

# Možnosti in omejitve prenosa električne energije na dolge razdalje

## 1. del – Razvoj in vloga prenosa električne energije v elektroenergetskih sistemih

Dušan Povh<sup>1</sup>, Rafael Mihalič<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija  
E-pošta: rafael.mihalic@fe.uni-lj.si

**Povzetek.** Časovne konstante pri gradnji elektroenergetskih sistemov (EES), zamenjavi opreme in uvajanju novih tehnologij postavljajo primeren časovni horizont napovedi dogajanj na področju elektroenergetike. V okviru tega časovnega intervala v prispevku analiziramo osnovne ekonomske kazalce pri proizvodnji in prenosu električne energije. Glede na čas povrnitve stroškov investicij v elektrarne in na podlagi razmer na trgu v sedanjem obdobju sklepamo na privlačnost posameznih tipov elektrarn za investitorje. Pri analizi razvoja izmeničnih elektroenergetskih omrežij (EEO) oz. sistemov se je izkazalo, da se ti zaradi ekonomski (včasih tudi političnih) interesov začnejo združevati v večje povezane sisteme, vendar težave, ki jih prinaša tako združevanje, na določeni stopnji prevladajo nad koristmi, prenos energije na dolge razdalje pa doseže svoje meje ekonomske opravičljivosti. Razen tega postane z veliko kompleksnostjo EES sigurnost obratovanja manjša, kar potrjujejo številni razpadi omrežij v zadnjih letih. Statistika razpadov je pokazala, da je verjetnost velikih izpadov moči bistveno večja, kot so napovedale sigurnostne analize. Osnovno jedro problema razpadov je v omejeni prenosni zmogljivosti EES, zlasti interkonekcij. Trend razvoja EES kaže tako v razvitih okoljih kakor v hitro razvijajočih se ekonomijah, v smeri hibridnih, t.j. kombiniranih HVAC – HVDC sistemov. Ponekod gre za nesinhrono obratovanje več sistemov, povezanih s HVDC, v drugih pa za kontrolirane prenose energije po HVDC koridorjih znotraj sistema HVAC. Slednji koncept bi lahko bil tudi ustrezen model razvoja evropskih EES v prihodnosti.

**Ključne besede:** prenos električne energije, povezani elektroenergetski sistemi, elektroenergetski sistemi

## Possibilities and Limitations of Electric Power Transmission Over Long Distances

### Part 1 – Development and Role of Power Transmission in Electric Power Systems

**Extended abstract.** The reasonable time period for the analysis of the future developments in power industry is determined by time constants regarding electric Power Systems development, introduction of new technologies and life cycles of equipment. In the paper the basic economic indicators considering generation and transmission of electric power are analyzed for the time period in question. On the basis of the power stations payback times and the to-day market volume it can be concluded to the attractiveness of power plants. The analysis of various Power Systems has shown that at a certain level of the development they are interconnected due to economical (sometimes also political) reasons. However, the investment cost for the interconnections and problems in the operation of such systems at a certain degree of complexity prevail over the benefits of the interconnections. One of the consequences of the

high Power System complexity may also be the reduction of operation reliability. The recent year's blackout statistics has shown that the probability of large blackouts is much higher than reliability analyses have predicted. The core of the problem is the limitation in power transfer capabilities in Power Systems. The development of Power Systems in emerging countries, as well as in industrialized countries, clearly shows towards the development of the hybrid HVAC – HVDC systems. In certain cases Power Systems could be interconnected to each other only by HVDC couplings or lines, while in other cases power is transmitted via HVDC corridors inside the HVAC system. Also a combination of both types of the interconnections can be expected and in particular in the European Power Systems.

**Keywords:** Power transmission, interconnected power system, electric power systems

## 1. Uvod

Problematika prenosa je od samih začetkov uporabe električne energije najtesneje povezana z razvojem elektroenergetskih sistemov (EES). Nekako velja, da so elektroenergetski sistemi zaradi svoje razsežnosti in kompleksnosti, uporabe različnih aparatov velikih moči, močnostne elektronike, informacijske tehnologije in telekomunikacij največje in najbolj zapletene naprave oziroma sistemi, ki jih je ustvaril človek. Poleg tega morata biti v energetskih sistemih bilanca proizvodnje in porabe energije v vsakem trenutku uravnovežena, kar zahteva kompleksno koordinacijo delovanja vseh elementov omrežja.

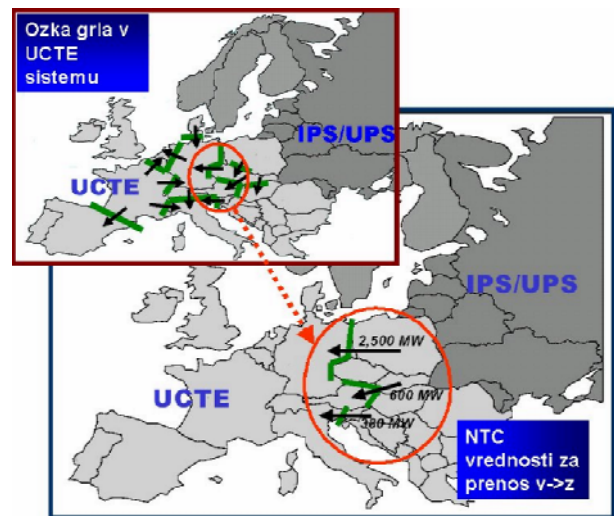
Danes si brez kakovostne preskrbe z električno energijo ni mogoče predstavljati razvoja sodobne družbe, saj je električna energija vtkana v vse njene dejavnosti. Slaba preskrba z električno energijo (pogosti izpadi, slaba kakovost napetosti ipd.) lahko upočasnijo tehnični razvoj in gospodarsko rast družbe, saj po eni strani zmanjšuje konkurenčnost industrije, po drugi pa se investitorji težko odločajo za okolja z nezanesljivo preskrbo z električno energijo. Posledice velikih razpadov elektroenergetskih sistemov (kot npr. nam najbližji razpad italijanskega EES septembra 2003) se lahko merijo v milijardah evrov oz. v % BDP. Poleg ekonomskih imajo izpadi dobave energije tudi politične in sociološke posledice.

Z uvajanjem tržnih mehanizmov na področje preskrbe z električno energijo se pogosto pozablja, da električne energije ni mogoče kupovati in prenašati od koderkoli v poljubnih količinah. Če naj bi trg z električno energijo zaživel v polni meri, je treba zagotoviti možnosti za njen prenos. Relativno šibke interkonekcijske povezave v Evropi danes tega namreč ne zagotavljajo. Gradnja novih prenosnih zmogljivosti ni le tehnični, pač pa tudi okoljski in sociološki problem. Zaradi slednjega so lahko postopki za gradnjo vodov zelo dolgi (400 kV daljnovod Kainachtal–Dunaj v Avstriji je tipičen primer, saj je gradnja tega daljnovoda predvidena že več desetletij). Po drugi strani je motivacija za gradnjo v tržni ureditvi omejena, saj je izgradnja daljnovodov dolgoročna naložba in se pogosto ne sklada s kratkoročnimi potrebami trga, ki se hitro spreminjajo.

V širši javnosti so prisotne ideje o sonaravnih virih, ki naj bi v določenem času zamenjali obstoječe "umazane" tehnologije. Na politični ravni so bili v skladu s tem v Evropi in Sloveniji sprejeti cilji, po katerih naj bi se delež obnovljivih virov v celotni energetski bilanci povečal na 12% do 2010 (kar je skoraj podvojitve glede na sedanje stanje), delež električne energije iz obnovljivih virov naj bi se v istem obdobju povečal v Evropi na več kot 22% oz. v Sloveniji na 33,6% [1]. Vendar se bodo vrednosti regenerativnih virov v celotnem območju OECD po normalnem pričakovanem scenariju povečale le na 17%. Od tega znaša delež hidroelektrarn 7,5%. Veljati je

začel tudi Kiotski protokol o zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Eno od rešitev v danem položaju nekateri vidijo v močnem razmahu alternativnih virov, čeprav jih večina, razen hidroelektrarn, ekonomsko še ni konkurenčna. Ob tem je zaradi nestanovitnosti takih virov (veter, sončna energija) treba zagotoviti ustrezne rezerve iz klasičnih elektrarn in možnost prenosa velikih količin energije, ki je pa ne moremo časovno napovedovati. Pogoji so torej tudi tukaj zadostne prenosne zmogljivosti EES. Drugo možnost nekateri vidijo v prenosu energije z območij poceni proizvodnje oz. ugodnih območij za izkoriščanje sonaravnih virov v Evropo. Tudi tu imajo ključno vlogo prenosne zmogljivosti.

Čeprav je evropsko omrežje na prvi pogled močno zazankano, je prenosna zmogljivost na nekaterih delih relativno majhna, kar onemogoča prenos večjih količin energije že v sami Evropi. To je tudi razumljivo, saj so bila omrežja zasnovana kot nacionalni sistemi brez zunanjih povezav. Govorimo o t.i. ozkih grlih, predvsem pri povezavah med omrežji. Predstavitev nekaterih ozkih grl, ki jih analizira ena od študij UCTE, vidimo na sliki 1 [2].



Slika 1: Ozka grla v sistemu UCTE  
Figure 1: Bottlenecks in the UCTE system

Vsota t.i. vrednosti NTC (vrednosti prenosnih zmogljivosti, ob katerih so zagotovljeni sigurnostni standardi obratovanja EES) med nekdanjo Vzhodno in Zahodno Evropo, je le okrog 3500 MW, kar je le delček tega, kar potrebujemo v Evropi. Če bi hoteli prenašati dodatne moči iz vzhodne Evrope na zahod, bi bilo nujno zgraditi dodatne daljnovodne povezave.

V strokovni javnosti je pogosto zaslediti bolj ali manj pavšalne ocene o prenosnih zmogljivostih elektroenergetskih omrežij. Zato sva želela avtorja temo prenosa energije celovito obdelati s praktičnega in teoretičnega vidika. Hitro sva ugotovila, da problematike ni mogoče zajeti v okviru enega prispevka. Hkrati nima smisla obravnavo zastaviti preveč poenostavljeno,

saj sva se ravno temu želela izogniti. Zato sva delo predstavila v treh ločenih prispevkih, ki pa se tematsko ozko navezujejo drug na drugega.

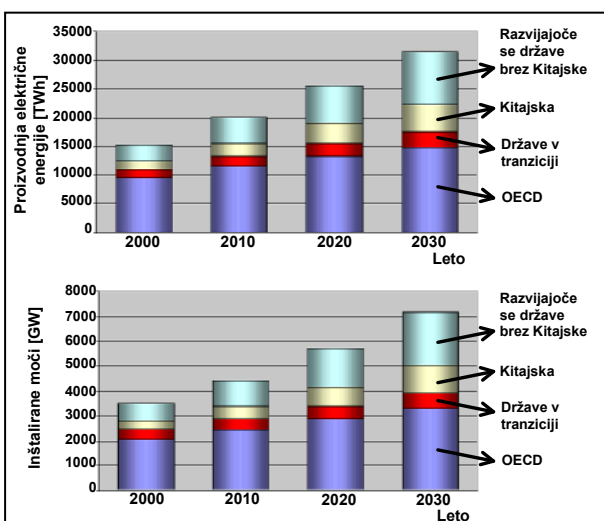
## 2. Osnovni ekonomski kazalci proizvodnje in prenosa električne energije

Gonilna sila pri razvoju elektroenergetskih sistemov v prihodnosti je rast porabe, ki temelji na rasti prebivalstva, ekonomskem razvoju in dejstvu, da je električna energija najprimernejša zaradi preproste uporabe in prijaznosti do okolja. Če upoštevamo, da je življenjska doba naprav in opreme v elektroenergetiki reda 20 do 50 let in da uvajanje novih tehnologij traja vsaj 10 do 20 let, potem je časovno obzorje napovedi dogajanj na področju elektroenergetike, v katerem je napaka predvidevanj v sprejemljivih mejah 30 let. V tem obdobju je zaradi tega pričakovati v omrežjih le evolucionarne in ne revolucionarnih sprememb.

Tako glede na predvidevanja Mednarodne agencije za energijo IEA [3] do leta 2030 lahko pričakujemo:

- 1% rast prebivalstva,
- 2,4% povprečno rastjo ekonomij (BDP) na leto,
- 2,4% letno povprečno rast porabe električne energije in elektrifikacijo področij, ki sedaj to še niso.

Seveda gre pri tem za povprečja. Predvidena letna rast porabe električne energije v razvitih državah (članice OECD) je okrog 1,6% (kar pomeni 60% povečanje v obravnavanem časovnem obdobju 30 let), po drugi strani pa je v državah v razvoju pričakovati 4% letno rast (300% povečanje porabe v 30 letih). V nekaterih državah (npr. Kitajska) je rast bistveno večja. Predvideni razvoj svetovne proizvodnje električne energije in inštaliranih moči elektrarn prikazuje slika 2 [3].

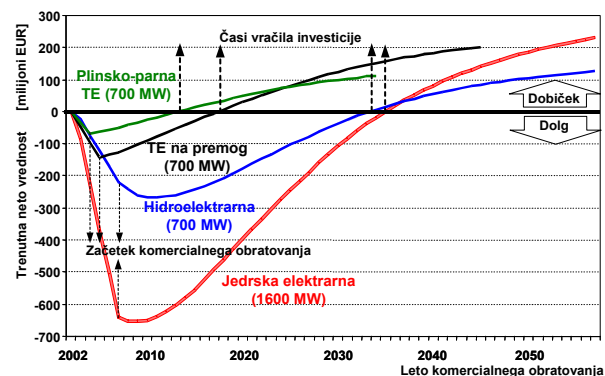


Slika 2: Razvoj svetovne proizvodnje električne energije in inštaliranih moči

Figure 2: Development of world electricity production and power generation capacity

Ocenjujejo, da bo treba v tem času investirati v celotni sektor elektroenergetike v povprečju okrog 350 milijard dolarjev na leto [4], da bo mogoče zagotoviti potrebe po rasti porabe. Razporeditev investicij med proizvodnjo, prenosom in distribucijo električne energije bo podobna, kot je bila v preteklosti, t.j. **42% : 18% : 40%**. Te vrednosti so seveda povprečja. Odvisna so od konfiguracije omrežja in se v posameznih omrežjih nekoliko razlikujejo. Glede na to je pričakovati več kot 60 milijard dolarjev letnih naložb v prenosne zmogljivosti.

Proizvodne vire in porabnike povezujejo elektroenergetska omrežja (EEO), zato je odločilnega pomena za njihov razvoj oz. za rast potreb po prenosnih zmogljivostih lokacija novih elektrarn. Ta pa je tesno povezana z vrsto in lokacijo primarnega energenta. Velika večina elektrarn, ki se trenutno gradijo v Evropi, so elektrarne na plin oziroma kombinirane elektrarne na plin in paro (Combined-cycle). Tudi za prihodnje desetletje pričakujemo, da bo naraščala poraba plina, poraba premoga pa se bo zmanjševala. Ponekod v Evropi razmišljamo tudi o nadaljevanju jedrskih programov, kar dokazuje gradnja nuklearnih elektrarn na Finskem in v Romuniji. V drugih državah pa bodo bistveno podaljšali obratovalno dobo že obstoječih jedrskih elektrarn. Tudi na Kitajskem bodo gradili veliko novih nukleark. Seveda je osnovni kriterij, ki določa vrsto novih elektrarn, rentabilnost investicije. Tipične krivulje časovnega poteka neto trenutne vrednosti za različne tipe elektrarn prikazuje slika 3. Trenutna vrednost pomeni razliko med dohodki iz prodaje električne energije in izdatki za financiranje gradnje, nakup goriva in stroški obratovanja med življenjsko dobo elektrarne, preračunano na leto začetka gradnje.



Slika 3: Čas povrnitve stroškov investicije za elektrarne [4]

Figure 3: Payback times for power stations [4]

Iz slike je razvidno, da se najhitreje povrne investicija v plinsko-parno elektrarno (10 let), najpočasneje pa investicija v jedrsko elektrarno (30 let). Glede na investicijske stroške, gibanje cen električne energije, goriv in CO<sub>2</sub> certifikatov so lahko krivulje v času obratovanja bolj ali manj strme. Višanje cen električne





obratovalne rezultate in nižje stroške glede na izmenične prenose. Hiter razvoj močnostne elektronike je pripomogel k temu, da so ostali stroški za konverterske postaje skozi desetletja skoraj nespremenjeni. Za postaje "back-to-back" velikosti 600 do 800MW znašajo 200 €/kW in za postaje prenosnih sistemov velikosti 2000 do 3000MW pri napetosti +/- 500 kV 240 €/kW. Ekonomsko ovrednotenje enosmernih prenosov na velike razdalje pokaže bistveno nižje stroške za enosmerne daljnovode v primerjavi z daljnovodi izmeničnega prenosa pri enaki prenosni moči. Isto velja tudi za enosmerne prenose z zemeljskimi ali podvodnimi kablji.

Pri prenosih razdaljah z daljnovodi več kot 800 km oziroma s kablji več kot 30 km so zaradi tega enosmerni prenosi po pravilu ekonomsko ugodnejši. V svetu že obratujejo enosmerni prenosni sistemi s skupno močjo več kot 50 GW in pričakujejo nadaljnjo strmo naraščanje tovrstnih projektov.

Že od začetka njihovega razvoja so se enosmerni prenosi uporabljali za povezave med sistemi, ki jih sicer tehnično ne bi bilo mogoče povezati, na primer zaradi različnih obratovanih frekvenc ali zaradi nekompatibilnosti omrežij. Dober primer za to so povezave sistema UCTE z drugimi sistemi v Evropi. Slika 5 kaže veliko število enosmernih prenosov v severni Evropi, ki obratujejo oz. so predvideni. Prenosna moč teh povezav presega 11000 MW. Tako izkoriščajo ekonomske prednosti povezanih omrežij. Zgrajeni so že tudi prvi enosmerni prenosi, ki so integrirani v omrežja in omogočajo kontroliran prenos moči [7].

Določeno ekonomsko omejitev velikih povezanih sistemov pomenijo tudi stroški prenosa. Ti se za velike prenosne razdalje in velike prenosne moči gibljejo nekje med 10 in 15 € / MWh in 1000 km (odvisno od napetostnega nivoja). To pomeni, da je treba prenosne stroške dodati proizvodnim stroškom električne energije, ta pa naj bi bila potem še vedno konkurenčna na trgu. Izhajajoč iz tega ob današnjih razmerjih cen potemtakem lahko ekonomsko utemeljimo le prenose nekje do 3000 km.

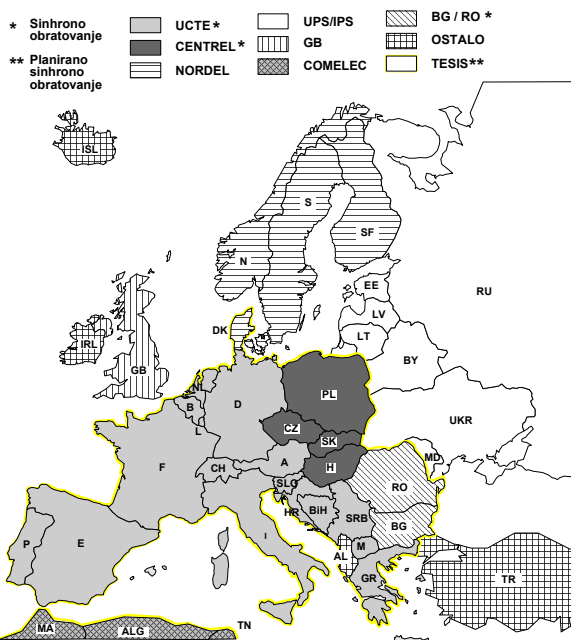
### 3. Razvoj elektroenergetskih sistemov

Razvoj elektroenergetskih omrežij (EEO) je od začetka razvoja sledil potrebam prenosa električne energije med proizvajalci in porabniki. Kompleksnost EEO se je povečevala z razvojem elektrifikacije, pri čemer so bili najprej viri relativno blizu potrošnikom, pozneje pa so se oddaljevali. Tipičen razvoj prikazuje slika 6. Shematično so prikazane posamezne stopnje razvoja in uporabe novih tehnologij. Nazivna napetost EEO je odvisna od geografskih značilnosti in povprečne prenosne razdalje. V Evropi je najvišja napetost 400 kV, na Daljnem vzhodu večinoma 550 kV in v ZDA 550 in 765 kV. V nekaterih državah načrtujejo tudi 1150 kV nivo ali razmišljajo o njem. Kljub temu, da so postavili

že tudi testne vode, ni pričakovati, da bi v prihodnosti ta napetostni nivo komercialno izkoriščali v večji meri.



Slika 6: Razvoj EES, ki sledi rasti porabe [10]  
Figure 6: Development of power systems following the energy demand [10]



Slika 7: Povezani sistemi v Evropi  
Figure 7: Interconnected systems in Europe

Razlogi za to so zelo drag razvoj opreme za nov napetostni nivo, prevelik izpad moči v primeru napak in omejitve pri umestitvi koridorjev v prostor. Slednje je problem zlasti v gosto naseljenih področjih, kot na primer v Evropi. Pred očmi je namreč treba imeti dimenzije nosilnih konstrukcij (širina x višina), ki znašajo pri 2x400 kV vodu reda 70m x 50m, pri 2x800 kV vodu 80m x 70m in pri 2x1150 kV vodu 100m x 90m [11].

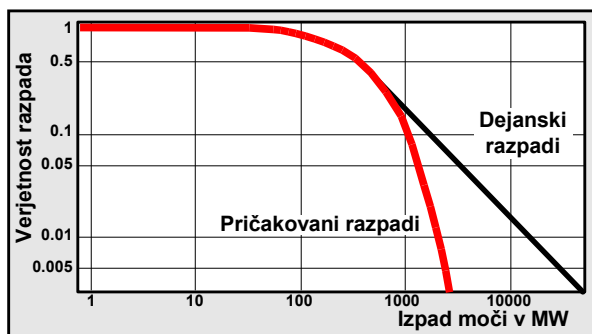
V razvitih okoljih so se nacionalna EEO že povezala v velike sisteme (npr. UCTE, NORDEL, UPS v Evropi). Slika 7 prikazuje razmere v Evropi. UCTE je lep primer časovnega razvoja velikih interkonekcijskih sistemov.

Leta 1951 so se (takrat še pod imenom UCPTTE) najprej povezala nacionalna omrežja osmih zahodnoevropskih držav. V osemdesetih letih prejšnjega stoletja se je UCTE pridružilo prek povezav z Italijo in Avstrijo slovensko in s tem tudi takratno jugoslovansko omrežje. V istem obdobju so se priključile tudi Grčija, Španija in Portugalska. V devetdesetih letih so se nato z UCTE povezale tudi države sistema CENTREL. Od leta 2003 obratujeta z UCTE sinhrono tudi omrežji Romunije in Bolgarije. Sistem se bo na jugozahodu razširil prek Španije tudi v severno Afriko in na vzhodu pričakujemo povezavo do Turčije. Seveda se nameravajo v prihodnosti, predvsem iz političnih vzrokov, povezati z UCTE tudi baltske države. Povezava s sistemom UPS/IPS je sicer mogoča, vendar verjetno le preko HVDC. Izmenjava električne energije znotraj omrežij UCTE je bila v začetku zelo majhna. Sedaj sicer presega 10% porabe v celotnem sistemu, vendar je nadaljnje naraščanje teh zaželenih izmenjav omejeno zaradi prešibkih povezav.

Pričakovati je, da bo razvoj EES v svetu potekal po naslednjih stopnjah:

- širjenje in dodatno povezovanje povezanih sistemov bodisi z visokonapetostnim izmeničnim sistemom (HVAC) ali s HVDC, kot je bilo prikazano na primeru povezav med UCTE in NORDEL,
- povečanje izmenjav med podsistemi,
- prenos velikih količin energije na velikih razdaljah (iz velikih hidroelektrarn),
- razpršena proizvodnja v distribucijskih omrežjih.

Na razvitih območjih je čedalje težje pridobiti trase daljnovodov, zato bodo obstoječa EEO čedalje bolj obremenjena (tudi do termične meje). Rešitev v gosto poseljenih področjih je GIL (s plinom izolirani kabli - Gas Insulated Cables), tehnologija, s katero je mogoče prenašati velike količine energije na krajše razdalje ob sprejemljivih stroških. FACTS naprave (Flexible AC Transmission System), ki na podlagi močnostne elektronike lahko regulirajo napetost v omrežju, vzdolžne impedance daljnovodov ali prenosne kote, omogočajo regulacijo pretokov moči in s tem obratovanje EEO bliže teoretičnim mejam.



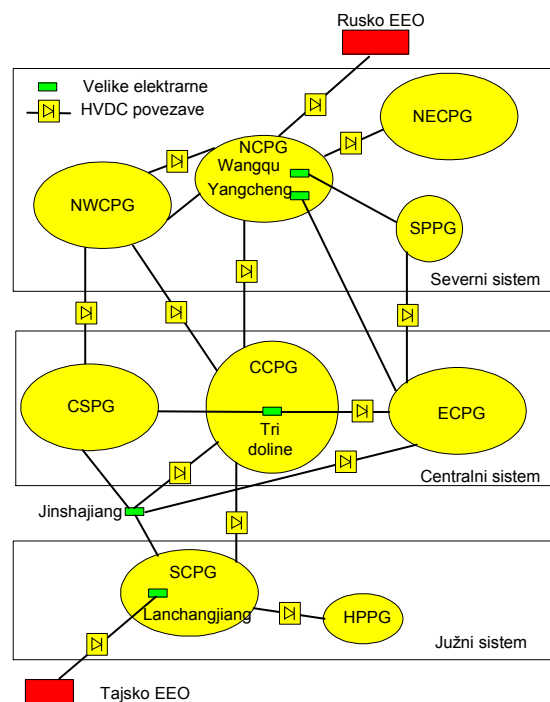
Slika 8: Verjetnost razpada EES  
Figure 8: Blackout probability

V tovrstnih zelo kompleksnih omrežjih je problem zanesljivost obratovanja, kakor kažejo razpadi omrežij v Evropi in ZDA. Študije so pokazale, da je verjetnost velikih razpadov veliko večja (slika 8), kot so pokazali teoretični izračuni. Razlog za to lahko iščemo tudi v naslednjih dejstvih:

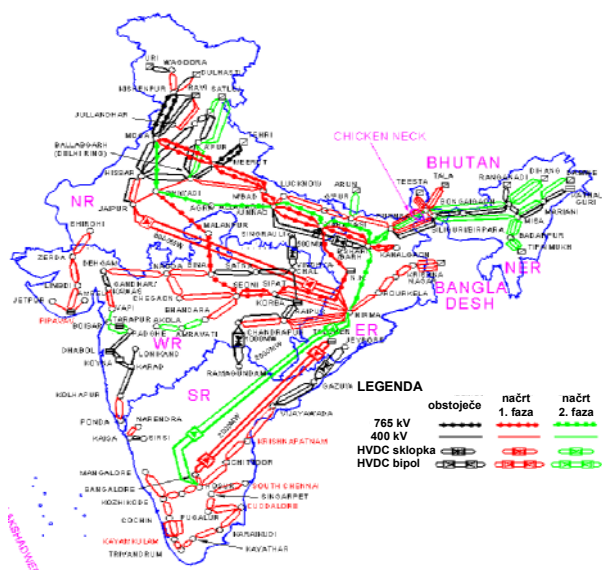
- EES je preveč kompleksen za natančno testiranje (zaščita, regulacija),
- nezadostne investicije (močno obremenjeni deli EEO),
- slabo (nezadostno) vzdrževanje,
- premalo urjenja osebja,
- človeške napake,
- sistemske napake v načrtovanju in vodenju.

Slednjim se v kompleksnih sistemih ni mogoče popolnoma izogniti. Da bi zmanjšali njihovo število razvijajo zaščitne sheme na podlagi meritev v omrežju in izvajajo analize mogočih izpadov. Rešitev je tudi ločitev delov EES s sklopkami HVDC. Tako se je mogoče izogniti širjenju motnje skozi sistem. S prenosom velikih količin energije iz oddaljenih lokacij v centre porabe s HVDC se med drugim razbremeni celoten izmenični sistem.

Na razvijajočih se območjih bo rast porabe energije približno trikrat večja kot v razvitem svetu. To pomeni, da bo širitev EES v teh državah skrajno hitra in s tem potreba po prenosnih zmogljivostih EEO. Zato je pričakovati uvajanje najvišjih napetostnih nivojev za HVAC (vendar ne več kot 765 kV zaradi stroškov in zanesljivosti) in HVDC. Za prenos, daljši od 800 km, bodo na splošno uporabljali HVDC. Tipična primera takega razvoja sta EES Kitajske in Indije (sliki 9 in 10).



Slika 9: Shema povezav kitajskega EES  
Figure 9: Connections scheme of the China power system



Slika 10: Shema povezav indijskega EES  
Figure 10: Connections scheme of the Indian power system

Dolgoročno poteka razvoj prenosnega dela velikih povezanih elektroenergetskih sistemov jasno v smeri hibridnih povezav, ki jih sestavljajo HVDC in HVAC interkonekcije med posameznimi podsistemi. Poleg povezav med podsistemi so enosmerni prenosi integrirani v izmenični sistem in s tem ponujajo poleg ekonomskih tudi tehnične prednosti kontrole pretokov moči in izboljšanja dinamičnih razmer v sistemu. Tak sistem ima poleg teh tehničnih prednosti tudi večjo sigurnost. Tipična primera sta EES Kitajske in Indije.

#### 4. Sklep

Glede na časovne konstante je 30 let sprejemljivo obdobje za analizo razvoja EES. Ekonomski razvoj in večanje porabe električne energije je moč za to obdobje dobro oceniti. V razvitih državah se bo ta predvidoma povečala za okrog 60%, v hitro razvijajočih se ekonomijah pa za okrog 300%. Trenutno so s stališča finančnih parametrov, obremenjevanja okolja in družbene sprejemljivosti najprivlačnejše plinsko-parne elektrarne. Ni pričakovati, da bi obnovljivi viri (razen hidroelektrarn) prevzeli znaten delež obremenitve. Eden temeljnih problemov obratovanja EES je prenos energije do centrov porabe. Kljub nekaterim nespornim prednostim združevanja EES v interkonekcije se bo to na določen stopnji ustavilo. V zadnjem času se je izkazalo, da je kompleksnost EES in obremenjenost omrežij ponekod dosegla stopnjo, na kateri se sigurnost obratovanja bistveno zmanjšuje, kar dokazujejo številni razpadi omrežij v zadnjem času. Zato kaže trend razvoja EES tako v razvitih okoljih, kakor v hitro razvijajočih se ekonomijah, v smeri hibridnih, t.j. kombiniranih sistemov HVAC – HVDC. Mogoč je koncept razvoja neodvisnih podsistemov, med seboj povezanih prek enosmernih sklopov oz. HVDC. Drugi koncepti upoštevajo poleg interkonekcij prek HVDC tudi povezave za kontrolirane prenose energije po koridorjih

HVDC znotraj sistema HVAC. Glede na nekatera razmišljanja je tovrsten koncept verjeten za razvoj evropskih EES v prihodnosti.

#### 5. Literatura

- [1] Resolucija o Nacionalnem energetskega programu (ReNEP) Rep. Slovenije, Uradni list RS 57/2004
- [2] F. Vandenberghe: "State of UCTE Studies on the Interconnection between the UCTE System and CIS & Baltic States", CIGRE Conference, 17-19. Sept. 2003, St.-Petersburg, Russia
- [3] World Energy Investment Outlook-2003 Insight, IEA Publication, Paris 2003
- [4] Current Trends in Power Plant Markets, Siemens Publication, July 2003
- [5] J. D. Wheeler, et al.: "Building India's Grid: an Examination of the Infrastructure. Benefits of HVDC Transmission", Report 14-114, CIGRE Session 2002, Paris
- [6] P. Fairley: "Advanced Mathematical Modeling suggests that big Blackouts are inevitable", IEEE Spectrum, August 2004
- [7] D. Povh a. al.: Advantages of Large AC/DC System Interconnections, CIGRE Report B4-304, Paris 2006
- [8] Povh, D.; Pyc, I.; Retzmann, D.; Weinhold, M. G.: Future Developments in Power Industry, The IERE Central and Eastern Europe Forum: October 17-21, 2004, Krakow, Poland
- [9] Breuer, W.; Hartmann, V.; Povh, D.; Retzmann, D.; Teltch, E.: Application of HVDC for Large Power System Interconnections, Cigré Report B4-209, Paris, Session 2004
- [10] Povh, D.; Retzmann, D.; Rittiger, J.: Benefits of Simulation for Operation of Large Power Systems and System Interconnections, The IERE Central and Eastern Europe Forum: October 17-21, 2004, Krakow, Poland
- [11] G. Hosemann: Elektrische Energietechnik, Band 3 Netze: Springer-Verlag 1988

**Dušan Povh** (1935) je diplomiral na Univerzi v Ljubljani doktoriral na Tehnični univerzi v Darmstadtu (Nemčija). Je tudi profesor na Univerzi v Ljubljani. Dolga leta je bil na vodilnih položajih pri Siemensu AG v Nemčiji, sedaj pa je svetovalec. Področje delovanja obsega analizo EES, HVDC in FACTS. Je član (Fellow Member) IEEE, bil pa je vodja CIGRE Study Committee on HVDC and FACTS. Prejel je nagrado Uno Lamm leta 2001, in "FACTS Award" leta 2003.

**Rafael Mihalič** (1961) je diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani. Po diplomi je postal asistent na omenjeni fakulteti. Med letoma 1988 in 1991 je bil zaposlen pri Siemensu AG v Erlangu. Trenutno je profesor na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Je član CIGRE, član IEEE in predsednik ŠK B4 SLOKO CIGRE. Področje delovanja vključuje predvsem analizo elektroenergetskih sistemov in naprav FACTS.