

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

**Cu titlu de manuscris**

**C.Z.U.: 620.9:004 (478) (043.3)**

**RACHIER VASILE**

**EVALUAREA POTENȚIALULUI ENERGETIC EOLIAN AL  
REPUBLICII MOLDOVA**

**221.02 „TEHNOLOGII DE CONVERSIE A ENERGIEI ȘI RESURSE  
REGENERABILE (ENERGIE EOLIANĂ)”**

**Autoreferatul tezei de doctor în tehnică**

**Chișinău, 2016**

Teza a fost elaborată la catedra *Electromecanică și Metrologie*, Universitatea Tehnică a Moldovei

**Conducător științific:**

**SOBOR Ion**, d. ș. t., conf. univ., UTM.

**Referenți oficiali:**

1. **BERZAN Vladimir**, d. h. ș. t., conf. cercet., IE al AȘM
2. **BOSTAN Viorel**, d. h. ș. t., prof. univ., rector UTM.

**Componența Consiliului Științific Specializat:**

1. **ARION Valentin, Președinte**, d. h. ș. t., prof. univ., UTM
2. **HLUSOV Viorica, Secretar**, d. ș. t., conf. univ., UTM
3. **AMBROS Tudor**, d. h. ș. t., prof. univ., UTM
4. **CHORSAC Mihail**, d. h. ș. t., prof. univ., UTM
5. **DULGHERU Valeriu**, d. h. ș. t., prof. univ., UTM
6. **NEDEALCOV Maria**, d. h. ș. t., conf. univ., AȘM
7. **STRATAN Ion**, d. ș. t., prof. univ., UTM.

Susținerea tezei va avea loc la **30 mai 2016, ora 14<sup>00</sup>**, în ședința Consiliului Științific Specializat **D 31.221.02-01** din cadrul Universității Tehnice a Moldovei: str. 31 August 1989, nr. 78, blocul de studii nr. 2, sala 2-222.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Universității Tehnice și pe pagina web a CNAA ([www.cnaa.md](http://www.cnaa.md)).

Autoreferatul a fost expediat la **29 aprilie 2016**.

Secretar științific

al Consiliului științific specializat, d. ș. t.



**HLUSOV Viorica**

Conducător științific,

Conf. univ., d. ș. t.

**SOBOR Ion**

Autor

**RACHIER Vasile**

## I. REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

**Actualitatea și importanța problemei abordate** rezultă din următoarele:

1. În 2010 Republica Moldova a aderat la *Tratatul Comunității Energetice* și s-a obligat să implementeze cerințele compartimentului *Energie* al Aquis-ului Comunitar, ce se referă la securitatea energetică, piața energiei, eficiența energetică, energiile regenerabile și reducerea emisiilor cu efect de seră.
2. La 27 decembrie 2013 RM a aprobat Planul Național de Acțiuni în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile pentru anii 2013-2020 (PNAER), scopul căruia este de a crește cota parte a surselor regenerabile de energie în mixtul energetic intern *până la 20 % până în 2020*.
3. Conform PNAER, electricitatea din surse regenerabile va fi produsă, în principal, *din vânt* și până în 2020 a fost planificată instalarea capacității de SRE de circa *400 MW*.
4. De asemenea, PNAER în punctul 58 prevede: *Elaborarea unui studiu privind potențialul eolian și solar*.

Potrivit statisticilor oficiale, în 2014, consumul intern brut de energie a constituit *2310 mii tep*, dintre care *88% a fost importat*. Gazul natural este importat exclusiv din Rusia și este principalul combustibil pentru producerea energiei electrice și încălzirea urbană. Energia electrică produsă la nivel local constituie *19,1 %*, restul fiind procurată de la CTE Moldovenească.

În acest context a apărut necesitatea de a da răspuns la mai multe întrebări legate de realizarea PNAER, principalele fiind: *Care este potențialul teoretic eolian la diferite înălțimi?*, *Cum este repartizat potențialul eolian pe teritoriul RM?*, *Care este potențialul electric eolian al RM luând în considerație diverse constrângeri?*, *Cum variază viteza vântului de la an la an, care sunt variațiile anuale, lunare și diurne?* Răspunsul la aceste întrebări se găsesc în această lucrare.

**Descrierea situației în domeniul de cercetare.** Până la moment au existat mai multe tentative de a evalua potențialul energetic eolian al RM printre acestea se numără:

1. Primele încercări în elaborarea Cadastrului energetic eolian al Republicii Moldova - anii '70 ai secolului trecut (N. Romanenco);
2. Estimările Universității Tehnice a Moldovei a potențialului energetic eolian al RM - anii 2001-2003. (P. Todos, I. Sobor, A. Chiciuc);
3. Estimările Institutului de Ecologie și Geografie al AȘM cu privire la potențialul energetic eolian al Republicii Moldova - anii 2005-2013 (T. Constantinov, M. Nedalcov și alții).

Toate acestea însă au un șir de neajunsuri și nu mai răspund la cerințele actuale ale pieții energiei eoliene. Această lucrare vine să înlăture aceste neajunsuri.

**Scopul prezentei lucrări** este evaluarea potențialului energetic eolian și crearea suportului informațional pentru valorificarea resurselor energetice eoliene, care vor servi drept referință la amplasarea eventualelor Centrale Electrice Eoliene și vor justifica includerea energiei eoliene în circuitul economic național al Republicii Moldova.

#### **Obiectivele lucrării:**

- ✚ efectuarea unei analize critice a lucrărilor din domeniul evaluării potențialului energetic eolian la nivel de țară, cât și la nivel mondial;
- ✚ identificarea metodologiilor și software utilizate pentru evaluarea potențialului energetic eolian (EPEE) la nivel național și internațional;
- ✚ studiul aplicabilității limitelor și erorilor Metodei Atlasului Vântului (MAV) în condițiile Republicii Moldova;
- ✚ procesarea datelor istorice despre vânt de la 18 stații meteorologice, amplasate pe teritoriul RM;
- ✚ elaborarea hărților digitale ale rugozităților, pentru trei regiuni în care a fost împărțit teritoriul RM: nord, centru și sud;
- ✚ elaborarea hărților vitezei medii anuale a vântului și a densității de putere pentru regiunile nord, centru și sud ale RM, la două înălțimi - 50 și 100 m;
- ✚ evaluarea, în baza hărților calculate, a potențialului teoretic eolian în termeni de viteză medie a vântului și densitate de putere la două înălțimi - 50 și 100 m;
- ✚ evaluarea potențialului tehnic eolian în termeni de densitate de putere și putere electrică instalată pentru regiunile nord, centru și sud la înălțimea de 100 m.
- ✚ studiul metodelor uzuale de validare și realizarea validării rezultatelor obținute;
- ✚ estimarea producției de energie a unei eventuale Centrale Electrice Eoliene.

**Metodologia cercetării științifice.** Metodologia cercetării aplicată este una relevantă și constă în studiul Metodei Atlasului Vântului și a software *Wind Atlas Analysis and Application Program* în condițiile Republicii Moldova, elaborarea hărților densității de putere și a vitezei medii anuale a vântului la 50 și 100 m și evaluarea potențialului energetic eolian în termeni de viteză medie a vântului și densitate de putere. Cercetarea întrunește toate cele trei caracteristici fundamentale ale cercetării: raționalitate, obiectivitate și completitudine.

**Noutatea și originalitatea științifică** constă în:

- ✚ analiza comparativă a mai multor metodologii existente de EPEE, care au justificat utilizarea MAV în condițiile orografice ale RM.
- ✚ formularea și aplicarea unei noi abordări a MAV și a software WASP, care au permis obținerea hărților la microscară pe suprafețe extinse, cu o precizie satisfăcătoare.
- ✚ demonstrarea aplicabilității MAV în condițiile RM, prin estimarea erorilor maxime ale MAV care ar putea apărea la EPEE al RM.
- ✚ procesarea datelor istorice despre vânt disponibile pentru o perioadă de 22 ani la 18 stații hidrometeorologice amplasate pe întreg teritoriul RM.
- ✚ elaborarea unui algoritm ce permite evaluarea potențialului electric eolian tehnic și teoretic în termeni de viteză a vântului, densitate de putere și putere electrică instalată.

**Problema științifică importantă soluționată.** Prezenta teză de doctor aduce contribuții științifico-practice în domeniul promovării și dezvoltării energiei eoliene, stimulând astfel utilizarea SRE. Problema științifică soluționată constă în determinarea resurselor eoliene ale Republicii Moldova, fapt ce permite elaborarea Atlasului Resurselor Energetice Eoliene ca sursă de informații pentru luarea deciziilor privind dezvoltarea capacităților de producere a electricității regenerabile. Soluționarea acestei probleme va contribui la facilitarea îndeplinirii obiectivelor PNAER ce țin de valorificarea energiei vântului.

**Importanța teoretică** a fost demonstrată aplicabilitatea Metodei Atlasului Vântului pe teritoriul RM și a fost elaborat algoritmul ce permite evaluarea potențialului electric eolian tehnic și teoretic în termeni de viteză a vântului, densitate de putere și putere electrică instalată.

**Valoarea aplicativă a tezei:**

1. S-a calculat valoarea maximă a indicatorului de performanță orografică *ARIX*, care este egală cu 5,6% și corespunde regiunii centrale a țării, iar cea mai mică valoare corespunde regiunii din sudul țării și este de 2,6 %, astfel demonstrându-se că orografia teritoriului Republicii Moldova îndeplinește condițiile de aplicabilitate a Metodei Atlasului Vântului;
2. Au fost interpretate grafic variațiile diurne, lunare și anuale ale vitezei vântului, de la cele 18 stații hidrometeorologice, pentru o perioadă de 22 ani;
3. Au fost elaborate 12 hărți ale vitezei medii a vântului și a densității de putere pentru cele trei regiuni: nord, centru și sud, la două înălțimi - 50 și 100 m;

4. S-a demonstrat: la înălțimea de 100 m, din suprafața totală a țării circa 1830 km<sup>2</sup> au o densitate de putere mai mare de 400 W/m<sup>2</sup>, ceea ce reprezintă 5,88 % din întreg teritoriul, iar în cazul în care se consideră că pe un km<sup>2</sup> poate fi instalată o capacitate de 5 MW, atunci capacitatea teoretică electrică posibil de instalat pe întreg teritoriul RM va fi de aproximativ 9150 MW;
5. Folosind rezultatele obținute, s-a calculat producția teoretică a unei CEE din 20 de turbine eoliene, instalate la înălțimea de 105 m, cu o capacitate totală instalată de 40 MW, care este de 116,2 GWh/an.

### **Rezultatele științifice principale înaintate spre susținere:**

1. Aplicabilitatea Metodei Atlasului Vântului în condițiile orografice ale terenului Republicii Moldova;
2. Variațiile diurne, lunare și anuale ale vitezei vântului, la 18 stații hidrometeorologice, pentru o perioadă de 22 ani;
3. 12 hărți ale vitezei medii a vântului și a densității de putere pentru trei regiuni: nord, centru și sud, la două înălțimi - 50 și 100 m;
4. Potențialului tehnic eolian în termeni de densitate de putere și putere electrică instalată;
5. Producerea unei eventuale Centrale Electrice Eoliene.

### **Implementarea rezultatelor.** Rezultatele lucrării au servit ca bază pentru:

- ✓ Proiectul instituțional “Elaborarea Atlasului Eolian al Republicii Moldova” – varianta electronică, (Proiect 11.817.06.03A, 2011 – 2014) finanțat de Consiliul Suprem pentru Știință și Dezvoltare Tehnologică al AȘM – unde autorul a participat ca membru al echipei de cercetare;
- ✓ Se înscrie în lista de Acțiuni pentru Atingerea Obiectivelor PNAER, punctul 58: Elaborarea unui studiu privind potențialul eolian și solar.
- ✓ Realizarea grantului Achiziționarea serviciilor științifice și tehnice în inginerie privind realizarea campaniei de măsurări a caracteristicilor vântului, elaborarea și editarea Atlasului Resurselor Energetice Eoliene (AREE) al Republicii Moldova, (CPV: 71350000-6, 2015-2016), Licităția publică nr. 14/02106 din 01 decembrie 2014 câștigată de Consorțiu: Universitatea Tehnică a Moldovei - compania Wind Power Energy (România) și compania AWS Truepower (Spania) – unde autorul a participat ca membru al echipei de cercetare UTM.
- ✓ Rezultatele principale ale tezei au fost prezentate Agenției pentru Eficiență Energetică în vederea realizării Atlasului Resurselor Energetice Eoliene și se certifică prin Act de Implementare.

**Aprobarea rezultatelor.** Rezultatele principale au fost expuse la diverse conferințe naționale și internaționale, în total 14, inclusiv România, Ucraina, Franța.

**Publicații științifice.** La tema tezei au fost publicate 18 lucrări științifice, inclusiv 4 cu factor de impact 5,14 în baza de date Index Copernicus International, 3 articole peste hotare, categoria B+ și un articol în reviste naționale, categoria C.

**Structura și volumul lucrării.** Teza include introducerea, 5 capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie (114 titluri), 5 anexe. Numărul total de pagini al lucrării este 248, cu 57 figuri și 32 tabele.

**Cuvintele-cheie:** energie eoliană, evaluarea potențialului energetic eolian, Metoda Atlasului Vântului, densitate de putere, viteza medie a vântului.

## II CONȚINUTUL TEZEI

**Introducerea** prezintă aspectele generale privind necesitatea promovării și implementării energiei eoliene la nivel național, totodată descriind actualitatea temei de cercetare, argumentarea alegerii temei de cercetare, scopul și obiectivele tezei, problema științifică soluționată, importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării, cât și aprobarea rezultatelor obținute.

Capitolul 1 „**Considerații generale privind estimarea potențialului energetic eolian pe plan național și mondial**” reprezintă o sinteză a situației actuale în domeniul evaluării potențialului energetic eolian la nivel național, cât și internațional. În acest capitol au fost identificate avantajele și dezavantajele tuturor încercărilor de evaluare a potențialului energetic eolian al RM, a fost stabilit scopul lucrării și au fost determinate obiectivele de bază ale tezei. De asemenea, a fost prezentată legătura dintre viteza vântului și energia produsă.

Capitolul 2 „**Metode și software pentru evaluarea potențialului eolian**” este prima parte aplicativă a tezei și abordează aspecte metodologice ce țin de evaluarea potențialului energetic eolian. În acest capitol se face o clasificare și o analiză detaliată a diferitor metodologii utilizate pentru evaluarea resurselor energetice eolian (EREE), figura 1.

Analizând metodologiile de EREE prezentate în figura 1 am ajuns la concluzia că Metoda Atlasului Vântului (MAV) însoțită de softul WAsP, care face parte din categoria software pentru EREE la scară relativ mică și amplasarea parcurilor eoliene, este cea mai potrivită metodologie de EREE pentru Republica Moldova conform criteriului raport cost/calitate.

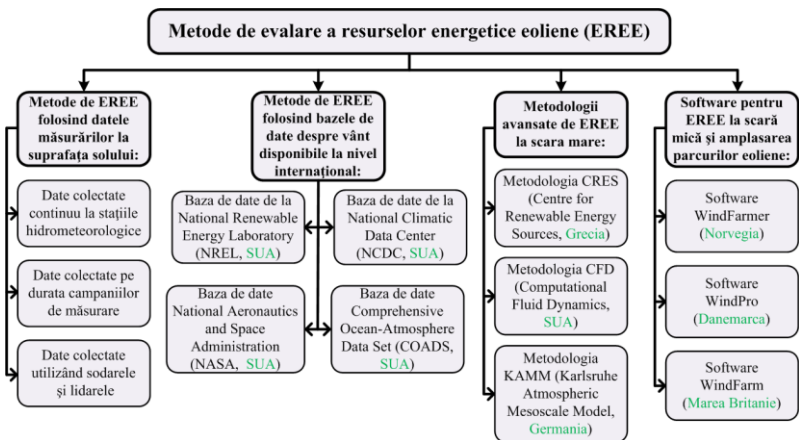


Figura 1. Clasificarea metodelor de EREE

MAV oferă posibilitatea să transformăm datele despre vânt înregistrate de-a lungul anilor, numite date istorice, pentru a descrie caracteristicile vântului într-un punct sau într-o regiune unde nu s-au făcut măsurări. Lungimea razei de la punctul în care sunt disponibile datele despre vânt, fie istorice sau recente, până în punctul în care dorim să precizem vântul poate fi de 100 km.

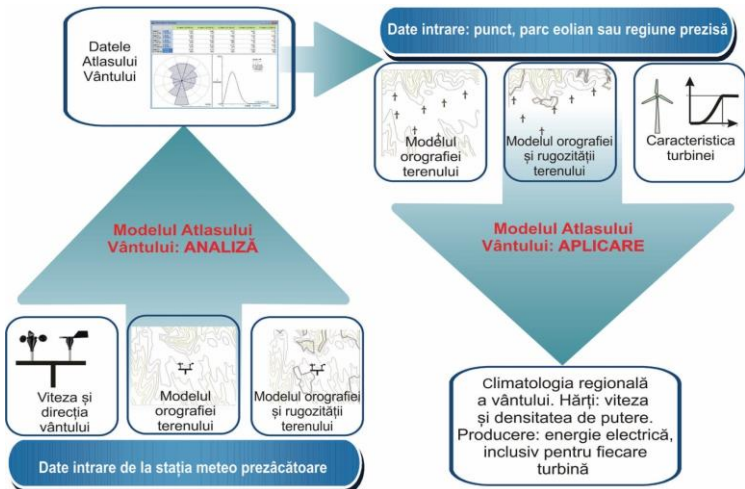


Figura 2. Explicativa privind metodologia atlasului vântului

Această metodă constă din două proceduri distincte: prima - de analiză a datelor despre vânt în punctul stâlpului de măsurări și a doua - de aplicare a datelor pentru obținerea climatologiei vântului, hărților vitezei și densității de putere eoliană, producerii energiei etc. într-un punct în care nu s-au efectuat măsurări, figura 2.



La această etapă a fost studiată aplicabilitatea, limitele și erorile MAV în condițiile orografiei teritoriului RM. Pentru aceasta teritoriul RM a fost împărțită în trei regiuni – nord, centru și sud, care corespund, în linii mari, regiunile de dezvoltare economică regională. Astfel, am reușit să respectăm limitele de scară admisibile ale MAV (circa 100 km de la stația meteorologică de referință) și să utilizăm calculatoare moderne disponibile pe piața RM.

Prin calcule s-a demonstrat că orografia teritoriului RM îndeplinește condițiile de aplicabilitate ale MAV, constatându-se că valoarea maximă a indicatorului de performanță orografică  $\Delta RIX$  este egală cu 5,6 %, figurile 9, 10 și corespunde regiunii centrale a țării, iar cea mai mică valoare corespunde regiunii din sudul țării și este de 2,6 %. Aceste rezultate, conform literaturii de specialitate, ne permite să afirmăm că eroarea de predicție a vitezei vântului nu va depăși  $\pm 5$  %.

Totodată, s-au identificat cele mai abrupte zone în care indicatorul de accidentare  $RIX$  și de performanță orografică  $\Delta RIX$  au valori maxime. Acestea sunt situate de-a lungul râului Nistru și Răut și în regiunea centrală.

Capitolul 3 „**Procesarea și analiza datelor istorice despre vânt**” prezintă a doua parte aplicativă a tezei. În acest capitol sunt identificate și descrise sursele de date primare despre parametrii vântului, existente în RM și sunt procesate datele despre viteza și direcția vântului.

Ca rezultat s-a constatat că RM dispune de 18 stații hidrometeorologice, care activează în cadrul Serviciului Hidrometeorologic de Stat, tabelul 1.

Tabelul 1. Date generale despre stațiile meteorologice

Nr.	Nume	Lat	Lon	Elev	Din	Până	VMV
1	Briceni	48,35213	27,10206	261	01/1990	12/2011	2,19
2	Braveica	47,37218	28,43831	78	01/1990	12/2011	1,4
3	Balțata	47,05538	29,03615	79	01/1990	12/2011	2,45
4	Bălți	47,77462	27,95065	102	01/1990	12/2011	2,7
5	Cornești	47,36717	27,99398	232	01/1990	12/2011	2,51
6	Cahul	45,89924	28,21345	196	01/1990	12/2011	3,71
7	Comrat	46,30286	28,62947	133	01/1990	12/2011	2,52
8	Ceadfir-Lunga	46,03558	28,85220	180	01/1990	12/2011	3,98
9	Camenca	48,04352	28,69812	154	01/1990	12/2011	2,55
10	Chișinău	46,97169	28,84828	173	01/1990	12/2011	2,28
11	Dubăsari	47,28971	29,12363	40	01/1990	12/2011	1,94
12	Fălești	47,58341	27,70487	162	01/1990	12/2011	2,11
13	Leova	46,48842	28,28340	156	01/1990	12/2011	2,55
14	Rîbnița	47,77253	29,01650	119	01/1990	12/2011	2,02
15	Soroca	48,19849	28,31189	173	01/1990	12/2011	2,83
16	Ștefan-Vodă	46,52788	29,65116	173	01/1990	12/2011	2,37
17	Tiraspol	46,83431	29,61699	40	01/1990	12/2011	2,84
18	Codrii	47,1117	28,36667	157	01/1990	12/2011	1,28

Unde: *Lat* - latitudinea în grade, N;

Lon - longitudinea în grade, E;  
 Elev - înălțimea în metri deasupra nivelului mării;  
 Din /Până - perioada măsurărilor în an/luna;  
 VMV - viteza medie a vântului în m/s.

Procesarea datelor despre vânt de la cele 18 stații hidrometeorologice s-a dovedit a fi un proces destul de mișal și de lungă durată, în total fiind procesate în mai multe etape, circa 2 314 000 de date despre viteza și direcția vântului.

În rezultatul procesării datelor despre vânt de la cele 18 stații hidrometeorologice s-au obținut următoarele rezultate și s-au formulat următoarele concluzii:

#### Exemple de variație anuală a vitezei vântului

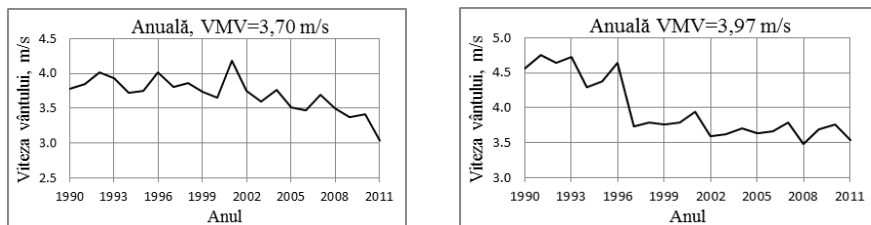


Figura 3. Variația anuală a vitezei vântului pentru stația Cahul (stânga), Ceadâr-Lunga (dreapta)

Practic, la toate stațiile meteorologice viteza vântului scade de la an la an, acest lucru se datorează faptului că, în ultimii ani, în jurul anemometrului, s-au construit case de locuit sau a crescut coeficientul rugozității din cauza creșterii arborilor și vegetației. Acest fenomen este întâlnit în majoritatea țărilor și este numit "moartea vântului". Totodată s-a constatat că viteza medie anuală a vântului variază de la an la an, fiind mai mare decât media cu aproximativ 25,6 % și mai mică decât media cu aproximativ 24,5 % și variază de la o stație la alta.

#### Variația lunară a vitezei vântului

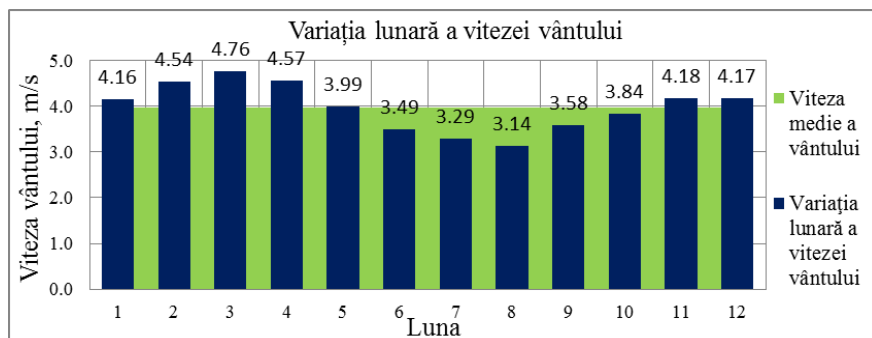


Figura 4. Variația lunară a vitezei vântului pentru stația meteo Ceadâr-Lunga

Cunoașterea acestei caracteristici oferă încredere în disponibilitatea energiei eoliene în diferite luni.

S-a constatat că cele mai puternice vânturi au loc în perioada rece a anului, lunile noiembrie – martie, și invers, cele mai mici - în perioada caldă – lunile iunie-septembrie. Diferența constituie 34 %, iar în termeni de putere eoliană 71 %.

#### Variația diurnă a vitezei vântului

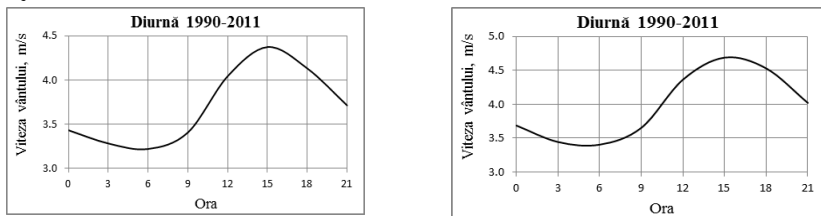


Figura 5. Variațiile diurne ale vitezei vântului la Cahul, (stânga), și Ceadr-Lunga, (dreapta)

Variațiile diurne ale vitezei vântului au o oscilație maximă în după-amiaza zilei și anume în jurul orei 15<sup>00</sup> și un minim în timpul nopții până dimineața în jurul orelor 5<sup>00</sup> - 6<sup>00</sup>. Această variație este strâns legată de variațiile temperaturii. Iar odată cu creșterea înălțimii, se modifică și caracterul variației diurne: vitezele maxime deplasându-se spre orele de seară-noapte.

#### Distribuția Weibull și direcțiile predominante ale vântului

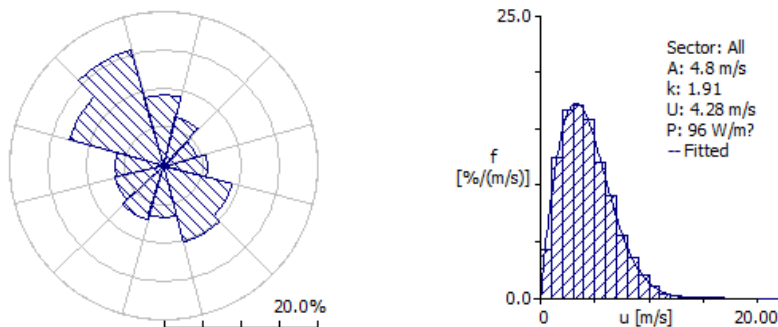


Figura 6. Roza vântului și distribuția Weibull pentru stația Ceadr-Lunga, 22 ani S-au identificat două direcții contrare predominante ale vântului: nord-vest și sud-est, confirmându-se astfel studiile făcute anterior în baza măsurărilor istorice până în anul 1990 [1 Lasse].

#### Atlasul Vântului (AV) al stației hidrometeorologice

Atlasul Vântului (AV) în punctul în care s-au făcut măsurări de lungă durată prezintă un rezultat intermediar al aplicării MAV, adică procedura de analiză (vezi

figura 2.). De facto, AV prezintă rezultatul procesării datelor istorice despre vânt, „curățirii” acestora de influența obstacolelor și a rugozităților. Se calculează viteza și densitatea de putere eoliană, coeficienții Weibull pentru 5 înălțimi (10, 25, 50, 100 și 200 m) și 5 clase de rugozitate predefinite, figura 7.

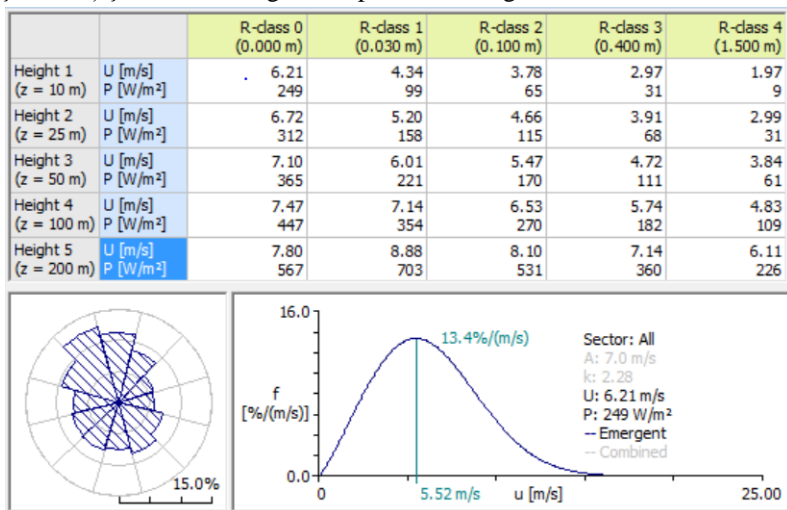


Figura 7. Atlasul Vântului pentru stația hidrometeorologică Ceadr-Lunga

În partea de sus a figurii 7 se prezintă, în formă tabelară, vitezele medii anuale ale vântului și densitățile de putere eoliană pentru cinci înălțimi predefinite și pentru cinci clase de rugozitate raportate la condițiile standard: 0,0; 0,03; 0,1, 0,4 și 1,5 m. Jos, în partea stângă, se prezintă roza vânturilor, iar în partea dreaptă - parametri A și k ai repartiției Weibull și diagrama funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului în procente.

Concluzie generală a acestui capitol este că din totalitatea de 18 stații hidrometeorologice amplasate pe întreg teritoriul Republicii Moldova, practic, numai datele de la patru stații pot fi folosite ca stații reprezentative pentru evaluarea potențialului energetic eolian și acestea sunt stațiile amplasate în sudul țării: Cahul, cu viteza vântului de 3,71 m/s, Ceadr-Lunga - cu 3,98 m/s și stațiile amplasate în nordul țării: Bălți, cu viteza vântului de 2,7 m/s, Soroca - cu 2,83 m/s. Aceasta se explică prin faptul că stațiile respective sunt amplasate înafara localității într-o zonă deschisă cu un factor al rugozității scăzut. Toate celelalte 14 stații hidrometeorologice au viteza medie a vântului mică, dat fiind faptul că sunt amplasate în preajma sau chiar în centrul satelor, orașelor, pădurilor sau fâșiilor forestiere unde prezența obstacolelor este inevitabilă iar rugozitatea terenului este foarte înaltă.

## Capitolul 4 „Identificarea și validarea potențialul energetic eolian al Republicii Moldova” prezintă a treia parte aplicativă a tezei.

Scopul de bază al acestui capitol este de a evalua potențialul energetic eolian tehnic pe teritoriul RM, folosind Metoda Atlasului Vântului și a software licențiat WAsP 9.1 (metodă utilizată la elaborarea Atlasului European al Vântului), având ca date de intrare: harta digitală orografică a RM, baze de date GIS ale întreprinderii de stat Institutul de Geodezie, Prospecțiuni Tehnice și Cadastru INGEOCAD, datele istorice despre vânt de la stațiile Serviciului Hidrometeorologic de Stat pentru o perioadă de 22 de ani, analizate și utilizate în capitolul 3 și măsurătorile efectuate în perioada 2002-2003, 2010-2013 de către UTM și alte instituții la înălțimi de 30-70 m deasupra nivelului solului. S-au întocmit hărțile potențialului eolian al RM în termeni de densitate de putere și viteza medie anuală a vântului. În baza hărților s-au identificat zonele ce au un potențial eolian pronunțat și ponderea suprafețelor acestor zone din suprafața totală a RM. Cunoscând suprafața ce are o densitate de putere relativ înaltă și acceptând o capacitate specifică ce poate fi instalată pe o unitate de suprafață, s-a calculat potențialul electric eolian.

Pentru început a fost elaborat un algoritm ce permite calculul vitezei medii anuale a vântului și densității de putere la diferite înălțimi, figura 8. În continuare având la bază datele primare enumerate mai sus și utilizând MAV și programul WAsP au fost calculate viteza medie anuală a vântului și densitatea de putere pentru cele trei regiuni: nord, centru și sud ale RM la două înălțimi - 50 și 100 m deasupra nivelului solului.

Perioada de timp necesară calculării vitezei medii anuale a vântului și densității de putere este determinată de trei factori de bază: primul, și cel mai important, este rezoluția hărților, al doilea - mărimea hărților și al treilea - capacitățile tehnicii de calcul utilizate.

În baza rezultatelor obținute au fost elaborate 12 hărți digitale ale vitezei medii a vântului și a densității de putere pentru trei regiuni: nord, centru și sud ale RM la două înălțimi - 50 și 100 m. O

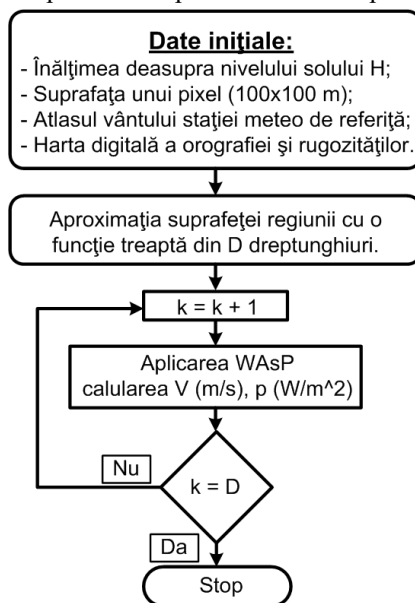


Figura 8. Algoritmului de calcul a vitezei medii anuale a vântului și densității de putere

hartă a vitezei medii anuale a vântului și una a densității de putere pentru regiunea de sud al RM la înălțimea de 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile 11, 12. Pentru a elabora hărțile respective în calitate de stație de reper a fost folosită stația hidrometeorologică Ceadir-Lunga, caracteristicile căreia sunt prezentate în figurile 3 - 7.

Analizând figurile 11, 12, se constată că la înălțimea de 100 m, cea mai mică viteză medie anuală este de 5,67 m/s și ajunge la un maximum de 8,08 m/s – care, este și cea mai înaltă viteză a vântului de pe întreg teritoriul RM. La aceeași înălțime de 100 m, densitatea de putere se încadrează în intervalul de la 184 - 518 W/m<sup>2</sup>.

În baza calculelor și a hărților obținute s-a făcut clasificarea suprafețelor în funcție de viteza medie anuală a vântului și densitatea de putere. Din punct de vedere a vitezei vântului s-a constatat că la înălțimea de 50 m - 98 % din teritoriul țării este supus vânturilor cu viteze medii anuale cuprinse între 4,0 și 7,5 m/s, iar la 100 m – 98 % între 5,0 și 8,0 m/s, figura 13. Iar ce ține de densitatea de putere, la înălțimea de 50 m aproximativ 17 % din teritoriu are o densitate de putere mai mare de 250 W/m<sup>2</sup>, iar pentru înălțimea de 100 m aproximativ 34 % din teritoriul are o densitate de putere mai mare de 350 W/m<sup>2</sup>. De asemenea se observă că regiunea centru are cea mai mică pondere în suprafața teritoriilor cu densitate de putere relativ mare. Motivul fiind coeficientul de rugozitate înalt provocat de densitatea mare a așezărilor rurale și urbane, cât și prezența Codrilor Moldovei în această regiune.

După ce s-au studiat clasificarea turbinelor eoliene în funcție de viteza medie anuală a vântului s-a constatat că cele mai potrivite turbine eoliene pentru RM sunt turbinele eoliene de clasa III (viteza medie anuală 6,0-7,5 m/s) cu înălțimea turnului 100 m și care pot fi, teoretic, instalate în regiunea sud pe o arie de 10432 km<sup>2</sup>, regiunea centru pe o arie de 8129 km<sup>2</sup>, regiunea de nord pe o arie de 10088 km<sup>2</sup>. Turbinele de clasa II (viteza medie anuală 7,5-8,5 m/s) se recomandă a fi utilizate doar în regiunea de sud, dar și aici pe arii restrânse de circa 213 km<sup>2</sup>.

Totodată am clasificat teritoriului în funcție de densitatea de putere în conformitate cu clasificarea folosită de National Renewable Energy Laboratory din SUA. Astfel în premieră teritoriul a fost clasificat în următoarele clase: Marginală, Moderată, Bună și Excelentă, tabelul 2.

La prima etapă de valorificare a energiei eoliene în RM ar fi bine venit de utilizat suprafețele cu o densitate de putere mai înaltă de 400 W/m<sup>2</sup>, adică clasele Bună și Excelentă la înălțimea de 100 m, tabelul 2. Suprafață ce are o densitate de putere mai înaltă de 400 W/m<sup>2</sup> constituie 2305 km<sup>2</sup> și ea se va micșora odată ce vom elimina toate elementele de constrângere.

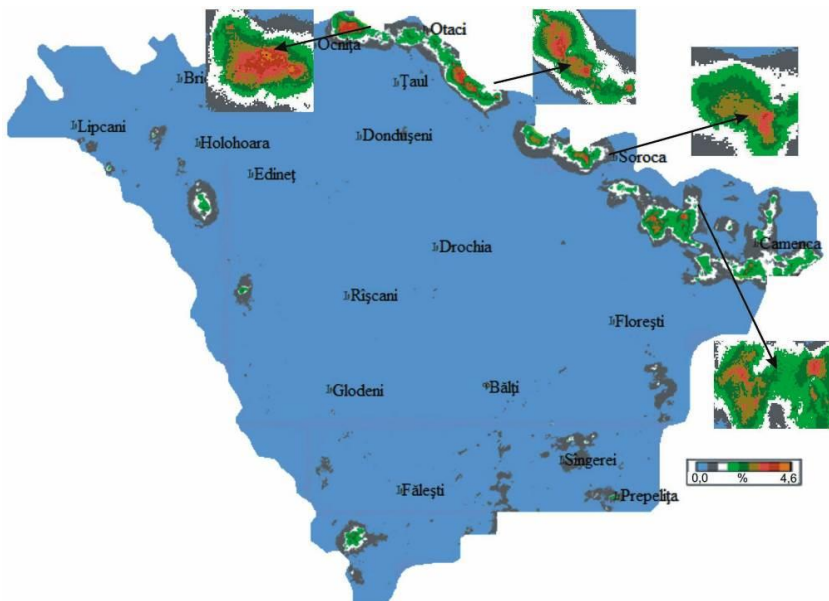


Figura 9. Harta  $\Delta$ RIX pentru regiunea nord

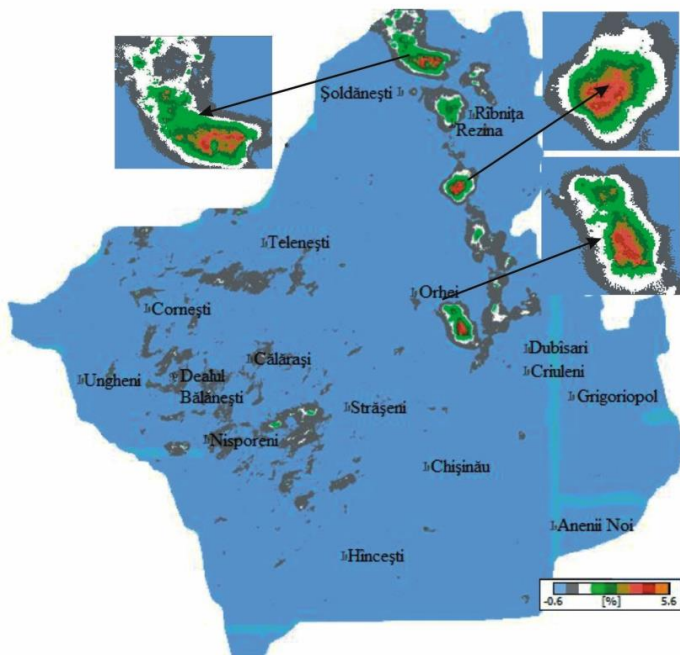


Figura 10. Harta  $\Delta$ RIX pentru regiunea centru

Tabelul 2. Clasificarea teritoriului țării în funcție de densitatea de putere eoliană

Clasa teritoriului			Aria suprafeței în diferite regiuni, km <sup>2</sup>					
	Densitatea de putere eoliană, W/m <sup>2</sup>	Denumirea	H = 50 m			H = 100 m		
			Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord
1	200 - 300	Marginală	2750,0	27,0	2373,1	-	-	-
2	300 - 400	Moderată	391,5	3,2	346,6	4830,0	41,8	4481,5
3	400 - 500	Bună	11,0	0,0	9,6	1205,0	12,9	1055,1
4	500 - 600	Excelentă	0,0	0,0	0,0	0,1	0	32,5
<b>Potențialul teoretic ce manifestă interes</b>						<b>1205,1</b>	<b>12,9</b>	<b>1087,1</b>
						<b>2305,1</b>		

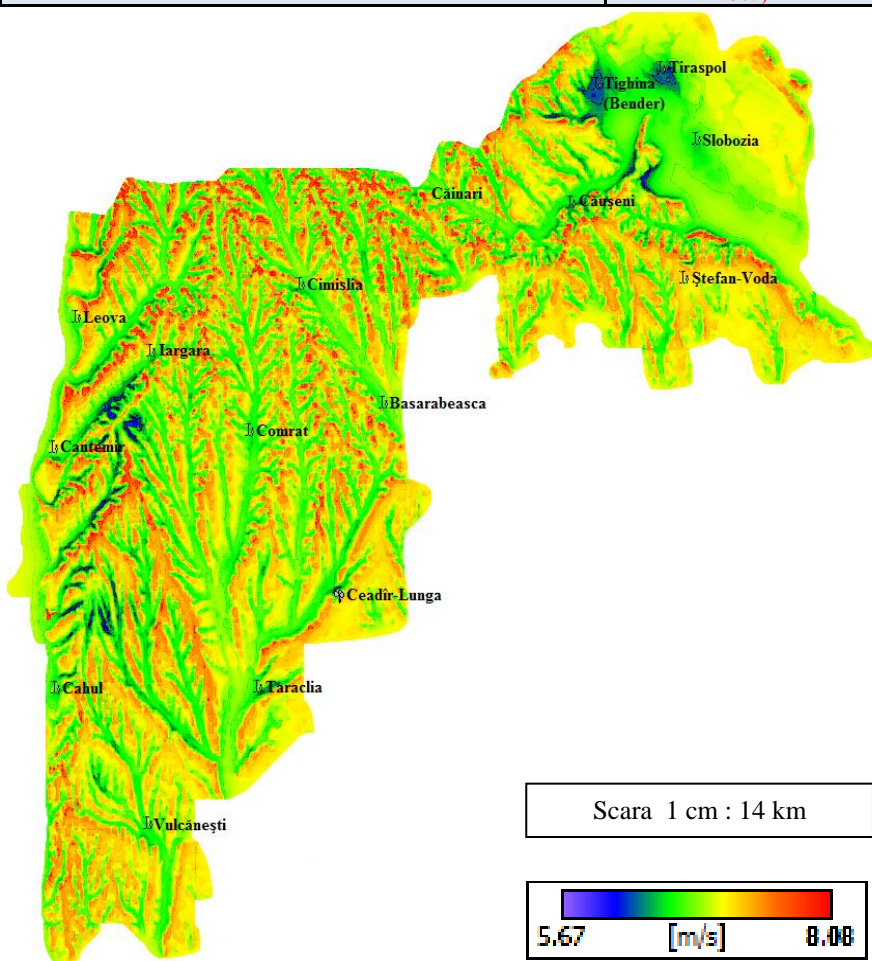


Figura 11. Harta vitezei medii anuale a vântului la înălțimea 100 m – regiunea sud - obținută cu software WAsP



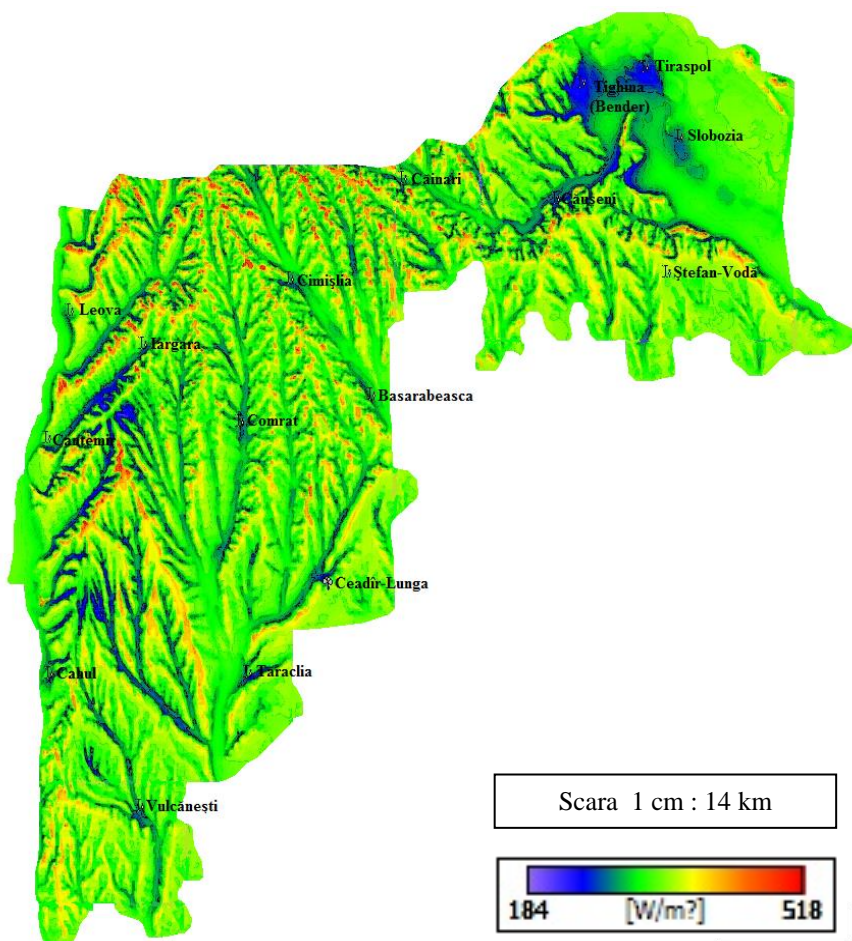


Figura 12. Harta densității de putere la înălțimea 100 m – regiunea sud - obținută cu software WASP

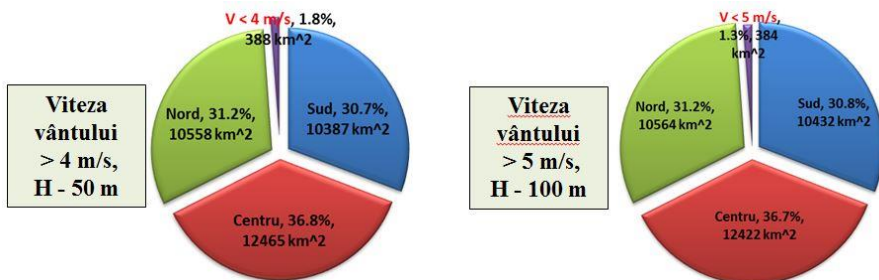


Figura 13. Distribuția suprafețelor în funcție de viteza medie anuală a vântului

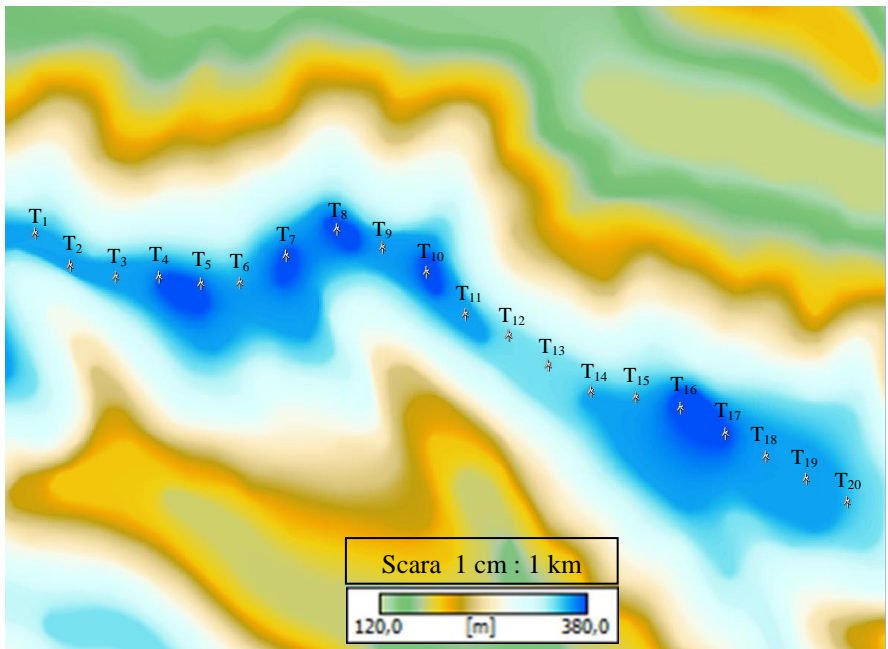


Figura 14. Poziționarea turbinelor CEE pe harta înălțimilor regiunii

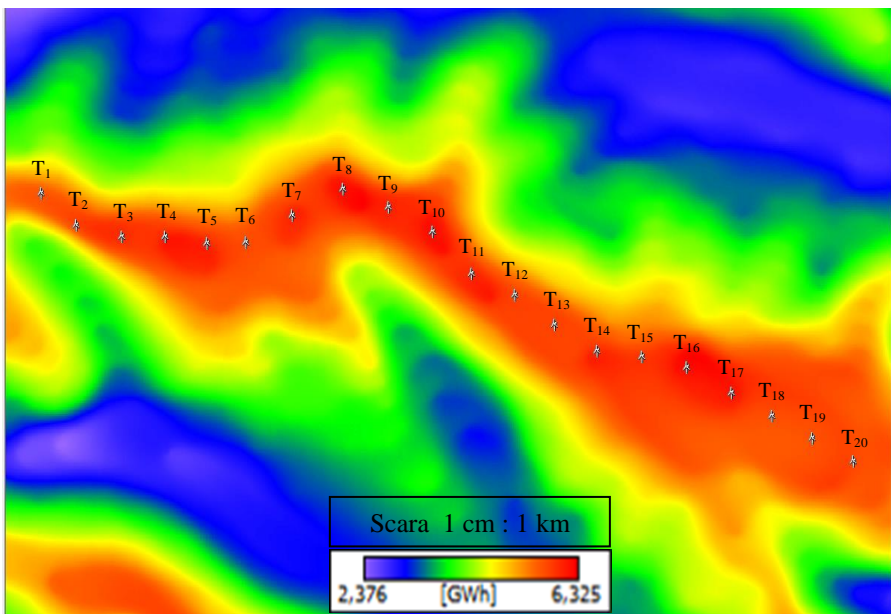


Figura 15. Poziționarea turbinelor CEE pe harta producerii anuale de energie

Ca element de constrângere sunt considerate toate suprafețele care au o densitate de putere egală sau mai mare de  $400 \text{ W/m}^2$  însă din anumite motive nu pot fi utilizate pentru valorificarea potențialului energetic eolian. Din acestea fac parte: Fondul ariilor protejate de stat; Rezervațiile științifice; Parcurile Naționale; Monumente ale naturii, rezervații naturale, rezervații peisagistice, rezervații de resurse; Monumente de arhitectură peisajeră; Aeroporturi și zonele de servituți; Așezări rurale și urbane; Iazuri, lacuri și râuri; Păduri și fâșii forestiere; Drumurile naționale.

Pentru aceasta a fost elaborat un algoritmul de excludere a elementelor de constrângere figura 16 iar excluderea aeroporturilor s-a efectuat conform Reglementărilor Autorității Aeronautice Civile Romane dat fiind faptul că până la moment RM nu are un astfel de regulament.

După excluderea suprafețelor care cad sub incidența constrângerilor sau obținut suprafețele pasibile de  $1830 \text{ km}^2$  pentru instalarea turbinelor, ceea ce reprezintă  $5,4 \%$  din întreg teritoriul RM. În ipoteza conservativă că pe un  $\text{km}^2$  pot fi instalați  $5 \text{ MW}$  s-a obținut că potențialul tehnic în termeni de putere electrică instalată este de  $9151 \text{ MW}$ , ceea ce depășește cu mult necesitățile țării, tabelul 3.

Formula de calcul a capacității totale instalate este una simplă:

$$CTI = 5 \cdot S_{\text{Total}} \tag{1}$$

unde: *CTI* - Capacitatea Totală Instalată, MW;

*S<sub>Total</sub>* – aria totală,  $\text{km}^2$ ;

Tabelul 3. Potențialul tehnic eolian în termeni de densitate de putere și putere electrica instalată

	Aria Totala, $\text{km}^2$			Ponderea Terenului cu potențial > 400 $\text{W/m}^2$ , %			Capacitatea Totala Instalata, MW		
	Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord
Total regiune	1007,6	10,3	812,3	2,98	0,04	2,4	5038	51,5	4061.5
Total țară	<b>1830,2</b>			<b>5,42</b>			<b>9151</b>		

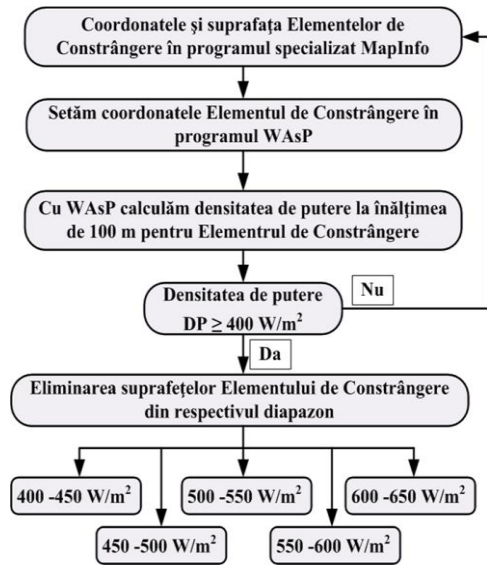


Figura 16. Algoritmul de excludere a ariilor din zonele de constrângere

Aici trebuie să menționăm însă că, cifra de 9151 MW este potențialul tehnic eolian al RM și acesta se va micșora când se va calcula potențialul economic. Potențialul economic va fi mai mic, deoarece se vor lua în considerație mai mulți factori, cum ar fi: capacitatea de transport a rețelelor electrice, existența în imediata apropiere a stațiilor electrice și a drumurilor, disponibilitatea pentru vânzare a terenurilor, investițiile inițiale și termenul de recuperare și altele.

Validarea rezultatelor obținute s-a făcut prin compararea rezultatelor calculului cu cele măsurate de UTM și de agenții economici, având 5 puncte la sud, 5 puncte în centru și 3 puncte la nord. Sa constatat că valoarea medie a erorii relative nu depășește 5 %. Rezultatele pentru regiunea de sud sunt prezentate în tabelul 4.

Tabelul 4. Vitezele medii anuale măsurate și calculate pentru stațiile din partea de sud a Republicii Moldova – stația de reper Ceadâr-Lunga

Raionul	Ștefan-Vodă		Basarabeasca		Cahul		Cantemir		Ceadâr-Lunga	
Zona	Sud-Est		Sud-Vest		Sud-Vest		Sud-Vest		Sud	
$H_{anem}$ , m.	52		52		62		62		50	
Tip date	Măs.	Cal.	Măs.	Cal.	Măs.	Cal.	Măs.	Cal.	Măs.	Cal.
$V_{med}$ , m/s	6,24	6,13	6,07	6,63	6,16	6,69	6,47	6,36	6,44	6,48
Eroarea $V_{med}$ , %	-1,74		9,22		8,6		-1,7		0,62	
A, m/s	7,0	6,9	6,8	7,5	6,9	7,6	7,2	7,2	6,9	7,3
K	2,33	2,3	2,14	2,32	2,19	2,37	2,16	2,38	2,28	2,33
Altitudinea	150		215		200		290		168	

Capitolul 4 „Utilizarea rezultatelor evaluării potențialului eolian pentru dezvoltarea unei Centrale Electrice Eoliene ” prezintă a patra parte aplicativă a tezei și reprezintă un exemplu de utilizare a unor rezultate obținute în teză pentru estimarea producției de electricitate. Scopul acestui capitol este de a identifica un amplasament pentru o Centrală Electrică Eoliană (CEE) în baza hărților vitezei medii a vântului și densității de putere, de a amplasa preliminar CEE și de a calcula cantitatea de energie pe care o poate produce aceasta.

O CEE reprezintă un grup de două sau mai multe turbine eoliene, amplasate în aceiași zonă la distanțe relativ mici, care sunt conectate la rețelele de distribuție sau de transport a energiei electrice.

Cantitatea de energie care poate fi produsă de o CEE este determinată de un mare număr de factori, dintre care cei mai importanți sunt: potențialul energetic eolian al zonei, tipul și caracteristicile constructive ale turbinelor eoliene, poziționarea turbinelor în cadrul CEE, rugozitatea, obstacole, nivelul de accidentare a terenului, factorul de disponibilitate a turbinei etc.

Pentru a identifica un amplasament cu potențial electric eolian pronunțat și a amplasa preliminar o CEE, s-a selectat intenționat harta vitezei medii anuale a vântului - regiunea centru - înălțimea 100 m, deoarece în această regiune avem cel mai mic potențial. Iar din motiv că un potențial investitor și-a manifestat interesul față de regiunea dintre satele Volcineț și Sipoteni, am hotărât să alegem anume această regiune. Viteza medie anuală a vântului este în jur de 7 m/s iar densitatea de putere de 350 W/m<sup>2</sup>. Acest amplasament a fost identificat în programul Map Info pentru a vedea dacă nu coincide cu sate sau păduri, utilizând regulile de proiectare s-au poziționat turbinele în cadrul CEE. Sa constatat că în acest amplasament ar putea fi instalate 20 turbine de 2 MW, adică capacitatea totală instalată a CEE ar fi de 40 MW.

După poziționarea turbinelor s-a calculat: viteza medie anuală a vântului, densitatea de putere, producerea anuală de energie pentru fiecare turbină și pentru întreaga CEE și coeficientul de utilizare a CEE. Hărțile înălțimilor și a producerii anuale de energie sunt prezentate în figurile 14 și 15 iar indicatorii tehnici ai CEE sunt prezentați în tabelul 5.

Tabelul 5.2. Indicatorii tehnici ai CEE

Variabila	Total	Mediu	Minim	Maxim
Total brut AEP [GWh]	119,056	5,953	5,674	6,230
Total net AEP [GWh]	116,203	5,810	5,514	6,108
Pierderi de saiaj [%]	2,4	-	1,88	3,12
Viteza medie [m/s]	-	6,93	6,77	7,09
Densitatea de putere [W/m <sup>2</sup> ]	-	328	295	358
RIX	-	-	0,3	1,3

A fost calculat factorul de capacitate care este un indicator, ce caracterizează eficiența utilizării puterii instalate a CEE și este determinat ca raportul dintre cantitatea de energie real produsă și cantitatea teoretică:

$$K_C = \frac{AEP_R}{8760 \cdot P_n}, \quad (2)$$

unde:  $P_n$  –puterea nominală a CEE;

$AEP_T$  – Producerea anuală de energie teoretică;

$AEP_R$  – Producerea anuală de energie reală.

S-a constatat că pentru CEE în cauză, producția teoretică  $AEP_T = 119,056$  GWh, reală  $AEP_R = 104,174$  GWh iar factorul de capacitate  $K_C = 0,297$ .

Trebuie de remarcat că la nivel mondial, se consideră fezabilă o CEE cu  $K_C \geq 0,25$ .

### III. CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Cercetările efectuate în domeniu cu aplicarea Modelului Atlasului Vântului (MAV) bazat pe teoria curenților de aer, respectiv, a setului de programe WASP, a datelor accesibile în sistemul informațional geografic (GIS), produselor de programare MapInfo și Google Earth, au condus la următoarele concluzii:

1. Luând în considerație resursele de calcul și timp disponibile, suprafața și particularitățile orografie ale teritoriului RM s-a conchis cea mai potrivită metodologie de evaluare a potențialului energetic eolian este MAV însoțită de software specializat WASP 9.1.
2. Pentru a nu depăși limitele admisibile de scară și erori s-a propus divizarea teritoriului RM în trei regiuni – nord, sud și centru și sa efectuat un studiu în ceia ce privește aplicabilitatea MAV în condițiile țării noastre. S-a constatat că orografia teritoriului Republicii Moldova îndeplinește condițiile de aplicabilitate a acestei metode, valoarea maximală a indicatorului de performanță orografică  $\Delta RIX$  nu depășește valoarea maximală admisibilă de  $\pm 6 \%$ , ceia ce ne permite să afirmăm că eroarea de predicție a potențialului eolian nu va depăși  $\pm 5\%$ .
3. În premieră s-au obținut variațiile anuale, lunare și diurne ale vitezei vântului, cât și viteza medie anuală și direcția. În acest scop, în mediul EXCEL s-au procesat masivele de date istorice măsurate la înălțimea de 10 m în punctele celor 18 stații hidrometeorologice pentru o perioadă de 22 ani (1990-2011). S-a stabilit:
  - În RM au loc aceleași tendințe de micșorare a vitezei medii anuale a vântului analogice cu alte regiuni din lume, cauza principală fiind amplificarea gradului de rugozitate a terenului și apariția de noi obstacole din imediata apropiere a anemometrului. S-a identificat că din cele 18 stații meteorologice amplasate pe teritoriul RM, doar patru pot fi considerate ca stații de reper - Bălți, Soroca la nord, Cahul și Ceadâr-Lunga – la sud.
  - Pentru toate punctele în care sunt disponibile date istorice despre vânt se atestă cele mai puternice vânturi în perioada rece a anului, lunile noiembrie – martie și invers, cele mai mici - în perioada caldă – lunile iunie-septembrie. Diferența constituie 34 %, în termeni de putere eoliană 71 %;
  - S-au identificat două direcții contrare predominante ale vântului: nord-vest și sud-est ceia ce confirmă studiile făcute anterior în baza măsurărilor istorice de până în anul 1990;

- Variațiile diurne ale vitezei vântului, au o oscilație maximă în după-amiaza zilei și anume, în jurul orei 15<sup>00</sup> și un minim în timpul nopții până dimineața în jurul orelor 5<sup>00</sup> - 6<sup>00</sup>. Această variație este strâns legată de variațiile temperaturii. Totodată, cu creșterea înălțimii, se modifică și caracterul variației diurne: vitezele maxime deplasându-se spre orele de seară-noapte.
4. În baza unei noi abordări de utilizare a WASP s-au calculat și generat câte 4 hărți digitale cu rezoluția 100x100 m pentru fiecare regiune și care prezintă informații utile necesare pentru evaluarea potențialului energetic eolian:
    - Două hărți în termeni de viteză medie anuală a vântului la înălțimea 50 și respectiv 100 m deasupra nivelului solului;
    - Două hărți în termeni de densitate de putere eoliană la înălțimea 50 și respectiv 100 m deasupra nivelului solului;
  5. În baza claselor de vânt standardizate ale turbinelor eoliene, în premieră, s-a clasificat teritoriul țării în funcție de viteza medie anuală a vântului. La înălțimea de 50 m deasupra solului peste 98 % din teritoriul țării este supus vânturilor cu viteze medii anuale cuprinse între 4,0 și 7,5 m/s, iar la înălțimea de 100 m – între 5,0 și 8,0 m/s. Cea mai vânturoasă regiune este cea de sud cu o suprafață de circa 30,5 % din teritoriul țării în care viteza medie anuală a vântului este cuprinsă între 5 și 8 m/s, urmează regiunea de nord cu 29,6 %, apoi de centru cu 25,3 %. În regiunea centrală sunt concentrate mai multe așezări rurale și urbane și suprafețe mari împădurite, toate împreună majorează rugozitatea terenului, respectiv micșorează viteza vântului.
  6. În condițiile de vânt ale RM cele mai potrivite sunt turbinele eoliene de clasa III (viteza medie anuală 6,0-7,5 m/s) cu înălțimea turnului de circa 100 m și care pot fi teoretic instalate în regiunea sud pe o arie de 10432 km<sup>2</sup>, regiunea centru pe o arie de 8138 km<sup>2</sup>, regiunea de nord pe o arie de 10087 km<sup>2</sup>. Turbinele de clasa II (viteza medie anuală 7,5-8,5 m/s) se recomandă a fi utilizate doar în regiunea de sud, dar și aici pe arii restrânse de circa 213 km<sup>2</sup>. Nu se recomandă turbine eoliene de clasa I.
  7. Folosind clasificarea terenurilor în funcție de densitatea de putere eoliană, propusă de NREL (SUA), în premieră, pentru înălțimea 100 m deasupra nivelului solului, s-a determinat, cu considerarea constrângerilor principale, ponderea ariilor în care densitatea de putere eoliană este în gama de 400-650 W/m<sup>2</sup> (potențial bun-excelent). Aceste arii reflectă potențialul eolian tehnic. Din suprafața totală a țării, circa 1830 km<sup>2</sup> au o densitate de putere eoliană egală sau mai mare de 400 W/m<sup>2</sup>, ceea ce reprezintă 5,4 % din întreg teritoriul.

8. Disponibilitatea teritorială a potențialului eolian nu este uniformă: cel mai mic este în regiunea centrală, urmează regiunea de nord în care zonele cu potențial bun și excelent constituie 812,3 km<sup>2</sup>, apoi regiunea de sud în care zonele respective ocupă 1007,6 km<sup>2</sup>.
9. Pentru producerea energiei electrice la scară mare merită a fi exploatat potențialul energetic eolian existent la înălțimea de 100 m deasupra nivelului solului. În acest scop pot fi folosite arii din toate cele trei regiuni ale țării cu potențial eolian bun (clasa 4, 400-500 W/m<sup>2</sup>) și excelent (clasa 5, 500-600 W/m<sup>2</sup>). Acest potențial, cu considerarea constrângerilor și în ipoteza că pe 1 km<sup>2</sup> se instalează o capacitate de 5 MW, se estimează la 9150,0 MW și depășește cu mult necesitățile țării.
10. S-a demonstrat că, pentru un amplasament oarecare unde nu au fost făcute măsurări ale caracteristicilor vântului, viteza medie anuală poate fi estimată cu o eroare relativă cuprinsă între 1,0 - 10,0 %. Eroarea este mai mare în cazul terenurilor accidentate sau acolo unde rugozitățile și obstacolele din împrejurimile stației meteorologice de reper sunt mai pronunțate.
11. În baza rezultatelor obținute s-a realizat dezvoltarea unei Centrale Electrice Eoliene amplasată în regiunea centrală cu puterea de 40 MW. Producția reală anuală ar constitui 104,174 GWh și corespunde unui factor de capacitate  $K_C = 0,3$ .

### **Problema științifică importantă soluționată**

Problema științifică soluționată constă în determinarea resurselor eoliene ale Republicii Moldova, fapt ce permite elaborarea Atlasului Vântului ca sursă de informații pentru luarea deciziilor privind dezvoltarea capacităților de producere a electricității regenerabile. Tema tezei se încadrează perfect în politica Guvernului în domeniul promovării SRE. De exemplu, Planul Național de Acțiuni în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile pentru anii 2013-2020 (PNAER), care stipulează instalarea a circa 400 MW de noi capacități, în principal de origine eoliană.

### **Direcții și obiective de cercetare pentru viitor**

1. Studii detaliate a potențialului eolian în defileurile naturale existente în țară și care sunt amplasate între coline.
2. Lansarea unei campanii de măsurare a caracteristicilor vântului în regiunea de nord la înălțimi de 50 - 100 m pe o perioadă de minimum 3 ani.
3. Studiul aprofundat al potențialului eolian în zonele accidentate ale RM: raioanele Nisporeni, Ungheni, Călărași, Strășeni, albiile râurilor Răut și Nistru.
4. Crearea unei hărți digitale ce ar permite vizualizarea on-line a vitezei medii anuale și a densității de putere în orice punct de pe teritoriul RM.



## Lista lucrărilor publicate la tema tezei

### 1. Articole în diferite reviste științifice

#### 1.1. în reviste internaționale cotate BDI, Copernicus

1. **V. Rachier.** *Metoda Atlasului Vântului și aplicarea acesteia în cazul Republicii Moldova*, Buletinul AGIR, Volumul 3, iulie - septembrie 2015, București, pag 76-80, Categoria B+, ISSN-L 1224-7928, ISSN 2247-3548, cotate Index Copernicus International 5,18.
2. I. Sobor. A. Chiciuc. A. Azarov. **V. Rachier.** *Variațiile diurne ale vitezei vântului în zona podișului central al Republicii Moldova*, Buletinul AGIR, Volumul I, ianuarie - martie 2013, București, pag 139-144, Categoria B+, ISSN-L 1224-7928, ISSN 2247-3548, cotate Index Copernicus International 5,18.

#### 1.2. în reviste din străinătate recunoscute

3. I. Sobor, A. Chiciuc, R. Ciupercă, **V. Rachier.** *Small wind energy system with permanent magnet eddy current heater*. Bul. Inst. Polit. din Iași. Tomul LIX (LXIII), Fasc. 4, 2013, secția Electrotehnică. Energetică. Electronică. Categoria B+, ISSN 1223-8139, p. 143-150.
4. **V. Rachier**, N. Moldovanu. *Observed Wind Climate in the Moldova's north region*, Geographical and Geoecological Research of Ukraine and Adjacent Territories, Volumul I, 2013, Taurida Ukraina, pp. 535-539, ISBN 978-966-491-390-1, ISBN 978-966-491-391-8 (T.1).

#### 1.3. în reviste din Registrul Național al revistelor de profil

5. **V. Rachier**, I. Sobor, A. Chiciuc. *Assessment of wind energy resource of Moldova*. *Meridian Ingineresc*, nr.2, 2014, pp. 23-29. ISSN 1683-853X, categoria C.

### 2. Articole în culegeri științifice

#### 2.1. în culegeri de lucrări internaționale electronice cotate EBSCO, COPERNICUS, GOOGLE SCHOLAR

6. **V. Rachier.** *Observed Wind Climat of Republic of Moldova*, International Conference of Scientific Paper AFASES 2013, Brașov, 23-25 Mai 2013, pag 398-405 ISSN 2247-3173, ISSN-L 2247-3173, Index Copernicus International 6,37, EBSCO, GOOGLE SCHOLAR.
7. **V. Rachier.** *Energy potential evaluation for a wind turbine used for pumping*, International Conference of Scientific Paper AFASES 2012, Brașov, 24-26 Mai 2012, pag 609-615, ISSN 2247-3173, ISSN-L 2247-3173, Index Copernicus International 4,51, EBSCO, GOOGLE SCHOLAR.

#### 2.2. culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale

8. **V. Rachier**, I. Sobor. *Moldova's wind power potential and leveled cost of energy*, *10 th International Conference on Electromechanical and Power Systems*. SIEMEN

- 2015, 8-9 October – Craiova-Chișinău, pp 543 – 546, ISBN 978-606-567-284-0.
9. **V. Rachier**, I. Sobor, A. Chiciuc. *Assessment of wind energy resource of Moldova*. International Conference on Environment and Renewable Energy, 7-8 May 2014, Paris, France, Conference Proceeding ICERE 2014, p. 66. ISBN -10:1499567154..
  10. I. Sobor. A. Chiciuc. R. Ciuperca. **V. Rachier**. *Conversion of the wind energy into heat, 9 th International Conference on Electromechanical and Power Systems*. SIELMEN 2013, 17-18 October – Chisinau, pp 469-474. ISBN 978-606-13-1560-4.
  11. **V. Rachier**, A. Azarov. S. Tarita. *Annual and diurnal wind speed variation at different heights: Moldova's case studies*, International Conference of Young Researchers, Xth edition, 23 Noiembrie, Chișinău 2012, pp 123, ISBN 978-9975-4224-7-5.
  12. I. Sobor. **V. Rachier**. *Characteristics calculation of the wind electric water pumping system*, International Conference of Scientific Paper AFASES 2011, Brasov, 26-28 Mai 2011, pag 1018-1023, ISSN 2247-3173, ISSN-L 2247-3173.
  13. I. Sobor. A. Chiciuc. R. Ciuperca. **V. Rachier**. *Concerning the conversion efficiency increase of the available wind potential*, 8 th International Conference on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2011, 13 - 15 Octombrie – Chișinău 2011, pp 457 - 462.

### 2.3. culegeri naționale

14. **V. Rachier**. *Analiza statistică a datelor vântului pe perioada 1990 – 2011 la stațiile serviciului hidrometeorologic de stat din sudul Republicii Moldova*, Revista METROLOGIE, Volumul 2, Chișinău 2013, pp 22 – 27, ISSN 1220-546X.

### 2.4. culegeri de lucrări ale conferințelor naționale

15. **V. Rachier**. *Evaluarea potențialului electric eolian pentru regiunea de sud a Republicii Moldova*, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor. 20 - 25 Octombrie, Chișinău 2014, Volumul I, pp 509 – 514, ISBN 978-9975-45-249-6, ISBN 978-9975-45-281-3.
16. I. Sobor. **V. Rachier**. V. Soloviov. *Cu privire la procesul de pornire a unui sistem electric eolian de pompare*, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Rezumatele Lucrărilor, (volumul I), 15 - 17 Noiembrie, Chișinău 2012, pp 477-482, ISBN 978-9975-45-249-6, ISBN 978-9975-45-250-2 (Vol. I).
17. **V. Rachier**. I. Sobor. A. Chiciuc. *Pomparea eoliană a apei într-un sistem de alimentare rural*, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Rezumatele Lucrărilor, (volumul I), 8 - 10 Decembrie, Chișinău 2011, pp 264 – 267, ISBN 978-9975-45-208-3.
18. I. Sobor. **V. Rachier**. *Vântul – variantă optimă pentru pomparea electrică a apei*, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Rezumatele Lucrărilor, (volumul I), 17 - 19 Noiembrie, Chișinău 2010, p 332 – 336, ISBN 978-9975-45-065-2, ISBN 978-9975-45-158-1 (Vol. I).

## REZUMAT

**Autor** – RACHIER Vasile. **Titlul** – *Evaluarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova (RM)*. Teză de doctor în vederea conferirii titlului științific de doctor în științe tehnice la specialitatea 221.02 – *Tehnologii de conversie a energiei și resurse regenerabile (energie eoliană)*. Chișinău 2016.

**Structura lucrării:** Lucrarea conține o introducere, cinci capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 114 titluri și include 5 anexe, 142 pagini, 57 figuri, 32 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 18 lucrări științifice.

**Cuvinte cheie:** științe tehnice.

**Domeniul de studiu** – 221.02 - Tehnologii de conversie a energiei și resurse regenerabile (energie eoliană).

**Scopul tezei:** evaluarea potențialului energetic eolian și crearea suportului informațional pentru valorificarea acestuia, care va servi drept referință la amplasarea eventualelor Centrale Electrice Eoliene (CEE) și va justifica includerea energiei eoliene în circuitul economic național al RM.

**Obiectivele lucrării:** Studiul și identificarea unei metodologii adecvate pentru evaluarea potențialului energetic eolian al RM; procesarea datelor istorice despre vânt; calculul hărților vitezei și densității de putere a vântului în baza cărora a fost identificat potențialul eolian și estimată producția unei eventuale CEE.

**Noutatea și originalitatea științifică a lucrării.** Cercetările teoretice și practice au permis să răspundem la două întrebări inevitabile, care apar la încercarea de a dezvolta energetica eoliană într-o regiune: „*Care este potențialul teoretic și tehnic eolian al RM?*” și „*Cum este repartizat acest potențialul pe teritoriul RM?*”

**Problema științifică importantă soluționată.** Constă în determinarea resurselor eoliene ale RM, fapt ce permite elaborarea Atlasului Resurselor Energetice Eoliene ca sursă de informații pentru luarea deciziilor privind dezvoltarea capacităților de producere a electricității regenerabile.

**Importanța teoretică.** Teza aduce contribuții științifice într-un domeniu nou, de interes – prezentând un algoritm teoretico-practic de evaluare a potențialului energetic eolian al unei regiuni sau al unui amplasament. S-a propus metodologia și algoritmul de calcul a potențialului tehnic eolian în baza hărților digitale ale densității de putere.

**Valoarea aplicativă a lucrării.** S-a demonstrat aplicabilitatea Metodei Atlasului Vântului în condițiile RM, a fost determinat potențialul tehnic eolian al RM și generate hărțile vitezei și densității de putere a vântului la înălțimea de 50 și 100 m. Rezultatele au fost validate prin metoda comparării valorilor calculate cu cele măsurate. S-a estimat producția unei eventuale CEE.

**Rezultatele științifice** ale tezei sunt aplicabile în procesele de dezvoltare a proiectelor eoliene, efectuarea studiilor de fezabilitate, luarea deciziilor la nivel local sau central cu privire la valorificarea energiei eoliene, precum și în calitate de suport didactic pentru cursurile din domeniul surselor regenerabile.

## ABSTRACT

**Author** - RACHIER Vasile. **Title** - *Assessment of the wind power potential of the Republic of Moldova*. PhD thesis for the awarding of the scientific title of doctor of technical sciences, specialty 221.02 - *Energy conversion technologies and renewable resources (wind energy)*. Chisinau 2016.

**Structure:** The paper consists of an introduction, five chapters, conclusions and recommendations, 114 bibliography titles, and includes 5 Annexes, 142 pages, 57 figures, 32 tables. The results are published in 18 scientific papers.

**Keywords:** wind atlas method, theoretical and technical potential, wind power plant.

**Field of study** - technical sciences.

**The aim of the thesis:** evaluation of wind power potential and development of an informational support for its capitalization, which will serve as a reference for the location of any wind farm and justify the inclusion of wind power in the national economic circuit of RM.

**Objectives:** To study and identify an appropriate methodology for assessing wind energy potential of the Republic of Moldova; historical wind data processing; calculation of the wind speed and power density maps, according to which the wind potential was identified and the production of a wind farm was estimated.

**Scientific novelty and originality of the work.** The theoretical and practical research allowed answering two unavoidable questions that appear when we are trying to develop wind energy projects in the region: „*What is the theoretical, technical and electrical wind potential of RM?* ” and „*How is this potential distributed on the territory of RM?*”.

**Important scientific problem solved.** It consists in the determination of our country's wind resources that allows the elaboration of the Wind Energy Resource Atlas as a source of information for the purpose of decision making regarding the development of renewable electricity generation capacity.

**Theoretical importance.** The thesis brings scientific contributions in a new area of interest - presenting a theoretical and practical algorithm for the evaluation of the wind power potential of a region or a location. A methodology and a calculation algorithm of wind technical potential are proposed based on power density digital maps.

**The value of the work.** It was demonstrated the applicability of the Wind Atlas Method for RM, determined the technical potential of the country and generated maps of wind speed and wind power density from 50 to 100 m height. The results were validated by using the comparison method of calculated and measured values. It was estimated the production of an eventual wind farm.

**The scientific results** of the thesis are applicable to development processes of wind projects, feasibility studies, decision-making at local or central level regarding the capitalization of wind energy and as didactic support for the courses in the field of renewable sources.

## РЕЗЮМЕ

**Автор** – РАКИЕР Василий. **Название** – *Оценку потенциала ветровой энергии в Республики Молдова (РМ)*. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 221,02 - *Технологий преобразования энергии и возобновляемые ресурсы (ветровая энергия)*. Кишинев, 2016.

**Структура:** работа содержит введение, пять глав, выводы и рекомендации, библиографию 114 названия и включают в себя 5 приложения, 142 страницы, 57 фигур 32 таблицы. Результаты исследования опубликованы в 18 научных работах.

**Ключевые слова:** метод ветрового атласа, теоретический и технический потенциал, ветроэлектростанция.

**Область исследования** - технические науки.

**Цель диссертации:** оценка энергетического потенциала ветра и создание информационной базы для его освоения, которая будет служить в качестве ориентира для определения местоположения любого ветряного парка и для обоснования включения ветроэнергетики в национальный экономический оборот РМ.

Решаемые задачи: изучение и определение надлежащего метода оценки ветрового потенциала страны; обработка исторических данных о ветре; расчет и разработка карт скорости ветра и плотности энергии, на основе которых определен ветровой потенциал и рассчитана производительность условной ветровой электростанции.

**Научная новизна работы.** Теоретические и практические исследования позволили ответить на два неизбежных вопроса которые возникают при попытке освоения энергии ветра в регионе: „Каков теоретический, технический и электрический потенциал ветра в РМ?“ и „Как этот потенциал распределен в по территории РМ?“

**Решаемая научная проблема.** Состоит в определении ветровых ресурсов страны, что позволяет разработать Атлас Энергетических Ресурсов Ветра в качестве источника информации для принятия решений о развитии генерирующих мощностей электроэнергетики.

**Теоретическое значение.** Диссертация вносит научный вклад в новую область интересов - теоретический и практический алгоритм для оценки мощности ветрового потенциала страны или региона. Была предложена методология и алгоритм расчета технического ветрового потенциала энергии на основе цифровой карты плотности мощности.

**Значение работы.** Продемонстрирована применимость Метода Ветрового Атласа в РМ, определен технический потенциал ветра и разработаны карты скорости ветра и плотности мощности на высотах 50 и 100 м над уровнем земли.

**Научные результаты** диссертации применяются для разработки проектов ветровой энергетики, технико-экономических обоснований, принятия решений на местном или центральном уровне по развитию данной отрасли, также как учебные материалы для курсов в области возобновляемых источников энергии.

**RACHIER VASILE**

**EVALUAREA POTENȚIALULUI ENERGETIC EOLIAN AL  
REPUBLICII MOLDOVA**

**221.02 „TEHNOLOGII DE CONVERSIE A ENERGIEI ȘI RESURSE  
REGENERABILE (ENERGIE EOLIANĂ)”**

Autoreferatul tezei de doctor tehnică

---

Aprobat spre tipar 29.04.16	Formatul hârtiei 60x84 1/16
Hârtie ofset. Tipar RISO	Tirajul 60 ex.
Coli de tipar 1,75	Comanda nr. 79

---

U.T.M., 2016, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168.  
Secția redactare și Editare a U.T.M.  
2068, Chișinău, str. Studenților 9/9.

© U.T.M., 2016