

EUROPSKA ISKUSTVA U SVEZI PRIHVATA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE VJETROELEKTRANA U ELEKTROENERGETSKI SUSTAV EUROPEAN EXPERIENCE IN CONNECTION WITH THE INTEGRATION OF ELECTRICITY GENERATED BY WIND POWER PLANTS INTO ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Vladimir Dokmanović, Zagreb, Hrvatska

U članku su izložena europska iskustva u svezi korištenja energije vjetra u proizvodnji električne energije. Istaknut je značaj optimizacije postojeće električne mreže, njeno pojačanje i proširenje, kao i izgradnja suvremene električne mreže za brži i učinkovitiji prihvat obnovljivih izvora energije.

Cilj članka je da se na temelju mnogih studijsko istraživačkih radova na temu prihvata električne energije vjetroelektrana u elektroenergetske sustave pojedinih zemalja ukaže na važnost i složenost ove problematike.

The article presents European experiences regarding the use of wind power in electricity production. Emphasis is placed upon the significance of optimizing, strengthening and expanding an existing electrical grid, as well as the construction of modern grids for the rapid and efficient integration of renewable energy sources. The goal of the article is to draw attention to the importance and complexity of this topic by utilizing the findings of numerous research studies on the integration of electricity from wind power plants into the electrical power systems of individual countries.

Ključne riječi: elektroenergetski sustav; mrežna pravila; obnovljivi izvori energije; operater vjetroelektrane; operater sustava; vjetroelektrane
Key words: electrical power system; grid codes; renewable energy sources; system operator; wind power plant operator; wind power plants



1 UVOD

U članku je izložena buduća uloga obnovljivih izvora energije u pokrivanju rastuće potrošnje električne energije u Europskoj uniji i u svijetu. Navode se odluke Europske Komisije o daljnjem razvoju obnovljivih izvora energije i korištenju energije vjetra u proizvodnji električne energije, te se ističe važnost prijenosne mreže u prihvatu proizvodnje vjetroelektrana (VE) u elektroenergetski sustav.

Uz to, navode se ciljevi tehničkih kriterija i zahtjeva na VE, koji se reguliraju mrežnim pravilima. Njima se želi ostvariti sigurnost pogona elektroenergetskog sustava i zadržati dostignuta kvaliteta isporuke električne energije potrošačima, ali i poticanje razvoja onih osobina VE, koje pridonose stabilnosti pogona elektroenergetskog sustava (EES-a) i što boljoj kompatibilnosti VE i sustava.

Cilj mrežnih pravila trebao bi biti i omogućavanje što većeg prihvata VE u sustav i poboljšanje integracijskih svojstava VE, odnosno izgradnja VE koje imaju istovjetne osobine poput konvencionalnih elektrana.

U članku su također izložena i najnovija iskustva europskih zemalja u korištenju energije vjetra u proizvodnji električne energije, a navedena su i najnovija istraživanja usmjerena na daljnje mogućnosti prihvata proizvodnje VE u sustave pojedinih zemalja.

Osnovno je pitanje kako omogućiti prihvata proizvodnje električne energije VE, kojom će se pokrivati više od četvrtine bruto potrošnje u Europskoj uniji 2030. godine, a da se ne ugrozi

1 INTRODUCTION

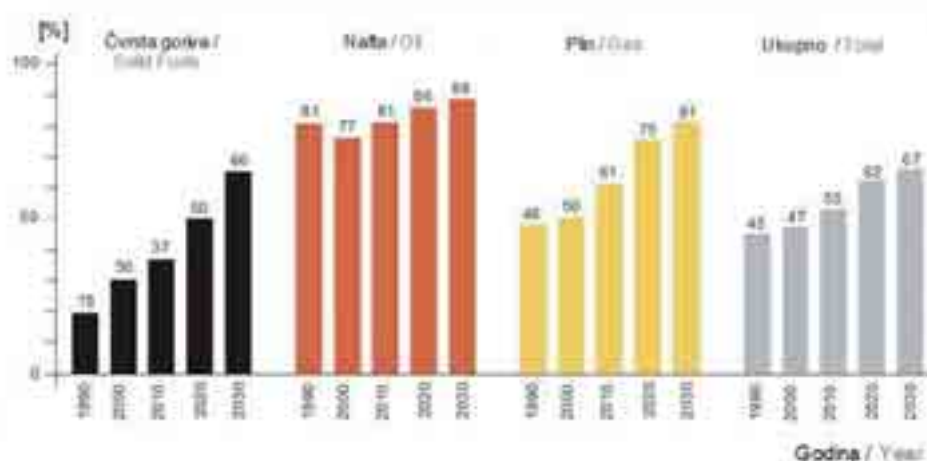
The article discusses the future role that renewable energy sources will play in covering growing electricity consumption in the European Union and the world. Decisions by the European Commission are cited on the further development of renewable energy sources, the use of wind power in the generation of electricity and the importance of the transmission grid in the integration of the power generated by wind power plants (WPPs) into the electrical power system.

Moreover, the goals of the technical criteria and requirements for WPPs, which are regulated by grid codes, are presented. The aim is to achieve secure operation of an electrical power system and maintain quality delivery of electricity to consumers, as well as to promote the development of those characteristics of WPPs that contribute to the stability of the operation of an electrical power system and optimal compatibility between the WPPs and the system.

The goal of grid codes should also be to facilitate the maximum integration of WPPs into a system and improve the integrational properties of WPPs, i.e. the construction of WPPs with the same characteristics as conventional power plants.

The article also presents the most recent experiences of European countries in the use of wind power for the generation of electrical power, including the most recent investigations into further possibilities for the integration of WPPs within the systems of individual countries.

A basic question is how to facilitate the integration of the electrical power produced by WPPs, which could cover over a quarter of the total consumption in the European Union in the year 2030, without endanger-



Slika 1 – Uvozna ovisnost Europske unije (EU25) od 1990. do 2030. godine [1]

Figure 1 – Import dependence of energy sources in the European Union (EU25) from 1990 to 2030 [1]

sigurnost pogona sustava, odnosno sigurnost opskrbe električnom energijom.

2 OPĆENITO O OPSKRBI ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Živimo u svijetu u kojem brzo raste potrošnja energije. Europa očekuje povećanje potrošnje električne energije za 50 % do 2030. godine. Kada se ne bi mijenjala europska energetska strategija, te bi godine europska uvozna ovisnost o energiji iznosila oko 67 % (slika 1).

Prošlo je vrijeme sigurne opskrbe energijom. Dani jeftine i dovoljno raspoložive energije su iza nas. Ovo stoljeće bit će ispunjeno borbom svjetskih ekonomskih blokova za preostale raspoložive energetske resurse te će dolaziti do povremenih nestašica energije, čija će cijena rasti [2].

Europska ovisnost o uvoznim fosilnim gorivima postaje prijetnja gospodarskoj stabilnosti. Zbog toga je vrlo važno da Europa razvija vlastite resurse na bazi obnovljivih izvora energije i maksimalno promovira energetska učinkovitost.

3 PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Europska komisija je već 2000. godine u dokumentu pod nazivom Zelena knjiga o sigurnosti opskrbe energijom (COM 2000 769 final), upozorila da Europska unija ima strukturalne slabosti glede energetske opskrbe i da mora preuzeti odgovornost za svoju energetska sudbinu [3].

Smjernicom 2001/77EC o promidžbi uporabe električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije na unutarnjem tržištu električne energije daje se naglasak na promociju električne energije iz obnovljivih izvora energije. Zahtijeva se pojednostavljenje nacionalnih administrativnih procedura za ishođenje suglasnosti i dozvola za izgradnju objekata na bazi obnovljivih izvora energije [4].

U dokumentu nazvanom Zelena knjiga o europskoj strategiji održive, konkurentne i sigurne opskrbe energijom – (COM 2006 105 final), utvrđena je buduća uloga obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti [5].

ing the security of system operation, i.e. the security of the electricity supply.

2 ELECTRICITY SUPPLY IN GENERAL

We live in a world in which energy consumption is rising rapidly. Europe is expecting a 30 % increase in electricity consumption by the year 2030. If European energy strategy does not change, in that year European dependence on energy imports would amount to approximately 67 % (Figure 1).

The time of a secure energy supply has passed. The days of cheap and sufficiently available energy are behind us. This century will witness competition by the world economic powers for the remaining available energy resources and there will be periodical energy shortages and rising energy prices [2].

European dependence on imported fossil fuels has become a threat to economic stability. Therefore, it is very important for Europe to develop its own resources based on renewable energy sources and the maximum promotion of energy efficiency.

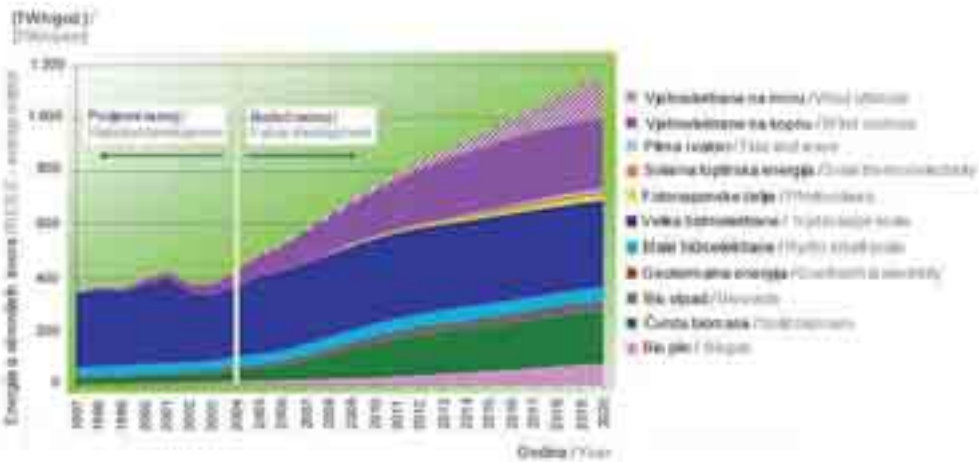
3 ELECTRICITY GENERATION FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES

Already in the year 2000, the European Commission cautioned that the European Union has structural weaknesses regarding energy supply and must assume responsibility for its energy destiny in a document known as the Green Paper (COM 2000 769 final), [3].

Directive 2001/77EC on Promoting Electricity Produced from Renewable Energy Sources on the Internal Electricity Market requires the simplification of national administrative procedures for the authorization of the construction of facilities for the generation of electricity from renewable sources [4].

In a document known as the Green Paper, A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy – (COM 2006 105 final), the future roles of renewable energy sources and energy efficiency are specified [5].

Energy efficiency was particularly discussed in a document entitled Action Plan for Energy Efficiency – (COM 2006 545) [6], in which the feasibility



Stika 2 – Prognozirani rast proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije do 2020. godine [7]
 Figure 2 – Projections of the growth in electricity production from renewable energy sources up to the year 2020 [7]

Energetska učinkovitost je posebno razrađena u dokumentu pod nazivom Akcijski plan za energetska učinkovitost – (COM 2006 545) [6], kojim se procjenjuje izvodljivost smanjenja potrošnje električne energije na strani potrošnje i opskrbe za 20 %. Navedeni su ključni elementi europske energetske budućnosti, koja se svodi na revoluciju u području energetske učinkovitosti i korištenje obnovljivih izvora energije.

Europska komisija je u siječnju 2007. godine objavila obvezujući dokument za zemlje članice EU, pod nazivom Plan razvoja obnovljivih izvora energije – (COM 2006 848 final), [7] u kojem se utvrđuje udio obnovljivih izvora energije u energetske miks. Cilj je da električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora energije pokriva 20 % bruto potrošnje električne energije EU u 2020. godini. Na taj način bi se povećala sigurnost opskrbe električnom energijom i smanjila emisija stakleničkih plinova.

Procjena udjela obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije u 2020. godini predočena je na slici 2.

U ožujku 2007. godine vlade i parlamenti zemalja članica Europske unije su jednoglasno prihvatile 20 postotno učešće obnovljivih izvora energije u pokrivanju potrošnje električne energije do 2020. godine

U okviru projekta EWEA udruge pod nazivom: Europska tehnološka platforma (TP Wind) [8] - koja je objavljena 2005. godine predočena je vizija korištenja energije vjetera u Europskoj uniji, po kojoj bi ona trebala pokrivati više od četvrtine potrošnje električne energije 2030. godine. Navode se prioritarna istraživanja i potrebni fi-

ity of reducing consumption and supply by 20 % is assessed. Key elements are cited regarding the future of European energy, which are revolutionary in the areas of energy efficiency and the use of renewable energy sources.

In January 2007, the European Commission published a document for the Member States of the EU entitled Renewable Energy Road Map, Renewable Energies in the 21st Century: Building a More sustainable Future – (COM 2006 848 final), [7] in which the share of renewable energy sources in the energy mix is specified. The target is for electricity generated from renewable energy sources to cover 20 % of total electricity consumption by the EU in the year 2020. In this way, the security of the electricity supply would be increased and the emission of greenhouse gasses would be decreased.

An estimate of the share of renewable energy sources in electricity production in the year 2020 is presented in Figure 2.

In March 2007, the EU heads of state unanimously agreed to a binding renewables target of 20 % by 2020.

Within the framework of a project implemented by the European Wind Energy Association (EWEA) entitled European Technology Platform for Wind (TP Wind) [8], which was published in the year 2005, a vision of the use of wind energy in the European Union was presented, according to which it should cover over a quarter of the total energy consumption in the year 2030.

This vision outlines research priorities as well as the required financial and human resources for

nancijski i ljudski resursi za ostvarenje te vizije. Platformom se predviđa da će energija vjetra 2020. godine pokrivati 12 % do 14 % bruto potrošnje električne energije Europske unije, s ukupnim proizvodnim kapacitetima u VE od 180 GW.

Očekuje se da će se proizvodnjom VE u 2030. godini pokrivati između 22 % i 28 % potrošnje električne energije, s izgrađenim proizvodnim kapacitetima u VE od 300 GW.

Projekt nazvan SUPWIND koji je pokrenut krajem 2006. godine posvećen je utvrđivanju i vrednovanju investicija u regionalne i transnacionalne prijenosne vodove i alate za upravljanje sustavom u uvjetima velikog opsega prihvatne VE u sustave pojedinih zemalja.

Projekt Prihvat vjetroenergije u europski elektroenergetski sustav (EWIS) koju je pokrenula Europska udruga operatora sustava (ETSO) početkom 2007. godine ponudio je rješenja za specifične izazove koji su se pojavili u Europi kao posljedica velikog opsega uključenosti VE u nekoliko europskih zemalja članica, a odnose se na stabilnost sustava i sigurnost opskrbe električnom energijom u Europi [9].

Projekt Tradewind u okviru programa Intelligentna energija za Europu ponudit će mjere za poboljšanje internog tržišta električne energije, u uvjetima većeg opsega zastupljenosti električne energije iz VE na tržištu.

Trenutačno postoje prepreke bržem prihvatu VE u sustave većine zemalja članica Europske unije. Rezultati Tradewind projekta, čija se završna obrada očekuje do listopada 2008. godine, koristit će se za pronalaženje učinkovitih načina za otklanjanje tih prepreka. Očekuje se izrada preporuka za osuvremenjivanje infrastrukture mreže i poboljšanje mehanizama trgovanja električnom energijom [10].

Obnovljivi izvori energije i energetska učinkovitost imaju ključnu ulogu u dokumentu Europske komisije Izvješće o energetskej strategiji Europske unije, objavljenom 2007. godine [11].

Europska komisija je objavila u siječnju 2007. godine svoju novu energetske strategiju, pod nazivom Europska energetska politika – (COM 2007 1 final) [12] poznatu kao energetske paket o internom tržištu plina i električne energije prema kojoj se zemlje članice obvezuju na:

- 20 % udjela obnovljivih izvora energije u pokrivanju potrošnje električne energije,
- vlasničko razdvajanje prijenosnih i proi-

achieving it. The platform predicts that in the year 2020 wind energy will cover 12 % to 14 % of the total electricity consumption of the European Union, with an installed wind power capacity totaling 180 GW.

It is anticipated that WPPs will generate between 22 % and 28 % of the electricity consumed in 2030, with an installed capacity of 300 GW.

A project entitled Decision Support for Large-Scale Integration of Wind Power (SUPWIND) launched in late 2006 is devoted to the determination and evaluation of regional and transnational transmission line investments and tools for system control under conditions of the large-scale integration of WPPs into the systems of individual countries.

The European Wind Integration Study (EWIS), which was launched by the European Transmission System Operators (ETSO) in early 2007, offered a solution for specific challenges that have occurred in Europe due to the large-scale integration of WPPs in several European Member States, and refer to system stability and the security of the electricity supply in Europe [9].

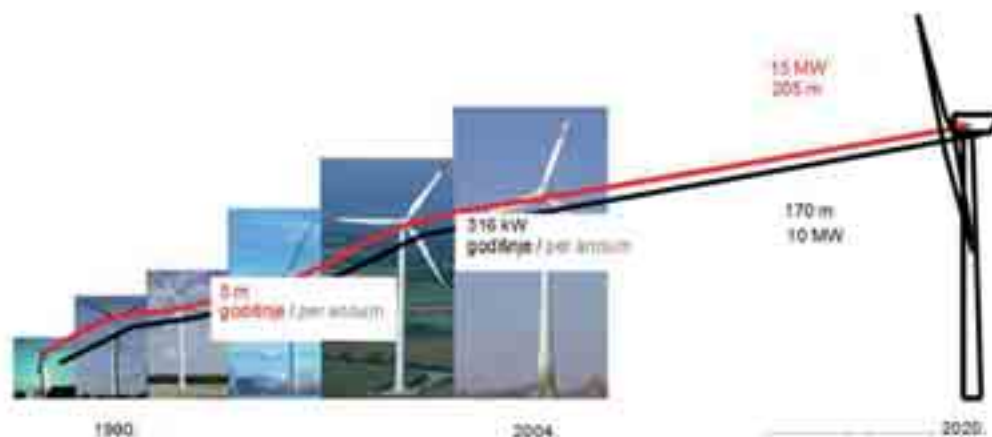
The project Tradewind within the Intelligent Energy-Europe program will offer measures for improving the internal electricity market, under conditions where there is a large share of electricity from WPPs on the market.

There are currently obstacles to the rapid integration of WPPs in the systems of the majority of the Member States of the European Union. The results of the Tradewind project, anticipated in final form by October 2008, will be used for finding efficient ways to remove these obstacles. Recommendations are anticipated for the modernizing of infrastructure networks and improving the trade mechanisms [10].

Renewable energy sources and energy efficiency have key roles in the Strategic Energy Review of the European Commission, published in the year 2007 [11].

In January 2007, the European Commission published its new energy strategy, entitled An Energy Policy for Europe – (COM 2007 1 final) [12], known as an energy package for the internal gas and electricity markets according to which the Member States undertake the following commitments:

- a 20 % share of renewable energy sources to cover electricity consumption,
- unbundling of transmission and generation activities on the electricity and gas markets,
- a priority plan for the construction of intercon-



Slika 3 – Očekivani rast jedinične snage vjetroagregata na moru [10]
 Figure 3 – Increases expected in the unit capacities of offshore wind power plants [10]

- zvodnih djelatnosti na tržištu električne energije i plina,
- prioritetni plan izgradnje interkonekcijskih vodova između sustava pojedinih zemalja članica,
 - 20 %-tno smanjenje stakleničkih plinova do 2020. godine.

4 TEHNOLOŠKI RAZVOJ VE LOCIRANIH NA MORU

Početkom 70-tih godina, nakon prve naftne krize, postalo je jasno da energija vjetra može smanjiti ovisnost o fosilnim gorivima.

Zahvaljujući intenzivnim istraživačkim i razvojnim aktivnostima, prvi komercijalni vjetroagregati su se pojavili 1980. godine. Daljnji komercijalni i tehnološki razvoj bio je koncentriran na povećanje jedinične snage vjetroagregata i na smanjenje proizvodne cijene električne energije. Visina stupa vjetroagregata je povećana od početnih desetak na 126 metara, a jedinična snaga je povećana od 50 kW na 5 000 kW [13].

Nakon intenzivne izgradnje VE na kopnu dolazi vrijeme intenzivnije izgradnje VE na moru, koje će se tehnički sve više razlikovati od VE na kopnu. Manja turbulencija, manje zamaranje materijala, duži pogonski vijek, manji zahtjevi na razinu buke i jednostavnije upravljanje, samo su neki od preduvjeta koji će utjecati na izvedbu vjetroagregata, koji će se graditi na moru. Očekuje se da će se rast jediničnih snaga i dimenzija vjetroagregata na moru kretati prema slici 3 [10].

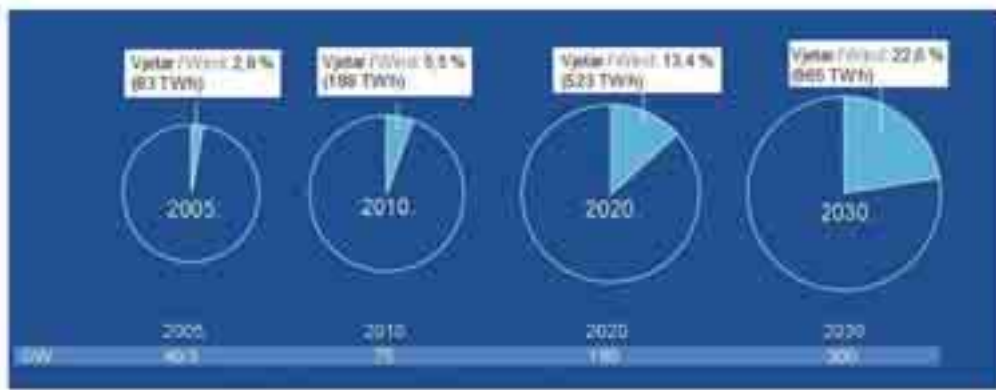
- nection lines between the systems of individual Member States,
- a 20 % reduction in greenhouse gasses by the year 2020.

4 TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF OFFSHORE WPPs

In the early 1970s following the first oil crisis, it became clear that wind energy could reduce dependence upon fossil fuels.

Owing to intensive research and development activities, the first commercial wind power plants appeared in the year 1980. Further commercial and technological development was concentrated on increasing the unit capacity of wind power plants and reducing electricity generating costs. The height of the wind turbine tower was increased from the initial 10 meters to 126 meters, and the unit capacity was increased from 50 kW to 5 000 kW [13].

Following intensive construction of onshore WPPs comes a period of intense construction of offshore WPPs, which will increasingly differ technically from onshore WPPs. Lower turbulence, less material fatigue, longer operating lifetime, less rigorous noise requirements and simpler control are only some of the prerequisites that will affect the installation of offshore wind power plants. It is expected that the unit capacities and dimensions of offshore power plants will increase, as shown in Figure 3 [10].



Slika 4 – Doprinos vjetroenergije [TWh] pokrivanju potrošnje električne energije EU. Rast instalirane snage VE od 2005. do 2030. godine [15]
Figure 4 – Contribution of wind power [TWh] to covering the electricity consumption of the EU. Growth in the installed capacities of WPPs from 2005 to 2030 [15]

5 PREDUVJETI ZA PRIHVAT VELIKE KOLIČINE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ VE U ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

U 2005. godini VE su proizvele više od 80 TWh električne energije ili 2,6 % godišnje potrošnje električne energije Europske unije. To je bio ekvivalent godišnje potrošnje Danske i Portugala zajedno [13].

U 2007. godini je proizvodni kapacitet VE povećan za 18 % i dosegao brojku od 56 535 MW. Taj proizvodni kapacitet će proizvoditi 119 TWh električne energije u prosječno vjetrovitoj godini, što je 3,7 % bruto potrošnje električne energije u Europi.

Trenutačno Europa raspolaže sa 60 % svjetskih proizvodnih kapaciteta u VE, koji su u svijetu dostigli razinu od 94 GW, od kojih je 20 GW instalirano u 2007. godini [14].

Zahvaljujući tom uspjehu, postavljen je novi cilj Europske komisije za 2010. godinu, proizvodnju VE od 188 TWh, odnosno pokrivanje 5,5 % bruto potrošnje električne energije Europske unije. Proizvodnja VE bi po ovom scenariju 2020. godine trebala pokrivati 13,4 %, a 2030. godine oko 22,6 % bruto potrošnje električne energije (slika 4) [15].

Europska udruga proizvođača opreme za vjetroelektrane (EWEA) je u ožujku 2008. godine objavila dokument pod nazivom Čista energija – scenariji korištenja energije vjetra do 2030. godine [16]. U dokumentu su obrađena tri razvojna scenarija VE za 2010., 2020. i 2030.

5 PREREQUISITES FOR THE INTEGRATION OF LARGE QUANTITIES OF ELECTRICITY FROM WPPs INTO AN ELECTRICAL POWER SYSTEM

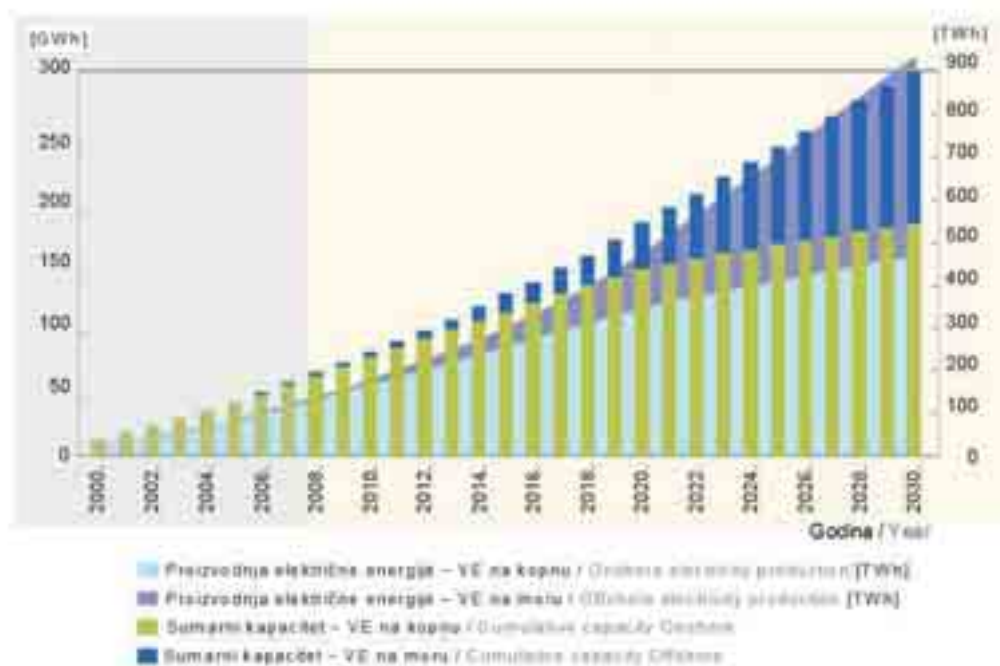
In the year 2005, WPPs generated over 80 TWh of electricity or 2,6 % of the annual energy consumption of the European Union. This was the equivalent of the annual consumption of Denmark and Portugal combined [13].

In the year 2007, the generating capacity of WPPs increased to 18 % and reached a figure of 56 535 MW. This generating capacity will produce 119 TWh of electricity in a year with average wind, which is 3,7 % of the total electricity consumption in Europe.

Europe currently has 60 % of the available total generating capacity of WPPs, which in the world has reached the level of 94 GW, of which 20 GW was installed in the year 2007 [14].

Owing to this success, a new target has been established by the European Commission for the year 2010, the generation of 188 TWh by WPPs, i.e. covering 5,5 % of the total electricity consumption of the European Union. Wind power generation according to this scenario would have to cover 13,4 % in the year 2020 and approximately 22,6 % of the total electricity consumption in the year 2030 (Figure 4) [15].

In March 2008, the European Wind Energy Association (EWEA) issued a document entitled Pure Power – Wind Energy Scenarios up to 2030 [16]. The document presents three development scenarios for WPPs for the years 2010, 2020 and 2030. The effects



Slika 5 – Predviđanje proizvodnje električne energije VE u EU u 2030. [16]
Figure 5 – Forecast of electricity generated by WPPs in the EU up to the year 2030 [16]

godinu. Detaljno su analizirani učinci izgradnje VE na proizvodnju električne energije, emisiju stakleničkih plinova i gospodarstvo zemalja članica Europske unije.

Na slici 5 predočeno je predviđanje proizvodnje električne energije VE u 2030. godini [16].

EWEA, koja predstavlja industriju opreme za VE, vrlo aktivno promovira razvoj korištenja energije vjetra u Europi i svijetu. EWEA udruuga ima 500 članova iz 45 zemalja svijeta. To su proizvođači opreme za VE, dobavljači pojedinih komponenti, istraživački instituti, nacionalne udruge za vjetroenergiju i obnovljive izvore energije, developeri, opskrbljivači električnom energijom, financijska i osiguravajuća društva te konzultanti.

EWEA je objavila elaborat pod naslovom Prihvata velike količine vjetroenergije u sustav opskrbe električnom energijom (prosinac 2005.), u kojem su predočene detaljne analize tehničkih ekonomskih i pravnih pitanja, utemeljenih na 180 izvora, objavljenih podataka, izvješća, istraživačkih radova i studija radi opsežnijeg i bržeg uklapanja VE u elektroenergetski sustav [2].

U Bruxellesu je u organizaciji udruge EWEA održana krajem 2006. godine konferencija pod nazivom Europska konferencija o vjetroenergiji (EWEC 2006), na temu prihvata velikih količina električne energije proizvedene u VE u europski elektroenergetski sustav, s dvije ključne teme:

of the construction of WPPs on the production of electricity, greenhouse gas emissions and the economies of the Member States of the European Union are analyzed in detail.

In Figure 5, a forecast of electricity generated by WPPs up to the year 2030 is presented [16].

EWEA, which represents the wind energy industry, very actively promotes the development of the utilization of wind energy in Europe and the world. EWEA has 500 members from 45 countries around the world. These are manufacturers of equipment for WPPs, suppliers of individual components, research institutions, national associations for wind power and renewable energy sources, developers, electricity suppliers, financial and insurance companies, and consultants.

EWEA has issued a report entitled Large-Scale Integration of Wind Energy in the European Power Supply (December 2005), including detailed analyses of technical, economic and legal questions, based upon 180 sources, published data, reports, research investigations and studies for the purpose of more extensive and rapid integration by WPPs into the energy system [2].

A conference organized by EWEA was held in Brussels in late 2006, entitled the European Wind Energy Conference (EWEC) 2006, on the theme of the large-scale integration of electricity produced by WPPs within the European electricity system, with two key topics:

- tehnička i ekonomska integracija električne energije VE u električnu mrežu, odnosno na tržište električne energije,
- politički preduvjeti za daljnji razvoj VE na kontinentalnim i morskim lokacijama.

S tehničkog i ekonomskog aspekta, moguć je značajan doprinos energije vjetra proizvodnji električne energije u Europi. Taj se doprinos može ostvariti zadržavanjem prihvatljive razine sigurnosti sustava uz umjerene dodatne troškove. Potrebno je provesti promjene u sustavu i način upravljanja sustavom.

Prihvat VE ukupne snage od 15 % do 20 % snage postojećeg konvencionalnog proizvodnog parka u sustavu ne bi trebao iziskivati velika financijska ulaganja u pojačanje i proširenje postojeće mreže, niti predstavljati rizik za stabilnost sustava i sigurnost opskrbe električnom energijom [2].

Preduvjet za učinkovit prihvat proizvodnje VE je povećanje prijenosnih kapaciteta. Što je veća mreža, to je lakše uravnotežiti promjene proizvodnje električne energije VE.

Prijenosna mreža mogla bi postati rješenje za brži prihvat obnovljivih izvora energije u sustav, umjesto uvriježenog stajališta da je ona glavni problem i tehnička prepreka razvoju obnovljivih izvora energije. Primjena pogodnih suvremenih tehnologija za proširenje mreže omogućit će:

- izgradnju elektrana na bazi obnovljivih izvora energije na najboljim lokacijama,
- uključivanje u sustav udaljenih izvora energije,
- lakše zadovoljenje zahtjeva mrežnih pravila za:
 - upravljanje VE,
 - pomoć sustavu regulacijom napona,
 - zadovoljenje zahtjeva u svezi s promjenom frekvencije,
 - sposobnost da vjetroagregat ostane u pogonu tijekom poremećaja u mreži.

U prezentiranom članku na konferenciji EWEC 2006. pod nazivom Tehnologije prijenosa električne energije u funkciji većeg prihvata energije VE u sustav predložena je uloga prijenosne mreže koja treba biti podrška snažnom i bržem razvoju obnovljivih izvora energije [17].

U članku se obrazlažu razlozi za primjenu podzemnog prijenosa električne energije. Riječ je o raspoloživoj novoj HVDC Light

- the technical and economic integration of electricity from WPPs into the electrical power grid, i.e. on the electricity market,
- the political prerequisites for the further development of WPPs at onshore and offshore locations.

From the technical and economic aspects, a significant contribution by wind power to electricity production in Europe is feasible. This contribution can be achieved with the maintenance of an acceptable level of system security at moderate additional cost. It is necessary to make changes in the system and manner of system control.

The integration of wind power into the system in the amount of 15 % to 20 % of the power currently generated by conventional power plants should neither require major financial investments in strengthening and extending the existing grid nor pose a risk to the stability of the system or the safety of the electricity supply [2].

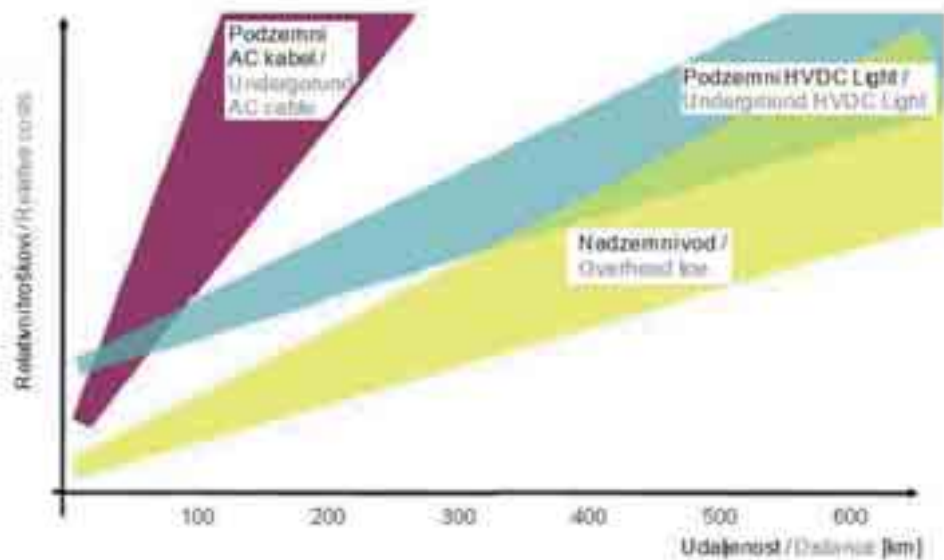
A prerequisite for the efficient integration of the production of WPPs is to increase the transmission capacities. The larger the grid, the easier it is to balance changes in electricity production by WPPs.

A transmission grid could become the solution for the rapid integration of renewable energy sources into a system, contrary to ingrained opinion that it is the main problem and technical barrier to the development of renewable energy sources. The application of suitable modern technologies for grid extension will facilitate the following:

- the construction of power plants based on renewable energy sources in the optimal locations,
- integration into the system of distant energy sources,
- facilitated compliance with the requirements of grid codes for the following:
 - WPP control,
 - support for the voltage regulation system,
 - compliance with requirements regarding frequency variation,
 - the ability of a wind power plant to remain in operation during grid disturbances.

In an article presented at EWEC 2006 entitled Transmission Technologies to Support Integration of Wind Power Technology, the role of the transmission grid is presented, which should be to provide support for the strong and rapid development of renewable energy sources [17].

In the article, reasons are explained for the underground transmission of electricity. This concerns a newly available HVDC light alternative



Slika 6 – Relativni troškovi prijenosa električne energije [17]
Figure 6 – Relative costs of electricity transmission [17]

alternativi, za udaljenosti prijenosa energije preko 500 km, drastičnom smanjenju troškova i skraćenju vremena potrebnog za lociranje mjesta kvara i popravka kabela [17].

for transmitting electricity over 500 km, drastic reduction in costs and a reduction in the time required for locating a fault site and cable repair [17].

Posebno se ističe sve manja naklonost javnosti izgradnji nadzemnih vodova, dugotrajno ishođenje dozvola i suglasnosti te povećani ekološki zahtjevi za nadzemne vodove (slika 6).

It particularly emphasizes decreasing public approval for the construction of overhead lines, the long-term issue of permits and authorizations, and increased ecological requirements for overhead lines (Figure 6).

Infrastrukturu mreže treba poboljšavati na nacionalnoj, regionalnoj i europskoj razini. Poboljšanje mreže može se ostvariti na kratkoročnoj i dugoročnoj vremenskoj osnovi. Kratkoročno je moguće provesti

The grid infrastructure should be improved on the national, regional and European levels. Improving the grid can be achieved on a short-term and long-term basis. In the short-term, it is possible to optimize the grid, install flexible alternative cur-



Slika 7 – Shematski prikaz potencijalnih trasa interkontinentalnog prijenosnog sustava [17]
Figure 7 – Potential routes of the intercontinental transmission system [17]



Slika 8 – Vizija visokonaponske super mreže za prijenos energije VE na moru u Europu [17]
Figure 8 – Vision of a high voltage supergrid for the transmission of energy generated by offshore WPPs [17]

optimizaciju mreže, ugraditi FACTS uređaje i provesti tzv. blage mjere.

Na dugoročnoj osnovi računa se s izgradnjom europske interkontinentalne super mreže (slika 7) [17].

Izgradnjom europske super mreže za prijenos električne energije VE lociranih na moru (slika 8), znatno bi se ublažio učinak promjenljivosti proizvodnje VE na širokom europskom prostoru, bilo bi moguće točnije prognozirati kratkoročnu proizvodnju VE, poboljšalo bi se funkcioniranje internog tržišta električne energije i prekogranična razmjena energije [17].

6 UTJECAJ PRIHVATA PROMJENLJIVE PROIZVODNJE VE NA KARAKTERISTIKE I TROŠKOVE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Europa je svjetski predvodnik u razvoju i korištenju obnovljivih izvora energije, od kojih energija vjetrova najviše obećava. Od 2000. godine proizvodni kapaciteti u VE su povećani za više od 150 % [13].

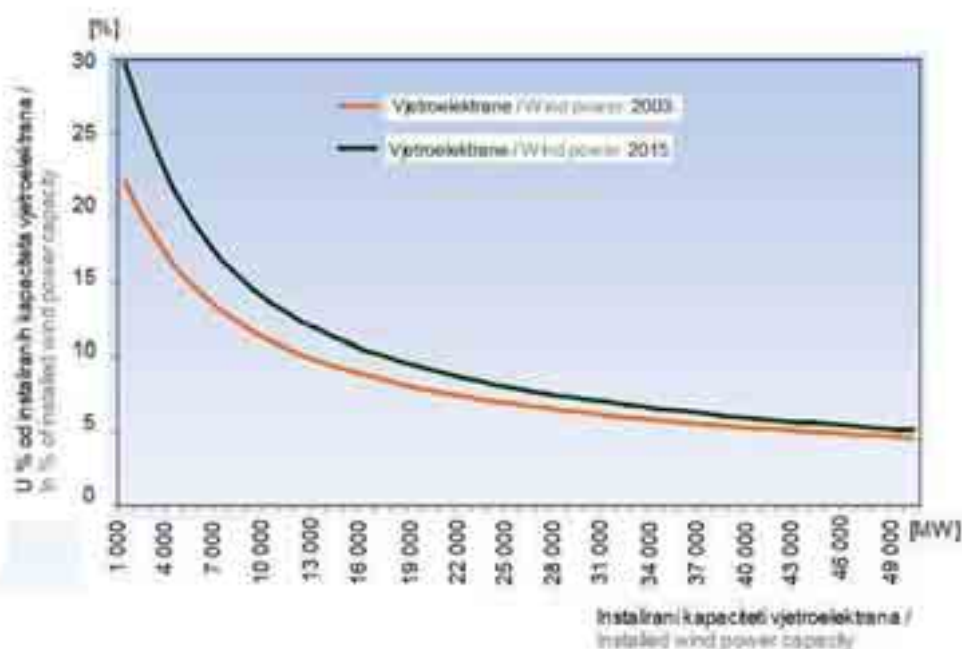
rent transmission systems (FACTS) and implement moderate measures.

On the long-term basis, hopes are riding on the construction of the European intercontinental supergrid (Figure 7) [17].

With the construction of the European supergrid for the transmission of electricity from offshore WPPs (Figure 8), the impact of the variability of the WPP production throughout Europe would be lessened, it would be possible to forecast short-term WPP production more accurately, and the function of the internal electricity market and transborder energy exchanges would be improved [17].

6 THE IMPACT OF THE INTEGRATION OF VARIABLE PRODUCTION OF WIND POWER PLANTS ON THE CHARACTERISTICS AND COSTS OF AN ELECTRICAL POWER SYSTEM

Europe is a world leader in the development and use of renewable energy sources, of which wind energy is the most promising. Since the year 2000, the generating capacities of WPPs have increased by more than 150 % [13].



Slika 9 – Ovisnost snaga VE s kojom operator sustava može računati u sustavu o instaliranim kapacitetima VE [14]
 Figure 9 - The capacity credit of WPPs that a system operator can count on in a system depending on the installed wind power capacities [14]

Proizvodnjom VE ostvaruje se diversifikacija proizvodnog miksa i povećava udio proizvodnje iz domaćih resursa oslobođenih od svih rizika koji prate opskrbu fosilnim gorivima sa svjetskog tržišta.

Izgradnjom VE zamjenjuje se dio proizvodnje konvencionalnih elektrana. Snaga VE, s kojom operator sustava može računati u sustavu se kreće između 35 % i 10 % instaliranog kapaciteta VE (slika 9) [14].

Ako je u sustavu instalirano nekoliko GW, snaga VE s kojom operator sustava može računati u sustavu iznosi oko 30 %. Pri razini uključenosti od 20 GW, snaga VE s kojom operator sustava može računati u sustavu se kreće od 10 % do 15 % ukupno instalirane snage VE [14].

Utjecaj VE na sustav ovisi o razini uključenosti VE u sustavu i njegovim obilježjima. Veliki sustavi raspolazu fleksibilnim mehanizmima, koji lakše podržavaju prihvat promjenljive proizvodnje VE.

Prilagodba sustava na sve veći opseg uključenosti VE će utjecati na njegove karakteristike.

Ključno je pitanje kako uskladiti i uravnotežiti proizvodnju i potrošnju energije u sustavu s većim opsegom uključenosti VE. Rješenja su osiguranje rezervne snage u konvencionalnim elektranama, što učinkovitije predviđanje proizvodnje VE, što bolje interkonekcije sa susjed-

Wind power generation achieves diversification of the production mix and increases the share of production from domestic resources, without all the risks that accompany the fossil fuel supplied from the world market.

With the construction of WPPs, part of the production from conventional power plants is replaced. The capacity credit of WPPs that the system operator can count on in a system ranges between 35 % and 10 % of the installed wind power capacity (Figure 9) [14].

If several GW are installed in a system, the capacity credit of wind power that a system operator can count on in the system is approximately 30 %. At a level of integration of 20 GW, the capacity credit of wind power that the system operator can count on in the system ranges from 10 % to 15 % of the total installed wind power capacity [14].

The impact of WPPs on a system depends on the level of the integration of wind power into the system and its characteristics. Large systems have flexible mechanisms that can more easily support the integration of the variable production of WPPs.

The adaptation of a system to an increasing range of the integration of WPPs will affect its characteristics.

A key question is how to coordinate and balance production and energy consumption in a system with large-scale integration of WPPs. The solutions

nim sustavima, upravljanje potrošnjom i skladištenje energije [2].

Postojeći modeli upravljanja sustavom i raspoloživa pričuvna snaga u sustavu, namijenjena za uravnoteženje svakodnevnih promjena potrošnje i opskrbe je dostatna za uravnoteženje dodatne promjenljive električne energije proizvedene u VE, pri njihovoj razini uključenosti do 20 % bruto potrošnje sustava [2].

U Danskoj su VE već 2004. godine pokrivala 21 % bruto potrošnje električne energije. U danskom zapadnom prijenosnom sustavu, koji nije bio priključen na istočni dio zemlje, četvrtina potrošnje tog dijela Danske pokrivena je proizvodnjom VE u godini s prosječnim intenzitetom vjetra. U nekim slučajevima je vjetar mogao pokrivati 100 % potrošnju električne energije.

Veći opseg prihvata VE u sustav je često porican kao nemoguć i mnogi su operatori sustava bili neskloni promjenama davno uspostavljenih procedura zbog uključivanja proizvodnje VE u sustav.

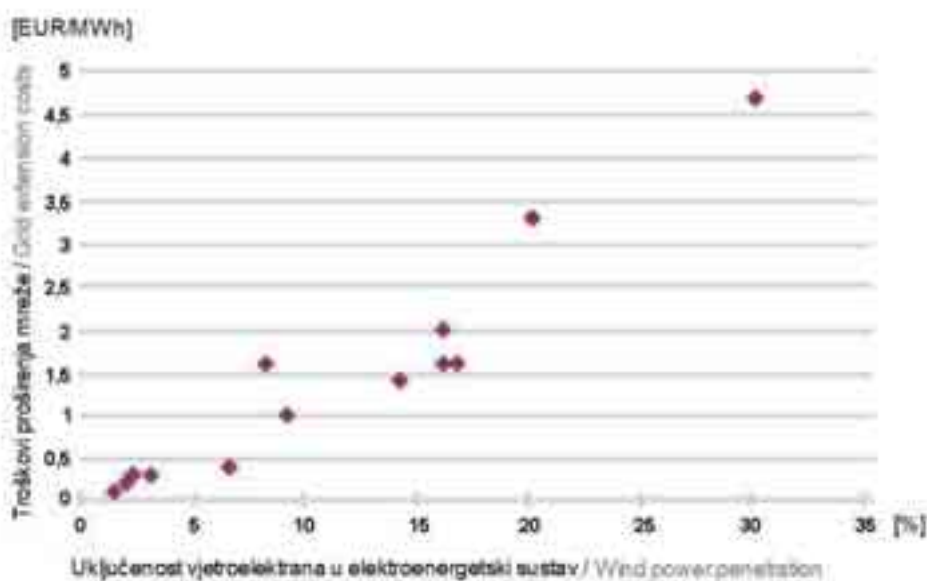
Operatori danskog sustava su u početnoj fazi bili skeptični glede veličine snage VE koja bi se mogla uključiti u sustav. U tijeku tri godine od 1999. kapacitet VE u Jutland Fyn sustavu se povećao sa 1 100 MW na 2 400 MW. Sedam ili osam godina ranije operatori su smatrali da sustav neće funkcionirati ako se snaga VE povećava iznad 500 MW.

are to secure reserve power in conventional power plants, efficient forecasting of WPP generation, optimal interconnections with neighboring systems, consumption control and energy storage [2].

Existing models of system control and available reserve power intended for the balancing of daily variations in supply and demand are sufficient for balancing additional variations in the electricity generated by WPPs at a level of integration of up to 20 % of total system consumption [2].

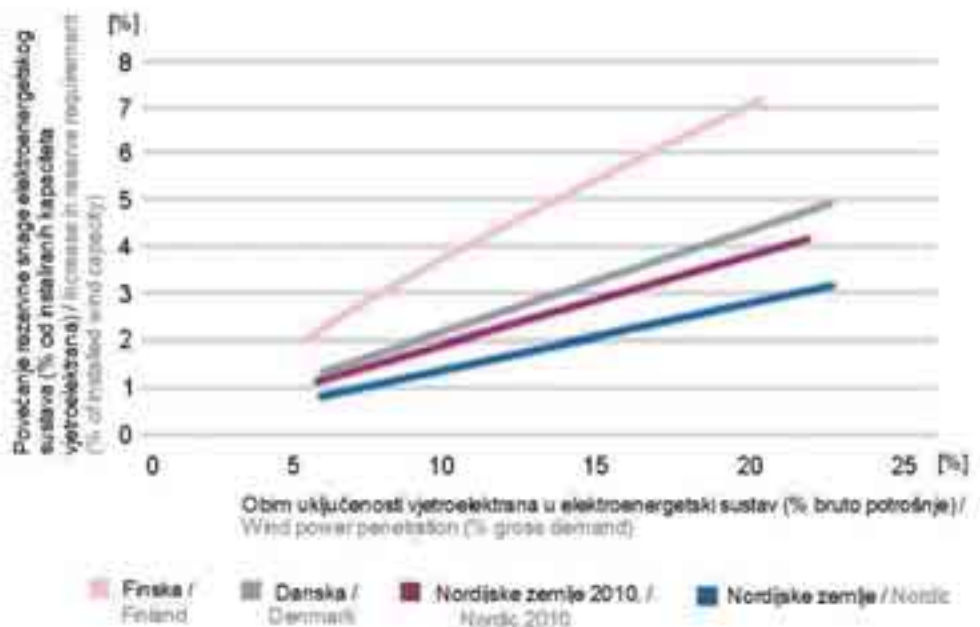
In the year 2004, WPPs already covered 21 % of the total electricity consumption in Denmark. In the western Danish transmission system, which was not connected to the eastern part of the country, a quarter of the consumption of that part of Denmark is covered by wind power generation in a year with average wind intensity. In some cases, wind could cover 100 % of electricity consumption. Greater integration of WPPs into a system is frequently considered to be impossible and many system operators have opposed changes in long-established procedures due to the integration of wind power generation into a system.

In the initial phase, the operators of the Danish system were skeptical regarding the amount of power from WPPs which could be integrated into the system. During three years, starting in 1999, the capacity of the wind power plant in the Jutland Fyn system increased from 1 100 MW to 2 400 MW. Seven or eight years earlier, the operators had believed that the system would not function if the wind power from WPPs were to increase to over 500 MW.



Slika 10 – Dodatni troškovi proširenja mreže u ovisnosti o razini uključenosti VE u sustav [2]

Figure 10 – Additional costs of grid extension as a function of the level of the integration of WPPs into a system. [2]



Slika 11 – Ovisnost pričuvne snage sustava o opsegu uključenosti VE [2]
 Figure 11 – The dependence of the reserve power of a system on wind power penetration [2]

6.1 Troškovi prihvata VE u sustav [15]

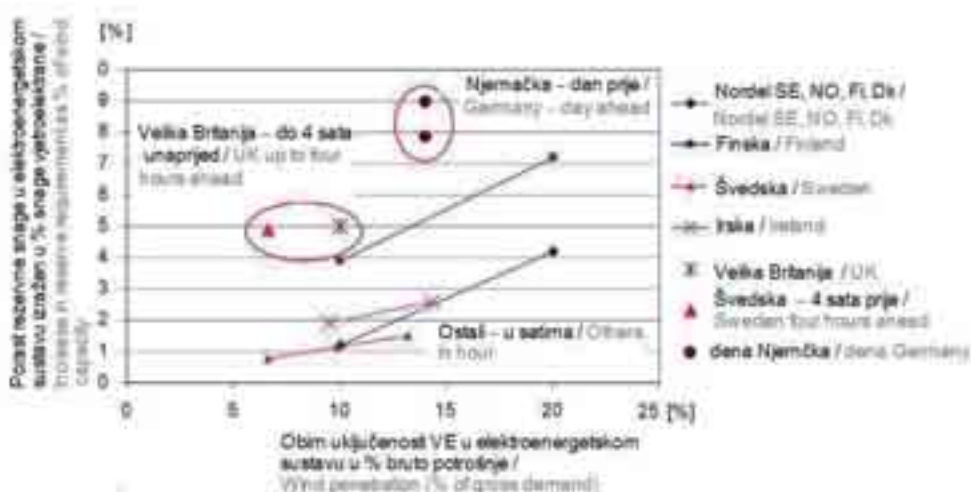
Dodatni troškovi proširenja mreže ovise o razini uključenosti VE u sustav. Oni iznose od 0,1 EUR/MWh do 4,7 EUR/MWh proizvedene električne energije VE (slika 10).

Ovisnost pričuvne snage sustava o opsegu uključenosti VE na nordijskom području predložena je na slici 11.

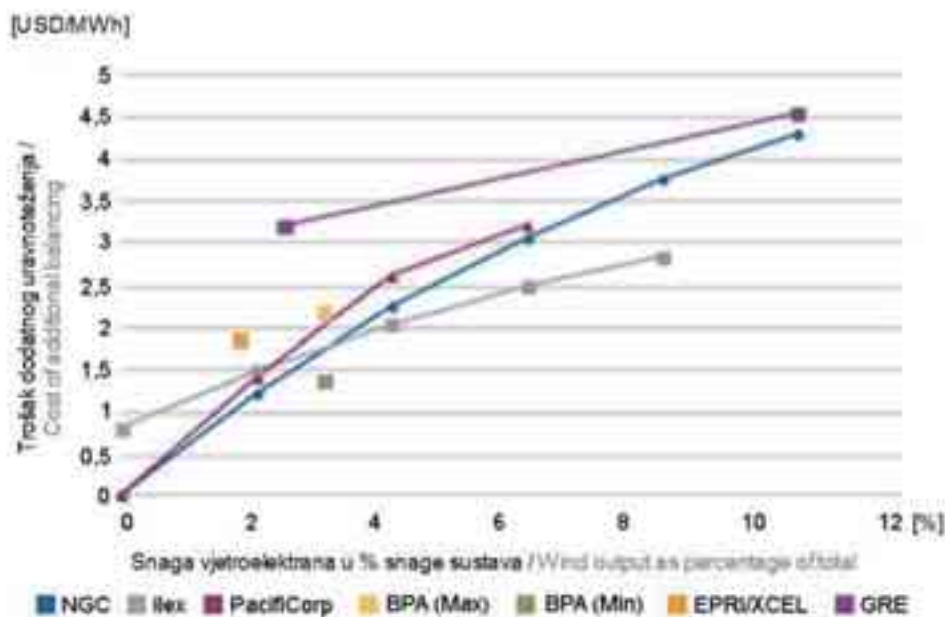
6.1 Costs of integrating WPPs into a system [15]

Additional costs of grid extension depend upon the level of the integration of WPPs into a system. These range from 0,1 EUR/MWh to 4,7 EUR/MWh of electricity produced by WPPs (Figure 10).

The dependence of the reserve power of a system on wind power penetration in the Nordic region is presented in Figure 11.



Slika 12 – Pričuvna snaga sustava u ovisnosti o opsegu uključenosti VE u sustavu i procjenama proizvodnje VE unaprijed [18]
 Figure 12 – The dependence of the reserve power of a system on the wind power penetration in the system and the estimated forecasts of wind power generation [18]



Slika 13 – Procjena dodatnih troškova uravnoteženja na temelju šest obrađenih studija [2]
Figure 13 – Estimate of additional balancing costs based upon six studies [2]

Ovisnost pričuvne snage sustava o opsegu uključenosti VE u sustavu i procjenama proizvodnje VE unaprijed predočena je na slici 12.

Dodatni troškovi uravnoteženja sustava, za razinu uključenosti VE do 10 % instalirane snage sustava iznose od 1 EUR/MWh do 3 EUR/MWh proizvedene električne energije VE u sustavu, a za razinu uključenosti VE do 20 % instalirane snage sustava iznose od 2 EUR/MWh do 4 EUR/MWh proizvedene električne energije VE u sustavu.

Procjena dodatnih troškova uravnoteženja na temelju šest obrađenih studija predočena je na slici 13.

Troškovi priključenja VE na prijenosnu mrežu iznose od 0 EUR/MWh do 4 EUR/MWh proizvedene električne energije VE.

Cijena električne energije kod krajnjeg potrošača povećava se za manje od 5 %.

7 MREŽNA PRAVILA ZA VE

Mrežna pravila za VE trebaju odražavati stvarne tehničke potrebe pogona sustava. Koncipiranje mrežnih pravila trebalo bi se ostvarivati u neposrednoj suradnji operatora sustava, sektora vjetroenergije, energetskih regulatora i nadležnih državnih institucija.

Sadašnja mrežna pravila često sadrže skupe i izazovne zahtjeve tamo gdje za to nema tehnič-

The dependence of the reserve power of a system on wind power penetration in the system and estimated forecasts of wind power generation are presented in Figure 12.

Additional costs of system balancing at the level of wind power integration of up to 10 % of the installed system capacity are from 1 EUR/MWh to 3 EUR/MWh for the electricity generated by wind power in the system, and at the level of wind power integration of up to 20 % of the installed system capacity are from 2 EUR/MWh to 4 EUR/MWh for the electricity generated by wind power in the system.

An estimate of additional balancing costs based upon six studies is presented in Figure 13.

The costs of the connection of WPPs to a transmission grid are from 0 EUR/MWh to 4 EUR/MWh for the electricity generated by wind power.

The price of electricity for the final consumer is increased by less than 5 %.

7 GRID CODES FOR WPPs

Grid codes for WPPs should reflect the actual technical requirements of system operation. Grid codes should be developed through the direct cooperation of the system operator, wind power sector, energy regulators and state institutions.

Current grid codes frequently contain expensive and challenging requirements, which lack technical justi-

kog opravdanja, zbog niske razine uključenosti VE u sustavu, što je slučaj u većini europskih zemalja [2].

Ciljevi tehničkih kriterija i zahtjeva reguliranih mrežnim pravilima su sljedeći:

- očuvanje bitnih karakteristika elektroenergetskog sustava, kao što su sigurnost pogona i kvaliteta električne energije,
- korištenje nekih svojstava VE koje su u funkciji sigurnosti pogona sustava,
- poticanje razvoja onih osobina VE koje pridonose kompatibilnosti VE i EES-a,
- omogućavanje što većeg prihvaća VE u EES, poboljšanjem integracijskih svojstava VE,
- izgradnja velikih VE koje imaju istovjetne karakteristike poput konvencionalnih elektrana.

Industrija opreme za VE nastoji što prije ispuniti tražene zahtjeve. To se prvenstveno odnosi na:

- kvalitetu električne energije, prema IEC standardima,
- primjenu SCADA sustava,
- razvoj konvertora pune snage za promjenljivu brzinu vrtnje turbine s DFIG generatorom,
- sposobnost zadržavanja VE u pogonu tijekom poremećaja u mreži,
- pouzdano upravljanje i zaštitne funkcije vjetroagregata, odnosno VE,
- sposobnost upravljanja snagom VE tijekom poremećaja u mreži,
- sposobnost razmjene jalove energije na mjestu priključka VE na mrežu,
- registraciju odziva VE na poremećaje u sustavu,
- brzinu odziva VE na poremećaje u mreži.

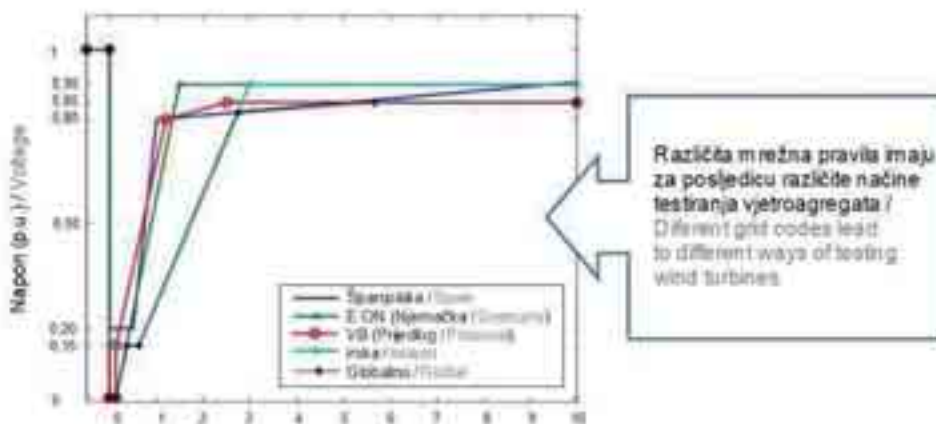
fication due to the low level of the integration of WPPs into a system, as is the case in the majority of European countries [2].

The goals of the technical criteria and requirements regulated by grid codes are as follows:

- preservation of the essential characteristics of the electricity system, such as operation security and electricity quality,
- the use of some properties of WPPs in the function of the operation security of the system,
- facilitate the maximum integration of WPPs into an electrical power system, improvement in the integrative properties of WPPs,
- construction of large WPPs with characteristics equivalent to those of conventional power plants.

The wind power equipment industry is attempting to meet these requirements as soon as possible, primarily in reference to the following:

- electricity quality, according to IEC standards,
- application of the SCADA system,
- development of full-power converters for variable speed wind turbines with DFIG generators,
- the capability of WPPs to operate during grid disturbances,
- reliable control and protective functions of wind turbines, i.e. WPPs,
- the capability of controlling the power of WPPs during grid disturbances,
- reactive power capability at the connection point of the WPP to the grid,
- recording of the response by a WPP to a system disturbance,
- the response time of a WPP to a system disturbance.



Slika 14 – Različiti zahtjevi navedeni u pet mrežnih pravila za isti poremećaj u mreži [19]
Figure 14 – Various requirements specified by five grid codes for the same grid disturbance [19]

Potrebna su jasna pravila koja jamče siguran pogon sustava. No, ta se pravila često mijenjaju, bez bilo kakve uključenosti proizvođača opreme i drugih zainteresiranih subjekata.

Operatori sustava i ostali zainteresirani partneri trebaju razvijati realistična mrežna pravila utemeljena na suvremenoj i fizički ostvarivoj tehnologiji.

Mrežna pravila i tehnički zahtjevi se uvelike razlikuju od zemlje do zemlje (slika 14). To se prvenstveno opravdava različitim razinom uključenosti VE, veličinom i karakteristikama sustava i lokalnom tradicionalnom praksom [19].

Postoje i zajednički zahtjevi gotovo svih operatora sustava, a to su:

- razmjena pogonskih podataka između operatora sustava i VE,
- neprekidan pogon VE u relativno širokom rasponu promjena napona i frekvencije,
- regulacija djelatne snage i frekvencije,
- regulacija jalove snage i napona.

Do neke mjere je opravdano usklađivanje različitih zahtjeva u mrežnim pravilima. Tako bi npr. usklađivanje metodologije pravodobne procjene podobnosti lokacije olakšalo proceduru priključivanja VE na mrežu.

Mrežna pravila bi zapravo trebala omogućiti veliku razinu uključenosti VE u sustav. Ona moraju smanjiti rizike vezane uz stabilnost mreže te su važna za razvoj VE, koje moraju pridonijeti stabilnom pogonu sustava.

7.1 Mrežna pravila pojedinih zemalja [20]

Španjolska

U Španjolskoj postoje opća mrežna pravila za sve nove proizvodne objekte i posebna mrežna pravila za prihvat VE u elektroenergetski sustav.

Cilj mrežnih pravila za VE je rješavanje poteškoća koje se pojavljuju u sustavu uključivanjem većeg opsega VE u sustav (15 145 MW, krajem 2007. godine).

Prema mrežnim pravilima VE moraju zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

- trajno zadovoljavati zadane uvjete glede održavanja razine napona i frekvencije,
- zadovoljavati zadane uvjete vezane uz kvalitetu električne energije,
- ostati na mreži pri sniženju napona uzrokovano poremećajima u mreži.

Clear regulations are needed that guarantee secure system operation. However, these regulations change frequently, without any participation by equipment manufacturers and other interested parties.

System operators and other interested parties should develop realistic grid codes, based upon modern and physically feasible technology.

Grid regulations and technical requirements always differ from country to country (Figure 14). This is primarily justified by the various levels of WPP integration, size, system characteristics and traditional local practices [19].

There are also common requirements for nearly all system operators, as follows:

- exchange of operational data between the system operator and a WPP,
- continuous operation of a WPP within a relatively broad range of voltage and frequency variations,
- regulation of active power and frequency,
- regulation of reactive power and voltage.

To a certain extent, the coordination of various requirements in grid codes is justified. Thus, for example, the coordination of the methodology of the timely assessment of the suitability of a locality would facilitate the procedure for the connection of a WPP to the grid.

Grid codes should actually facilitate a high level of integration of WPPs into a system. They should reduce the risks connected with grid stability and are important for the development of WPPs, which should contribute to stable system operation.

7.1 The grid codes of individual countries [20]

Spain

In Spain there are general grid codes for all new generating facilities and separate grid codes for the integration of WPPs into the electrical power system.

The goal of the grid codes for WPPs is to resolve the difficulties that occur in a system with the integration of large-scale WPPs (15 145 MW, late 2007).

According to the grid codes, WPPs must meet the following requirements:

- continuously meet the given prerequisites regarding the maintenance of the voltage and frequency levels,
- meet the given requirements in connection with electricity quality,
- remain on the grid during reductions in voltage due to grid disturbances.

Portugal

Nova mrežna pravila reguliraju:

- sposobnost zadržavanja VE u pogonu tijekom poremećaja u mreži,
- regulaciju frekvencije,
- regulaciju napona,
- regulaciju djelatne snage,
- modeliranje VE.

Francuska, Italija, Austrija, Slovačka

Nema posebnih zahtjeva.

Nizozemska

Nema posebnih zahtjeva. Ako VE ne može ispuniti zahtjeve regulirane mrežnim pravilima, mora se zatražiti dozvola od operatora sustava za odstupanje od mrežnih pravila.

Belgija

Trenutačno nema posebnih zahtjeva izvan standardnih zahtjeva za sve elektrane. Različita pravila vrijede za manje elektrane, do 25 MW i za one veće snage. S obzirom na gustoću naseljenosti u Belgiji na kopnu nema VE većih od 25 MW. Za VE na moru primjenjivat će se njemačka mrežna pravila ili pravila ostalih zemalja.

Njemačka

Osnovni tehnički zahtjevi za priključak elektrana su utvrđeni u Mrežnim pravilima njemačkog operatora VDN. Zbog snažnog rasta elektrana na bazi obnovljivih izvora energije, zahtjevi su utvrđeni u Priručniku iz kolovoza 2004. godine. Svaki operator prijenosnog sustava je objavio vlastita mrežna pravila za priključenje na mrežu koja više ili manje slijede usvojene temeljne zahtjeve.

Grčka

U grčkim mrežnim pravilima uključen je ($n-1$) kriterij, kratkospojni omjer, granice promjene napona u priključnom čvorištu VE na prijenosnu mrežu i standardi kvalitete električne energije.

Poljska

Tehnički zahtjevi za VE sadrže: regulaciju djelatne snage, pogon pri raznim razinama napona i frekvencije, uključivanje i isključivanje iz mreže, upravljanje naponom i jalovom snagom, uvjete pogona pri poremećajima u mreži, standarde kvalitete električne energije, zaštitu, monitoring, telekomunikacijske veze i testiranje postrojenja.

Češka republika

Posebni zahtjevi u mrežnim pravilima se odnose na: minimalni raspon frekvencije i napona

Portugal

The new grid codes regulate the following:

- the ability to maintain WPPs in operation during grid disturbances,
- voltage regulation,
- active power regulation,
- modeling WPPs.

France, Italy, Austria and Slovakia

There are no special requirements.

The Netherlands

There are no special requirements. If a WPP cannot meet the requirements stipulated by the grid codes, it is necessary to seek a permit from the system operator for deviation from the grid codes.

Belgium

Currently, there are no special requirements outside the standard requirements for all power plants. Different regulations apply for small power plants, up to 25 MW and for those with a higher power rating. Due to the population density of Belgium, there are no onshore WPPs larger than 25 MW. For offshore WPPs, the German grid codes or codes of other countries will be applied.

Germany

The basic technical requirements for the connection of power plants are specified in the grid codes of the German operator VDN. Due to strong growth in power plants using renewable energy sources, the requirements are specified in a manual issued in August 2004. Each operator of a transmission system has issued a grid code for connection to the grid, which more or less follows the basic adopted requirements.

Greece

The Greek grid codes include ($n-1$) criterion, short-circuit ratio, limits of voltage variation in the connection node of a WPP to a transmission grid and standards for electricity quality.

Poland

The technical requirements for a WPP contain regulation of the active power, operation under variable levels of voltage and frequency, connection and disconnection from the grid, control of voltage and reactive power, operating conditions during grid disturbances, standards for electricity quality, protection, monitoring, telecommunications connections and equipment testing.

The Czech Republic

Special requirements in the grid codes refer to the minimum ranges of frequency and voltage for the operation of WPPs, the possibilities for reducing power, the maximum permitted power increase and regula-

za pogon vjetrogeneratora, mogućnosti smanjenja snage, maksimalno dozvoljeno povećanje snage, pravila za ponašanje generatora u različitim situacijama u sustavu (kratki spoj, regulacija napona i jalove snage, promjene frekvencije, zaštite i standardi kvalitete električne energije).

Švedska

Postoje različiti zahtjevi za razne veličine VE; velike, preko 100 MW, srednje, od 25 MW do 100 MW i male, od 1,5 MW do 25 MW. Također, postoje i zahtjevi za sposobnost zadržavanja VE u pogonu tijekom poremećaja u mreži, upravljanje naponom, upravljanje djelatnom snagom i komunikacije.

Finska

U Finskoj još ne postoje nacionalna mrežna pravila. Pripremaju se zajednička mrežna pravila na razini Udruge operatora prijenosnih sustava NORDEL-a.

Danska

Na snazi su mrežna pravila za vjetroagregate priključene na mrežu napona ispod 100 kV i za VE priključene na naponsku razinu iznad 100 kV.

Velika Britanija

Mrežna pravila Velike Britanije su novelirana 1. lipnja 2005. s dodanim zahtjevima za nove proizvodne objekte i objekte na bazi obnovljivih izvora energije, za VE i HVDC konvertore. U pravilima su navedeni sljedeći zahtjevi:

- raspon regulacije jalove energije: faktor snage od 0,95 ind. do 0,95 kap. na mjestu priključka VE na prijenosnu mrežu,
- sposobnost regulacije frekvencije na razini VE (pružanje usluga sustavu je predmet komercijalnog ugovora),
- sposobnost regulacije napona na mjestu priključka VE na prijenosnu mrežu,
- sposobnost zadržavanja VE u pogonu tijekom poremećaja u mreži: VE mora ostati na mreži tijekom trolejnog kratkog spoja u 400 kV ili 275 kV mreži u trajanju do 140 ms,
- za duže trajanje poremećaja od 140 ms, VE mora zadovoljiti zahtjeve prema zadanoj krivulji promjene napona.

Hrvatska

U Republici Hrvatskoj su na snazi Mrežna pravila za konvencionalne elektrane, kojima će se dodati tehnički zahtjevi, odnosno mrežna pravila za priključak i pogon VE na prijenosnoj mreži, o kojim se trenutačno raspravlja na stručnim i nadležnim državnim tijelima i institucijama.

tions for generator behavior under various situations in the system (short circuit, regulation of voltage and reactive power, frequency variations, protection and standards for electricity quality).

Sweden

There are different requirements for various sizes of WPPs: large, over 100 MW; average, from 25 MW to 100 MW; and small, from 1,5 MW to 25 MW. Furthermore, there are also requirements for the capability of maintaining WPPs in operation during grid disturbances, voltage control, active power control and communication.

Finland

In Finland, there are still no national grid codes. Joint grid codes are being prepared at the level of the NORDEL Transmission System Operators Association.

Denmark

Grid codes are in force for wind turbines connected to grids with voltage levels below 100 kV and for WPPs connected to grids with voltage levels above 100 kV.

Great Britain

The grid codes of Great Britain were revised on June 1, 2005, with additional requirements for new generation facilities and facilities based on renewable energy sources, WPPs and HVDC converters. The following requirements are stipulated in the codes:

- the range of the regulation of reactive power: power factor from 0,95 ind. to 0,95 cap. at the site of the WPP connection to the transmission grid,
- capability of frequency regulation at the WPP level (providing services to the system is the subject of a commercial contract),
- capability of voltage regulation at the connection point of a WPP to the transmission grid,
- capability of maintaining a WPP in operation during grid disturbances. The WPP must remain on the grid during a three-pole short circuit in a 400 kV or 275 kV grid for a duration of up to 140 ms,
- for disturbances lasting longer than 140 ms, a WPP must meet the requirements according to the specified voltage variation curve.

Croatia

In the Republic of Croatia, grid codes for conventional power plants are in force, to which will be added technical requirements, i.e. grid codes for the connection and operation of WPPs in the transmission grid, which the authorized state bodies and institutions are currently discussing.

Grid codes for WPPs also regulate technical requirements:

Mrežnim pravilima za VE se između ostalog reguliraju i tehnički zahtjevi:

- s obzirom na regulaciju frekvencije i djelatne snage,
- s obzirom na regulaciju napona i jalove snage,
- na sposobnost VE u svezi s prolaskom kroz stanje kvara u mreži.

Pravilima se propisuju karakteristike 110 kV postrojenja za priključak VE na prijenosnu mrežu, te potrebni podaci o VE u postupku prijave za priključak, probni i redovni pogon VE.

8 ISKUSTVA POJEDINIH EUROPSKIH ZEMALJA U KORIŠTENJU ENERGIJE VJETRA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

8.1 Španjolski primjer [19]

U španjolskom elektroenergetskom sustavu je do kraja 2006. godine bilo priključeno 11 000 MW VE, odnosno 20 % godišnje bruto potrošnje električne energije. Povremeno i u kratkim razdobljima su VE pokrivale i 30 % potrošnje bez većih problema u sustavu.

U Španjolskoj je u 2007. godini izgrađeno i priključeno na mrežu 3 522 MW novih VE, najviše

- the regulation of frequency and active power,
- the regulation of voltage reactive power,
- the capability of WPPs to remain in operation during grid disturbances.

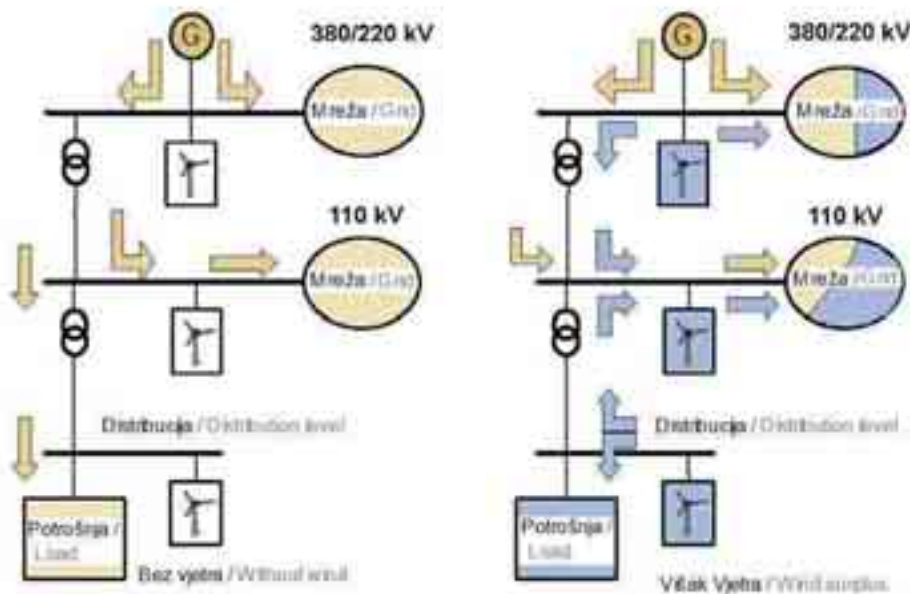
Codes specify the characteristics of a 110 kV substation for the connection of a WPP to the transmission grid, data required on the WPP for the registration of the connection, trial period and regular operation of the WPP.

It may be said in conclusion that in every country grid codes for WPPs must express the specific problems of the integration of WPPs into the system, depending on the level of WPP integration, structure and size of the system, and the number of interconnection lines with the systems of neighboring countries.

8 EXPERIENCES OF INDIVIDUAL EUROPEAN COUNTRIES IN THE USE OF WIND ENERGY FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICITY

8.1 The Spanish example [19]

In the Spanish electrical power system, 1 100 MW of wind power was connected to the electrical power system in late 2006, i.e. 20 % of the total annual electricity consumption. Occasionally and for short periods, WPPs covered 30 % of consumption without



Slika 15 – Tokovi energije bez VE i s VE u sustavu [19]
Figure 15 – Energy flows with and without WPPs in the system [19]

od svih zemalja članica EU27 (41,2 % ukupnog porasta instalirane snage VE EU u 2007. godini).

Krajem 2007. godine ukupno instalirani proizvodni park VE u Španjolskoj iznosio je 15 145 MW.

Ranije je proizvodnja električne energije u VE utjecala na upravljanje potrošnjom i neznatno na pogon sustava. S vremenom su se stvari znatno promijenile, naročito s većim opsegom uključenosti VE u sustav. Sve se više VE priključuje i na 380/220 kV prijenosni sustav. Napon i tokovi energije i snage postaju sve značajniji i oni moraju biti pod stalnim nadzorom operatora sustava (slika 15).

Ispad velikog broja VE izazvan smetnjama i kvarovima u prijenosnoj mreži utječe na stabilnost mreže. VE su obično daleko od centara potrošnje, a to je uvelike utjecalo na proširenje električne mreže.

Zahtjevi za angažiranjem dodatne pričuvne energije zbog promjenjive proizvodnje VE su manji od očekivanih. Rezultati primjene modela prognozirani su sve povoljniji i proizvodnja VE na širem geografskom prostoru smanjuje odstupanje od plana.

Zakon 54/97 utvrđuje razdvajanje poslovanja elektroprivrednih poduzeća, uz zadržavanje vlasništva nad sredstvima proizvodnje. Elektroprivredna poduzeća igraju važnu ulogu u španjolskom sektoru vjetroenergije. Elektroprivredna poduzeća su operatori elektrana i vlasnici 60 % španjolskog proizvodnog parka.

major problems in the system.

In the year 2007, WPPs generating 3 522 MW were constructed and connected to the grid, the most of all the Member States of the EU27 (41,2 % of the total increase in the installed capacity of WPPs of the EU in the year 2007).

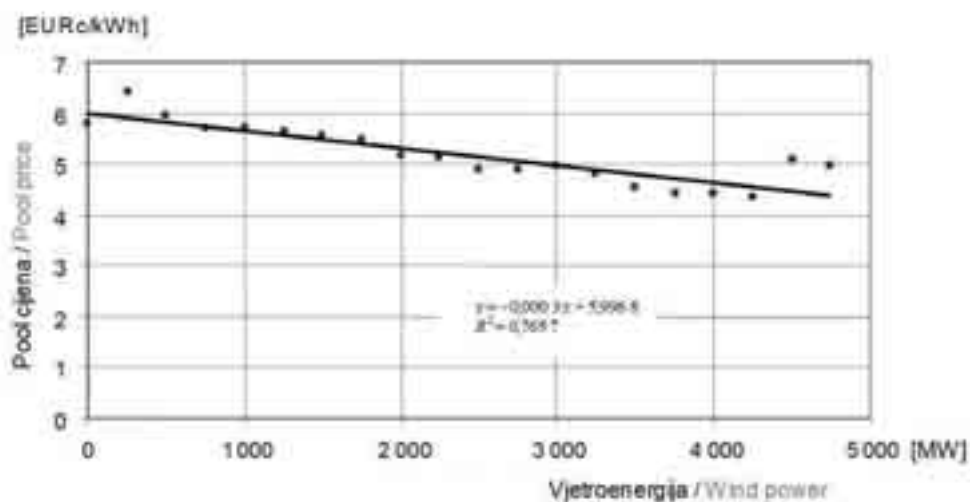
In late 2007, the total installed wind parks in Spain generated 15 145 MW.

Previously, the electricity produced by WPPs required changes in consumption management and had a slight effect on system operation. With time, the situation changed significantly, particularly with large-scale wind power integration into the system. An increasing number of WPPs are also connected to the 380/220 kV transmission system. Voltage, energy flows and power are becoming increasingly important and must be under constant supervision by the system operator (Figure 15).

Failure of a large number of WPPs caused by disturbances and faults in the transmission network affect the stability of the grid. WPPs are ordinarily located far from the consumption centers, a factor which has greatly affected the extension of electricity grids.

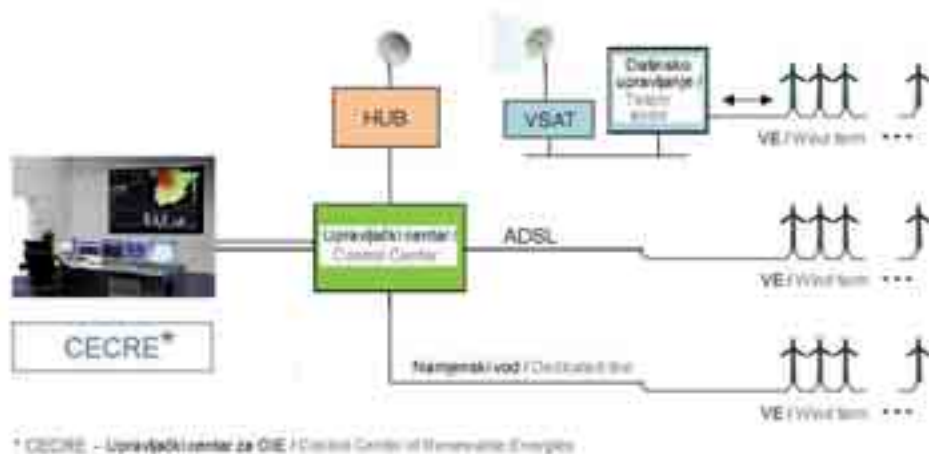
The requirements for the engagement of additional energy reserves due to the variable production of WPPs are less than anticipated. The results of the applied forecasting models have been increasingly favorable and the generation by WPPs in the general geographical area is reducing deviation from the plan.

Act 54/97 established the unbundling of the operations of electrical power companies, while retaining ownership over the means of production. Electrical power companies play an important role in the Span-



Slika 16 – Odnos između snage VE u sustavu i pool cijene na spot tržištu [19]

Figure 16 – The relationship between wind power in the system and pool prices on the spot market [19]



Slika 17 – Komunikacijske veze između VE i operatora sustava [19]
 Figure 17 – Communication between wind farms and the system operator [19]

Gotovo svi proizvođači električne energije i većina operatora VE nude svoju proizvodnju na tržištu električne energije. Operatori VE plaćaju operatoru sustava naknadu za usluge.

Uključivanjem sve većeg opsega VE smanjuje se cijena električne energije na spot tržištu (slika 16). Veće je smanjenje cijene električne energije na tržištu od rasta troškova uravnoteženja. Troškovi uravnoteženja sustava iznose oko 3,5 EURc/kWh.

VE imaju vrlo važnu ulogu u proširenju i pojačanju mreže. Fundamentalna je suradnja između sektora VE i operatora sustava. Ona je temelj uzajamnog razumijevanja i pronalaženja optimalnih tehničkih rješenja.

Obrađena je zajednička studija sektora vjetroenergije i operatora sustava koju je koordinirao glavni španjolski operator sustava REE. Istraženi su razni scenariji uključivanja VE prema predviđanju razine potrošnje električne energije tvrtke Iberian Electrical System i uz zahtjev da obilježja novih vjetroagregata budu u potpunosti usklađena sa zahtjevima mrežnih pravila [19].

Operator sustava utječe na sigurnost mreže koordinacijom pogona VE (slika 17).

U specifičnim čvorovima mreže pojavljuju se preopterećenja. Postoje rizici ispada pojedinih dijelova mreže zbog specifičnih problema dinamičke stabilnosti. U razdoblju niskih opterećenja pojavljuje se višak električne energije u sustavu.

Na EU razini treba provjeriti statičku i dinamičku sposobnost interkonekcijskih vodova između zemalja članica.

ish wind energy sector. Electrical power companies are the power plant operators and owners of 60 % of the Spanish production facilities.

Nearly all the producers of electricity and the majority of WPP operators offer their production on the electricity market. WPP operators pay the system operator a service fee.

With the increased integration of WPPs, the price of electricity on the spot market has fallen (Figure 16). There has been a greater price reduction for electricity on the market than the increase in balancing costs. Balancing costs of the system amount to approximately 3,5 EURc/kWh.

WPPs have a very important role in the extending and strengthening of grids. Cooperation between the wind power sector and system operator is fundamental. This is the basis of mutual understanding and the search for optimal technical solutions.

A joint study of the wind energy sector and system operator was coordinated by the main Spanish system operator, REE. Various scenarios have been investigated for the integration of WPPs according to the level of electricity consumption forecast by the firm Iberian Electrical System, with the requirement that the characteristics of new wind power plants should be completely coordinated with the requirements of the grid codes [19].

The system operator affects grid security through the coordination of WPP operation (Figure 17).

Overloads occur in specific network nodes. There are risks of the failure of individual parts of the grid due to specific problems of dynamic stability. During a period of low load, a surplus of electrical

Važno je pojačanje interkonekcijskih veza među zemljama članicama i uvođenje europskog dispečinga za upravljanje tokovima energije na europskoj razini i između zemalja članica.

Također, nužno je poboljšanje globalne prognoze vremena (vjetra).

U određenoj mjeri potrebno je i ujednačiti mrežna pravila na europskoj razini. Vjetroagregati moraju zadovoljavati mrežna pravila da bi se ostvarilo njihovo priključivanje na mrežu.

8.2 Njemački primjer [21]

Njemačka savezna vlada je usvojila plan izgradnje VE na moru ukupne snage 20 000 MW do 25 000 MW do 2030. godine. Na njemačkim potencijalnim lokacijama za izgradnju VE na moru postoje ozbiljni izazovi koji se uglavnom svode na veliku udaljenost VE od potrošačkih centara i na dubinu mora na potencijalnim lokacijama za izgradnju VE.

Na planiranim morskim lokacijama će se instalirati vjetroagregati jedinične snage 5,0 MW s ciljem smanjenja specifičnih troškova građenja. Odlučeno je da se na odabranoj test lokaciji izgradi 12 vjetroagregata, jedinične snage 5,0 MW koje je trebalo pustiti u pogon do ljeta 2008. godine.

Tri su ključna poduzeća koja će sudjelovati u izgradnji i pogonu VE na moru na test lokaciji, EWE, E.ON i Vattenfall. Vjetroagregate će proizvesti proizvođači REpower i Multibrid. Očekuje se da će uspješno izgrađena VE na test lokaciji predstavljati veliki skok u daljnjem korištenju energije iz VE na moru.

Poduzeće E.ON Netz u Schleswig-Holsteinu je pokazalo što se može postići primjenom inovativnih tehnologija. Od rujna 2006. godine sustav je u stanju pratiti temperaturu vodiča 110 kV vodova. E.ON Netz je uvjeren da će to povećati kapacitet mreže za 50 %. Studija koju je ugovorilo njemačko savezno ministarstvo za okoliš, predočilo je rezultate o mogućnosti 100 postotnog povećanja prijenosnih kapaciteta. Monitoring mjerenja temperature mogu se ugraditi i na vodove više naponske razine.

Njemački savezni parlament je prihvatio Zakon o bržoj izradi plana razvoja infrastrukture po kojem se njemački operatori sustava obvezuju izgraditi i održavati priključak VE

power occurs in a system.

At the level of the EU, it is necessary to verify the static and dynamic capabilities of the interconnection lines among Member States.

It is important to strengthen the interconnection lines among the Member States and introduce European dispatching for the management of energy flows at the European level among Member States.

Furthermore, it is necessary to improve global weather forecasting (wind).

To a specific extent, it is necessary to make grid codes uniform at the European level. Wind power plants must meet grid codes in order to be connected to the grid.

8.2 The German example [21]

The Federal Government of Germany has adopted a plan for the construction of offshore WPPs with a total capacity of 20 000 MW to 25 000 MW by the year 2030. At the potential German locations for the construction of offshore WPPs, there are serious challenges that in general refer to the great distance between the WPPs and consumer centers, as well as the sea depth at potential locations.

At the planned offshore locations, wind turbines with unit capacities of 5,0 MW will be installed, with the goal of reducing specific construction costs. Twelve wind turbines with unit capacities of 5,0 MW were scheduled to be built at a selected test location and in operation by the summer of 2008.

The three key enterprises that will participate in the construction and operation of the offshore WPPs at the test location are EWE, E.ON and Vattenfall. The wind turbines will be manufactured by REpower and Multibrid. It is anticipated that the successful construction of wind turbines at the test location will represent a great leap in the further use of energy from offshore WPPs.

The enterprise E.ON Netz in Schleswig-Holstein has demonstrated what can be achieved through the application of innovative technologies. Since September 2006, a system has been in place to monitor the conductor temperature on a 110 kV power line. E.ON Netz is convinced that this will increase grid capacity by 50 %. A study commissioned by the German Federal Ministry for the Environment predicted the possibility of a 100 % increase in transmission capacities. Conductor temperature measurement can also be installed for power lines of higher voltage levels.

The German Federal Parliament has adopted the Infrastructure Planning Acceleration Act, pursuant to which the German system operators will be required

na moru na svoj vlastiti trošak, kao što je to slučaj u Danskoj.

Taj novi zakonski akt otvara potpuno novo poglavlje na području opskrbe energijom u Njemačkoj. Zakonom se žele znatno smanjiti troškovi i otkloniti glavne prepreke u izgradnji VE na moru. Međutim, to nisu jedine koristi koje donosi novi zakon. On će omogućiti bolje povezivanje prijenosnih vodova mnogih VE, što je pozitivno i s aspekta zaštite okoline.

Taj zakon je korak prema ideji koju slijedi irska tvrtka Airtricity, a koja planira izgraditi europsku super mrežu VE na Sjevernom moru, kojom će se povezati VE snage 10 000 MW s njemačkom, nizozemskom i britanskom mrežom, do 2015. godine.

U Njemačkoj je uočeno da je nužna intenzivnija suradnja operatora sustava i sektora vjetroenergije. Treba istaknuti vrlo pozitivan primjer suradnje njemačke regulatorne agencije na obradi studije mogućnosti prihvata VE u njemački sustav (dena studija) [5]. Na tom primjeru se pokazalo da samo studije koje zajedno obrađuju operatori sustava, energetske regulatori, vjetroindustrija i operatori VE mogu ubrzati proces odlučivanja na stvarnim osnovama. Obrada paralelnih studija neće dati istovjetne rezultate.

Njemački operatori sustava surađuju s njemačkom industrijom VE na obradi druge faze dena studije. Studija ima za cilj da se utvrdi mogućnost i način uključivanja 25 % do 30 % obnovljivih izvora energije, uglavnom proizvodnje VE u elektroenergetski sustav do 2020. ili 2025. godine.

8.3 Francuski primjer [22]

Krajem 2007. godine u Francuskoj je bilo izgrađeno VE ukupne snage 2 454 MW. U srpnju 2005. godine usvojen je Zakon o energiji u kojem su pored ostalih odredbi, utvrđena geografska područja na kojim će se graditi nove VE.

Studije mogućnosti uključivanja VE u francuski elektroenergetski sustav su pokazale da prijenosna mreža može prihvatiti VE ukupne snage od 6 000 MW do 7 000 MW bez značajnijih pojačavanja mreže.

U prethodnom razdoblju je uočen nesklad između predviđanja razvoja korištenja energije vjetra i plana razvoja mreže te je nužna koordinirana suradnja na izgradnji VE i planiranju zahvata u prijenosnoj mreži.

to build and maintain connections to offshore WPPs at their own expense, as is the case in Denmark. This new legislation opens a completely new chapter in the area of energy supply in Germany. Through legislation, it is desired to reduce costs significantly and eliminate the main obstacles to the construction of offshore WPPs. However, these are not the only benefits that the new law brings. It will facilitate improved bundling of the transmission lines of many WPPs, which is also positive from the aspect of environmental protection.

This law is a step toward an idea that is being followed by the Irish company Airtricity, which plans to construct a European supergrid of WPPs on the North Sea and thereby connect WPPs of up to 10 000 MW to the German, Dutch and British grids by the year 2015.

In Germany, it has been noted that greater cooperation among system operators and the wind power sector is needed. It is necessary to point out the very positive example of cooperation by the German regulatory agency on a study to determine the possibility of integrating WPPs into the German system (the dena-grid study) [5]. In this example, it was shown that only studies with the joint participation of system operators, energy regulators, the wind power industry and WPP operators can accelerate the decision-making process on sound foundations. Conducting parallel studies would not produce the same results.

German system operators are cooperating with the German WPP industry on the second phase of the dena-grid study. The study has the goal of determining the feasibility and manner of integrating a 25 % to 30 % share of renewable energy sources, mainly WPP production, into the system by the year 2020 or 2025.

8.3 The French example [22]

At the end of the year 2007, WPPs were built in France with a total capacity of 2 454 MW. In July 2005, the Energy Act was adopted, in which, among other things, the geographic region in which new WPPs would be built was stipulated.

Feasibility studies on the integration of WPPs in the French electrical power system have shown that the transmission grid could accommodate WPPs with grid capacities of 6 000 MW to 7 000 MW without significant reinforcement.

During the previous period, a lack of coordination was noted between the anticipated development of the use of wind energy and the development plan of the grid. It is necessary to coordinate cooperation on the construction of WPPs and the planning of under-

Uočena je visoka promjenljivost proizvodnje električne energije na lokalnoj razini i bitno smanjena promjenljivost na nacionalnoj razini.

Snaga VE s kojom operator sustava može računati u sustavu za razinu uključenosti VE u sustav od nekoliko GW je oko 30 % od instaliranog kapaciteta VE, a za instalirani kapacitet VE od 20 GW je oko 15 % [5].

8.4 Talijanski primjer [23]

U Italiji je do kraja 2007. godine izgrađeno VE ukupne snage 2 726 MW. Na prijedlog TERNE usvojen je plan razvoja električne mreže, kojim se predviđa pokrivanje rastuće potrošnje električne energije, priključivanje novih proizvodnih objekata, uklanjanje zagušenja u mreži, povećanje učinkovitosti mreže te izgradnja novih interkonekcijskih vodova prema susjednim državama, uz ispunjavanje svih ekoloških zahtjeva.

U razdoblju od 2006. do 2010. godine predviđaju se investicijska ulaganja u prijenosnu mrežu od 1,6 milijardi eura, a nakon 2010. godine daljnjih 1,5 milijardi eura.

Predviđa se porast potrošnje električne energije od 330,4 TWh ostvarene 2005. godine na 369,3 TWh u 2010. godini i 420 TWh u 2020. godini. Predviđa se da će instalirana snaga VE iznositi 3 875 MW, 2008. godine.

S ciljem uključivanja većeg opsega VE u sustav, postavljaju se posebni zahtjevi na nove VE koje će se uključivati u sustav:

- sposobnost pogona tijekom poremećaja u mreži,
- udio VE u rješavanju tehničkih ograničenja u kritičnim situacijama u mreži,
- udio u regulaciji napona,
- udio u regulaciji frekvencije,
- prognoziranje proizvodnje VE.

8.5 Velika Britanija [24]

Ciljevi i težnje Velike Britanije su sljedeći:

- da obnovljivi izvori energije pokrivaju:
 - 10 % bruto potrošnje električne energije u 2010. godini,
 - 20 % bruto potrošnje električne energije u 2020. godini,
- VE će dati najveći doprinos ostvarenju toga cilja,
- nema posebnih ciljeva vezanih uz strukture VE na kopnu i VE na moru,

takings on the transmission grid.

The high variability in the generation of electricity at the local level and the significantly reduced variability at the national level were noted.

The capacity credit at the level of the integration of WPPs into a system of a few GW is approximately 30 % of the installed capacity of the WPPs, and for WPPs with an installed capacity of 20 GW it is approximately 15 % [5].

8.4 The Italian example [23]

By late 2007, WPPs had been constructed in Italy with a total capacity of 2 726 MW. At the proposal of TERNA, a plan was adopted for the development of the electricity grid, according to which coverage for increasing electricity consumption, connection of new generating facilities, elimination of grid congestion, increased grid efficiency, the construction of new interconnected power lines toward neighboring countries and meeting all the ecological requirements are anticipated. During the period from 2006 to 2010, an investment of 1,6 billion euros in the transmission grid is anticipated, as well as an additional 1,5 billion euros after the year 2010.

Growth is expected in the consumption of electrical power from 330,4 TWh in the year 2005 to 369,3 TWh in the year 2010 and 420 TWh in the year 2020. The installed capacity of WPPs is expected to be 3 875 MW in the year 2008.

With the goal of the large-scale integration of WPPs into the system, specific requirements have been established for new WPPs that will be included in the system:

- operational capability during grid disturbances,
- participation by WPPs in resolving technical restrictions, especially in critical grid situations,
- participation in voltage regulation,
- participation in frequency regulation,
- forecasting WPP production.

8.5 Great Britain [24]

The goals and aspirations of Great Britain are as follows:

- for renewable energy sources to cover:
 - 10 % of total electricity consumption in the year 2010,
 - 20 % of total electricity consumption in the year 2020,
- WPPs will make the greatest contribution to achieving this goal,
- There are no specific goals connected with the

- smanjenje CO₂ emisije za 60 % do 2050. godine.

Krajem 2007. godine je u Velikoj Britaniji bilo u pogonu 2 389 MW VE.

8.6 Hrvatska

Prema provedenim stručnim analizama u studiji Mogućnost prihvata i tehnički zahtjevi za vjetroelektrane, koju je za operatora sustava HEP OPS obradio Energetski institut Hrvoje požar (EIHP), u Republici Hrvatskoj je moguće izgraditi VE ukupne snage oko 3 400 MW. Zahvaljujući poticajima koji su predviđeni za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije, domaći i strani investitori su razvili i pripremili projekte za izgradnju VE ukupne snage 1 578 MW.

Studijom je utvrđeno da su apsorpcijske mogućnosti postojeće mreže 923 MW. Regulacijske sposobnosti elektroenergetskog sustava dodatno ograničavaju mogućnost priključka VE na prijenosnu mrežu na ukupnu snagu VE od 300 MW do 400 MW.

Studijom se predlažu i mjere za povećanje prihvata VE u sustav:

- uvođenje prognoze proizvodnje VE 48 sati unaprijed,
- uvođenje naknada za pružanje usluga sustavu,
- nabava prekograničnih usluga sustavu,
- uključivanje većeg broja elektrana u sekundarnu *P/f* regulaciju,
- modernizacija upravljanja sustavom,
- pojačavanje, proširenje i izgradnja prijenosne mreže.

9 ISTRAŽIVANJA O MOGUĆNOSTIMA PRIHVATA VE U SUSTAV [25]

9.1 Studija o prihvatu VE u europski elektroenergetski sustav – (EWIS) studija

Do sada su obrađivane studije mogućnosti uključivanja VE u sustave pojedinih zemalja samo s nacionalnog stajališta. Nije bila obrađena zajednička studija na europskoj razini.

Potporna obnovljivim izvorima energije je ključno pitanje europske energetske politike. Da bi se svladali svi izazovi koji se pojavljuju na

- structure of onshore and offshore WPPs,
- There should be a 60 % reduction in CO₂ emissions by the year 2050.

At the end of the year 2007, wind power generation was 2 389 MW.

8.6 Croatia

According to professional analyses conducted within a study on the feasibility of the integration and technical requirements of wind power plants, performed for the system operator HEP OPS by the Energy Institute Hrvoje Požar (EIHP), in the Republic of Croatia it is possible to construct WPPs with a total capacity of approximately 3 400 MW. Owing to incentives that are anticipated for the production of electrical energy from renewable energy sources, domestic and foreign investors have developed and prepared projects for the construction of WPPs with a total capacity of 1 578 MW.

The study determined that the absorptive capacity of the existing grid is 923 MW. The secondary *P/f* control capabilities of the electrical power system additionally limit the possibility of the integration WPPs into the transmission grid to a total wind power capacity of 300 MW to 400 MW.

The study also proposes measures for increasing the integration of WPPs into the system:

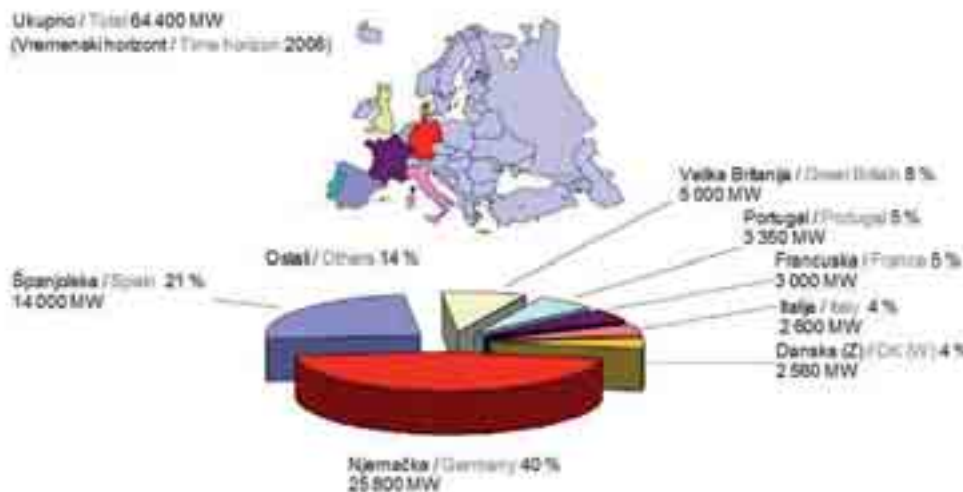
- the introduction of wind power generation forecasts 48 hours in advance,
- the introduction of compensation for providing system services,
- the procurement of trans-border system services,
- the integration of a large number of power plants into secondary *P/f* control,
- the modernization of the control system, and
- the strengthening, extension and construction of the transmission grid.

9 INVESTIGATION OF THE FEASIBILITY OF THE INTEGRATION OF WPPs INTO A EUROPEAN SYSTEM [25]

9.1 European Wind Integration Study – (EWIS)

Until now, discussion has focused upon feasibility studies on the integration of WPPs into the systems of individual countries, which were written solely from national perspectives, i.e. they were not joint studies at the European level.

Supporting renewable energy sources is a crucial



Slika 18 – Očekivana instalirana snaga u EU krajem 2008. [26]
Figure 18 – Predicted installed capacity in the EU at the end of 2008 [26]

putu ostvarenja te politike, na razini europskih operatora sustava (ETSO) pokrenuta je obrada studije prihvata VE u sustav s ciljem iznalaženja mjera, koje moraju poduzeti zakonodavci, regulatori, operatori i korisnici mreže, da bi se uspostavila usklađena pravila za prihvata VE u sustav. Ta su pravila bitna za sigurnost i pouzdanost pogona električnih mreža u kojim se pojavljuju sve veće količine promjenljive električne energije. Studijom su pokriveni svi tehnički, pogonski i tržišni aspekti uključivanja velikog opsega VE u europski sustav. Ključni cilj studije bio je dobiti potrebne informacije o tehničkim i pogonskim mjerama za ublažavanje rizika od mogućih ispada širih razmjera i siguran pogon europske mreže.

Pretpostavljeno je da će krajem 2008. godine snaga VE u EU porasti na 67 GW (slika 18). Najveći dio te snage koncentriran je u Njemačkoj, u kojoj VE čine 40 % ukupnog instaliranog proizvodnog kapaciteta. Njemačka, Španjolska i Velika Britanija raspolažu sa 70 % instaliranog kapaciteta u Europi. U studiji je pretpostavljen i rast proizvodnih kapaciteta u VE u Europi za 2015. godinu.

Povećavanje promjenljive proizvodnje električne energije u Europi bitno utječe na europski elektroenergetski sustav. Regionalno koncentrirana proizvodnja VE, poput one koja se ostvaruje u sjevernoj Njemačkoj rezultira povremenim velikim tokovima energije u susjednim elektroenergetskim sustavima. Ti neplanirani tokovi smanjuju stabilnost i nepovoljno utječu na raspoloživost kapaciteta za trgovinu električnom energijom.

Ublažavanje rizika ispada širih razmjera u Europi je vrlo upitno, zbog činjenice da u zemlja-

question in European energy policy. In order to overcome the challenges that have appeared on the path toward implementing this policy, at the level of the European Transmission System Operators (ETSO) a study has been launched on the integration of WPPs into the system with the goal of determining what measures should be undertaken by legislators, regulators, operators and grid users in order to establish harmonized regulations for the integration of WPPs. These regulations are essential for the security and reliability of the operation of electrical power grids in which there is increased variable power output. The study covers all the technical, operational and market aspects of the large-scale integration of WPPs into a European system. The key goal was to obtain the necessary information on the technical and operational measures to reduce the risk from potential major disturbances and assure the secure operation of the European grid.

It is assumed that in late 2008 the power of WPPs in the EU will increase to 67 GW (Figure 18). The majority of this power is concentrated in Germany, where WPPs make up 40 % of the total installed production capacity. Germany, Spain and Great Britain have 70 % of the total installed capacity in Europe. In the study, increased installed wind power capacity in Europe by the year 2015 was predicted.

Increased variable wind power generation in Europe significantly affects the European energy system. Concentrated regional wind power generation, such as that in northern Germany, has resulted in temporary large energy flows in neighboring electrical power systems. These unscheduled flows reduce stability and have an undesirable impact on the availability of capacities for electricity trading.

Mitigation of the risk of large-scale disturbances in

ma članicama EU postoje različita mrežna pravila, različiti načini regulacije tržišta i različiti poticaji za razvoj obnovljivih izvora energije. Ne postoji jedinstvena područja na kojima operatori, regulatori i tržišni subjekti mogu djelovati. Metode za ublažavanje rizika od ispada širih razmjera moraju se primijeniti istodobno u svim zemljama članicama. Koordinacija je iz tih razloga ključni zahtjev.

Daljnja istraživanja u okviru EWIS projekta odnose se na 2015. godinu. Ona će se odnositi na četiri područja:

- političke analize,
 - politička potpora i prioritete za pojačavanje i širenje električne mreže,
- pravne analize,
 - harmonizacija pravila,
 - poboljšanje zahtjeva mrežnih pravila za VE,
 - identifikacija pravnih prepreka,
- tržišne i poslovne analize,
 - prilagodba tržišnih pravila za uravnoteženje sustava,
 - integracija tržišta uravnoteženja,
 - harmonizacija regionalnih tržišta,
 - koordinacija operatora sustava na regionalnoj i unutar regionalne razine,
- tehničke analize,
 - pružanje informacija o vremenskim prognozama,
 - mogućnost upravljanja VE,
 - skladištenje većih količina električne energije,
 - automatizacija sustava za upravljanje u izvanrednim uvjetima.

9.2 Istraživanja u organizaciji Međunarodne agencije za energiju (IEA) u okviru projekta Wind Task 25 [27]

Međunarodna agencija za energiju (IEA) je 2006. godine pokrenula trogodišnji projekt pod nazivom Wind Task 25. Poznati su i prvi, zbirni rezultati nedavno obrađenih studija, preporuke i plan daljnjih aktivnosti na tom projektu. U obradu projekta i njegovo financiranje su uključene: EWEA udruga, Danska, Finska, Njemačka, Irska, Norveška, Nizozemska, Portugal, Španjolska, Švedska, Velika Britanija i SAD.

Sve se više VE priključuje na električnu mrežu. Troškovi priključenja postaju problem za mnoge zemlje. Teško je uspoređivati i procijeniti rezultate mnogih provedenih istraživanja, zbog primjene različitih metodologija i podataka kao i procedura u pogonu pojedinih sustava.

Europe is highly doubtful due to the fact that there are various grid codes, various types of market regulations and various forms of incentives for the development of renewable energy sources among the Member States of the EU. There are no uniform areas in which operators, regulators and market subjects can operate. The methods for risk mitigation from large-scale disturbances must be applied simultaneously in all the Member States. For these reasons, coordination is a crucial requirement.

Further investigation within the framework of the EWIS project will refer to the year 2015. It will cover four areas:

- political analyses,
 - political support and priorities for strengthening and extending electrical power grids,
- legal analyses,
 - harmonization of regulations,
 - improving the requirements of the grid codes for WPPs,
 - identification of the legal obstacles,
- market and business analyses,
 - coordination of market regulations for system balancing,
 - integration of market balancing,
 - harmonization of regional markets,
 - coordination of system operators at the regional and sub-regional levels,
- technical analyses,
 - providing information on weather forecasts,
 - control of WPPs,
 - storage of large quantities of electrical energy,
 - system automation for control under exceptional circumstances.

9.2 Investigation under the auspices of the International Energy Agency (IEA) within the framework of Wind Task 25 [27]

In the year 2006, the International Energy Agency (IEA) launched a three-year project entitled Wind Task 25. The initial results of the studies, recommendations and a plan for further activities in this project have been published. The EWEA, Denmark, Finland, Germany, Ireland, Norway, the Netherlands, Portugal, Spain, Sweden, Great Britain and the United States are included in the implementation and financing of the project.

An increasing number of WPPs are connected to the power grid. Connection costs have become a problem for many countries. It is difficult to compare and assess the results of many studies that have been conducted due to the application of various methodologies, data and procedures in the operations of individual systems.

9.3 Najnovija provedena istraživanja o mogućnostima prihvata VE u sustav u Europi i SAD-u

U najnovije vrijeme obrađene su studije mogućnosti prihvata VE nekoliko zemalja Europe i SAD (tablica 1).

9.3 The most recent investigations conducted on the feasibility of the integration of WPPs into the European and US systems

Most recently, studies have been conducted on the feasibility of the integration of WPPs by several European countries and the United States (Table 1).

10 ZAKLJUČAK

U članku su prezentirani podaci o institucionalnim okvirima i razvojnim perspektivama korištenja energije vjetra u proizvodnji električne energije u Europi. Predočeni su mnogi izazovi pred kojim stoje europske i nacionalne institucije u svladavanju prepreka bržem prihvatu električne energije VE u sustave zemalja članica EU.

Postojeća pričuvena snaga u sustavima pojedinih zemalja može se iskoristiti za uravnoteženje promjenljive proizvodnje VE, do relativno visoke razine uključenosti VE u sustavu.

U slučaju da VE pokrivaju 10 % do 15 % potrošnje električne energije u sustavu, potrebno je osigurati dodatnu pričuvenu snagu od 2 % do 4 % ukupne snage VE u sustavu. Troškovi dodatne pričuvene snage se procjenjuju na 1 EUR/MWh do 4 EUR/MWh proizvedene električne energije VE.

Da bi se ostvario ekonomičan dnevni pogon VE u sustavu potrebno je koristiti niz alata i mjera, kao što je primjena suvremenih metoda za kratkoročno prognoziranje proizvodnje VE, bolje korištenje postojećih interkonekcijskih vodova, poboljšanje pravila za energiju uravnoteženja, primjena upravljanja potrošnjom električne energije i skladištenje energije.

Organizacijom predviđanja proizvodnje VE na regionalnoj razini i korištenjem postojećih in-

10 CONCLUSION

Data have been presented on the institutional frameworks and development perspectives for the utilization of wind energy in the generation of electricity in Europe. Many challenges confronting the European and national institutions in overcoming the obstacles to the rapid integration of electricity from WPPs into the systems of the Member States of the EU have been discussed.

The existing power reserves in the systems of individual countries can be used for balancing the variable production of WPPs at up to relatively high levels of wind power integration.

In the event that WPPs cover 10 % to 15 % of the electricity consumption in a system, it is necessary to secure additional reserve power of 2 % to 4 % of the total power from WPPs in the system. The costs of the additional power reserves have been estimated as 1 EUR/MWh to 4 EUR/MWh for the electrical energy produced by WPPs.

In order to achieve the economical daily operation of WPPs in a system, it is necessary to use a series of tools and measures, such as applied modern methods for short-term forecasts of WPP generation, improved utilization of the existing interconnection lines,

Tablica 1 — Pregled najnovijih istraživanja mogućnosti prihvata VE u sustave pojedinih zemalja Europe i SAD-a

Table 1 — The most recent feasibility studies for the integration of WPPs into the systems of individual European countries and the United States

Država / Country	Vršno opterećenje u sustavu Peak load in system [GW]	Planirana snaga VE Planned wind power capacity [GW]	Postotak vršnog opterećenja Percentage of peak load [%]
Nordijske zemlje / Nordic countries	69	20	29
Velika Britanija / Great Britain	65	26	40
Irska / Ireland	6	2	33
Danska / Denmark			100
Nizozemska / The Netherlands	16	6	38
Njemačka / Germany	80	36	45
Portugal / Portugal	10	5	50
SAD / USA			
Minnesota	10	1,5	15
New York	33	3,3	10
Colorado	7	0,7 - 1,05	10 - 15
California			4

terkonekcijskih vodova u tom području, olakšava se uravnoteženje sustava i predviđanje proizvodnje VE.

Poboljšanjem infrastrukture mreže olakšava se uključivanje VE u sustav. Dodatni troškovi za pojačavanje mreže kreću se, prema rezultatima mnogih studija, između 0,1 EUR/MWh i 4,5 EUR/MWh električne energije proizvedene u VE.

Suvremene VE već danas ostvaruju visok stupanj tehnološke usklađenosti sa zahtjevima sustava.

Rezultati mnogih nacionalnih studija ukazuju na porast cijene električne energije kod krajnjih potrošača, koji je posljedica sve većeg opsega uključenosti VE u sustav. Povećanje cijene kod krajnjih potrošača se kreće između 2 EUR/MWh i 4 EUR/MWh proizvedene električne energije u VE za slučaj da pokrivaju do 15 % bruto potrošnje električne energije u sustavu.

improved regulations for energy balancing, control of electricity consumption and energy storage.

System balancing and wind power production forecasting are facilitated by the organization of wind power production forecasting at the regional level and the use of existing interconnection lines.

Integration of WPPs into a system is facilitated by improvement in the grid structure. Additional costs for strengthening the grid, according to the results of many studies, range between 0,1 EUR/MWh and 4,5 EUR/MWh for electricity generated by WPPs.

Contemporary WPPs are already achieving a high level of technological compliance with system requirements.

The results of many national studies point to increases in electricity prices for the final consumers due to the growing integration of WPPs into the systems. Higher prices for the final consumer range between 2 EUR/MWh and 4 EUR/MWh for energy generated by WPPs in the event that it covers up to 15 % of the total electricity consumption in a system.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Facts and Figures, VGB - Electricity Generation 2007
- [2] Large-scale Integration of Wind Energy in the European Power Supply: Analysis, Issues and Recommendations - Report by EWEA, December 2005
- [3] Green Paper on the Security of Energy Supply, EU Commission, 2000
- [4] Directive on Electricity Production from Renewable Energy Sources, 2001/77/EC, EU Commission, 2001
- [5] Energy Green Paper, EU Commission, 2006
- [6] Action Plan for Energy Efficiency, EU Commission, 2006
- [7] YORDY AQUIRRE, B., Renewable Energy Roadmap, Integrating Wind Power into the Grid - Link with European RES Directive, EWEC 2006
- [8] The European Wind Energy Platform (TPWind), 2007
- [9] European Wind Energy Integration Study (EWIS) - Towards a Successful Integration of Wind Power into European Electricity Grids, January 15, 2007
- [10] GARRARD, A., GARDNER, P., GARRARD HASSAN AND PARTNERS, Developments in Wind Turbine Technology and Energy Forecasting for High Wind Penetration, EWEC 2006
- [11] Strategic Energy Review - EU Commission, 2007
- [12] An Energy Policy for Europe - EU Commission, 2007
- [13] PIEBALGS, A., Large-scale Integration of Wind Energy in the European Power Supply - European Wind Energy Conference, (EWEC 2006) - Speaking points for the opening speech
- [14] HOPPE-KILPPER, M., Results from the Dena Grid Study, deENet, EWEC 2006
- [15] ZERVOS, A., Wind Power as a Mainstream Energy Source, EWEC 2006
- [16] Pure Power - Wind Energy Scenarios up to 2030, The European Wind Energy Association (EWEA), March 2008
- [17] NORMARK, B., Transmissions Technologies to Support Integration of Wind Power, EWEC 2006
- [18] HOLTTINEN, H., IEA Wind Task 25 - Estimating the Impacts of Wind Power on Power Systems
- [19] CEÑA, A., Past and Present of Wind Energy, The Spanish Experience, General Recommendations at EU Level - EWEC 2006
- [20] FERNÁNDEZ, J.L., Grid Codes for Wind Energy in Spain and Developments in Europe, EWEC 2006
- [21] Nick-LEPTIN, J., The Era of Offshore Wind Energy, EWEC 2006
- [22] BALEA, L., Wind Power Integration in the French Electricity System - Present Situation, Upcoming, Challenges
- [23] VALENTE, M., Wind Energy and Grid Development - The Italian Case, EWEC 2006
- [24] OVERTON, J., Development of Offshore Transmission in the UK, EWEC 2006
- [25] Delivering Energy and Climate Solutions (EWEA 2007 Annual Report)
- [26] MAAS, G., Preliminary Result/Scope of EWIS study
- [27] HOLTTINEN, H., Estimating the Impacts of Wind Power on Systems - First Results of IEA Collaboration - Wind Task 25

Adresa autora: Address of author:

Vladimir Dokmanović, dipl. ing.
Nalješkovićeva 23
10000 Zagreb
Hrvatska

Vladimir Dokmanović, Graduate Engineer
Nalješkovićeva 23
10000 Zagreb
Croatia

Uredništvo primilo rukopis:
2008-08-28

Manuscript received on:
2008-08-28

Prihvaćeno:
2008-09-22

Accepted on:
2008-09-22