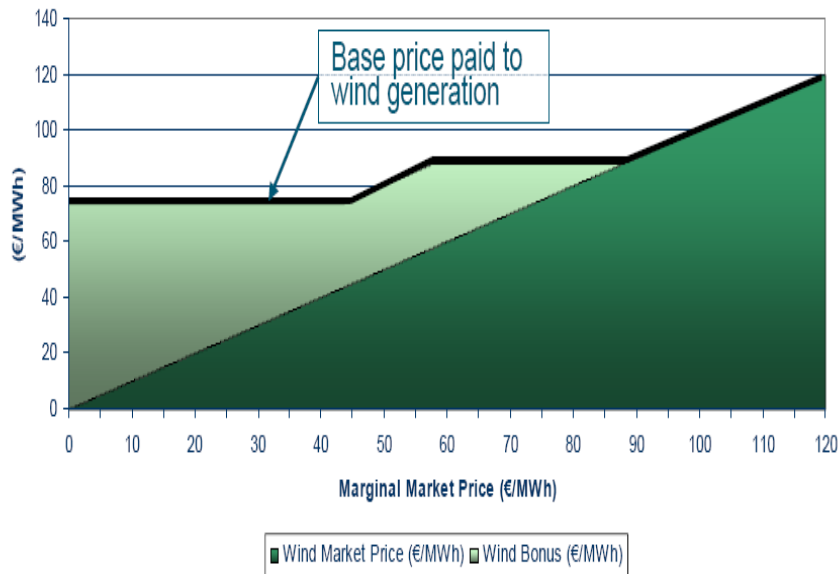
## Dodatni troškovi rada elektroenergetskog sustava i povećanje cijene električne energije koju plaćaju kupci kroz poticaje u HR na godišnjem nivou

- Razlika između otkupne cijene VE i tržišne cijene električne energije
- Dodatni troškovi snage tercijarne rezerve
- Dodatni troškovi angažiranja automatske sekundarne i aktiviranja tercijarne regulacije
- Smanjena efikasnost rada ostalih elektrana zbog prilagođenja proizvodnji VE (prednost u dispečiranju)
- Preljevi vode na HE
- Dodatni troškovi nabave električne energije dnevna nabava (Peak) umjesto u 24sata(Base)
- Uravnoteženje VE ???, prihodi HEP OPS-a (pravilnik, 10%)



# Različiti modeli otkupa električne energije iz VE u pojedinim zemljama EU (izvor-TSO RED Electrica)

*Zaštita kupaca električne energije  
Razuman povrat kapitala investitorima >15%*



Francuska, Portugal - u funkciji otkupa 10 +5 godina i vremena vremena korištenja instalirane snage

# Zaključak

- Da će hidroelektrane, prije svega akumulacijske, a nešto malo i protočne hidroelektrane (ovisno dotocima i karakteristikama kompenzacijskih bazena) najviše sudjelovati u prilagodbi/regulaciji snage svoje proizvodnje potrebama uklapanja vjetroelektrana u planu rada (voznog reda) elektroenergetskog sustava,
- U razdoblju od studenog do travnja (vlažni mjeseci hidrološke godine) u slučaju pojave vlažne hidrologije (35%), vrlo vlažne (15%) i ekstremno vlažne (5%) smanjuje se mogućnosti prilagodbe hidroelektrana u uklapanju vjetroelektrana u voznim redovima (veliki dotoci i mogućnosti preljeva vode), te se ograničavaju mogućnosti sudjelovanja HE Zakučac (samo za ekstremne slučajeve hidrologije) i HE Senj (vozi s punom snagom) u radu sekundarne regulacije snage, dok se za ostale hidroelektrane smanjuju mogućnosti sudjelovanja u tercijarnoj rezervi/regulaciji na povećanje i smanjenje snage (mogućnost preljeva),
- Za navedene slučajeve hidrologije, potrebna je prilagodba proizvodnje termoelektrana, (korištenje brze i spore tercijarne rezerve) na povećanje i smanjenje snage za uredno uklapanje proizvodnje vjetroelektrana u vozni red i uravnoteženja u elektroenergetskom sustavu,

# Zaključak

- Noćni sati u voznim redovima (22-07 sati) tijekom cijele godine predstavljat će velike probleme u učinkovitom i efikasnom uklapanju vjetroelektrana kako za hidroelektrane, tako i za termoelektrane s obzirom na njihovu angažiranost i mogućnost sudjelovanja u sekundarnoj i tercijarnoj regulaciji.
- Uklapanje plana proizvodnje vjetroelektrana u vozne redove tijekom noći (kada je cijena električne energije najjeftinija na tržištu), predstavljat će pri nabavi/prodaji električne energije na svim vremenskim razinama (od satnog do godišnjeg plana) osjetljivo i rizično pitanje, posebno u definiranju dodatnih ograničenja, mogućnosti otkazivanja, deponiranje energije, cijena i dr.
- U slučajevima vrlo suhe (85%) i ekstremno suhe (95%) hidrologije u svim mjesecima također se smanjuju mogućnosti sudjelovanja hidroelektrana u prilagodbi svoje snage proizvodnje potrebama uklapanja proizvodnje vjetroelektrana, te se dodatno mora koristiti prilagodba termoelektrana (angažiranje tercijarne rezerve na povećanje i smanjenje snage),
- RHE Velebit se može tijekom cijele godine (ovisno o dotocima i sadržaju akumulacije Štikada) koristiti u crpnom pogonu (tijekom noći) za uravnoteženje sustava s jednim ili dva agregata i time pridonijeti efikasnijem uklapanju vjetroelektrana izuzev kada su dotoci takvi da bi se mogli izazvati preljevi (ekstremno vlažna, vrlo vlažna i vlažna hidrologija u razdoblju studeni-travanj hidrološke godine,

# Zaključak

- Sve ove analize uklapanja proizvodnje vjetroelektrana u plan voznog reda elektroenergetskog sustava pokazuju da će se povećati troškovi rada ostalih elektrana (za hidroelektrane povećanja mogućnosti preljeva i manje optimalan način rada zbog dodatnog angažiranja u sekundarnoj i tercijarnoj regulaciji), također i za termoelektrane (dodatno angažiranje u tercijarnoj regulaciji pri povećanju i smanjenju snage, odstupanje od optimalnog ekonomičnog rada), a posebno bit će osjetljivo pitanje nabave i prodaje električne energije, te pitanje troškova sistemskih usluga (sekundarne i tercijarne regulacije).
- Problematiku povećanja troškova rada elektroenergetskog sustava treba posebno istražiti posebnom analizom. Procjena dodatnih troškova je od 4 - 7 €/MWh od planirane proizvodnje vjetroelektrana.
- Sustavni pristup organizaciji i razvoju procesa planiranja rada elektroenergetskog sustava kao i konkretna operativna uporaba realno primjenivih metoda i procedura planiranja na svim vremenskim nivoima jedna je od osnovnih pretpostavki za ekonomično i sigurno vođenje elektroenergetskog sustava, kao i za kontinuirano podizanje kvalitete.
- Osim toga ulazak velikog broja vjetroelektrana u elektroenergetski sustav istaknut će i povećat će značaj i ulogu toga procesa planiranja i podizanja kvalitete kod gore navedenih subjekta.

# Zaključak

- Problematika uklapanja visokog udjela vjetroelektrana u elektroenergetski sustav već duži niz godina se intenzivno istražuje po svim tehničkim, ekonomskim i regulatornim aspektima
- Istraživanja provedena na EES-u RH vrlo su skromna: opći principi i zaključci mogu se prihvatiti iz svjetske prakse, ali specifičnosti rada EES-a Hrvatske svakako je potrebno detaljno istražiti.
- Posebno je bitna implementacija odgovarajućeg tehničkog, ekonomskog i regulatornog okvira po pitanju priključka i pogona vjetroelektrana.
- Vrlo veliki broj projekata vjetroelektrana je u razvoju, realizacija se ubrzava svake godine tako da je u idućih nekoliko godina za očekivati nagli rast ukupno instaliranog kapaciteta VE :
  - Do kraja 2012. godine se očekuje u pogonu oko 200 MW
  - Do kraja 2013. godine se očekuje u pogonu oko 300 MW
  - Do kraja 2015. godine se očekuje u pogonu oko 400 MW
  - Do kraja 2020. godine se očekuje u pogonu oko ???? MW
- Posebno je otvoreno pitanje razvoja prijenosne mreže (3G, 5G i 10 G) u cilju prihvaćanja veće instalirane snage VE, pogotovo na određenim geografskim područjima s visokom koncentracijom lokacija za VE : planiranje razvoja mreže, pokrivanje investicijskih troškova razvoja prijenosne mreže ( ??? k€/MW vjetroelektrana, problem nesigurnosti realizacije planiranih lokacija...

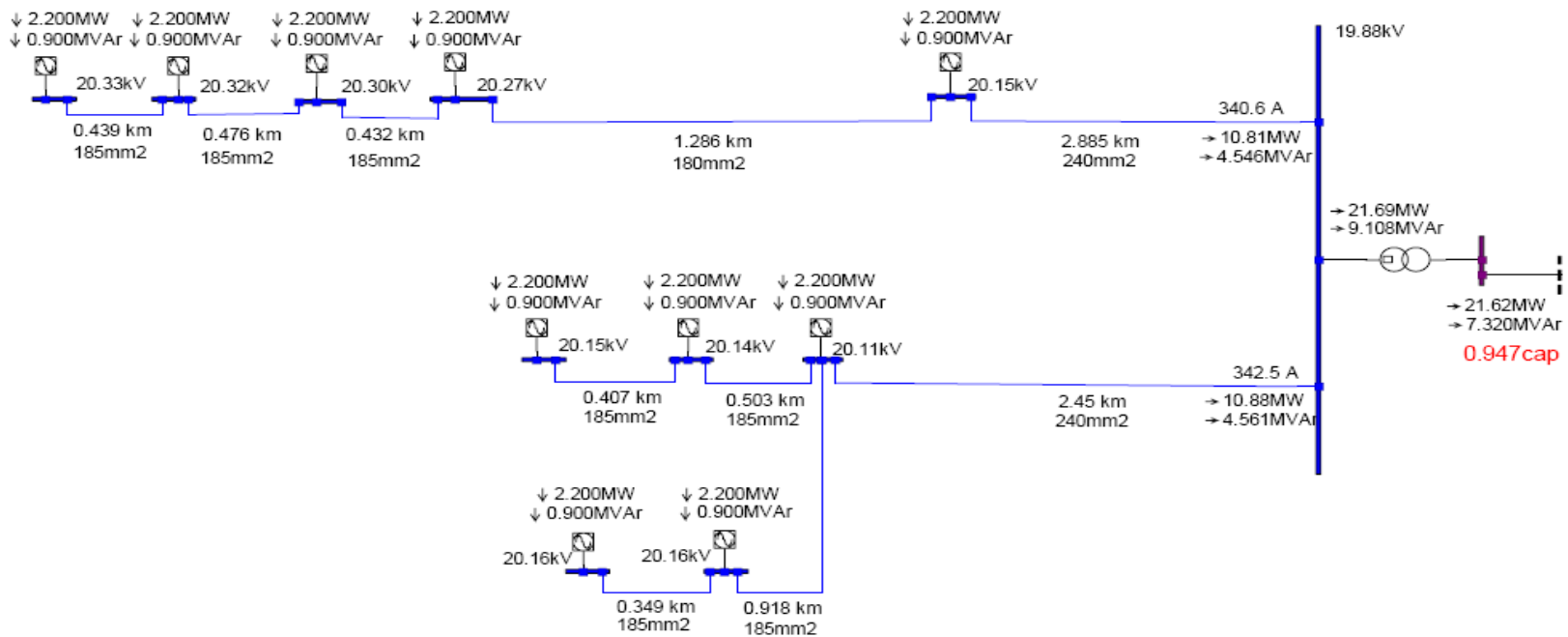


# Studija razvoja prijenosne mreže

*Elementi prijenosne mreže su mnogo jeftiniji od proizvodnih objekata i planovi razvoja prijenosne mreže se rade nakon donošenja Indikativnog plana razvoja proizvodnih objekata*

- Istraživanja trasa i lokacija na terenu
- Broj i veličina naponskih nivoa
- Osnovna struktura prijenosnog sustava
- Broj, veličina i lokacija transformatorskih stanica
- Pogonski uvjeti prijenosnog sustava
- Priključenje elektrana na prijenosnu mrežu
- Veličina, lokacija i vrsta izvora jalove snage
- Konfiguracija dalekovodne i kabelske mreže
- Tokovi radnih i jalovih snaga i naponske prilike
- Snage i struje kratkih spojeva
- Statička i dinamička stabilnost
- Gubici u prijenosnoj mreži
- Sekcioniranje mreže
- Optimalne karakteristike prijenosne mreže
- Studija stupnja korisnosti prijenosne mreže
- Pouzdanost i sigurnost napajanja potrošača
- Specijaleni problemi u prijenosnoj mreži
- Rješavanje zagušenja u prijenosnoj mreži
- Redosljed izgradnje objekta prijenosne mreže
-

# Mreža vjetroelektrane (10,20 i 30 kV) i Priključak na prienosnu mrežu razgraničenje i obračunsko mjerno mjesto



Slika 3-2 Granica raspona faktora snage VE u induktivnom području za  $P_{uk}$  22 MW

# Zaključak

- Ima li dovoljno vremena za pripremu i postepenu prilagodbu postojeće prakse planiranja i vođenja EES-a RH u uvjetima povećane razine integracije VE:
  - istraživanje parametara varijabilnosti brzina vjetra na potencijalnim lokacijama za izgradnju vjetroelektrana i varijabilnosti proizvodnje izgrađenih vjetroelektrana
  - istraživanje utjecaja varijabilnosti i nesigurnosti proizvodnje vjetroelektrana na planiranje i vođenje EES-a, osiguranje potrebnih pomoćnih usluga, sekundarne i tercijarne rezerve snage, potrebne regulacije i energije uravnoteženja itd.
  - dopuna odgovarajuće zakonske/tehničke regulative po gornjem pitanju u cilju definiranja transparentnih operativnih procedura i ekonomskih odnosa,
  - istraživanje i praktična primjena unaprijeđenih modela za planiranje rada EES-a u uvjetima visoke razine penetracije vjetroelektrana u EES,
  - istraživanje i praktična primjena prognostičkih modela za prognozu brzina vjetra u RH, suradnja HEP OPS sa DHMZ, korištenje modela neuronskih mreža
  - istraživanje mogućnosti i postepeno uvođenje potpuno komercijalnog uklapanja vjetroelektrana u tržište električne energije, s punom odgovornošću i rizicima za ugovaranje isporuke električne energije, troškova regulacije i uravnoteženja i sl. (uz dopunu odgovarajuće zakonske regulative),

## Obračun troškova energije uravnoteženja prema EU modelu

		Stanje u nacionalnom regulacijskom području	
		Sustav suficitaran/dug Potrošnja+ Izvoz < Proizvodnja +Uvoz	Sustav deficitaran/kratak Potrošnja+Izvoz > Proizvodnje +Uvoz
Odstupanje VBG	Pozitivan davanje u sustav > od primanja iz sustava	A- HEP OPS plaća VBG Cs- Cijena regulacije za smanjenje * $\beta 1$ <b>odmaže sustavu-povećava grešku</b>	A- HEP OPS plaća VBG Co- osnovna cijena na tržištu * $\alpha 1$ <b>pomaže sustavu-smanjuje grešku</b>
	Negativan davanje u sustav < od primanja iz sustava	C- VBG plaća HEP OPS Co- osnovna cijena na tržištu * $\alpha 2$ <b>pomaže sustavu-smanjuje grešku</b>	C- VBG plaća HEP OPS Cs- Cijena regulacije za povećanje * $\beta 2$ <b>odmaže sustavu-povećava grešku</b>

Keficijente  $\alpha$  i  $\beta$  (koeficijenti «odvrćanja») određuje Regulator u skladu sa prihodima HEP OPS od obračuna uravnoteženja za odstupanja VBG sa troškovima angažiranja regulacije



Hvala na pažnji !



Šezdeset minuta bilo kakvog razmišljanja neumitno vodi do zbunjenosti i tuge.

James Thurber  
(1894-1961)

Prezentacija na FER-u, Zagreb,  
20.03.2012. godine

