

FORECAST EOLIAN

FORECAST EOLIAN

Cuprins

- 1. Introducere - Efectele aparitiei centralelor eoliene asupra functionarii SEN 2
- 2. Modelarea sistemelor meteorologice 4
 - 2.1. Posibilitati de modelare 4
 - 2.2. Modele statistice 5
 - 2.3. Modele hibride 5
- 3. Propunerea TELETRANS pentru un sistem pilot de predictie a vitezei si directiei vantului in zona unei ferme de centrale eoliene 7
 - 3.1. Definirea modelului matematic pentru un sistem pilot 7
 - 3.2. Structura sistemului pilot propus 8
- Bibliografie 10

FORECAST EOLIAN

1. Introducere - Efectele aparitiei centralelor eoliene asupra functionarii SEN

CN TRANSELECTRICA SA este Operatorul de Transport si Sistem pentru Sistemul Energetic National al Romaniei. Misiunea sa este "asigurarea functionarii SEN in conditii de maxima siguranta si stabilitate, indeplinind standardele de calitate, realizand astfel infrastructura pietei nationale de electricitate si garantand, in acelasi timp, accesul reglementat la reseaua electricade transport, în conditii de transparenta, nediscriminare si echidistanta pentru toti participantii la piata."

Utilizarea de surse de energie regenerabila este o cerinta a zilelor noastre, determinata de o serie de factori cum ar fi:

- Cresterea temperaturii cu $0.6 \pm 0.2^\circ \text{C}$ in ultimul secol
- Crestere concentratie CO₂ cu 31 % fata de 1750
- Crestere concentratie CH₄ cu 151 % fata de 1750 (International Panel on Climate Change, Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)
- Crestere pret petrol cu 680 % in ultimii 20 ani
- Crestere pret petrol cu 510 % in ultimii 20 ani
- Ingrijorare referitoare la posibilitatea epuizarii resurselor de hidrocarburi

Dintre sursele energetice regenerabile, o pondere tot mai mare pe plan mondial o reprezinta energia eoliana. Aceasta extindere a centralelor eoliene se datoreaza unor factori cum ar fi:

- Pret de cost mic
- Disponibilitate aproape peste tot (comparativ cu energia geotermala si hidro)
- Suport tehnologic
- Suport politic in multe tari

Aparitia si extinderea centralelor eoliene reprezinta o noua provocarea pentru orice Operator de sistem. Extinderea utilizarii energiilor alternative si in special a energiei eoliene este o urmare a decizei Comisiei Europene [1] care prevede ca tinta pentru 2010 un procent de 22,1 % din energie produsa din surse regenerabile. Pentru indeplinirea acestei tinte, trebuia ca energia produsa in centralele eoliene sa fie de 45-60 GW la nivelul Europei. In 2003 aceasta tinta a fost majorata la 75 GW.

FORECAST EOLIAN

Potrivit angajamentelor României față de Comisia Europeană, în 2010 energia produsă din surse regenerabile ar trebui să reprezinte 33% din consumul intern brut, urmând să crească până în 2015 la 35% și la 38% în 2020.

La nivelul lunii aprilie 2008, în România, exista o putere instalată de 7,7 MW în centrale eoliene, dar intențiile declarate ale unor potențiali producători de instalare de parcuri eoliene depășesc 4.000 MW.

Energia eoliană, pe lângă avantajele sale evidente, ridică o serie de probleme unui operator de sistem legate în special de caracterul său intermitent, trebuind să fie asigurate în permanență capacități energetice de echilibrare [9], ceea ce în multe cazuri implică utilizarea de energie produsă din combustibili fosili cu implicații în costuri suplimentare și în creșterea poluării (deci o reducere a efectului scontat prin utilizarea energiei eoliene). O altă problemă care apare este cea a existenței capacității sistemului de transport al energiei electrice de a evacua energia produsă, existând situații în care trebuie construite linii noi, ceea ce duce la o creștere a costurilor.

Aceste probleme împreună cu alte restricții tehnice au determinat în momentul de față, CN TRANSELECTRICA SA să aibă posibilitatea integrării în sistem doar a 1.500 MW.

În aceste condiții problema predicției puterii generate în cadrul unui parc eolian, pe un interval de 48 până la 172 ore devine una din problemele de mare actualitate ale operatorilor de sistem. Ca urmare, în ultima perioadă, pe plan mondial au apărut diverse studii și modele pentru predicția, pe intervale scurte, a vitezei și direcției vântului sau a puterii produse în centralele eoliene, bibliografia referitoare la acest subiect fiind deosebit de vastă [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12].

Remarcăm faptul că pe lângă interesul acordat de Operatorii de Sistem pentru predicția pe intervale de scurtă durată a vitezei și direcției vântului sau a puterii produse în centralele eoliene, tot mai mult își manifestă interesul pentru acest subiect producătorii și ceilalți participanți la piețele de energie.

FORECAST EOLIAN

2. Modelarea sistemelor meteorologice

Stabilirea unor modele de predicție a vitezei și direcției vântului este determinate de faptul că, de multe ori, informațiile de la institutele de meteorology nationale nu au suficienta acuratețe pentru zonele specific determinate unde se afla ferma eoliana.

Ca urmare, pe plan mondial, în ultimii ani, au fost dezvoltate diverse sisteme de modelare și predicție a vitezei și direcției vântului pentru un punct specific și pentru intervale de 48 – 172 ore.

2.1. Posibilitati de modelare

Este stiut faptul în stabilirea modelului unui sistem fizic în vederea diagnozei și preciziei comportamentului său, se utilizează următoarele clasificări ale sistemelor:

- sistem închis : un sistem caruia i se pot identifica și măsura toți parametrii caracteristici
- sistem deschis : un sistem caruia o serie de parametrii caracteristici nu i se pot identifica sau măsura.

Modelele care pot clasifica un sistem fizic se clasifică în:

- Modelele statistice apelează la diverse elemente din teoria analizei semnalelor și pe baza acestora încearcă să stabilească legături între "cauze" și "efecte". Au avantajul că nu necesită măsurarea parametrilor cu o mare acuratețe, că permit o bună caracterizare a evoluției în timp, că nu necesită cunoașterea tuturor parametrilor fizici, dar au dezavantajul că necesită serii lungi de măsurări pe o perioadă mai lungă de timp și în consecință sunt inoperante în prima perioadă de funcționare a modelului.
- Modelele deterministe pornesc de la schematizarea sistemului printr-o serie de parametrii și modele matematice care fac legătura între marimile de intrare și cele de ieșire. În principiu se realizează o modelare a suprafeței terenului după care se implementează un algoritm de curgere a unui fluid deasupra acestei suprafețe. Modelul este analizat cu o serie de aplicații informatice stabilindu-se răspunsul la diverse combinații ale parametrilor de ieșire exterioare. Metoda are ca principală limitare dificultatea identificării, cu un grad suficient de certitudine tuturor parametrilor care caracterizează funcționarea unui sistem. De aceea un astfel de model trebuie reevaluat prin compararea valorilor "estimate" de model cu valorile măsurate pe o perioadă mai lungă de timp.

FORECAST EOLIAN

- Modelele hibride se folosesc, in special in cazurile cand nu avem date pentru anumite variabile la momentul efectuării calculului, si acestea vor fi determinate prin metode statistice, dupa care aceste date vor deveni marimi de intrare pentru un model determinist.

Referindu-ne la predictia vitezei si directiei vantului intr-un punct dat, aceasta este influentata de o multitudine de factori printre care enumeram: relieful, temperatura, presiunea atmosferica, valorile acestor marimi in zonele invecinate punctului de masura, viteza si directia vantului in zonele invecinate etc.

Este evident ca un astfel de sistem va fi pana la urma un sistem deschis si utilizarea unui model determinist nu este in general aplicabila, ea putand sa fie folosita doar in anumite regiuni si avand astfel un grad de generalitate limitat (a se vedea raportul ANEMOS [5] pct. 2.2.1 – Models no longer or never in action).

2.2. Modele statistice

Au fost dezvoltate in timp o serie de modele statistice pentru predictia vitezei si directiei vantului. Toate aceste modele au un grad de generalitate limitat, ele fiind adaptate conditiilor specifice locatiei unde se calculeaza. Rezultatele obtinute cu modelele statistice s-au dovedit a furniza o predictie cu un grad de eroare redus,

Au fost folosite pentru modelarile statistice diverse metodologii de calcul si diversi algoritmi: filtre Kalman [15], [16] si [17], algoritmi recursivi bazati pe medii patratice [18], algoritmi bazati pe media ultimelor valori (pe intervale de 20 – 30 minute), aplicati in cazul unei insule medii [19], algoritmi bazati pe modele ARMA [20], algoritmi autoregresivi care folosesc modele adaptive construite pe logica fuzzy [21], modele lineare adaptive construite pe logica fuzzy [22] si [23], modele autoregresive si data mining [24] etc.

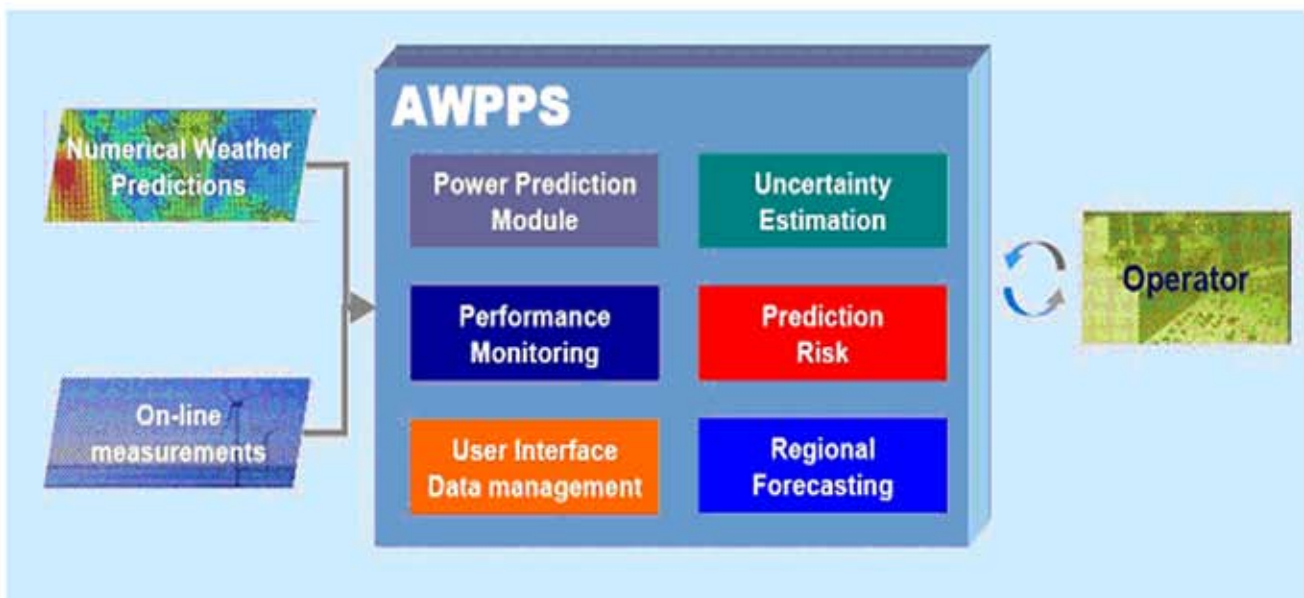
2.3. Modele hibride

Dintre modelele hibride, unul dintre cele mai cunoscute este modelul Zephyr – Prediktor folosit in cadrul programului ANEMOS. Acest model a fost implementat in Spania, Scotia, SUA (Texas), Irlanda, Danemarca, Benelux si Japonia. Sistemul Prediktor foloseste un NWP (Numerical Weather Prediction Model) pentru a calcula viteza si directia vantului, dupa care se transforma aceste date in date pentru viteza si directia vantului punctul de interes iar la final aceste date se

FORECAST EOLIAN

transforma în putere generată utilizând un set de curbe de putere. Rezultatele obținute sunt corectate cu ajutorul unui modul de statistic, corecția putând să fie făcută atât înainte cât și după transformarea vitezei și direcției vântului în putere. După cum se vede cele două elemente de bază sunt NWP și modulul statistic. În cadrul implementării din Danemarca a fost folosit ca NWP DMI Weather forecasting system [13] care utilizează aplicația HIRLAM 6.3, aplicație care face o modulare sub forma unei rețele cu rezoluția de 0.15° respectiv 0.05° și 40 nivele pe verticală. O astfel de aplicație are nevoie de a rula pe un supercomputer de tipul NEC SX6 și acoperă zona de Nord a Europei și Insulele Britanice.

Un alt sistem care folosește modelări hibride este AWPPS (ARMINES Wind Power Prediction System) [14], realizat la Ecole des mines de Paris. Sistemul AWPPS a fost implementat pentru 35 ferme eoliene în Danemarca, Germania, Grecia, Irlanda, Spania, Portugalia și Marea Britanie amplasate în diverse condiții de teren. Principiul de funcționare al sistemului este prezentat în figura de mai jos.



FORECAST EOLIAN

Sistemul AWPPS are ca date de intrare informatiile furnizate de un NWP (ex: HIRLAM, ALADIN, SKIRON) si date de la masuratori on line.

Modulul de Power Prediction este construit cu retele neurale adaptive fuzzy. Precizia sistemului AWPPS este de 10 % - 15 % pentru predictia pentru urmatoarele 48 ore si 8 % - 10 % pentru predictia pentru urmatoarele 24 ore.

Un proiect de NWP care trebuie mentionat este proiectul ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational) initiat in 1990 de Meteo-France, La acest proiect au aderat in timp 16 tari printre care si Romania reprezentata de INMH. Acest proiect s-a dezvoltat cu contributi din partea tuturor membrilor si a insumat un valum de munca de peste 250 om – an si 26 de teze de doctorat. In prezent in cadrul INMH se fac predictii folosind modelul ALADIN

- modelarea sistemelor meteo ca sisteme deschise, folosind modele statistice si hibride
- factorii care influenteaza directia si viteza vantului (presiune, temperatura, relief etc)
- modelarea sistemelor meteo la scara larga / pe zone restranse. Modele liniare, modele spatiale.

Modelul ALADIN

FORECAST EOLIAN

3. Propunerea TELETRANS pentru un sistem pilot de predicție a vitezei și direcției vântului în zona unei ferme de centrale eoliene

TELETRANS este filiala de informatică și telecomunicații a CN TRANSELECTRICA SA. În această calitate, operează o rețea de comunicații pe fibră optică de peste 6000 km, cu acoperire națională, rețea care poate să reprezinte elementul de suport de bază pentru un sistem de predicție a vitezei și direcției vântului.

3.1. Definierea modelului matematic pentru un sistem pilot

Modelul matematic propus pentru sistemul pilot va fi un model hibrid.

Se vor lua în calcul trei componente:

- tendința de evoluție pe termen lung
 - va utiliza un model determinist care va determina orientarea generală a evoluției parametru
 - modelul utilizat un polinom în variabilă timp
 - se determină utilizând metoda celor mai mici pătrate
- variația periodică (sezonieră)
 - model determinist - fenomen repetabilitate evoluție parametru
 - modelul utilizat - perioada principală evidențiată și valorile medii ale esanțioanelor corespunzătoare perioadei
 - se determină utilizând metoda Wittacker-Robinson
- variația aleatoare
 - model nedeterminist asociat perturbațiilor care afectează evoluția parametrului
 - modelul utilizat - zgomot alb filtrat
 - se determină utilizând algoritmul Levinson-Durbin

Modelul care va rezulta va fi cel al unui sistem cu 2k intrări și o ieșire: cele 2k intrări sunt presiunea atmosferică și vectorul vânt în k puncte iar ieșirea este vectorul vânt în punctul de calcul.

Alegerea numărului de intrări în sistem va depinde de:

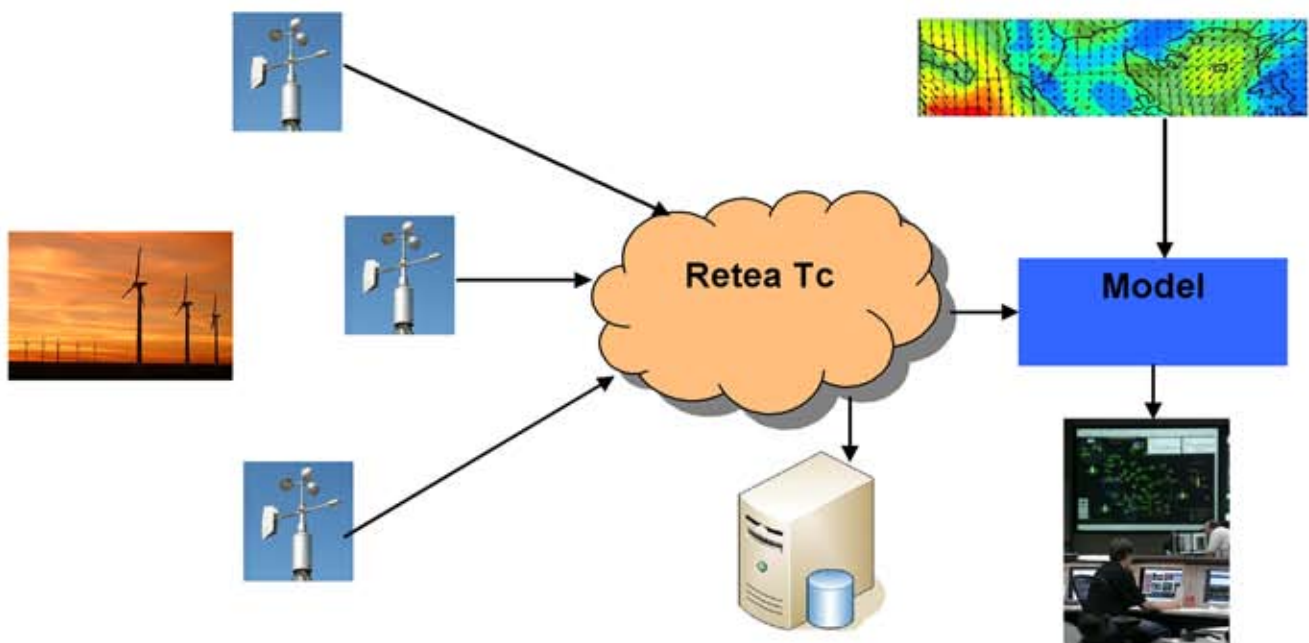
- distanța între punctul de calcul și punctele de măsură ale marimilor de intrare

FORECAST EOLIAN

- relieful zonei care sa va modela, posibilitatea culegerii de informatii dintr-o matrice care sa acopere toate vecinatatile

3.2. Structura sistemului pilot propus

Sistemul pilot propus va fi alcatuit din: instalatiile de achizitie date, reseaua de telecomunicatii si echipamentele de calcul care vor modela sistemul.



Instalatiile de achizitie date se vor monta in site-urile TRANSELECTRICA, beneficiind astfel atat de conditii de colocare cat si de acces la reseaua de telecomunicatii. Aceste instalatii se caracterizeaza prin:

- autonomie energetica (utilizeaza energia produsa de vintul monitorizat)
- capacitate de stocare a inregistrarilor pe o perioada lunga de timp (minim 1 an)
- cost redus

Modelul matematic va fi implementat pe servere care vor fi instalat la Dispeceratul Energetic National.

Prima etapa va fi caracterizata de achizitia de date pe un interval de timp si calculul parametrilor

FORECAST EOLIAN

modelului matematic.

Dupa aceea se va trece la calibrarea modelului:

- o predictia valorilor la punctul de calcul

- o calculul erorii de predictie si a dispersiei erorilor de predictie

- o recalibrarea modelului prin recalcularea functiilor de transfer si pondere sau introducerea coeficientilor de corectie

Dupa calibrare sistemul va deveni operational.

Pe masura ce sistemul se va extinde si zona de acoperire va fi mai mare, eroarea de predictie va deveni tot mai mica.

FORECAST EOLIAN

Bibliografie

- [1] ***, Official Journal of European Commission "Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council, on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market". Sept 2001
- [2] ***, Short-Term Forecasting Fact Sheet for Prediktor, available on <http://130.226.56.153/zephyr>
- [3] ***, E.ON Netz. Wind Report 2004, Wind Report 2005
- [4] R. Doherty and M. O'Malley. A new approach to quantify reserve demand in systems with significant installed wind capacity. *IEEE Transactions on Power Systems* 20(2), pp. 587-595, 2005
- [5] G. Giebel, R. Brownsword, and G. Kariniotakis. State of the art on short-term wind power prediction, ANEMOS Report D1.1, 2003
- [6] L. Landberg, G. Giebel, H.Aa. Nielsen, T.S. Nielsen, H. Madsen. Short-term prediction - An overview, *Wind Energy* 6(3), pp. 273-280, 2003
- [7] M. Lange and U. Focken. Physical approach to short-term wind power forecast, Springer, ISBN 3-540-25662-8, 2005
- [8] H. Madsen, P. Pinson, H.Aa. Nielsen, T.S. Nielsen and G. Kariniotakis. Standardizing the performance evaluation of short-term wind power prediction models, *Wind Engineering* 29(6), pp. 475-489, 2005
- [9] P.Pinson, C. Chevalier, G. Kariniotakis, "Optimizing Benefits from Wind Power Participation in Electricity Markets using Advanced Tools for Wind Power Forecasting and Uncertainty Assessment" European Wind Energy Conference EWEC 2004, London, UK, 22-25 Nov 2004
- [10] P. Pinson, C. Chevallier and G. Kariniotakis. Trading wind generation with short-term probabilistic forecasts of wind power, *IEEE Transactions on Power Systems* 22(3), pp. 1148-1156, 2007
- [11] P. Pinson, S. Lozano, I. Marti, G. Kariniotakis and G. Giebel. ViLab: a Virtual Laboratory for collaborative research on wind power forecasting, *Wind Engineering* 31(2), pp. 117-121, 2007
- [12] P. Pinson, H.Aa. Nielsen, J.K. Møller, H. Madsen and G. Kariniotakis. Nonparametric probabilistic forecasts of wind power: required properties and evaluation, *Wind Energy*, in press, 2007
- [13] http://www.dmi.dk/eng/index/research_and_development/dmi-hiramlam-2.htm
- [14] http://www.cenerg.cma.fr/prediction/main_prediction3_FR.htm
- [15] Bossanyi, E.A.: Short-Term Wind Prediction Using Kalman Filters. *Wind Engineering* 9(1), pp. 1-8 (1985)
- [16] Vihriälä, H., P. Ridanpää, R. Perälä, and L. Söderlund: Control of a variable speed wind turbine with feedforward of aerodynamic torque. Proceedings of the European Wind Energy Conference, Nice, France, 1-5 March 1999, pp. 881-884, ISBN 1 902916 00 X
- [17] Informationen aus dem Forschungsschwerpunkt Energieversorgung mit dezentralen Kleinkraftwerken in leistungsbegrenzten Versorgungsnetzen. Fachhochschule Wilhelmshaven, Fachbereich Elektrotechnik, Oktober 1999
- [18] Dambrosio, L, and D. Fortunato: One-step-ahead control of a wind-driven, synchronous generator system. *Energy* 24, pp. 9-20 (1999), doi:10.1016/S0360-5442(98)00067-X
- [19] Nogaret, E., G. Stavrakakis, J.C. Bonin, G. Kariniotakis, B. Papadidas, G. Contaxis, M. Papadopoulos, N. Hatzigiorgiou, S. Papathanassiou, J. Garopoulos, E. Karagounis, J. Halliday, G. Dutton, J. Pedas-Lopes, A. Androutsos, and P. Pligoropoulos: Development and Implementation of an Advanced Control System for Medium Size Wind-Diesel Systems. Proceedings of the EWEC '94 in Thessaloniki, 10.-14. Okt, pp. 599-604
- [20] Tantaraeanu, C.: Wind Prediction in Short Term: A first step for a better wind turbine control. Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi, October 1992, ISBN 87-7778-005-1
- [21] Dutton, A.G., G. Kariniotakis, J.A. Halliday, and E. Nogaret: Load and Wind Power Forecasting Methods for the Optimal Management of Isolated Power Systems with High Wind Penetration. *Wind Engineering* 23(2), pp. 69-87 (1999)
- [22] Kariniotakis, G., E. Nogaret, and G. Stavrakis: Advanced Short-Term Forecasting of Wind Power Production. Proceedings of the European Wind Energy Conference held in Dublin, Ireland, October 1997, pp. 751-754, ISBN 0 9533922 0 1
- [23] Kariniotakis, G.N., E. Nogaret, A.G. Dutton, J.A. Halliday, and A. Androutsos: Evaluation of Advanced Wind Power and Load Forecasting Methods for the Optimal Management of Isolated Power Systems. Proceedings of the European Wind Energy Conference, Nice, France, 1-5 March 1999, pp. 1082-1085, ISBN 1 902916 00 X
- [24] Fukuda, H., S. Tamaki, M. Nakamura, H. Nagai, F. Shijo, S. Asato, K. Onaga: The Development of a Wind Velocity Prediction Method Based on a Data-Mining Type Auto-Regressive Model. Proceedings of the European Wind Energy Conference, Copenhagen, Denmark, 2-6 June 2001, pp. 741-744, ISBN 3-936338-09-4