

O turbină de vânt întotdeauna trebuie să extragă din vânt energia cea mai mare posibilă. Vânturi cu viteze foarte mari sunt rare și acestea nu contribuie mult la producția anuală de energie. Pentru a rezista însă la asemenea viteze în condiții normale de funcționare turbină ar fi supradimensionată și scumpă. Prin urmare, turbinele de vânt se proiectează la un nivel maxim de putere care va fi realizat cu frecvență ridicată într-un an. Deci, este necesar un mecanism de control al puterii pentru a nu se depăși acest nivel de putere denumit putere nominală, care este obținut la viteza nominală a vântului (fig.1).

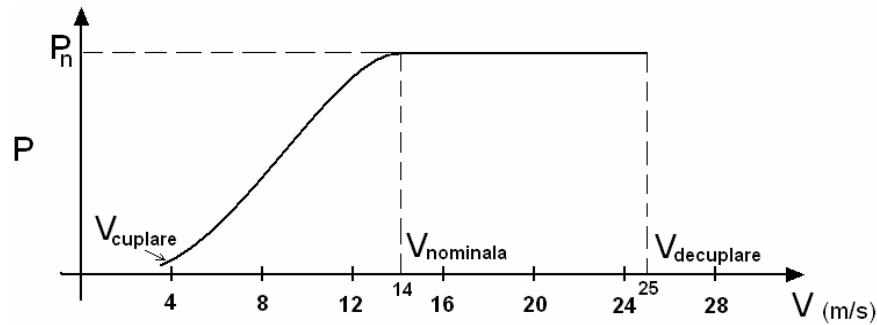


Fig.1. Curba de putere a unei turbine de vânt cu valori numerice orientative

Turbinele de vânt moderne se bazează în principal pe două mecanisme de control a puterii la viteze mari ale vântului și anume un control activ al pasului (pitch control) și un control pasiv aerodinamic al miscării pasului (stall control), controlul puterii fiind o consecință a unei proprietăți aerodinamice intrinseci a rotorului [1-3]. Controlul pasului se realizează printr-o variație activă a unghiului palei pe întreaga anvergură, prin această asigurându-se că toate secțiunile palei rămân într-un regim care poate fi caracterizat în cea mai mare parte printr-o curgere în jurul palei laminară și nedesprinsă. Descrierea teoretică a acestui regim poate fi efectuată în principal cu modele de curgere nevascoasă, care furnizează rezultate sigure pentru forțele locale de portanță și pentru momentul global dezvoltat de pale [4]. În acest regim forțele de rezistență la înaintare au un rol minor, fiind neglijate.

Pe de altă parte, controlul aerodinamic funcționează într-un regim aerodinamic caracterizat prin desprinderea locală a curgerii și prin forțe de rezistență mari. O descriere teoretică adecvată a acestui regim necesită rezolvarea ecuațiilor complete ale miscării vascoase, care în majoritatea cazurilor este nepractică. Prin urmare au fost dezvoltate o serie de modele semi-empirice [2-5] care trebuie adaptate în funcție de condițiile și parametrii exacti ai palei.

Turbinele de vânt controlate prin variația pasului pot funcționa atât cu turatie fixă, cât și cu turatie variabilă, în timp ce acelea controlate aerodinamic funcționează cu turatie fixă. Recent a fost introdus de industrie o concepție avansată, cunoscută sub denumirea de control aerodinamic activ (active stall) care permite funcționarea rotorului la turatie variabilă utilizând o rotație a palelor pe toată anvergură, dar spre deosebire de controlul pasului, în sens opus [1].

Turbinele de vânt de scară mică, cu puteri nominale în domeniul 0,5-20 kW, utilizează în principal modificarea orientării rotorului ca mecanism de reglare a puterii, deși la unele modele se utilizează de asemenea controlul pasiv al pasului, asemănător mașinilor tradiționale Jacobs [6]. Deși acest sistem este un mecanism robust adecvat pentru aplicații tipice (pomparea apei, electrificarea rurală) la viteze medii ale vântului, totuși performanța sistemelor tipice comerciale la viteze mari ale vântului este slabă, rezultând într-un randament global scăzut în locurile cu viteze mari ale vântului, când unghiurile de înclinare ale rotorului sunt mari. Predictia puterii la unghiuri mari de înclinare, adică în curgere puternic neaxială, este dificilă ceea ce complică proiectarea unui sistem eficient și sigur. Motivul pentru care controlul aerodinamic nu a fost folosit în cazul turbinelor de vânt mici se datorează faptului că acesta necesită atât metode de modelare sofisticate cât și

tehnologii de executie avansate, care in general nu sunt disponibile micilor producatori.

In cazul vanturilor puternice, cand cea mai mare parte din lungimea palei poate functiona in regim de desprindere, metodele de calcul existente pot prezice o putere mult mai mica decat valorile masurate. Desi partial problema se datoreaza impreciziei tratarii desprinderii intarziate ca rezultat al efectelor aerodinamice nestationare, exista de asemenea unele efecte tridimensionale mai subtile care contribuie la aceasta problema. Desi o intelegere si modelare completa a acestor probleme este in curs de cercetare, totusi ele pot fi, in majoritatea cazurilor, atribuite evolutiilor stratului limita tridimensional pe pale in rotatie [9].

Un aspect al problemei aerodinamice tridimensionale a palei il reprezinta efectele fortelor inertiiale (centrifuge si Coriolis) care actioneaza asupra stratului limita aflat intr-un camp de miscare rotitor. Mai multe studii experimentale si numerice au contribuit la cresterea gradului de cunoastere a problemei [7-13]. Pe baza unei analize a ordinului de marime al termenilor ecuatiilor stratului limita tridimensional in cazul unui camp de miscare rotitor, Snell [8] a gasit ca termenii acceleratiei Coriolis actioneaza in sensul reducerii gradientilor de presiune pozitivi si astfel pot intarzia aparitia desprinderii miscarii si a regimului critic (stall). Cand curgerea se desprinde, Dumitrescu si col [9], utilizand dupa desprindere o miscare nevascoasa ipotetica (cu frecare la perete nula) si ecuatiile stratului limita laminar tridimensional, au gasit ca sub actiunea fortelor Coriolis se produce pe pala o structura de vartej stationara care amplifica fortele aerodinamice(fig.2, fig.3).

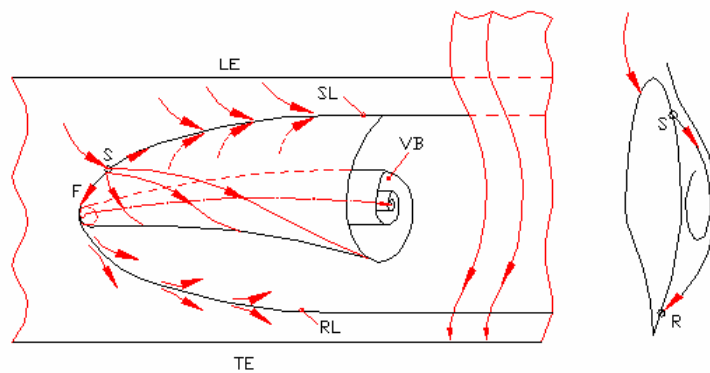


Fig.2. Formarea vartejului stationar in directie radiala la piciorul palei

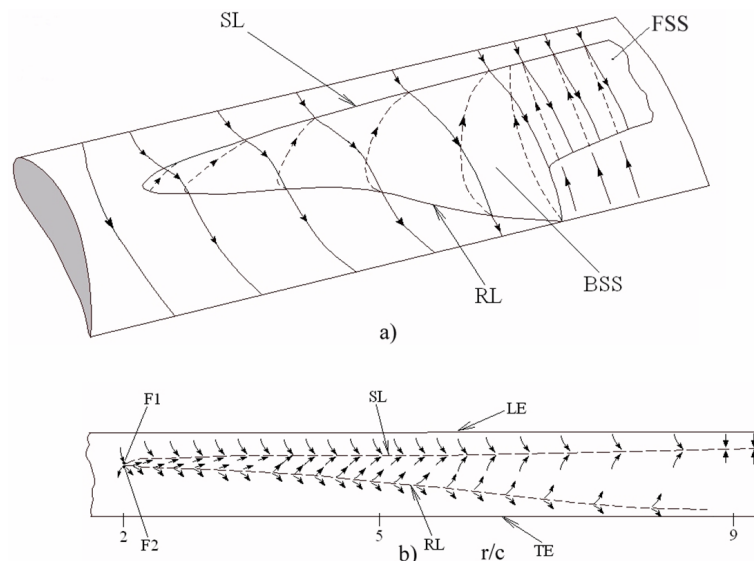


Fig.3. Structuri topologice ale desprinderii pe o pala in rotatie: a) tipuri de suprafete de separatie, b) linii de separare/reatasare

Efectele sunt pronunțate la partea interioară a palei, pentru care rezultatele experimentale au arătat creșteri însemnate ale coeficienților de portanță peste valorile din măsurători cu aripi bidimensionale nerotitoare (fig.4).

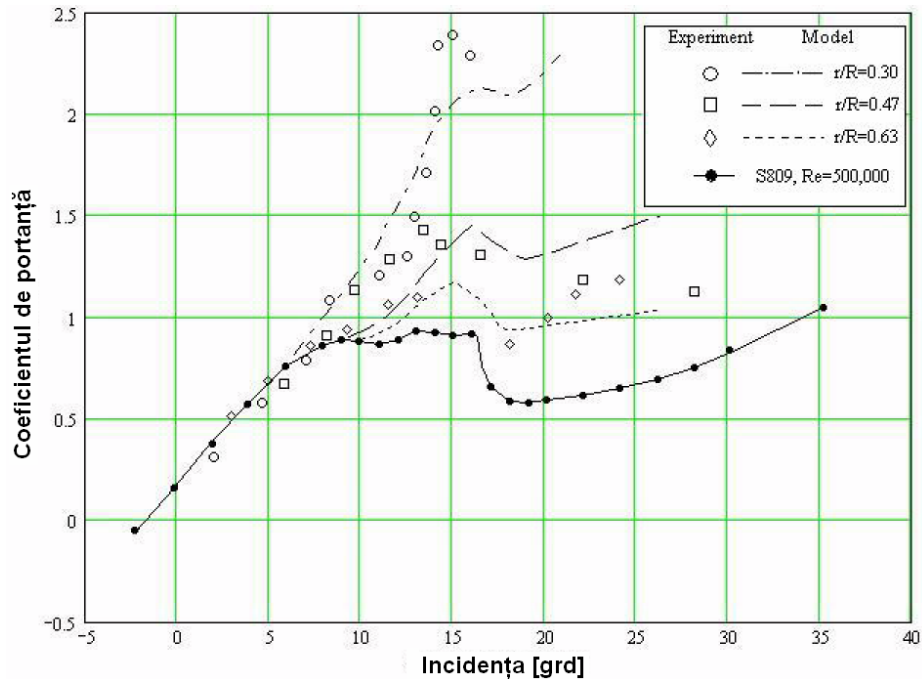


Fig.4. Efectul poziției radiale asupra coeficientului de portanță

Rezultate similare au fost sugerate și de unele metode CFD [11,12]. Experiențele lui Schreck și Robinson [13] sugerează de asemenea efectele favorabile ale dezvoltării stratului limită în lungul anvergurii pe o pală rotitoare, care tind să întârzie apariția desprinderii miscării la unghiuri de incidență mai mari. Au fost elaborate diferite metode ad-hoc de modelare a efectelor observate [14,15], dar o tratare riguroasă a fenomenului lipsește.

În proiectul prezent vom arăta că se poate obține o predicție adecvată a performanțelor turbinelor de vânt auto-reglate aerodinamic, având diferite dimensiuni și diferite proiecte de pale, cu ajutorul unui model de pală-impuls (BEM- pentru blade element momentum) perfecționat, în care principală contribuție se referă la tratarea regimului desprinderii aerodinamice. După părerea noastră acesta este un rezultat important deoarece s-a sugerat în literatură că modelul BEM are deficiențe inerente pentru predicția comportării regimului de desprindere, iar un procedeu bazat pe teoria suprafeței portante care modelează mai precis condițiile desprinderii necesită un efort de calcul mare.

De asemenea considerăm că rezultatele acestui proiect sunt deosebit de utile pentru turbinele de vânt de scară mică utilizate în aplicații locale cum ar fi electrificarea rurală și pomparea apei [17] unde există încă oportunități importante de proiectare aerodinamică, spre deosebire de turbinele de scară mare unde optimizarea proprietăților structurale este în mod curent activitatea principală de proiectare [18].

## BIBLIOGRAFIE

1. T Burton, D Sharpe, N Jenkins, E Bossanyi: Wind Energy Handbook. Wiley, Chichester 2001
2. H Dumitrescu, V Cardos, F Frunzulica, Al Dumitrache: Aerodinamica nestationara, aeroelasticitate si aeroacustica pentru turbine de vant. Ed Academiei Romane, Bucuresti, 2007
3. MOL Hansen: Aerodynamics of wind turbines: rotors, loads and structure. James & James, London 2000
4. LA Viterna, RD Corrigan: Fixed pitch rotor performance of large horizontal axis wind turbines. DOE/NASA Workshop on Large Horizontal Axis Wind Turbines, Cleveland, OH, 1981, pp 69-85
5. JL Tangler, C Ostowari: Horizontal axis wind turbine post stall airfoil characteristics synthesization. SERI/TP-257-4400, Solar Energy Research Institute, 1991
6. DM Dodge: An illustrated history of wind power development (online). Available: <http://telosnet.com/wind/index.html>
7. AJ Bowen, N Zakay, RL Ives: The field performance of a remote 10 kW wind turbine. Renewable Energy 2003, 28, pp 13-33
8. PS Veers, TD Ashwill, HJ Sutherland et al: Trends in the design, manufacture and evaluation of wind turbine blades. Wind Energy 2003, 6, pp 245-259
9. PD Clausen, DH Wood: Research and development issues for small wind turbines. Renewable Energy 1999, 16, pp 922-927
10. S Schreck, MC Robinson, MM Haird, DA Simms: Contrasting blade flow field archetypes on the horizontal axis wind turbine operating regime. Journal of Solar Energy Engineering, vol 123, Nov 2001
11. H Madsen, H Christensen: On the relative importance of rotational, unsteady and three-dimensional effects on the HAWT rotor aerodynamics. Wind Engineering 1990, vol 14 (6), pp 405-415
12. H Snel: Scaling laws for the boundary layer flow on rotating wind turbine blades. The 4<sup>th</sup> IEA Symposium on Aerodynamics for Wind Turbines, Rome, 1991
13. H Dumitrescu, M Alexandrescu, N Alexandrescu: Boundary layer state and flow field structure on wind turbine blades. Proceedings of the Romanian Academy 2005, Series A, 6(3), pp 219-228
14. JC Narramore, R Vermeland: Navier-Stokes calculations of inboard stall delay due to rotation. Journal of Aircraft 1992, 29 (1), pp 73-78
15. G Xu, LN Sankar: Development of engineering aerodynamics models using a viscous flow methodology on the NREL Phase VI rotor, Wind Energy 2002, 5(2/3), pp 171-183
16. S Schreck, M Robinson: Rotational augmentation of horizontal axis wind turbine blade aerodynamic response. Wind Energy 2002, 5(2/3), pp 133-150
17. J Corrigan: Empirical model for stall delay due to rotation. American Helicopter Society Aeromechanics Specialist Meeting, San Francisco, CA, Jan 19-21, 1994
18. ZH Du, MS Selig: A 3D stall delay model for HAWT performance prediction. AIAA Paper 89-0021, 1998
19. JL Tangler: The nebulous art of using wind tunnel aerofoil data for predicting rotor performance. Wind Energy 2002, 5, pp 245-257
20. M Velasco, O Probst, S Acevedo: Theory of wind-electric water pumping. Renewable Energy 2004, 29, pp 873-893
21. H Snel: Review of aerodynamics for wind turbines. Wind Energy 2003, 6, pp 203-211
22. FN Coton, T Wang, RAMcD Galbraith: An examination of key aerodynamic modelling issues raised by the NREL comparison. Wind Energy 2002, 5, pp 199-212
23. NN Sorensen, JA Michelsen, S Shreck: Navier –Stokes predictions of the NREL Phase VI rotor in the NASA Ames 80 ft x 120 ft wind tunnel. Wind Energy 2002, 5, pp 151-169
24. DC Quarton: The evolution of wind turbine design analysis – a 20 year progress review. Wind Energy 1998, 1, pp 5-24
25. G Xu, LN Sankar: Development of engineering aerodynamics models using a viscous flow methodology on the NREL Phase VI rotor. Wind Energy 2002, 5, pp 171-183
26. GP Corten: Flow separation on wind turbine blades. PhD Thesis, Energy Research Centre of the Netherlands (online). Available: <http://www.ecn.nl/library/thesis/corten.html>
27. M Magnusson: Near-wake behaviour of wind turbines. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 1999, 80, pp 147-167
28. M Magnusson, AS Sedman: Air flow behind wind turbines. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 1999, 80, pp 169-189
29. S Schreck: The NREL full-scale wind tunnel experiment. Wind Energy 2002, vol 5, pp 77-84
30. NREL 10 m wind turbine testing in NASA Ames 80'x80' wind tunnel (online). Available: <http://wind.nrel.gov/amestest/intro.htm>. (15 June 2004)
31. IEA Annex XIV/XVIII: Field rotor aerodynamics/EFRAD (online). Available: <http://www.ecn.nl/wind/other/IEA/index.en.html>. (15 June 2004)