

TUULEGENERAATORITE VÄLJUNDVÕIMSUSE KÕIKUMISTE LEEVENDAMINE

Kaupo Toom, Andres Annuk
Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Kreutzwaldi 56, 51014 Tartu,
e-post: kaupo.toom@emu.ee

Annotatsioon

Tuule osatähtsus kogu maailma energeetikas suureneb pidevalt. Tuuleenergia tootmisgraafikute uurimine näitab, et tuule stohhastilisest iseloomust tingituna on viimaste sobitamine eriti elektrienergia tarbimisgraafikutega komplitseeritud. Lisaks tuleb prognoosida tuulepargi väljundvõimsust 24 h ette, et planeerida vajalikud muudatused ja reservid võrgus. Prognoosimisel tekivad vead. Kui lõigata tuulikute tootmisgraafikute tipud, väheneb ennustamisel tekkinud viga. Tootmisgraafikute ära lõigatud energiahulk oleks võimalik suunata näiteks soojusenergiana mõne asula kaugkütte soojusvõrku.

Märksõnad: tuuleenergeetika, tootmisgraafikud, tuulevõimsuste prognoos, soojusvõrk.

Sissejuhatus

Kuna enamik tuulejõuseadmeid toodab energiat elektrienergiana, on tuuleenergeetika üheks põhiprobleemiks tuulejõujaamade tootmisgraafikute sobitamine energiasüsteemi tootmis- ja tarbimisgraafikutega. Tuule stohhastilisest iseloomust tingituna ei sobi need graafikud omavahel eriti hästi ja tegelikud kütuse kokkuhoiu ja õhusaaste vähendamise protsendid on loodetust tunduvalt väiksemad (Liik jt 2005). Antud probleemi on põhjalikult käsitletud ka artiklites (Palu jt 2008, Palu jt 2009, Palu 2009).

Tuuleenergia kõikuvat võimsust tasakaalustavad kiire reguleerimisega elektrijaamad, näiteks gaasiturbiini- ja hüdroelektrijaamad. Tavalisi fossiilkütusel töötavaid soojuselektrijaamasid ei ole hea tasakaalustamiseks kasutada ja tuumaelektrijaamad on selleks täiesti sobimatud. Põhivõrguettevõttel on lubatud vähendada tuulepargi väljundvõimsust, mida nad ka ekstreemsetes tingimustes aeg-ajalt kasutavad, kui elektrienergia tootmise-tarbimise tasakaalu ei ole võimalik saavutada muude meetmetega (Lepa jt 2009).

Materjal ja metoodika

Igal ajahetkel peab elektrijaamade toodetud energia olema võrdne kuluga. Tavaliste fossiilkütusel põhineva energiasüsteemi võimsuste tasakaalu on lihtne hoida, kuna toodangut on soojusjõujaamades võimalik täpselt prognoosida. Vastupidiselt võib stohhastilise iseloomuga tuulepargi väljundvõimsuse kõikumise amplituud olla kümneid megavatte minutis ja see võib põhjustada võrgus hädaolukordi.

Üldjuhul prognoositakse tuulepargi võimsus 24 h ette, mis võimaldab muudatuste jaoks planeerida vajalikke varuressursse. Siiski kaasnevad tuuleenergia prognoosimisega vead. Prognoosi viga hinnatakse peamiselt kahe meetodi abil: ruutkeskmise ja keskmise absoluutne protsentuaalne viga (MAPE) (1) (Rosen jt 2007). Samuti kasutatakse keskmist protsentuaalset viga (MPE) (2).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{P_a - P_f}{P_a} \right| \cdot 100 \quad (1)$$

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{P_a - P_f}{P_a} \cdot 100 \quad (2)$$

P_a – tuulepargi tegelik väljundvõimsus

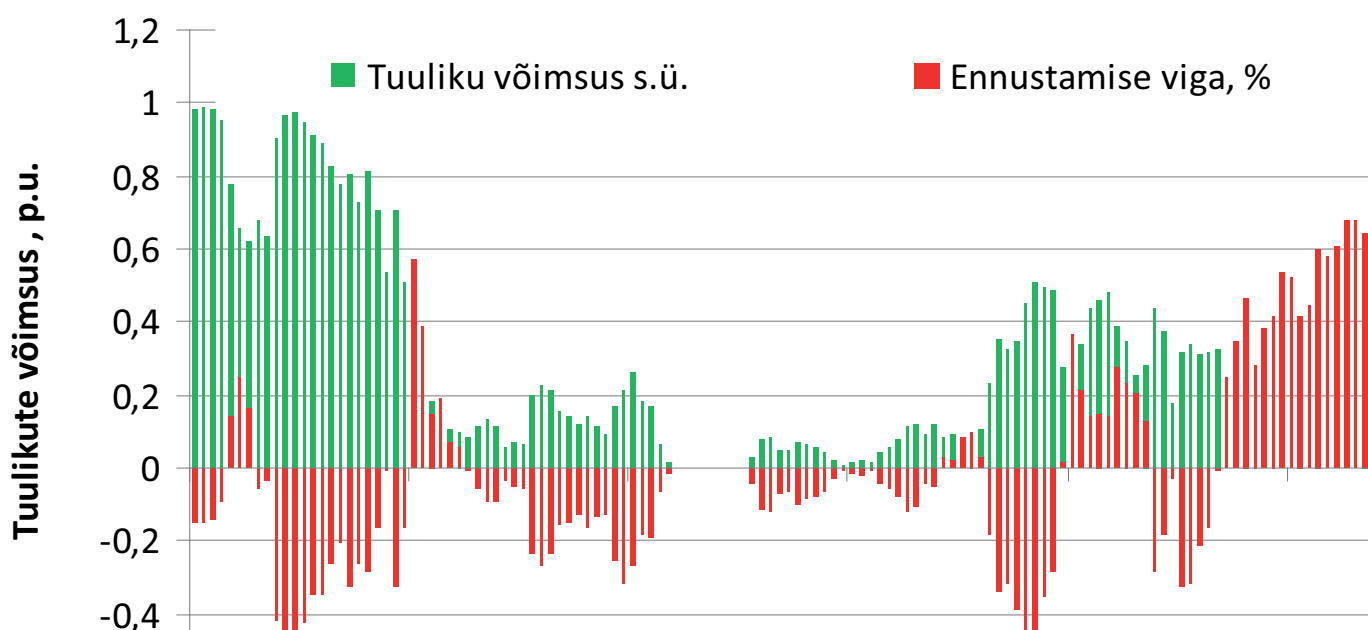
P_f – tuulepargi ennustatud väljundvõimsus

Kui MPE arvestab ka polaarsust, siis MAPE väljendab absoluutset veauulatust. MAPE väärtused võivad oluliselt erineda, kuid keskmiselt kuni 20%-line viga on enamasti saavutatav (Agabus ja Tammoja 2009).

Selleks, et hinnata tuulepargi väljundvõimsuse prognoosi viga, on kasutatud Pakri tuulepargi väljundvõimsuse andmeid. Pakri tuulepargis on kaheksa Nordex N-90 2,3 MW tuulegeneraatorit koguvõimsusega 18,4 MW. Tulemuse üldistamise eesmärgil kasutame võimsuse suhtelist ühikut (p.u.).

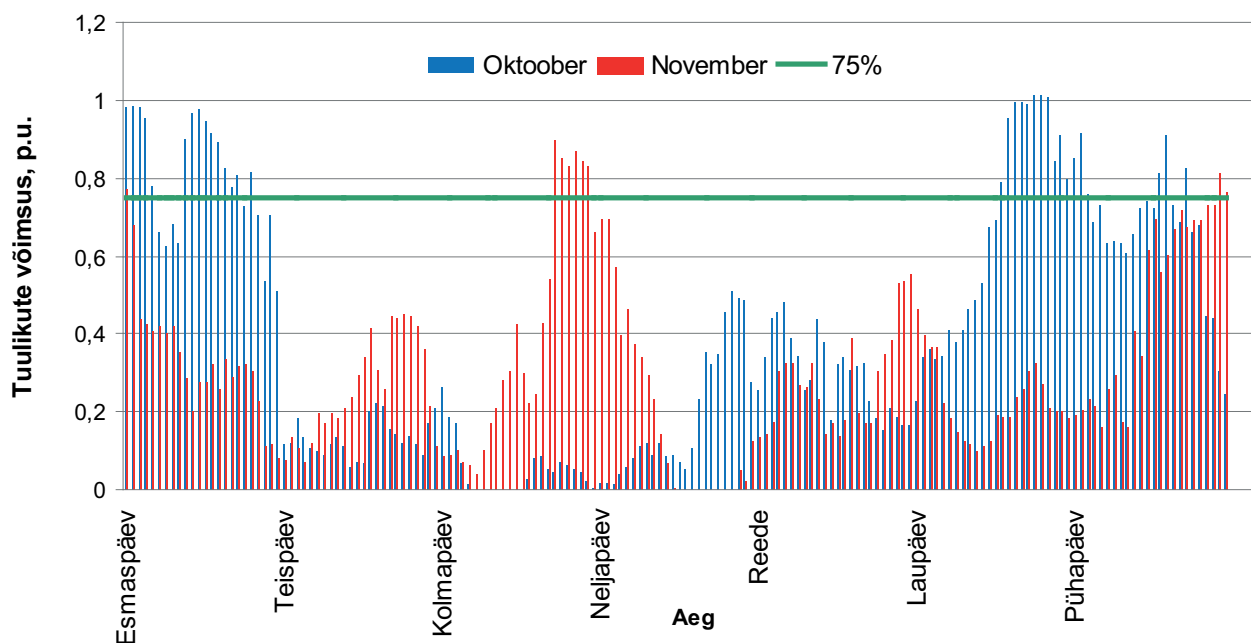
Joonisel 1 on Pakri tuulepargi tootmisgraafik suhtelistes ühikutes ja prog-

noosi viga protsentides. Keskmine MAPE on vaadeldud ajavahemikul 14,5%.



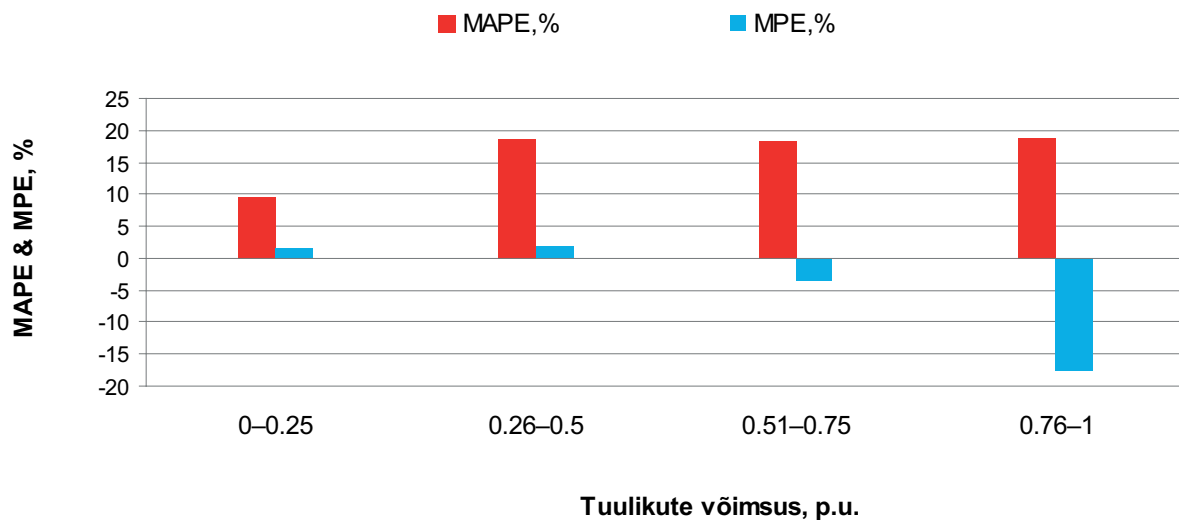
Joonis 1. Pakri tuulepargi tootmisgraafik koos prognoosi veaga (6.10.2008–12.10.2008).
Figure 1. Pakri wind park production chart with forecast error chart (6.10.2008–12.10.2008).

Joonisel 2 on võrreldud kahte erinevat tuuletingimust oktoobri- ja novembrikuus 2008. aastal.

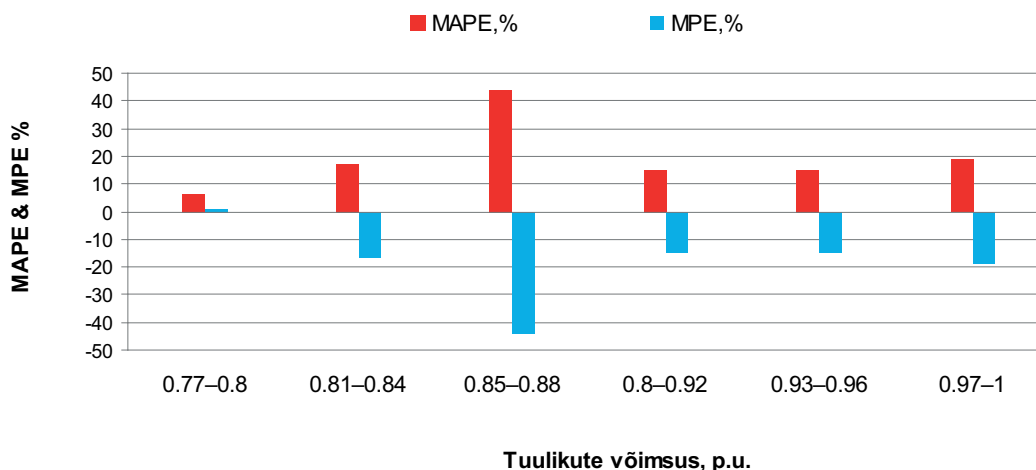


Joonis 2. Pakri tuulepargi tootmisgraafik (6.10.2008–12.10.2008 ja 3.11.2008–9.11.2008). Hori-
sontaalne joon peegeldab 75% võimsusest.
Figure 2. Production charts of Pakri wind park (6.10.2008–12.10.2008 and 3.11.2008–9.11.2008).
Horizontal line reflects the 75% capacity.

Jooniselt 3 on näha, et MPE on vahemikus 0,76–1 tugevalt negatiivne (-18%), MAPE on samal ajal 19,2%. Seega on suuremad prognoosivead tehtud siis, kui tuuliku suhteline võimsus on vahemikus 0,76–1. Joonisel 4 on vaadeldud konkreetset vahemikku lähemalt. On näha, et suurimad vead on tehtud vahemikus 0,85–0,88.



Joonis 3. MAPE ja MPE Pakri tuulepargi võimsuse suhtelistes ühikutes (6.10.2008–12.10.2008 ja 3.11.2008–9.11.2008).
Figure 3. MAPE and MPE of proportional power in Pakri wind park (6.10.2008–12.10.2008 and 3.11.2008–9.11.2008).



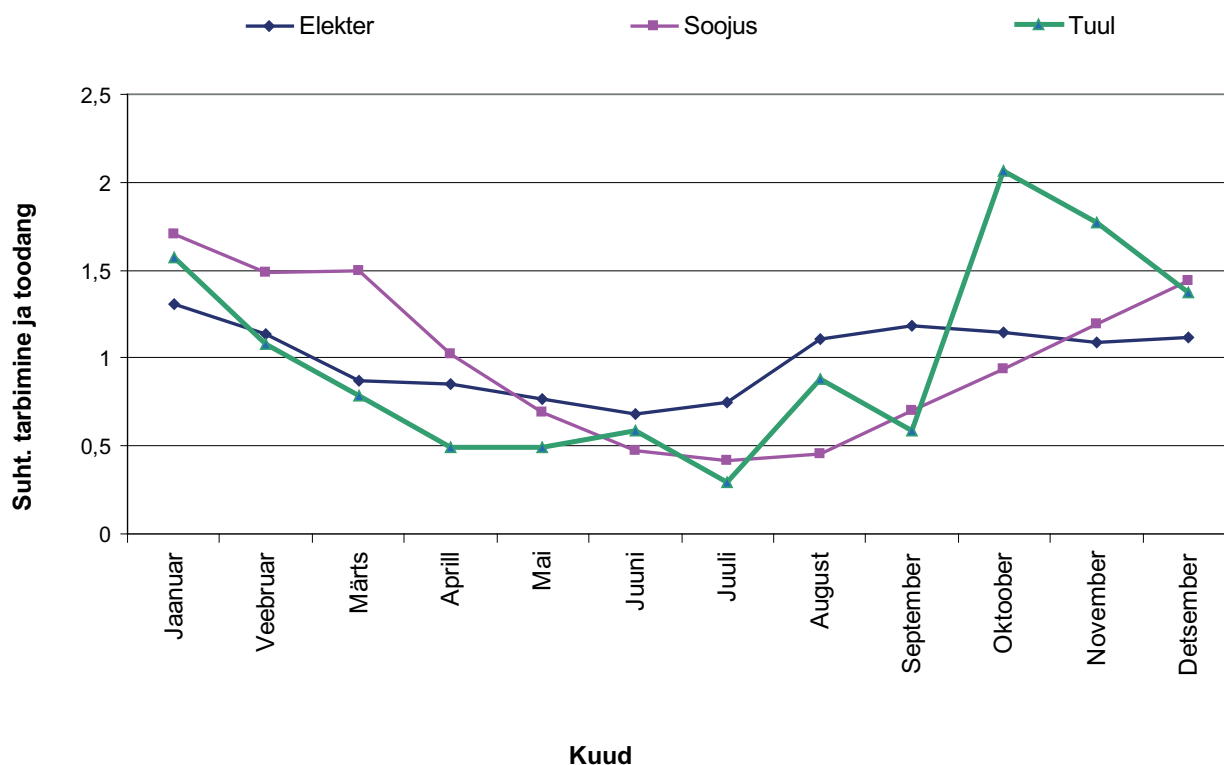
Joonis 4. MAPE ja MPE Pakri tuulepargi võimsus suhtelistes ühikutes (6.10.2008–12.10.2008 ja 3.11.2008–9.11.2008) vahemikus 0,77–1 sammuga 0,04.
Figure 4. MAPE and MPE of proportional power in Pakri wind park (6.10.2008–12.10.2008 and 3.11.2008–9.11.2008) in interval 0,77–1 by step 0,04.

Pärast tootmisgraafiku lõikamist 80% ulatuses nimivõimsusest vähenes MAPE terve tootmisgraafiku lõikes 14,4%-lt 13,7%-ni. Kuigi see on väike muutus, kõrvaldab see tootmisgraafikust vahemiku 0–0,8, kus MAPE on kõrgem kui keskmine kogu graafiku ulatuses. Kui võrrelda viimaste aastate keskmisi tuuletugevusi Pakri tuulepargis kuude lõikes, siis pärast tootmisgraafiku lõikamist 80% ulatuses nimivõimsusest oli maksimaalne ära lõigatav energia 8,6%. Mida kehvemad olid tuule tugevused, seda kiiremini vähenes lõigatav energiakogus, aga keskmiselt ei ületanud see 5%. Tootmisgraafikust ära lõigatud tootmistippude energia võiks suunata näiteks mõne asula soojusvõrku.

Energia kasutamine soojusvõrkudes

Tuuleenergia kasutamist soojusvõrkudes on käsitletud Lepa jt töös (2010), kus selgub, et kuigi soojussüsteemides on tuuleenergia kasutamine elektrisüsteemidega võrreldes mõneti lihtsam, tekivad selle aastaringisel kasutamisel siiski olulised probleemid tuuleenergia tootmisgraafikute ja tarbijate vajaduste erinevuse tõttu. Kuna Eestis hetkel puuduvad suurema energiamahutavusega vastuvõetava kasuteguriga energiasalvestid (pumpelektrijaamad jms), on meil olemas asulate küttesüsteemid koos kohalikul kütusel või gaaskütusel töötavate katlamajadega. Selles töös oli käsitletud kogu tuuleenergia suunamist soojusvõrku, mida selgitab joonis 5, kus suuremal osal aastast on tuule- ja soojusenergia tootmine sarnase tunnusjoonega. Puudujääk esineb valdavalt aasta esimestel kuudel, kuna nendel kuudel on temperatuur madalam ja tugevate tuulte esinemise tõenäosus väiksem. Olukorra muudab keerulisemaks asjaolu, et nii üle- kui ka vaegtoodang esinevad järjestikku mitme kuu jooksul. See nõuab oluliselt suurema energiamahutavusega salvestusseadet. Tuuleenergia salvestamisprobleeme meie oludes on käsitletud veel teisteski artiklites (Põder jt 2009a, Põder jt 2009b).

Tootmisgraafiku lõigatud tippude energiat võiks kasutada ka vesiniku tootmisel, mille tehnoloogiat on käsitletud Andrijanovitši jt töödes (2010). Selle tehnoloogia abil oleks võimalus energiat salvestada ning tuulevaikuse perioodidel vesinikust jälle elektrienergiat toota.



Joonis 5. Eesti elektri- ja soojusenergia tarbimine ning tuule(elektri)energia toodang suhtelistes ühikutes 2008. a.

Figure 5. Estonia's electricity and heat consumption and the wind (electrical) power output in proportional units in 2008.

Kokkuvõte

Tuuleenergia ennustamine on keeruline ning sellega kaasnevad loomulikult vead. Lõigates ära tootmisgraafiku tipud näiteks 80% ulatuses nimivõimsusest, vähenes MAPE 14,4%-lt 13,7%-ni. Kuigi see on väike muutus, kõrvaldab see tootmisgraafikust vahemiku 0–0,8, kus MAPE on kõrgem kui keskmine kogu graafiku ulatuses. Kui võrrelda viimaste aastate keskmisi tuuletugevusi kuude lõikes Pakri tuulepargis, siis pärast tootmisgraafiku lõikamist 80% ulatuses nimivõimsusest oli maksimaalne ära lõigatav energia 8,6%. Mida kehvemad olid tuuletugevused, seda kiiremini vähenes lõigatav energiakogus, aga keskmiselt ei ületanud see 5%. Tootmisgraafiku äralõigatud tippude energiat oleks võimalik kasutada energiaks mõne asula kaugkütte soojusvõrgus, vesiniku tootmiseks või pumpelektrijaamas vee pumpamiseks ning siis elektrienergia taastootmiseks jne. Nende tasuvus ning kasutusele võtmine sõltub kindlasti paljuski poliitilistest otsustest. Näiteks saab tuua tuuleparkidele makstavat taastu-

venegiatusu, mille vähendamist on planeeritud.

Kasutatud kirjandus

- Agabus, H., H. Tammoja, Wind power production estimation through short-term forecast. - Oil Shale nr 26 (3S), 2009, lk 208–219.
- Andrijanovitš, A., E. Egorov, M. Lehtla, D. Vinnikov, New Method for Stabilization of Wind Power Generation Using Energy Storage Technology. - Agronomy Research nr 8 (S1), 2010, lk 12–24.
- Lepa, J., A. Annuk, E. Kokin, V. Põder, K. Jürjenson, Energy production and consumption charts in energy system. - Oil Shale nr 26 (3S), 2009, lk 309–318.
- Lepa, J., A. Annuk, K. Toom, K. Jürjenson, M. Pennar, V. Palge, Wind Power in Heat Energy Systems. - Agronomy Research nr 8 (S1), 2010, lk 141–148.
- Liik, O., R. Oidram, M. Keel, J. Ojangu, M. Landsberg, N. Dorovatovski, Co-operation of Estonia's Oil Shale based Power System with Wind Turbines. - Oil Shale nr 22 (2S), 2005, lk 127–142.
- Palu, I., H. Tammoja, R. Oidram, Thermal power plant cooperation with wind turbines. - Estonian J. Engineering nr 14 (4), Estonia, 2009, lk 317–324.
- Palu, I., R. Oidram, M. Keel, H. Tammoja, Balancing of wind energy using oil-shale based power plants at erroneous wind forecast conditions. - Oil Shale nr 26 (2S), Estonia, 2009, lk 189–199.
- Palu, I. Impact of Wind Parks on Power System Containing Thermal Power Plants. -Dissertation for the defence of the degree of Doctor of Philosophy in Power Engineering and Geotechnology. Tallinn University of Technology, Faculty of Power Engineering, Department of Electrical Power Engineering. Tallinn, 2009.
- Põder, V., J. Lepa, E. Jõgi, V. Palge, S. Kuusik, A. Annuk, Sizing of Wind Turbine Generator and Storage Device. - PROCEEDINGS of the 6th Research and Development conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering (CEE AgEng). Raudondvaris. Lithuania, 30. juuni – 2. juuli 2009, lk 120 – 125.
- Põder, V., J. Lepa, V. Palge, T. Peets, A. Annuk, The Estimation of Nee-

ded Capacity of a Storage System According to Load and and Wind Parameters. - Oil Shale nr 26 (3S), 2009, lk 283–293.

Rosen, J., I. Tietze-Stöckingen, O. Rentz, Model-based analysis of effects from large-scale wind power production. - Energy nr 32 (4), 2007, lk 575–583.

POWER OUTPUT OF WIND TURBINES IN THE VARIATION MITIGATION

Kaupo Toom, Andres Annuk

The relative importance of wind becomes every day more important. Due to the wind stochastic nature the study and fitting of wind energy production charts is compensated with the electricity consumption charts. In addition it is vital to predict the power outlet of the wind park for 24 h to ensure reserves in the network. In the progress of prediction mistakes do happen. The part of power production charts that have been cut can be used for example for district heating.