

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Jūlija Matevosjana

Vēja enerģētikas attīstība reģionos ar ierobežotu
elektropārvades spēju

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji
Dr.habil.sc.ing., profesors
A.Sauhats Dr.sc.ing.,
profesors **L. Söder**

Rīga- 2005.g.

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNIKĀ
UNIVERSITĀTĒ INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA
IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2005.g. 16.jūnijā plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, aktu zālē.

OFICIĀLIE OPONENTI

Dr.habil.sc.ing., prof. V. Čuvičins,
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.sc.ing.,prof. E. Vanzovičs, Rīgas
Tehniskā universitāte

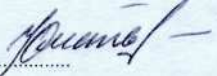
Dr.sc.ing., doc. I. Oleinikova,
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.habil.sc.ing., prof. M. Valdma,
Tallinas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kurš iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Jūlija Matevosjana



Datums: 25.05.2005

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, slēdzieni, literatūras sarakstu, 7 pielikumus, 64 zīmējumus un ilustrācijas, kopa 168 lappuses. Literatūras saraksta ir 74 nosaukumi.

1 Ievads

1.1 Pamatojums

Atjaunojamo un vietējo enerģijas avotu izmantošana strauji attīstījās pēdējos 20 gados, pateicoties rūpēm par apkārtējo vidi un enerģijas patēriņa pieaugumam. Vēja enerģija ir viena no visefektīvākajām alternatīvām. Pateicoties straujai tehnoloģijas attīstībai un vēja parku mēroga palielināšanai, vēja enerģija mūsdienās aizņem nozīmīgu vietu Vācijas, Spānijas, Dānijas un citu valstu elektroenerģijas sektorā, Tabula 1.1.

Tabula 1: Vēja enerģijas ģeneratoru jaudas Eiropas valstīs, [MW]

Valsts	1995	1999	2001	2002	2003
Vācija	1136	4445	8734	12001	14609
Spānija	145	1530	3550	4830	6202
Dānija	619	1742	2456	2881	3110
Holande	236	410	523	678	912
Itālija	25	211	700	788	904
Lielbritānija	200	356	525	552	649
Zviedrija	67	220	318	328	399

Visam Eiropas valstīm ir noteikti nacionālie indikatīvie mērķi elektroenerģijas ražošanai no atjaunojamajiem enerģijas resursiem (AER). Latvijā, saskaņā ar Direktīvu 2001/77/EC, nacionālie indikatīvie mērķi elektroenerģijas ražošanai no AER ir 49.3% no visas elektroenerģijas ražošanas līdz 2010. gadam. Salīdzinājumā ar citām Baltijas valstīm, pateicoties augstajam hidroenerģijas izmantošanas līmenim, Latvijā elektroenerģijas ražošanās no AER ir vislielākā - aptuveni 43%.

Šobrīd Latvijā eksistē vairāki objekti, kas ražo vēja enerģiju ar kopējo ražošanas jaudu 24.5 MW. Lielāko daļu ražo Vēja parks Liepājā Baltijas jūras krastā. Esošā kopējā enerģijas ieguve 2002. gadā bija 11.4 GWh, 2003. gadā - aptuveni 40 GWh. Vēja enerģijas daļa kopējā elektroenerģijas ieguvē Latvijā 2002. gadā bija tikai 0.2%, 2003. gadā - aptuveni 0.6%.

Latvijai optimālais elektroenerģijas ieguves apjoms no vēja turbīnas ģeneratoriem varētu būt 5 - 10% no kopējā elektroenerģijas ieguves apjoma. Saskaņā ar Eiropas Rekonstrukcijas un attīstības bankas pētījumiem, vēja ražotspējas potenciāls ir 550 MW, tas ir aptuveni 1000 GWh/gadā.

Šobrīd Latvijā sagatavošanas stadijā atrodas vairāki projekti, bet tomēr ir grūti prognozēt, kad šie projekti sāks darboties. Iespējamā vēja enerģijas

sadarbība ar Daugavas kaskādi ir aplūkota. Taču lai sasniegtu Direktīva 2001/77/EC noteiktos mērķus, ir jāapsver turpmāka elektroenerģijas ieguves no vēja enerģijas popularizēšana.

Vēja parkus jābūvē tur, kur ir labs vēja potenciāls. Tāpēc vislabākie noteikumi vēja enerģijas integrācijai ir atklātos laukumos ar mazo iedzīvotāju blīvumu. Elektropārvades sistēma šādos rajonos ir slikti attīstīta un nav piemērota liela mērogā vēja parkiem. Šobrīd Latvijā elektrostacijām, kas izmanto atjaunojamos enerģijas resursus elektroenerģijas ražošanai, tiek dota, priekšroka pārvades un sadales sistēmās. Bet liberalizēta tirgus apstākļos iespējams, ka vēja parka īpašniekam ir pašam jāmaksā pār tīkla pastiprināšanu. Tas var padarīt vēl dārgāku jau bez tam dārgu projektu.

Jāuzsver kā aprobežotas elektropārvades problēma būtu saistīta ar jebkuru ģenerāciju līdzīgos apstākļos. Tomēr vēja enerģijai ir īpašības, kas jāievēro risinot šo problēmu. Vējš ir intermitējošs, nepastāvīgs enerģijas avots, to ir grūti prognozēt un nav iespējams kontrolēt. No otras puses vēja enerģijas iekārtas izmantošanas laiks ir tikai 2000-4000 stundas gadā.

1.2 Darba mērķis

Šī darba mērķis ir atrast visefektīvākās iespējas vēja enerģijas uzstādīšanai rajonos ar ierobežotu elektropārvadi. Šī darbā tiek ierosinātas un detalizēti pētītas vairākas iespējas.

Viena no iespējām ir uzlabot pārvades spējas aprēķinu metodes. No literatūras apskata izriet, ka metodes un pieņēmumi pieejamās elektropārvades spējas aprēķinam atšķiras starp pārvades tīklu operatoriem (PTO) un pat metožu harmonizācija var palielināt pieejamo elektropārvades spēju (EPS).

Cits risinājums ir pārvades tīkla pastiprinājums (piem. jauno elektropārvades līniju būve, šunta vai virknes kondensatoru uzstādīšana, u.t.t.). Šīs metodes jau sen plaši izmanto, lai pilnveidotu elektriskās sistēmas darbību un paaugstinātu to efektivitāti, tāpēc jau pastāvošas zināšanas var izmantot katrā konkrētā gadījumā. Šī iespēja ir tomēr samērā dārga un darbietilpīga.

Tā kā vēja parkā ražošanas jauda ir atkarīga no vēja ātruma, vēja enerģētikas iekārtas (VEI) izmantošanas laiks ir tikai 2000-4000 stundas gadā. Ražošanas maksimumi ne vienmēr sakrīt ar momentiem, kad elektropārvade ir tuvu maksimumam. Tāpēc vēja enerģijas ražošanas samazināšana var būt apskatīta kā viena no iespējām vēja enerģijas uzstādīšanai. Šajā darbā tika izstrādātas metodes lai novērtētu šo iespēju nākotnes projektiem.

Vēja enerģijas ražošanas samazināšana nozīmē, ka daļa no enerģijas tiks zaudēta. No otras puses to var uzkrāt. Šim nolūkam var izmantot

tradicionālas elektrostacijas ar ātrām ražošanas regulēšanas iespējām (pīcm. hidroelektrostacijas vai gāzes elektrostacijas). Šajā darbā tika pētīta iespēja uzkrāt lieko vēja enerģiju hidroelektrostacijas rezervuāros. Darbā ir izstrādāta metode, lai novērtētu šo alternatīvu. Turklāt tiek izpētītas un salīdzinātas vairākas vēja parka - hidroelektrostacijas sadarbības stratēģijas. Darba mērķis ir izprast pārvades spējas ierobežojumu cēloņus un studēt metodes, kā arī atrast iespējas vēja enerģijas uzstādīšanai rajonos ar ierobežotu EPS. Vairākas alternatīvas tiek apskatītas, tomēr nav izslēgts, ka eksistē arī citas iespējas. Pirmās divas alternatīvas ir labi izpētītas jau agrāk. Tāpēc darba gaitā tika izdarīta literatūras apskate un savākti galvenie secinājumi no apskatītiem materiāliem. Darbs tālāk ir koncentrēts uz metožu izstrādāšanu vēja enerģijas samazināšanas iespējai un iespējai uzkrāt lieko vēja enerģiju hidroelektrostaciju rezervuāros.

1.3 Zinātniskā novitāte

- Dots pārskats par dažādu PTO pielietotajām metodēm EPS aprēķinam un EPS palielināšanai. Noskaidrota starpība starp fizisko EPS un pārvades tīkla operatoru noteikto pieejamo EPS.
- Analizēta vēja enerģijas ietekme uz tīkla EPS.
- Analizēti un salīdzināti Vācijas, Dānijas, Zviedrijas, Skotijas un Īrijas pamatnoteikumi vēja ģeneratoru pieslēgšanai tīklam.
- Tik piedāvātas divas alternatīvas vēja enerģijas uzstādīšanai vietās ar ierobežotu EPS: vēja enerģijas samazināšana; vēja enerģijas uzkrāšana hidroelektrostaciju rezervuāros kad elektropārvade pārsniedz maksimumu. Ir izstrādātas jaunas metodes, lai novērtētu šīs iespējas.
- Izstrādātas, modelētas un simulētas vairākas vēja parka - hidroelektrostacijas sadarbības stratēģijas.
- Izstrādātās metodes ir pielietotas reālos pētījumos par liela mēroga vēja enerģijas uzstādīšanu ziemeļu Zviedrijā. Vairāki vēja enerģijas uzstādīšanas līmeņi tika studēti. Dots pētījumu rezultātu apraksts un detalizēta analīze.

1.4 Pētījumu metodes un līdzekļi

Darbā tika izmantotas sekojošas metodes un līdzekļi:

- Varbūtiskā ražošanas izdevumu simulācija

- Drošuma teorija
- Hidroelektrostaciju ražošanas plānošana
- Lineāra optimizācija
- Vēja parka ķīļūdens efekta modelis
- Programēšanas valoda MATLAB, GAMS (General Algebraic Modelling System), kas ir sevišķi piemērota lineāru, nelineāru un jauktu veselo skaitļu optimizācijas problēmu modelēšanai un risināšanai.

2 Disertācijas struktūra, organizācija un saturs

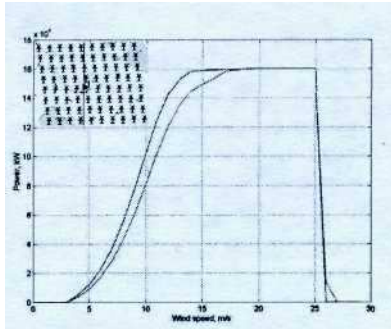
Šī disertācija ir sastādīta kā septiņu zinātnisko rakstu krājums un sastāv no ievada, secinājumiem, 5 daļām, kas īsi apraksta zinātniskus rakstus, dotus disertācijas pielikumā. Darbs satur atsauces uz 74 literatūras avotiem, 64 attēlus un izklāstu 168 lappusēs.

2. **daļa** atsaucas uz 1. un 2. rakstiem. Sākumā ir definēti elektropārvades ierobežojuma iemesli: vadītāju termiskie ierobežojumi, ierobežojumi pēc sprieguma stabilitātes apsvērumiem un ierobežojumi pēc rotora leņķa stabilitātes apsvērumiem. Tālāk, īsumā tika aprakstītas pieejamas EPS aprēķinu metodes un to atšķirība starp Eiropas valstu PTO. Sīkāk šī analīze ir izklāstīta 2. rakstā. Apskate galvenokārt balstās uz literatūras avotiem. Apskates mērķis ir demonstrēt, ka fiziskā un aprēķinātā EPS var krasī atšķirties un paskaidrot atšķirības iemeslus. Pamatojoties uz literatūru apskatītas iespējas palielināt EPS. Apskatē ir izklāstīta 1. rakstā. Šīs iespējas attiecas ne tikai uz fizisko pārvades spējas palielināšanu bet arī uz aprēķinu metožu uzlabošanu un tā rezultātā EPS palielināšanu.

3. **daļa** atsaucas uz 2. un 3. rakstiem un apraksta vēja enerģijas ietekmi uz EPS ierobežojumiem.

Noteikt nepieciešamo papildus elektropārvadi pēc vēja parka uzstādītās jaudas var būt ekonomiski neefektīvi. Tāpēc, projektējot vēja parku rajonos ar ierobežotu EPS, jāievēro vairāki svarīgi faktori, kas ietekmē vēja parka ražoto jaudu.

VEI ir mazs izmantošanas laiks, stundas ar nominālo ražoto jaudu ne vienmēr sakrīt ar maksimālo elektropārvadi caur doto elektropārvades līniju. Turklāt ķīļūdens efekta dēļ, vējā ātrums vēja parka vidū ir mazāks par vēja ātrumu ārpus parka. Tāpēc vēja parka kopēja nomināla jauda ir mazāka par atsevišķo VEI nominālo jaudu summu, att. 2.



Att. 1: 160 MW vēja parka jaudas līkne (80x2MW VEI) ievērojot ķīlūdens efektu un neievērojot to.

Gadījumā, kad vēja ātruma mērījumi ir pieejami vēja parka apstākļos, tos var izmantot īso elektropārvades līniju (EPL) reāllaika EPS novērtējumam, jo EPS palielinās stipra vēja apstākļos. Garām EPL šī iespēja tomēr kļūst dārga.

Iepriekš aprakstīto faktoru dēļ, iespējamās tikai vairākas stundas, kad EPS ierobežojums būs pārsniegts. Tādos apstākļos ieguldījumi EPS palielināšanai ir apšaubāmi.

Tad rodas jautājums vai ir ekonomiski efektīvi palielināt EPS, lai nodrošinātu elektropārvadi jebkurā situācijā?

Vēja enerģētikā galvenokārt izmanto asinhronus ģeneratorus, kuri patērē reaktīvo jaudu. Ja vēja parka pieslēguma punktā ir nodrošināta reaktīvas jaudas kompensācija, tas var uzlabot maksimālo pieļaujamo elektropārvadi, ja tā ir noteikta pēc spriegumu stabilitātes apsvērumiem. Īsslēgumā un pēc īsslēgumā mainīgā ātrumā VEI tiek automātiski atslēgtas no tīkla, lai aizsargātu savu pārveidotāju. Tomēr, ja lieljaudas vēja parks īsslēgumā gadījumā tiek atslēgts no tīkla, īsslēgumā negatīva ietekme pastiprinās. Tas var savukārt ietekmēt pieejamo EPS. Tomēr pašlaik VEI ražotāji attīsta vēja enerģētikas iekārtas īsslēgumā izturēšanas spēju. Pastāvīga ātruma VEI patērē daudz reaktīvas jaudas no tīkla, tāpēc pēc īsslēgumā tīkla atjaunošanas laiks var būt ilgāks. Tas savukārt var ietekmēt EPS.

Lai sasniegt drošu elektriskās sistēmas darbību, PTO ir izstrādājuši pieslēgšanas noteikumus tīklam. Šie noteikumi definē prasības piem. aktīvās un reaktīvās jaudas izstrādei, frekvences regulēšanai, releju aizsardzībai, sprieguma kvalitātei u.t.t. Pēdējos gados vairākās valstīs šie noteikumi tika izveidoti arī priekš VEI (piem. Dānijā, Vācijā, Zviedrijā, Īrijā, Skotijā). Ja

vēja parks atbilst šīm prasībām it sevišķi tām, kas atteicas uz reaktīvas jaudas izstrādi, aktīvās jaudas samazināšanu un releja aizsardzību, tad vēja parka ietekmē uz EPS ierobežojumiem var tikt samazināta vai vispār novērsta. Šie noteikumi ir sīkāk analizēti 3. rakstā.

EPS nedrīkst palielināt par jebkuru uz cenu. Jāatrod bilance starp ieguldījumiem un ienākumiem. Tas ir acīmredzams, ka elektropārvades šaurās vietas pilnīga likvidēšana nav optimālais risinājums. Turklāt EPS palielināšana ir dārga un darbietilpīga alternatīva. Tāpēc ir nepieciešami citi risinājumi, lai uzstādītu VEI vietās ar ierobežotu EPS. Viena no iespējām ir vēja parka ražotas jaudas samazināšana laikos kad elektropārvade pārsniedz maksimumu.

4. daļa atsaucas uz 4. un 5. rakstiem, kuros izklāstītas izstrādātas novērtējuma metodes minētai alternatīvai. Novērtējuma metodes balstās uz elektropārvades caur doto EPL un vēja ātruma dotajā vietā statistisko datu analīzi. Šīs metodes var izmantot vēja parka projektēšanas stadijā, kad vēja ātruma mērījumi jau ir pieejami. Novērtējuma metodes ir noderīgas vēja parku projektētājiem, pārvades tīkla operatoriem, kas izstrādā tehniskus noteikumus vēja parka pieslēgumam tīklā, vai citam valsts organizācijām lai novērtētu jaunus liela mēroga projektus. Atkarībā no pieejamiem datiem jāizmanto vienkāršota vai varbūtiska (diskrēta vai nepārtraukta) novērtējuma metode.

Vienkāršota metode ir pamatota uz pieņēmuma, ka vēja parkā izstrāde un pārvadīta jauda caur doto līniju ir savstarpēji saistīti mainīgie ar korelācijas koeficientu 1. Tas nozīmē, ka elektropārvades maksimums un vēja parka izstrādes maksimums sakrīt laikā. Šis pieņēmums nepilnīgi atbilst realitātei, bet atspoguļo vissliktāko iespējamo situāciju.

Elektropārvades un VEI jaudas izstrādes analīzei ir ērti izmantot ilguma līknes. Vēja parkā izstrādātas jaudas ilguma līkne (WPDC) norāda katram izstrādātas jaudas līmenim stundu skaitu, kad šis līmenis bija pārsniegts, att. 2. Ievērojot pieņēmumu, ka vēja parka izstrādātā jauda un pārvade caur pētīto līniju ir savstarpēji saistīti mainīgie ar korelācijas koeficientu 1, izstrādātās jaudas ilguma līkne un elektropārvades ilguma līkne tiek summētas. Rezultātā ir jauna ilguma līkne, kas atbilst elektropārvadei pēc vēja parka uzstādīšanas, att. 2.

Kad vēja parka izstrādātā jauda ir par lielu, var būt neiespējami pārvadīt visu izstrādāto jaudu EPS ierobežojumu dēļ. Tādēļ vēja parkā izstrādāto jaudu jāsamazina. Tas nozīmē, ja lieko izstrādāto enerģiju nevar uzkrāt kaut kāda veidā (piem. baterijās), tad tā tiks zaudēta. Zaudēto enerģiju var novērtēt pēc sekojošas izteiksmes:

3 Secinājumi un darba turpinājuma iespējas

Šī nodaļa darba secinājumi ir izklāstīti ar atsauci uz nodaļu "Zinātniskā novitāte". Darba galvenie ieguldījumi ir šeit atkārtoti un papildināti ar galveniem secinājumiem un darba turpinājuma priekšlikumiem.

- Vairāku PTO pieejamās EPS aprēķinu metodes, kā arī EPS palielināšanas metodes tika apskatītas izmantojot esošo literatūru. Noskaidrota starpība starp fizisko EPS un pieejamo EPS, ko noteic pārvides tīkla operatori

No apskates seko, ka pieejamā EPS nav pastāvīgs lielums, kas ir noteikts tikai ar tīkla tehniskajām īpašībām. Pieejamā EPS atspoguļo atsevišķo PTO stratēģijas un pieņēmumus. Lai palielinātu EPS, jāpilnveido EPS aprēķina metodes vai jāuzstāda jaunas ierīces, kas palielina fizisko EPS un jābūvē jaunas līnijas. Šo pasākumu nepieciešamība nav atkarīga no tā, kādā veidā jaunā ģenerācija tiek uzstādīta vietas ar ierobežotu EPS, tātad neattiecas tikai uz vēja enerģiju.

Darba turpinājumā būtu interesanti savākt sīkāko informāciju par dažādu tīkla pastiprinājuma veidu izdevumiem un lietderību. Tad katram konkrētam projektam jāizvēlas optimālo pastiprinājuma veidu un jānovērtē tā izdevumus. Šo informāciju var izmantot salīdzinājumam ar alternatīvām izstrādātām šajā darbā (vēja parka izstrādātas jaudas samazinājums EPS ierobežojuma dēļ vai vēja enerģijas uzkrāšana ūdens rezervuāros).

Tālāk jāstudē varbūtiskā kritērija izmantošanas priekšrocības un trūkumus pieejamās EPS novērtējumā. Šo studiju rezultātus var izmantot iepriekšminētā salīdzinājumā.

- Analizēta vēja enerģijas ietekme uz tīkla EPS.

Ir secināts ka vēja ātruma mērījumus no VEI var izmantot dinamiskajam termisko EPS ierobežojumu novērtējumam. Ja var tikt nodrošināta nepārtraukta reaktīvas jaudas kompensācija, tad vēja enerģija neietekmē EPS ierobežojumus pēc sprieguma stabilitātes apsvērumiem. Ja iespējams ģenerēt reaktīvo jaudu vēja parka pieslēguma punktā, tad EPS pēc sprieguma stabilitātes apsvērumiem var būt pat palielināta.

Neenoteikto vēja parka izstrādātās jaudas prognožu dēļ vēja enerģijas uzstādīšana var ietekmēt elektropārvides drošuma rezervi. Turklāt VEI uzvedība īsslēguma laikā var pasliktināt īsslēguma sekas. Tas var uzlikt papildus ierobežojumus uz pieejamo EPS.

Tomēr jāuzsver ka pašlaik VEI ražotāji izstrādā vēja enerģētikas iekārtas īsslēguma izturēšanas spēju un šī VEI ietekme uz pieejamās

EPS noteikšanu var būt novērsta. Vēja enerģijas ietekme uz EPS ierobežojumiem analizēta pārsvarā balstoties uz eksistējošo literatūru un teorētiskām idejām, kuras jāpārbauda ar simulāciju.

- Vācijas, Dānijas, Zviedrijas, Skotijas un Īrijas pamatnoteikumi vēja generatoru pieslēgšanai tīklam tika analizēti un salīdzināti. Salīdzinājums norāda, ka pieslēguma noteikumi krasi atšķiras savu starpā. No salīdzinājuma ir acīmredzams, ka noteikumu harmonizācija ir nepieciešama un no tās gūtu labumu gan PTO, gan VEI ražotāji, gan vēja parku attīstītāji. VEI simulācijas modeļi ātri attīstās pēdējā laikā. Tos var izmantot tīkla normālas darbības kā arī īsslēguma režīmu simulācijām, lai pētītu VEI ietekmi uz tīkla darbību. Šīs simulācijas atļaus izstrādāt pieslēgumu noteikumus vēl tālāk, ievērojot dažādu VEI tipus.
- Tika piedāvātas divas iespējas vēja enerģijas uzstādīšanai vietas ar ierobežotu EPS: vēja enerģijas samazināšana, kad elektropārvade sasniedz maksimumu: un vēja enerģijas uzkrāšana hidroelektrostaciju rezervuāros. Ir izstrādātas jaunas metodes, lai novērtētu šīs iespējas.
- Vairākas vēja parka - hidroelektrostācijas sadarbības stratēģijas tika izstrādātas, modelētas un simulētas.
- Izstrādātas metodes ir pielietotas reālos pētījumos lielā mēroga vēja enerģijas uzstādīšanā Zviedrijas ziemeļdaļā. Vairāki vēja enerģijas uzstādīšanas līmeņi tika studēti. Pētījuma rezultāti ir aprakstīti un pamatīgi analizēti. Novērtējuma metožu rezultāti parādīja, ka piedāvātās alternatīvas (vēja parka izstrādātas jaudas samazinājums EPS ierobežojuma dēļ vai vēja enerģijas uzkrāšana ūdens rezervuāros) var būt ekonomiski efektīvākas pār tīkla pastiprinājumu.

4 Publikāciju saraksts

1. raksts; J. Sveca¹, L. Söder, *Wind Power in Areas with Limited Export Capabilities*, Scientific proceedings of Riga Technical university Vol. 4, Power and Electrical Engineering No.8, Riga Technical University, Latvia, 2003; pp. 48-55

2. raksts; *Wind Energy in Power Systems*, book edited by T. Ackermann; Chapter 20: J. Matevosyan, *Wind Power in Areas with limited Transmission Capacity*, published by John Weiley&Sons, Ltd

3. raksts; C. Jauch, J. Matevosyan, T. Ackermann, S. Bolik, *International Comparison of Requirements for Connection of Wind Turbines to Power Systems*, accepted for publication in Wind Energy Journal, John Weiley&Sons, Ltd

4. raksts; J. Sveca, L. Söder, *Wind Power Integration in Power System with Bottleneck Problems*, Scientific proceedings of Riga Technical university Vol. 4, Power and Electrical Engineering No.8, Riga Technical University, Latvia, 2003; pp. 56-63

5. raksts; J. Matevosyan, L. Söder, *Estimation of Potential Wind Energy Curtailment for Wind Power Plants in Power Systems with bottleneck problems*, in the proceedings of EPE-PEMC2004, 11th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2-4 September 2004, Riga, Latvia (*Best student paper award*)

6. raksts; J. Matevosyan, L. Soder, *Evaluation of Wind Energy Storage in Hydro Reservoirs in Areas with Limited Transmission Capacity*, in Proceedings of the Fourth International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Wind Farms, 20-21 October 2003, Billund, Denmark

7. raksts; A. Jäderström, J. Matevosyan, L. Söder *Coordinated regulation of wind power and hydro power with separate ownership*, in the proceeding of the 4th International Conference in Energy Economics, IEWT'5, February 2005, Vienna, Austria (*Best student paper award*)

¹Uzvārds tika mainīts uz Matevosjana 2003. gada

Raksti ir sakārtoti nevis hronoloģiski bet tematiski. Raksti ir īsuma apraksti darbā un pielikti pielikumā.