

Vjetroelektrane u (hrvatskom) elektroenergetskom sustavu

Izlaganje na Okruglom stolu HAZU i HO CIGRE, Zagreb, 4.5.2010.

U ovom izlaganju nismo *ni za niti protiv* vjetroelektrana; nastojimo uravnoteženo prikazati što više njihovih svojstava, uspoređujući ih s poznatim svojstvima konvencionalnih izvora i s drugim oblicima nekonvencionalne energije korištene za pretvorbu u električni oblik.

Zašto *hrvatski* u zagradama? Zato što želimo ponajprije prikazati vjetroelektrane u općenitom (bilo kojem) elektroenergetskom sustavu; ipak, bitne značajke elektroenergetskog sustava Hrvatske:

- *visok udio hidroenergije*, te su se hrvatska energetska znanost i dispečerska praksa oduvijek razvijale uz prožimanje stalnih (termoelektrane) i nestalnih (hidroelektrane) izvora električne energije;
- *visok udio uvoza* u hrvatski elektroenergetski sustav. Svaki peti kilovatsat uvozimo (svaki treći, ako dobavu iz NE Krško također smatramo uvozom);
- *visok omjer maksimalnog i minimalnog opterećenja*: gotovo 3:1 (više elektrana treba usustavu, uz slabije njihovo iskorištenje).

Poželjna svojstva

- *Obnovljivost vjetra*: potpuna; dakako statistički gledano – bit će godina s većim i godina s manjim dotocima vjetra, ali ga je na povoljnim lokacijama svake godine realno očekivati relativno ujednačeno.
- *Potencijal vjetra*: velik je. Teoretski iskoristiv svjetski potencijal vjetra cijeni se 1/3 sadašnje svjetske potrošnje primarne energije (tehnički iskoristiv?). Veći je od ukupnog svjetskog tehnički iskoristivog hidropotencijala koji se cijeni 1/4 sadašnje svjetske potrošnje primarne energije.
- *Izravnija pretvorba* prirodnog oblika energije u električni oblik energije: kinetička energija strujanja zraka–mehanička rotacijska energija na lopaticama turbine–električna energija u generatoru (poput hidroelektrane, nema vodno-parnog kruga kao u termolektranama).
- *Stupanj djelovanja* pri pretvorbi energije vjetra turboagregatima u električnu energiju: solidan (oko 34%) – manji nego li kod nekih drugih preobrazbi ali znatno veći nego kod fotoelektrične transformacije, neposrednog korištenja Sunčeva zračenja (praktički: oko 10% kod fotonaponskih ćelija razumnije cijene).
- *Podizanje sigurnosti dobave*: ostvaruje se u mjeri u kojoj se smanjuje ovisnost o uvozu kakva konvencionalnog oblika energije.
- *Mogućnost raspršenog instaliranja*: to je značajno svojstvo vjetroelektrana, te bogate zemlje potiču njihovu raspršenu gradnju jer štede uvoz goriva, angažiraju privatna sredstva za nešto korisno a ne za potrošnju. Ako su instalirane **doista** neposredno uz potražnju, prosječne snage podjednake potražnji i priključene na niski napon ili mjesni srednji napon, smanjuju prosječno opterećenje mreže na višim naponskim razinama i time gubitke.

- *Trošak pridobivanja izvornog oblika i trošak izvornog transporta:* ne postoje, a kod elektrana na fosilno gorivo taj je trošak značajan – rudnici, eksploatacijska polja nafte i plina, prijevoz i priprema goriva za preobrazbu u elektranama; toliko značajniji što je energetska sadržaj jedinice mase tog goriva manji.
- Sva ta poželjna svojstva vode tome da u Europi i svijetu naglo raste instalirana snaga vjetroelektrana. U zemljama UCTE, u 2008. godini bilo je gotovo 60 GW ukupno instalirane snage vjetroelektrana, uz godišnju proizvodnju od preko 100 TWh ([L10], [L11] i [L12], tablica 1). Zapažamo dobar „dosluh“ izgrađenosti vjetroelektrana s visinom bruto domaćeg proizvoda po stanovniku [L13].

Tablica 1. Vjetroelektrane u UCTE u 2008. godini

| Zemlja | MW ¹ | TWh ² | h/god ³ | €/stan. ⁴ |
|-------------|-----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| Njemačka | 23903 | 40,4 | 1751 | 28800 |
| Španjolska | 16754 | 31,1 | 1950 | 26700 |
| Italija | 3736 | 6,6 | 2043 | 25300 |
| Francuska | 3404 | 5,6 | 1912 | 27900 |
| Danska | 3163 | 7,0 | 2227 | 30700 |
| Portugal | 2862 | 5,7 | 2275 | 18800 |
| Nizozemska | 2225 | 4,3 | 2165 | 33800 |
| Austrija | 995 | 2,0 | 2023 | 32299 |
| Grčka | 985 | 1,7 | 1832 | 25000 |
| Poljska | 472 | 0,8 | 2139 | 14200 |
| Belgija | 384 | 0,6 | 1788 | 30100 |
| Češka | 150 | 0,2 | 1504 | 21200 |
| Mađarska | 127 | 0,2 | 2083 | 16200 |
| Bugarska | 158 | ... | - | 10200 |
| Luksemburg | 35 | 0,1 | - | 70500 |
| Hrvatska | 17,2 | 0,038 | 2217 | 14500 |
| Švicarska | 14 | ~0,0 | - | 35400 |
| Rumunjska | 10 | ~0,0 | - | 11100 |
| Slovačka | 3 | ~0,0 | - | 18300 |
| UCTE | 59398 | 106,3 | 1903 | ... |

Nepovoljna svojstva, ali svladiva...

- *Površinska distribucija:* neravnomjerna je. Na sjeveru Europe vjetra ima više nego na jugu (omjer prosječnih brzina je oko 2:1), a lokalnu neravnomjernost uvjetuje terenska konfiguracija (blizina mora, planine, ravnica, velika šumska prostranstva). *Površinska gustoća energije:* mala je. Vjetrogenerator, lociran na mjestu gdje je brzina vjetra za nazivnu snagu 20 m/s, uz godišnje trajanje od 2000 sati, ostvarivao bi godišnju proizvodnju od 3440 kilovatsati po svakom četvornom metru ploštine površine koju u vrtnji opisuje elisa. To je ipak više od površinske gustoće energije

¹ Instalirana snaga vjetroelektrana krajem 2008. godine.

² Godišnja proizvodnja električne energije u vjetroelektranama.

³ Tu je trajanje godišnjeg iskorištenja instalirane snage (h/god) iskazano omjerom godišnje proizvodnje električne energije vjetroelektrana i srednje vrijednosti instalirane snage vjetroelektrana na početku i kraju godine; $T=2*W/(P_p+P_k)$.

⁴ Bruto domaći proizvod iskazan snagom kupovne moći domaće valute.

Sunčeva zračenja na Zemljinu tlu: fotoelektričnom pretvorbom dobilo bi se oko 140 kWh/m² godišnje na našoj geografskoj širini (uz $\eta \approx 10\%$).

- *Mogućnost izvornog transporta*: dakako, ne postoji, te je nužan prijenos električne energije s mjesta moguće vjetroproizvodnje na mjesta potražnje.
- *Mogućnost izvornog uskladištenja*: dakako, ne postoji, te se vjetar mora koristiti ritmom svoga (u stanovitoj mjeri čudljivog) dotoka.
- *Mogućnost kogeneracije* (dakle istodobne proizvodnje elektrike i topline): dakako nemoguća je u vjetroelektranama, a moguća je u konvencionalnim termoelektranama, geotermalnim elektranama i elektranama na biomasu.
- Ima li se na umu *energija potrebna za proizvodnju opreme i materijala* koje treba ugraditi u postrojenja za korištenje energijom, a ne samo toj energiji adekvatan novac, onda izlazi da pojedini izvor mora neprekidno raditi neko vrijeme, da bi tek od tada postao neto-proizvođač energije. Jer treba proizvesti cement, čelik, plastiku, aluminij i razne druge materijale i pri toj proizvodnji utrošiti energiju, naglašeno za betonske temelje, čelične stupove i pristupne puteve vjetroelektrana. Trajanje energetske amortizacije je za plinsko-parne elektrane oko mjesec dana (dakle za mjesec dana pogona „vrati“ energiju uloženu u njezino opremanje i gradnju), za elektrane na ugljen oko 4 mjeseca, za veliku hidroelektranu oko 14 mjeseci, za vjetroelektrane 7-16 mjeseci a za FN-elektranu 2,6-7,1 godinu.
- *Opterećenje okoline* na mjestu transformacije vjetra u električnu energiju *u vizualnom pogledu* i *u pogledu zauzetog tlocrta* značajno je. Primjerice agregati snage 500 kW *Windparka* u Austriji na tornjevima su visine 65 metara uz promjer elise 40 metara. To je visina tornja oveće crkve ili barem 20-katnog nebodera, a samo 500 kW (!). Plinsko-turbinska elektrana u Osijeku ima dva dimnjaka približno te visine a snagu kao sto takvih vjetroelektranskih tornjeva: 50 megavata, uz svakako manji tlocrt nego li bi ga zauzelo sto vjetroagregata, uključujući dakako i pristupne puteve tim vjetroagregatima u zauzeti tlocrt (i trajno derogiranje zatečenog prirodnog ambijenta; što kažu *zeleni* na to?).
- *Opterećenje okoline* emisijom buke postoji, tako da je vjetrofarme moguće graditi samo u pustim predjelima s dovoljno vjetra ili uz puste obale, te u moru. Enervantna pokretna sjena za sunčana vremena na sjevernoj strani vjetroagregata!
- *CO₂-neutralnost*: vjetroelektrane se uzimaju kvazi-neutralnim jer iz čitavog procesnog lanca (dakle, uzevši u obzir emisiju prilikom proizvodnje opreme i materijala i potpuni izostanak emisije prilikom korištenja) emitiraju 13-22 grama ekvivalenta CO₂ po proizvedenom kilovatsatu tijekom svoga vijeka trajanja, kod FN-elektrana ta je emisija oko 200 g/kWh, a termoelektrana na kamenu ugljen ta je emisija oko 900 grama po svakom kilovatsatu (plinske elektrane po prilici polovina).
- *Utjecaj na zapošljavanje*: moguć; dakako zamislivo je – pretpostavljajući dugoročno građenje vjetroelektranskih parkova s velikim brojem standardiziranih agregata – zapošljavanje većeg broja vlastitih radnika, ali je neekonomično razvijati proizvodnju malog broja agregata jer bi oni bili preskupi, na žalost: jeftinije će ih biti uvesti od onoga tko ima velike serije. Treba barem znatnije favorizirati proizvodnju vjetroelektrana što je uvozni udio u toj izgradnji manji. Danas u nas: punu otkupnu cijenu proizvodnje koriste one vjetroelektrane kod kojih je udio domaće komponente jednak ili veći od 60%, a s faktorom 0,93 množi se garantirana otkupna cijena ako je udio domaće komponente manji ili jednak 45% [D7].
- *Podizanje pouzdanosti napajanja*: praktički neostvariva, jer ovisi o vjerojatnosti da će biti vjetra pri raspadu sustava ili nestanku napona u lokalnoj mreži i da će dotok vjetra odgovarati trenutnoj potražnji električne energije – morali bismo takvom

sustavu dodati i uređaj za akumuliranje električne energije što bi ga dopunski poskupjelo, a dolazi u obzir samo za manje količine akumulacije.

- U ovome prikazu ne osvrćemo se na rješiva ali relativno brojna i važna *tehnička pitanja* integracije vjetroelektrana u EES, kao što su: dogradnja lokalne i/ili prijenosne mreže radi evakuacije proizvodnje vjetroelektrana, regulacija napona i kompenzacija jalove snage, stabilnost pogona, utjecaj na struje kratkog spoja, prilagođenje zaštite u mreži, utjecaj na kvalitetu napajanja, ..., ograničavamo se na osnovna energetska pitanja njihove integracije.

Nepoželjna svojstva

- *Oscilacija prirodnog dotoka*: najveća moguća – između 0% i 100%; pri premalom vjetru ili pri prevelikom vjetru, vjetroelektrana se mora obustaviti. Vjetar pripada tzv. nestalnim oblicima prirodne energije (za razliku od npr. biomase ili geotermalne energije, što su stalni oblici obnovljive energije). Aerodinamička snaga vjetra ovisi o trećoj potenciji brzine vjetra. Električna snaga generatora vjetroagregata smanjuje se zbog aerodinamičkih gubitaka i kočenja svojstvenih izvedbi agregata. Tipično, snaga se vjetroagregata s brzinom vjetra mijenja ovako (slika 1, [L14]):

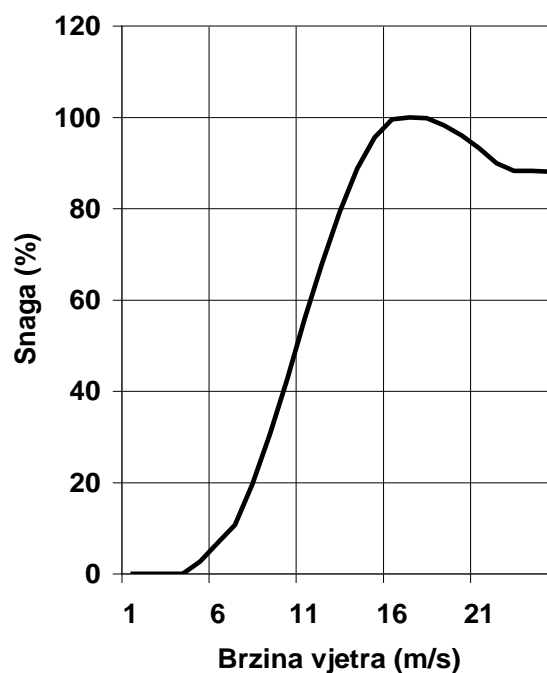
-0 do 3 m/s, generator isključen s mreže

-veća od 3 do 13-15 m/s, snaga srazmjerna brzini vjetra na treću potenciju, promjeni li se brzina od 10 na 5 m/s, snaga padne na osminu

-veća od 15-17 do ~25 m/s, snaga je jednaka nazivnoj uz blagi pad na nešto manje od 90%

-veća od ~25 m/s (90 km/h), generator isključen s mreže.

Takav plasman snage vjetroelektrana trenutno moraju sanirati regulacijske elektrane u sustavu, neprekidno u vrtnji. Naglašeno nepovoljan je trenutni ispad vjetroelektrane s mreže pri gotovo punoj snazi u slučaju nailaska oluje.



Slika 1. Dijagram snaga-brzina vjetra tipičnog vjetroagregata

- *Trajanje iskorištenja instalirane snage* (omjer godišnje proizvodnje i instalirane snage) doista je skromno. U svim vjetroelektranama u UCTE to je trajanje bilo 1903 sati godišnje (2008, tablica 2 [L10] i [L12]), to dakle znači da bi vjetroelektrane proizvele svu energiju uz maksimalnu snagu, koju godišnje proizvedu uz neravnomjernu snagu, za oko 20% trajanja godine. Slikovitije: kada bi svaki peti dan vjetroelektrane radile punom snagom, četiri dana bi posve mirovale. Dakako, u stvarnim prilikama ima razdoblja u kojima one rade punom snagom, pak razdoblja kada rade smanjenom snagom i razdoblja kada doista uopće ne rade.

Tablica 2. Trajanje iskorištenja raspoložive/instalirane* snage sveukupno u UCTE 2008 (h/god)

| | |
|------------------------|-------------|
| Nuklearne elektrane | 6910 |
| Termoelektrane | 4002 |
| Hidroelektrane | 2245 |
| Vjetroelektrane/* | 1903 |
| Elektrane na ostale OI | 3947 |
| Sveukupno elektrane | 3935 |

- Dolazimo do najteže prihvatljivog svojstva – *nužnost rezerve u konvencionalnom elektroenergetskom sustavu*: na 1 megavat instalirane snage u vjetroelektranama treba u njemačkim prilikama držati 0,85-0,95 megavata rezerve u drugim (konvencionalnim) elektranama [L15], dakle vjetroelektrana šteti gorivo ali traži za sebe praktički još jednu takvu elektranu u sustavu, *pri čemu će stupanj iskorištenja konvencionalnih elektrana biti umanjen (dakle poskupjet će njihova proizvodnja), jer će stajati u razdobljima kada ima vjetra.*

Ilustrirajmo to podacima o vjetroprirodnosti u Njemačkoj ostvorenoj 2007. godine [L8] (iskazano postocima ukupne instalirane snage vjetroelektrana; na početku/kraju godine to je bilo 20622/22247 MW):

| | |
|---|-------|
| -maksimalni istovremeni angažman | 87,9% |
| -minimalni istovremeni angažman | 0,5% |
| -broj mjeseci kada je maksimalni angažman bio manji od 75% | 8 |
| -broj mjeseci kada je minimalni angažman bio u rasponu 0,5-1% | 6 |

Konačno, broj mjeseci kada je proizvodnja bila manja od 50% najveće mjesečne proizvodnje bio je 2007. godine 8. Usput, u njemačkim vjetroelektranama ostvarena je te godine netoprirodnost od 39,5 TWh.

Zemlje s visokim udjelom proizvodnje u hidroelektranama (jučer) i/ili vjetroelektranama (danas) imaju u pravilu vrlo visoku rezervu u raspoloživoj snazi u odnosu na vršno opterećenje, tablica 3, prema [L10] i [L12]. Rezerva je ovdje računata kao razlika ukupne raspoložive snage svih elektrana i vršnog opterećenja. Za sve zemlje UCTE, kod kojih je udio nestalnih izvora u proizvodnji električne energije prosječno 15,7% ta je rezerva 74,2% vršnog opterećenja. U zemalja u kojima je udio nestalnih izvora znatan, ta je rezerva negdje čak veća od 100% (Austrija, Bosna i Hercegovina, Španjolska i Danska)! Mi smo imali 2008. godine znatno manju rezervu (37,2%) uz udio nestalnih izvora (hidroelektrane) od oko 30%.

Zemlje s visokom izgrađenošću vjetroelektrana, njihovom instaliranom snagom „zauzimaju“ 36-49% rezerve elektroenergetskoga sustava (Njemačka, Španjolska, Danska, Portugal).

Tablica 3. Zemlje UCTE s visokim udjelom nestalnih izvora 2008

| Zemlja | Proizv. HE+VE/ Potrošnja (%) | Rezerva/ Vršno opt. (%) | Snaga VE/ Rezerva (%) |
|------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Švicarska | 58,4 | 76,8 | 0,2 |
| Austrija | 56,9 | 109,9 | 9,9 |
| Bosna i Herceg. | 39,7 | 115,6 | 0,0 |
| Crna Gora | 32,6 | 43,6 | 0,0 |
| Rumunjska | 30,4 | 112,3 | 0,1 |
| Hrvatska | 29,6 | 37,2 | 1,8 |
| Slovenija | 27,6 | 70,4 | 0,0 |
| Srbija | 25,6 | 29,0 | 0,0 |
| Portugal | 24,5 | 68,8 | 47,0 |
| Španjolska | 20,7 | 108,6 | 36,2 |
| Danska | 19,4 | 102,5 | 49,5 |
| Njemačka | 11,5 | 73,9 | 41,8 |
| ... | ... | ... | ... |
| UCTE, sveukupno | 15,7 | 74,2 | 20,7 |

Promatramo prirast raspoložive snage svih elektrana (za vjetroelektrane: prirast instalirane snage, [L12]) u zemljama UCTE u 2008. godini spram 2007. godine, tablica 4, prema [L10]. Vidimo da je prirast snage konvencionalnih elektrana veći od prirasta snage vjetroelektrana, te da je prirast snage elektrana na ostale obnovljive izvore (prvenstveno: biomasa i otpad) praktički podjednak prirastu vjetroelektrana – naravno, jer za njihovu veličinu ne treba dograđivati konvencionalni sustav – gorivo im je uskladišteno i koristi se u ritmu potražnje.

Tablica 4. Prirast snage 2008. spram 2007. godine u UCTE (MW)

| | |
|------------------------|--------------|
| Nuklearne elektrane | 34 |
| Termoelektrane | 9292 |
| Hidroelektrane | 705 |
| Vjetroelektrane | 7074 |
| Elektrane na ostale OI | 6432 |
| Sveukupno elektrane | 23537 |

- Značajniji dio konvencionalnih elektrana mora imati *visoka regulacijska svojstva* (mogućnost brze promjene MW/s). Ilustrirajmo to opet njemačkim podacima za 2007. godinu [L8] (postocima ukupne instalirane snage elektrana):

- najveća (uzastopna) 15-minutna varijacija ukupnog angažmana 5,3%
- najveća dnevna varijacija ukupnog angažmana 65%
- broj mjeseci u kojima je 15-minutna varijacija bila u rasponu 4,3-5,3% 5
- broj mjeseci u kojima je dnevna varijacija bila u rasponu 50-65% 4

- Ostvaruje se jedna posve nova dinamika opterećenja brojnijih regulacijskih agregata u sustavu kao i nova dinamika *vrijednosti i smjera opterećenja vodova* u prijenosnoj mreži, vodova koji međusobno povezuju područja s vjetroelektranama i područja s regulacijskim konvencionalnim elektrane. Nijemci smatraju da će u razdoblju do 2015. godine, radi dogradnje vjetroelektranama morati dograđivati

prijenosnu mrežu vodovima 380 i 220 kV u ukupnoj duljini od 850 kilometara i utrošiti za to 1,1 milijardu eura.

Troškovi gradnje i cijena električne energije

- **Troškovi gradnje:** veći su nego li za konvencionalne termoelektrane (uzeto po jedinici snage), no to se uporno smanjuje – utječu na to sve veće serije jednakih vjetroagregata, dakako samo kod ponuđača tih agregata koji ih velikoserijski proizvode. Današnja investicijska cijena za vjetroelektrane na kopnu je oko 900-1200 eura/kW, znatnije veća od investicijske cijene plinsko-parne termoelektrane (550-850 eura/kW).
- **Cijena proizvedene električne energije** još uvijek je nekonkurentna cijeni proizvodnje u konvencionalnim elektranama. Dok je sredinom 2009. godine cijena temeljne električne energije na lajpciškoj burzi EEX bila oko 4,5 eurocenta/kWh, dotle je garantirana otkupna cijena vjetroelektrične proizvodnje u Hrvatskoj bila 8,9-9,6 centa/kWh (0,65-0,71 kn/kWh⁵) [D7], a u Europi između 5,7 i 12,7 centa/kWh. Prema [D8] za namicanje sredstava za otkup nekonvencionalne proizvodnje u Hrvatskoj svi kupci električne energije plaćaju 0,5 lipa/kWh u 2010. godini.
- Na dulji rok, svakako treba računati s tim da će konvencionalna energija biti sve skuplja, zbog iscrpljivanja zaliha i sve strožih zahtjeva spram emisija u okoliš, a da će oprema za proizvodnju električne energije iz nekonvencionalnih izvora postupno postajati sve jeftinija zbog tehnoloških poboljšanja te sve masovnije i diversificiranije proizvodnje. Stoga, primjerice Nijemci za vjetroelektrane koje će biti izgrađene u narednim godinama, propisom imaju uređenu *upornu digresiju otkupnih cijena*, smanjenje od oko 2% godišnje, ali se cijene dižu za godišnju inflaciju (kao i kod nas⁵, [D7]). Početkom 2008. godine otkupna cijena vjetroprirodne u Njemačkoj bila je 8,5 eurocenta/kWh u prvih pet godina pogona a 5,4 eurocenta/kWh za otkup nakon pet godina pogona vjetroelektrana na kopnu, ali to se razdoblje značajno produljuje obrnuto ovisno o trajanju godišnjeg iskorištenja instalirane snage na pojedinoj lokaciji.
- **Povećani pogonski troškovi u sustavu** (regulacijske elektrane, pomoćne usluge) radi vjetroprirodne teško su razlučivi, ali nesporno postoje. Prema [L16], kreću se oko 0,1-0,4 centa po svakom proizvedenom kilovatsatu u vjetroelektranama, bez uračunavanja troškova pokrića povećanih gubitaka u mreži. Dakle za godišnju vjetroprirodnu od 1 TWh ti bi troškovi bili 1-4 milijuna eura.
- **Troškovi dogradnje mreže** zbog dogradnje vjetroelektrana ovise o udaljenosti lokacija pogodnih za vjetroprirodnu i izgrađenosti zatečene prijenosne mreže do glavnih čvorišta potrošnje ili čvorišta regulacijskih elektrana, i nisu godinama isti, te ih je teško univerzalno iskazati. Ipak, prema [L16], reda su veličine oko 100 eura po svakom dograđenom kilovatu vjetroelektrana, uz velika odstupanja (u Njemačkoj: 200 eura po kilovatu).

⁵ Prema [D7] garantirana otkupna cijena proizvodnje vjetroelektrana bila je u 2007. godini 0,64 kn/kWh iz vjetroelektrana snage do 1 MW, a 0,65 kn/kWh ako je snaga veća od 1 MW, a u 2010. godini 0,71 odnosno 0,721 kn/kWh, djelovanjem inflacije. U slučaju vjetroelektrana većih od 1 MW, plaća se lokalnoj samoupravi naknada od 0,01 kn/kWh dakle „neto“-otkupna cijena je opet približno 0,71 kn/kWh.

- Rezimirajmo ukupnim godišnjim novčanim opterećenjem vjetroelektranama, primjerice u Njemačkoj 2008. godine (kada je udio proizvodnje VE bio 6,4% brutopotrošnje, a 15,1% ukupni udio obnovljivih izvora):

| | |
|--|-------------------------|
| -dogradnja novim VE (1665 MW * 1,5 milijuna €/MW) | ~2,5 milijarda € |
| -otkup vjetroelektrične proizvodnje (40,5 TWh * 0,088 €/kWh) | ~3,6 milijarda € |
| -pogonski troškovi u sustavu (40,5 * 0,002 €/kWh) | ~0,1 milijarda € |
| -dogradnja mreže radi VE (1665 * 200 €/kW) | ~0,3 milijarda € |
| -dogradnja konvencionalne rezerve (0,9*1665*0,7 milijuna €/MW) | <u>~1,0 milijarda €</u> |
| Ukupno | ~7,5 milijarda € |

Po jednom stanovniku (ukupno je 82 milijuna stanovnika) izlazi oko 90 €/stan. To učestvuje u BDP (2008. godine prema paritetu kupovne moći: 28800 €/stan) sa zavidnih nešto više od 0,3% bruto domaćeg proizvoda po stanovniku. Treba imati *dovoljno velik* BDP da bi se samo za vjetroelektrane moglo izdvojiti čak toliki dio!

Zašto, uopće, gradimo vjetroelektrane?

Ako je tome svemu tako, *a tako jest*, zašto uopće gradimo vjetroelektrane? Koriste obnovljivi (doduše nestalni) izvor energije solidnog potencijala znatnije gustoće od Sunčeva zračenja, omogućuju raspršeno instaliranje, prirodni oblik energije gotovo se izravno pretvara u najplementiji oblik (električni) energije, prigušuju rast uvoza primarnih oblika energije, ostvaruju uštedu goriva za konvencionalne elektrane i – s tim u vezi – smanjuju opterećenje okoliša stakleničkim plinovima. Doduše, posve precizno govoreći, ne baš u mjerilu *jedan-prema-jedan*, dakle ta ušteda ne odgovara baš potpuno cjelokupnoj proizvodnji u vjetroelektranama. Naime, dio konvencionalnih elektrana koje trebaju biti spremne da prezumu iznenada izostalu proizvodnju vjetroelektrana, imat će manje godišnje iskorištenje i djelomice će raditi pod nepovoljnijim stupnjem djelovanja od optimalnog, te će se u njima za takav pogon utrošiti više goriva po jedinici proizvedene električne energije nego li bi se utrošilo da rade u optimalnom području.

Dodajmo, na kraju: **društvo mora biti dovoljno bogato da se naglašenije okrene vjetroproizvodnji (nužnost rezerve!).**

Hrvatske prilike

Studija opsežno prikazana i obrazložena u [L9], koja je uz prilike u EES Hrvatske iz 2005. godine (min/maks.opterećenje ~1100/2900 MW) razmatrala priključak potencijalnih VE ukupne instalirane snage 1560 MW; nalazi to mogućim tek uz ozbiljniju dogradnju mreže. Evakuacijska sposobnost tadašnje mreže 110 kV bez dogradnje je 923,5 MW.

Bitniji nalazi te studije su sljedeći:

- maksimalna satna varijacija snage VE je oko 40% ukupne instalirane snage (923,5 MW), odnosno do 200 MW (22%) unutar 99% promatranog razdoblja
- maksimalna dnevna varijacija snage VE je 95% ukupne instalirane snage
- 48-satna rezerva bila bi gotovo 100% (točno 98%) ukupne instalirane snage

Zaključci te studije su:

- regulacijske elektrane (sekundarna regulacija) trebaju biti oko 50% ukupne instalirane snage VE

-dnevna, 48-satna i mjesečna rezerva (sekundarna i tercijarna regulacija) treba biti na razini 100% ukupne instalirane snage VE

-time je sadašnja dopuštena granica snage hrvatskih VE 300-400 MW

-danas su u sekundarnoj regulaciji HE Zakučac, HE Senj i HE Vinodol, ako su sve u pogonu, uz realni raspon regulacije 90-280 MW (zima-ljeto), jer je dio rezerviran – obveza prema UCTE: 78 MW

-tercijarna regulacija: sve HE (ukoliko je raspoloživo dovoljno vode), TE Rijeka (ako je u pogonu), TE Sisak (ako je u pogonu), KTE Jertovec, PTE Osijek.

Sadašnja, službeno utvrđena granica ukupne snage vjetroelektrana u hrvatskom elektroenergetskom sustavu je 360 MW, utvrdio ju je HEP-OPS uz pribavljeno pozitivno mišljenje Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva [D11], ponajprije radi regulacijskih svojstava sustava.

Pri tome treba paziti da je granica primjene poticajne cijene otkupa električne energije iz vjetroelektrana postizanje 80% ukupne proizvodnje iz obnovljivih izvora koja se potiče, dakle barem 20% energije *mora* biti iz drugih poticanih izvora obnovljive energije [D7].

Strategijom energetskog razvoja Hrvatske [D10] za 2020. godinu predviđa se 1200 MW u vjetroelektranama. Neće li tada biti nedovoljna instalirana snaga konvencionalne rezerve, odnosno elektrana na stalne izvore energije? Pitanje postaje još naglašenijim, ukoliko se izgradnja vjetroelektrana ostvari prema Strategiji (interes za tu gradnju u nas velik je), a izgradnja elektrana na stalne izvore značajnije podbaci.

Strategija, predvidjela je ukupnu izgradnju elektrana od zaokruženo 4400 MW⁶ do 2020. godine (nove elektrane i zamjena onih kojima je istekao vijek trajanja), dakle *puštanje u pogon 400 novih megavata svake godine!* U 2020. godini predviđa se ukupna instalacija od 6200 MW, vršno opterećenje od 4767 MW, te bi rezerva bila 1433 MW (30%). Dakle, vjetroelektrane „pojele“ bi 83,7% te rezerve, da li je to razumno!? Rezerva inače treba pokriti:

- izostali vjetroangažman,
- izostali hidroangažman protočnih HE (vrlo značajno, za nas),
- neočekivani dugotrajniji zastoj bilo koje proizvodne jedinice u sustavu.

Sadašnje stanje izgrađenosti vjetroelektrana (zapravo vjetroparkova) u Hrvatskoj prikazuje tablica 5, prema podacima HROTE.

Tablica 5. Vjetroelektrane u Hrvatskoj 2009

| Vjetroelektrana | Priključni napon (kV) | Snaga (MW) | Proizvodnja (GWh) | Trajanje (h/god) |
|--------------------|-----------------------|------------|-------------------|------------------|
| Ravne 1 | 10 | 5,95 | 9,4 | 1580 |
| Trtar-Krtolin | 30 | 11,20 | 31,6 | 2820 |
| Orlice (XII.mjes.) | 30 | 9,60 | 0,99 | ... |

⁶ velike HE 300 MW (uključujući HE Lešće)
 termoelektrane na plin 1200 MW (uključujući one u izgradnji)
 termoelektrane na ugljen 1200 MW
 kogeneracijske elektrane 300 MW
 vjetroelektrane 1200 MW
 male HE 100 MW
 elektrane na biomasu 85 MW

Bitna pitanja, za nas

- 1) Kolika je opravdana granica udjela vjetroelektrana u našem EES?
- 2) Koliki je očekivani udio regulacijskih elektrana u našem EES?
- 3) Mogućnosti jačeg favoriziranja domaće komponente u izgradnji vjetroelektrane pri određivanju garantirane otkupne cijene?
- 4) Da li je opravdano prigušivanje garantirane otkupne cijene vjetroprirodnje u nas, za nadolazeće vjetroelektrane?

Mogući odgovori

- 1) *Kolika je opravdana granica udjela vjetroelektrana u naš EES?*

Sadašnju granicu ukupne instalirane snage vjetroelektrana u EES Hrvatske ostaviti na razini 360 MW. Postupni porast te granice urediti proporcionalno porastu rezerve raspoložive snage u EES; dakle, razlici ukupne raspoložive snage elektrana i vršnog opterećenja. Sada je ta razlika, dakle rezerva sustava:

3979 – 3098 ≈ 900 MW (2007)

3979 – 3009 ≈ 1000 MW (2008)

4079 – 3120 ≈ 960 MW (2009).

Tako određena granica za vjetroelektrane predstavljala bi – po prilici – 1/3 rezerve za vjetroelektrane, te nešto manje od 1/3 rezerve za protočne hidroelektrane i također nešto manje od 1/3 rezerve za dugotrajni zastoj veće elektrane ili neodgovorni popravak ili remont.

- 2) *Koliki je očekivani udio regulacijskih elektrana u našem EES?*

Sada su u nas regulacijske elektrane HE Senj, HE Zakučac i HE Vinodol (sekundarna regulacija) i one predvidivo mogu namiriti regulacijske potrebe vjetroelektrana ukupne instalirane snage od 360 MW.

Pratiti treba njihov angažman u regulacijske svrhe i pravodobno pristupiti osposobljavanju još neke/nekih elektrana za regulacijsku ulogu.

- 3) *Mogućnosti jačeg favoriziranja domaće komponente u izgradnji vjetroelektrane pri određivanju garantirane otkupne cijene?*

Sada, u nas: punu otkupnu cijenu proizvodnje (0,71-0,721 kn/kWh, u 2010. godini) koriste one vjetroelektrane kod kojih je udio domaće komponente jednak ili veći od 60%, a s faktorom 0,93 množi se garantirana otkupna cijena ako je udio domaće komponente manji ili jednak 45%.

Može li se to promijeniti radi većeg favoriziranja domaće komponente, za *nadolazeće* vjetroelektrane? Ne bismo li mogli reći da se poticajna cijena može koristiti *samo* u slučaju da je domaća komponenta veća od 60% – taj poticaj plaćaju hrvatski građani i poduzetnici (danas: 0,5 lipa po svakom kilovatsatu preuzete električne energije) radi, između ostalog, povećavanja zapošljavanja svojih radnika! Neopravdano ge je koristiti za povećanje zapošljavanja inozemnih radnika!

4) Da li je opravdano prigušivanje garantirane otkupne cijene vjetroproizvodnje u nas, za nadolazeće vjetroelektrane?

Sada, u nas: otkupna cijena jednaka je za čitavo garantirano razdoblje otkupa (12 godina) i korigira se faktorom inflacije, rastom cijena na malo (2008: 5,8%, 2009: 2,9%, 2010: 1,9%, za tri godine rast od oko **11%**!).

Može li se to promijeniti za *nadolazeće* vjetroelektrane:

a) da se otkupna cijena godinama lagano prigušuje (zbog sniženja cijena opreme) a korigira faktorom inflacije i/ili

b) da se otkupna cijena nešto smanji nakon isteka polovine garantiranog razdoblja?

Vjetroelektrana 10 MW uz investicijske troškove 1200 eura/kW koštala bi 12 milijuna eura ili 87,7 milijuna kuna. Uz trajanje instalirane snage od 2000 h/god, proizvela bi u 12 godina 240 milijuna kilovatsati i za toliku proizvodnju dobila bi ukupno 173 milijuna kuna (po otkupnim cijenama iz 2010. godine – 0,721 kn/kWh, uz udio domaće komponente veći od 60%). Dakle, dvostruko više nego li je uloženo; da li je to prihvatljivo!?

Literatura:

- [L1] H.Požar: Izvori energije. SNL-Zagreb, 1980.
- [L2] V.Knapp i P.Kulišić: Novi izvori energije. Školska knjiga-Zagreb, 1985.
- [L3] D.Feretić, Ž.Tomšić, D.Škanata, N.Čavlina, D.Subašić: Elektrane i okoliš. Sveučilište u Zagrebu, 2000.
- [L4] D.Krpan-Lisica: Osnove energetike. HINUS-Zagreb, 2001.
- [L5] B.Udovičić: Elektroenergetski sustav. Kigen-Zagreb, 2005.
- [L6] M.Kalea: Električna energija. Kigen-Zagreb, 2007.
- [L7] M.Kalea: Prednosti i mane nekonvencionalnih izvora energije. Elektroenergetika 2/2008
- [L8] BDEW: Windenergieeinspeisung in Deutschland im 2007
- [L9] D.Bajs i G.Majstrovic: Mogućnost prihvata proizvodnje vjetroelektrana u EES Republike Hrvatske. Energija 2/2008
- [L10] UCTE Memo 2008
- [L11] NORDEL Annual statistics 2008
- [L12] EWEA: Wind power instalated in Europe by end of 2008
- [L13] Eurostat: GDP in PPS per inhabitant 2008
- [L14] N. Dizdarević, M. Majstrovic, S. Žutobradić, D. Bajs: Utjecaj vjetroelektrane na naponske i strujne prilike u elektroenergetskoj mreži. Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2003
- [L15] Hohe Kapazitätsauslastung im deutschen Strommarkt, www.strom.de/14.11.2006
- [L16] IEA Wind Task 25: Design and operation of power systems with large amounts of wind power, VTT Technical Research Centre of Finland, Helsinki, 2009

Dokumentacija:

- [D1] Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN 14/06)
- [D2] Pravilnik o naknadi za priključenje na elektroenergetsku mrežu i za povećanje priključne snage (NN 28/06)
- [D3] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (NN 36/06)
- [D4] Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 67/07)
- [D5] Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 67/07)
- [D6] Uredba o minimalnom udjelu električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče (NN 33/07)

[D7] Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07)

[D8] Uredba o naknadama za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 33/07) i izmjena te Uredbe (NN 155/09)

[D9] Dodatni tehnički uvjeti za priključak i pogon vjetroelektrana na prijenosnoj mreži (HEP-OPS, 31.12.2008)

[D10] Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske (NN 130/09)

[D11] Kriterij za određivanje kandidata za dobijanje prethodnih elektroenergetskih suglasnosti za priključenje vjetroelektrana na prijenosnu i distribucijsku mrežu (HEP-OPS, 15.01.2007)

Marijan KALEA/veljača 2010