

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
FACULTATEA DE ENERGETICĂ ȘI INGINERIE ELECTRICĂ

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 620.9:004 (478) (043.2)

RACHIER VASILE

EVALUAREA POTENȚIALULUI ENERGETIC EOLIAN AL
REPUBLICII MOLDOVA

Specialitatea: 221.02 „Tehnologii de conversie a energiei și resurse
regenerabile (energie eoliană)”

Teză de doctor în științe tehnice

Conducător științific:

SOBOR Ion,
Conf. univ., dr.

Autor:

RACHIER Vasile

Chișinău 2016

© RACHIER VASILE, 2016

CUPRINS

ADNOTARE (în română, engleză și rusă)	6
LISTA ABREVIERILOR	9
INTRODUCERE	11
1. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND ESTIMAREA POTENȚIALULUI ENERGETIC EOLIAN PE PLAN NAȚIONAL ȘI MONDIAL.....	21
1.1. Noțiuni generale despre originea și caracteristicile vântului.....	21
1.2. Primele încercări în elaborarea Cadastrului energetic eolian al Republicii Moldova.....	26
1.3. Studii recente privind evaluarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova.....	27
1.4. Atlasul European al Vântului – prima lucrare amplă la nivel internațional în domeniu.....	34
1.5. Scopul general al tezei și sarcinile necesare de realizat.....	38
Concluzii la capitolul 1.....	39
2. METODE ȘI SOFTWARE PENTRU EVALUAREA POTENȚIALULUI EOLIAN.....	41
2.1. Introducere.....	41
2.2. Metode de evaluare a potențialului energetic eolian - o privire de ansamblu.....	42
2.2.1. Metode de evaluare a potențialului energetic eolian folosind datele măsurărilor la suprafața solului....	42
2.2.2. Metode de evaluare a potențialului energetic eolian folosind bazele de date despre vânt disponibile la nivel mondial.....	44
2.2.3. Clasificarea metodologiilor avansate de evaluare a potențialului energetic eolian.....	46
2.2.4. Metodologii avansate de evaluare a potențialului energetic eolian.....	49
2.2.5. Software ce permit evaluarea potențialului energetic eolian la microscară și amplasarea parcurilor eoliene.....	52
2.3. Metodologiile Atlasului Vântului și software-ul Wind Atlas Analysis and Application Progr	55
2.3.1. Introducere.....	55
2.3.2. Esența Metodei Atlasului Vântului.....	56
2.3.3. Metoda Atlasului Vântului: etapa de analiză a datelor despre vânt.....	58
2.3.4. Metoda Atlasului Vântului: etapa aplicării pentru prezicerea vântului.....	60
2.3.5. Modelul rugozităților suprafeței terenului.....	60
2.3.6. Modelul umbririi create de obstacole.....	63
2.3.7. Limitări și erori ale Metodei Atlasului Vântului.....	65
2.4. Aplicabilitatea Metodei Atlasului Vântului la Evaluarea Resurselor Energetice Eoliene ale Republicii Moldova.....	67
Concluzii la capitolul 2	70
3. PROCESAREA ȘI ANALIZA DATELOR ISTORICE DESPRE VÂNT	73
3.1. Evoluția Serviciului Hidrometeorologic de Stat al Republicii Moldova.....	73
3.2. Ce este procesarea datelor despre vânt.....	74
3.3. Informații despre vânt disponibile în Republica Moldova.....	75
3.4. Descriere succintă a stațiilor meteorologice din Republica Moldova.....	78

3.5. Rezultatele procesării datelor primare despre vânt.....	80
Concluzii la capitolul 3	90
4. EVALUAREA ȘI VALIDAREA POTENȚIALULUI ENERGETIC EOLIAN AL REPUBLICII MOLDOVA.....	92
4.1. Noțiuni introductive.....	92
4.2. Algoritmul calculării hărților vitezei medii anuale a vântului și densității de putere.....	93
4.2.1.Hărțile prezise ale vitezei medii anuale a vântului și densității de putere pentru regiunea de nord la înălțimea de 50 și 100 m.....	96
4.2.2.Hărțile prezise ale vitezei medii anuale a vântului și densității de putere pentru regiunea centru la înălțimea de 50 și 100 m.....	100
4.2.3.Hărțile prezise ale vitezei medii anuale a vântului și densității de putere pentru regiunea de sud la înălțimea de 50 și 100 m.....	105
4.3. Potențialul electric eolian al Republicii Moldova	109
4.3.1. Clasele turbinei eoliene.....	109
4.3.2. Clasificarea teritoriului în funcție de viteza medie anuală a vântului.....	109
4.3.3. Clasificarea teritoriului în funcție de densitatea de putere eoliană.....	111
4.3.4. Potențialul tehnic eolian în termeni de densitate de putere.....	113
4.3.5. Potențialul tehnic eolian în termeni de putere electrică instalată.....	117
4.4. Validarea evaluării potențialului energetic eolian al Republicii Moldova.....	118
4.4.1. Metode de validare.....	118
4.4.2. Validare potențialului energetic eolian al Republicii Moldova.....	120
Concluzii la capitolul 4	122
5. UTILIZAREA REZULTATELOR EVALUĂRII POTENȚIALULUI EOLIAN PENTRU DEZVOLTAREA UNEI CENTRALE ELECTRICE EOLIENE.....	124
5.1. Noțiuni generale.....	124
5.2. Principalii pași în implementarea Centralelor Electrice Eoliene în Republica Moldova.....	125
5.3. Identificarea și selectarea amplasamentului cu potențial eolian pronunțat și poziționarea preliminară a turbinelor eoliene.....	125
5.4. Caracteristicile principale ale turbinei eoliene și modelarea acestora.....	130
5.5. Rezultate obținute.....	133
Concluzii la capitolul 5	137
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	139
BIBLIOGRAFIE	143
ANEXE	152
A1. Variațiile anuale și diurne ale vitezei vântului la stațiile hidrometeorologice din Republica Moldova.....	152
A2. Variațiile lunare pentru cele 18 stații hidrometeorologice amplasate pe teritoriul Republicii Moldova.....	207
A3. Observațiile Climei Vântului la stațiile hidrometeorologice de pe teritoriul Republicii Moldova.....	210

A4. Atlasul vântului la cele 18 stații hidrometeorologice amplasate pe teritoriul Republicii Moldova.....	228
A5. Mențiuni	237
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII	247
CV-ul AUTORULUI	248

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: metoda atlasului vântului, potențial teoretic și tehnic, centrală electrică eoliană.

Domeniul de studiu – științe tehnice.

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 potențialului 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, tehnic și electric 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 (RM)*. 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 электроэнергии.

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.

ABREVIERI ȘI NOTAȚII UTILIZATE

NV	Nord - vest
SE	Sud - est
E_c	Energia unui flux de aer
v	Viteza liniară a vântului
tep	Tone echivalent petrol
ρ	Densitatea aerului
P_c	Puterea fluxului de aer
P	Puterea furnizată de turbină
P_u	Puterea utilă mecanică
CEE	Cadastrul Energetic Eolian
WAsP	Wind Analysis and Applications Programmes
RM	Republica Moldova
EKO21B	Sistem de măsurare a caracteristicilor vântului
SIG	Sistem Informațional Geografic
UTM	Universal Transverse Mercator
AEV	Atlasul European al Vântului
CE	Comisia Comunității Europene
EPEE	Evaluarea potențialului energetic eolian
MAV	Metoda Atlasului Vântului
CEE	Centrală Electrică Eolienă
LIDAR	Light Detection And Ranging
GIS	Geographical Information Systems
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NCDC	National Climatic Data Center
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
CIRES	Cooperative Institution for Research and Environmental Sciences
COADS	Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set
NASA	National Aeronautics and Space Administration
EREE	Evaluarea resurselor energetice eoliene
NWP	Numerical Weather Prediction
CRES	Centre for Renewable Energy Sources
CFD	Computational Fluid Dynamics
KAMM	Karlsruhe Atmospheric Mesoscale Model
AV	Atlasul Vântului
U	Viteza medie
E	Densitatea de putere
F	Funcția densității de probabilitate a vitezei vântului
z_0	Lungimea rugozității

h	Înălțimea elementului de rugozitate
ΔRIX	Indicator de performanță orografică
RIX	Indicator de accidentare
RIX_R	Indicator de accidentare la stația de referință
RIX_P	Indicator de accidentare la stația prezisă
OMM	Organizația Meteorologică Mondială
Lat	Este latitudinea în grade
Lon	Este longitudinea în grade
VMV	Viteza medie a vântului
OWC	Observed Wind Climat
A	Parametru de scară
k	Parametru adimensional a curbei de distribuție, numit parametru de formă
α_1	Unghiul colțului din stânga a obstacolului
R_1	Distanța până la colțul din stânga a obstacolului
α_2	Unghiul colțului din dreapta a obstacolului
R_2	Distanța până la colțul din dreapta a obstacolului
H	Înălțimea obstacolului
d	Lățimea obstacolului
P	Porozitatea obstacolului
UTM	Universitatea Tehnică a Moldovei
S_{Total}	Aria Totală, km ²
CTI	Capacitatea Totală Instalată
R	Raza rotorului
α	Constanta pierderilor de siaj
AEP	Annual Energy Production
AWS	Annual Wind Speed
PD	Power Distribution
SHMS	Serviciul Hidrometeorologic de Stat
IEC	International Electrotechnical Commission
F_t	Forța de presiune
C_t	Coeficient de presiune

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța problemei abordate.

Ritmul rapid de dezvoltare a tehnologiilor moderne a dus la o creștere fulgerătoare a necesității de energie, fie electrică sau termică. Actualmente, nu ne putem închipui ce ar face omul modern fără de energie electrică, aceasta din urmă devenind ca forță motrice ce menține activitatea pe pământ. Iată de ce una din prioritățile principale la nivel mondial este dezvoltarea și întărirea sectorului energetic.

Reieșind însă din faptul că, sectorul energetic și dezvoltarea acestuia sunt strâns legate de arderea combustibililor fosili, a apărut o altă problemă și anume schimbările climatice provocate de emisiile de CO₂, care au impus stoparea creșterii volumului de energie electrică produsă prin arderea resurselor fosile. Această problemă a făcut omenirea să caute alte metode ce ar permite creșterea volumului de energie electrică produsă și micșorarea sau, cel puțin, menținerea la același nivel a cantității de CO₂. Astfel, a apărut un nou domeniu al sectorului energetic și anume sectorul surselor regenerabile de energie (SRE), care este o îmbinare a diferitor tehnologii din diferite domenii ce permit producerea energiei electrice cu zero emisii de CO₂.

Sectorul energetic, în mod special electroenergetica, bazată pe surse fosile, hidroenergie și termonucleară, în majoritatea țărilor Uniunii Europene (UE) s-a dezvoltat preponderent prin susținerea directă a statului din sursele financiare publice sau prin oferirea suportului din partea statului sub diferite forme. Această politică energetică continuă și în prezent, însă este în scădere, chiar și prin eforturile existente în țările membre ale UE în vederea eliminării sau micșorării oricăror subvenții din partea statului pentru sursele fosile, creării pieței interne comune de energie și introducerea taxelor de carbon [105].

Este evident că, utilizarea SRE, și în mod special producerea energiei electrice din surse regenerabile, de regulă pe baza tehnologiilor noi, nu poate concura cu o tehnologie care s-a maturizat pe o perioadă de peste 100 de ani și a fost finanțată preponderent din sursele publice sau prin acordarea directă a subvențiilor din partea statului. În același timp, se observă o tendință globală de creștere a investițiilor în SRE și a ponderii acestora în consumul final brut de energie.

Conform raportului Agenției Internaționale pentru Energie (IEA), World Energy Outlook 2013, cca 50% din creșterea globală de producție a energiei electrice în 2035 va reveni SRE. Sursele variabile de energie, cum sunt energia eoliană și solară, vor contribui în mod esențial la această creștere. Integrarea acestor surse va fi complexă și costisitoare, iar politicile de suport pentru punerea în folosință a acestora urmează a fi complementate cu acțiunile în dezvoltarea infrastructurii energetice și, în unele cazuri, în dezvoltarea structurii pieței de energie.

Dacă la nivel mondial situația sectorului energetic este suficient de organizată și bine pusă la punct, atunci sectorul energetic din Republica Moldova se confruntă cu mai multe probleme, care o fac să fie foarte sensibilă la diferite situații de criză, dintre care putem menționa:

- Lipsa resurselor naturale proprii și dependența puternică de importul de gaze naturale, petrol și produse petroliere, care sunt importate, în mare parte, din Rusia;
- Tehnologia utilizată în procesul de generare și distribuție a energiei electrice este învechită și necesită investiții enorme pentru creșterea randamentului și micșorarea pierderilor;
- Interconexiunile, în mare măsură, lipsesc, iar cele existente nu asigură diversificarea surselor și a direcțiilor de aprovizionare.
- Piețele de energie lipsesc, astfel concurența este absentă, ceea ce provoacă: costuri ridicate la energie, calitate joasă a produsului final și securitate energetică scăzută;
- Persistă datoriile istorice (pentru energie termică și gaze naturale) care discreditează piețele, sectorul energetic și descurajează investițiile;
- Lipsa promovării SRE, ceea ce ar duce la diversificarea surselor de energie și valorificarea potențialului propriu care este suficient de mare.

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 de energie electrică și de încălzire urbană. Energia electrică produsă la nivel local constituie mai puțin de 20%, restul fiind importată din Transnistria și Ucraina [82].

Începând cu 2010 Republica Moldova face parte din Comunitatea Energetică, din care face parte și Uniunea Europeană, și are obligația (cu excepția unei derogări) de a implementa pachetul 3 și directiva pentru sursele regenerabile de energie.

În noua versiune a Strategiei energetice, adoptată în 2013, pentru prima dată se pune accentul pe utilizarea energiei din surse regenerabile ca o alternativă viabilă pentru a compensa lipsa de resurse energetice fosile. La 27 decembrie 2013 a fost 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. PNAER este un document-cheie al politicii energetice a Republicii Moldova pentru a promova utilizarea surselor regenerabile cu scopul de a crește securitatea energetică, protecția mediului și atenuarea efectelor schimbărilor climatice. PNAER stabilește măsuri legislative și administrative necesare pentru a atinge aceste obiective [104]. Conform PNAER, electricitatea din surse regenerabile va fi produsă, în principal, din vânt și, până în 2020, a fost planificată instalarea capacității eoliene de circa 400 MW.

În condițiile actuale, realizarea PNAER este frânată, dat fiind faptul că până la moment Republica Moldova (RM) nu dispune de Atlasul Vântului ce ar prezenta în mod sigur și precis care este potențialul electric eolian al țării și care este repartizarea acestuia.

Tematica privind evaluarea potențialului energetic eolian este una mai deosebită pentru RM, dat fiind faptul că suntem la început de cale în ceea ce privește valorificarea resurselor eoliene, aceasta din urmă necesitând un studiu mai aprofundat.

Alegerea temei *Evaluarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova* a fost condiționată de 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?*

Scopul și obiectivele tezei

Prin această teză ne propunem să aducem o contribuție cu caracter științifico-practic la soluționarea problemei promovării surselor de energie eoliană în țara noastră.

Scopul general al tezei 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. Această lucrare vine să completeze studiile efectuate anterior în domeniul evaluării resurselor energetice eoliene și se încadrează perfect în politica statului de promovare a energiilor regenerabile. Drept exemplu menționăm: Strategia Sectorială de Cheltuieli în Domeniul Energetic pentru perioada 2013 – 2015 și Planul Național de Acțiuni în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile pentru anii 2013-2020 [Hotărârea Guvernului nr. 1073 din 27 decembrie 2013], în care au fost planificate studii privind crearea bazei informaționale ce se referă la potențialul diferitor surse regenerabile de energie.

Lucrarea de față a urmărit următoarele **obiective**:

Obiectivul 1. Identificarea metodologie și software utilizat pentru evaluarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 1:

- ✓ identificarea metodelor și software utilizate pentru evaluarea potențialului energetic eolian (EPEE) la nivel național și internațional;
- ✓ identificarea avantajelor și dezavantajelor metodelor și software utilizate pentru EPEE;
- ✓ argumentarea metodei care urmează a fi folosită pentru EPEE a RM;
- ✓ studiul aplicabilității limitelor și erorilor Metodei Atlasului Vântului (MAV) în condițiile Republicii Moldova.

Obiectivul 2. Procesarea datelor despre vânt.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 2:

- ✓ procesarea datelor despre vânt de la 18 stații meteorologice, amplasate pe teritoriul RM;
- ✓ elaborarea și analiza variațiilor diurne, lunare și anuale ale vitezei vântului;
- ✓ crearea atlaselor vântului pentru cele 18 stații hidrometeorologice folosind ca date de intrare datele istorice despre vânt și Sisteme Informaționale.

Obiectivul 3. Evaluarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 3:

- ✓ elaborarea hărților digitale ale rugozităților, pentru cele trei regiuni în care a fost împărțit teritoriul RM: nord, centru și sud, și transformarea acestora în formatul admis de programul specializat Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP);
- ✓ 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 deasupra solului;

- ✓ evaluarea, în baza hărților calculate, a potențialului teoretic eolian în termeni de viteză medie anuală 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.

Obiectivul 4. Dezvoltarea unei eventuale Centrale Electrice Eoliene (CEE).

Obiective specifice în cadrul obiectivului 4:

- ✓ identificarea și selectarea amplasamentului cu potențial eolian pronunțat și poziționarea preliminară a turbinelor eoliene;
- ✓ modelarea caracteristicile principale ale turbinei eoliene;
- ✓ estimarea producției de energie.

Problema științifică importantă soluționată

Prezenta teză de doctor aduce contribuții științifico-practice în domeniul promovării și dezvoltării energeticii 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 și valoarea aplicativă a lucrării

Noutatea și originalitatea științifică constă în:

1. analiza comparativă a mai multor metodologii existente de EPEE, care au justificat utilizarea Metodei Atlasului Vântului (MAV) în condițiile orografice ale RM.
2. 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.
3. demonstrarea aplicabilității MAV în condițiile RM, prin estimarea erorilor maxime ale MAV care ar putea apărea la EPEE al RM.
4. procesarea datelor istorice despre vânt disponibile pentru o perioadă de 22 ani la 18 stații hidrometeorologice amplasate pe întreg teritoriul RM.

5. 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.

Valoarea aplicativă a lucrării

1. S-a calculat valoarea maximă a indicatorului de performanță orografică ΔRIX , 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. A fost demonstrat că valoarea maximală a indicatorului de performanță orografică ΔRIX nu depășește valoarea maximală admisibilă de $\pm 6\%$, ceea ce ne permite să afirmăm că eroarea de predicție a potențialului eolian nu va depăși $\pm 5 - 8\%$.
3. S-au identificat cele mai abrupte zone în care indicele de accidentare RIX și indicatorul de performanță ΔRIX ating valori maxime, acestea fiind zonele situate de-a lungul râurilor Nistru și Răut.
4. Au fost interpretate grafic variațiile diurne, lunare și anuale ale vitezei vântului, de la cele 18 stații meteorologice, pentru o perioadă de 22 ani.
5. S-a demonstrat că, din cele 18 stații meteorologice amplasate pe teritoriul RM numai trei stații pot fi folosite în calitate de stații reprezentative pentru EPEE și acestea sunt: Bălți – 3,19 m/s, Cahul - 3,71 m/s și Ceadâr-Lunga - 3,98 m/s.
6. Au fost calculate 12 hărți ale vitezei medii anuale a vântului și a densității de putere pentru cele trei regiuni: nord, centru și sud, la două înălțimi - 50 și 100 m deasupra solului.
7. S-a demonstrat prin calcule că la înălțime de 50 m deasupra nivelului solului, suprafața teritoriului în care viteza medie anuală depășește 4 m/s reprezintă 98,21%, iar la înălțimea de 100 m - suprafața teritoriului cu viteze ale vântului cuprinse între 5 – 8 m/s este de aproximativ 33240 km², ceea ce reprezintă 98,7% din teritoriul RM.
8. S-a determinat că, la înălțimea de 50 m, suprafața totală ce are o densitate de putere mai mare de 250 W/m², este de aproximativ 5910 km², ceea ce reprezintă 17,46%, iar la înălțimea de 100 m - suprafața totală ce are o densitate de putere mai mare de 350 W/m², este de aproximativ 11660 km², ceea ce reprezintă 34,44%.

9. A fost elaborată metodologia de excludere a elementelor de constrângere, necesară la etapa de calculare a potențialului tehnic eolian în termeni de densitate de putere și capacitate electrică instalată.
10. A fost calculat că la înălțimea de 100 m, din suprafața totală a țării circa 1830 km² au o densitate de putere mai mare de 400 W/m², ceea ce reprezintă 5,88% din întreg teritoriul, iar în cazul în care se consideră că pe un km² poate fi instalată o capacitate de 5 MW, atunci capacitatea electrică posibil de instalat pe întreg teritoriul RM va fi de aproximativ 9150 MW, ceea ce este o capacitate care depășește cu mult consumul actual al țării noastre.
11. În rezultatul validărilor s-a demonstrat că, viteza medie anuală a vântului poate fi estimată cu o eroare relativă cuprinsă între 1 și 10%, valoarea medie a erorii relative nu depășește 4%.
12. 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.

Implementarea rezultatelor obținute

Rezultatele acestei lucrări au servit ca bază pentru:

1. 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;
2. Se înscrie perfect în lista de *Acțiuni pentru Atingerea Obiectivelor PNAER*, punctul 58: ***Elaborarea unui studiu privind potențialul eolian și solar.***
3. 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 Consorțiul: Universitatea Tehnică a Moldovei - compania Wind Power Energy (România) și compania AWS Truepower (Spania) – unde autorul a participat ca membru al echipei de cercetare din partea UTM.
4. Rezultatele principale ale tezei au fost transmise Agenției pentru Eficiență Energetică în vederea realizării Atlasului Resurselor Energetice Eoliene.

Grupurile țintă sunt: universitățile din Moldova, consultanți locali și străini, Agenția pentru Eficiență Energetică, Agenția Națională de Reglementare în Energetică, Î.S. Moldelectrica, iar rezultatul preconizat ar fi creșterea interesului din partea investitorilor în SRE [106-109].

Aprobarea rezultatelor obținute

Rezultatele elaborărilor din cadrul tezei de doctor au fost publicate, prezentate și discutate în cadrul mai multor seminare, simpozioane și conferințe la nivel național și internațional:

- Ședințele catedrei *Electromecanică și Metrologie*, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova.
- *Conferințele Tehnico-științifice ale Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților* din anii 2010 - 2014, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova.
- *Simpozionul Științific Internațional al Inginerilor Români de Pretutindeni - SINGRO 2014*, ediția a XI-a, 23 - 24 octombrie, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova.
- *Conferința Internațională în Energii Regenerabile și Mediu*, 7-8 May 2014, Paris, Franța.
- *Conferința Internațională de Sisteme Electromecanice și Energetice, SIELMEN 2011, 2013, 2015*, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova.
- *Conferința Internațională a Comunicărilor Științifice AFASES 2011, 2012, 2013*, Academia Forțelor Aeriene „Henri Coanda”, Brașov, România.
- *Conferința Internațională a Tinerilor Cercetători, Ediția X*, 2012, Universitatea Liberă Internațională din Moldova, Chișinău, Republica Moldova.
- *Conferința Științifică Internațională a Studenților, Doctoranzilor și Tinerilor Cercetători “Geography and Geoecology Researches of Ukraine and Adjacent Territories 2013”*, Universitatea Națională Taurida, Simferopol, Ucraina.

Publicații:

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

Volumul și structura tezei

Teza cuprinde introducerea, 5 capitole, rezumatul în limbile română, engleză și rusă, lista abrevierilor, concluziile generale, lista bibliografică în număr de 114 titluri, 5 anexe. Numărul total de pagini este 142 (până la bibliografie), inclusiv 57 figuri și 32 tabele.

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 a evalua potențialul 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 analiză detaliată a diferitor metodologii utilizate pentru EPEE și se descriu amănunțit Metoda Atlasului Vântului și software specializat WASP. De asemenea, se studiază aplicabilitatea, limitele și erorile MAV și se determină precizia cu care această metodologie va permite evaluarea potențialului energetic eolian în condițiile Republicii Moldova.

Capitolul 3 *Procesarea și analiza datelor istorice despre vânt* prezintă a doua parte aplicativă a tezei. În acest capitol se face o descriere a surselor de date primare despre parametrii vântului, existente în RM. Totodată, sunt procesate datele istorice de la 18 stații meteo amplasate pe teritoriul RM, pentru o perioadă de 22 ani. Sunt interpretate grafic variațiile diurne și anuale ale vitezei vântului, atlasele stațiilor meteo și sunt identificate care din cele 18 stații meteo pot fi folosite ca

stații de reper pentru EPEE a unei regiuni. Tot aici au fost identificate principalele elemente de rugozitate și obstacolele care influențează în mod direct parametrii vântului.

Capitolul 4 *Potențialul energetic eolian al Republicii Moldova* prezintă a treia parte aplicativă a tezei. Folosind MAV și programul WAsP au fost calculată viteza medie anuală a vântului și a densității de putere pentru cele trei regiuni: nord, centru și sud ale RM la două înălțimi - 50 și 100 m deasupra nivelului solului și au fost elaborate 12 hărți digitale. În baza hărților obținute a fost calculat potențialul tehnic eolian al RM în termeni de: viteză medie anuală a vântului, densitate de putere a vântului și putere instalată. Rezultatele obținute au fost validate prin metoda comparării rezultatelor măsurate cu rezultatele calculate în același punct și la aceeași înălțime.

Capitolul 5 *Exemplu de utilizare a rezultatelor evaluării potențialului eolian pentru dezvoltarea unei Centrale Electrice Eoliene (CEE)* prezintă a patra parte aplicativă a tezei și reprezintă un exemplu de utilizare a unor rezultate obținute în teză pentru estimarea producției de electricitate. În acest capitol este prezentată metodologia de identificare a unui amplasament pentru o CEE în baza hărților densității de putere și calcularea cantității de energie pe care o poate produce aceasta. S-a acceptat o CEE din 20 turbine eoliene, având o capacitate totală instalată de 40 MW amplasată în regiunea centrală a RM.

Concluzii și recomandări. Acest compartimentul include o sinteză a rezultatelor obținute, problema științifică importantă soluționată și recomandări privind activitățile planificate pe viitor.

1. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND ESTIMAREA POTENȚIALULUI ENERGETIC EOLIAN PE PLAN NAȚIONAL ȘI MONDIAL

1.1. Noțiuni generale despre originea și caracteristicile vântului

Originea vântului

Masele de aer din troposferă la o altitudine de aproximativ 10 km deasupra nivelului mării se află într-o mișcare continuă. Vântul este mișcarea maselor de aer în raport cu suprafața Pământului și se datorează diferenței de presiune în diferite puncte ale atmosferei.

Regiunile din jurul ecuatorului la latitudinea $0^{\circ} \pm 30^{\circ}$ sunt încălzite de Soare mai puternic decât celelalte regiuni. Masele de aer cald din regiunile ecuatorului au o presiune mai mică, iar masele de aer din emisfera nordică și sudică, fiind mai reci, au o presiune mai mare. Aerul cald se ridică în sus și se răspândește spre nord și sud, fiind înlocuit de masele de aer rece. Astfel se formează vântul, ca mișcare ordonată a maselor mari de aer. Dacă Pământul nu s-ar roti, aerul cald ar ajunge la ambii poli geografici și s-ar întoarce înapoi spre ecuator. Deoarece Pământul se rotește, apare **forța Coriolis** care abate direcția de mișcare a maselor de aer spre vest în Emisfera de Nord, respectiv spre est – în Emisfera de Sud.

Asupra mișcării maselor de aer, adică a vântului, acționează forțele de frecare: dintre fluxul de aer și suprafața solului – forță de **frecare externă**; dintre fluxurile de aer de diferite direcții - forță de **frecare internă**.

Astfel, asupra mișcării maselor de aer în troposferă acționează următoarele forțe:

- Forța de presiune îndreptată de la masele de aer cu presiune ridicată (anticiclon) spre masele de aer cu presiune scăzută (ciclon);
- Forța Coriolis care acționează perpendicular pe direcția vitezei vântului și în Emisfera de Nord ea va acționa spre vest;
- Forța de frecare externă dintre fluxul de aer și suprafața solului.

Variația acestor forțe conduce la variația vitezei și direcției vântului, factori foarte importanți care trebuie să fie luați în considerație la proiectarea centralelor eoliene. Forța de presiune poate varia din cauza modificărilor locale a temperaturii aerului, efectelor de dilatare sau strangulare a fluxurilor de aer. Forța Coriolis variază numai în cazul modificării vitezei și direcției vântului. Forța de frecare externă depinde de particularitățile suprafeței terenului amplasamentului în cauză.

Teritoriul Republicii Moldova este influențat de doi factori climatici majori [1]: în perioada caldă a anului – de anticiclonele azorian; în perioada rece a anului – de anticiclonele siberian. Regimul vântului se formează sub acțiunea a două centre de presiune staționare deasupra Atlanticului de nord și Eurasiei și este caracterizat prin dominația a două direcții contrare ale vântului: dinspre NV și dinspre SE. Prin aceasta se explică procentul relativ mare al vânturilor dinspre NV (25–35% anual) și dinspre SE (15–25%).

Vânturi geostrofice și de suprafață

Vântul despre care s-a vorbit mai sus este numit *vânt global* sau *vânt geostrofic*, sau vânt paralel cu Pământul [2]. Vânturile geostrofice sunt condiționate de diferențele de temperatură a maselor de aer și, deci, de diferențele de presiune. Ele nu sunt influențate esențial de particularitățile suprafeței Pământului și circulă la înălțimi de peste 1000 m deasupra nivelului solului.

Vânturile de suprafață sunt acelea care au loc în stratul limitrof cuprins între suprafața solului și înălțimi de circa 100 m. Vânturile de suprafață sunt puternic influențate de *rugozitatea* suprafeței terenului și diferite *obstacole*, de asemenea, se va modifica viteza și direcția sub acțiunea formelor de relief ale suprafețelor în cauză, adică a *orografiei* terenului. Direcția vântului de suprafață va fi ușor schimbată și de forța Coriolis.

Trebuie să accentuăm faptul că, vorbind despre utilizarea energiei vântului, întotdeauna se are în vedere vântul de suprafață – vânt care este puternic influențat de diferiți factori și care trebuie să fie luați în considerație.

Vânturi locale

Deși vântul global este important în determinarea vântului ce predomină într-o anumită localitate, condițiile climatice locale pot influența esențial viteza și direcția acestuia. Așa numitele *vânturi locale* [3] se suprapun pe sistemele de vânturi globale. Astfel, viteza și direcția vântului va fi determinată de suma efectelor globale și locale. Ca exemplu de vânturi locale servesc *brizele de mare și brizele de uscat*. Efecte asemănătoare se produc deasupra acumulărilor mari de apă din Republica Moldova.

În zonele muntoase și de deal se produc așa numiții *curenți sau tuneluri de vânt* [4]. Ca exemplu pot servi curentul Foehn și Mistral în Europa, Chinook în Munții Stâncoși, Zona în munții Anzilor de pe continentul american.

Văile râurilor și cele din zonele deluroase din RM, probabil, produc efecte asemănătoare, care influențează puternic vântul. Acest efect poate fi mai pronunțat în văi, direcția cărora coincide cu direcțiile predominante ale vântului la scară largă. Pentru a sesiza această influență asupra vântului local, la nivel micro, aducem un singur exemplu, bine cunoscut tuturor chișinăuenilor: intersecția bulevardului Ștefan cel Mare și Sfânt cu strada Pușkin este întotdeauna supusă unui vânt mai puternic decât cel din Piața Marii Adunări Naționale, chiar și atunci când se pare că vântul nu bate. Aceasta se explică prin strangularea curentului de aer, care are direcția predominantă dinspre nord-vest, de către clădirea magazinului universal “Gemenii” și clădirea de vis-à-vis, adică se produce același efect local de curent sau tunel de vânt.

Mai sus a fost menționat faptul că vântul de suprafață este puternic influențat de particularitățile terenului. În Tabelul 1.1. sunt prezentate valorile factorului de frânare a vitezei vântului pentru cele mai răspândite landșafturi [5].

Tabelul 1.1. Factorul de frânare a diferitor categorii de landșafturi [5]

Nr. crt.	Categoria stratului de suprafață	Factorul de frânare
1.	Suprafața apei. Teren deschis și neted.	0,10
2.	Iarbă joasă	0,14
3.	Iarbă înaltă, culturi agricole	0,16
4.	Arbori singuratici	0,20
5.	Fâșii de pădure	0,22
6.	Livezi, construcții fermiere	0,40
7.	Localități rurale, suburbii	0,28
8.	Pădure	0,30
9.	Sectoare urbane	0,40

Factorul de frânare arată cu cât se micșorează viteza vântului în stratul cu înălțimea de 30 m de la suprafața solului. Cea mai mică influență este de asupra suprafeței apei. Pentru a diminua influența stratului de suprafață este necesar ca înălțimea turnului instalației eoliene să fie mai mare de 30 m.

Un efect invers se observă deasupra dealurilor sau colinelor singuratice - are loc mărirea vitezei vântului, cauza fiind concentrarea liniilor fluxului de aer pe panta dinspre direcția vântului. Pe panta opusă direcției vântului are loc reducerea vitezei. În Tabelul 1.2. sunt prezentate valorile factorului mezoclimateric de variație a vitezei [6], care prezintă raportul dintre viteza vântului deasupra unei coline (înălțimi) și viteza deasupra unui teren plat, pentru care acest factor este egal cu 1.

Tabelul 1.2. Factorul mezoclimateric în dependență de tipul stratului de suprafață [6]

Nr. crt.	Tipul stratului de suprafață	Factorul mezoclimateric	
		<i>Minimal</i>	<i>Maximal</i>
1.	Câmpii, văi cu lățimea mai mare de 4 km	1	1
2.	Văi înguste paralele cu direcția vântului	1,5	1,8
3.	Văi înguste perpendiculare pe direcția vântului	<0,6	0,6
4.	Trecători în munți	1,8	2,5
5.	Excavație, depresiune	0,4	0,9
6.	Pantă dinspre direcția vântului	1,2	2,0
7.	Pantă opusă direcției vântului	0,7	0,9
8.	Platou, vârful dealului	2,0	4,0
9.	Banc, cap, baraj	2,0	3,0

Legătura dintre viteza vântului și energie

Energia unui flux de aer care se mișcă cu o viteză liniară v se determină cu expresia energiei cinetice

$$E_c = m \frac{v^2}{2}, \quad (1.1)$$

unde: m – este masa aerului în mișcare determinată de densitatea aerului și volumul V care străbate o suprafață oarecare S într-o unitate de timp

$$m = \rho V = \rho S v. \quad (1.2)$$

Unitatea de măsură a masei din expresia (1.2) este kg/s și substituind în (1.1) vom obține puterea fluxului de aer în $wați$:

$$P_c = \frac{1}{2} \rho S v^3. \quad (1.3)$$

Este evident că nu toată energia fluxului de aer va fi transformată de către turbina eoliană în energie mecanică. Cantitatea maximală de energie care poate fi obținută de la vânt este determinată de factorul de putere C_p numit și factorul Betz [7,8], valoarea teoretică a căruia nu depășește 0,593. Așadar, puterea furnizată de turbină va fi:

$$P = C_p P_c = \frac{1}{2} C_p \rho v^3. \quad (1.4)$$

La presiune atmosferică normală și la temperatura de 15°C densitatea aerului este 1,225 kg/m³. Dacă înălțimea deasupra nivelului mării variază între 0 și 100 m, variația densității nu depășește 5% și în calculul din acest paragraf o considerăm constantă. Prin urmare, un metru pătrat de suprafață baleiată de paleta turbinei eoliene poate produce puterea

$$P = 0,61 C_p v^3. \quad (1.5)$$

Factorul C_p pentru cele mai performante turbine eoliene nu depășește 0,45-0,48 și, deci, puterea utilă mecanică care poate fi obținută de la un metru pătrat de suprafață va fi de circa

$$P_u \approx 0,3 v^3. \quad (1.6)$$

În Tabelul 1.3. sunt prezentate valorile potențialului unui flux de aer în termeni de densitate de putere, calculate conform (1.3) și puterii utile, calculate conform (1.6). Valorile corespund suprafeței de 1 m². Densitatea de putere a unui flux de aer și puterea utilă maximală care poate fi obținută de pe 1 m² de suprafață se calculează ținându-se cont că: $\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3}$; $C_p = 0,48$.

Tabelul 1.3. Densitatea de putere a unui flux de aer și puterea utilă

Viteza vântului, m/s	Potențialul fluxului de aer, W/m ²	Puterea utilă, W/m ²
4	39,0	19,0
6	132,0	65,0
8	314,0	154
10	613,0	300,0
12	1058,0	518,0

1.2. Primele încercări în elaborarea Cadastrului energetic eolian al Republicii Moldova

Primele încercări de evaluare a potențialului energetic eolian al Republicii Moldova au fost făcute încă în anii '70 ai secolului trecut [10] când țara noastră făcea parte din fosta U.R.S.S. La acel moment, totalitatea informației despre vânt a unei regiuni sau țări a fost numită Cadastru Energetic Eolian (CEE). Noțiunea de Cadastru este foarte largă și semnifică un registru în care sunt trecute datele identificate despre un teritoriu oarecare, de exemplu, cadastrul funciar conține date tehnice și economice privind fondul funciar la nivel de sat, comună, oraș, țară; cadastrul rețelelor electrice și de infrastructură – conține date despre rețelele electrice, termice, canalizare, alimentare cu apă, etc.

În această perioadă au apărut primele lucrări în domeniul CEE al Moldovei [11], Bielorusiei [12] și al altor foste republici unionale. Până la acea perioadă, energia eoliană se evalua ca o mărime medie integrală care putea fi obținută de pe o unitate de suprafață folosind o turbină eoliană convențională. Deși această caracteristică prezintă o oarecare valoare științifică pentru evaluări comparative și ilustrarea eventualelor perspective de utilizare a energiei vântului, ea nu poate fi folosită pentru calculele tehnice și economice ale unui proiect de implementare. Cu această ocazie în [13] se menționa că cadastrul energetic eolian trebuie să prezinte date obiective numerice cu privire la variația în timp a caracteristicilor climaterice în localitatea dată, luând în considerație și particularitățile specifice ale teritoriului din jurul amplasamentului. Evaluarea potențialului energetic eolian se bazează pe așa numitele date factologice istorice, obținute în trecut pe o perioadă de minimum zece ani. Acestea sunt rezultatele măsurărilor efectuate de serviciile meteorologice ale țării respective cu privire la direcția și viteza vântului. În lucrările [11, 12] au fost folosite datele măsurărilor periodice (doar patru măsurări în 24h) pe perioada anilor 1947 – 1956. Ambii autori menționează influența puternică asupra rezultatelor măsurărilor a condițiilor topografice în care este amplasat aparatul de măsurare. Din 14 stații meteorologice, amplasate pe teritoriul Moldovei la acea vreme, numai trei (Soroca, Camenca, Voroncovo) erau amplasate pe un teritoriu relativ deschis. Aceeași situație este caracteristică și pentru alte stații amplasate pe teritoriul fostei U.R.S.S. [12]. Introducând diferite criterii de caracterizare a landșaftului, autorii acestor lucrări încearcă să normalizeze rezultatele măsurărilor efectuate pentru diferite înălțimi de amplasare a anemometrului și diverse condiții topografice. De asemenea, a fost propusă și metoda de evaluare a producției de energie bazată pe caracteristica de putere a turbinei în funcție de viteza vântului și caracteristicile de repetitivitate ale vitezelor vântului [12]. Însă, cercetările nu au fost finisate și aduse la o variantă

finală care ar fi dat posibilitatea de a dezvolta acest domeniu. Totodată, la acel moment a demarat procesul de electrificare masivă și interesul față de energetica eoliană s-a diminuat considerabil, iar după anul 1980 finanțarea lucrărilor de cercetare-dezvoltare în domeniu practic s-a stopat.

1.3. Studii recente privind evaluarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova

Estimările Universității Tehnice a Moldovei vis-a-vis de potențialul energetic eolian al Republicii Moldova

După o perioadă de aproximativ 30 de ani de la inițierea primelor studii pentru crearea Cadastrului Energetic Eolian, această tematică reapare în vizorul cercetătorilor de la Universitatea Tehnică a Moldovei în anii 2001-2003, când echipa de la facultatea de Energetică și Inginerie Electrică, sub conducerea profesorului universitar, Petru Todos, a câștigat proiectul “Elaborarea Cadastrului Energetic Eolian al Republicii Moldova”, finanțat de Consiliul Suprem pentru Știință și Dezvoltare al Republicii Moldova [14].

Obiectivul general al proiectului în cauză a fost conceperea și elaborarea Cadastrului Energetic Eolian al Republicii Moldova ca bază obiectivă pentru argumentarea tehnică și economică a proiectelor de implementare a instalațiilor eoliene.

În baza studiilor teoretice și cercetărilor experimentale, principalele concluzii ale proiectului în cauză, care merită a fi reținute, sunt următoarele:

1. Valorile medii multianuale ale vitezei vântului, care sunt accesibile în literatura de specialitate, nu conțin informații suficiente pentru aprecierea potențialului energetic eolian în diferite zone ale republicii, cu atât mai mult în amplasamente concrete [14, 15].
2. Activitățile echipei de cercetare s-au axat pe studiul climatologiei vântului în punctele amplasării anemometrelor ale celor 17 stații ale Serviciului Hidrometeorologic de Stat (SHMS). Ultimul a pus la dispoziția echipei datele istorice despre vânt pentru o perioadă de 10 ani - 1990-1999. Pentru procesarea datelor s-a utilizat modelul elaborat de țările UE, cunoscut sub denumirea de WAsP, versiunea 2.1.
3. Folosind pachetul de programe WAsP s-au procesat datele istorice despre vânt pentru o perioadă de 10 ani [16], obținându-se următoarele date în formă grafică și tabelară:

- funcția densitate de probabilitate a direcției vântului pentru fiecare din cele 12 sectoare azimutale;
 - funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului pentru fiecare sector (histogramele distribuției vitezei vântului);
 - parametrii A și k ai aproximării Weibull a funcției densitate de probabilitate;
 - ponderea vitezelor vântului pe gradații și parametrii Weibull pentru toate 12 sectoare.
4. S-au obținut Atlasele Vântului pentru 17 stații meteorologice. Datele Atlasului Vântului pot fi folosite ca date de intrare pentru evaluarea potențialului energetic eolian într-un punct sau zonă de interes, în care nu s-au făcut măsurări.
5. S-a completat baza de date privind fiecare din cele 17 stații meteorologice pe teritoriul Republicii Moldova [14, 15] care cuprinde:
- rezultatele înregistrărilor sistematice din trei în trei ore pe o perioadă de 10 ani (1990-1999) furnizate de SHMS;
 - descrierea obstacolelor pentru 10 stații meteorologice pe o distanță de 500 m de la turnul de măsurare;
 - descrierea rugozităților pe sectoare pentru 10 stații meteorologice pe o distanță de 5 km de la turnul de măsurare;
 - harta digitală a orografiei terenului la scara 1:200 000, distanța între liniile de contur este egală cu 20 m.
6. S-au analizat rezultatele procesării datelor istorice despre vânt și, în comparație cu datele publicate anterior, s-a constatat [14, 15, 18, 19]:
- dominația a două direcții prioritare contrare ale vântului: nord-vest și sud-est;
 - o influență puternică a obstacolelor, care au apărut în jurul turnurilor de măsurare. Cele mai mari viteze medii anuale ale vântului se constată la Ceadâr-Lunga și Cahul, deoarece aici, anemometrele sunt amplasate în zonele deschise ale fostelor aeroporturi;
 - pentru zona de sud au fost recomandate ca stații meteorologice reprezentative Ceadâr-Lunga și Cahul, pentru zona de nord - Bălți și Soroca;
 - datele primare de la stațiile Bravicea, Camenca, Dubăsari, Râbnița și Ștefan-Vodă nu sunt veridice din cauza contrazicerii formelor histogramelor cu repartiția unei variabile aleatorii.

7. Ca zone de perspectivă pentru energetica eoliană au fost menționate:
 - Dealurile Thigheciului;
 - Podișul Moldovei Centrale;
 - Dealurile Nistrene.
8. Pentru prima dată în Republica Moldova s-au efectuat măsurări ale caracteristicilor vântului în regim continuu la înălțimea de 50 m deasupra solului pe o perioadă de 11-14 luni în trei amplasamente - Buțeni, Baurci și Ratuș. În acest scop au fost utilizate sisteme specializate pentru măsurarea caracteristicilor vântului EKO 21B produse de firma olandeză EKOPOWER [20]. În viziunea autorului tezei, rezultatele obținute prezintă o importanță aparte, deoarece s-a răspuns la întrebarea: sunt sau nu vânturi în Moldova care merită a fi exploatate în scopuri energetice? Răspunsul este pozitiv și acesta a condus la schimbarea opiniei mediului academic, factorilor de decizie la nivel central și a potențialilor investitori. Pe durata măsurărilor s-au constatat următoarele valori medii ale vitezei vântului: Baurci - 6,44 m/s; Ratuș - 6,31 m/s; Buțeni - 6,06 m/s. Ponderea vitezelor lucrativă ale vântului (mai mari de 5,0m/s) constituie: Baurci - 77,6%; Buțeni - 75,6%; Ratuș - 74,1%.
9. În baza înregistrărilor sistematice ale caracteristicilor vântului pe o perioadă de 10 ani și în baza măsurărilor efectuate în perioada august 2002 - decembrie 2003 s-a elaborat harta potențialului energetic eolian a RM la înălțimea de 70 metri de la sol, Figura 1.1. Autorii studiului menționează că harta elaborată prezintă o primă iterație și sunt necesare studii suplimentare privind descrierea obstacolelor, rugozităților și orografiei terenului.

Totodată, menționăm și unele lacune ale investigațiilor realizate în proiectul “Elaborarea Cadastrului Energetic Eolian al Republicii Moldova”:

1. Harta potențialului eolian la înălțimea de 70 m deasupra solului nu răspunde la una din principalele întrebări - care este potențialul eolian al Republicii Moldova, fie teoretic sau tehnic, sau a unor zone, regiuni? Cauza este următoarea: versiunea programului WAsP 2.1 și capacitatea de calcul a calculatoarelor, utilizate la momentul respectiv, nu permiteau discretizarea suprafețelor mari de teren, de exemplu, cu un pas de 50-100 m. Autorii studiului au calculat viteza și densitatea de putere eoliană în diferite puncte situate la distanțe relativ mari (câțiva km), apoi au efectuat zonarea (hașurarea) hărții în ipoteza că viteza și densitatea de putere sunt constante. De asemenea, nu avem răspuns la întrebarea privind potențialul electric eolian, cu alte cuvinte, capacitatea eoliană, în termeni de putere electrică,

care poate fi instalată într-o regiune oarecare. Cunoașterea acestui indicator este importantă în luarea deciziilor strategice privind dezvoltarea sectorului energiei regenerabile.

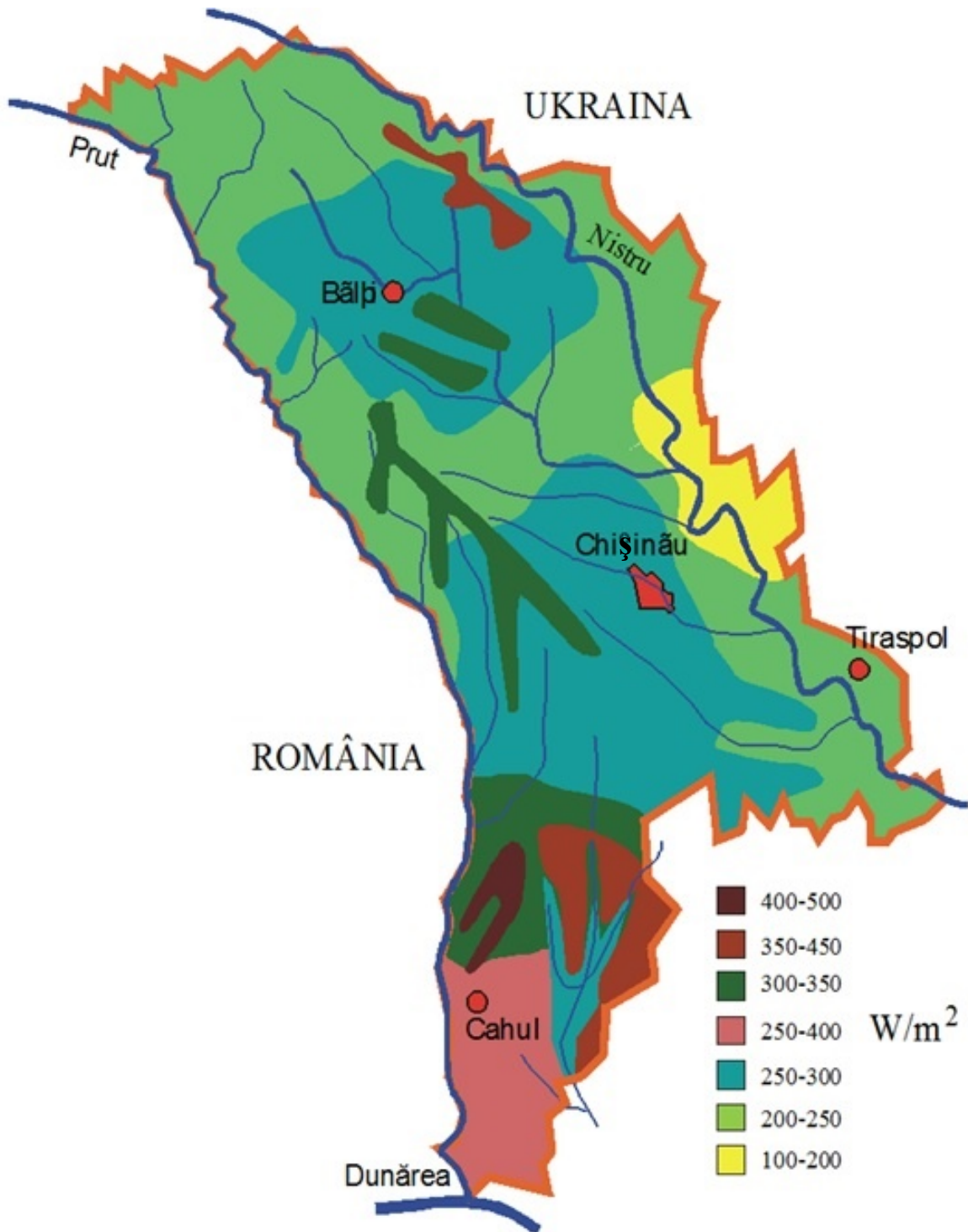


Figura 1.1. Harta potențialului energetic eolian al RM la înălțimea de 70 metri de la sol

2. În ambele studii, proiectul [14] și în prezenta teză, pentru prezicerea vântului se utilizează aceeași metodă – Metoda Atlasului Vântului (vezi detaliat Capitolul 2). Punctul în care s-au efectuat măsurări este numit punct sau amplasament de referință, iar punctul pentru care se efectuează estimarea potențialului eolian – punct sau amplasament prezis. Eroarea prezicerii potențialului eolian depinde de mai mulți factori, principalii fiind: gradul de accidentare a terenului pentru ambele amplasamente – cel de referință și cel prezis, descris de indicatorul de accidentare RIX (ruggedness index) și al doilea - factorul de performanță orografică (orographic performance indicator), care este definit ca diferența dintre indicatorii RIX ai amplasamentului de referință și celui prezis, prin expresia $\Delta RIX = RIXR - RIXP$ și este exprimat în procente. Eroarea prezicerii este proporțională cu ΔRIX . Versiunea programului WAsP 2.1 folosită în [14] nu prevede calculul acestor factori și nu pot fi făcute concluzii privind eroarea prezicerii în punctele în care nu s-au făcut măsurări, respectiv a valorilor densității de putere prezentate pe harta potențialului eolian din Figura 1.1.
3. Înălțimea de 70 m deasupra solului pentru care a fost elaborată harta din Figura 1.1. corespunde turbinelor eoliene cu puterea de 500-1000 kW – cele mai uzuale turbine utilizate 15-20 ani în urmă. În Republica Moldova este rațional să fie promovate turbine cu puterea de 2000-3000 kW. Înălțimea turnului este egală cu 90-125 m. Din acest motiv, în prezenta lucrare, s-au elaborat hărțile potențialului eolian la înălțimea de 100 m deasupra solului, iar pentru implementarea proiectelor mici cu puterea de zeci sau sute de kW - hărțile potențialului eolian la înălțimea de 50 m deasupra solului.

Estimările Institutului de Ecologie și Geografie al Academiei de Științe a Moldovei cu privire la potențialul energetic eolian al Republicii Moldova

Reieșind din faptul că RM este o țară în care agricultura este ramura prioritară a economiei naționale, pentru a planta culturile agricole în condiții adecvate, este necesar să cunoaștem distribuția spațială pentru radiația solară, temperatura aerului și precipitațiile atmosferice. Din acest motiv, echipa de cercetare de la Institutul de Ecologie și Geografie al Academiei de Științe a Moldovei au realizat Atlasul Climatic Digital al Republicii Moldova.

Atlasul Climatic Digital al Republicii Moldova conține 34 hărți ale valorilor medii a patru indicatori climatici de bază – radiația solară, temperatura aerului, precipitațiile atmosferice și viteza vântului

[22]. Hărțile digitale elaborate pentru Atlas au fost executate cu software specializate recent implementate - ArcView și ArcGIS GIS.

Atlasul Climatic Digital al Republicii Moldova conține următoarele compartimente ale indicilor climatici principali:

1. Radiație solară totală, directă și difuză pe parcursul unui an și în perioada caldă – 8 hărți;
2. Temperaturile medii anuale, sezoniere și lunare - 17 hărți;
3. Suma precipitațiilor atmosferice anuale și sezoniere, pentru perioada caldă și rece a anului - 7 hărți;
4. Viteza medie anuală a vântului - 2 hărți.

Autorii Atlasului au folosit Sisteme Informaționale Geografice (SIG), care reprezintă o tehnică de lucru tot mai utilizată în lumea modernă, atât în domeniul cercetărilor teoretice, cât și în multiple activități practice. SIG-ul constituie un sistem ce include componente de tip informațional raportate la coordonatele geografice reale. Introducerea, stocarea, manipularea și analiza componentelor se face cu ajutorul calculatorului, ceea ce permite, pe de o parte, „vizualizarea” unor informații complexe referențiale spațiale față de coordonatele geografice reale, iar pe de altă parte, efectuarea unor analize și corelații de mare complexitate, imposibil de realizat eficient cu tehnicile clasice [23].

În Figura 1.2. este prezentată harta vitezei medii a vântului la înălțimea de 10 m deasupra solului, obținută de echipa de cercetare de la Institutul de Ecologie și Geografie al Academiei de Științe a Moldovei.

Ca material inițial au servit datele lunare sezoniere și anuale pentru o perioadă de 30 de ani (1981-2010), înregistrate la stațiile SHMS. Toate hărțile au fost elaborate la scara 1:1500000 în proiecția Universal Transverse Mercator (UTM), utilizând metoda modelării cartografice.

Hărțile din Atlasul Climatic Digital al RM, obținute de echipa de cercetare de la Institutul de Ecologie și Geografie al Academiei de Științe a Moldovei, au o importanță majoră din punctul de vedere al agriculturii, permițând soluționarea unui șir de probleme ce apar la plantarea diferitor tipuri de culturi. De asemenea, aceste hărți sunt importante prin faptul că acestea compensează lipsa informației actualizate privind resursele climatice regionale și vin să ne explice, într-o oarecare măsură, ritmul accelerat al schimbărilor climatice.

Referitor la importanța acestor studii pentru dezvoltarea energiei eoliene, menționăm:

- harta este elaborată pentru înălțimea de 10 m deasupra nivelului solului, aceasta fiind o zonă de interes pentru agricultură și mai puțin pentru energetica eoliană, cu excepția microturbinelor cu puterea de până la 3-5 kW.
- nu s-a luat în considerație efectul de umbrire al anemometrelor provocat de obstacole, astfel, folosindu-se din start date eronate;
- nu s-au validat rezultatele calculului.

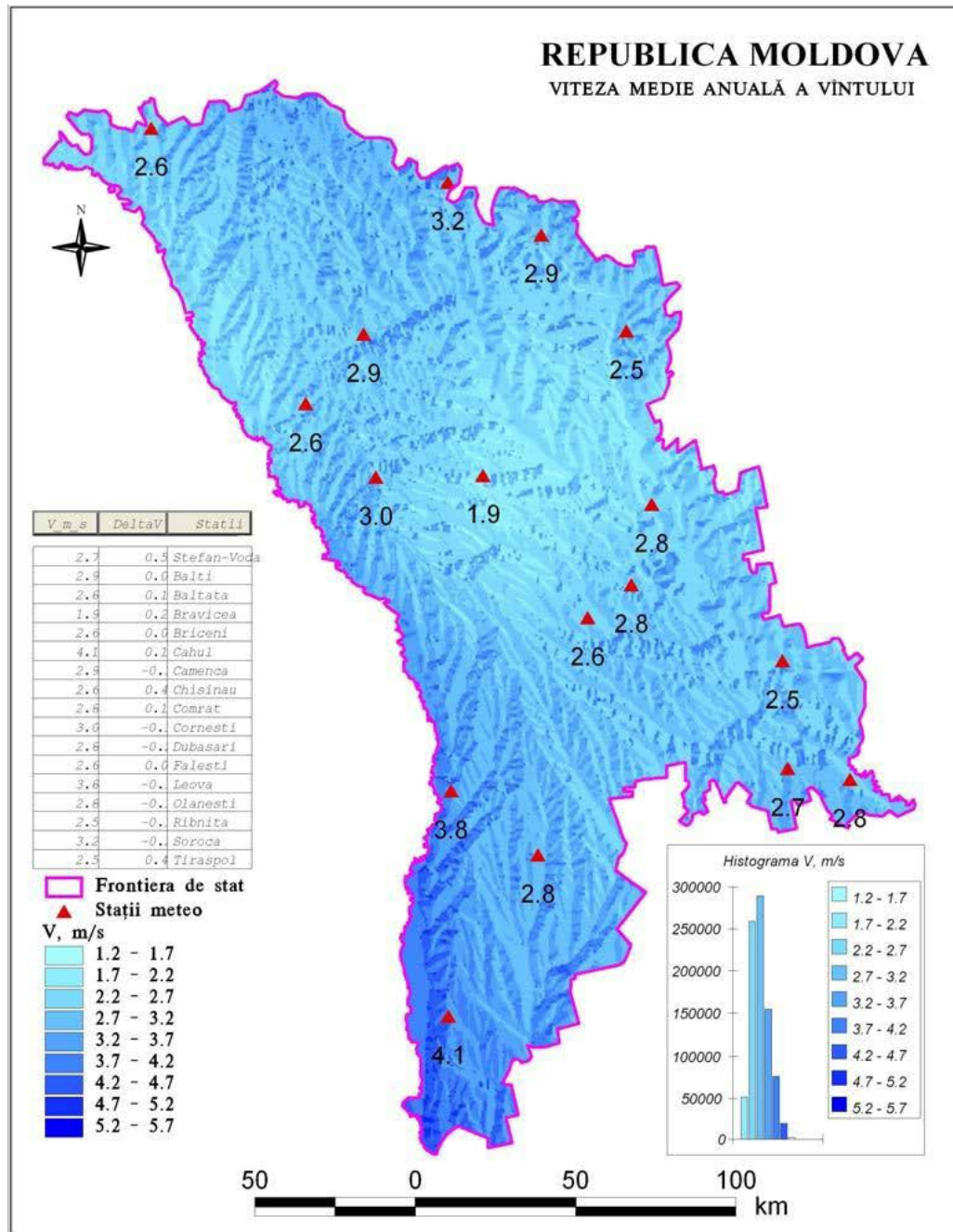


Figura 1.2. Harta vitezei medii anuale a vântului la înălțimea de 10 m [22]

1.4. Atlasul European al Vântului – prima lucrare amplă la nivel internațional în domeniu

Atlasul European al Vântului este un studiu realizat de RISO National Laboratory [9] pentru Comisia Comunității Europene (CE) și publicat în 1989. Atlasul include hărțile potențialului eolian ale celor 15 țări membre ale Comunității Europene. Atlasul European al Vântului include:

- un set enorm de date despre clima vânturilor, conținând statistici exhaustive de la 220 de stații meteorologice care acoperă întreaga CE, plus hărți color ale resurselor energetice eoliene pentru fiecare țară a CE.
- un manual de evaluare regională a resurselor eoliene și de amplasare locală a turbinelor, inclusiv proceduri de calcul al efectelor provocate de obstacole, rugozități și orografia terenului asupra producției de energie.
- o bază de date pentru estimarea resurselor eoliene în țările CE, fie la scară regională, fie pentru un anumit amplasament.

Atlasul este compus din trei părți, fiecare parte fiind destinată unei anumite categorii de cititori, de la începători și până la meteorologi profesioniști.

Partea I: Resursele Eoliene

Oferă o imagine de ansamblu asupra climatului vântului și asupra alocării resurselor eoliene în țările CE. Această parte a Atlasului este destinată, în general, politicienilor, planificatorilor și amatorilor. Descrierile, figurile, tabelele și hărțile colorate permit identificarea rapidă a regiunilor cu resurse eoliene favorabile.

Partea II: Determinarea Resurselor Eoliene

Oferă explicații și informații necesare în scopul evaluărilor regionale ale resurselor eoliene și amplasarea locală a turbinelor eoliene. De asemenea, aceasta conține statistici ale datelor istorice despre vânt și atlasele vântului pentru fiecare din cele 220 de stații meteorologice. Totodată, include metode de calcul al influenței pădurilor, dealurilor, clădirilor asupra resurselor eoliene. Pentru determinarea resurselor energetice se folosește Wind Analysis and Applications Programmes (WASP). Partea II conține explicații logice și argumentate cu privire la următoarele noțiuni: rugozitatea unui teren; efectul obstacolelor; efectul variațiilor înălțimii terenului; potențialul energetic eolian regional; utilizarea hărților resurselor eoliene; amplasarea turbinelor; clasificarea

rugozităților; calculul statistic al unui site; orografia; capacitatea produsă; funcția densitate de putere; optimizarea producției de energie; descrierea stației, etc.

Partea III: Modele și Analiză

În acest compartiment se descrie detaliat principiul de funcționare al programului WAsP, cât și principalele instrumente ale acestuia. Tot aici sunt explicate principalele modele, cum ar fi: modelul rugozităților; modelul orografic; modelul Atlasului Vântului - analiză; modelul Atlasului Vântului – aplicare; limitele și erorile; metodele de validare a rezultatelor, etc.

Atlasul European al Vântului (AEV) este ilustrat cu 15 hărți color, culorile cărora semnifică resursele energetice eoliene disponibile. Hărțile date pot fi utilizate pentru două scopuri de bază, primul fiind identificarea regiunilor cu potențial energetic eolian promițător, iar cel de-al doilea fiind de a prezenta diferențele relative în ceea ce privește resursele eoliene și amplasarea acestora pe întreg teritoriul Europei.

Hărțile prezintă resursele eoliene ale regiunilor mari și deschise aflate la o anumită distanță de la munți și dealuri înalte. Modificarea bruscă de la o culoare la alta nu reflectă realitățile existente, fiind doar o tehnică de reprezentare grafică a rezultatelor obținute. De asemenea, hărțile nu prezintă date sigure pentru regiunile muntoase și puternic fragmentate (accidentate).

În Figura 1.3. este prezentată distribuția resurselor eoliene la înălțimea de 50 m deasupra solului și datele numerice ale vitezei medii a vântului și densitatea de putere pentru cinci condiții topografice diferite.

Autorii AEV, în baza hărților obținute și studiilor efectuate, au ajuns la concluzia că zone potențiale pentru dezvoltarea tehnologiilor eoliene sunt disponibile pe întreg teritoriul țărilor UE. Regiunile cu cele mai mari resurse energetice eoliene sunt: insulele Marii Britanii, regiunea Mării Nordului, Peninsula Iberică și o mare parte din insulele Greciei [9].

AEV a fost și este una din cele mai voluminoase lucrări la nivel mondial în domeniul evaluării resurselor energetice eoliene. Acest produs al Comunității Europene a avut o importanță enormă în dezvoltarea energiei eoliene și în evoluția extrem de rapidă a tehnologiilor din acest domeniu.

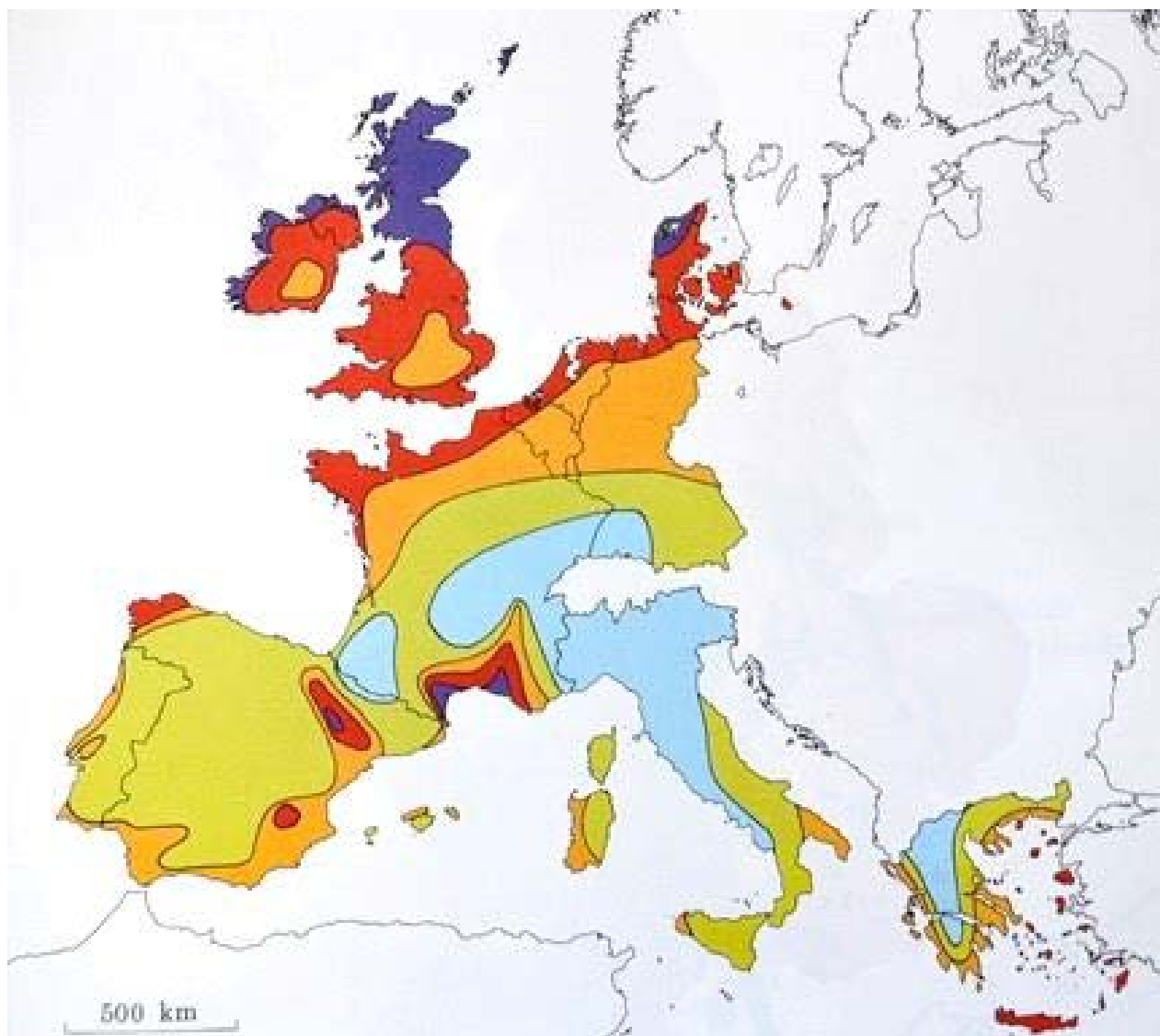


Figura 1.3. Distribuția resurselor eoliene în țările UE la înălțimea de 50 m, anul 1989 [9]

Tabelul 1.4. Legenda hărții – descifrarea culorilor hărții din Figura 1.3. [9]

Wind resource ¹ at 50 m above ground level for five different topographic conditions										
Color cod	Sheltered terrain ²		Open plain ³		At a sea coast ⁴		Open sea ⁵		Hills and ridges ⁶	
	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	kW/m ²
	>6,0	>250	>7,5	>500	>8,5	>700	>9,0	>800	>11,5	>1,8
	5,0-6,0	150-250	6,5-7,5	300-500	7,0-8,5	400-700	8,0-9,0	600-800	10-11,5	1,2-1,8
	4,5-5,0	100-150	5,5-6,5	200-300	6,0-7,0	250-400	7,0-8,0	400-600	8,5-10,0	0,7-1,2
	3,5-4,5	50-100	4,5-5,5	100-200	5,0-6,0	150-250	5,5-7,0	200-400	7,0-8,5	0,4-0,7
	<3,5	<50	<4,5	<100	<5,0	<150	<5,5	<200	<7,0	<0,4

Din legenda hărții avem:

1. „Wind resources” semnifică resursele eoliene în termeni de viteza vântului și densitatea de putere eoliană calculate pentru o densitate constantă a aerului de $1,23 \text{ kg/m}^3$, la o presiune constantă a aerului la nivelul mării și pentru o temperatură de 15°C .
2. „Sheltered terrain” - așezări urbane și rurale, ferme și păduri.
3. „Open plain” - landșafturi întinse și deschise cu câțiva arbori singuratici sau fâșii de protecție.
4. „At a sea coast”- terenuri la țărmul mării sau a oceanului.
5. „Open sea”- în largul mării.
6. „Dealuri și creste de dealuri” - dealuri asimetrice ce asigură creșterea vitezei vântului cu până la 50%.

Lucrarea AEV nu ar fi avut un asemenea succes dacă aceasta nu ar fi fost însoțită de softul specializat Wind Atlas Analysis and Application Programme. Actualmente, programul WASP este un standard industrial acceptat la nivel mondial pentru evaluarea potențialului eolian, amplasarea turbinelor și parcurilor eoliene. De asemenea, trebuie de accentuat că rezultatele obținute cu ajutorul programului WASP sunt acceptate de băncile europene în scopul obținerii creditelor pentru finanțarea proiectelor eoliene.

În prezent, există mai mult de 4300 de utilizatori din peste 110 țări, care folosesc WASP pentru toate etapele - de la analiza efectelor vântului și terenului până la estimarea producției unui parc eolian.

Programul WASP poate fi aplicat pentru următoarele activități:

- Analiza datelor despre vânt;
- Estimarea climei vântului;
- Generarea atlasului vântului;
- Digitalizarea și editarea hărților;
- Crearea hărților resurselor vântului;
- Estimarea potențialului energetic eolian;
- Identificarea suprafețelor pentru amplasarea parcurilor eoliene;
- Amplasarea turbinelor eoliene;
- Editarea curbei de putere a turbinei.
- Calcularea producției unei turbine sau a unui parc eolian;
- Validarea rezultatelor.

1.5. Scopul general al tezei și sarcinile necesare de realizat

Scopul general al tezei este evaluarea potențialului energetic eolian și crearea suportului informațional pentru valorificarea resurselor energetice eoliene, care va servi drept referință în amplasarea eventualelor Centrale Electrice Eoliene și vor justifica includerea energiei eoliene în circuitul economic național al Republicii Moldova. Această lucrare vine să soluționeze neajunsurile studiilor descrise mai sus și se încadrează perfect în politica statului privind promovarea energiilor regenerabile. Drept exemplu menționăm: Strategia Sectorială de Cheltuieli în Domeniul Energetic pentru perioada 2013 – 2015 [<http://www.mf.gov.md/files/files/Acte%20Legislative%20si%20Normative/CBTM/20132015/Anexa%2024%20Sectorul%20energetic.pdf>] și Planul Național de Acțiuni în Domeniul Energiei din Surse Regenerabile pentru anii 2013-2020 [Hotărârea Guvernului nr. 1073 din 27 decembrie 2013], în care au fost planificate studii privind crearea bazei informaționale ce se referă la potențialul diferitor surse regenerabile de energie.

Lucrarea de față a urmărit următoarele **obiective**:

Obiectivul 1. Identificarea metodologie și software utilizat pentru evaluarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 1:

- ✓ identificarea metodelor și software utilizate pentru evaluarea potențialului energetic eolian (EPEE) la nivel național și internațional;
- ✓ identificarea avantajelor și dezavantajelor metodelor și software utilizate pentru EPEE;
- ✓ argumentarea metodei care urmează a fi folosită pentru EPEE a RM;
- ✓ studiul aplicabilității limitelor și erorilor Metodei Atlasului Vântului (MAV) în condițiile Republicii Moldova.

Obiectivul 2. Procesarea datelor despre vânt.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 2:

- ✓ procesarea datelor despre vânt de la 18 stații meteorologice, amplasate pe teritoriul RM;
- ✓ elaborarea și analiza variațiilor diurne, lunare și anuale ale vitezei vântului;
- ✓ crearea atlaselor vântului pentru cele 18 stații hidrometeorologice folosind ca date de intrare datele istorice despre vânt și Sisteme Informaționale.

Obiectivul 3. Evaluarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova.

Obiective specifice în cadrul obiectivului 3:

- ✓ elaborarea hărților digitale ale rugozităților, pentru cele trei regiuni în care a fost împărțit teritoriul RM: nord, centru și sud, și transformarea acestora în formatul admis de programul specializat Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP);
- ✓ 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 deasupra solului;
- ✓ evaluarea, în baza hărților calculate, a potențialului teoretic eolian în termeni de viteză medie anuală 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.

Obiectivul 4. Dezvoltarea unei eventuale Centrale Electrice Eoliene (CEE).

Obiective specifice în cadrul obiectivului 4:

- ✓ identificarea și selectarea amplasamentului cu potențial eolian pronunțat și poziționarea preliminară a turbinelor eoliene;
- ✓ modelarea caracteristicile principale ale turbinei eoliene;
- ✓ estimarea producției de energie.

Concluzii la Capitolul 1

Investigațiile teoretice și analiza critică a lucrărilor din domeniul evaluării potențialului energetic eolian la nivel de țară, cât și la nivel mondial au generat formularea următoarelor concluzii:

1. Vântul geostrofic deasupra teritoriului Republicii Moldova este format sub acțiunea a două centre anticiclone din Atlanticul de Nord și cel Euroasiatic, cu direcțiile preponderente nord – vest și sud – est.
2. Densitatea de putere a vântului este proporțională cu cubul vitezei, ceea ce impune o apreciere riguroasă a valorii acesteia pentru a putea obține rezultate veridice la evaluarea potențialului energetic eolian.
3. Primele încercări de evaluare a potențialului energetic eolian al Republicii Moldova au fost făcute în anii '70 ai secolului trecut, dovadă fiind lucrările [10 - 13]. Însă, datorită faptului că la acel moment a demarat procesul de electrificare masivă a țării și costul energiei nu reflecta cheltuielile reale, interesul față de energetica eoliană a diminuat considerabil, iar prin anii 1980 finanțarea cercetărilor în acest domeniu practic s-a stopat.

4. În anii 2001-2003 cercetătorii de la Universitatea Tehnică a Moldovei au propus o nouă abordare a evaluării potențialului energetic eolian numit “Elaborarea Cadastrului Energetic Eolian al Republicii Moldova”. Acesta a fost însoțit în exclusivitate de măsurători ale vitezei și direcției vântului în trei puncte de pe teritoriul Republicii Moldova la diferite înălțimi. Totodată, în baza înregistrărilor sistematice ale caracteristicilor vântului pe o perioadă de 10 ani de la SHMS și în baza măsurărilor efectuate în perioada august 2002 - decembrie 2003 a fost elaborată harta potențialului energetic eolian a RM la înălțimea de 70 metri de la sol. Pe lângă multitudinea de avantaje pe care le posedă acest proiect, trebuie să menționăm și unele lacune ale investigațiilor cum ar fi:
- Harta potențialului eolian la înălțimea de 70 m deasupra solului nu răspunde la principala întrebare - care este potențialul eolian al Republicii Moldova?;
 - Constrângerile impuse de versiunea programului WASP 2.1 și capacitatea de calcul a calculatoarelor, utilizate la momentul respectiv, nu au permis studierea suprafețelor mari;
 - Precizia redusă a hărții obținute;
 - Înălțimea la care a fost calculată harta nu mai reprezintă interes, deoarece evoluția turbinelor eoliene de mare putere au schimbat zona de interes de la 70 m deasupra solului la 100 m.
5. O altă încercare de evaluare a resurselor vântului a fost efectuată de echipa de cercetare de la Institutul de Ecologie și Geografie al Academiei de Științe a Moldovei în lucrarea „Atlasul Climatic Digital al Republicii Moldova”. Analizând harta vitezei medii a vântului, constatăm că aceasta reprezintă mai puțin interes pentru valorificarea energiei vântului la scară mare, cauzele principale fiind:
- harta este elaborată pentru înălțimea de 10 m deasupra nivelului solului, aceasta fiind o zonă de interes mai mult destinată agriculturii și altor domenii ale economiei;
 - nu s-a luat în considerație nivelul de umbră a anemometrelor, astfel, din start, au fost folosite date eronate din cauza amplasării acestora în preajma unor așezări urbane sau a unor fâșii forestiere;
 - nu a fost efectuat vreun studiu de validare a rezultatelor.
6. Atlasul European al Vântului a fost și este una din cele mai voluminoase lucrări la nivel mondial în domeniul evaluării resurselor energetice eoliene. Acest produs al Comunității Europene are o importanță enormă în dezvoltarea energiei eoliene și în evoluția extrem de rapidă a tehnologiilor din acest domeniu.

2. METODEDE ȘI SOFTWARE PENTRU EVALUAREA POTENȚIALULUI EOLIAN

2.1. Introducere

Analizând evoluția tehnologiilor eoliene din ultimii ani, observăm o dezvoltare extrem de rapidă în acest domeniu, astfel, energia eoliană devenind una dintre principalele tipuri de energie electrică produsă din surse regenerabile. Această creștere spectaculoasă se datorează faptului, că în ultimii ani, două probleme de bază au fost soluționate: elaborarea metodelor de identificare a zonelor cu potențial energetic eolian înalt și creșterea preciziei de prezicere și evaluare a potențialului energetic eolian într-un punct sau regiune. Aceste două probleme prezintă mai puțin interes în cazul unei turbine eoliene mici, care poate fi amplasată oriunde într-un teren suficient de deschis și neted, dar dădeau mari bătăi de cap în situația unui parc, care reprezenta un proiect comercial, motiv pentru care trebuia să se încerce argumentarea economică. Acest lucru este important nu doar pentru asigurarea rentabilității pe durata de viață a proiectului, ci și pentru mobilizarea capitalului în faza inițială de dezvoltare a proiectului. Pentru planificarea investițiilor în energia eoliană este necesar a cunoaște cât mai precis condițiile de vânt predominante în zona de interes.

O soluție ar fi efectuarea măsurărilor în regiunea sau punctul de interes. Însă, din lipsă de timp și motive financiare, perioadele de măsurare pe termen lung sunt de multe ori evitate, iar ca alternativă, pot fi folosite metodele matematice pentru a prezice vitezele vântului în fiecare locație. Rezultatele obținute din calcularea vântului și producției de energie servesc, în continuare, drept bază pentru calculele economice. În plus, simularea condițiilor de vânt poate fi folosită pentru a corela măsurătorile de vânt într-un amplasament cu condițiile de vânt din locații învecinate, cu scopul de a stabili regimul de vânt pentru o zonă mai largă.

Din aceste motive, scopul acestui capitol este de a identifica principalele metode și căi de evaluare a resurselor energetice eoliene și descrierea detaliată a Metodei Atlasului Vântului utilizată la elaborarea Atlasului European al Vântului [9], metodă ce va fi folosită, în continuare, pentru evaluarea potențialului energetic eolian al RM.

2.2. Metode de evaluare a potențialului energetic eolian - o privire de ansamblu

2.2.1. Metode de evaluare a potențialului energetic eolian (EPEE) folosind datele măsurărilor la suprafața solului

a) Datele despre vânt monitorizate și colectate continuu

EPEE, folosind datele despre vânt măsurate continuu, este o metodă tradițională bazată pe utilizarea datelor continuu măsurate la turnurile de măsurare amplasate în diferite amplasamente, care reprezintă variația resurselor eoliene pe termen scurt, lung și sezonier. Aceste seturi de date au fost obținute cu ajutorul anemometrelor cu cupe, giruetelor, barometrelor și termometrelor instalate la diferite înălțimi, de obicei 10, 40 și 60 m deasupra solului. De asemenea, în unele cazuri, datele se obțineau cu ajutorul unui set de echipamente automatizate, ce permiteau memorarea și stocarea informațiilor, iar în anumite situații chiar și transmiterea acestora la distanță. În această categorie intră, de obicei, stațiile hidrometeorologice de stat care analizează datele despre vânt din punct de vedere meteorologic [24].

b) Datele despre vânt monitorizate și colectate discontinuu

Este o metodă inovativă utilizată pe larg în ultimul timp la EPEE, a cărei scop de bază este de a crește numărul de amplasamente unde ar putea fi EPEE fără însă ca precizia și acuratețea rezultatelor obținute să fie mai mică decât rezultatele obținute în campaniile de măsurare pe o durată de un an. Efectuarea unor astfel de măsurări se poate efectua cu ajutorul sodarelor și lidarelor, fiind un fel de alternativă a turnurilor de măsurare. Aceste dispozitive oferă numeroase avantaje în comparație cu turnurile tradiționale meteorologice, incluzând capacitatea lor de a măsura viteza vântului la înălțimea turbinei eoliene și sunt ușor de transportat între site-uri, pentru a permite perioade de măsurare discontinue de timp [24].

În prezent, pe plan mondial, măsurarea pe verticală a atmosferei se face fie direct, cu ajutorul metodelor clasice de măsurare, fie indirect - cu sisteme complexe de tip radar care emit impulsuri în diferite benzi spectrale, iar determinările făcându-se prin modelarea fizico-matematică a procesului pe baza semnalului reflectat. Sodarul este o instalație specializată portabilă, ce are la bază o matrice de 24 difuzoare, care emit impulsuri sonore scurte și de mare putere pe 5 direcții în atmosferă. Înclinarea fascicolului acustic se face prin controlul de fază în matricea de difuzoare. O fracțiune din

energia acustică este întoarsă înapoi de micro-fluctuațiile de densitate din atmosferă (turbulențe). Acest semnal este recepționat și procesat. La baza procesării semnalului stă efectul Doppler.

Domeniul de măsurare:

- Frecvența de lucru: 1500 - 3000 Hz;
- Viteza vântului: 0 - 35 m/s;
- Direcția vântului: 0 - 360 grade;
- Deviația standard a componentei radiale a vântului: 0 - 3 m/s.

Acuratețe:

- Viteza vântului (0 – 5 m/s): ± 0.5 m/s;
- Viteza vântului (5 - 35 m/s): $\pm 10\%$;
- Direcția vântului (0.8 - 35 m/s): $\pm 5^\circ$.

Avantajele acestei tehnologii țin și de faptul că, spre deosebire de un stâlp de măsură, sodarul nu are nevoie de autorizație de construcție – pentru că este mobil – și, totodată, poate măsura viteza vântului până la o înălțime de 200 de metri, funcționând în condiții climatice extreme: de la -40°C până la 60°C , cu o acuratețe de 0,1m/s [25].

LIDAR (Light Detection And Ranging) este o tehnologie optică de sondare la distanță (remote sensing) cu ajutorul căreia, prin intermediul măsurării proprietăților luminii dispersate de obiecte aflate la depărtare, se pot extrage informații despre acestea, fiind astfel un mijloc simplu și precis de evaluare a vitezei vântului. Lidarul are următoarele caracteristici [26]:

- Permite măsurarea vitezei și direcției vântului;
- Datele captate au o precizie înaltă;
- Poate măsura la o distanță de până la 4 km;
- Temperaturile de lucru: -15°C la $+ 35^\circ\text{C}$;
- Este portabil;
- Permite efectuarea măsurărilor în regiuni accidentate și acoperite cu păduri;
- Permite studiul mai multor turbine eoliene din același amplasament;
- Este mai scump în comparație cu un sodar.

Metodele de EPEE, folosind datele de la sol monitorizate și colectate continuu sau discontinuu, sunt bune prin faptul că permit evaluarea resurselor vântului doar în baza datelor primare despre vânt, fără a implica careva cheltuieli suplimentare ce țin de softuri specializate. Dezavantajele acestor metode însă sunt mai multe, printre care menționăm:

- Permite evaluarea doar în unul sau câteva puncte;
- Este nevoie de o perioadă îndelungată de timp, minim un an;
- Sunt necesare investiții relativ înalte, pentru echipamentele de colectare a datelor;
- Rezultatele sunt afectate de rugozitățile și obstacolele din preajmă.

2.2.2. Metode de EPEE folosind bazele de date despre vânt disponibile la nivel mondial

Sistemul Informațional Geografic (SIG) (Geographical Information Systems - GIS) este un instrument analitic puternic ce permite calcularea diferitor variabile spațiale. Printre caracteristicile de bază ale acestui sistem este capacitatea de a calcula matricele sau grilele hărților, unde fiecare unitate de informație sau pixel este analizată în comparație cu ceea ce se petrece în imediata vecinătate, cât și în relație cu restul variabilelor considerate [27].

În prezent, sunt diverse SIG integrate, ce permite EPEE, în special pentru cercetarea potențialului eolian. Rolul de bază al acestor platforme este de a crea baze de date de informare bine structurate, de a crea scenarii dinamice de analiză, evaluare și integrare a resurselor eoliene. Dintre cele mai importante SIG fac parte următoarele:

a) Baza de date de la National Renewable Energy Laboratory (NREL)

NREL, cu sediul în SUA, deja de mai mult de 37 de ani realizează studii în domeniile eficienței energetice și resurselor regenerabile, înregistrând succese mari. Scopul de bază al NREL este: analiza resurselor energetice regenerabile și a altor surse, pentru a determina care tehnologii energetice sunt mai viabile [28].

Prin aplicarea propriilor metodologii, NREL a efectuat EPEE și a generat hărți eoliene de înaltă rezoluție pentru diferite zone ale lumii. Hărțile eoliene detaliate au facilitat identificarea rapidă a zonelor ce conțin resurse eoliene considerabile și a zonelor în care proiectele eoliene ar putea fi fezabile [29].

Compania americană AWS Truepower evaluează resursele eoliene, folosind procedeul Mesomap® pentru a produce hărți cu o rezoluție spațială orizontală de 200 m. Estimările resurselor eoliene sunt efectuate cu considerarea diferitor restricții. Astfel, sunt eliminate zonele în care este puțin probabil că vor fi dezvoltate proiecte eoliene: zonele urbane, terenuri protejate, lacuri și bazine de acumulare, drumuri etc. De asemenea, este estimată producția anuală de energie, considerându-se că pe 1 km² de suprafață poate fi instalată o capacitate de 5 MW [30].

b) Baza de date de la National Climatic Data Center (NCDC)

Baza de date gestionată de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) și de Cooperative Institution for Research and Environmental Sciences (CIRES) este o altă sursă globală de informații climatologice despre vreme, care reprezintă, de asemenea, un atlas al vântului pentru tot globul, fiind generat de mecanismul de căutare NCDC / NOAA. Acest mecanism de căutare, NCDC / NOAA, permite colectarea unei game largi de date climatice din diferite surse [31].

Astăzi, datele climatice sunt recepționate de NCDC nu doar de la stațiile terestre staționare, dar și de la baloane meteorologice, radare, sateliți, cât și de la modele meteorologice și climatice sofisticate. Din 2004 până în 2013, arhivele digitale ale NCDC au crescut de la $2 \cdot 10^{15}$ la $14 \cdot 10^{15}$ biți [32].

c) Baza de date National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Un alt lider la nivel mondial în ceea ce privește datele despre resursele eoliene este NASA, care deține o sursă excelentă de date, fiind ușor de utilizat pentru evaluarea preliminară a resurselor energetice eoliene.

Mai nou, NASA a lansat Stația Spațială Internațională Rapid Scatterometer, sau altfel numită ISS-RapidScat, care, de fapt, este primul instrument științific creat special pentru a monitoriza vânturile de la suprafața pământului folosind o stație spațială cu scopul de a face prognoze necesare transportului naval, cât și de a prezice apariția furtunilor, uraganelor și taifunurilor [33b].

d) Baza de date Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS)

COADS este o vastă bază de date a marinei de suprafață a SUA și conține datele adunate în ultimele două secole la nivel global. Variabilele măsurate și stocate de COADS includ suprafața maritimă și se referă la temperatura aerului, vântul, umiditate, etc. Prin urmare, hărțile vitezei vântului obținute

în baza acestor date ne permit identificarea suprafețelor marine ce au un potențial eolian înalt, ca mai apoi aceste regiuni să fie studiate la nivel local [31]. COADS este o sursă valoroasă de informații, însă trebuie să menționăm că această bază de date are și câteva erori mici legate de prelucrarea datelor [33].

Metodele de EPEE folosind Sistemele Informaționale Geografice sunt bine venite și apreciate, deoarece permit evaluarea resurselor eoliene la nivel de țară, continent, cât și global, astfel, permițând crearea unui tablou integral al potențialului eolian la nivel global. Marele avantaj al acestor metode este că permit evaluarea potențialului și a altor surse regenerabile de energie [33].

Aceste metode, însă, au și un șir de neajunsuri, dintre care fac parte:

- Majoritatea metodelor permit doar tragerea unor concluzii generale asupra resurselor energetice eoliene ale unei regiuni, țară sau continent.
- Necesită sisteme de calcul sofisticate și servere enorme pentru stocarea datelor culese.
- Nu permit evaluarea cantității de energie care ar putea a fi produsă de o turbină sau un parc eolian.
- Au o rezoluție mică a hărților obținute, care este de ordinul zecilor, sutelor și miilor de km.
- Nu întotdeauna iau în considerație factorii locali care ar putea afecta rezultatele obținute.

2.2.3. Clasificarea metodologiilor avansate de EPEE

Dezvoltarea fulgerătoare a domeniului resurselor energetice eoliene și a tehnicii de calcul din ultimii ani a dus la apariția pe piața resurselor eoliene a mai multor companii care propun servicii de EPEE. Marea majoritate a companiilor se evidențiază prin metodologii proprii de EREE, care sunt însoțite de software specializate, ce permit calculul hărților vitezei medii a vântului și a potențialului electric, determinarea cantității de energie care poate fi produsă de o turbină sau un parc eolian, posedând o precizie și o rezoluție a hărților suficient de înaltă.

Atmosfera este un sistem fluid care servește drept sediu pentru toate tipurile de mișcare, începând de la fluxuri foarte mici, cu dimensiuni sub un metru, până la circulația globală. Toate aceste mișcări care au loc în atmosferă influențează în mod direct componentele atmosferei, printre care se numără și viteza și direcția vântului. Iată de ce, în cazul analizei unui parametru sau a unei variabile atmosferice, apare necesitatea subordonării dimensiunilor parametrului sau variabilei studiate la

scara la care se efectuează analiza propusă [54], aceasta trebuind să satisfacă următoarelor două cerințe esențiale, adesea fiind în contradictoriu:

- scara să fie destul de mare pentru ca fenomenele și procesele studiate să se prezinte sub o formă suficient de simplă și accesibilă mijloacelor de investigație folosite;
- scara să fie destul de redusă (mică) pentru a nu permite neglijarea detaliilor esențiale ale fenomenelor și proceselor analizate.

Pentru descrierea mișcărilor atmosferice se folosesc scările spațio-temporale prezentate în Tabelul 2.1. [54, 55], iar în Figura 2.1. este redată reprezentarea lor grafică. Cele mai mari scări, cum ar fi cea a circulației generale și sinoptice, constituie circulația la scară mare și mai este numită macroscară.

Tabelul 2.1. Scările spațiale și temporale pentru mișcărilor atmosferice

Denumirea scării	Scara de timp	Intervalul scării	Exemple de mișcări	Caracteristica sursei de energie
Circulația generală (Global)	De la săptămâni la anotimpuri	1000 km - 40.000 km	Undele planetare, vânturile de vest	Distribuție inegală de încălzire solară
Scara sinoptică (Harta Meteo)	De la zile la săptămâni	100 km - 5000 km	Ciclonii, Anticiclonii	Căldură latentă de condensare
Mezoscara	De la minute la ore	1 km - 100 km	Brizele marine, furtuni și tornade	Încălzire și răcirea diurnă, căldură latentă, mișcarea pe verticală a maselor de aer
Microscara	De la secunde la minute	<1 km	Turbulența	Încălzirea neuniformă a pământului, interacțiunea cu obstacolele, vâscozitatea
Moleculară	$1 \cdot 10^{-9}$ Secunde	$1 \cdot 10^{-6}$ m	Creșterea picăturilor de ploaie	Teoria cinetică a gazelor

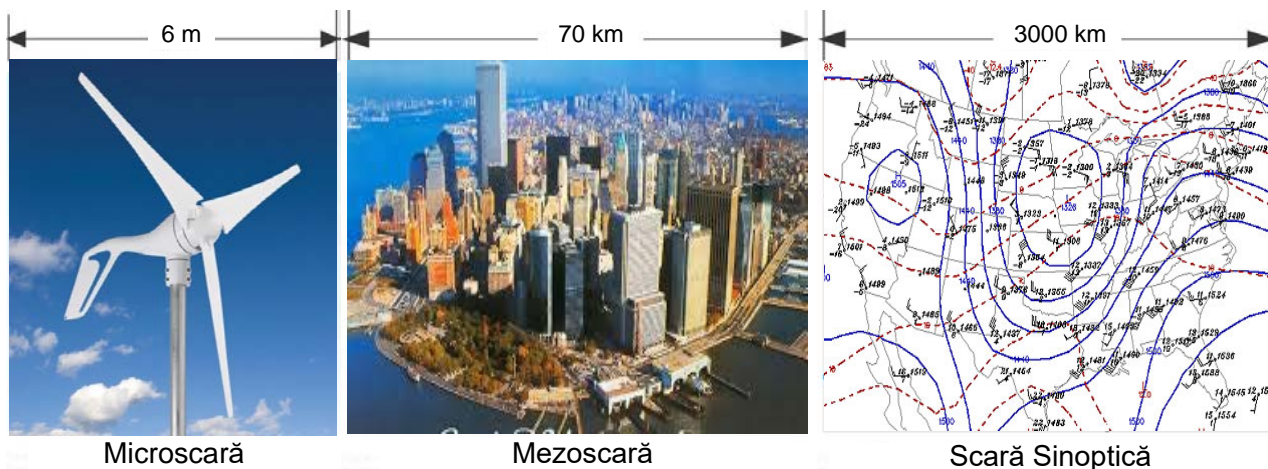


Figura 2.1. Ilustrarea grafică a trei scări de bază [55]

Reieșind din faptul că în toate cazurile suprafețele supuse EPEE variază de la câțiva m^2 la sute de mii de km^2 toate metodologiile moderne de EPEE au la bază unul sau câteva din modelele prezentate mai jos, în funcție de complexitatea acestora.

a) Modelul Predicției Numerice a Climei – macroscară (Numerical Weather Prediction (NWP)) - Rezoluția hărților obținute variază în intervalul 10 – 1000 km. Aici trebuie să adăugăm că metodologiile care folosesc acest model la EPEE nu simulează în mod explicit gama completă de fenomene atmosferice, descriind doar dinamica atmosferei în sistemele de dimensiuni mari. Reieșind din aceasta, putem afirma că metodologiile care folosesc acest model nu pot fi folosite la evaluarea producerii unei eventuale turbine sau parc eolian, fiind binevenite doar la identificarea zonelor cu potențial eolian relativ înalt, la nivel de: țară, insulă, peninsulă sau continent.

b) Modelul la Mezoscără - Rezoluția hărților obținute variază în intervalul 1 – 100 km. Modelele la mezoscără sunt instrumente perfecte pentru prognoza meteo, fiind, totodată, utilizate și în aeronautică, iar metodologiile ce folosesc aceste metode oferă o serie de avantaje în procesul de EPEE, cum ar fi capacitatea de a simula, cu o precizie rezonabilă, fluxurile complexe ale maselor de aer în zone în care măsurătorile de suprafață sunt insuficiente sau în general lipsesc. Hărțile vântului la mezoscără prezintă variațiile vântului într-o zonă relativ mare (50-100 km), la calcularea căreia sunt neglijate efectele locale, cum ar fi orografia, obstacolele, rugozitatea suprafeței și fluxurile acționate termic [31]. Aceste hărți permit identificarea regiunilor cu un potențial energetic eolian pronunțat, însă nu permit studierea detaliată a unei regiuni, cu alte cuvinte nu pot fi utilizate în procesul de amplasare a unei turbine sau parc eolian și calcularea producției de energie.

c) Modelele la Microscară - Rezoluția hărților obținute variază în intervalul 1 m – 1000 m. Aceste modele sunt utilizate, de obicei, în procesul de amplasare a unei turbine sau parc eolian, având posibilitatea de a calcula și producția acestora pentru o perioadă determinată de utilizator, care, în cele mai multe cazuri, este de un an. Hărțile obținute au o precizie și o rezoluție înaltă, luându-se în considerație efectele locale, cum ar fi orografia, obstacolele, rugozitatea suprafeței și fluxurile acționate termic

În continuare vom prezenta câteva din cele mai des utilizate metodologii și software pentru EPEE.

2.2.4. Metodologii avansate de EPEE

a) Metodologia CRES (Centre for Renewable Energy Sources)

Metodologia CRES elaborată de Centrul pentru Surse de energii Regenerabile din Grecia propune soluții pentru evaluarea potențialului diferitor resurse regenerabile, printre care se numără și domeniul energiei eoliene [34].

Această metodologie a fost folosită cu succes pentru a evalua potențialul eolian din Grecia, ducând la obținerea hărților resurselor eoliene la mezoscară, cu o rezoluție de 150m pentru întreaga suprafață a țării. Metoda de calcul dezvoltată de CRES reușește să stabilească o procedură de interpolare care acceptă ca date de intrare un număr substanțial de măsurători și realizează o predicție într-un punct arbitrar în interiorul zonei de interes.

Metodologia derivă de la premisa că fluxul de vânt la altitudine mare nu este vâscos, liber de influența stratului limită de suprafață, guvernat doar de mecanisme meteorologice. Pe de altă parte, fenomenele din stratul limită sunt dominate de suprafața solului. Iată de ce, acțiunea combinată a topografiei și a stratului limită vor determina în mod direct viteza și direcția vântului. Pentru a lua în considerație toate aceste fenomene, se introduce o metodă tridimensională de corecție.

Procedura de calcul are loc în două etape. În prima etapă, spațiul tridimensional, care este definit de la suprafață și ajunge până la câțiva kilometri în altitudine, este analizat prin utilizarea principiului de conservare a masei. Din cauza necesității de acoperire a ariilor geografice foarte mari, se aplică o abordare multi-bloc, Figura 2.2. În etapa a doua se face o corecție în stratul limită pentru a introduce în calcul fenomenul vâscozității [35].

Viteza medie a vântului poate fi calculată pentru fiecare direcție de interes și pentru/în fiecare punct din aria geografică unde există măsurători . Folosind această valoare și valoarea corespunzătoare de la nodul din rețeaua de calcul, se poate prezice viteza la limita superioară a unui punct care ne interesează. Astfel, măsurătorile sunt folosite pentru a prezice viteza vântului într-un punct din grilă la limita superioară. Viteza vântului în fiecare punct rezultă Din interpolarea acestor valori.

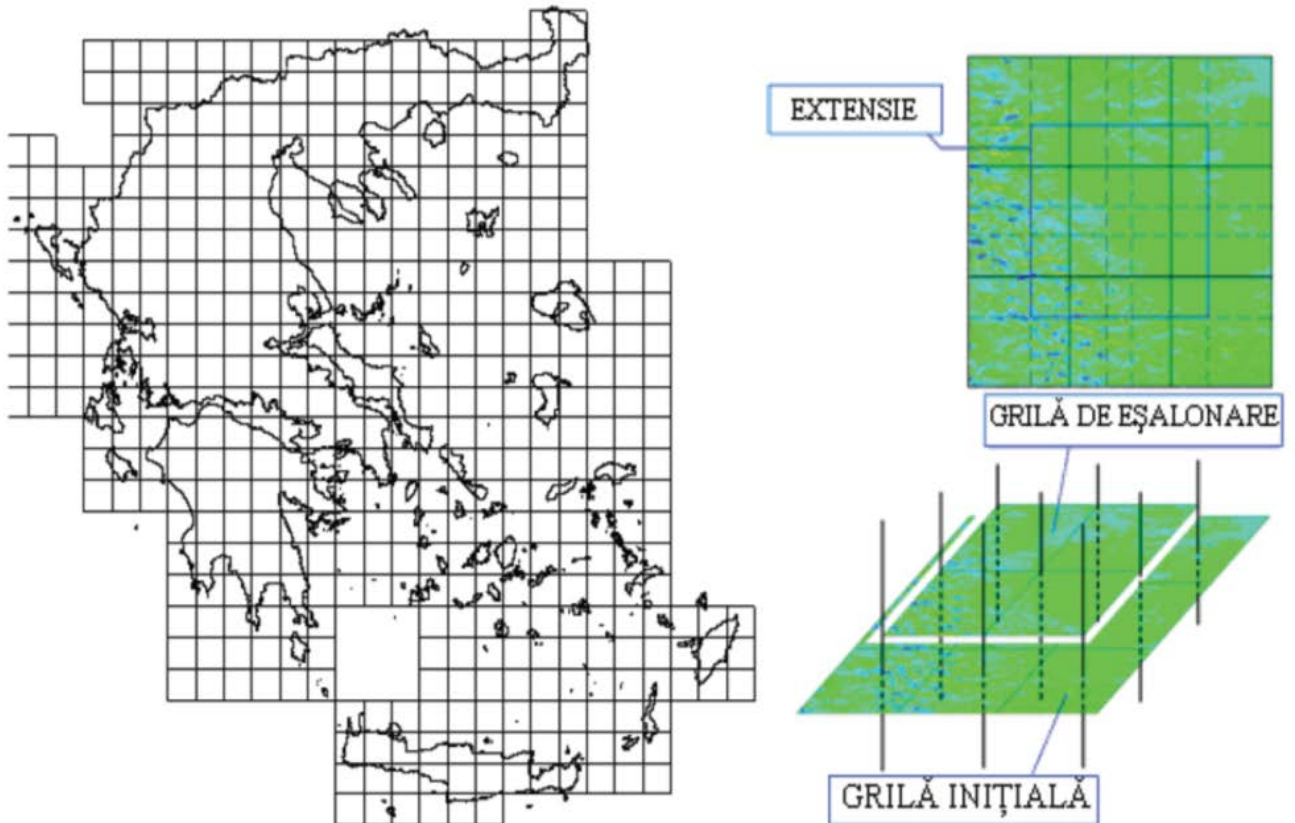


Figura 2.2. Modelarea Multi-Bloc pentru cazul Greciei (stânga) și eșalonarea grilei de calcul (dreapta) [34]

Această metodologie permite obținerea unor rezultate satisfăcătoare, iar hărțile modelate la mezoscară au o precizie relativ înaltă și depind, în mare măsură, de precizia datelor de intrare. De asemenea, hărțile se obțin în baza datelor despre vânt de la mai multe stații meteo sau puncte de măsurare, ceea ce duce la procesarea a unui număr enorm de date. Un neajuns al acestei metode este că nu are capacitatea de a efectua studii ce țin de amplasarea unei turbine sau parc eolian, cât și de calculul producției acestora.

b) Metodologia CFD (Computational Fluid Dynamics)

Studierea dinamicii fluidelor a început încă în secolul al XVII-lea, divizându-se la acel moment în partea teoretică și partea experimentală, ca, mai apoi, odată cu dezvoltarea tehnicii de calcul, oamenii de știință să adapteze metodele soluțiilor numerice pentru probleme matematice complexe și să apară o a treia disciplină: Computational Fluid Dynamics (dinamica fluidelor asistată de calculator). Noua metodologie a cunoscut o dezvoltare foarte rapidă în timpul războiului rece, fiind folosită pe larg în aeronautică [40]. Actualmente, CFD se utilizează în numeroase domenii, printre care se numără și calculul și optimizarea profilului palei turbinei eoliene și EPEE.

Înalta rezoluție a modelării fluxurilor atmosferice cu ajutorul CFD a permis utilizarea acestei metodologii în marea majoritate a aplicațiilor din industria eoliană. Un model bine conceput poate calcula cu exactitate viteza vântului, direcția, precum și turbulența în orice punct dintr-un parc eolian, folosind datele despre viteza și direcția vântului de la o stație de măsurare, a cărei coordonate sunt cunoscute exact. Modelul poate extrapola datele măsurate într-un punct pe o suprafață de câțiva kilometri pătrați, sau să prezică parametrii vântului în anumite regiuni aflate la câțiva kilometri depărtare. Un model al dinamicii fluidelor la scară locală este esențial pentru EPEE, precum și pentru optimizarea amplasării unei turbine sau parc eolian pentru a produce puterea maximă. O simulare CFD a unui parc eolian în funcționare impune o prognoză a vântului local și poate crește precizia prognozelor de generare a energiei electrice - o informație valoroasă pentru operatorii de transport și de parcuri eoliene [41, 42].

Modelele CFD rezolvă ecuațiile dinamicii fluidelor, oferind soluții care descriu fluxurile turbulente de fluid. Modelele atmosferice CFD sunt ideale pentru fluxuri în teren complex și pot simula atât turbulențe pe orizontală, cât și pe verticală. Se recomandă ca rezultatele obținute cu modelul CFD să fie validate, comparându-se cu datele măsurate ale vântului [36 - 39].

Unul din cele mai mari avantaje ale metodologiei CFD este faptul că permite EPEE la diferite scări: macrosară, mezosară și microsară, cu o rezoluție a hărților de la mii de kilometri până la câțiva metri (mărimea celulelor care alcătuiesc harta), în funcție de condițiile inițiale impuse. De asemenea, un avantaj este și faptul că această metodologie poate fi aplicată în terenuri complexe unde alte metodologii fie nu funcționează, fie rezultatele sunt compromise. Un neajuns al acestei

metodologii este software sofisticat, fiind astfel nevoie de tehnică de calcul de mare capacitate, iar personalul trebuie să fie special instruit și să posede cunoștințe din diferite domenii.

c) Metodologia KAMM (Karlsruhe Atmospheric Mesoscale Model)

Modelul KAMM [43] este un model tridimensional, foarte complex, ce permite EPEE la mezoscară. Simularea cu ajutorul metodei KAMM este un proces complicat și necesită tehnică de calcul de capacitate mare.

Pentru atlasul numeric al vântului, modelul este condus, în principal, în regim staționar, adică fără radiații. Temperatura solului și a apelor de suprafață reprezintă date de diferență a temperaturii inițiale a aerului la suprafața terestră [44].

Reieșind din faptul că rezultatele obținute, folosind metodologia KAMM, sunt la mezoscară, putem spune că această metodă este binevenită pentru EPEE la nivelul regiunilor mari extinse, cum ar fi insulă, țară, continent etc., dar nici într-un caz pentru evaluarea amplasării unei turbine sau parc eolian, sau pentru evaluarea producerii acestuia. Iată de ce, pentru soluționarea unei astfel de probleme se optează pentru combinarea a două metode care vor funcționa în paralel - prin utilizarea metodei KAMM se efectuează EPEE la mezoscară, iar folosind metoda Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) se efectuează EPEE la microscară.

Ca și marea majoritate a metodologiilor folosite la EPEE, metodologia KAMM are un șir de erori care apar din diferite motive, o parte din ele având posibilitatea de a fi evitate sau fixate. De cele mai multe ori, erorile sunt provocate de: hărțile rugozităților care nu întotdeauna coincid cu realitatea, erorile din datele primare ale vântului, terenurile complexe care, în anumite situații, nu sunt înțelese de acest program și altele [44].

2.2.5. Software ce permit EPEE la microscară și amplasarea parcurilor eoliene

EPEE la microscară este un proces complex și sofisticat, al cărui rezultat, în marea majoritate a cazurilor, este amplasarea cât mai rațională a turbinelor și parcurilor eoliene, cu scopul de a spori producția de energie și a reduce pierderile. Pentru a rezolva această problemă, mai multe companii au dezvoltat software care permit obținerea soluțiilor complete sau mai restrânse. Toate necesită ca date de intrare harta potențialului energetic eolian a regiunii în care se prevede a fi instalată o turbină

sau un parc eolian. Unele software permit calcularea hărților, iar altele o preiau pe cea obținută în programul WAsP.

De asemenea, unele software permit calcularea emisiilor de zgomot ale unui parc, cât și a efectelor vizuale. Mai nou, unele software permit fotomontajul turbinelor eoliene și chiar animația procesului de producere a energiei electrice în timp real și, în unele cazuri, calcule economice și energetice.

Ca sursă de erori este harta potențialului eolian folosită, care preia erorile datelor meteorologice, în baza cărora a fost calculată, sau erorile pot apărea din cauza unor parametrizări neadecvate. De asemenea, erorile cresc în terenurile complexe sau accidentate și în regiunile cu suprafețe reduse ale potențialului eolian.

În continuare vom prezenta cele mai uzuale software folosite pentru amplasarea parcurilor eoliene și EPEE la microscară.

a) Software WindFarmer

WindFarmer [45, 47] este un software compus din mai multe module ce permit realizarea și monitorizarea mai multor activități. Cele mai importante module sunt:

- Procesarea statistică a datelor despre vânt;
- Proiectarea amplasării turbinelor;
- Prezicerea producției de energie;
- Calcularea intensității turbulenței;
- Evaluarea impactului asupra mediului;
- Producerea hărților nivelurilor de zgomot și a impactului vizual;
- Vizualizarea amplasării finalizate;
- Efectuarea calculelor electrice și financiare.

Unul din principalele neajunsuri ale acestei metodologii este că nu permite crearea propriei hărți locale a resurselor energetice eoliene, astfel, preluând-o din programul WAsP sau CFD. Costul programului WindFarmer începe de la 2400 Euro [56] și avansează odată cu creșterea numărului de module adiționale.

b) Software WindPro

Software WindPro [48 - 51] are la bază 25 de ani de experiență în dezvoltarea metodelor și programelor ce permit calculul energiei eoliene. WindPro reprezintă un set de subprograme ce cuprinde un șir de module, Figura 2.3. [51]. Fiecare persoană interesată are posibilitate de a alege doar modulele de care are nevoie, astfel micșorându-se cheltuielile. Pentru a funcționa, programul are nevoie de harta resurselor eoliene creată în programul WASP, iar pentru a calcula pierderile într-un parc eolian se utilizează modelul PARK.

WindPro este unul din cele mai flexibile instrumente atunci când este necesară utilizarea unor seturi de date ale vântului de diferit format și a diferitor turbine într-un parc eolian, de asemenea, combinarea unor turbine noi cu turbine deja existente, care, pe lângă toate celelalte, mai au și înălțimi diferite. Un alt avantaj, la fel de important, este nivelul înalt de inteligență ce permite cercetarea, prelucrarea și verificarea atât a datelor de intrare, cât și a datelor obținute prin calcule, astfel asigurându-se că rezultatele obținute au un nivel înalt de certitudine [53].

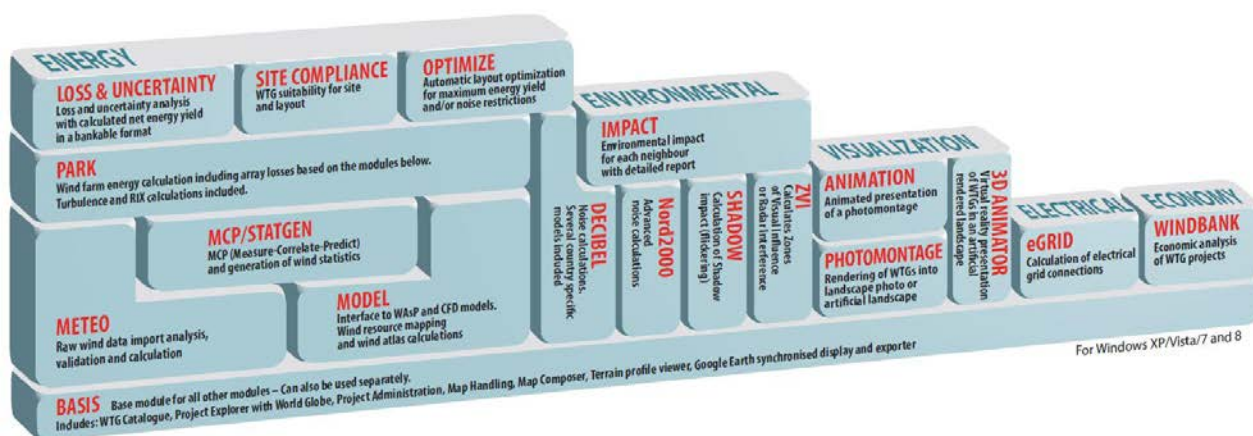


Figura 2.3. Ierarhia modulelor metodologice WindPro [51]

În continuare vom prezenta caracteristica succintă a câtorva module și submodule și dezavantajele acestora. Anume aceste caracteristici au servit drept motiv pentru a nu utiliza metodologia WindPro, ci Metoda Atlasului Vântului și software WASP.

1. Modulul „Meteo” - funcția de bază a acestui modul este de a importa, analiza și pregăti datele despre vânt măsurate pentru a fi introduse în programul WASP și a obține statistica vântului. Modulul posedă instrumente specializate de import / vizualizare / analiză a datelor vântului, cu posibilitatea de a compara datele măsurate la mai multe turnuri de măsurare, efectuarea substituției

de date, precum și efectuarea predicției încrucișate și generarea rapoartelor în baza datelor măsurate timp de un an.

2. Modulul Model - permite calculul producției de energie în funcție de modelul folosit – WAsP sau CFD, care se bazează pe descrierea terenului (rugozități, orografie și obstacole), precum și date primare despre vânt. Modelul rugozităților este același ca și în WAsP, însă are o precizie înaltă doar la utilizarea acestuia pentru un teren non-complex. Iată de ce, se exclude utilizarea lui pentru terenurile cu obstacole, iar funcția lui de bază este de a prelua rezultatele obținute în WAsP, în deosebi pentru parcurile eoliene mari, cu toate că, până la moment, acest modul a fost folosit la calcularea a peste 6000 de turbine eoliene în Danemarca care, actualmente, funcționează cu succes.

c) Software WindFarm

Una din cele mai importante funcții ale software WindFarm este calcularea randamentului energetic al unui parc eolian în care se iau în considerație efectele topografice și pierderile, permițând astfel optimizarea [52].

Software WindFarm are o grafică avansată și permite calcularea nivelului zgomotului produs de o turbină sau un parc eolian. Totodată, este înzestrat cu instrumente de vizualizare 3D și instrumente de fotomontaj și animație de înaltă calitate, ce permit vizualizarea conexiunilor electrice din parcul eolian și crearea hărților zonelor de influență și a impactului cumulativ al turbinelor dintr-un parc eolian[46, 53].

WindFarm este un program complex și puternic ce permite calcularea cu succes a potențialului parcului eolian și spre deosebire de alte metodologii, nu necesită careva ajutor din partea software WAsP sau MSMicro, având posibilitatea de rula întregul proces de sine stătător cu o precizie înaltă. Un dezavantaj al acestei metodologii este costul relativ înalt, 4500 Euro, iar pentru actualizarea bazei de date a software se achită suplimentar 1800 Euro.

2.3. Metodologiile Atlasului Vântului și software Wind Atlas and Application Program

2.3.1. Introducere

În 1987 Departamentul de Energie Eoliană și Fizica Atmosferei de la Riso National Laboratory din Danemarca a implementat Metoda Atlasului Vântului (MAV) ca un instrument avansat pentru

analiza datelor despre vânt, generarea hărților resurselor energetice eoliene, calculul producției energiei electrice eoliene de o turbină sau Centrală Electrică Eoliană (CEE). De-a lungul anilor, MAV a devenit o metodă standard pentru evaluarea resurselor eoliene și poziționarea turbinelor în cadrul unei CEE și este utilizată în mai mult de 100 de țări din întreaga lume.

Prima lucrare de proporții la nivel mondial în domeniul evaluării potențialului energetic eolian trebuie considerată “Atlasul European al Vântului – European Wind Atlas” apărută în 1989 [9]. Atlasul cuprinde date cu privire la caracteristicile vântului pe teritoriul a 12 țări membre ale UE la acea vreme, determinate pe baza datelor primare furnizate de 220 stații meteorologice, hărțile resurselor de vânt, metodele de determinare a resurselor energetice ale vântului, modelele matematice utilizate, principiile de validare a modelelor de estimare a potențialului eolian și rezultatele procesării datelor istorice despre vânt de la stațiile meteorologice. Valoarea acestei lucrări este mult mai prețioasă și prin faptul că ea prevede și un set de programe Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) [57], care pot fi utilizate pentru procesarea datelor primare despre vânt, întocmirea atlasului vântului în amplasamentul stației meteorologice și estimarea potențialului energetic eolian al unei regiuni oarecare. În prezenta lucrare s-a utilizat Metoda Atlasului Vântului și pachetul de software licențiat WASP 9.1.

La începutul anului 2013 a fost lansat apelul pentru elaborarea unei noi versiuni a Atlasului European al Vântului, care va include toate 28 țări membre ale UE. Durata proiectului este de 5 ani și are un buget de circa 7 milioane euro. Scopul principal este reducerea incertitudinilor generale în determinarea condițiilor de vânt, crearea unei baze de date despre vânt cu includerea rezultatelor campaniilor de măsurări realizate în scopuri energetice în ultimii ani, crearea atlaselor de vânt la mezo- și microscară, schimbul de date climatologice, utilizarea experienței din atlase eoliene naționale: Germania, India, Africa de Sud, Canada, SUA și altele [58].

2.3.2. Esența Metodei Atlasului Vântului

MAV oferă posibilitatea transformării datelor 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 la punctul în care dorim să prezicem vântul poate fi de până la 100 km.

Datele despre vânt colectate de către stațiile meteorologice (de regulă, la înălțimea de 10 m deasupra solului) sau în cadrul unor campanii speciale de măsurări la înălțimi mai mari de 10 m, sunt reprezentative numai pentru punctul în care este montat stâlpul cu respectivele mijloace de măsurare a vitezei și direcției vântului. Aceste date despre vânt sunt influențate de caracteristica terenului (orografia, rugozitatea suprafeței terenului, obstacolele) din jurul stâlpului și nu pot fi folosite direct pentru a caracteriza vântul într-un alt punct cu caracteristici diferite de cele în care este montat turnul de măsurări. Pentru a face posibilă utilizarea datelor măsurate într-un punct și calcularea vitezei și densității de putere eoliană într-un alt punct, datele măsurate se transformă în așa-numitele date ale Atlasului Vântului (AV) pentru stația meteorologică în cauză. MAV 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, producției de energie etc. într-un punct (regiune) în care nu s-au efectuat măsurări. În Figura 2.4. se prezintă grafic, într-o formă simplificată, explicativa MAV. Pentru a obține datele AV, se efectuează studii privind împrejurimile stâlpului de măsurări: se identifică clasa de rugozitate a suprafeței terenului, obstacolele (clădiri, păduri, fășii protectoare etc.) existente la o distanță ce nu depășește 50 de înălțimi ale respectivului obstacol și porozitatea acestuia.

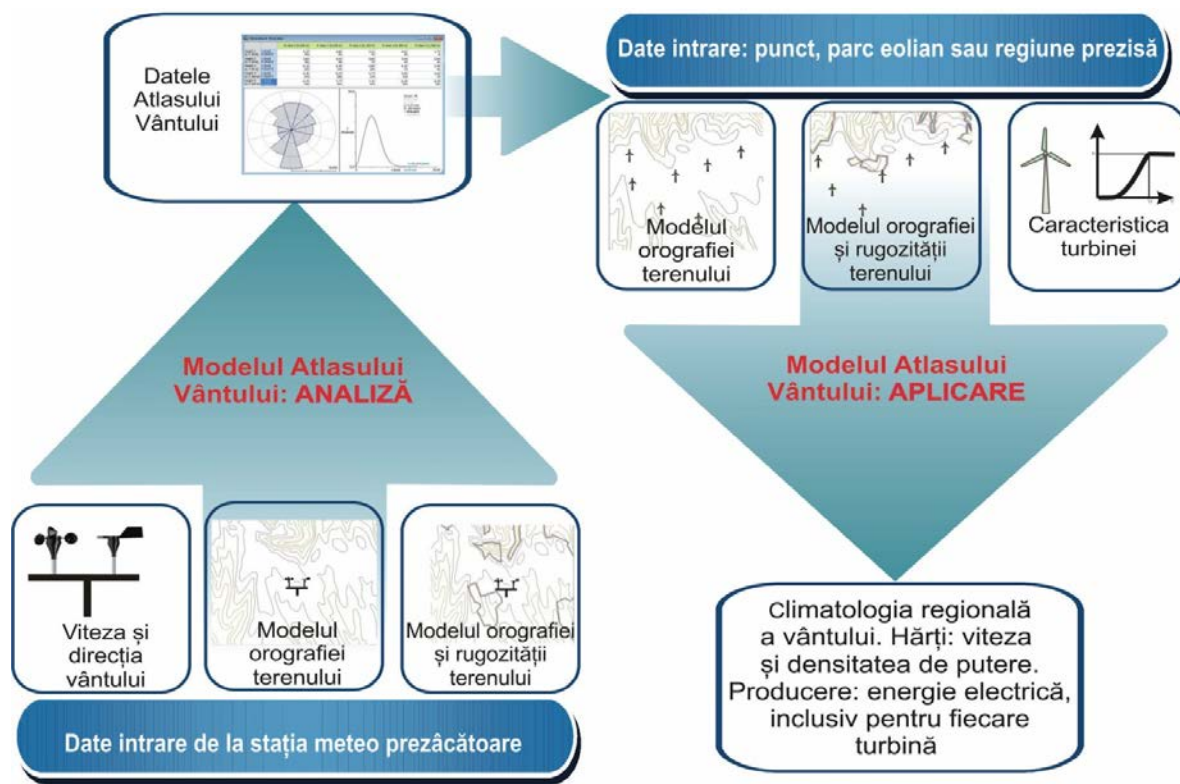


Figura 2.4. Explicativa privind metodologia atlasului vântului

Aplicând procedura de analiză a modelului AV, Figura 2.4. din stânga, se obțin datele AV care ar fi fost înregistrate dacă rugozitatea terenului ar fi fost egală cu 0 (suprafața apei) și în jurul stâlpului de măsurare lipsesc obstacolele. Datele AV se recalculează pentru 5 clase de rugozitate, caracterizate prin înălțimile echivalente respective egale cu 0,0; 0,03; 0,1; 0,4 și 1,5 m și 5 înălțimi deasupra solului: 10, 25, 50, 100 și 200 m. Cu datele AV, ca date de intrare, se realizează procedura inversă, Figura 2.4. din dreapta, obținându-se climatologia regională a vântului în regiunea de interes.

2.3.3. Metoda Atlasului Vântului: etapa de analiză a datelor despre vânt

Pornind de la faptul că caracteristicile vântului sunt funcții aleatorii, datele istorice despre vânt trebuie să cuprindă o perioadă de timp cât mai mare. Autorii [9, 57] recomandă minimum 10 ani. În teză s-au folosit datele despre vânt înregistrate în perioada 1990-2011 sau 22 de ani. În Figura 2.5. sunt prezentate rezultatele sumare obținute la etapa de analiză a datelor despre vânt pentru stația meteorologică "Ceadâr-Lunga,,. De facto, la această etapă, folosind metodele statistice, se procesează rezultatele observărilor meteorologice și se obțin următoarele date:

1. Direcția vântului (roza vântului) pentru 12 sectoare.
2. Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului.
3. Aproximația Weibull a histogramei funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului.
4. Viteza medie a vântului, în m/s, și densitatea de putere în W/m^2 .
5. Coeficienții A și k ai aproximației Weibull.
6. Viteza medie a vântului, densitatea de putere, coeficienții aproximației Weibull și funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului în formă tabelară pentru fiecare sector egal cu 30^0 și pentru toate sectoarele.

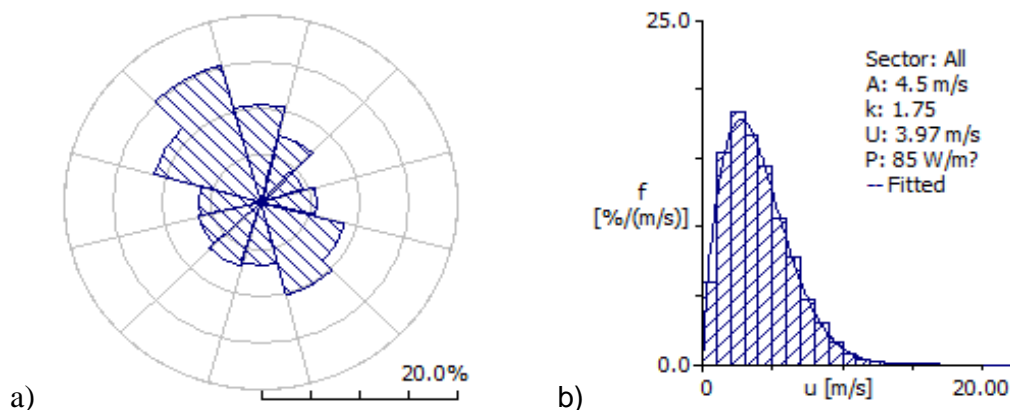


Figura 2.5. Rezultatele procesării observațiilor meteorologice la stația Ceadâr-Lunga: **a** - roza vântului; **b** - histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

Mai jos se prezintă rezultatele procesării datelor despre vânt pentru stația meteorologică ”Ceadâr-Lunga,,.

Tabelul 2.2. Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U , densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F pentru stația meteorologică ”Ceadâr-Lunga,,.

Sector	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Toate
A , m/s	4,2	4,5	4,7	5,2	5,6	5,4	4,6	3,6	3,4	3,2	4,0	4,5	4,5
K	1,82	1,83	1,79	1,81	2,12	2,15	1,96	1,72	1,65	1,46	1,56	1,78	1,75
U , m/s	3,78	4,01	4,22	4,63	4,94	4,83	4,05	3,25	3,03	2,93	3,60	4,03	3,97
E , W/m ²	70	83	99	129	133	123	79	47	40	44	73	87	85
F , %	10,5	7,4	4,5	5,7	8,7	10,2	6,8	7,1	6,5	6,3	11,3	15,1	100

Tabelul 2.3. Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului F , % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare pentru stația meteorologică ”Ceadâr-Lunga,,.

U , m/s	Sector, grade												Toate
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
1,0	5,3	5,4	5,6	4,4	3,2	3,1	5,6	8,0	10,0	10,4	7,9	4,9	5,9
2,0	16,1	14,1	12,3	11,0	8,3	8,6	14,4	20,3	22,6	24,9	19,7	15,2	15,5
3,0	20,1	18,2	16,6	14,9	12,2	12,5	17,2	23,0	23,3	24,0	20,2	18,6	18,3
4,0	17,9	17,4	17,8	15,8	15,1	15,9	16,6	18,6	18,2	14,7	15,5	16,6	16,6
5,0	15,0	15,3	15,1	14,9	16,1	16,4	15,4	13,7	12,5	10,5	12,7	14,6	14,4
6,0	10,6	11,1	10,9	11,9	14,3	14,0	12,2	7,5	6,1	6,7	8,9	10,9	10,6
7,0	7,4	7,9	8,7	9,5	11,7	11,6	9,0	4,4	3,6	4,4	6,1	7,9	7,8
8,0	3,7	5,0	5,3	6,2	7,6	7,6	4,7	2,2	1,8	2,3	3,6	4,8	4,7
9,0	2,0	2,9	3,6	4,5	5,3	5,1	2,8	1,3	1,1	1,2	2,6	3,1	3,0
10,0	0,9	1,3	1,8	2,9	3,2	2,7	1,2	0,6	0,5	0,5	1,4	1,8	1,6
11,0	0,4	0,7	1,0	1,8	1,6	1,4	0,5	0,3	0,3	0,1	0,7	0,9	0,8
12,0	0,2	0,2	0,6	1,0	0,8	0,5	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3
13,0	0,2	0,1	0,3	0,6	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2
14,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0,1
15,0	0,0	0,1	0,1	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Constatăm următoarele:

1. Viteza medie a vântului la înălțimea 10 m deasupra solului, pentru perioada de măsurări, constituie circa 4,0 m/s.
2. Densitatea medie de putere eoliană este egală cu 85 W/m².
3. Direcțiile preponderente ale vântului sunt: sud-est și nord-vest.
4. Vitezele vântului egale cu 3-6 m/s au o pondere totală egală cu 60%, iar ponderea vitezelor lucrative (mai mari de 3 m/s) constituie 78,5%. Altfel spus, în punctul dat, pe parcursul a

$8760 \cdot 22 \cdot 0,6 = 115632$ h au suflat vânturi cu viteze cuprinse între 3 și 6 m/s, iar pe parcursul a $8760 \cdot 22 \cdot 0,785 = 151285$ h vânturile au avut viteze egale sau mai mari de 3,0 m/s.

Pe lângă rezultatele prezentate mai sus, la etapa de analiză, se obțin așa-numitele date ale Atlasului Vântului: rezumatul climatologiei regionale a vântului, roza vântului și aproximația Weibull a funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului.

2.3.4. Metoda Atlasului Vântului: etapa aplicării pentru prezicerea vântului

La etapa de aplicare a MAV, Figura 2.4. din dreapta, în calitate de obiect de studiu poate fi: o turbină eoliană prezentată prin coordonatele punctului de amplasare, o CEE prezentată prin coordonatele tuturor punctelor de amplasare a turbinelor sau o regiune de formă dreptunghiulară cu granițele specificate în care dorim să evaluăm potențialul eolian. Ca date de intrare servesc:

- Datele AV obținute la etapa de analiză, altfel spus climatologia regională a vântului;
- Modelul orografiei și a rugozității suprafeței terenului, obstacole din imediată vecinătate a punctelor de amplasare a turbinelor;
- Caracteristica de putere a turbinei eoliene $P(u)$ și înălțimea axei de rotație a turbinei.

În dependență de necesități vom obține: climatologia regională a vântului în regiunea de interes la înălțimea specificată deasupra solului, hărțile resurselor energetice eoliene în termeni de viteză medie a vântului și densitatea de putere eoliană la înălțimea specificată deasupra solului și cantitatea medie anuală de energie electrică produsă de CEE. Pentru fiecare turbină eoliană: energia anuală produsă brută și netă, viteza medie la înălțimea axei de rotație, densitatea de putere eoliană, pierderile de energie din cauza efectelor de turbulență produse de celelalte turbine (wake losses).

2.3.5. Modelul rugozităților suprafeței terenului

Rugozitatea suprafeței terenului este determinată de mărimea și distribuția elementelor de rugozitate: vegetație, inclusiv păduri, fâșii de protecție, zone construite și suprafața solului. Informația despre rugozitatea terenului face parte din setul de date de intrare în MAV, respectiv WAsP (vezi Figura 2.4.). În Atlasul European al Vântului [9] terenurile au fost împărțite în patru tipuri, fiecare caracterizat prin elementele sale de rugozitate. Fiecare tip de teren poate fi caracterizat printr-o clasă de rugozitate. Rugozitatea unui teren se caracterizează printr-o lungime, numită lungimea rugozității, z_0 . În cazul în care variația vitezei vântului cu înălțimea este considerată

logaritmică, z_0 este înălțimea la care viteza medie a vântului este egală cu zero. Acest lucru se întâmplă, de obicei, în condiții de vânt moderat și puternic.

În această lucrare se folosește o relație empirică simplă ce leagă elementele de rugozitate și lungimea rugozității z_0 [9]. Elementul de rugozitate este caracterizat prin înălțimea h și secțiunea transversală orientată spre vânt S . Pentru un număr de elemente de rugozitate distribuite uniform pe o suprafață, densitatea poate fi descrisă de suprafața orizontală medie, A_H , disponibilă pentru fiecare element. În acest caz, lungimea rugozității z_0 va fi:

$$z_0 = 0,5 \frac{h \cdot S}{A_H} \quad (2.1)$$

De exemplu, pentru un teren cu multiple case care au înălțimea $h=5$ m, suprafața orientată spre vânt $S=100$ m² și $A_H=1000$ m² (o zonă rurală), lungimea rugozității $z_0=0,5 \cdot 5 \cdot 100 / 1000 = 0,25$ m. Un alt exemplu - fâșiile de protecție. Fie că L este lungimea fâșiei de protecție, l - distanța dintre fâșii. Atunci $S=l \cdot L$, $A_H=l \cdot L$ și

$$z_0 = 0,5 \frac{h^2}{l} \quad (2.2)$$

Lungimea rugozității z_0 poate fi calculată cu (2.1) sau (2.2), sau determinată în baza studiilor pe teren, consultarea hărților topografice la scara 1:25000 sau 1:50000, hărților furnizate de Întreprinderea de Stat Institutul de Geodezie, Prospekțiuni Tehnice și Cadastru „INGEOCAD” [59] și informațiile geospațiale operative oferite de portalul Google Earth. Având aceste date, se face prima încadrare a terenului în una din cele patru clase de rugozitate prezentate în Tabelul 2.5., apoi, în dependență de caracteristicile terenului, se determină lungimea rugozității.

Tabelul 2.4. Clasele de rugozitate și caracteristicile terenului

Clasa de rugozitate	Caracteristica terenului	Lungimea rugozității, z_0
3	Oraș	1,0
	Păduri	0,8
	Suburbii	0,5-0,4
	Fâșii de protecție	0,3
	Arbori și arbuști	0,2
2	Terenuri agricole cu aspect închis	0,1
1	Terenuri agricole cu aspect deschis	0,03
0	Aeroport cu clădiri și arbori	0,02
	Pista aeroportului	0,01
	Miriște	0,008
	Sol neted și gol	0,005
	Suprafață netedă cu zăpadă	0,001
	Suprafață netedă cu nisip	0,0003
	Suprafața apei	0,0001

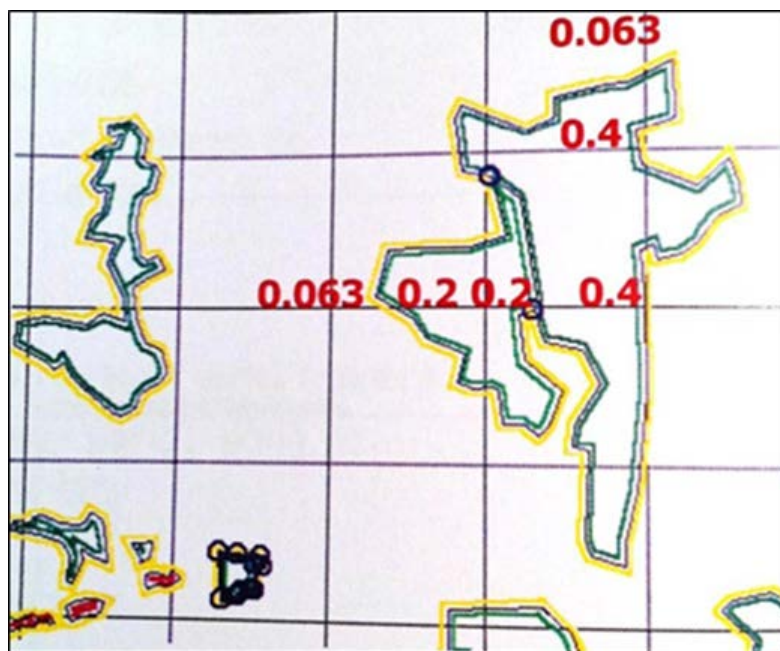


Figura 2.6. Reprezentarea rugozităților în formatul Map Editor [60];

În Figura 2.6. este ilustrată modalitatea de introducere a rugozității în programul Map Editor. Rugozitatea este reprezentată în felul următor [60]:

- Este marcată cu linii de rugozitate;
- Fiecare linie are un contur interior și unul exterior, ambele fiind închise, parametrul de bază fiind rugozitatea în metri;
- Fiecare contur este reprezentat printr-un număr de puncte: segmente de linii sau poligoane.
- Este posibil de combinat liniile pentru rugozitate cu cele ale orografiei.

Trebuie să ținem cont de faptul că orice contur introdus trebuie să fie închis și orice contur va fi definit de două valori ale rugozității - una pentru interiorul conturului și a doua pentru exteriorul conturului. De asemenea, fiecare contur va fi marcat cu trei linii de diferite culori, iar pentru cazul în care vom avea două contururi la fel, culorile liniilor vor fi identice; deci, cu alte cuvinte, fiecare tip de rugozitate va avea culoarea ei specifică.

Totodată, aici trebuie să specificăm faptul că hărțile potențialului eolian prezentate în Atlasul European al Vântului au fost calculate în ipoteza că rugozitatea are o valoare constantă, deși diferită, pentru suprafețe mari de teren. Din acest motiv, nu pot fi identificate zonele cu potențial redus, de

exemplu, pădurile, aşezările rurale sau urbane și invers – zonele cu potențial ridicat. Se creează impresia că suprafețe extinse posedă unul și același potențial calculat pentru o rugozitate constantă.

În prezenta lucrare, folosind metodologia descrisă mai sus, s-au introdus în format digital rugozitățile caracteristice pădurilor, aşezărilor rurale și urbane, suprafețelor mari de apă etc. Ca exemplu, în Figura 2.7. se prezintă regiunea centru cu rugozitățile incluse. În consecință, hărțile obținute (vezi Capitolul 4) diferă esențial de cele prezentate în Atlasul European al Vântului.

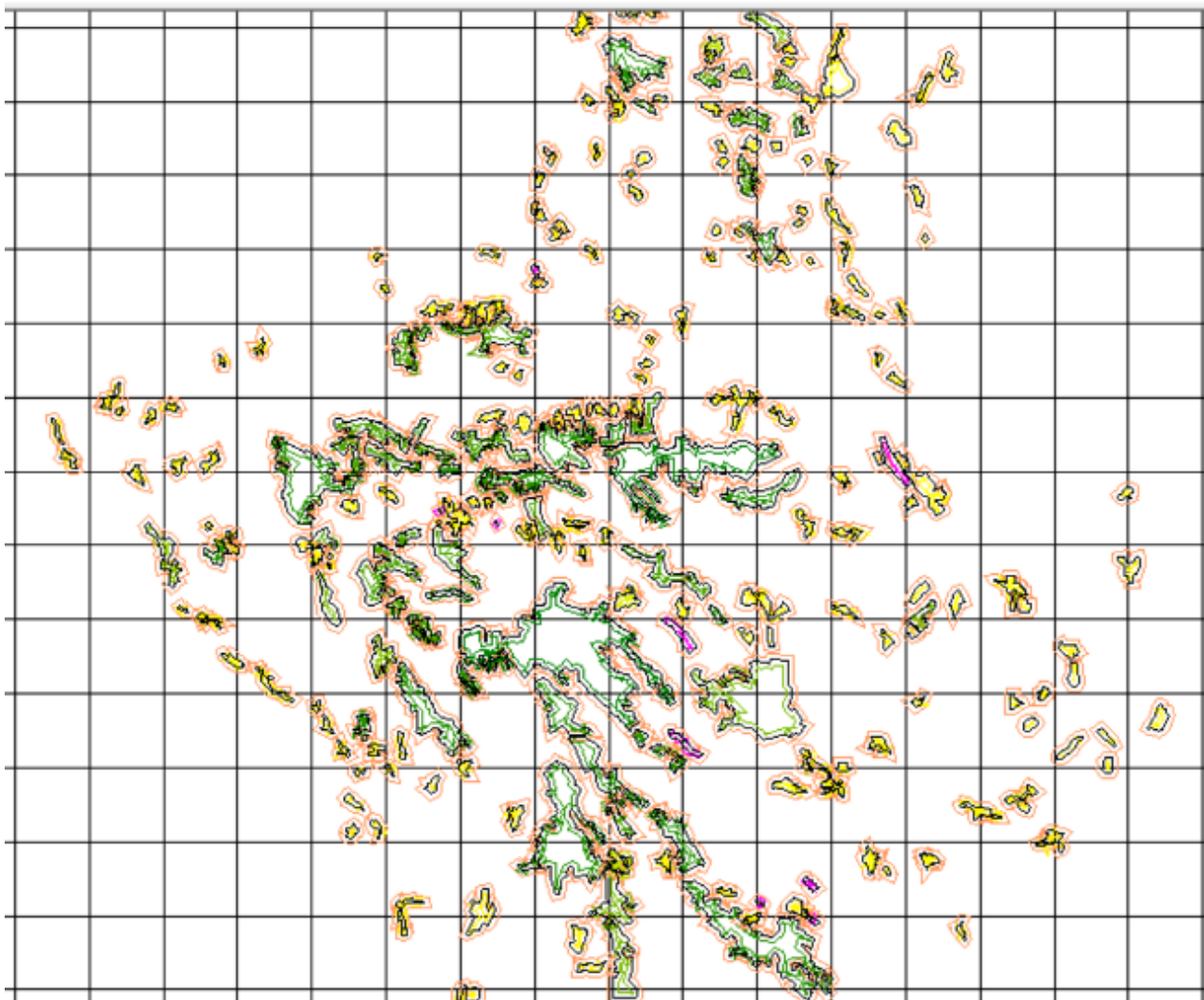


Figura 2.7. Harta rugozităților în formatul Map Editor pentru regiunea centru a Republicii Moldova

2.3.6. Modelul umbririi create de obstacole

O componentă a terenului din jurul anemometrului sau turbinei - clădire, un perete sau o fâșie de pădure prezintă un obstacol pentru fluxul de aer sau un element de rugozitate. În spatele obstacolului

viteza vântului se diminuează, curgerea devine turbulentă. Efectele produse de obstacole influențează atât asupra mijloacelor de măsurare a caracteristicilor vântului, cât și asupra funcționării unei eventuale turbine eoliene.

Informația despre obstacole este necesară în ambele etape ale utilizării MAV. La etapa de analiză a datelor istorice despre vânt se face un studiu al terenului din jurul stâlpului de măsurări având ca scop identificarea obstacolelor și poziționarea lor pe harta digitală. Similar se procedează și la etapa de aplicare, diferența fiind obiectul de studiu – regiunea în care dorim să prezicem vântul sau amplasamentul viitoarei CEE. Altfel spus, modelul umbririi este necesar pentru a corecta datele influențate de obstacolele existente în jurul anemometrului.

Umbrirea produsă de un obstacol oarecare depinde de următorii parametri:

1. Distanța X de la obstacol până la punctul de interes - stâlpul de măsurări sau turbina eoliană.
2. Înălțimea h a obstacolului.
3. Înălțimea H a punctului de interes deasupra nivelului solului: în cele mai multe cazuri – înălțimea de montare a anemometrului sau înălțimea axei de rotație a turbinei eoliene.
4. Lungimea L a obstacolului.
5. Porozitatea P a obstacolului.

În MAV se utilizează modelul umbririi propus de M. D. Perera [61] pentru un obstacol bi – dimensional, de exemplu, o clădire, un perete, un rând lung de arbori, o fâșie de protecție etc. Cu datele experimentale obținute în tunelul aerodinamic, Perera a propus expresia ce determină micșorarea relativă, exprimată în procente, a vitezei $\Delta U/U$ în aval de obstacol

$$\frac{\Delta U}{U} = 9,8 \left(\frac{H}{h}\right)^{0,14} \frac{X}{h} (1 - P)\eta \exp(-0,67\eta^{1,5}), \quad (2.3)$$

unde:

$$\eta = \frac{H}{h} (0,32/\ln(h/H) \cdot X/h)^{-0,47}. \quad (2.4)$$

Din analiza (2.3) și (2.4) au fost trase următoarele concluzii:

1. Pentru distanțele dintre obstacol și punctul de interes, exprimate prin raportul X/h , egale sau mai mari de 50, micșorarea relativă a vitezei vântului este mai mică de 1,5% și respectivul obstacol trebuie considerat ca element de rugozitate.

2. Dacă raportul X/h este mai mic de 50, micșorarea relativă a vitezei vântului va fi considerabilă și elementul respectiv trebuie să fie considerat ca obstacol cu o porozitate P specificată. Nu se admite ca una și aceeași componentă a terenului să fie prezentată concomitent ca obstacol și ca element de rugozitate.

Ca rezultat sunt recomandate următoarele valori ale porozității P : zero pentru clădiri, 0,5 pentru pădure, 0,33 pentru un rând de clădiri separate la o distanță de $1/3$ din lungimea clădirii. Pentru fâșii vegetale de protecție contra vântului sau pereți valorile porozității sunt prezentate în Tabelul 2.5. [9].

Tabelul 2.5. Porozitatea componentelor terenului

Fâșie de protecție	Porozitatea, P
Perete solid	0,0
Fâșie foarte densă	0,0-0,35
Fâșie densă	0,35-0,50
Fâșie rară	>0,50

2.3.7. Limitări și erori ale Metodei Atlasului Vântului

După cum s-a accentuat mai sus, MAV asigură estimarea resurselor energetice eoliene într-o regiune oarecare în baza măsurărilor care s-au efectuat de-a lungul anilor în scopuri sinoptice sau în cadrul unor campanii speciale de măsurări în scopuri energetice. De regulă, ultimele se efectuează pe durata unui an sau a câtorva ani.

Amplasamentul în care s-au efectuat măsurări este numit amplasament de referință, iar amplasamentul pentru care se efectuează estimarea potențialului eolian – amplasament prezis. Previziuni exacte utilizând MAV și pachetul de programe WAsP pot fi obținute în cazul în care ambele amplasamente – cel de referință și cel prezis sunt [62]:

1. Supuse aceluiași regim de vreme, definit prin sisteme sinoptice tipice predominante.
2. Condițiile meteorologice predominante sunt aproape de a fi în echilibru neutru (mișcările de aer pe axa verticală sunt minimale sau lipsesc).
3. Terenul din jur nu este prea abrupt sau accidentat, adică suficient de neted pentru a asigura fluxuri predominant atașate.

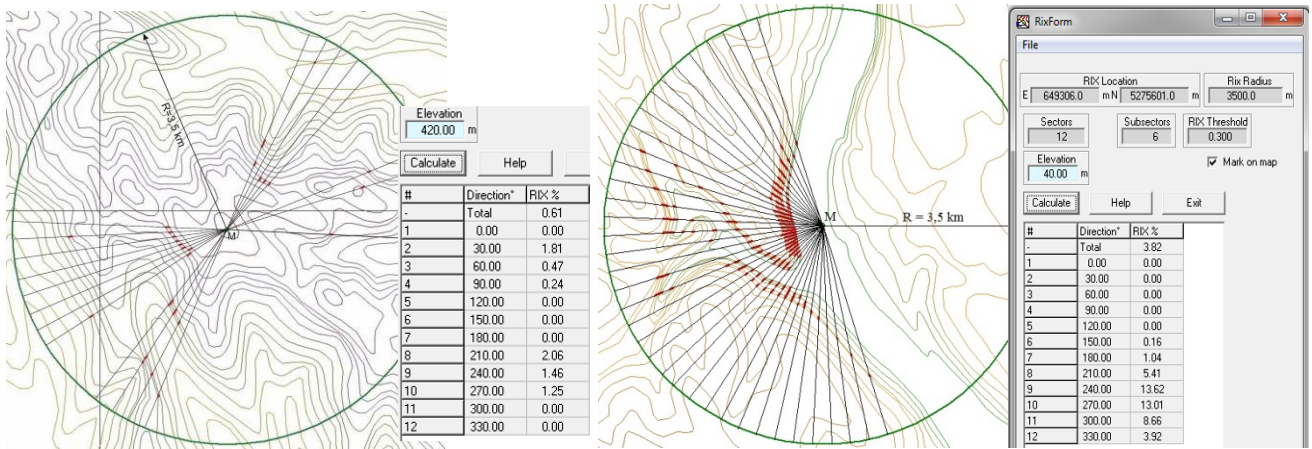


Figura 2.8. Indicatorul de accidentare *RIX*: dealul Bălănești – stânga, zona Nistrului - dreapta

Particularitățile climatei Moldovei [1] permit să concluzionăm că primele două condiții sunt respectate. Îndeplinirea celei de a treia condiții – nivelul de accidentare a terenului - nu este atât de evidentă și necesită studii suplimentare. Influența topografiei asupra acurateții predicțiilor folosind MAV și pachetul de programe WASP a fost investigată în lucrările [58, 62, 63-66]. Autorii acestor lucrări au făcut următoarele concluzii cu privire la limitările și acuratețea MAV:

1. Cel mai important factor pentru exactitatea predicțiilor cu MAV în teren abrupt este gradul de accidentare a terenului pentru ambele amplasamente – cel de referință și cel prezis, descris de indicatorul de accidentare *RIX* (ruggedness index). În programul WASP, indicatorul *RIX* se calculează în felul următor: în jurul punctului de interes *M*, Figura 2.8., de exemplu, punctul stâlpului de măsurări sau punctul turbinei eoliene, se analizează o zonă circulară cu raza de 3,5 km. Cercul se divizează în 72 sectoare sau 5^0 pentru un sector. *RIX* se calculează pentru fiecare rază originară din punctul *M* ca fiind raportul dintre suma lungimilor segmentelor roșii și lungimea razei *R*. Segmentele roșii din Figura 2.9. semnifică că de-a lungul razei respective sunt porțiuni de teren cu panta mai mare decât cea critică $\theta_C=0,3$ (setare default, poate fi modificată) și corespunde unghiului de înclinație egal cu 17^0 . Dacă panta este egală sau mai mică de 0,3, atunci pe respectiva rază segmentele roșii vor lipsi. Acest indicator trebuie să fie zero sau egal, cel mult, cu câteva procente.

2. Al doilea indicator este ΔRIX , numit indicator de performanță orografică (orographic performance indicator). Este definit ca reprezentând diferența dintre indicatorii *RIX* ai amplasamentului de referință și ai celui prezis, $\Delta RIX=RIX_R-RIX_P$, exprimată în procente. Dacă unul sau ambii dintre cei doi indicatori sunt mai mari decât zero, pot fi așteptate erori de predicție.

3. În cazul în care $\Delta RIX \sim 0\%$, erorile de predicție sunt relativ mici. În cazul în care amplasamentul de referință este accidentat, iar amplasamentul prezis mai puțin accidentat sau plat ($\Delta RIX < 0$), predicția potențialului eolian este subestimată cu o eroare negativă. Invers, dacă amplasamentul de referință este plat sau mai puțin accidentat decât amplasamentul prezis ($\Delta RIX > 0$), predicția este supraestimată cu o eroare pozitivă.

4. În cazul în care ΔRIX variază între $+6,0$ și $-6,0\%$, eroarea de predicție a potențialului eolian nu va depăși $\pm 5\%$ [66].

5. Două caracteristici ale hărților digitale topografice sunt importante: intervalul dintre liniile de contur și nivelul de discretizare a hărților digitalizate [63]. Recomandările sunt următoarele: erorile de predicție scad odată cu scăderea intervalului dintre liniile de contur, un interval de 20 m sau mai puțin asigură o predicție satisfăcătoare, erorile de predicție sunt mari ($>6\%$), atunci când dimensiunile celei rețele de discretizare sunt mai mari de 100 m.

2.4. Aplicabilitatea Metodei Atlasului Vântului la Evaluarea Resurselor Energetice Eoliene ale Republicii Moldova

Teritoriul Republicii Moldova ocupă o suprafață relativ mică de 33 843 km², dintre care 472 km² sunt ape. Relieful este prezentat prin dealuri și câmpii, podișurile ocupând, mai ales, partea centrală a teritoriului. În ansamblu, acesta este înclinat de la nord-vest spre sud-est. Cele mai ridicate regiuni sunt cele din podișurile de nord-vest și centru (300-400 m), în partea de sud altitudinile fiind mai reduse (100-200 m). Altitudinea medie este de 147 m, cea maximă de 429,5 m, Dealul Bălănești, iar cea minimă – circa 2 m, în cursul inferior al Nistrului.

În conformitate cu Legea Nr. 438 din 28.12.2006 privind dezvoltarea regională, teritoriul Republicii Moldova este divizat în 6 regiuni de dezvoltare economică regională, Figura 2.9. Regiunea nord include municipiul Bălți, raioanele Briceni, Dondușeni, Drochia, Edineț, Fălești, Florești, Glodeni, Ocnița, Rîșcani, Sîngerei, Soroca; regiunea centru - raioanele Anenii Noi, Călărași, Criuleni, Dubăsari, Hîncești, Ialoveni, Nisporeni, Orhei, Rezina, Strășeni, Șoldănești, Telenești, Ungheni; regiunea sud – raioanele Basarabeasca, Cahul, Cantemir, Căușeni, Cimișlia, Leova, Ștefan Vodă, Taraclia; Unitatea teritorială autonomă Găgăuzia; municipiul Chișinău; Transnistria care include unitățile administrativ-teritoriale din stânga Nistrului, inclusiv municipiile Tiraspol și Bender.

Evaluarea potențialului energetic eolian a fost făcută pentru trei regiuni – nord, centru și sud în care au fost incluse și celelalte trei regiuni: Unitatea teritorială autonomă Găgăuzia, municipiul Chișinău și Transnistria (vezi liniile galbene din figura 2.9). Astfel, a fost posibil de a realiza EPEE la microscară cu ajutorul MAV și a programului specializat WASP versiunea 9.1, micșorându-se durata de calcul pentru fiecare regiune și a fost posibil să utilizăm calculatoare disponibile.



Figura 2.9. Regiunile nord, centru și sud

Însă, înainte de a utiliza MAV, însoțită de softul WASP, trebuie / a trebuit să determinăm dacă gradul de accidentare a terenului și datele de intrare ale hărților disponibile nu depășesc valorile indicate mai sus. Au fost calculate valorile RIX și ΔRIX , respectiv, pentru regiunile sud, centru și nord. Valorile maxime ale RIX și ΔRIX sunt prezentate în Tabelul 2.6. Pentru aceasta a fost utilizată harta orografică digitală cu intervalul dintre liniile de contur egal cu 20 m, iar rezoluția hărților obținute este de 100x100 m.

În Figurile 2.10. – 2.12. sunt prezentate hărțile indicatorului de performanță orografică ΔRIX pentru regiunile menționate mai sus și zonele critice în care ΔRIX are valori maxime. Cele mai accidentate zone în care ΔRIX atinge valori maxime, sunt situate de-a lungul râurilor Nistru și Răut și, într-o măsură mai mică, zona podișului central – dealul Bălănești. Chiar și în zonele critice, valorile maxime ale ΔRIX nu depășesc 5,6 %.

Tabelul 2.6. Valorile maxime ale RIX și ΔRIX

Regiunea	RIX_{max} , %	ΔRIX_{max} , %
Sud	2,7	2,6
Centru	6,2	5,6
Nord	4,6	4,6

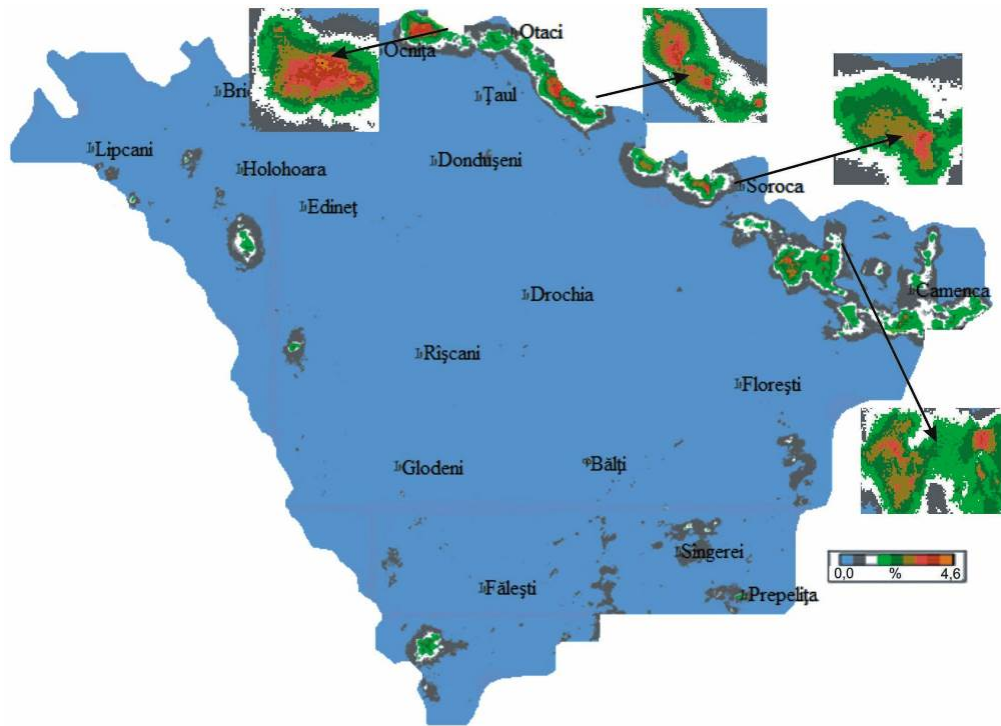


Figura 2.10. Harta Δ RIX pentru regiunea nord

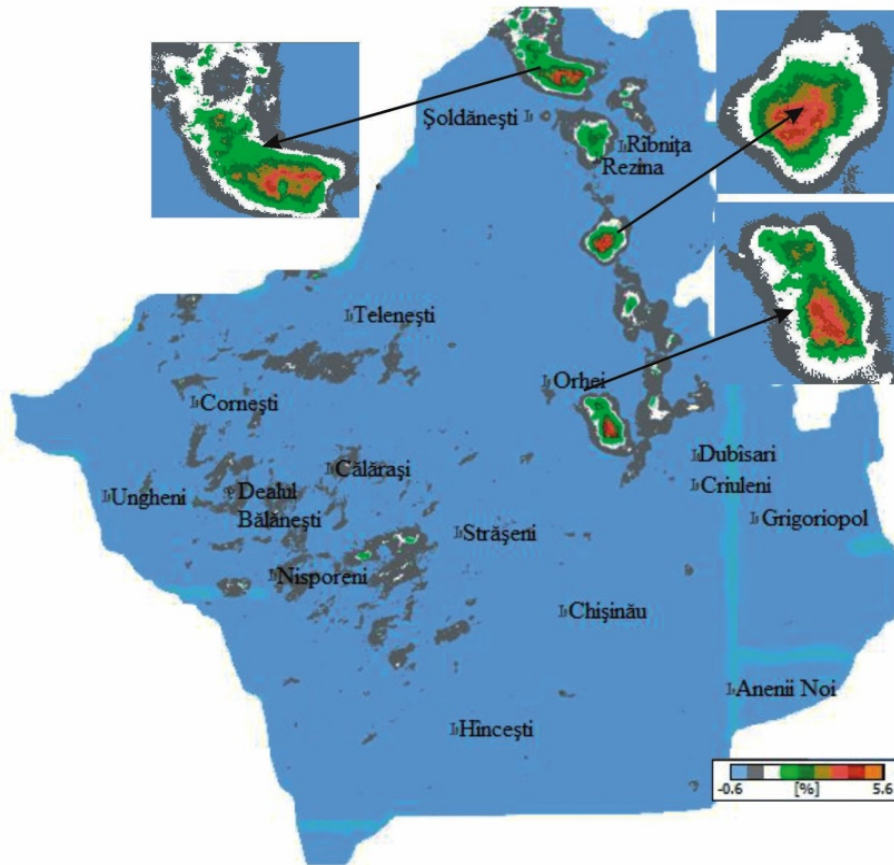


Figura 2.11. Harta Δ RIX pentru regiunea centru

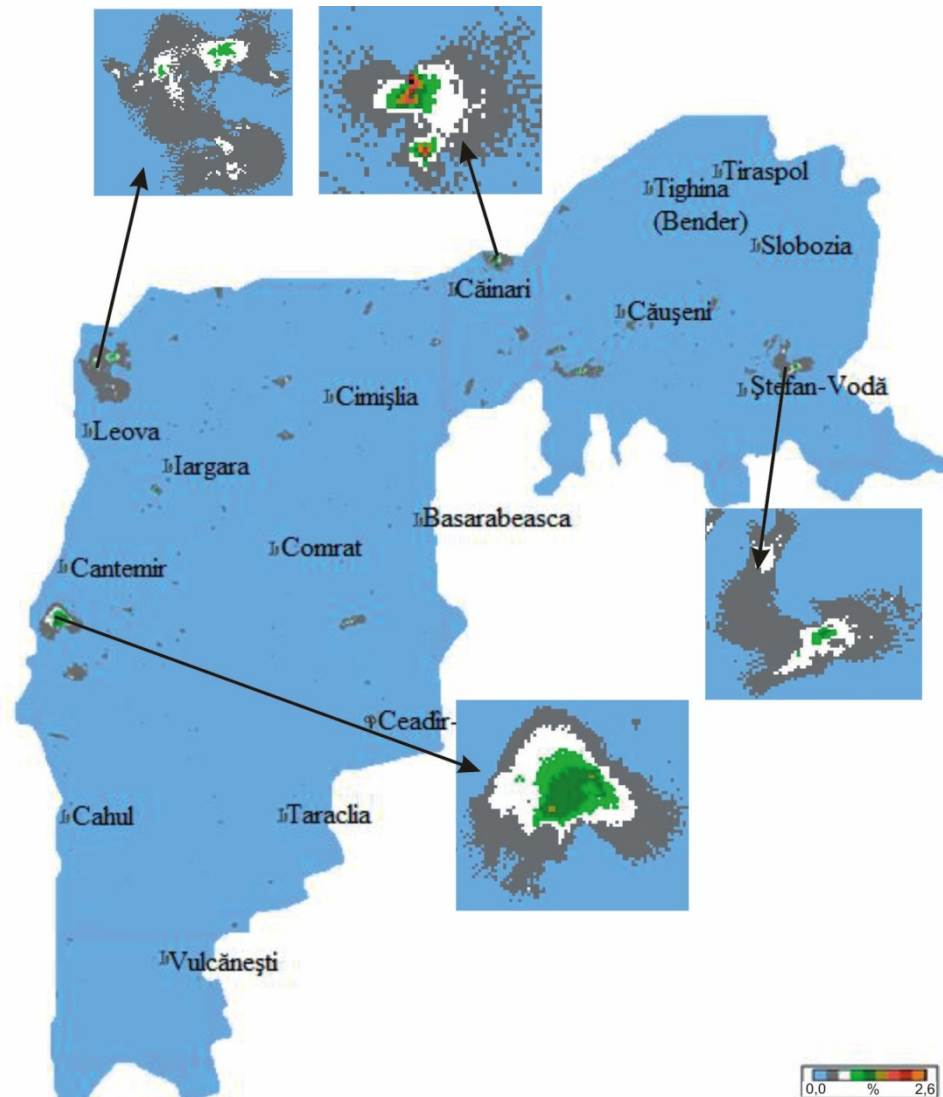


Figura 2.12. Harta ΔRIX pentru zona economică sud

Menționăm că valorile calculate ale RIX și ΔRIX , precum și datele de intrare topografice disponibile, nu le depășesc pe cele recomandate. Cu alte cuvinte, orografia terenului Republicii Moldova corespunde domeniului operațional al MAV și estimarea potențialului energetic eolian poate fi făcută cu o precizie acceptabilă.

Concluzii la Capitolul 2

Studiind metodele și software pentru evaluarea potențialului energetic eolian, s-au generat următoarele concluzii:

1. Principalul avantaj al metodelor de EPEE folosind datele de la sol monitorizate și colectate continuu sau discontinuu este că, permit evaluarea resurselor vântului doar în baza datelor primare despre vânt, fără a implica careva cheltuieli suplimentare ce țin de softuri specializate. Dezavantajele acestor metode însă sunt: permit EPEE doar în unu sau câteva puncte, necesită perioade lungi de timp, echipamentul de măsurare este costisitor, iar precizia rezultatelor adesea este compromisă de obstacole și rugozități.

2. Metodologiile ce au la bază Modelul Predicției Numerice a Vântului permit obținerea hărților cu o rezoluție între 10 – 1000 km, studiind astfel doar dinamica atmosferei la sistemele de dimensiuni mari. Aceste metodologii nu pot fi folosite la evaluarea producerii unei eventuale turbine sau parc eolian, fiind binevenite doar la identificarea zonelor cu potențial eolian relativ înalt la nivel de: țară, insulă, peninsulă sau continent.

3. Metodologiile care ne permit EPEE la mezoscară au o rezoluție a hărților cuprinsă în intervalul 1 – 10 km și au capacitatea de a simula, cu o precizie rezonabilă, fluxurile complexe ale maselor de aer, în zonele în care măsurătorile de suprafață sunt insuficiente sau în general lipsesc. Hărțile obținute la această scară permit identificarea regiunilor cu un potențial energetic eolian pronunțat, însă nu pot fi utilizate în procesul de amplasare a unei turbine sau parc eolian și calcularea producerii acestuia.

4. Metodologiile ce au la bază modelele la microscară sunt utilizate, de obicei, în procesul de amplasare a unei turbine sau parc eolian, având posibilitatea de a calcula și producerea acestora pentru o perioadă de un an. Hărțile obținute au o precizie înaltă și o rezoluție foarte fină cuprinsă în intervalul 1 m – 1 km, iar în momentul calculării lor se iau în considerație efectele locale, cum ar fi orografia, obstacolele, rugozitatea suprafeței și fluxurile acționate termic.

5. Marea majoritate a metodologiilor avansate de EPEE au un cost relativ înalt, necesită cunoștințe de bază în meteorologie, matematică și fizică și tehnică de calcul performantă. Iată de ce, înainte de a alege metodologia trebuie să facem o analiză critică a mai multor posibilități care ne vor permite să alegem exact metodologia ce va răspunde concret la cerințele impuse, economisind astfel bani și timp.

6. Analizând mai multe metodologii de EPEE am ajuns la concluzia că Metoda Atlasului Vântului însoțită de softul WAsP este cea mai potrivită metodologie de EPEE pentru Republica Moldova.

7. 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 prezicem vântul poate fi de 100 km.

8. MAV 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 (regiune) în care nu s-au efectuat măsurări.

9. RM a fost împărțită în trei regiuni – nord, centru și sud, care includ toate 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.

10. Pentru prima dată s-a verificat aplicabilitatea MAV pentru condițiile orografice caracteristice teritoriului RM. S-a demonstrat că orografia teritoriului Republicii Moldova îndeplinește condițiile de aplicabilitate ale MAV. Valoarea maximă a indicatorului de performanță orografică ΔRIX 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 % și putem afirma că eroarea de predicție a potențialului eolian nu va depăși $\pm 5\%$.

11. S-au identificat cele mai abrupte zone în care indicatorul de accidentare RIX și de performanță orografică ΔRIX au valori maxime. Acestea sunt situate de-a lungul râului Nistru și Răut.

3. PROCESAREA ȘI ANALIZA DATELOR ISTORICE DESPRE VÂNT

3.1. Evoluția Serviciului Hidrometeorologic de Stat al Republicii Moldova

Activitatea Serviciului Hidrometeorologic de Stat al Republicii Moldova își are începutul în anul 1844, după primele observații meteorologice efectuate în orașul Chișinău. Iar, cu aproximativ 30 de ani mai târziu, observațiile meteorologice se efectuau în 5 puncte ale țării: Briceni (1887), Soroca (1890), Comrat (1892), Plopi (1894) și Tiraspol (1898).

La începutul secolului XX, observațiile meteorologice staționare se efectuau în 11 puncte, iar cele hidrologice – în 6. Însă, la majoritatea stațiilor, observațiile aveau caracter episodic, fiind întrerupte de acțiunile militare din timpul I-lui și celui de-al II-lea război mondial.

În perioada postbelică a început restabilirea intensivă a stațiilor de observație, care au funcționat anterior, și deschiderea altor noi, inclusiv organizarea unor noi tipuri de observații. La mijlocul secolului trecut rețeaua hidrometeorologică a țării a atins o densitate optimală și era formată din 14 stații [11].

Printre lucrările cele mai importante ale SHMS se numără monografiile: „Климат Молдавской ССР”, „Климат Кишинева”, „Агроклиматические ресурсы Молдавской ССР”, „Агроклиматический справочник Молдавской ССР”, „Метеорологические стихийные явления на Украине и Молдавии” ș.a., realizate în colaborare cu Institutul de Geografie al Academiei de Științe a Republicii Moldova.

După obținerea independenței, SHMS devine membru al Organizației Meteorologice Mondiale (OMM), membru al Consiliului Internațional pentru Hidrometeorologie al statelor CSI, participă în cadrul programelor internaționale (Convenția-cadru ONU privind schimbările climatice, Convenția privind cooperarea pentru protecția și utilizarea durabilă a fluviului Dunărea, Convenția privind poluarea transfrontalieră a aerului la distanțe mari, Convenția ONU privind combaterea deșertificării).

Actualmente, SHMS este o instituție publică din subordinea Ministerului Mediului, activitatea căruia este reglementată prin Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 401 din 3 aprilie 2003 "Despre unele aspecte privind activitatea hidrometeorologică în Republica Moldova" [68].

În formula actuală, Serviciul întrunește trei domenii principale de activitate și are un efectiv limită în număr de 369 unități:

- Meteorologie;
- Hidrologie;
- Monitorizarea calității mediului.

Sarcinile principale ale Serviciului Hidrometeorologic de Stat sunt:

1. Efectuarea monitorizării stării și evoluției condițiilor hidrometeorologice și a calității mediului ambiant în scopul protecției populației și ramurilor economiei naționale împotriva fenomenelor hidrometeorologice periculoase și a nivelului înalt de poluare a mediului ambiant;

2. Elaborarea prognozelor meteorologice, agrometeorologice, hidrologice, precum și despre nivelul poluării mediului ambiant;

3. Elaborarea avertizărilor privind declanșarea fenomenelor hidrometeorologice, precum și despre nivelul înalt al poluării mediului ambiant;

4. Asigurarea populației, organelor administrației publice centrale și locale, agenților economici, apărării naționale cu informație hidrometeorologică și despre calitatea mediului ambiant;

5. Constituirea și gestionarea Fondului Național de Date Hidrometeorologice, necesar pentru fundamentarea hidrometeorologică a proiectării, executării și exploatării diverselor obiective social-economice și pentru elaborarea strategiilor de dezvoltare pe termen lung a economiei naționale;

6. Participarea la schimbul de informații în cadrul sistemului mondial de observații hidrometeorologice și îndeplinirea obligațiilor care rezultă din convențiile și acordurile internaționale la care Republica Moldova este parte.

3.2. Ce este procesarea datelor despre vânt

Datele inițiale despre viteza și direcția vântului, obținute de la stațiile meteorologice sau de la stațiile speciale de măsurare a parametrilor vântului, nu ne spun prea multe despre vântul din acea regiune până la momentul în care aceste date nu sunt procesate, analizate și comparate. Iată de ce, procesarea datelor brute și prezentarea acestora sub formă de tabel sau grafic are o importanță deosebită în procesul de creare a concluziilor finale despre caracterul vântului dintr-o anumită regiune.

Acest capitol este dedicat procesării datelor despre viteza și direcția vântului pentru o perioadă de 22 de ani, între anii 1990 – 2011, de la 18 stații hidrometeorologice ale SHMS de pe teritoriul RM.

3.3. Informații despre vânt disponibile în Republica Moldova

Serviciul HidroMeteo al fostei U.R.S.S. a publicat 34 de lucrări cu titlul: “Agenda climei U.R.S.S. - Справочник по климату СССР.” Toate lucrările sunt realizate în conformitate cu un program și o metodică comună de prelucrare și prezentare a elementelor meteorologice. Fiecare ediție a Agendei conține 6 părți, care cuprind caracteristicile diferitor elemente: partea I - radiația solară, bilanțul radiației și strălucirea soarelui; partea II - temperatura aerului și a solului; partea III – vântul și presiunea atmosferică; partea IV - umiditatea aerului, precipitații și stratul de zăpadă; partea V - nebulozitatea și fenomene atmosferice; partea VI – elemente meteorologice complexe.

Cea mai recentă sursă de informații, Agenda [70], a fost publicată în anul 1990 și cuprinde toate cele 6 părți menționate mai sus. Agenda cuprinde datele procesate cu privire la viteza medie lunară și direcția vântului obținute la șapte stații meteorologice pe diferite durate de observări, Tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Caracteristica stațiilor meteorologice și viteza medie a vântului [70]

Stația meteo	Altitudinea, m	Perioada măsurărilor	Înălțimea aparatului de măsură, m		Data montării anemometrului	Viteza medie anuală a vântului, m/s
			Girueta Vilde	Anemometru M63		
Briceni	242	1951-80	10	10	IV 1973	2,9
Soroca	143	1949-80	13	10	X 1972	3,7
Bălți	102	1946-80	11	10	I 1966	3,0
Cornești	232	1947-80	11	10	II 1967	3,6
Chișinău	90; 173 (din 1975)	1954-74	12	11	XII 1965	2,6
Tiraspol	19	1946-80	12	10	V 1974	3,0
Comrat	133	1946-80	11	11	V 1966	2,9

Pentru o singură stație - stația hidrometeorologică Chișinău, sunt prezentate și date cu privire la funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, care se exprimă în procente din totalitatea măsurărilor efectuate într-o lună sau un an, Tabelul 3.2. Această caracteristică climatologică a vântului este foarte importantă pentru energetica eoliană, deoarece energia vântului este proporțională cu cubul vitezei.

Totodată, menționăm că toate stațiile meteorologice amplasate pe teritoriul RM au diferite grade de umbrire a anemometrului, care se modifică în timp din cauza construcțiilor noi, schimbării reliefului, etc. Această concluzie este argumentată, dacă comparăm vitezele medii ale vântului la aceleași stații obținute în urma procesării datelor pe diferite perioade de timp (Tabelul 3.3.).

Tabelul 3.2. Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului la stația hidrometeorologică Chișinău [70]

Viteza vântului	m/s	1-2	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17
Repetitivitatea	%	29	39	23	7,0	2,0	0,3	0,1	0,01	0,01

Tabelul 3.3. Vitezele medii anuale ale vântului obținute în urma procesării datelor măsurate în diferite perioade de timp [11]

Stația meteo	Perioada măsurărilor		Viteza medie anuală a vântului	
	Sursa [11]	Sursa [70]	Sursa [11]	Sursa [70]
Briceni	1947-56	1951-80	3,1	2,9
Soroca	1947-56	1949-80	4,6	3,7
Camenca	1947-56	-	4,0	-
Voroncovo	1947-56	-	4,5	-
Corpaci	1947-56	-	3,1	-
Bălți	1947-56	1946-80	3,2	3,0
Cornești	1947-56	1947-80	4,2	3,6
Cărpineni	1947-56	-	2,7	-
Chișinău	1947-56	1954-74	3,2	2,6
Tiraspol	1947-56	1946-80	3,2	3,0
Olănești	1947-56	-	4,7	-
Comrat	1947-56	1946-80	3,3	2,9
Leova	1947-56	-	3,0	-
Cahul	1947-56	-	3,7	-

Constatăm că pentru toate stațiile comparabile, vitezele medii ale vântului obținute în urma procesării datelor măsurărilor efectuate cu circa 30 de ani în urmă [11] sunt mai mari cu 7 – 24 %, iar în termeni de energie eoliană, în mod corespunzător, cu 22 - 91 %. Autorul lucrării [10] menționează că din cele 14 stații meteorologice prezentate în Tabelul 3.3. doar 4 (Soroca, Voroncovo, Camenca, Olănești) au un grad comparativ mic de umbrire.

S-a făcut o analiză comparativă dintre vitezele medii ale vântului măsurate la nivelul axei anemometrului, de obicei 10 – 12 m, la stațiile meteorologice din Germania, amplasate în zonele centrale și de sud ale țării și vitezele respective obținute la stațiile meteorologice ale RM.

Rezultatele sunt prezentate în Tabelul 3.4. Vitezele vântului pentru stațiile meteorologice din Germania au fost culese din Atlasul European al Vântului [9], pentru cele amplasate pe teritoriul RM – au fost calculate, având ca date inițiale măsurările efectuate pe o perioadă de 10 ani (1990 - 1999) și folosind programul WAsP.

Tabelul 3.4. Vitezele medii ale vântului la înălțimea anemometrului măsurate la stațiile meteorologice din Germania și Republica Moldova

Germania		Republica Moldova	
Stația meteo	Viteza medie a vântului, m/s	Stația meteo	Viteza medie a vântului, m/s
Berlin	4,2	Ceadr – Lunga	5,0
Braunschweig	3,8	Cahul	4,2
Hamburg	4,4	Leova	3,2
Düsseldorf	4,0	Comrat	3,2
Frankfurt	3,3	Tiraspol	3,6
Saarbrücken	3,5	Bălțata	3,0
Stuttgart	2,5	Bălți	3,6
München	2,9	Soroca	3,0
Hof–Hohensaas	3,8	Chișinău	2,8
Nürnberg	2,8	Ștefan - Vodă	2,8

În rezultatul celor menționate mai sus, putem face următoarele concluzii:

- Informația despre caracteristicile vântului din zonele de amplasare ale stațiilor hidrometeorologice, disponibilă în prezent, nu poate servi ca bază pentru a face o analiză tehnico-economică a unui proiect de implementare în domeniul energiei eoliene. Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului este disponibilă doar pentru stația meteo Chișinău. Informația respectivă privind celelalte 17 stații, care funcționează în prezent, lipsește;

- În [10] și alte lucrări, efectul de umbră a anemometrului de către obstacole este caracterizat prin una din cele 8 clase de umbră. Corecțiile respective ale valorilor vitezelor măsurate la stațiile meteorologice efectuate în baza acestor clase introduc erori subiective substanțiale. Corecțiile pot fi valabile doar având ca suport identificarea obiectivă a obstacolelor concrete, existente în amplasamentul stației meteorologice studiate;

- Principalele caracteristici ale vântului din amplasamentele stațiilor meteorologice – funcția densitate de probabilitate a vitezei și a direcției vântului pe sectoare – pot fi determinate în baza datelor primare privind viteza și direcția vântului stocate în arhiva SHMS al Republicii Moldova.

3.4. Descrierea succintă a stațiilor meteorologice din Republica Moldova

În prezent, Republica Moldova dispune de 18 stații meteorologice, prezentate în Tabelul 3.5., amplasate geografic conform imaginii prezentate în Figura 3.1. Pentru fiecare stație sunt indicate numele, coordonatele geografice, altitudinea deasupra nivelului mării și viteza medie a vântului pentru perioada de timp de 22 de ani.

Tabelul 3.5. 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	Bravicea	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	Ceadâr-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 - longitudoinea 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.

Vitezele vântului măsurate sunt obținute ca urmare a măsurărilor sistematice la fiecare trei ore, respectiv, la 0^{00} , 3^{00} , 6^{00} , 9^{00} , 12^{00} , 15^{00} , 18^{00} și 21^{00} . Viteza vântului pentru fiecare perioadă de trei ore se consideră viteza medie determinată în termen de 10 minute, adică între 0^{00} - 0^{10} , 3^{00} - 3^{10} , etc.

aproximativ 360 m în afara orașului, într-o zonă deschisă, având în preajmă, la o distanță de 60 m în partea sud-est, clădirea stației, iar, în aceeași direcție, la aproximativ 110 m, se întinde o fâșie de livadă, Figura 3.2.

În 2004 a fost instalată o stație automată ce permite măsurarea în regim continuu a temperaturii și umidității aerului, presiunii atmosferice, vitezei și direcției vântului, temperaturii suprafeței solului. Datele se transmit on-line și se stochează în memoria calculatorului.



Figura 3.2. Amplasarea stației hidrometeorologice Chișinău, imagine MapInfo

3.5. Rezultatele procesării datelor primare despre vânt

Datele istorice despre viteza și direcția vântului furnizate de stațiile meteorologice nu pot fi utilizate direct pentru calcule economice sau studiul de fezabilitate ale unui proiect eolian. Este necesară procesarea lor și obținerea caracteristicilor adecvate scopului propus. În cazul energiei eoliene prezintă interes următoarele caracteristici ale vântului:

1. Viteza medie pentru diferite durate de timp - o zi, o lună, un an sau pentru toată durata măsurărilor.
2. Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, altfel spus, histograma distribuției vitezei vântului pentru aceleași durate de timp. Este preferabilă aproximația analitică a distribuției.

3. Variația anuală a vitezei vântului – interpretarea grafică a vitezei medii anuale pe durata măsurărilor. Este importantă pentru identificarea influenței rugozităților și obstacolelor noi apărute. La nivel global – pentru identificarea schimbărilor climatice.

4. Variația lunară a vitezei vântului - interpretarea grafică a vitezei medii lunare pentru întreaga durată de măsurări. Se calculează viteza medie lunară, apoi viteza medie pentru aceeași lună ca fiind media aritmetică a mediilor lunare pentru întreaga perioadă, în cazul nostru 22 de ani.

5. Variația diurnă a vitezei vântului - interpretarea grafică a vitezei medii orale pe durata unei zi. SHMS a efectuat 8 măsurări pe zi. Cu ajutorul acestor date s-au calculat mediile pentru respectiva oră pe întreaga durată de 22 ani și pentru fiecare lună.

6. Roza vântului – interpretarea grafică a frecvenței vântului în punctul stâlpului de măsurări pe întreaga durată, pe 12 direcții sau sectoare a câte 30°.

Procesarea datelor despre vânt de la cele 18 stații meteorologice s-a dovedit a fi un proces destul de migălos și de lungă durată. Pentru o perioadă de 22 de ani fiecare din cele 18 stații a acumulat un număr de 64281 măsurări ale vitezei vântului și același număr de date pentru direcția vântului, iar în total au fost procesate, în mai multe etape, circa 2 314 000 de date. Un exemplu de fișier cu date brute ale vitezei și direcției vântului este prezentat în Tabelul 3.6.

Tabelul 3.6. Exemplu de date brute măsurate la stațiile meteo

Direcția și viteza vântului																		
An	Luna	Data	0 ⁰⁰		3 ⁰⁰		6 ⁰⁰		9 ⁰⁰		12 ⁰⁰		15 ⁰⁰		18 ⁰⁰		21 ⁰⁰	
			dir.	vit.	dir.	vit.	dir.	vit.	dir.	vit.	dir.	vit.	dir.	vit.	dir.	vit.	dir.	vit.
			grad	m/s	grad	m/s	grad	m/s	grad	m/s	grad	m/s	grad	m/s	grad	m/s	grad	m/s
1990	1	1	0	0	270	2	0	0	0	0	0	0	0	0	190	1	180	2
1990	1	2	290	2	0	0	0	0	0	150	2	210	2	350	2	350	2	
1990	1	3	330	2	290	2	290	1	300	1	0	0	270	1	300	2	360	3
1990	1	4	360	1	340	5	340	5	330	5	330	5	360	5	360	6	360	4
...																		
2011	12	28	310	2	315	3	301	5	311	3	282	3	337	4	0	0	256	1
2011	12	29	0	0	274	1	0	0	146	2	145	3	145	3	117	3	149	2
2011	12	30	188	2	181	1	209	1	215	2	152	2	266	1	233	2	97	1
2011	12	31	254	1	0	0	0	0	258	1	255	1	272	2	0	0	286	1

Procesarea datelor a fost efectuată în două etape cu două programe diferite. La prima etapă, datele brute au fost procesate în mediul Microsoft Excel, unde s-au calculat caracteristicile enumerate mai sus cu excepția funcției densitate de probabilitate a vitezei și roza vântului. Mai apoi, seriile de date din Microsoft Excel au fost organizate și convertite în formatul .prn – format acceptat la următoarea etapă.

La a doua etapă, fișierele cu date în formatul .prn sunt importate în subprogramul OWC Wizard (Observed Wind Climat – Observațiile Climei Vântului) din WAsP, care convertește datele într-un format acceptabil programului WAsP. La această etapă se obțin două rezultate importante:

- Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului în formă de histogramă și aproximația analitică cu funcția Weibull;
- Roza vântului.

Variația anuală a vitezei vântului

Dat fiind faptul că viteza și direcția vântului la toate stațiile SHMS sunt măsurate la înălțimea de 10 m deasupra nivelului solului, variațiile vitezei medii de la an la an prezintă interes pentru valorificarea energiei eoliene la scară mică. Puterea instalată per turbină variază între 1 și 50 kW, înălțimea turnului - 10-25 m. Pentru RM unul din domeniile prioritare este și alimentarea cu energie electrică a consumatorilor mici și neconectați la rețelele electrice publice, cum ar fi: pomparea apei, încălzirea spațiilor. În acest context, cunoașterea variației anuale a vitezei vântului [71, 74-76] este utilă pentru determinarea producției anuale minimale și maxime, dimensionarea capacității acumulatorilor. De asemenea, putem trage concluzii privind influența rugozităților și obstacolelor din imediata apropiere a anemometrului.

În Figura 3.3. sunt prezentate caracteristicile variației anuale a vitezei vântului pentru 2 stații hidrometeorologice: Cahul și Ceadâr-Lunga. Caracteristicile celorlalte stații sunt incluse în Anexa 1.

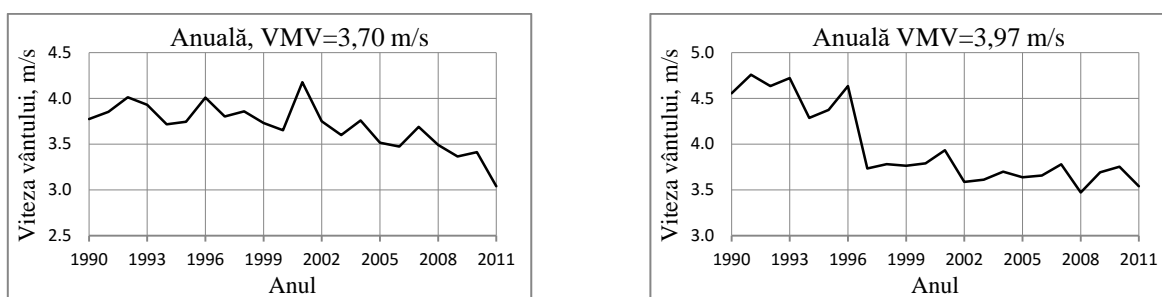


Figura 3.3. Variația anuală a vitezei vântului pentru stația Cahul (stânga), Ceadâr-Lunga (dreapta)

O întrebare importantă care apare la etapa de proiectare a unei turbine sau parc eolian este, cum variază viteza medie de la an la an în cifre, răspunsul la care va permite, în mod direct, de a determina în ce măsură va varia inclusiv producerea. Pentru aceasta, utilizând fișierele Excel cu datele primare ale vitezei vântului pentru cele 18 stații hidrometeorologice, s-au determinat vitezele

medii ale vântului pentru fiecare din cei 22 de ani. Astfel, pentru fiecare stație au fost identificate cele mai mici și, respectiv, cele mai mari viteze medii ale vântului, Tabelul 3.7., și s-a calculat cu cât variază viteza medie a vântului de la an la an, utilizând expresia erorii relative 3.1,

$$\varepsilon = \frac{x_r - x_m}{x_r} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

unde: ε - Variația $VM_{Min}V$ sau Variația $VM_{Max}V$, x_r - VMV , iar x_m - $VM_{Min}V$ sau $VM_{Max}V$. Rezultatele calculelor au fost introduse în Tabelul 3.7., unde s-a calculat și media $VM_{Min}V$ și $VM_{Max}V$ în raport cu VMV .

Tabelul 3.7. Variația vitezei medii, minime și maxime a vântului în raport cu viteza medie pe o perioadă de 22 de ani pentru cele 18 stații hidrometeorologice

Nr.	Nume	VMV	VM _{Min} V	Variația VM _{Min} V	VM _{Max} V	Variația VM _{Max} V
1	Briceni	2,19	1,89	13,7	2,40	9,6
2	Bravecea	1,4	1,07	23,5	1,77	26,5
3	Balțata	2,45	2,03	17,2	2,85	16,4
4	Bălți	2,7	1,89	30	3,16	27,1
5	Cornești	2,51	1,97	21,6	2,81	12,0
6	Cahul	3,71	3,04	18,1	4,18	12,7
7	Comrat	2,52	1,35	46,5	3,59	42,5
8	Ceadâr-Lunga	3,98	2,74	31,2	5,54	39,2
9	Camenca	2,55	2,00	21,6	3,02	18,5
10	Chișinău	2,28	1,74	23,7	3,09	35,6
11	Dubăsari	1,94	1,54	20,7	2,48	27,9
12	Fălești	2,11	1,74	17,6	2,43	15,2
13	Leova	2,55	2,05	19,6	3,44	34,9
14	Rîbnița	2,02	1,54	23,8	2,55	26,3
15	Soroca	2,83	1,69	40,6	3,83	35,4
16	Ștefan-Vodă	2,37	2,07	12,7	2,80	18,2
17	Tiraspol	2,84	1,83	35,6	3,48	22,6
18	Codrii	1,28	0,97	24,3	1,80	40,7
	<i>Media</i>			24,5		25,6

Unde: **VMV** - viteza medie anuală a vântului pe o perioadă de 22 ani în m/s;
VM_{Min}V - viteza medie anuală minimă a vântului pe o perioadă de un an în m/s;
VM_{Max}V - viteza medie anuală maximă a vântului pe o perioadă de un an în m/s;
Variația VM_{Min}V – variația **VM_{Min}V** în raport cu **VMV** în %;
Variația VM_{Max}V - variația **VM_{Max}V** în raport cu **VMV** în %.

Analizând caracteristicile din Figura 3.3., Anexa 1 și Tabelul 3.7., constatăm:

1. 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%. Totodată, aceste valori variază puternic de la o stație la alta și se observă o variație mai puternică la stațiile amplasate în locuri deschise cum ar fi Comrat, Ceadâr-Lunga, Soroca etc.

2. Pentru toate stațiile meteorologice, cu excepția celor din Tiraspol și Chișinău, viteza medie a vântului scade. Acest fenomen, numit „moartea vântului”, [9], este întâlnit în majoritatea țărilor, cauzele fiind creșterea rugozității terenului și numărului de obstacole din jurul anemometrelor. Această concluzie este confirmată de caracteristicile din Figura 3.4., unde viteza vântului la stația Tiraspol, începând cu 1992, și la stația Chișinău, începând cu anul 2008, a crescut cu aproximativ 33%. În respectivii ani, stațiile au fost reamplasate în locuri mai deschise cu mai puține obstacole și rugozități mai mici.

3. Viteza medie anuală a vântului este relativ mică la toate stațiile meteorologice. Cea mai mare viteză medie anuală în perioada 1990-2011 a fost înregistrată în anul 1991 la stația Ceadâr-Lunga și se cifrează la 5,54 m/s. Vitezele medii anuale mici ale vântului au creat în mediul de afaceri și cel academic o opinie eronată precum că în RM nu există potențial eolian care merită să fie exploatat. Amintim cititorului, că cauza reală este umbrirea anemometrului de obstacole și creșterea rugozităților.

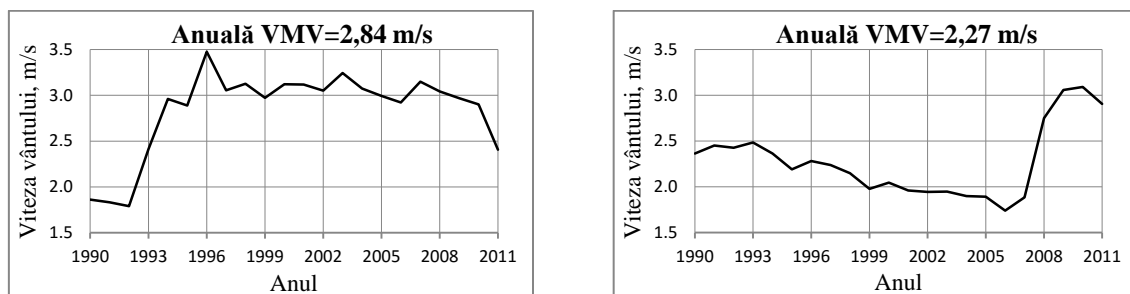


Figura 3.4. Variația anuală a vitezei medii a vântului pentru stația meteo Tiraspol, în stânga, și stația meteo Chișinău, în dreapta

Variația lunară a vitezei vântului

O altă caracteristică, la fel de importantă, pentru energetica eoliană este variația din lună în lună / lunară a vitezei vântului pe perioada măsurărilor. Cunoașterea acestei caracteristici oferă încredere în disponibilitatea energiei eoliene în diferite luni [71, 74-76]. În Figura 3.5. este prezentată viteza medie lunară a vântului la o înălțime de 10 m pentru o perioadă de 22 de ani, pentru stația hidrometeorologică Ceadâr-Lunga, celelalte fiind prezentate în Anexa 2.

Analizând Figura 3.5. și Anexa 2, constatăm una și aceeași tendință pentru toate stațiile SHMS: 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% pentru viteza vântului, iar în termeni de putere eoliană 71%. O astfel de distribuție corelează cu consumul de energie, iar pentru sistemele hibride – eolian – fotovoltaic are loc compensarea componentei solare, care scade semnificativ în perioada rece. Cea mai mare viteză medie lunară a vântului a fost înregistrată la stația Ceadâr-Lunga în luna februarie și a constituit 5,47 m/s.

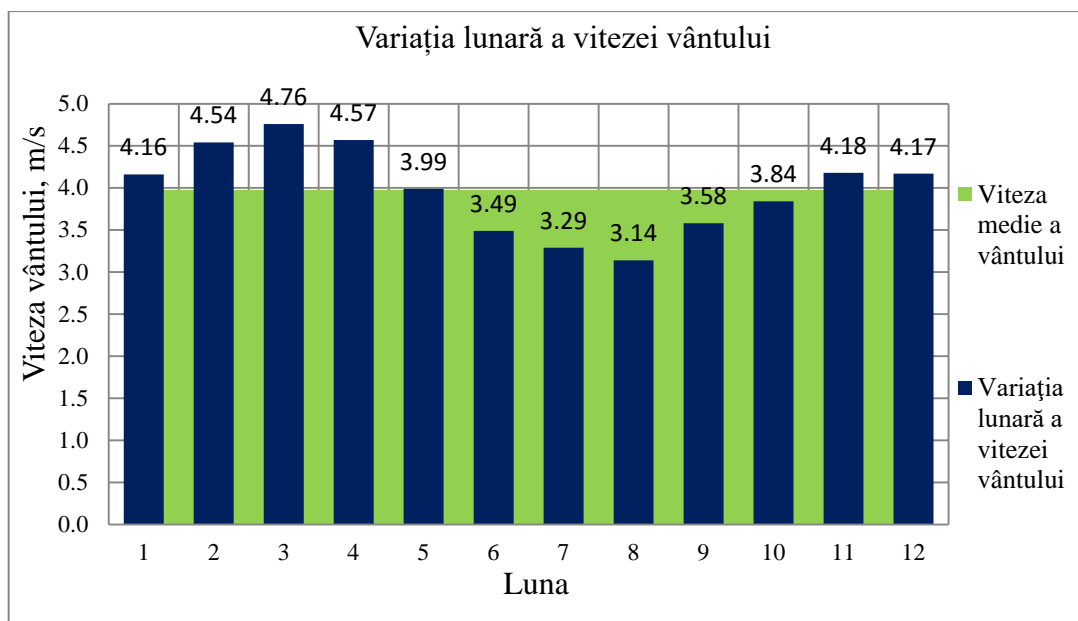


Figura 3.5. Variația lunară a vitezei vântului pentru stația hidrometeorologică Ceadâr-Lunga

Variația diurnă a vitezei vântului

Variația diurnă a vitezei vântului este legată, în principal, de încălzirea neuniformă a aerului și a solului [14, 71, 74-76]. Evoluția zilnică și sezonieră poate fi influențată de schimbările turbulente și de condițiile orografice locale. În stratul limitrof de până la aproximativ 70 m viteza vântului crește în timpul zilei cu atât mai mult cu cât încălzirea suprafeței terenului este mai intensă. Caracterul variației diurne, de regulă, prezintă o simplă oscilație, cu un maxim după-amiaza și un minim noaptea spre dimineață. În Figura 3.6. sunt prezentate două caracteristici ale variațiilor diurne ale vitezei vântului pentru două stații hidrometeorologice, Cahul și Ceadâr-Lunga, pe o perioadă de 22 ani. Celelalte caracteristici sunt prezentate în Anexa 1.

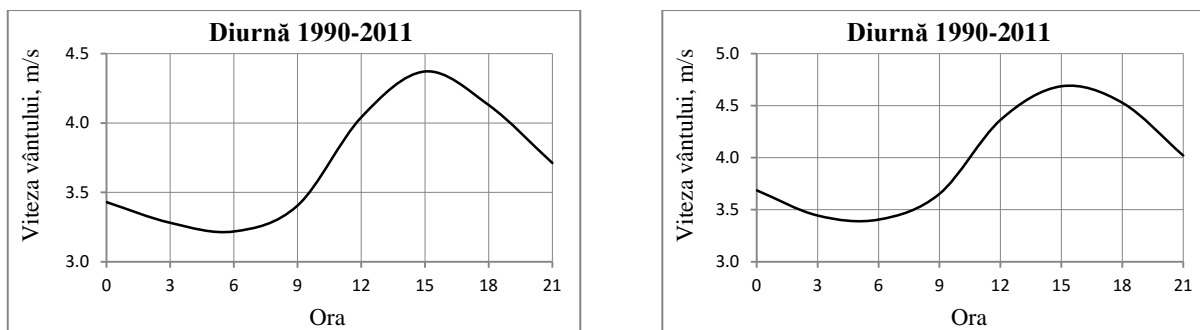


Figura 3.6. Variațiile diurne ale vitezei vântului la Cahul, în stânga, și Ceadr-Lunga, în dreapta

Ținem să accentuăm faptul că aceste caracteristici ale variației diurne a vitezei vântului sunt valabile pentru înălțimi de 10-70 m de la suprafața solului și nu sunt valabile pentru înălțimi mai mari. Odată cu creșterea înălțimii se modifică și caracterul variației diurne: vitezele maxime deplasându-se spre orele de seară-noapte [71, 74, 77]. Un exemplu în acest sens este prezentat în Figura 3.7., în care sunt interpretate variațiile diurne în punctul cel mai înalt al Moldovei - dealul Bălănești din raionul Nisporeni. Măsurările s-au efectuat în perioada august 2010 – martie 2013.

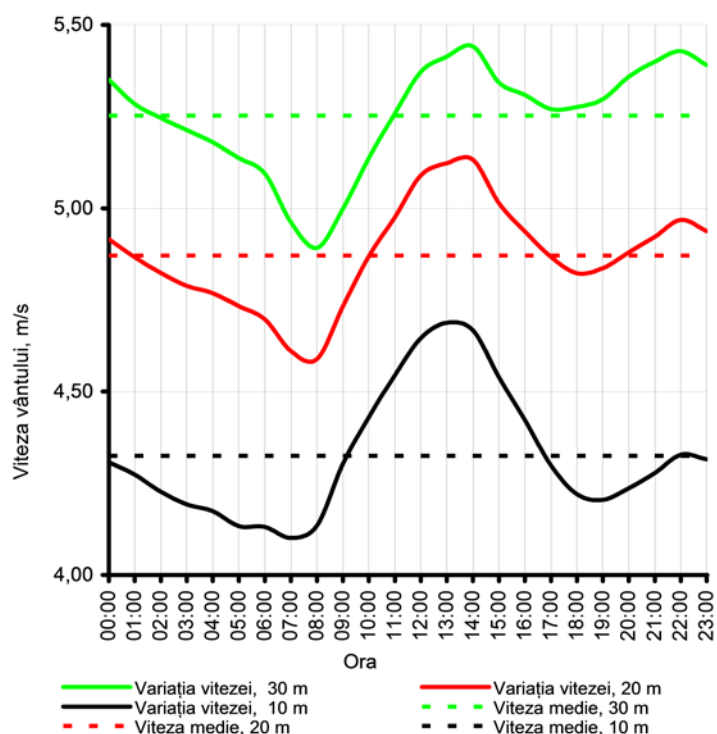


Figura 3.7. Variațiile diurne ale vitezei vântului la diferite înălțimi, obținute în baza datelor măsurate în 2010 – 2012, pe dealul Bălănești din raionul Nisporeni

Odată cu creșterea înălțimii, se modifică și caracterul variației: vitezele maxime se deplasează spre orele de seară-noapte. La înălțimea de 30 m, între orele 11⁰⁰ ziua și 02⁰⁰ noaptea, viteza vântului este mai mare decât viteza medie (Figura 3.7.). Acest fenomen corelează perfect cu rezultatele măsurărilor efectuate la înălțimi de peste 100 m [78]. În acest caz, caracterul variației vitezei vântului se inversează – ziua se constată viteza minimală, iar pe timp de noapte – maximală. În RM

au fost efectuate măsurări la înălțimi de 100 – 110 m de către potențialii investitori, datele nu sunt publice.

Distribuția Weibull și direcțiile predominante ale vântului

Pentru a simplifica și unifica calculele, histograma distribuției vitezei vântului se aproximează cu o expresie analitică ce descrie distribuția statistică a unei variabile aleatorii propusă de savantul suedez Wallodi Weibull în 1951 [79]. În cazul evaluării potențialului eolian sau procesării rezultatelor măsurărilor caracteristicilor vântului, se utilizează distribuția Weibull în forma următoare:

$$f(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right), \quad (3.2)$$

unde: $f(u)$ este funcția densitate de probabilitate a vitezei; A și k se numesc parametrii distribuției Weibull, A este parametru de scară și se măsoară în m/s, iar k – parametru adimensional al curbei de distribuție, numit parametru de formă.

Dacă cunoaștem parametrii Weibull A și k putem ușor să determinăm viteza medie a vântului

$$U_{med} = A \cdot \Gamma(1 + 1/k) \quad (3.3)$$

și producția anuală de energie electrică de pe fiecare metru pătrat, $\text{kWh} \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

$$E = A^3 \cdot F_E(k), \quad (3.4)$$

unde valorile funcțiilor $\Gamma(1 + 1/k)$ (funcția Gamma) și $F_E(k)$ pot fi găsite în formă tabelară în [9].

Un exemplu de aproximare a rezultatelor măsurărilor se prezintă în Figura 3.8., în partea dreaptă, unde gama de variație a vitezei este divizată în intervale egale de 1 m/s. Funcția $f(u)$ se prezintă în valori relative sau procente. De asemenea, direcția vântului este prezentată în procente sub formă de roză a vântului. Aproximațiile Weibull pentru celelalte stații sunt prezentate în Anexa 3.

S-au identificat două direcții contrare predominante ale vântului: nord-vest și sud-est. Ele confirmă studiile făcute anterior în baza măsurărilor istorice până în anul 1990 [1]. În viziunea noastră, direcțiile predominante ale vântului la înălțimea de măsurare de 10 m de la suprafața solului sunt puternic influențate de orografia terenului. Altfel spus, direcțiile predominante coincid cu direcția văilor, adică linia imaginată nord-vest și sud-est.

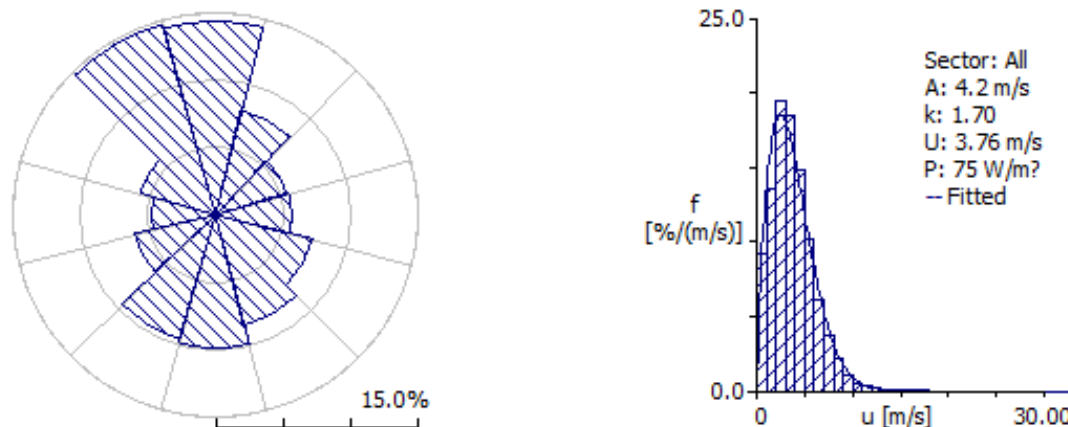


Figura 3.8. Roza vântului și distribuția Weibull pentru stația Cahul, 1990 – 2011

Atlasul Vântului (AV) al stației hidrometeorologice

Atlasul Vântului în punctul în care s-au făcut măsurări de lungă durată, adică la stația hidrometeorologică, prezintă un rezultat intermediar al aplicării metodologiei MAV, adică procedura de analiză (vezi Figura 2.4.). 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.

Pentru întocmirea Atlasul Vântului unei stații hidrometeorologice [80, 81], ca date de intrare se folosesc datele istorice despre vânt adaptate pentru analiza în WAsP. Se descriu în format digital împrejurimile anemometrului în termeni de obstacole și rugozități. Ca rezultat, programul WAsP emite un raport, numit Atlasul Vântului al stației hidrometeorologice respective. În exemplul de mai jos este prezentat AV pentru stația hidrometeorologică Ceadăr-Lunga (Figura 3.9.). În partea de sus a Figurii 3.9. 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 - parametrii A și k ai repartiției Weibull și diagrama funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului în procente. În Anexa 4 sunt prezentate Atlasele Vântului pentru cele 18 stații meteorologice [80, 81].

Datele Atlasului Vântului, incluse în Tabelul 3.8., oferă posibilitatea să facem următoarele concluzii:

1. Pentru clasa de rugozitate 0, viteza medie a vântului la înălțimea de 10 m, în punctul stâlpului de măsurări, ar fi fost egală cu 5,73 m/s.
2. Datele Atlasului Vântului sunt "curățate", de influența particularităților terenului din jurul stâlpului de măsurări, astfel devin independente de ele și pot fi utilizate pentru prezicerea vântului în orice punct al regiunii de interes.
3. Clasa de rugozitate a regiunii respective este 1 (0,03 m) și la înălțimea de 100 m deasupra nivelului solului viteza vântului se prognozează a fi egală cu 6,65 m/s, densitatea de putere eoliană – 306 W/m². Luând în considerare efectele orografiei terenului (de exemplu, coline), viteza vântului se va amplifica și va atinge valori de 7,5-8,0 m/s.

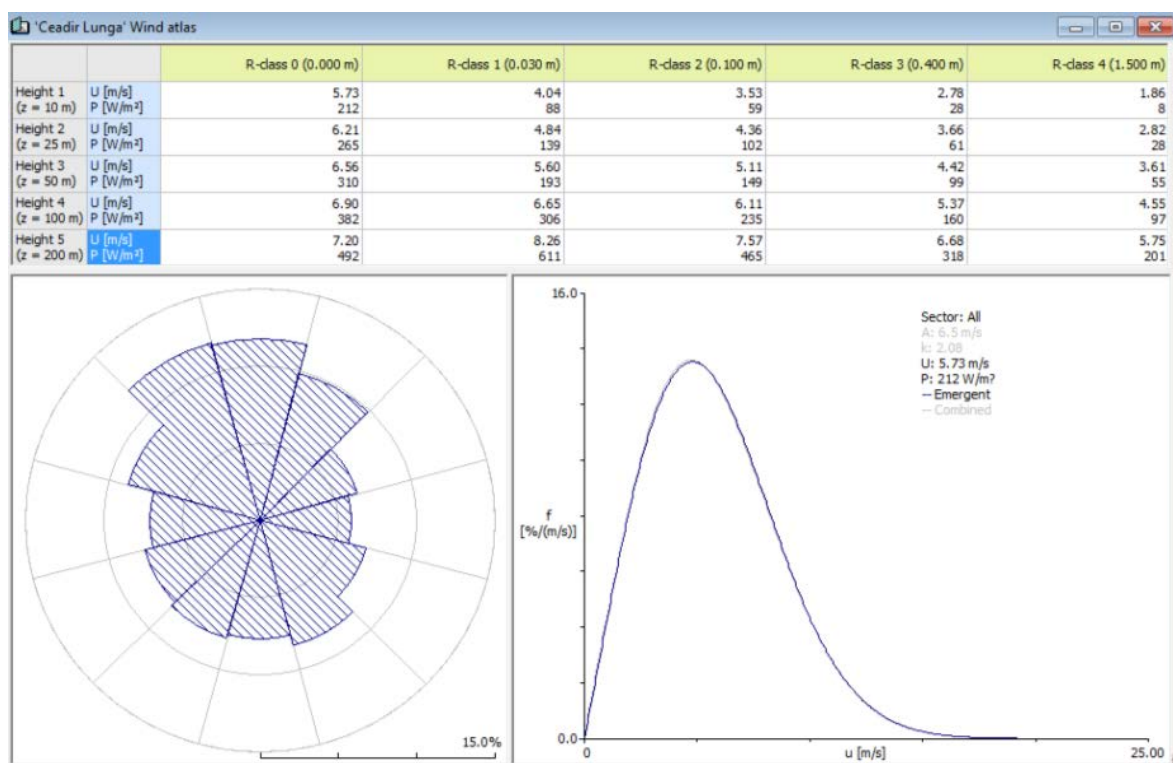


Figura 3.9. Atlasul Vântului pentru stația hidrometeorologică Ceadr-Lunga

Trebuie de menționat, că Atlasul Vântului descrie condițiile eoliene care se referă la un anumit punct, unde s-au efectuat măsurători. În baza acestor date se pot calcula aceleași caracteristici pentru oricare amplasament dorit din vecinătate, în raza de până la 100 km [9], folosind ca date de intrare AV. Este evident, că pentru noul amplasament, unde nu s-au făcut înregistrări meteorologice, sunt necesare date cu privire la obstacole, rugozitate, orografie. Această informație se obține în rezultatul

investigațiilor pe teren sau folosind baze de date SIG, care se procesează și se adaptează la cerințele programului WASP.

Tabelul 3.8. Rezumatul climei vântului pentru stația meteorologică Ceadâr-Lunga

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	6,5	4,5	4,0	3,1	2,1
	<i>k</i>	2,08	1,77	1,78	1,78	1,79
	Viteza medie, m/s	5,73	4,04	3,53	2,78	1,86
	Densitatea de putere, W/m ²	212	88	59	28	8
25	A, m/s	7,0	5,5	4,9	4,1	3,2
	<i>k</i>	2,12	1,90	1,90	1,88	1,88
	Viteza medie, m/s	6,21	4,84	4,36	3,66	2,82
	Densitatea de putere, W/m ²	265	139	102	61	28
50	A, m/s	7,4	6,3	5,8	5,0	4,1
	<i>k</i>	2,14	2,13	2,10	2,05	2,03
	Viteza medie, m/s	6,56	5,60	5,11	4,42	3,61
	Densitatea de putere, W/m ²	310	193	149	99	55
100	A, m/s	7,8	7,5	6,9	6,1	5,1
	<i>k</i>	2,01	2,27	2,29	2,31	2,30
	Viteza medie, m/s	6,90	6,65	6,11	5,37	4,55
	Densitatea de putere, W/m ²	382	306	235	160	97
200	A, m/s	8,1	9,3	8,5	7,5	6,5
	<i>k</i>	1,79	2,17	2,19	2,21	2,23
	Viteza medie, m/s	7,20	8,26	7,57	6,68	5,75
	Densitatea de putere, W/m ²	492	611	465	318	201

Concluzii la Capitolul 3

În urma procesării datelor statistice de la 18 stații hidrometeorologice de pe întreg teritoriul Republicii Moldova și analizei rezultatelor obținute s-au formulat următoarele concluzii:

1. Majoritatea stațiilor meteorologice au media vitezei vântului mică, fiind cuprinsă între 1,28 – 3,98 m/s, cauzele principale fiind: înălțimea mică a turnului de măsurări, doar 10 m de la suprafața solului; influența negativă a obstacolelor din imediata vecinătate a anemometrului și rugozitatea terenului. Unele stații sunt amplasate chiar în centrul satului sau într-o suburbie a orașului, de exemplu, stația Bravicea, care este amplasată practic în centrul satului Bravicea, iar stația Chișinău până în 2008 a fost amplasată în suburbia Botanica, fiind înconjurată din trei părți de blocuri de locuit.

2. 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".

3. 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%, în termeni de putere eoliană 71%.

4. S-au identificat două direcții contrare predominante ale vântului: nord-vest și sud-est. Se confirmă studiile făcute anterior în baza măsurărilor istorice până în anul 1990 [1 Lasse].

5. Variațiile diurne ale vitezei vântului au o oscilație maximă în după-amiaza zilei și anume în jurul orei 15⁰⁰ și un minim în timpul nopții până dimineața în jurul orelor 5⁰⁰ - 6⁰⁰. Această variație este strâns legată de variațiile temperaturii. Odată cu creșterea înălțimii, se modifică și caracterul variației diurne: vitezele maxime deplasându-se spre orele de seară-noapte.

6. Din totalitatea de 18 stații hidrometeorologice amplasate pe întreg teritoriul Republicii Moldova, practic, numai datele de la două 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, și Ceadâr-Lunga - cu 3,98 m/s. Aceasta se explică prin faptul că stațiile respective sunt amplasate înafara localității într-o zonă deschisă cu un factor al rugozității scăzut. Totodată, studiind mai detaliat împrejurimile stației hidrometeorologice din Bălți, la care viteza medie a vântului este de 2,7 m/s, am ajuns la concluzia că această stație ar putea fi utilizată ca stație reprezentativă pentru evaluarea potențialului energetic eolian, motivul fiind amplasarea acesteia pe teritoriul aeroportului din Bălți, care, de asemenea, este amplasat înafara localității, într-o zonă deschisă, cu un factor al rugozității scăzut.

4. EVALUAREA ȘI VALIDAREA POTENȚIALUL ENERGETIC EOLIAN AL REPUBLICII MOLDOVA

4.1. Noțiuni introductive

Sectorul energetic din Republica Moldova (RM) se confruntă cu un șir de probleme, dintre care cele mai importante sunt:

- dependența puternică de importul de gaze naturale, petrol și produse petroliere;
- tehnologia învechită pentru generarea și distribuția de energie electrică;
- valorificarea la nivel insuficient a resurselor energetice locale, preponderent regenerabile.

Potrivit statisticilor oficiale, în 2014, consumul intern brut de energie a fost de 2310 mii tep, dintre care 88,3% au fost importate [balanța energetică, 2015]. Trebuie să menționăm că în topul produselor energetice sunt gazele naturale importate exclusiv din Federația Rusă, care este și principalul combustibil pentru producerea energiei electrice și termice. În anul 2014 s-au procurat $4122,3 \cdot 10^6$ kWh energia electrică, din care $788,1 \cdot 10^6$ kWh s-au produs în partea dreaptă a Nistrului și constituie doar 19,1%. Celelalte 80,9% au fost procurate din Transnistria [Raport privind activitatea ANRE în anul 2014]. Energia electrică produsă din surse regenerabile constituie 1,5% din procurările totale, cota principală aparținând energiei hidroelectrice. Începând cu anul 2013, ANRE publică date statistice privind producerea energiei electrice din surse regenerabile. Astfel, în anul 2014 s-au produs $3,13 \cdot 10^6$ kWh, din care energia eoliană constituie 47,3%, pe bază de biogaz - 40,7% și solară - 12,0%.

Din datele prezentate conchidem că unica soluție pentru RM - țară, care nu posedă resurse energetice fosile, ar fi utilizarea surselor regenerabile de energie, cum ar fi: eoliană, solară și biogazul pentru producerea energiei electrice, iar biomasa solidă – pentru producerea energiei termice.

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. Se vor întocmi hărțile potențialului eolian al RM în termeni de densitate de putere și viteza medie anuală a vântului. În baza hărților se vor identifica 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, se va calcula potențialul electric eolian.

4.2. Algoritmul calculării hărților vitezei medii anuale a vântului și densității de putere

Algoritmul utilizat pentru calcularea hărților vitezei medii anuale a vântului și densității de putere este prezentat în Figura 4.1.

În scopul EPEE, teritoriul țării a fost divizat în trei regiuni - nord, centru și sud, Figura 2.9. În linii mari, aceste regiuni coincid cu regiunile de dezvoltare regională aprobate în conformitate cu Legea Nr. 438 din 28.12.2006 [112]. Diferența constă în includerea în regiunile menționate a zonelor limitrofe din stânga Nistrului. Totodată, municipiul Chișinău și Unitatea teritorială autonomă Găgăuzia sunt incluse în regiunea centrală, respectiv, în regiunea de sud. Divizarea teritoriului în regiuni mai mici permite să efectuăm calculele cu mijloacele tehnice disponibile în RM într-un timp rezonabil și să respectăm o condiție importantă de aplicabilitate a Modelul Atlasului Vântului: distanța dintre punctul de referință, de exemplu, stația meteorologică și punctul în care se estimează vântul nu trebuie să depășească 100 km. Sunt și alte condiții, descrise în continuare, care trebuie respectate pentru buna funcționare a programului WAsP.

Pornind de la tendințele actuale în dezvoltarea turbinelor eoliene de putere mare și mijlocie toate calculele vor fi făcute pentru două înălțimi - 50 și 100 m de la sol.

Programul WAsP nu permite, în mod simplu, de a selecta una din cele trei regiuni: nord centru sau sud și de a calcula hărțile acestora conform hotarelor stabilite, ci are un principiu de funcționare mai special. Orice calcul este efectuat în limitele unei zone dreptunghiulare, suprafața și frontierele căreia sunt la discreția utilizatorului, totodată, având grijă ca încadrarea cât mai adecvată a respectivei zone să fie în limitele graniței de stat. Astfel, harta unei regiuni va fi împărțită într-un număr oarecare de dreptunghiuri de diferite mărimi, lipite unul de altul, care, luate împreună, vor

crea harta regiunii respective, iar gama mărimilor calculate, de exemplu, a vitezei și densității de putere, va fi unică.

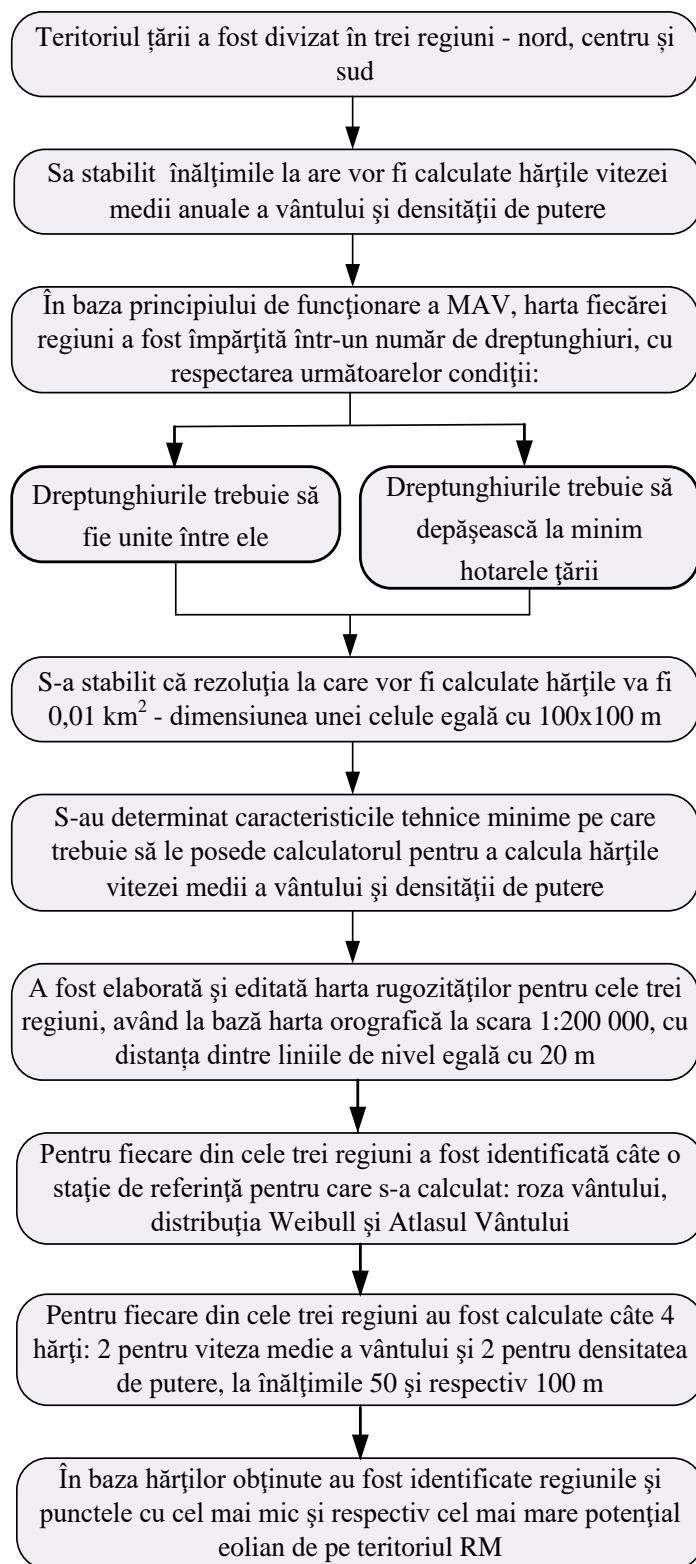


Figura 4.1. Algoritmii calculării hărților vitezei medii anuale a vântului și densității de putere

pentru toate dreptunghiurile încadrate în regiunea respectivă. O altă condiție importantă este evitarea, la maximum posibil, a depășirii graniței de stat pentru a exclude eventualele erori din cauza lipsei informației despre orografia teritoriului (Figura 4.2.).

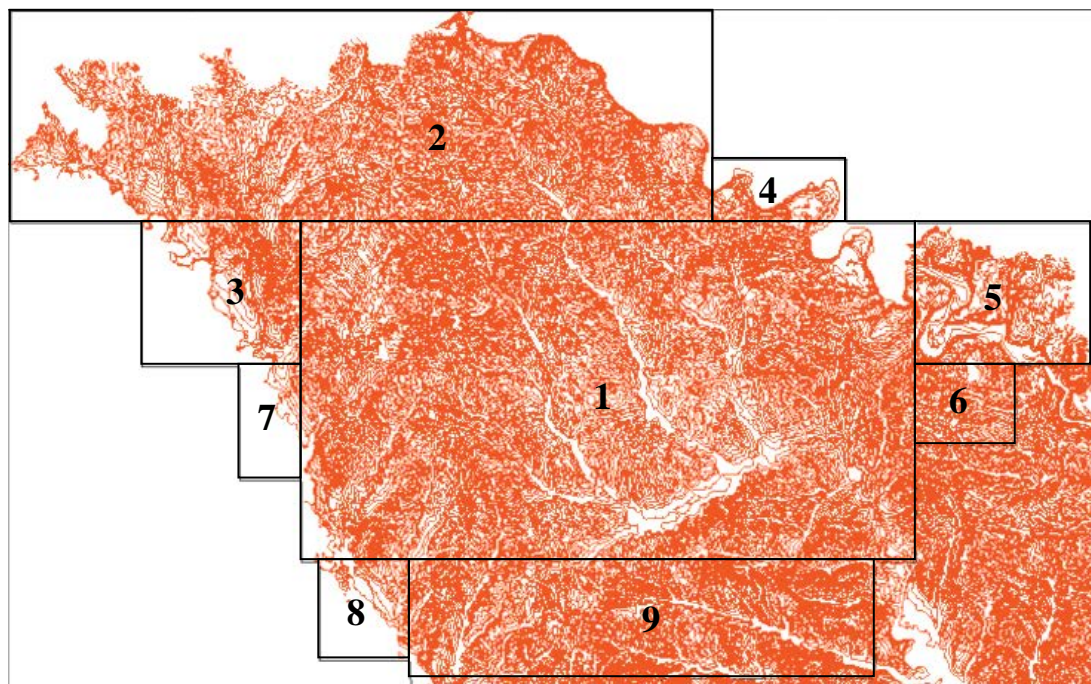


Figura 4.2. Explicativa privind modelarea hărții regiunii nord

Perioada de timp necesară calculării hărților 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.

Rezoluția sau acuratețea hărții digitale depinde de numărul celulelor pe o unitate de suprafață. Cu cât rezoluția este mai mare, cu atât harta obținută este mai fină, iar trecerea de la o culoare la alta practic nu va fi observată. În software WASP 9.1 o porțiune dreptunghiulară de hartă este modelată cu o rețea de celule în formă pătratică, dimensiunea căreia poate fi modificată. Dimensiunea laturii pătratului determină rezoluția hărții, de exemplu 10, 100, 200 sau 1000 m. Cu cât este mai mică suprafața unei celule, cu atât mai mare va fi rezoluția hărții. Lungimea laturii poate să varieze de la zeci de metri, până la câțiva kilometri. Însă, odată cu majorarea rezoluției are loc și creșterea duratei de calcul a hărții, astfel între ele fiind o legătură direct proporțională. Rezoluția hărților potențialului eolian prezentate în atlasele vântului ale Armeniei, Mongoliei, Ecuadorului [83] este egală cu 1 km^2 , altfel spus, lungimea laturii unei celule este egală cu 1 km. Luând în considerație

caracterul ondulatoriu al țării, această rezoluție nu poate fi acceptată deoarece în zonele cu coline și văi acuratețea hărții va fi puternic alterată. Totodată, dimensiunile mici ale celulei ar conduce la creșterea inacceptabilă a duratei de calcul. În consecință, s-a acceptat dimensiunea unei celule egală cu 100x100 m sau 0,01 km². În acest caz, suprafața țării va fi acoperită cu o rețea ce cuprinde circa 3,38 mln. de celule în care se calculează viteza și direcția vântului, densitatea de putere etc. În cadrul unei celule toate valorile calculate se consideră constante și fiecărei celule îi corespunde o singură culoare, ce ilustrează doar o valoare a vitezei vântului sau densității de putere.

Caracteristicile tehnice minime pe care trebuie să le posede calculatorul pentru a calcula oricare din cele trei regiuni ale RM, cu o rezoluție a hărților de 100 m, sunt: memoria operativă RAM – 16 GB, procesorul Intel(R) Core(TM) i7, frecvența 3,6 GHz, memoria staționară 320 GB. În aceste condiții, durata de calcul al potențialului energetic eolian este de circa 100 h.

Pe lângă datele de intrare despre viteza și direcția vântului ale stației de referință, programul WASP necesită harta orografică și harta rugozităților. S-a utilizat harta orografică la scara 1:200 000 cu distanța dintre liniile de nivel egală cu 20 m pusă la dispoziție de INGEOCAD. Harta rugozităților a fost creată în cadrul prezentei lucrări în mediul specializat WASP Map Editor, folosind harta orografică pe care au fost plasate elementele de rugozitate de pe întreg teritoriul țării: toate lacurile de acumulare și iazurile, satele, orașele și pădurile, astfel coeficientul de rugozitate variind de la 0,0002 pentru suprafețele cu apă, până la 1,0 pentru pădurile dese și orașe, exemplu prezentat în Capitolul 2, Figura 2.7.

4.2.1. Hărțile precise ale vitezei medii anuale a vântului și densității de putere pentru regiunea de nord la înălțimea 50 și 100 m

Din regiunea de nord fac parte 12 raioane, inclusiv municipiul Bălți. În această regiune sunt 5 stații hidrometeorologice ce măsoară în permanență viteza și direcția vântului: Bălți, Briceni, Camenca, Soroca, Fălești. Totodată, în această regiune sunt disponibile rezultatele măsurărilor recente efectuate în trei puncte, ceea ce ne va permite de a evalua corectitudinea hărților obținute cu ajutorul programului WASP.

Pentru regiunea de nord, ca date inițiale despre viteza și direcția vântului au fost utilizate datele pe intervalul de timp 1990 - 1999 de la stația hidrometeorologică Bălți amplasată în zona aeroportului.

Datele despre vânt de la celelalte stații sunt puternic influențate de obstacolele și rugozitățile din preajma anemometrului. În continuare, folosind instrumentul OWC Wizard (Observed Wind Climate) am obținut roza vântului și distribuția Weibull, prezentate în Figura 4.3.

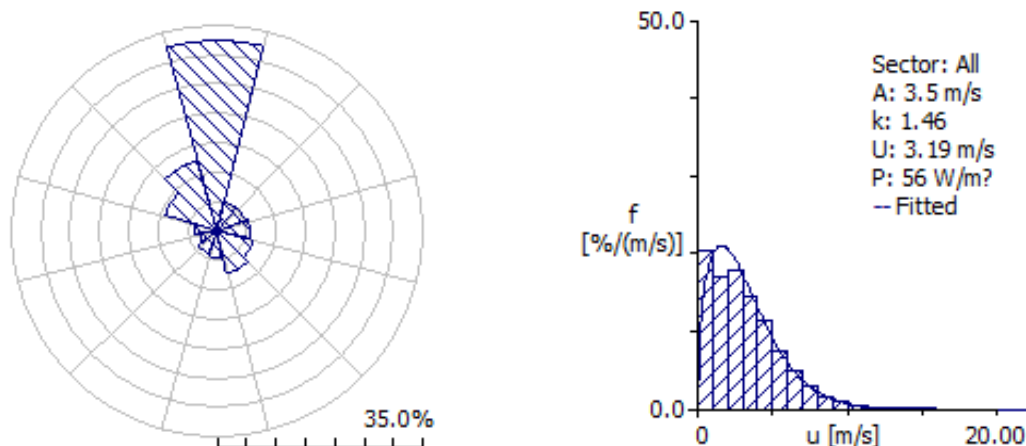


Figura 4.3. Roza vântului și distribuția Weibull pentru stația Bălți 1990 – 1999, obținută cu instrumentul OWC Wizard a programului WAsP

În continuare, având datele despre viteza și direcția vântului, harta orografică, harta rugozităților și aplicând metodologia atlasului vântului descrisă în paragraful 2.3 au fost calculate vitezele medii anuale ale vântului și densitățile de putere și elaborate hărțile pentru regiunea de nord pentru două înălțimi - 50 și 100 m, care sunt prezentate în Figurile 4.4 – 4.7.

Analizând hărțile vitezei medii anuale a vântului și a densității de putere, la înălțimile 50 m cât și 100 m din Figurile 4.4 – 4.7, constatăm că regiunea de nord a RM are un potențial energetic eolian destul de pronunțat, îndeosebi la înălțimea de 100 m, înălțime spre care sunt orientate practic toate companiile producătoare de turbine eoliene mari. Astfel, din harta vitezei vântului la înălțimea de 50 m constatăm că, viteza vântului prezisă se încadrează în diapazonul de 3,80 – 6,97 m/s, iar din harta vitezei vântului la înălțimea de 100 m, viteza vântului prezisă se încadrează în diapazonul de 5,12 – 7,56 m/s, ceea ce vine să ne spună că, la înălțimea de 100 m toată suprafața regiunii de nord este dominată de o viteză medie anuală a vântului mai mare de 5 m/s, iar în ceea ce privește densitatea de putere la înălțimea 50 m variază în limitele 82 – 532 W/m², dar la înălțimea 100 m se încadrează în diapazonul 177 – 605 W/m² [91,92,93].

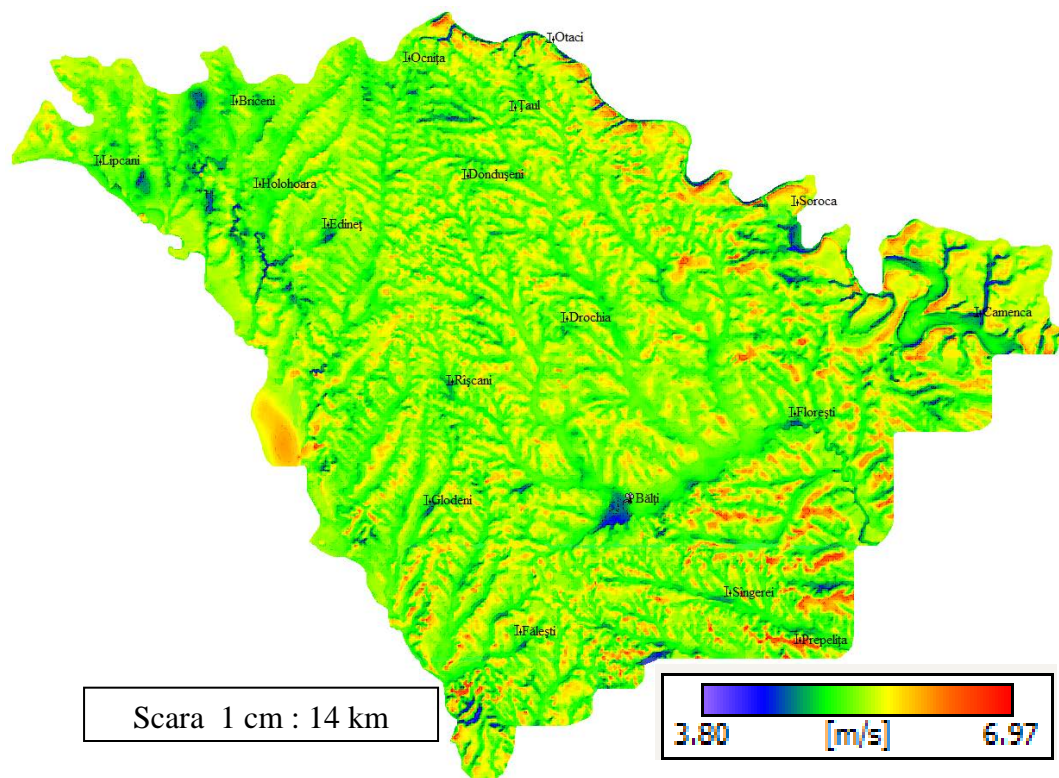


Figura 4.4. Harta vitezei medii a vântului la înălțimea 50 m – regiunea nord - obținută în WASP

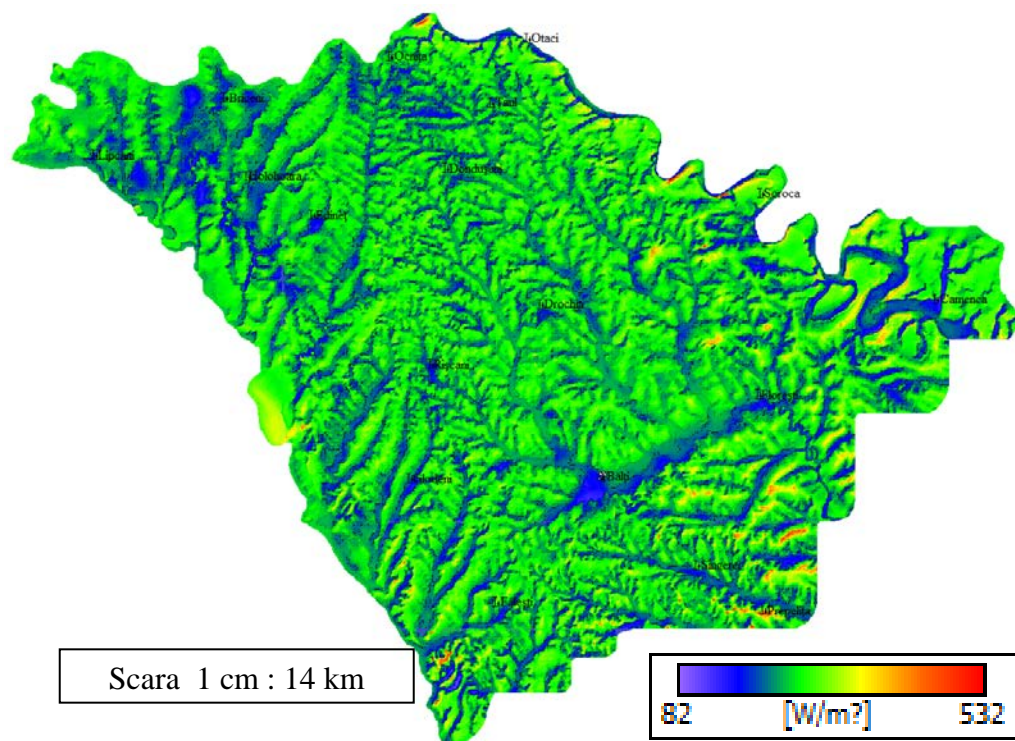


Figura 4.5. Harta densității de putere la înălțimea 50 m – regiunea nord - obținută în WASP

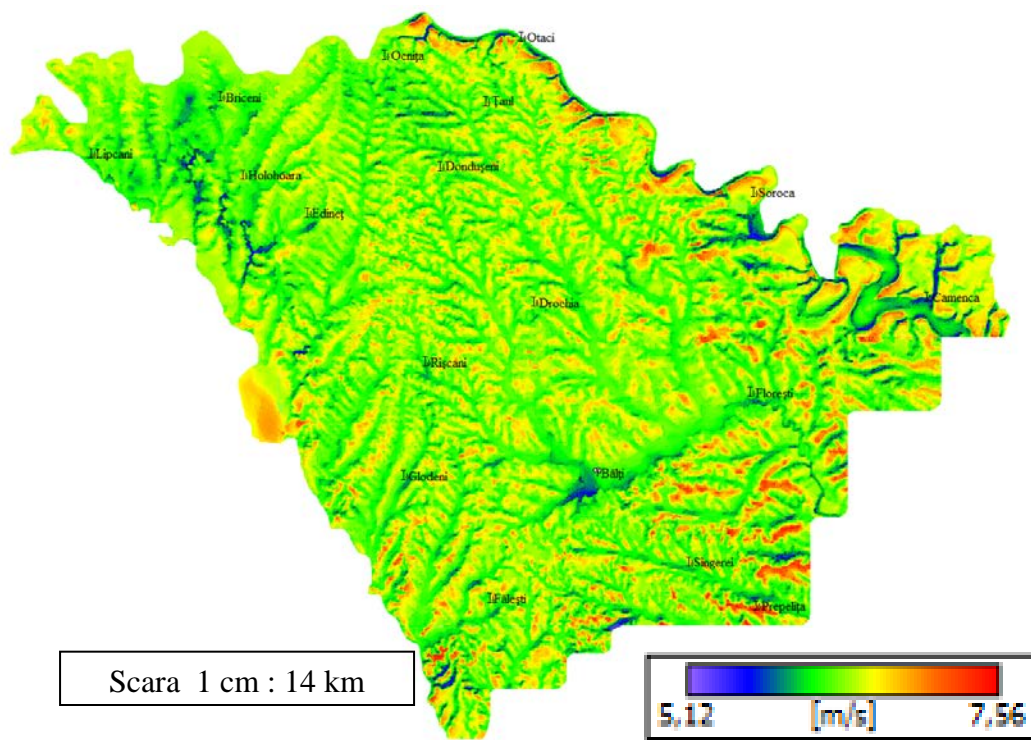


Figura 4.6. Harta vitezei medii a vântului la înălțimea 100 m – regiunea nord - obținută în WASP

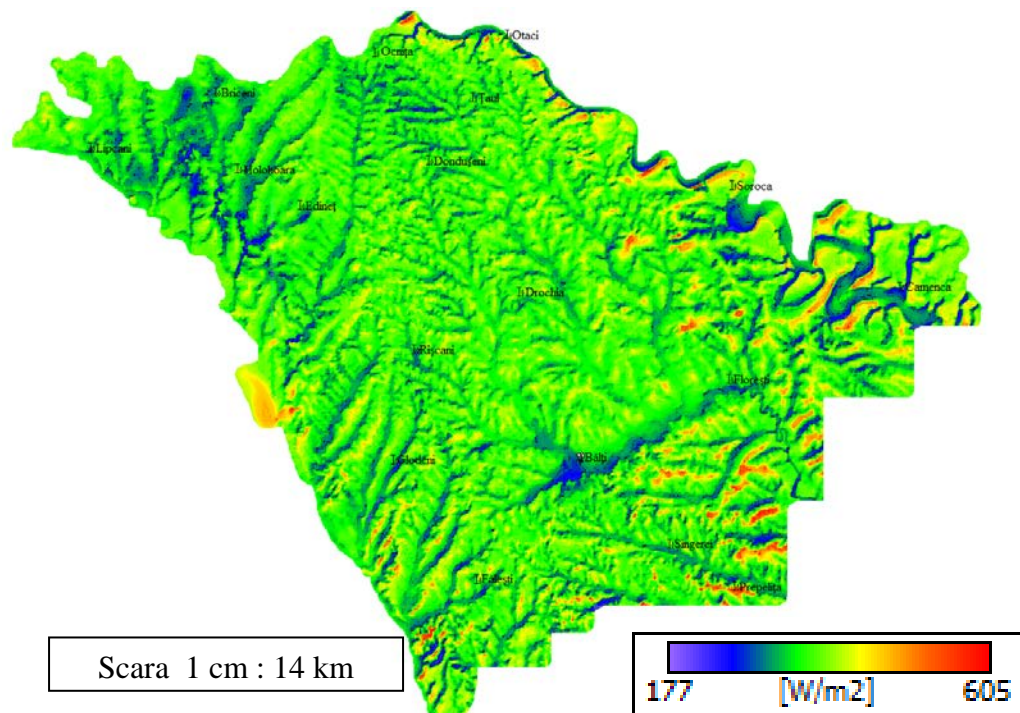


Figura 4.7. Harta densității de putere la înălțimea 100 m – regiunea nord - obținută în WASP

Un fenomen foarte important, care poate fi observat cu ușurință din hărțile prezentate mai sus, este scăderea vitezei vântului și a densității de putere odată cu descreșterea înălțimii de la 100 la 50 m. Această scădere este evidentă deoarece, cu cât mai mult ne apropiem de suprafața terestră cu atât mai mult se amplifică efectul rugozităților și a obstacolelor asupra parametrilor vântului.

Valorile minime atât ale vitezei vântului, cât și ale densității de putere la ambele înălțimi se înregistrează în zonele orașelor mari, cum ar fi Bălți, Edineț, Florești, iar valori maxime se atestă pe culmele dealurilor și în zona rezervorului de apă al centralei hidroelectrice de la Stânca-Costești.

Topul valorilor maxime atât ale vitezei vântului, cât și ale densității de putere la ambele înălțimi se înregistrează în raionul Sîngerei în preajma satului Prepețița: viteza medie anuală de 6,97 m/s și densitatea de putere de 532 W/m² la înălțimea de 50 m și viteza medie anuală de 7,56 m/s și densitatea de putere de 605 W/m² la înălțimea de 100 m.

4.2.2. Hărțile precise ale vitezei medii anuale a vântului și densității de putere pentru regiunea centru la înălțimea 50 și 100 m

Regiunea centru cuprinde 13 raioane, inclusiv capitala RM - municipiul Chișinău (Figura 2.9.). Serviciul Hidrometeorologic de Stat dispune de 7 stații meteo în această regiune, din care fac parte: Bravicea, Bălțata, Cornești, Chișinău, Dubăsari, Râbnîța, Codri. Analizând datele despre vânt de la aceste stații hidrometeorologice (vezi Capitolul 3, Tabelul 3.5.), constatăm cu regret că, la înălțimea de măsurare de 10 m deasupra solului, nici la una din cele 7 stații viteza medie pe perioada analizată de 22 ani nu depășește valoarea medie de 3 m/s. Aceasta vine să ne spună că datele măsurate disponibile sunt puternic influențate de rugozitățile și obstacolele din preajma turnului de măsurare. Acest lucru se petrece datorită amplasării necorespunzătoare a turnurilor de măsurare - majoritatea fiind amplasate în preajma satelor, orașelor sau a unor păduri.

Cunoscând principiul de funcționare a programului WASP și cunoscând datele măsurate la cele 7 stații hidrometeorologice, s-a ajuns la concluzia că niciuna din cele 7 stații nu poate fi folosită ca stație de reper pentru calcularea hărților și determinarea potențialului energetic eolian al regiunii centrale. Utilizarea datelor respective ar duce la obținerea unor rezultate eronate și la o apreciere incorectă a potențialului energetic eolian pentru această regiune.

În cele din urmă, în calitate de stație de reper pentru a calcula hărțile vitezei medii anuale și a densității de putere pentru regiunea centrală, am selectat una din stațiile instalate de UTM în zona celui mai înalt punct de pe teritoriul RM, Dealul Bălănești. În cazul în care alegeam una din stațiile de la Serviciul Hidrometeorologic de Stat ca stație de reper, stația instalată de UTM, urma a fi folosită pentru compararea, evaluarea și validarea rezultatelor. Stația amplasată pe Dealul Bălănești are coordonatele: $47^{\circ} 12' 55,89''$ N; $28^{\circ} 5' 2,10''$ E și, deși este amplasată pe un deal, elementele de rugozitate din preajmă sunt pe alocuri suficient de pronunțate. În partea de nord-vest a turnului de măsurare la o distanță de 290 m se întinde o pădure deasă de foioase care, de fapt, face un înconjur al turnului de măsurare ajungând o fâșie mică chiar și în partea de nord-est și est. În partea de sud-vest a turnului de măsurare, la o distanță de aproximativ 800 m, se află satul Bălănești.

Măsurările s-au efectuat la o înălțime de 30 m deasupra solului, iar datele au fost colectate pe o perioadă de trei ani, începând cu 2010 și până în 2013. Prelucrând datele despre vânt, cu ajutorul instrumentul OWC Wizard a programului WAsP, pentru perioada de trei ani, am obținut o viteză medie anuală a vântului de 5,13 m/s la înălțimea de 30 m, iar direcția dominantă a vântului este S și N, acestea, precum și alte rezultate, sunt prezentate în Figura 4.8.

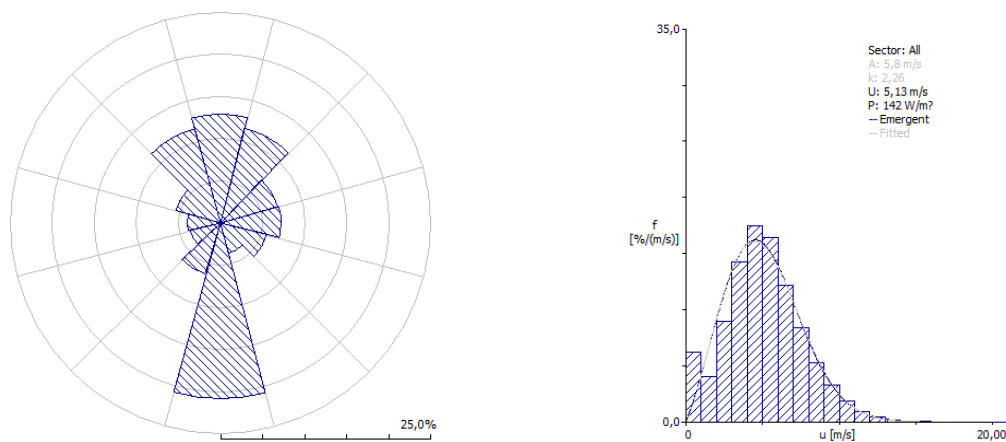


Figura 4.8. Roza vântului și distribuția Weibull pentru stația de pe Dealul Bălănești 2010 – 2013, obținută cu instrumentul OWC Wizard a programului WAsP

Făcând câteva calcule preliminare ale vitezelor medii anuale ale vântului pentru diferite puncte din regiunea centrală la diferite înălțimi, unde au fost efectuate măsurări recente, utilizând datele de la stația de pe Dealul Bălănești, am constatat că rezultatele calculate sunt aproape de rezultatele măsurărilor recente. Deci, în continuare, s-au calculat vitezele medii anuale ale vântului și

densitățile de putere și s-au elaborat hărțile pentru regiunea centru, la înălțimea 50 și 100 m, Figurile 4.9 – 4.12.

Pentru regiunea centru verificarea rezultatelor obținute se va efectua prin compararea datelor calculate de programul WASP cu datele măsurate recent la patru stații situate în diferite puncte ale regiunii centru și la diferite înălțimi.

În continuare, trebuie să specificăm că, fiecare din hărțile regiunii centrale, prezentate în Figurile 4.9 – 4.12, reprezintă suma unui număr de 10 dreptunghiuri de diferite mărimi care, luate împreună, creează o anumită hartă a unui anumit parametru.

Analizând hărțile vitezei medii anuale a vântului și a densității de putere la înălțimea de 50 m pentru regiunea centru, am constatat că, viteza medie anuală a vântului variază în limitele 2,78 - 7,42 m/s, iar densitatea de putere este cuprinsă în intervalul 22 – 406 W/m²

Din hărțile vitezei medii anuale și a densității de putere la înălțimea de 100 m, vedem însă că, viteza minimă a vântului este de 4,11 m/s, iar cea maximă ajunge la 8,05 m/s, aceasta din urmă fiind și una dintre cele mai mari viteze medii anuale a vântului de pe întreg teritoriul RM. Densitatea de putere se încadrează în intervalul 69 – 501 W/m² [91, 92, 93].

Din hărțile vitezei medii anuale a vântului la 50 m, cât și la 100 m se constată că, cele mai mici viteze ale vântului au fost obținute în zona orașului Chișinău, dar și în zonele Codrilor Moldovei și a pădurilor dese și mari, efect care se datorează coeficientului mare al rugozității. Efectul rugozității este mult mai vizibil asupra parametrilor vântului dacă analizăm hărțile densității de putere, unde la înălțimea 100 m, practic toate zonele cu păduri și orașe mari sunt de culoare albastră, ceea ce înseamnă că, densitatea de putere variază în jurul valorii de 70 W/m². La înălțimea 50 m, o mare parte a teritoriului au o densitate de putere ce variază în jurul valorii de 30 W/m², iar suprafețele cu densitate de putere relativ înaltă sunt mult mai reduse decât cele de la 100 m.

Un fenomen specific pentru regiunea centrală este că punctul cu cea mai înaltă viteză medie anuală a vântului și cu cea mai mare densitate de putere coincid și se află în zona raionului Telenești, mai la nord de satul Cornești. Anume în acest punct avem o viteză de 7,42 m/s, o densitate de putere de 406 W/m² la înălțimea de 50 m și o viteză a vântului de 8,05 m/s și o densitate de putere de 501 W/m² la înălțimea de 100 m.

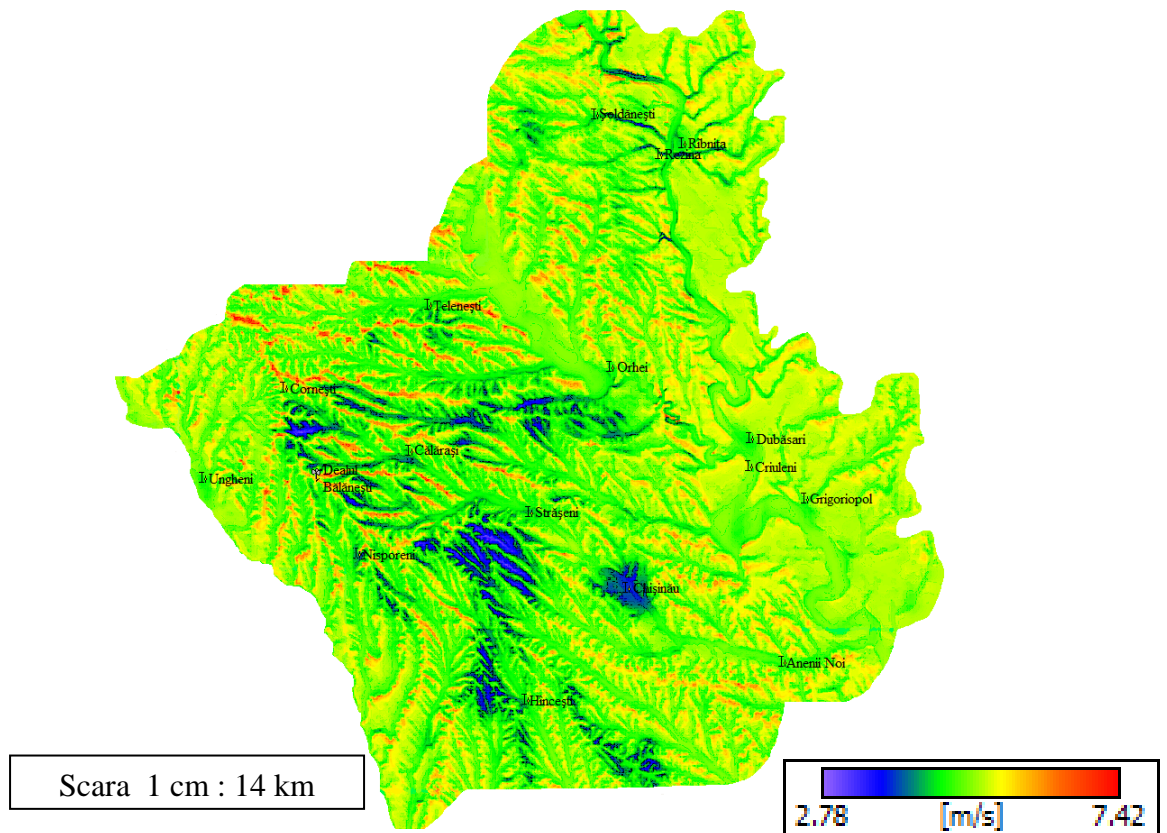


Figura 4.9. Harta vitezei medii a vântului la înălțimea 50 m – regiunea centru - obținută în WAsP

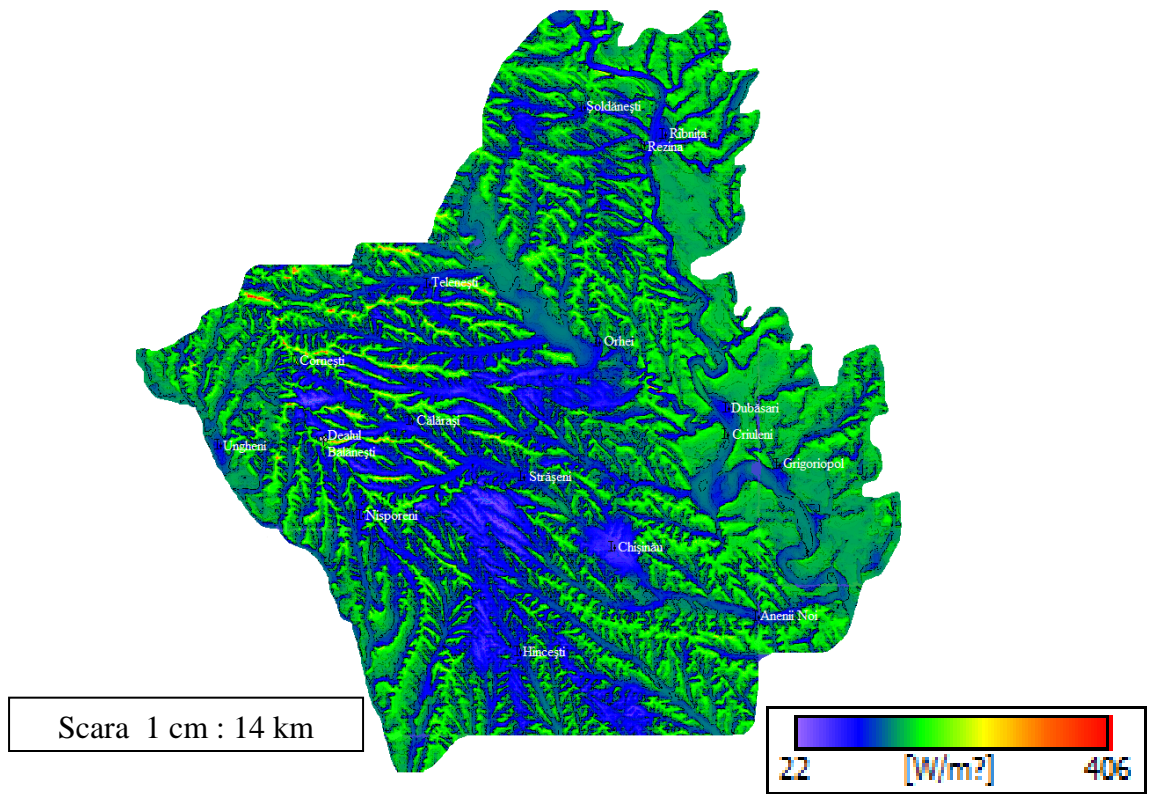


Figura 4.10. Harta densității de putere la înălțimea 50 m – regiunea centru - obținută în WAsP

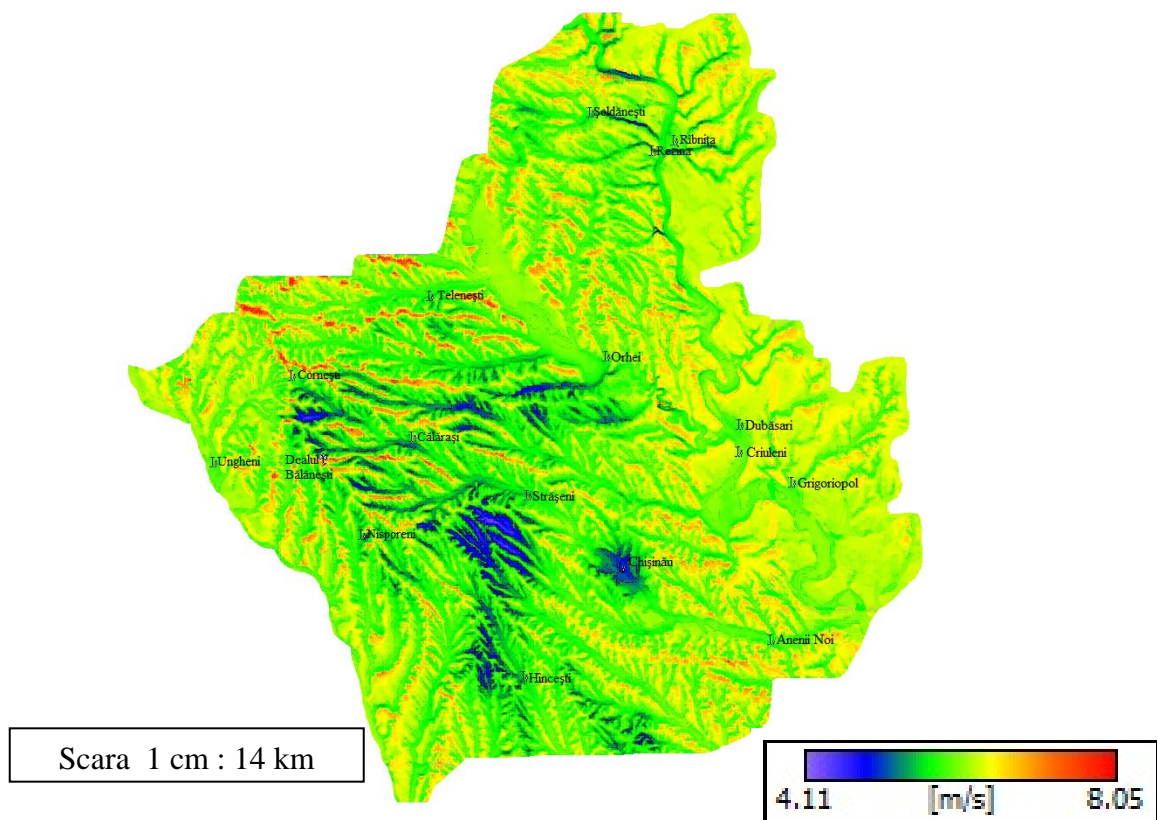


Figura 4.11. Harta vitezei medii a vântului la înălțimea 100 m – regiunea centru - obținută în WASP

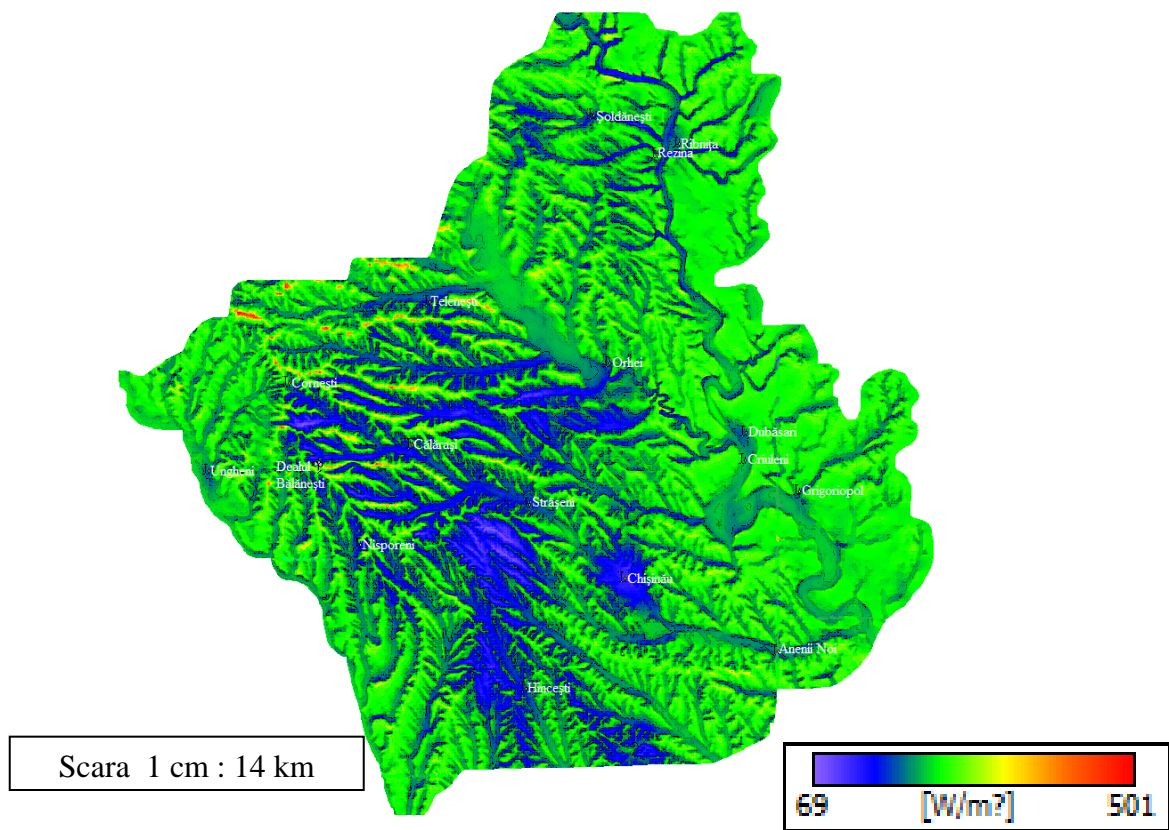


Figura 4.12. Harta densității de putere la înălțimea 100 m – regiunea centru - obținută în WASP

4.2.3. Hărțile precise ale vitezei medii anuale a vântului și densității de putere pentru regiunea de sud la înălțimea 50 și 100 m

Regiunea de sud cuprinde nouă raioane și este amplasată geografic în partea de sud a RM (Figura 2.9.). În această regiune, Serviciul Hidrometeorologic de Stat are localizate 6 stații hidrometeorologice, dintre care fac parte: Cahul – 3,71 m/s, Comrat – 2,52 m/s, Ceadâr-Lunga – 3,98 m/s, Leova – 2,55 m/s, Ștefan-Vodă – 2,37 m/s și Tiraspol – 2,84 m/s. Reieșind din datele acestor șase stații hidrometeorologice vedem că cea mai mare viteză a vântului este înregistrată la stația amplasată în preajma orașelului Ceadâr-Lunga, motiv pentru care am și ales această stație ca stație de reper pentru evaluarea potențialului energetic eolian al regiunii de sud. Această stație meteorologică are coordonatele geografice $46^{\circ} 2' 8,09''N$, $28^{\circ} 51' 7,92''E$, altitudinea de 180 m deasupra nivelului mării și este amplasată în regiunea Câmpiei Moldovei de Sud, în partea de sud-est a orașelului Ceadâr-Lunga.

Până în anul 2000 stația meteo era localizată la o distanță de aproximativ 1,5 km de la orașelul Ceadâr-Lunga, iar după anul 2000 stația a fost strămutată chiar la periferia orașelului Ceadâr-Lunga, ceea ce a influențat simțitor viteza medie a vântului, ducând la micșorarea acesteia. Iată de ce, pentru evaluarea potențialului energetic eolian al regiunii de sud s-a selectat intervalul de timp de 11 ani, începând cu 1990 și până în 2000, perioadă în care, în urma măsurărilor efectuate, s-a obținut o viteză medie a vântului de 4,28 m/s, iar direcțiile dominante au fost NV și SE. Acestea, cât și alte date sunt prezentate de roza vântului și distribuția Weibull din Figura 4.13.

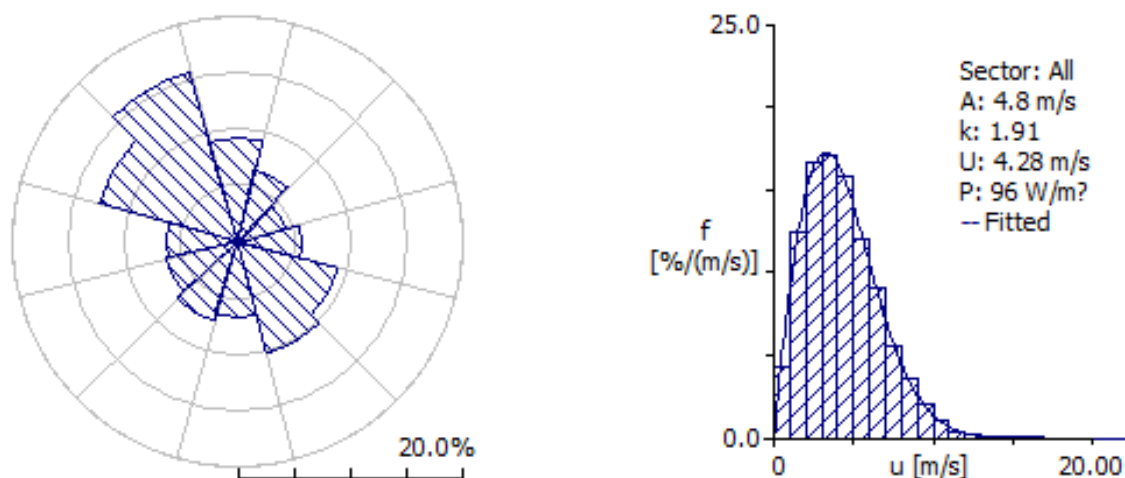


Figura 4.13. Roza vântului și distribuția Weibull pentru stația Ceadâr-Lunga, 1990 – 2000 obținută cu instrumentul OWC Wizard a programului WASP

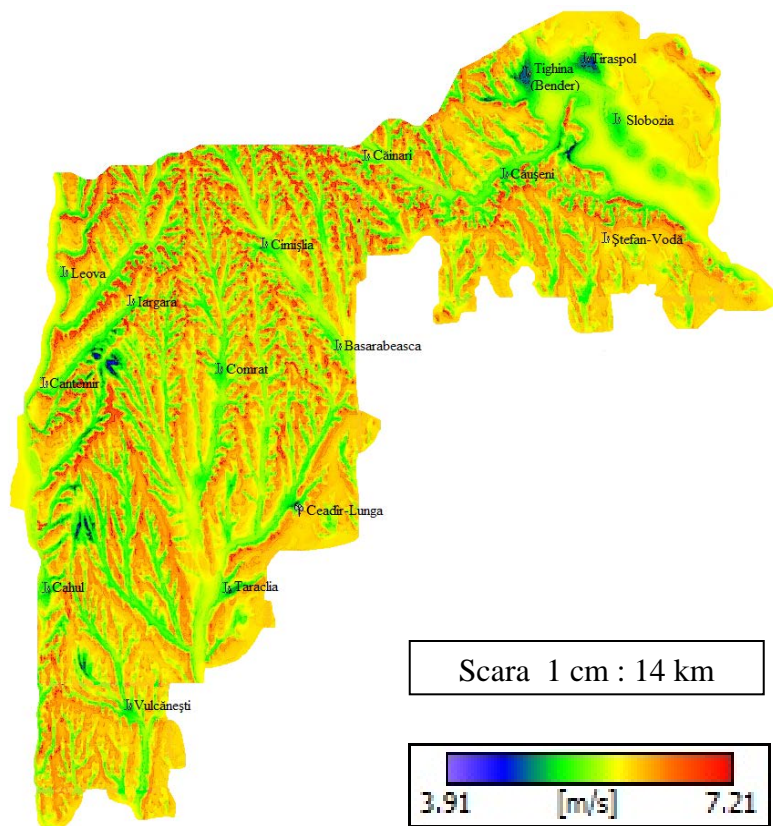


Figura 4.14. Harta vitezei medii a vântului la înălțimea 50 m – regiunea sud - obținută în WASP

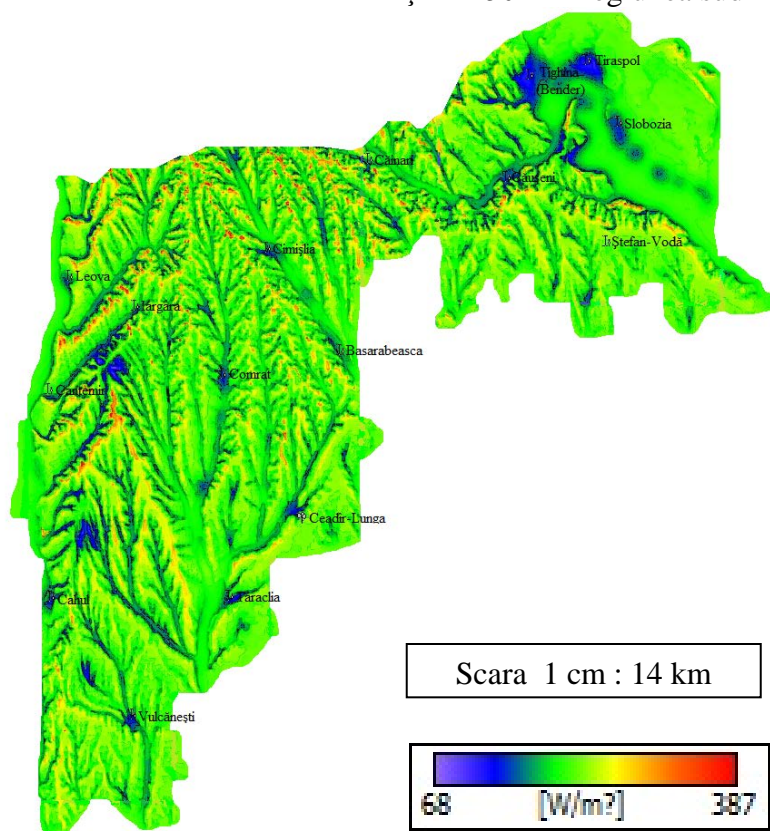


Figura 4.15. Harta densității de putere la înălțimea 50 m – regiunea sud - obținută în WASP

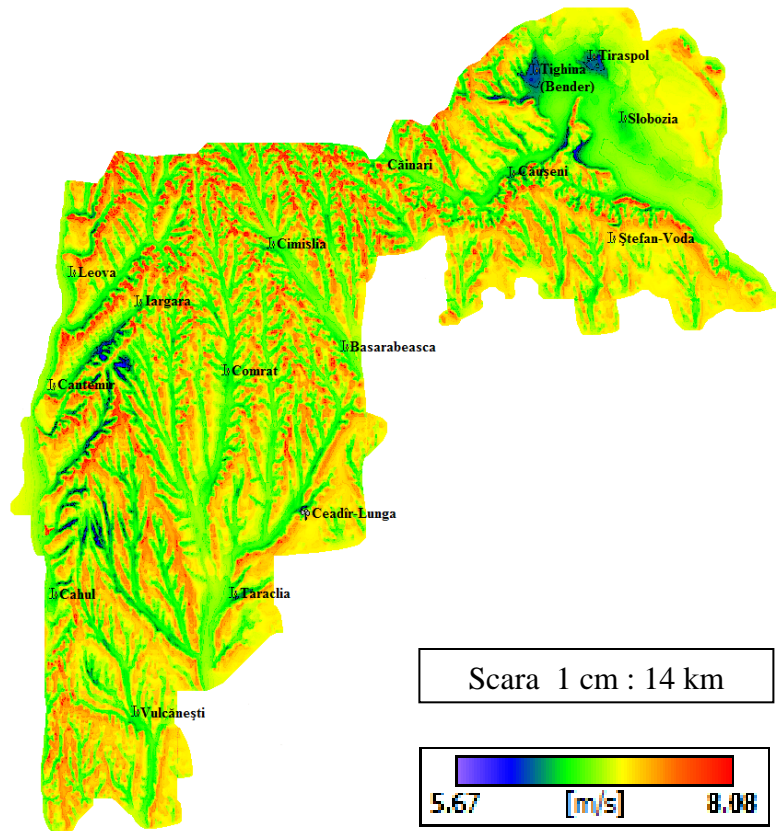


Figura 4.16. Harta vitezei medii a vântului la înălțimea 100 m – regiunea sud - obținută în WAsP

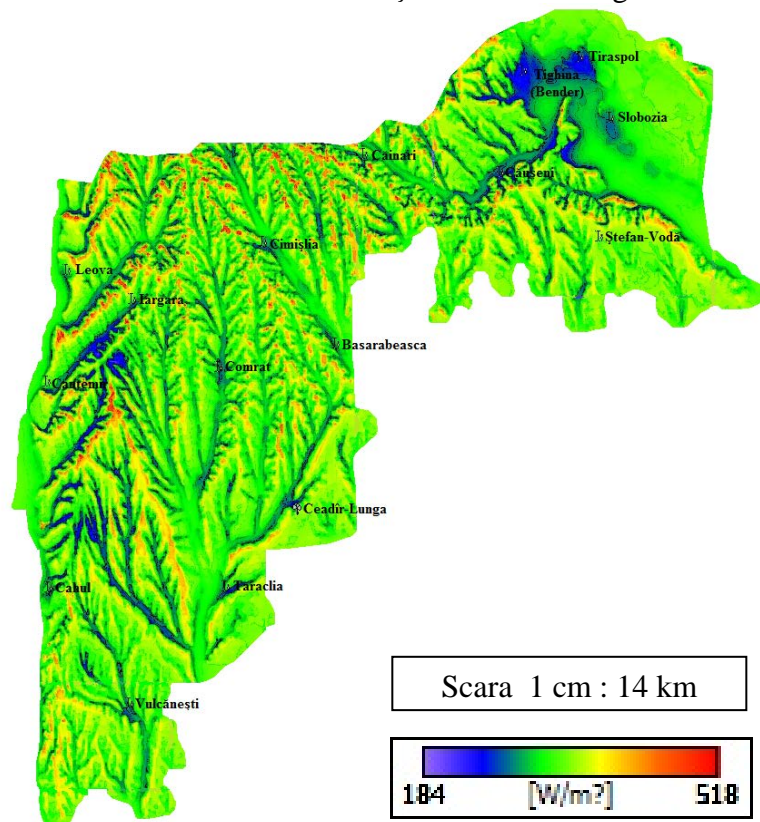


Figura 4.17. Harta densității de putere la înălțimea 100 m – regiunea sud - obținută în WAsP

Hărțile regiunii de sud prezentate în Figurile 4.14 – 4.17 reprezintă suma unui număr de 15 dreptunghiuri de diferite mărimi, care, luate împreună, creează o anumită hartă, a unui anumit parametru.

Verificarea rezultatelor calculelor efectuate, cât și a hărților obținute pentru regiunea de sud, folosind stația hidrometeorologică de la Ceadâr-Lunga, o vom face cu ajutorul datelor recent măsurate la diferite înălțimi la cinci stații de măsurare a parametrilor vântului, aflate în diferite puncte ale regiunii de sud.

Analizând hărțile din Figurile 4.14 – 4.17 constatăm că, pentru regiunea de sud, la înălțimea de 50 m, viteza medie anuală a vântului este cuprinsă în limitele 3,91 - 7,21 m/s, iar densitatea de putere variază în diapazonul 68 - 387 W/m².

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, de fapt, 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/m² [91, 92, 93].

Vitezele medii anuale maxime, cât și densitatea de putere maximă, la ambele înălțimi de 50 m și 100 m s-au obținut în zona Podișului Tigheciului și în partea de sud a Platoului Central.

Un fenomen foarte interesant, ce ține de regiunea de sud, este faptul că, punctul cu cea mai mare viteză a vântului nu coincide cu punctul unde avem cea mai mare densitate de putere. Atât la înălțimea de 50 m, cât și la 100 m vedem că cea mai înaltă viteză a vântului este înregistrată în zona Podișului Tigheciului între orașele Cahul și Cantemir, iar punctul cu cea mai mare densitate de putere este localizat în partea de sud a Platoului Central, la aproximativ 20 km în partea de vest a orașului Căinari.

Vitezele și densitățile de putere minime sunt înregistrate în orașele mari și în preajma acestora, dintre acestea făcând parte: Tiraspol, Tighina, Cahul, Vulcănești, Ceadâr-Lunga, Cimișlia, Comrat, etc.

4.3. Potențialul energetic eolian al Republicii Moldova

4.3.1. Clasele turbinei eoliene

În scopul proiectării și pentru a simplifica procesul de identificare a zonelor cu potențial eolian și alegerea corectă a turbinelor, Comisia Electrotehnică Internațională (International Electrotechnical Commission - IEC) a elaborat standardul CEI 61400-1 Turbine eoliene: Condiții de proiectare [104]. Standardul stabilește 10 clase de vânt, inclusiv clasa specială, care se indică în cartea tehnică a turbinei, Tabelul 4.1. Clasele turbinei eoliene sunt definite în funcție de viteza medie anuală a vântului și intensitatea turbulenței. Intensitatea turbulenței este raportul între abaterea standard a vitezei vântului și viteza medie a vântului pe eșantionul de mediere a datelor măsurate egal cu 10 min. De exemplu, clasa CEI II B semnifică faptul că turbina respectivă este proiectată pentru o zonă cu viteza medie anuală a vântului de 7,5-8,5 m/s și intensitatea turbulenței ce nu depășește 0,14. Conform [100], la înălțimea de 100 m deasupra solului, în condiții de câmp deschis (cazul turbinelor eoliene), intensitatea turbulenței nu depășește 0,12 (menționăm că fenomenele de turbulență nu sunt subiectul prezentei teze). Având la bază clasele turbinelor eoliene, recomandate de Standardul IEC, s-au determinat, pentru fiecare regiune, ariile suprafețelor în care viteza vântului se încadrează în clasele respective și ponderea acestora în raport cu suprafața țării.

Tabelul 4.1. Clasele turbinei eoliene

Clasa turbinei eoliene	I	II	III	S
Viteza medie anuală, m/s	8,5-10,0	7,5-8,5	6,0-7,5	Clasă specială pentru condiții specificate de proiectant
Intensitatea turbulenței				
A	0,16			
B	0,14			
C	0,12			

4.3.2. Clasificarea teritoriului în funcție de viteza medie anuală a vântului

La baza clasificării stau *hărțile digitale ale vitezei medii a vântului*, obținute mai sus pentru cele trei regiuni ale RM la două înălțimi: 50 m și 100 m. Fiecare hartă reprezintă suma unui anumit număr de dreptunghiuri, numite în programul WASP “Resource grid”, care, luate împreună, alcătuiesc harta vitezei medii anuale a vântului pentru una din cele trei regiuni și pentru o anumită înălțime.

Analizând hărțile digitale ale vitezei vântului, cât și studiind mai multe atlase ale vântului [77, 83, 104], am conchis să determinăm suprafețele în care viteza vântului este mai mare de 4 m/s pentru înălțimea de 50 m și respectiv 5 m/s, pentru înălțimea de 100 m. Pentru a reduce calculele, s-a considerat că toate suprafețele ce au o viteză a vântului mai mică de 4 m/s, respectiv 5 m/s, se omit din start, considerându-se că viteza vântului este egală cu zero.

În continuare, s-a ales pasul intervalelor vitezei vântului egal cu 0,5 m/s și, folosind relațiile matematice și logice din programul Excel, s-au identificat numărul celulelor ce au viteza vântului cuprinsă în limitele: 4,0 – 4,5 m/s; 4,5 – 5,0 m/s; 5,0 – 5,5 m/s; 5,5 – 6,0 m/s; 6,0 – 6,5 m/s; 6,5 – 7,0 m/s; 7,0 – 7,5 m/s, pentru înălțimea de 50 m și 5,0 – 5,5 m/s; 5,5 – 6,0 m/s; 6,0 – 6,5 m/s; 6,5 – 7,0 m/s; 7,0 – 7,5 m/s; 7,5 – 8,0 m/s, pentru înălțimea de 100 m. Cunoscând aria unei celule egală cu 0,01 km² și numărul de celule ce revine fiecărui interval de viteză, s-au calculat ariile suprafețelor în care viteza medie a vântului se încadrează în unul din intervalele menționate mai sus. În scopul comparării celor trei regiuni, s-a calculat ponderea ariilor respective la aria întregului teritoriu al RM egal cu 33,8·10³ km². Rezultatele sunt prezentate în Tabelele 4.2 și 4.3 și publicate în lucrările [91, 92, 93].

Tabelul 4.2. Clasificarea teritoriului în funcție de viteza medie anuală a vântului. Înălțimea 50 m

Viteza medie anuală, m/s	Aria, km ²			Ponderea la nivel de țară, %		
	Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord
4,0 – 4,5	1,0	692,4	16,3	0,00	2,05	0,05
4,5 – 5,0	36,9	2814,8	576,5	0,11	8,32	1,70
5,0 – 5,5	773,4	5627,0	5440,8	2,29	16,62	16,07
5,5 – 6,0	4784,5	3219,9	4361,3	14,14	9,51	12,88
6,0 – 6,5	4667,7	105,0	159,2	13,79	0,31	0,47
6,5 – 7,0	123,7	6,2	4,8	0,37	0,02	0,01
7,0 – 7,5	0,3	0,2	0,0	0,00	0,00	0,00
Total regiune	10387,5	12465,5	10558,9	30,69	36,83	31,20
Total țară	33412			98,72		

Constatăm următoarele:

- 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 vântoasă 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 6 și 8 m/s, urmează regiunea de nord cu 29,8%, apoi de centru cu 24%. În regiunea centrală sunt concentrate mai multe așezări rurale și urbane și suprafețe mari împădurite, toate împreună majorând rugozitatea terenului, respectiv micșorând viteza vântului.

Tabelul 4.3. Clasificarea teritoriului în funcție de viteza medie anuală a vântului. Înălțimea 100 m

Viteza medie anuală, m/s	Aria, km ²			Ponderea la nivel de țară, %		
	Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord
5,0 – 5,5	0,0	612,8	4,43	0,00	1,81	0,01
5,5 – 6,0	0,9	3671,5	472,8	0,00	10,85	1,40
6,0 – 6,5	157,1	6508,3	7191,4	0,46	19,23	21,24
6,5 – 7,0	4065,3	1583,7	2836,9	12,01	4,68	8,38
7,0 – 7,5	5996,1	44,1	58,33	17,70	0,13	0,17
7,5 – 8,0	213,2	1,8	0,17	0,63	0,00	0,00
Total regiune	10432,6	12422,2	10564,1	30,80	36,70	31,20
Total țară	33418,77			98,70		

4.3.3. Clasificarea teritoriului în funcție de densitatea de putere eoliană

În acest caz, clasificarea s-a făcut în baza *hărților digitale ale densității de putere eoliană* pentru cele trei regiuni prezentate în Figurile 4.5, 4.7, 4.10, 4.12, 4.15 și 4.17. S-a utilizat aceeași metodologie descrisă mai sus cu diferența că, în loc de viteza medie a vântului folosim densitatea de putere eoliană. Pentru a simplifica calculele și a reduce volumul de lucru, din start s-au omis suprafețele ce au o densitate de putere eoliană mai mică de 250 W/m² la înălțimea de 50 m și de 350 W/m² la înălțimea de 100 m. În continuare, am identificat suprafețele ce au densitatea de putere cuprinsă în limitele: 250 – 300 W/m²; 300 – 350 W/m²; 350 – 400 W/m²; 400 – 450 W/m²; 450 – 500 W/m²; ≥ 500 W/m², pentru înălțimea de 50 m și 350 – 400 W/m²; 400 – 450 W/m²; 450 – 500 W/m²; 500 – 550 W/m²; 550 – 600 W/m²; ≥ 600 W/m², pentru înălțimea de 100 m. Rezultatele sunt prezentate în Tabelele 4.4 și 4.5 și publicate în lucrările [91, 92, 93].

În conformitate cu clasificarea terenurilor în funcție de densitatea de putere eoliană, folosită de NREL (National Renewable Energy Laboratory) din SUA [Atlasul Armeniei], s-au determinat ariile suprafețelor care se încadrează în clasele respective, Tabelul 4.6.

Tabelul 4.4. Distribuția teritorială în funcție de densitatea de putere eoliană. Înălțimea 50 m

Densitatea de putere, W/m ²	Aria, km ²			Ponderea la nivel de țară, %		
	Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord
250 – 300	2750,0	27,0	2373,1	8,14	0,08	7,02
300 – 350	353,0	3,0	312,9	1,04	0,01	0,93
350 – 400	38,5	0,2	33,7	0,11	0,00	0,10
400 – 450	7,0	0,0	6,0	0,02	0,00	0,02
450 – 500	4,0	0,0	3,6	0,01	0,00	0,01
≥ 500	0,0	0,0	0,1	0,00	0,00	0,00
Total regiune	3152,5	30,2	2729,4	9,32	0,09	8,08
Total țară	5912,1			17,49		

Tabelul 4.5. Distribuția teritorială în funcție de densitatea de putere eoliană. Înălțimea 100 m

Densitatea de putere, W/m ²	Aria, km ²			Ponderea la nivel de țară, %		
	Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord
350 – 400	4830,0	41,8	4481,5	14,29	0,12	13,26
400 – 450	1095,0	7,7	954,3	3,24	0,02	2,82
450 – 500	110,0	5,2	100,8	0,33	0,02	0,30
500 – 550	0,1	0,0	28,2	0,00	0,00	0,08
550 - 600	0,0	0,0	4,3	0,00	0,00	0,01
Total regiune	6035,1	54,7	5569,1	17,86	0,16	16,47
Total țară	11658,9			34,49		

Tabelul 4.6. Clasificarea teritoriului țării în funcție de densitatea de putere eoliană

Clasa teritoriului			Aria suprafeței în diferite regiuni, km ²					
Nr.	Densitatea de putere eoliană, W/m ²	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	0,0	32,5

Din datele prezentate în Tabelele 4.1- 4.3 și 4.6 rezultă următoarele concluzii importante:

1. Pentru teritoriul RM nu se recomandă turbine eoliene de clasa I.
2. Cele mai potrivite 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 km², regiunea centru pe o arie de 8129 km², regiunea de nord pe o arie de 10088 km². 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 km².

3. 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 de la moderat (clasa 3), bun (clasa 4) și excelent (clasa 5).

4.3.4. Potențialul tehnic eolian în termeni de densitate de putere

Rezultatele obținute în paragrafele 4.3.1-4.3.3 reprezintă potențialul teoretic eolian calculat în baza hărților vitezei medii anuale a vântului sau a densității de putere fără a lua în considerație, sub nici o formă, constrângerile. Există diferite constrângeri care conduc la micșorarea potențialului teoretic eolian. În continuare, vom introduce noțiunea de *potențial tehnic eolian*, altfel spus, potențialul eolian disponibil pe teritoriul RM cu considerarea celor mai importante constrângeri.

Din lista constrângerilor fac parte toate zonele în care densitatea de putere eoliană este egală sau mai mare de 400 W/m^2 , dar a cărui utilizare, din anumite motive, nu poate fi realizată. Altfel spus, la etapa actuală de valorificare a energiei eoliene prezintă interes doar ariile cu potențial bun și excelent (Tabelul 4.6) și care nu cad sub incidența oricărei constrângeri. Din analiza ulterioară s-au exclus ariile următoarelor suprafețe:

- Fondul ariilor protejate de stat;
- Rezervațiile științifice “Plaiul fagului”, “Iagorlic”, “Prutul de Jos”, “Pădurea Domnească”, “Codrii”;
- 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.

Procesul de excludere a ariilor cu densitatea de putere eoliană egală sau mai mare de 400 W/m^2 și care se regăsesc în lista de mai sus se efectuează în conformitatea cu algoritmul prezentat în Figura

4.18. Algoritmul este relativ simplu, dar necesită un volum mare de informații inițiale – coordonatele și ariile suprafețelor pe care nu se admite montarea turbinelor eoliene.

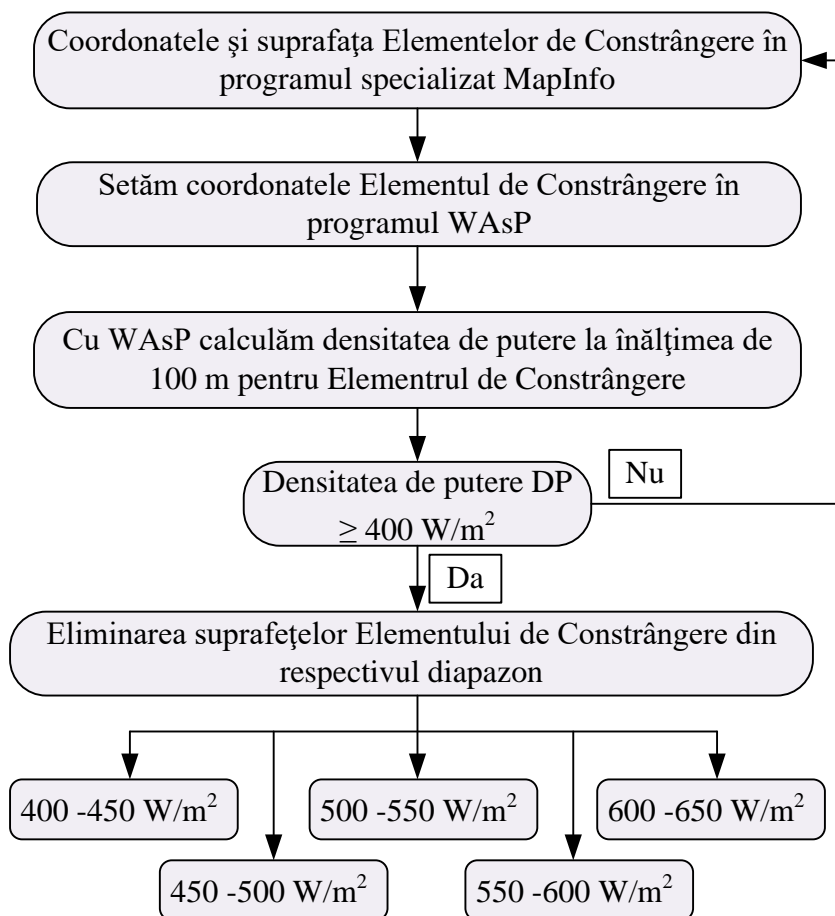


Figura 4.18. Algoritm de excludere a ariilor din zonele de constrângere

Deci, pentru a calcula potențialul tehnic eolian în termeni de densitate de putere vom folosi baza de date online a institutului INGEOCAD și programul MapInfo, care, pe lângă faptul că ne permite să aflăm coordonatele elementului de constrângere, calculează și aria suprafeței respective. Se lansează programul WAsP cu hărțile calculate, se localizează celula (100x100 m) pe hartă și se recalculază densitatea de putere. Dacă densitatea de putere în celula respectivă (în cazul nostru are semnificația unui punct) este mai mică de 400 W/m², atunci celula este omisă și se trece la următoarea. În cazul în care densitatea de putere în celula respectivă este mai mare de 400 W/m², atunci suprafața celulei se scade din suprafața utilă.

Totodată, s-a ținut cont de regulile de amplasare a turbinelor eoliene, care spun că, turbinele pot fi amplasate la o distanță nu mai mică de 200 m de la pădure și 500 m de la așezările rurale și urbane.

În acest context, toate pădurile, localitățile rurale și urbane au fost omise împreună cu ariile suprafețelor din preajma acestora.

O situație mai deosebită o reprezintă aeroporturile de pe teritoriul RM, care nu se supun algoritmului din Figura 4.18. Țara noastră dispune de 5 aeroporturi: Chișinău, Bălți, Mărculești, Tiraspol și Cahul. La moment, RM nu dispune de un regulament clar ce ar reglementa distanța dintre aeroport și turbina eoliană, de aceea am folosit “Ediția în vigoare a Reglementării Aeronautice Civile Române privind condițiile de avizare a documentațiilor tehnice pentru obiectivele aflate în zone cu servituți aeronautice civile – RACR-CADT, ediția 02/2003” [105]. În Figura 4.19 sunt reprezentate zonele de evaluare și avizare de către Autoritatea Aeronautică Civilă Română (AACR) a obiectivelor noi. Conform AACR, în zonele I, II și III se exclude din start instalarea unor obiective mai înalte de 45 m, categorie în care intră și turbinele eoliene din clasele de vânt I, II și III. În ceea ce privește zona IV, pot fi instalate obiective cu o înălțime mai mare de 45 m, doar după un studiu de fezabilitate amănunțit al regiunii respective.

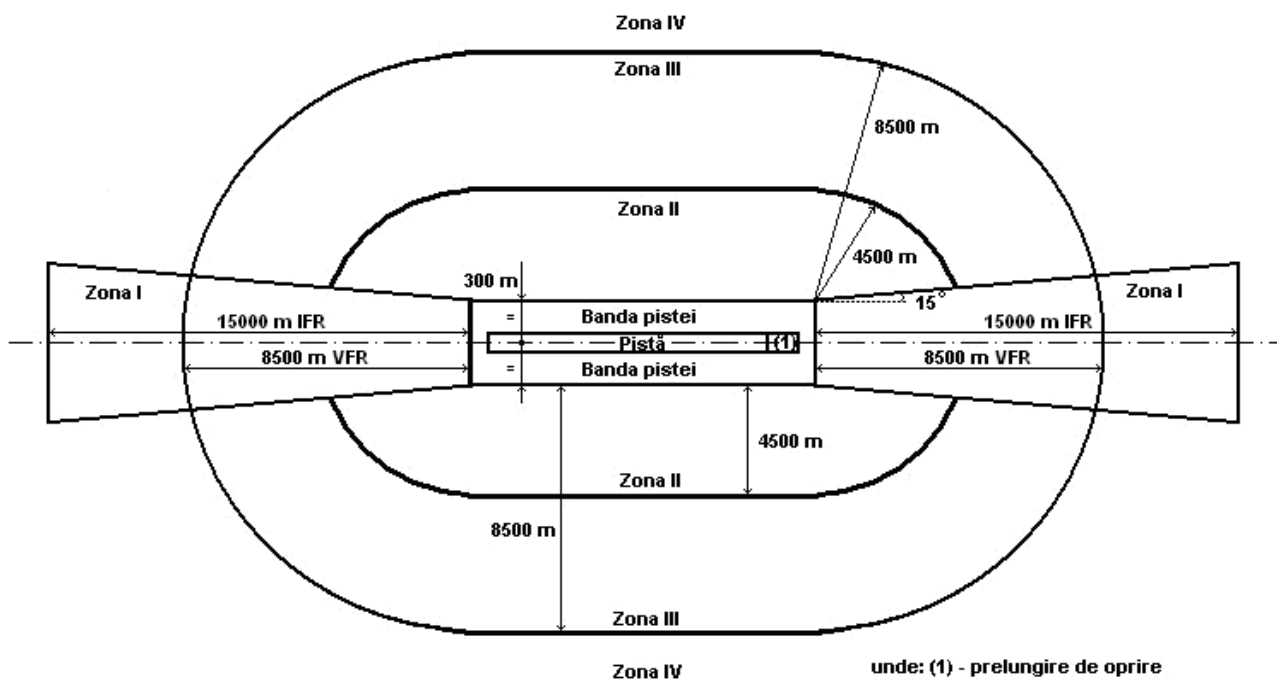


Figura 4.19. Zone cu servituți aeronautice civile aferente aerodromurilor/aeroporturilor - zone de evaluare și avizare de către Autoritatea Aeronautică Civilă Română a obiectivelor noi [105]

Analizând cele 5 aeroporturi constatăm că, Aeroportul Internațional Chișinău și Aeroportul din Tiraspol se exclud din start, dat fiind faptul că densitatea de putere este mai mică de 400 W/m^2 , ceea

ce nu se respectă în cazul celorlalte trei - Mărculești, Bălți și Cahul. Pentru ele am aplicat recomandările RACR-CADT, fapt care ne-a permis să determinăm suprafața fiecărui aeroport, ca mai apoi această suprafață să fie înmulțită cu un coeficient determinat experimental, care ia în considerație ce suprafață are o densitate de putere mai mare de 400 W/m^2 , apoi acest produs să fie exclus din suprafața utilă. Un exemplu în acest sens este prezentat în Figura 4.20., unde este ilustrat aeroportul Mărculești cu o suprafață de aproximativ 366 km^2 , la care rata teritoriilor cu o suprafață mai mare de 400 W/m^2 este de 20%, ceea ce înseamnă că aproximativ 73 km^2 vor fi excluși din suprafața utilă.

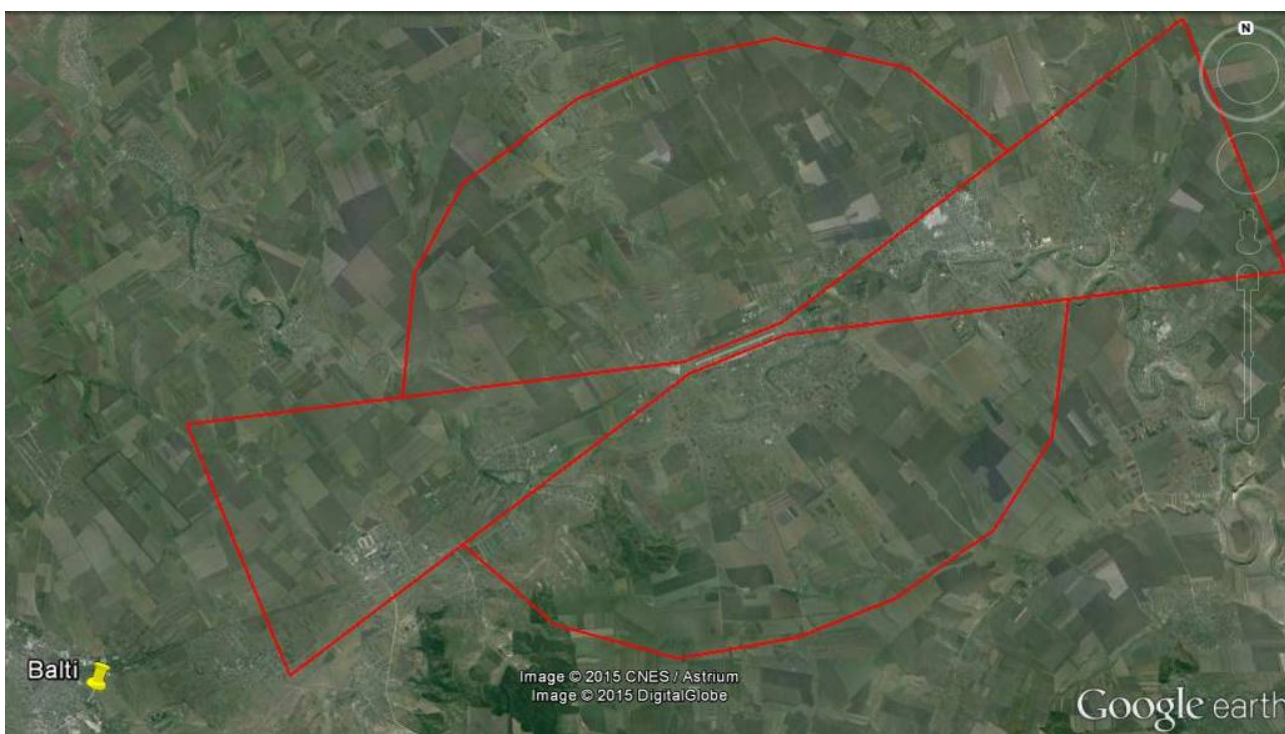


Figura 4.20. Zone cu servituți aeronautice - aeroportul Mărculești – imagine Google Earth

Aplicând toate procedurile de excludere a ariilor ce cad sub incidența constrângerilor, s-a calculat potențialul eolian tehnic al RM în termeni de densitate de putere a vântului la înălțimea de 100 m pentru cele trei regiuni, Tabelul 4.7.

Din Tabelul 4.7 constatăm că, RM are un potențial tehnic eolian pronunțat, a cărui implementare ar spori cu mult securitatea energetică națională și ar reduce dependența de importul de energie. Astfel, din suprafața totală a țării circa 1830 km^2 au o densitate de putere eoliană egală sau mai mare de 400 W/m^2 , ceea ce reprezintă 5,4% din întreg teritoriul. Disponibilitatea teritorială nu este uniformă: cea

mai mică este în regiunea centrală, urmează regiunea de nord în care zonele cu potențial bun și excelent constituie 812,3 km², apoi regiunea de sud în care zonele respective ocupă 1007,6 km². Dacă am fi inclus în analiză și potențialul moderat (Tabelul 4.6, densitatea de putere 300-400 W/m²) ariile disponibile ar crește de 3-4 ori. Totodată, considerăm oportun ca la prima etapă să fie valorificate zonele cu potențial bun și excelent.

Tabelul 4.7. Clasificarea teritoriului țării în funcție de densitatea de putere eoliană cu considerarea constrângerilor. Înălțimea de 100 m deasupra nivelului solului

Clasa teritoriului			Aria suprafeței în diferite regiuni, km ²					
Nr.	Densitatea de putere eoliană, W/m ²	Denumirea	Aria, km ²			Ponderea la nivel de țară, %		
			Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord
4	400 – 450	Bună	919,5	5,1	748,2	2,72	0,02	2,21
4	450 – 500	Bună	88,0	5,2	42,0	0,26	0	0,12
5	500 – 550	Excelentă	0,1	0	19,6	0	0	0,06
5	550 - 600	Excelentă	0	0	2,5	0	0	0,01
6	≥ 600	Excelentă	0	0	0,02	0	0	0
Total regiune			1007,6	10,3	812,3	2,98	0,02	2,4
Total țară			1830,2			5,40		

4.3.5. Potențialul tehnic eolian în termeni de putere electrică instalată

Pentru a evalua potențialul energetic eolian în termeni de putere electrică instalată trebuie să cunoaștem suprafețele de teren ce au un potențial eolian înalt, întrebare la care am dat răspuns mai sus, dar și capacitatea care poate fi instalată pe un 1 km², întrebare la care nu există un răspuns exact, aici apar un șir de opinii divergente. În articole și materiale publicate apar diferite propuneri privind capacitatea electrică care poate fi instalată pe o suprafață de 1 km². Astfel, sursa [84] indică 10 MW/km², [83] recomandă 5 MW/km², [85] și [86] - între 6 și 7 MW/km² și [87] - 16 MW/km². În această lucrare s-a acceptat o valoare conservativă de 5 MW/km².

Formula de calcul a capacității totale instalate este una simplă:

$$CTI = 5 \cdot S_{Total} \quad (4.1)$$

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

S_{Total} – aria totală, km²;

Rezultatele calculelor ce țin de potențialul tehnic eolian disponibil în termeni de putere electrică instalată la înălțimea de 100 m sunt prezentate în Tabelul 4.8

Tabelul 4.8. Potențialul tehnic eolian al RM în termeni de putere instalată calculată la înălțimea de 100 m pentru cele trei regiuni

Clasa teritoriului			Aria, km ²			Capacitatea instalată, MW		
Nr.	Densitatea de putere, W/m ²	Denumirea	Sud	Centru	Nord	Sud	Centru	Nord
4	400 – 450	Bună	919,5	5,1	748,2	4597,5	25,5	3741,0
4	450 – 500	Bună	88,0	5,2	42,0	440,0	26,0	210,0
5	500 – 550	Excelentă	0,1	0	19,6	0,5	0	98
5	550 - 600	Excelentă	0	0	2,5	0	0	12,5
6	≥ 600	Excelentă	0	0	0,02	0	0	0,1
Total regiune			1007,6	10,3	812,3	5038	51,5	4061,6
Total țară			1830,2			9151,0		

Aria suprafețelor cu potențial eolian bun – excelent (400-650 W/m²), cu considerarea constrângerilor, este de circa 1830 km². În cazul în care se consideră că pe un km² poate fi instalată o capacitate de 5 MW, vom avea o capacitate totală instalată de 9151 MW, ceea ce depășește cu mult consumul actual al țării noastre.

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.

4.4. Validarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova

4.4.1. Metode de validare

Măsurarea caracteristicilor vântului în diferite puncte pe o perioadă de minimum un an costă scump, în deosebi pentru RM. Iată de ce, pentru evaluarea potențialului energetic eolian se folosesc diferite metodologii, care sunt însoțite de software

specializate. Partea bună a lucrurilor este că, hărțile obținute cu ajutorul acestor programe ne permite

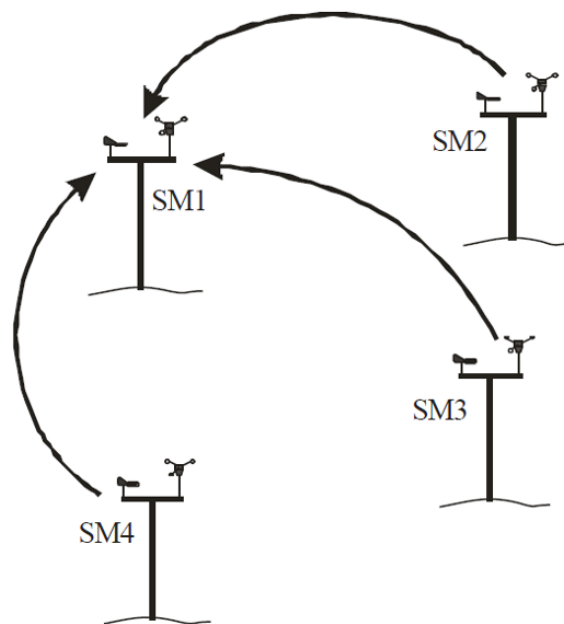


Figura 4.21. Principiul de validare prin comparații

să aflăm parametrii vântului în orice punct dintr-o oarecare regiune fără a efectua careva măsurări. Însă, apare întrebarea: care este gradul de precizie a rezultatelor calculate? Pentru a răspunde la această întrebare s-au folosit diferite proceduri de validare a rezultatelor obținute descrise pe larg în Atlasului European al Vântului și alte lucrări.

Autorii AEV propun următoarele metode de validare a potențialului electric eolian [9, 88, 90]:

1. Prin compararea reciprocă a rezultatelor măsurărilor și calculelor vitezelor medii ale vântului și parametrilor Weibull. Procedura de comparare reciprocă cuprinde următoarele: una din stațiile meteorologice se declară stație prezisă, de exemplu stația SM1 din Figura 4.21. Se calculează viteza

medie și parametrii Weibull pentru stația prezisă folosind datele istorice de la celelalte stații din zonă – SM2, SM3 și SM4 din Figura 4.21., numite stații prezicătoare. Calculele se repetă de patru ori declarând succesiv ca stație prezisă o altă stație.

2. A doua metodă constă în folosirea rezultatelor măsurărilor la înălțimi de 50 m și mai mult a caracteristicilor vântului pe o perioadă de minimum 12 luni. În multe țări din Europa de Vest există date despre caracteristicile vântului măsurate la înălțimi de câteva zeci și chiar sute de metri: Olanda – 200 m; Portugalia – 100 m; Finlanda – 220 m; Suedia – 145 m. În acest caz, validarea rezultatelor estimate prin calcule se efectuează în felul următor, Figura 4.22.: pentru fiecare turn, unde au fost efectuate măsurări pe o perioadă de minimum 12 luni la diferite înălțimi, se culeg datele corespunzătoare înălțimilor de 10-20 m. Aceste date se utilizează ca date de reper pentru calcule. Se calculează viteza medie, parametrii Weibull și densitatea de putere eoliană pentru înălțimi de 50 – 200 m. Se compară rezultatele calculate cu cele măsurate.

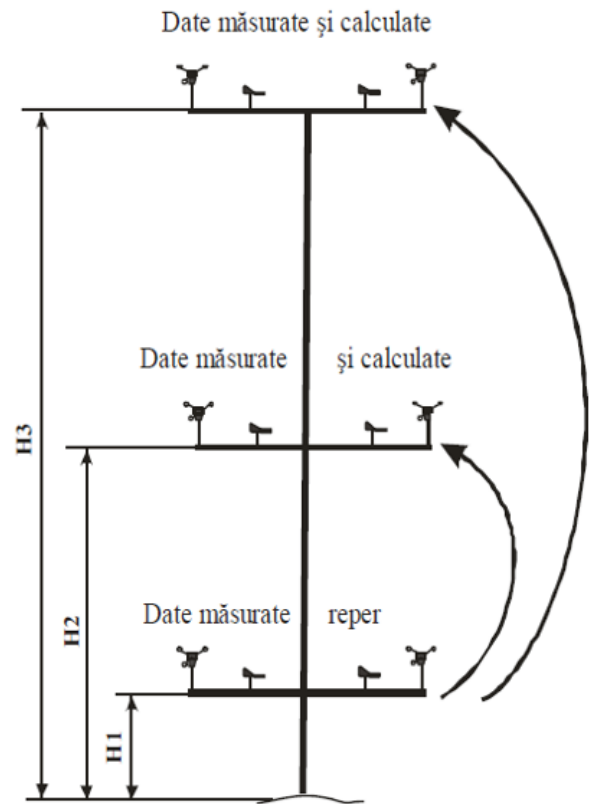


Figura 4.22. Principiul de validare prin măsurări la diferite înălțimi

4.4.2. Validare potențialului energetic eolian al RM

Pentru cazul nostru vom folosi procedura de validare ce constă în compararea vitezelor medii anuale măsurate în diferite puncte și la diferite înălțimi cu vitezele calculate în aceleași amplasamente, la aceeași înălțime, folosind datele stațiilor de reper pentru fiecare regiune.

Pentru regiunea de sud avem ca stație de reper stația meteorologică Ceadâr-Lunga cu datele istorice pe o perioadă de 11 ani, la o înălțime de 10 m, iar ca stații prezise avem: Ștefan-Vodă – 52 m, Basarabeasca – 52 m, Cahul – 62 m, Cantemir – 62 m, Ceadâr-Lunga – 50 m, Tabelul 4.9.

Pentru regiunea centrală, ca stație de reper avem datele măsurate pe o perioadă de 3 ani la turnul de măsurare instalat pe dealul Bălănești, la o înălțime de 30 m, iar ca stații prezise avem: Hâncești – 60 m, Hâncești – 50 m, Ungheni – 77 m, Telenești – 60 m, Nisporeni – 30 m, Tabelul 4.10.

În regiunea de nord avem cele mai puține amplasamente pe care am putea să le folosim în calitate de stații prezise, fiind doar 3 la număr. În calitate de stație de reper este folosită stația meteorologică din Bălți cu datele istorice pe o perioadă de 10 ani, la o înălțime de 10 m, iar ca stații prezise avem: Telenești – 58 m, Dondușeni – 75 m și Briceni – 62 m, Tabelul 4.11.

Tabelul 4.9. 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		
Densitatea de putere, W/m ²	244	237	238	298	246	302	290	258	289	277	
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	
Coordonate	X	717940,7		650093,1		598921,5		602560,8		626434,8	
	Y	5154259,7		5155558,9		5087617,5		5129564,5		5106801,9	
Altitudinea	150		215		200		290		168		

Tabelul 4.10. Vitezele medii anuale măsurate și calculate pentru stațiile din partea Centrală a Republicii Moldova – stația de reper Dealul Bălănești

Raionul		Hâncești		Ungheni		Hâncești		Telenești		Nisporeni	
Zona		Centru		Centru		Centru		Centru		Centru	
H _{anem} , m.		60		77		50		60		30	
Tip date		Măs.	Cal.	Măs	Cal.	Măs.	Cal.	Măs.	Cal.	Măs.	Cal.
V _{med} , m/s		5,82	5,89	6,21	6,43	6,20	6,00	6,31	6,95	5,13	5,16
Eroarea V _{med} , %		1,2		3,54		-3,22		10,14		0,58	
Densitatea de putere, W/m ²		218	201	283	254	257	218	301	345	142	144
A, m/s		6,6	6,6	6,9	7,2	7,0	6,8	7,2	7,8	5,8	5,8
K		2,11	2,44	1,93	2,54	2,19	2,37	1,99	2,3	2,24	2,24
Coordonate	X	613614,0		568530,6		624923,0		611590,0		582073,5	
	Y	5174349,0		5231949,6		5190832,0		5262407,0		5229685,5	
Altitudinea		200		265		274		264		420	

Tabelul 4.11. Vitezele medii anuale măsurate și calculate pentru stațiile din partea de Nord a Republicii Moldova – stația de reper Bălți

Raionul		Telenești		Dondușeni		Briceni	
Zona		Nord		Nord		Nord	
H _{anem} , m.		58		75		62	
Tip date		Măs.	Cal.	Măs	Cal.	Măs.	Cal.
V _{med} , m/s		6,13	5,97	6,29	5,69	5,77	5,81
Eroarea V _{med} , %		-2,61		-9,53		0,69	
Densitatea de putere, W/m ²		255	308	241	268	191	280
A, m/s		6,9	6,7	7,1	6,4	6,6	6,5
K		2,07	1,66	2,57	1,65	2,47	1,67
Coordonate	X	597881,0		552266,0		511245,6	
	Y	5268968,0		5354501,6		5342131,7	
Altitudinea		290		270		290	

Analizând datele prezentate în Tabelele 4.9 – 4.11 constatăm că, pentru un amplasament oarecare unde nu au fost făcute măsurări ale caracteristicilor vântului viteza medie anuală a vântului poate fi estimată cu o eroare relativă cuprinsă între 1,0 - 10,0%, valoarea medie a erorii relative nu depășește 4%. Studiind erorile relative obținute și luând în considerație că datele de la amplasamentele prezise au fost măsurate pe o perioadă de un an, putem afirma cu siguranță că datele obținute au o precizie suficient de bună. De asemenea, în fiecare regiune avem câte o stație precisă la care valoarea erorii relative este în jur de 10%, fapt care poate fi provocat de amplasarea incorectă a obstacolelor și rugozităților sau de localizarea greșită a amplasamentului.

Concluzii la capitolul 4

Cercetările în domeniul evaluării și validării potențialului energetic eolian al Republicii Moldova au condus la formularea următoarelor concluzii:

1. Evaluarea potențialului energetic eolian este un proces complex, fiind o îmbinare a mai multor domenii, cum ar fi: climatologie, topografie, geografie, energetică, economie etc.
2. Marea majoritate a stațiilor meteorologice existente nu pot fi folosite ca stații de reper pentru evaluarea potențialului energetic eolian al RM din motiv că datele sunt puternic influențate de obstacolele care se află în preajma dispozitivelor de măsurare.
3. S-au calculat 12 hărți pentru regiunile sud, centru și nord, care ilustrează următoarele:
 - Viteza medie anuală a vântului la înălțimea de 50 m – regiunea: sud, centru, nord;
 - Viteza medie anuală a vântului la înălțimea de 100 m – regiunea: sud, centru, nord;
 - Densitatea de putere eoliană la înălțimea de 50 m – regiunea: sud, centru, nord;
 - Densitatea de putere eoliană la înălțimea de 100 m – regiunea: sud, centru, nord.
4. Pornind de la clasele de vânt standardizate ale turbinelor eoliene, în premieră, s-a clasificat teritoriul țării în funcție de viteza media 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 vântoasă 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 majorând rugozitatea terenului, respectiv micșorând viteza vântului.
5. Pentru teritoriul RM nu se recomandă turbine eoliene de clasa I. Cele mai potrivite sunt turbinele eoliene de clasa III (viteza medie anuală 6,0-7,5 m/s) cu înălțimea turnului de 100 m și care pot fi, teoretic, instalate în regiunea de sud pe o arie de 10432 km², regiunea centru pe o arie de 8129 km², regiunea de nord pe o arie de 10088 km². 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 km².

6. Folosind clasificarea terenurilor în funcție de densitatea de putere eoliană, propusă de NREL (SUA), în premieră, pentru înălțimea de 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/m² (potențial bun-excelent). Aceste arii reflectă potențialul eolian tehnic. Din suprafața totală a țării, circa 1830 km² au o densitate de putere eoliană egală sau mai mare de 400 W/m², ceea ce reprezintă 5,4% din întreg teritoriul.
7. 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 km², apoi regiunea de sud în care zonele respective ocupă 1007,6 km². Dacă am fi inclus în analiză și potențialul moderat (densitatea de putere 300-400 W/m²), ariile disponibile ar crește de 3-4 ori. Totodată, considerăm oportun ca la prima etapă să fie valorificate zonele cu potențial bun și excelent.
8. 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/m²) și excelent (clasa 5, 500-600 W/m²). Acest potențial, cu considerarea constrângerilor, se estimează la 9150,0 MW și depășește cu mult necesitățile țării.
9. 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%, însă, valoarea medie a erorii relative nu depășește 4%. Eroarea este mai mare în cazul terenurilor accidentate sau acolo unde rugozitățile și obstacolele din împrejurimile stației meteorologice de reper sunt mai pronunțate.

5. UTILIZAREA REZULTATELOR EVALUĂRII POTENȚIALULUI EOLIAN PENTRU DEZVOLTAREA UNEI CENTRALE ELECTRICE EOLIENE

5.1 Noțiuni generale

CEE reprezintă un grup de două sau mai multe turbine eoliene, amplasate în aceeași zonă la distanțe relativ mici, care sunt conectate la rețelele de distribuție sau de transport ale energiei electrice. În literatura de specialitate, CEE mai sunt numite și *parcuri eoliene* sau *ferme eoliene*. O CEE poate să conțină până la sute de turbine atât de același tip, cât și de tipuri diferite, în funcție de suprafața terenului disponibil, potențialul eolian al zonei și capacitatea de transport a rețelelor electrice. Trebuie să remarcăm că, de regulă, în cadrul unei CEE se folosesc turbine de putere medie și mare, iar turbinele de putere mică se folosesc în regim autonom sau în paralel cu un grup electrogen. O clasificare a CEE este prezentată în Tabelul 5.1. [94, 95, 97]. 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, rugozități, obstacole, nivelul de accidentare a terenului, factorul de disponibilitate a turbinei etc.

Tabelul 5.1. Clasificarea CEE

Tipul Centralei Electrice Eoliene	Numărul de turbine eoliene
Mică	1 – 3
Mijlocie	3 – 20
Mare	20 – 50
Foarte mare	> 50

De asemenea, trebuie să adăugăm că, pe lângă titlul de producător de energie electrică, o CEE mai apare deseori și în calitate de consumator de energie electrică. Aceasta se întâmplă în cazul în care viteza vântului este mai mică de 3 m/s, în funcție de tipul constructiv al turbinelor eoliene. În această situație, CEE consumă energie din rețea pentru monitorizare, încălzirea uleiului, semnalizare, cât și pentru pornirea turbinelor.

5.2 Principalii pași în dezvoltarea unei CEE în RM

Construcția unei CEE implică un volum enorm de investiții , în deosebi pentru RM. Iată de ce, înainte de a efectua aceste investiții, trebuie să se alcătuiască un plan bine determinat la baza căruia ar sta următorii pași principali [88]:

1. Identificarea și selectarea amplasamentului;
2. Obținerea avizelor preliminare de la Ministerul Apărării, Administrația de Stat a Aviației Civile, Institutul de Ecologie și Geografie a A.Ș.M., Institutul de Geologie și Seismologie a A.Ș.M.
3. Obținerea avizului de racordare la rețelele electrice publice;
4. Obținerea dreptului asupra terenului și căilor de acces;
5. Acces la capital;
6. Identificarea cumpărătorului de energie electrică eoliană;
7. Identificarea particularităților amplasamentului;
8. Obținerea licenței și expertizelor de la instanțele de reglementare și supraveghere;
9. Estimarea producției anuale de energie electrică eoliană;
10. Evaluarea impactului asupra mediului înconjurător și obținerea avizului expertizei ecologice de stat;
11. Întocmirea și încheiere contractelor de livrare a turbinelor.

În această lucrare noi nu vom parcurge toți pașii de mai sus, ci ne vom opri doar la doi dintre ei, și anume: identificarea și selectarea amplasamentului și estimarea cantității de energie electrică produsă de CEE.

5.3 Identificarea și selectarea amplasamentului cu potențial eolian pronunțat și poziționarea preliminară a turbinelor eoliene

În scopul implementării unei turbine sau a unui parc eolian într-o regiune geografică specifică, primul pas constă în studierea și evaluarea acestei regiuni, cu scopul de a identifica cel mai promițător amplasament pentru care se va face studiul de fezabilitate. Identificarea acestor regiuni se face în baza hărților potențialului energetic eolian. În cazul lipsei acestor hărți, după cum s-a

menționat în Capitolul 2, disponibilitatea resurselor eoliene poate fi determinată pe baza datelor măsurate la stațiile meteo din imediata apropiere a zonei de interes.

Totodată, la identificarea amplasamentului unei CEE trebuie să se țină cont nu doar de potențialul energetic eolian al regiunii, dar și de un șir de alți factori, cum ar fi: destinația terenului, resursele naturale și biologice, nivelul zgomotului, peisajul vizual, aspectul uman, eroziunea solului și/sau calitatea apei, resursele culturale și arheologice, calitatea aerului și a climei, etc. [97].

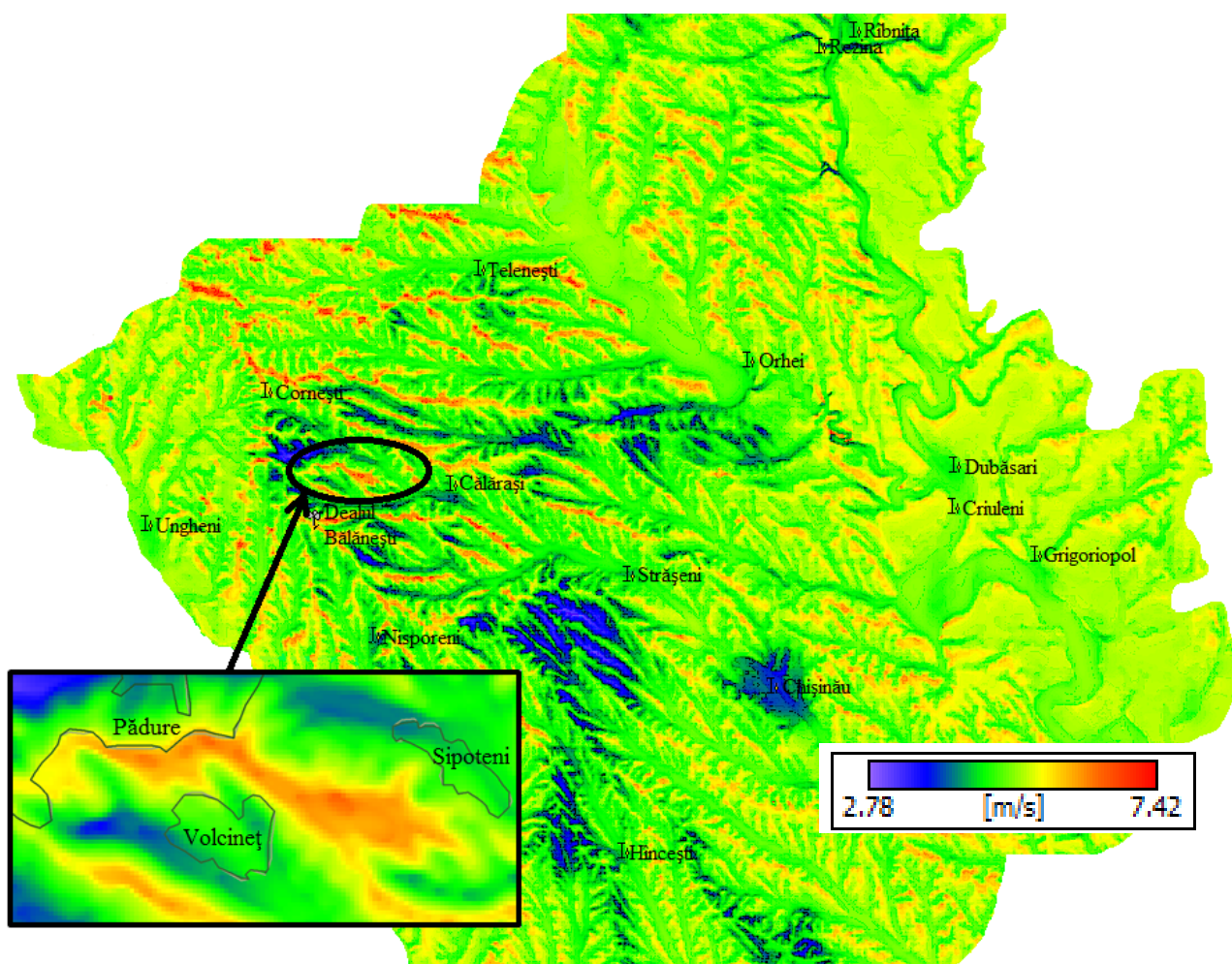


Figura 5.1. Harta potențialului eolian pentru regiunea centru în termeni de viteză medie anuală a vântului la înălțimea de 100 m

În cazul nostru, selectarea amplasamentului o vom face în baza hărților vitezelor medii anuale și ale densităților de putere obținute pentru cele trei regiuni la înălțimea de 100 m descrise în capitolul precedent. Din cele trei regiuni, cel mai mic potențial eolian îl are regiunea centrală (vezi Capitolul 4) cu suprafețe mari acoperite de păduri, dar și cu cele mai înalte coline. S-a selectat regiunea cu cel

mai mic potențial intenționat pentru a exclude interpretări eronate și supraestimarea producției de energie. În Figura 5.1. se prezintă harta potențialului eolian în regiunea centrală în termeni de viteză medie anuală a vântului (Figura 4.8. din Capitolul 4), cu evidențierea zonei de interes. S-a selectat o zonă deluroasă din raionul Călărași în care se pot identifica coline cu viteze medii anuale de peste 7 m/s și densități de putere de peste 350 W/m².

În Figura 5.2. (cu linie roșie se marchează zona de interes) este prezentată imaginea MapInfo a colinei dintre comunele Vălcineț și Sipoteni, având înălțimea cuprinsă între 340 și 380 m deasupra nivelului mării.



Figura 5.2. Imaginea MapInfo a colinei dintre comunele Vălcineț și Sipoteni

Înainte de a face poziționarea preliminară a turbinelor CEE, trebuie să analizăm impactul unei turbine asupra altei turbine. Cât de mult va fi influențată producția de energie depinde de distanța dintre turbine și direcția dominantă a vântului. În Figura 5.3. este prezentată schematic influența unei turbine eoliene asupra fluxului de aer. În literatura de specialitate, această influență apare sub denumirea de pierderi de siaj (wake losses) și are o importanță deosebită asupra cantității de energie care poate fi produsă de o CEE.

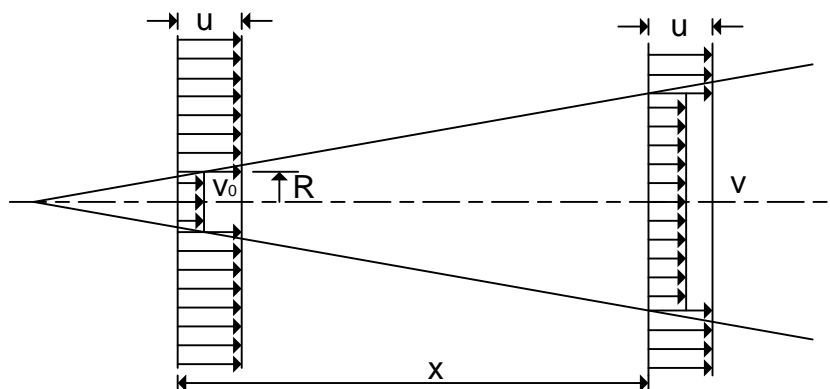


Figura 5.3. Pierderile de siaj provocate de o turbină eoliană în fluxul de aer

Viteza maselor de aer, care parcurg turbina, scade în spatele turbinei eoliene și se reface odată cu mărirea distanței x , ajungând până la viteza inițială. Anume distanța x va determina modul de poziționare a turbinelor într-o CEE. Relația între viteza vântului v și distanța din spatele rotorului este dată de relația [111]:

$$v = u \left[1 - \frac{2}{3} \left(\frac{R}{R - \alpha x} \right)^2 \right] \quad (5.1.)$$

unde: v – viteza vântului la distanța x în spatele rotorului turbinei, u – viteza vântului înaintea rotorului turbinei, R – raza rotorului, α – constanta pierderilor de siaj (acest coeficient depinde de rugozitatea terenului și pe suprafața terestră este de 0,075).

Odată ce am identificat amplasamentul viitoarei CEE, ținând cont de toate condițiile expuse mai sus, vom utiliza unul din software de vizualizare online a hărților - MapInfo sau Google Earth pentru a ne asigura că amplasamentul ales corespunde condițiilor de amplasare a unei CEE și nu coincide cu sate, orașe, păduri, lacuri, iazuri, etc. Totodată, utilizând unul din aceste software, vom face poziționarea preliminară a turbinelor eoliene și vom determina câte turbine eoliene pot fi amplasate.

Pentru a poziționa turbinele și determina numărul maxim de turbine care pot fi instalate, trebuie să cunoaștem diametrul turbinei. Această întrebare apare deoarece distanța dintre două turbine și dintre două rânduri de turbine depinde de diametrul turbinei instalate. Conform [87, 94, 95, 97, 100, 101], distanța dintre două turbine amplasate în același rând nu trebuie să fie mai mică de 4 diametre ale turbinelor folosite, iar distanța între două rânduri de turbine trebuie să nu fie mai mică de 7 diametre, de asemenea, poziționarea turbinelor trebuie să fie în forma tablei de șah, Figura 5.4. Dacă în

amplasamentul CEE se contată vânturi cu direcții preponderente, se recomandă poziționarea rândului de turbine perpendicular (caz ideal) pe direcția vântului. Totodată, trebuie să se țină cont de faptul că turbinele trebuie să fie amplasate la o distanță de minimum 200 m de la pădure sau fâșia de pădure și la 500 m de la așezări rurale și urbane. Toate aceste condiții trebuie respectate pentru a evita influența unei turbine eoliene asupra altei turbine sau a unui rând de turbine asupra rândurilor de turbine din spatele acestuia, micșorând pierderile de siaj și influența zgomotului.

În exemplul nostru am ales turbina eoliană Vestas V90 de 2 MW, diametrul rotorului este de 90 m.

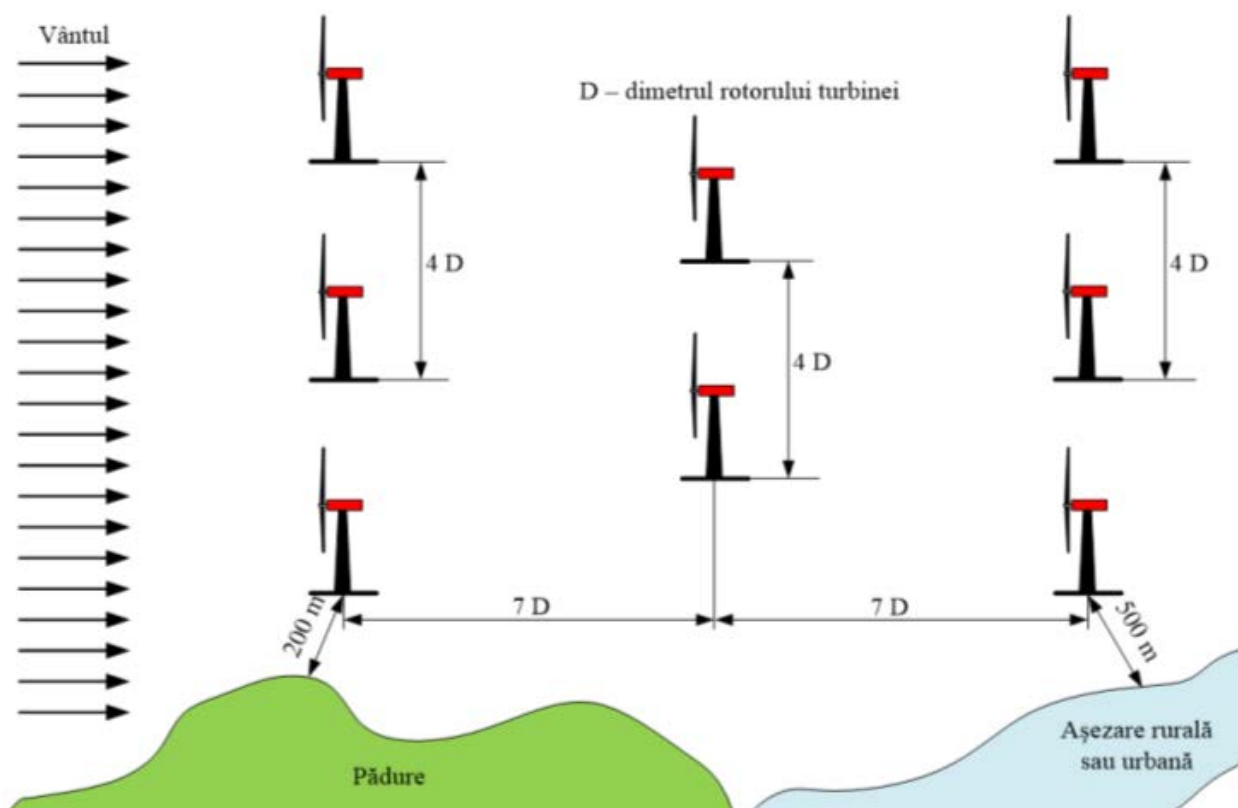


Figura 5.4. Poziționarea turbinelor eoliene

Cunoscând diametrul turbinelor și folosind harta densității de putere a regiunii centrale obținută la înălțimea de 100 m și software de vizualizare online a hărților MapInfo, vom realiza poziționarea turbinelor. Harta densității de putere o vom utiliza pentru a determina zona de interes cu cea mai înaltă densitate de putere, apoi poziționăm turbinele, având grijă ca distanța dintre ele să nu fie mai mică de 4 diametre ale turbinei, ceea ce este echivalent cu 360 m, distanța de la pădure până la turbină să nu fie mai mică de 200 m, iar de la așezarea rurală – nu mai mică de 500 m. Respectând

aceste condiții, am stabilit că pe colina în cauză pot fi instalate 20 de turbine de tipul V90-2.0 MW GridStreamer™, ceea ce va fi echivalent cu o capacitate instalată a CEE de 40 MW. În Figura 5.5. este prezentată imaginea MapInfo cu turbinele poziționate. Poziționarea turbinelor nu este în linie și nici în două sau mai multe rânduri, ci coincide cu caracterul colinei pe care sunt amplasate, cu respectarea condițiilor ce țin de distanța până la păduri și la așezarea rurală.

Odată ce am poziționat turbinele eoliene pe imaginea MapInfo, Figura 5.5., cu respectarea cerințelor și condițiilor de mai sus, Figura 5.4., se determină coordonatele și se introduc în programul WASP 9.1, pentru a calcula producția totală de energie, producția fiecărei turbine, pierderile de siaj și alți indicatori ai CEE .

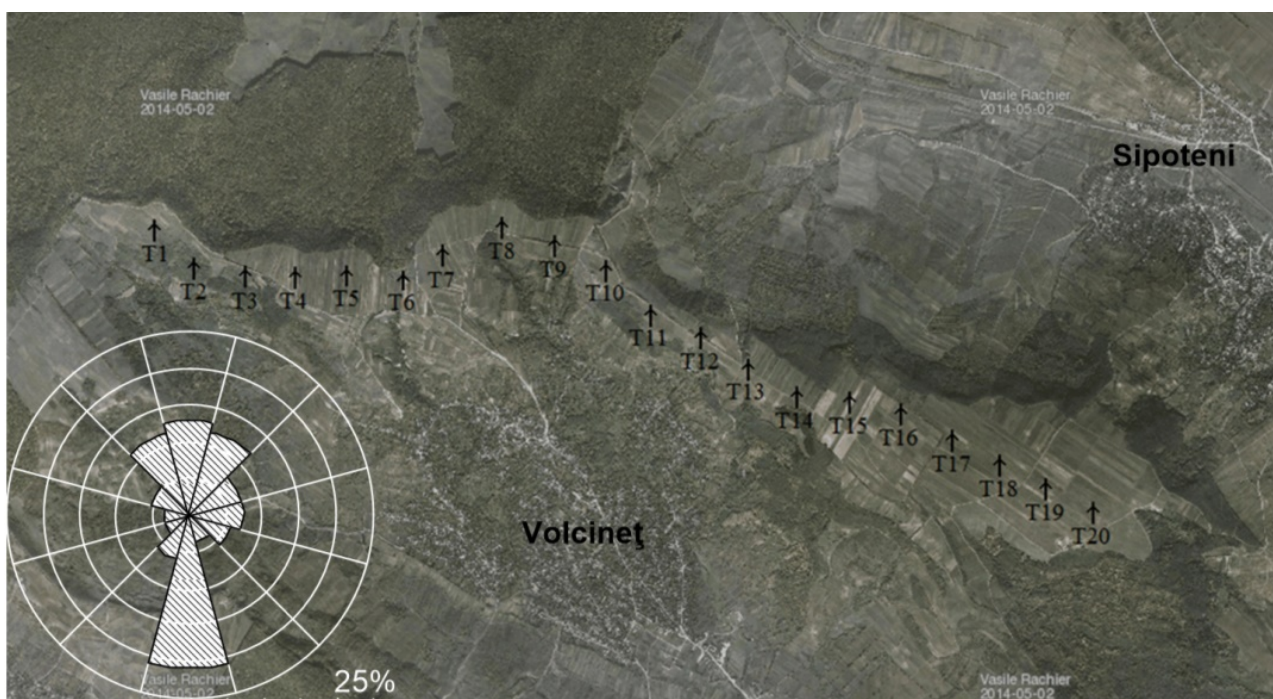


Figura 5.5. Amplasarea turbinelor eoliene în cadrul CEE, imagine MapInfo

5.4. Caracteristicile principale ale turbinei eoliene și modelarea acestora

După cum am menționat mai sus, am ales turbina eoliană de 2 MW, V90 - 2.0 MW GridStreamer™ produsă de compania Vestas [98, 99]. Cele mai importante caracteristici ale acestor turbine sunt:

1. *Date operaționale:*

- Putere nominală - 2030 kW (V90-2.0 MW GridStreamer™);
- Viteza vântului la cuplare - 4 m/s;

- Viteza nominală a vântului - 13,5 m/s;
- Viteza vântului la decuplare - 25 m/s;
- Viteza vântului la recuplare 23 m/s;
- Clasa eoliană - IEC III A;
- Interval de temperaturi operaționale, turbină standard: -20°C la 40°C, cu opțiunea pentru temperaturi scăzute: -30°C la 40°C.

2. Rotor:

- Diametru rotor - 90 m;
- Suprafață baleiată – 6362 m²;
- Turație nominală - 14,9 rpm.

3. Caracteristici electrice:

- Frecvență - 50/60 Hz;
- Tip generator - generator cu magneți permanenți;
- Convertor - convertor integral.

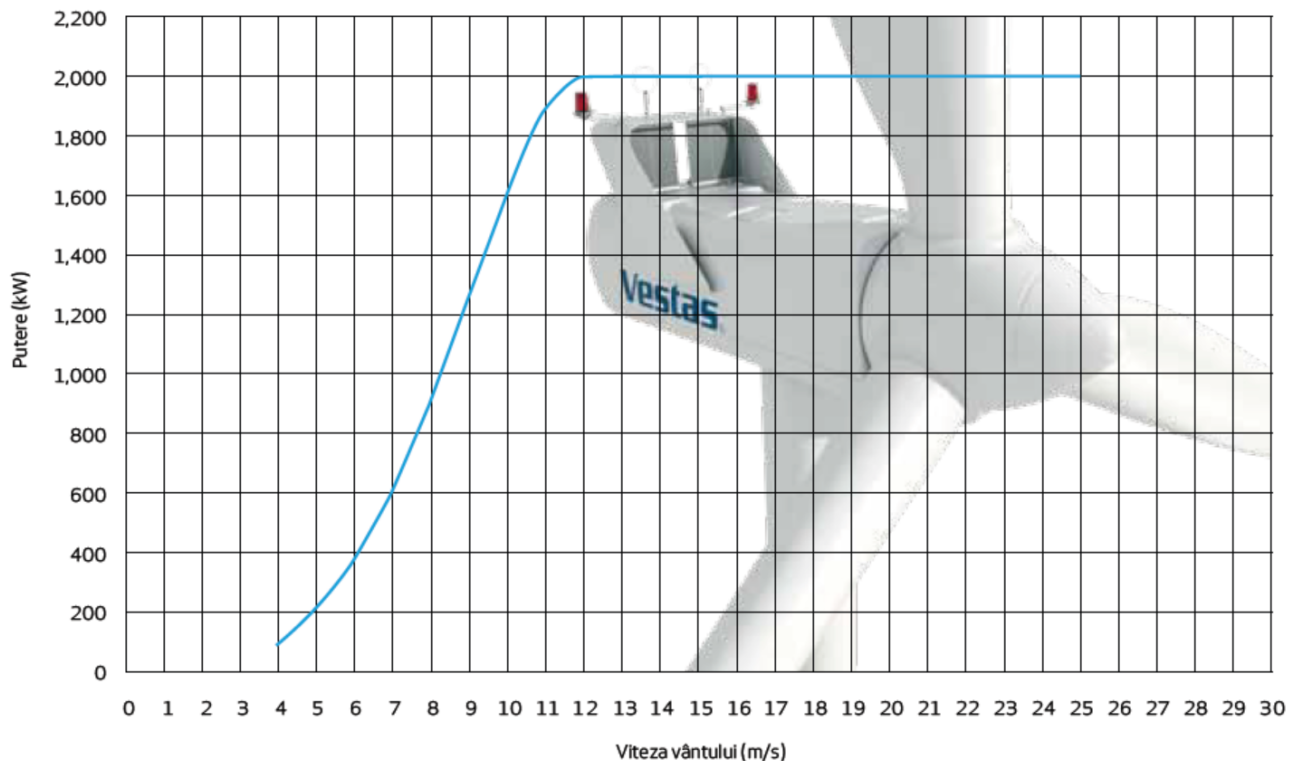


Figura 5.6. Curba de putere pentru V90-2.0 MW GridStreamer™

Înălțimea turnului pe care se instalează turbina eoliană are diferite valori standardizate. Pentru cazul nostru am ales înălțimea turnului de 105 m, fiind cea mai apropiată de înălțimile de 100 m la care au fost calculate hărțile densității de putere și ale vitezelor medii anuale ale vântului.

Pentru a calcula energia pe care ar putea să o producă o turbină eoliană într-un amplasament oarecare sau un parc eolian trebuie să cunoaștem caracteristica de putere a turbinei, Figura 5.6., și în ce formă trebuie să prezentăm caracteristica **în programul WASP**. În acest scop se utilizează programul adițional WASP Turbine Editor, interfața căruia este prezentată în Figura 5.7.

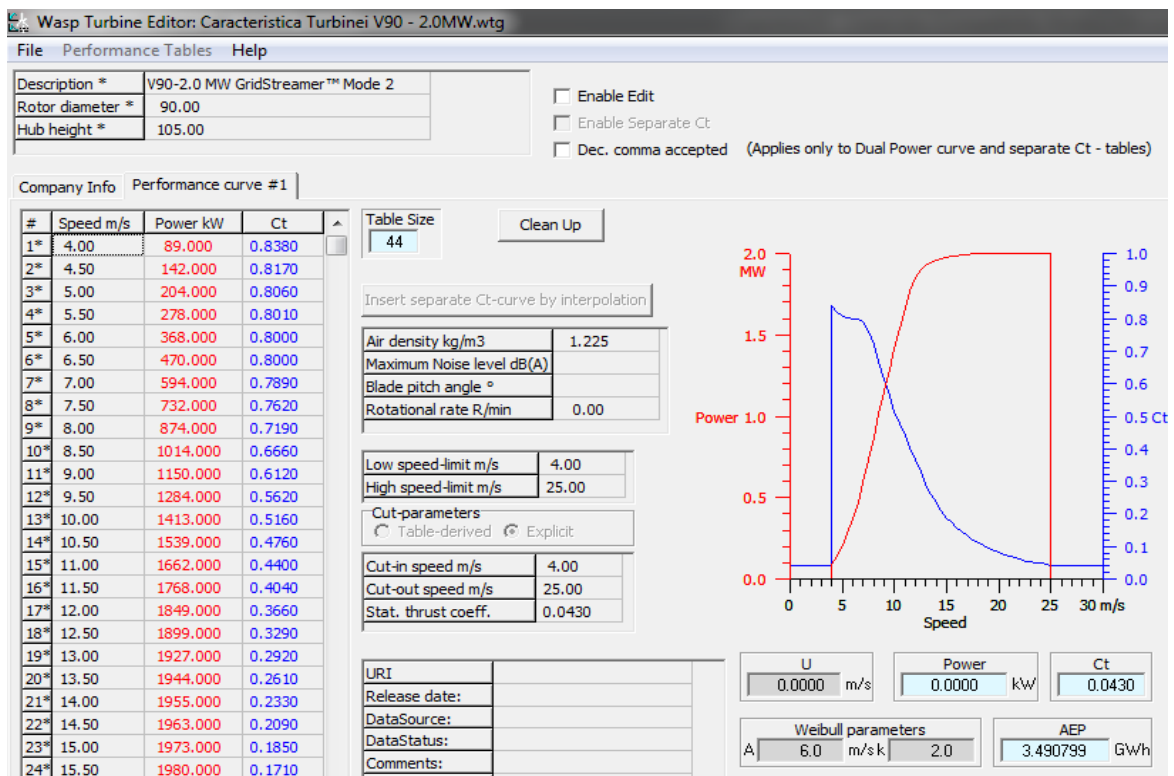


Figura 5.7. Modelarea caracteristicilor turbinei V90-2.0 MW GridStreamer™ în instrumentul „Wasp Turbine Editor” al programului WASP

Programul WASP Turbine Editor permite modelarea oricărui tip de turbină eoliană, de orice construcție și de orice mărime. Există două modalități de a activa programul WASP Turbine Editor:

1. Din meniul Windows Start sau Windows Explorer.
2. Din meniul Tools al programului WASP.

În calitate de date de intrare avem viteza vântului, puterea turbinei, densitatea aerului și coeficientul de presiune C_t . Datele coeficientului de presiune sunt puse la dispoziția utilizatorului de către

producătorul de turbine eoliene. Acest coeficient poate fi simulat cu ajutorul unui program specializat sau măsurat direct. De asemenea, C_t poate fi calculat cu expresia:

$$C_t = \frac{2F_t}{\rho \frac{\pi}{4} D_0^2 u_0^2} \quad (5.2.)$$

unde: F_t - forța de presiune, D_0 – diametrul turbinei, u_0 – viteza inițială a vântului, iar ρ – densitatea aerului.

Vitezele minime și maxime ale vântului se vor seta automat, iar vitezele de start și de stopare se vor introduce manual. Totodată, în partea de sus apare un tabel care se va completa cu datele turbinei.

5.5. Rezultate obținute

Programul WAsP permite obținerea unui șir de date utile: hărțile vitezei medii anuale, densității de putere, coeficienților Weibull A și k , RIX , ΔRIX , înălțimile și cantitatea de energie care poate fi produsă de fiecare turbină, cât și de CEE. De asemenea, un parametru foarte important în aprecierea corectitudinii poziționării turbinelor eoliene sunt pierderile de siaj pentru fiecare turbină, cât și pentru întreaga CEE.

În calitate de date de intrare s-a utilizat harta digitală orografică cu o distanță dintre liniile de contur de 20 m, în care au fost modelate rugozitățile și obstacolele. Ca stație meteorologică de reper a fost folosită aceeași stație Bălănești, care s-a utilizat pentru calcularea hărților densității de putere și a vitezelor medii anuale pentru regiunea centru.

În continuare sunt prezentate cele mai importante rezultate obținute cu ajutorul programului WAsP, dintre acestea fac parte:

- ✚ Caracteristica turbinelor, Tabelul 5.2.;
- ✚ Caracteristica CEE în întregime, Tabelul 5.3.;
- ✚ Harta producerii anuale de energie, Figura 5.8.;
- ✚ Harta vitezei medii anuale a vântului, Figura 5.9.;
- ✚ Harta densității de putere, Figura 5.10.;
- ✚ Harta înălțimilor, Figura 5.11.

În Tabelele 5.2. și 5.3. sunt prezentate informațiile pentru fiecare turbină, cât și pentru CEE. Constatăm că, cantitatea teoretică de energie electrică pe care o poate produce CEE este de 119,056 GWh/an, iar pierderile de siaj sunt doar de 2,4%. Totodată, fiecare turbină produce în medie o cantitate de energie de aproximativ 5,953 GWh. Producția reală va fi mai mică din cauza pierderilor de energie, care includ: pierderile de siaj, pierderile în rețelele electrice interne ale CEE, pierderile în transformator, pierderile datorate staționării turbinei pentru lucrări de operare și mentenanță / întreținere, inclusiv în rețelele electrice de transport sau distribuție, etc. Sunt cunoscute doar pierderile de siaj, celelalte se determină la etapa proiectării detaliate a CEE. Conform [113,114], pierderile totale diferă de la caz la caz și variază între 10 și 15%. Acceptăm 12,5%, inclusiv pierderile de siaj. În acest caz, producția reală anuală de energie se va calcula cu formula

$$AEP_R = AET_T(1 - 0,125), \quad (5.2)$$

unde AEP_T – corespunde valorii din Tabelul 5.2.

Un indicator, ce caracterizează eficiența utilizării puterii instalate a CEE, este factorul de capacitate – raportul dintre cantitatea de energie real produsă și cantitatea teoretică

$$K_C = \frac{AEP_R}{8760 \cdot P_n}, \quad (5.3.)$$

unde P_n –puterea nominală a CEE.

Pentru CEE în cauză, producția teoretică $AEP_T = 119,056$ GWh, reală $AEP_R = 104,174$ GWh și factorul de capacitate $K_C = 0,297$.

Hărțile obținute în Figurile 5.8. – 5.11. au o calitate mult mai înaltă decât cele prezentate în capitoul anterior și se datorează rezoluției de 10x10 m, adică sunt alcătuite dintr-o mulțime de pătrate cu latura de 10 m, cărora le corespunde o anumită culoare din diapazonul de culori specifice acelei mărimi.

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 siaj [%]	2,4	-	1,88	3,12
Viteza medie [m/s]	-	6,93	6,77	7,09
Densitatea de putere [W/m^2]	-	328	295	358
RIX	-	-	0,3	1,3

Tabelul 5.3. Indicatorii tehnici ai turbinelor

Site description	Elev. [m]	RIX [%]	d.RIX [%]	Height. [m]	Speed [m/s]	Gross AEP [GWh]	Net AEP [GWh]	Wake loss [%]
Turbine 1	360.0	0.8	0.2	105.0	6.77	5.683	5.575	1.9
Turbine 2	360.0	1.3	0.7	105.0	6.77	5.674	5.518	2.75
Turbine 3	361.0	0.6	-0.1	105.0	6.93	5.951	5.823	2.15
Turbine 4	380.0	0.4	-0.2	105.0	7.06	6.177	6.037	2.27
Turbine 5	380.0	0.5	-0.1	105.0	7.01	6.085	5.931	2.53
Turbine 6	362.0	0.6	-0.1	105.0	6.81	5.750	5.614	2.35
Turbine 7	380.0	0.3	-0.3	105.0	6.98	6.030	5.891	2.31
Turbine 8	380.0	0.5	-0.1	105.0	7.09	6.230	6.108	1.96
Turbine 9	363.0	0.4	-0.2	105.0	6.99	6.064	5.923	2.33
Turbine 10	380.0	0.7	0.1	105.0	7.07	6.215	6.058	2.53
Turbine 11	361.0	0.9	0.3	105.0	6.97	6.041	5.886	2.57
Turbine 12	342.0	0.7	0.1	105.0	6.85	5.833	5.713	2.07
Turbine 13	341.0	0.5	-0.1	105.0	6.84	5.810	5.679	2.25
Turbine 14	360.0	0.6	0.0	105.0	6.99	6.070	5.921	2.46
Turbine 15	360.0	0.5	-0.1	105.0	6.91	5.940	5.797	2.41
Turbine 16	380.0	0.9	0.3	105.0	7.07	6.206	6.059	2.37
Turbine 17	380.0	0.4	-0.2	105.0	7.03	6.135	5.972	2.65
Turbine 18	361.0	0.5	-0.1	105.0	6.78	5.703	5.525	3.12
Turbine 19	360.0	0.4	-0.2	105.0	6.78	5.691	5.514	3.11
Turbine 20	353.0	0.4	-0.2	105.0	6.82	5.768	5.659	1.88

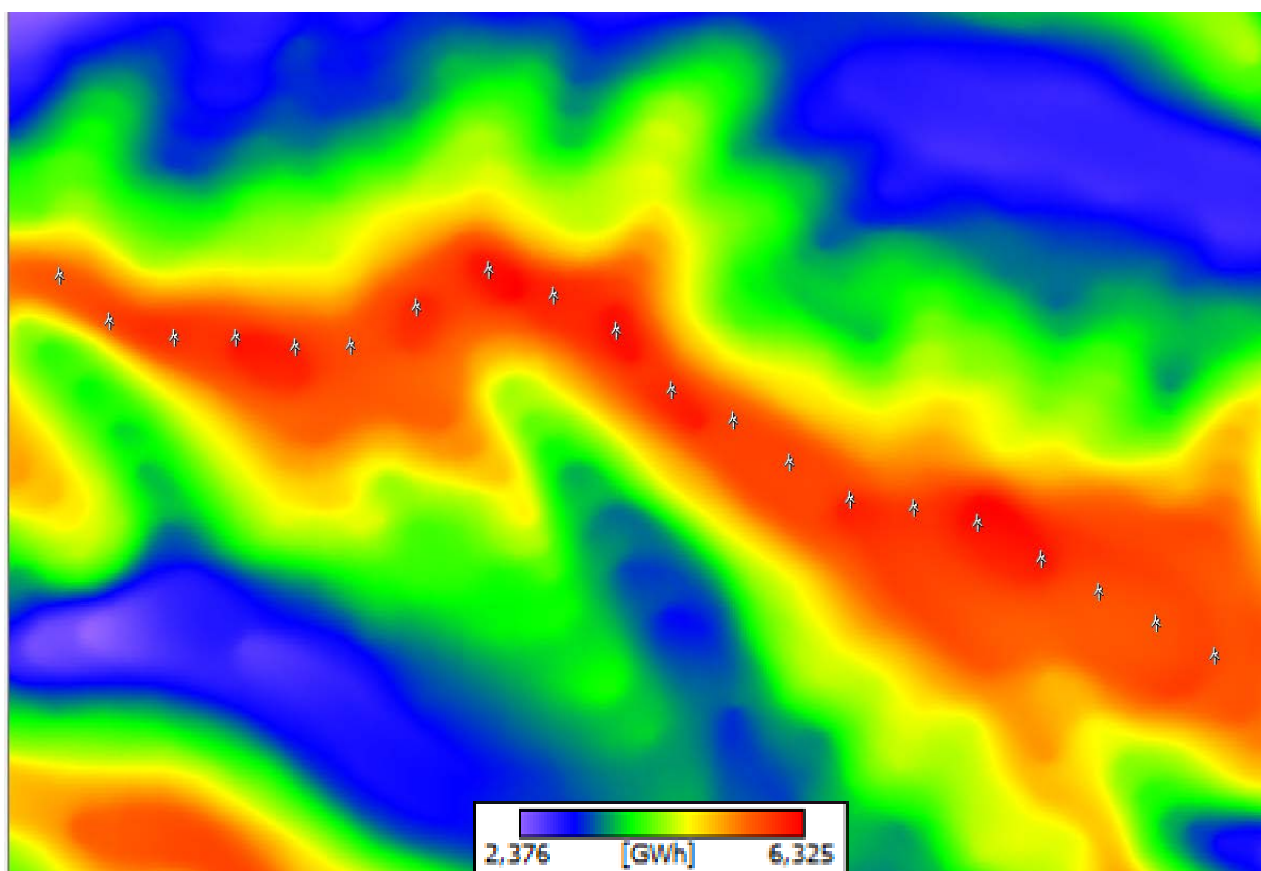


Figura 5.8. Harta producerii anuale de energie (AEP)

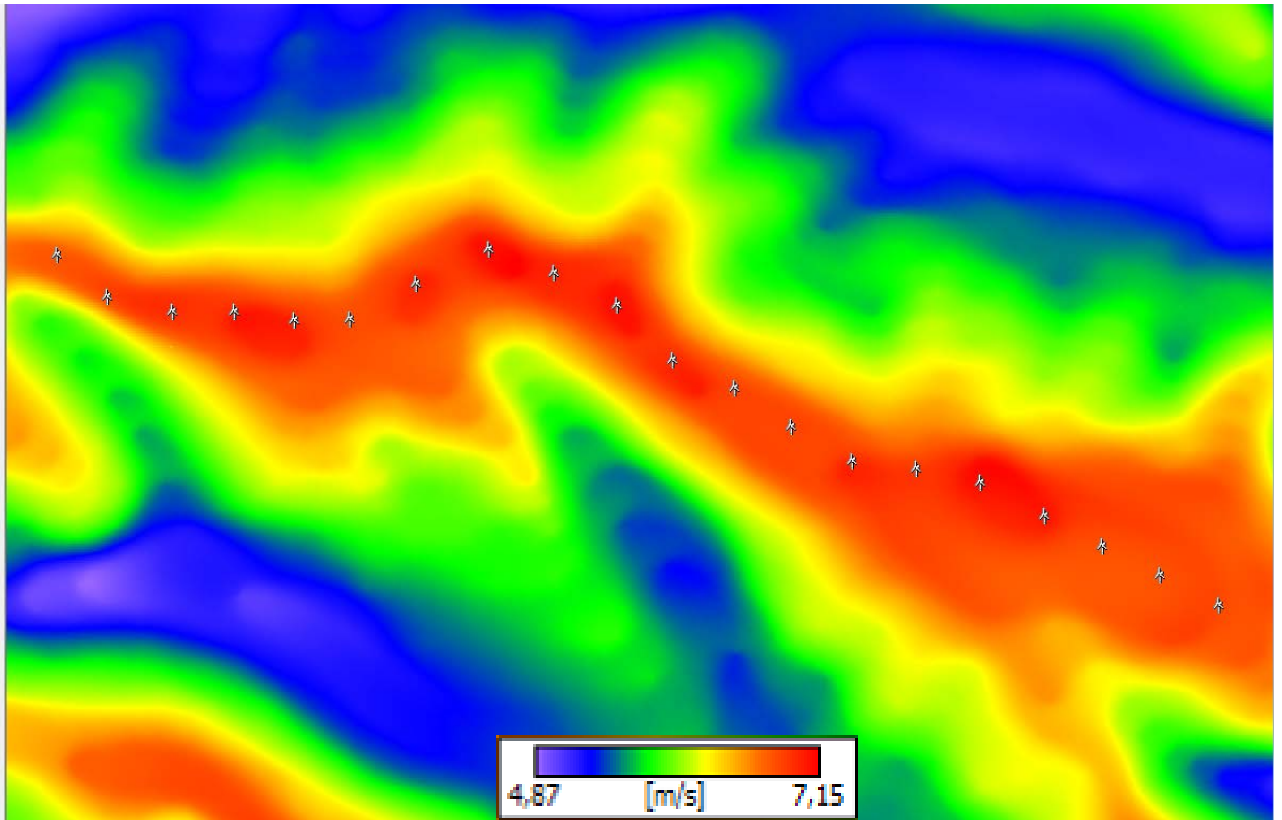


Figura 5.9. Harta vitezei medii anuale (AWS)

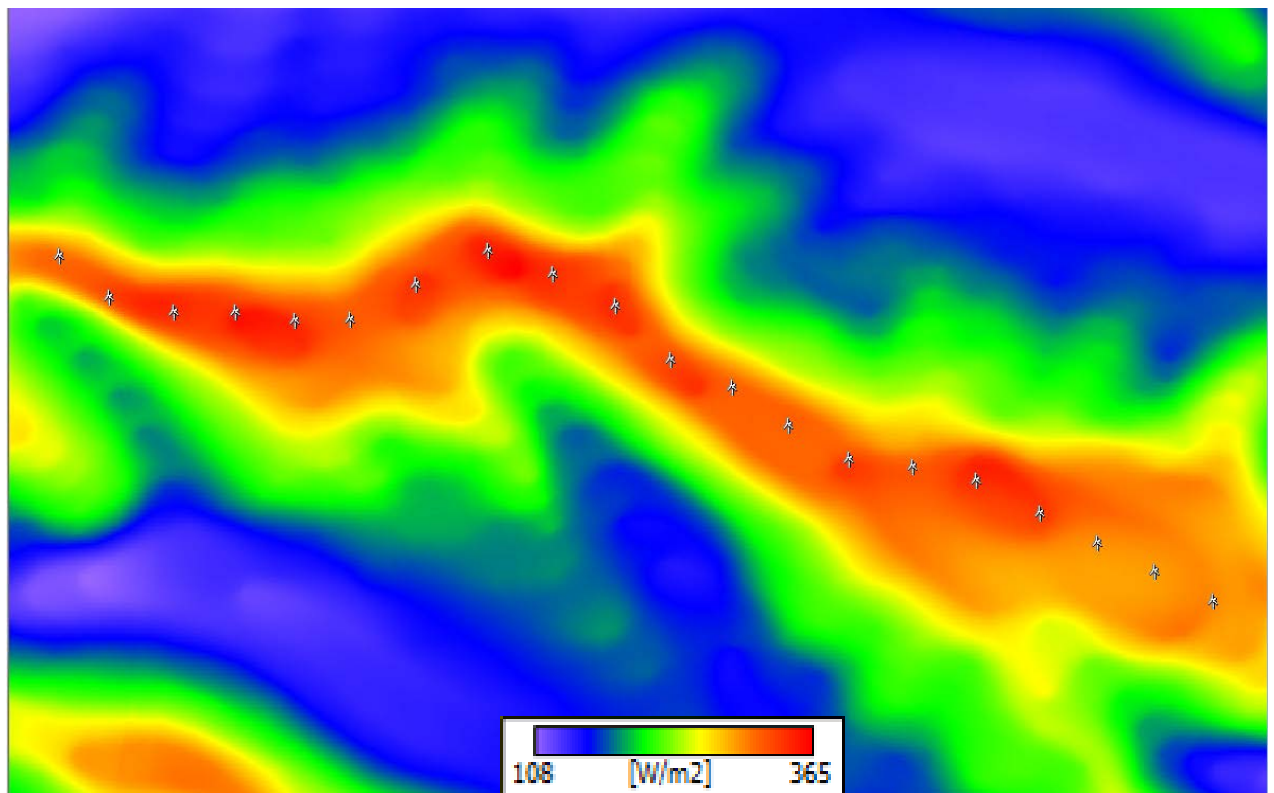


Figura 5.10. Harta densității de putere (PD)

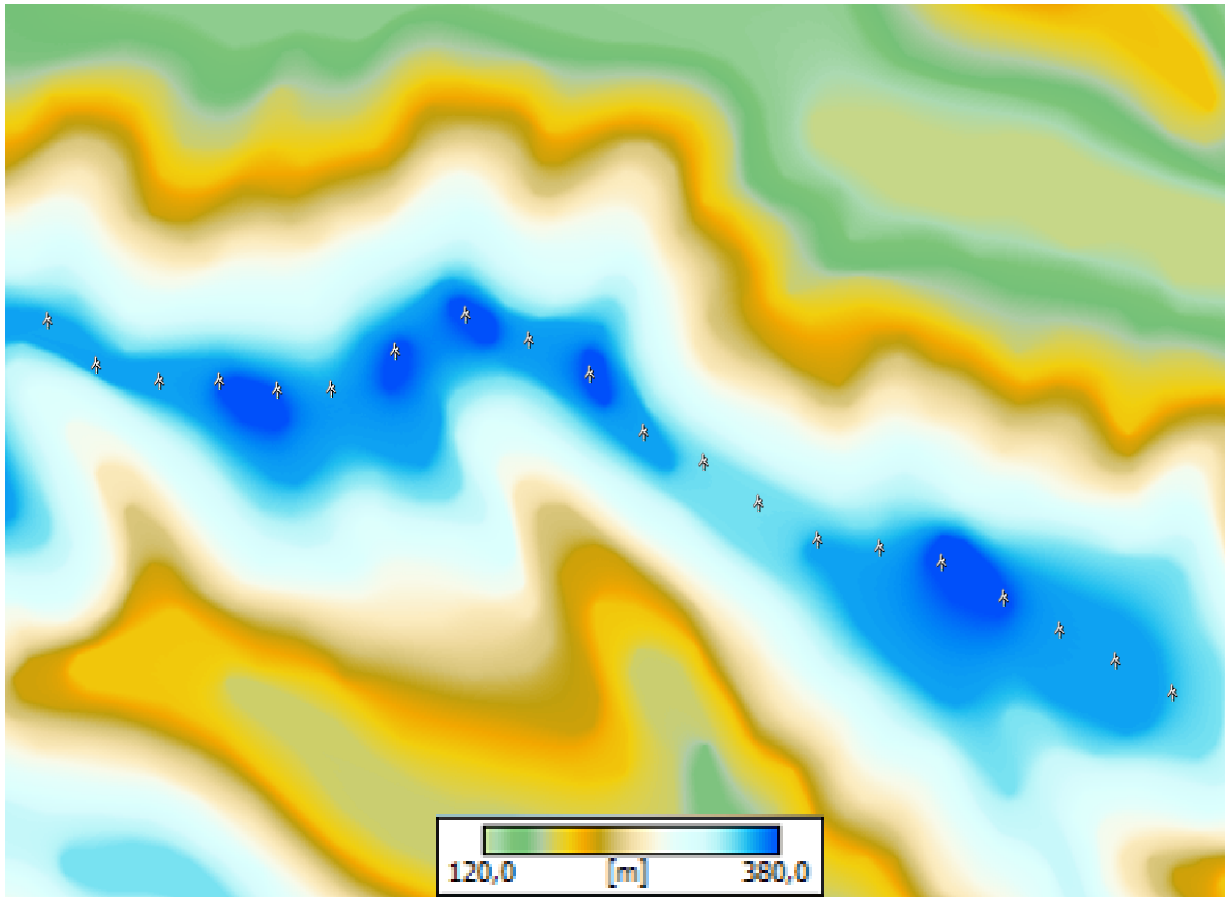


Figura 5.11. Harta înălțimilor

Analizând hărțile din Figurile 5.8 – 5.11, constatăm o poziționare perfectă a celor 20 de turbine eoliene care s-a făcut în funcție de: viteza medie anuală a vântului, densitatea de putere, înălțimea deasupra nivelului mării, prezența rugozităților și a obstacolelor, respectarea distanțelor dintre turbine, etc. De asemenea, trebuie să accentuăm faptul că pentru a obține pierderi de siaj cât mai mici au fost efectuate mai multe re poziționări ale unor turbine din cadrul CEE.

Concluzii la capitolul 5

1. Identificarea preliminară a unui amplasament unde ar putea fi instalată o CEE se face în baza hărților vitezelor medii ale vântului sau ale densității de putere, iar în lipsa acestora, în baza datelor despre viteza vântului măsurată la cea mai apropiată stație meteo.
2. Un factor important al unei CEE sunt pierderile de siaj, care depind de modul de poziționare a turbinelor, distanța dintre două turbine amplasate în același rând nu trebuie să fie mai mică de 4

diametre ale rotorului, iar distanța între două rânduri de turbine trebuie să nu fie mai mică de 7 diametre, poziționarea turbinelor trebuie să fie sub formă de șah.

3. Pentru a calcula energia produsă de turbina eoliană într-un punct, trebuie să cunoaștem caracteristica de putere a turbinei care, de regulă, este furnizată de producător. Modelarea caracteristicii turbinei se face cu ajutorul subprogramului WAsP Turbine Editor.
4. Utilizarea software WAsP facilitează considerabil studiul de fezabilitate al unei CEE, ușurează mult procesul de identificare a amplasamentului. Pentru exemplul în cauză, producția teoretică va fi 119,056 GWh, reală - 104,174 GWh și factorul de capacitate $K_C = 0,297$. La nivel mondial, se consideră fezabilă o CEE cu $K_C \geq 0,25$. Concomitent se obțin: hărțile producției anuale de energie, vitezei și densității de putere anuale a vântului, harta înălțimilor, indicatorii tehnici ai fiecărei turbine și ai CEE în ansamblu.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Cercetările teoretice și experimentale efectuate în cadrul tezei au generat formularea următoarelor concluzii:

1. S-a conchis că cea mai potrivită metodologie de evaluare a potențialului energetic eolian este MAV însoțită de software specializat WASP 9.1. La identificarea metodologiei respective s-a luat în considerație resursele de calcul și timp disponibile, suprafața și particularitățile orografice ale teritoriului RM.
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 s-a efectuat un studiu în ceea ce privește aplicabilitatea MAV în condițiile țării noastre. S-a constatat că orografia teritoriului Republicii Moldova îndeplinește condițiile de aplicabilitate ale acestei metode, valoarea maximală a indicatorului de performanță orografică *ARIX* nu depășește valoarea maximală admisibilă de $\pm 6\%$, ceea 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 meteorologice 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 trei pot fi considerate ca stații de reper - Bălți, Cahul și Ceadâr-Lunga.
 - 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, ceea 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 15⁰⁰ și un minim în timpul nopții până dimineața în jurul orelor 5⁰⁰ - 6⁰⁰. Această variație este strâns legată de variațiile temperaturii. Totodată, odată cu creșterea înălțimii, se modifică și caracterul variației diurne: vitezele maximele deplasându-se spre orele de seară-noapte.
4. În baza unei noi abordări de utilizare a WAsP s-au calculat viteză medie anuală a vântului, densitate de putere eoliană și s-au elaborat câte 4 hărți digitale cu rezoluția 100x100 m pentru fiecare regiune, care prezintă informații utile necesare pentru evaluarea potențialului energetic eolian:
- Două hărți în termeni de viteză medie anuală a vântului la înălțimea de 50 și respectiv de 100 m deasupra nivelului solului;
 - Două hărți în termeni de densitate de putere eoliană la înălțimea de 50 și respectiv de 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 vântoasă 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 majorând rugozitatea terenului, respectiv micșorând 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 km², regiunea centru pe o arie de 8138 km², regiunea de nord pe o arie de 10087 km². 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 km². 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 de 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/m² (potențial bun-excelent). Aceste arii reflectă potențialul eolian tehnic. Din suprafața totală a țării, circa 1830 km² au o densitate de putere eoliană egală sau mai mare de 400 W/m², 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 km², apoi regiunea de sud în care zonele respective ocupă 1007,6 km².
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/m²) și excelent (clasa 5, 500-600 W/m²). Acest potențial, cu considerarea constrângerilor și în ipoteza că pe 1 km² 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 prevede instalarea a circa 400 MW de noi capacități, în principal de origine eoliană.

Direcții și obiective de cercetare pentru viitor

1. Studii detaliate ale potențialului eolian în defileurile naturale existente în țară și care sunt amplasate între coline. În acest scop sunt necesare software bazate pe CFD și capacități de calcul mult mai mari.
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 și Strășeni, albiile râurilor Răut și Nistru.
4. Crearea unei hărți digitale ce ar permite vizualizarea online a vitezei medii anuale și a densității de putere în orice punct de pe teritoriul RM.

Bibliografie

1. Galina Lasse, *Climat Moldavscoci SSR*. Leningrad, Ghidrometeoizdat,-1978, 373 p.
2. The Geostrophic Wind www.windpower.dk/tour/wres/geostro.htm. Accesat 2/9/2013.
3. Local Winds: Sea Breezes www.windpower.dk/tour/wres/localwin.htm. Accesat 27/9/2013.
4. Local Winds: Mountain Winds www.windpower.dk/tour/wres/mount.htm. Accesat 5/10/2013.
5. *How to estimate your average wind speed*, M. Sangrillo.- WindLetter, vol. 23. Issue Nr.1, January, 1996.
6. *Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов*, Гидрометеоздат. – Л.: - 1989.
7. *Surse regenerabile de energie*, T. Ambros, V. Arion, A.Guțu, I.Sobor, P.Todos, D.Ungureanu. Tehnica –Info, Chișinău: 1999.
8. Дж. Твайделл, А. Уэйр. *Возобновляемые источники энергии*. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат. – 1990.
9. Ib Troen, Erik Lundtang Petersen. *European Wind Atlas*. Directorate General for Science, Research and Development. Brussels: - 1989, pp. 659.
10. *Методы разработки ветроэнергетического кадастра*. Из-во АН СССР. М.: - 1963.
11. Н. Н. Романенко. *Кадастровые характеристики для ветроэнергетических расчетов в условиях Молдавской ССР*. Idem.
12. А. Н. Оганезов. *К вопросу разработки ветроэнергетического кадастра БССР* Idem.
13. Г.А. Гриневич. *Основы энергетической характеристики режима ветра*. Idem.
14. P.Todos, I. Sobor, A. Chiciuc, M. Grosu. *Processing Results of Wind Raw data on the territory of the Republic of Moldova*. Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Tomul XLVIII, Fasc. 5C. Electrotehnică, Energetică, Electronică, Iași – 2002 p. 301-306.
15. P.Todos, I. Sobor, A. Chiciuc. *Studiul datelor statistice meteorologice cu privire la caracteristicile vântului pe teritoriul RM*. Lucrările Conferinței Internaționale SIELMEN 2001, Chișinău 4-6 octombrie, V.II, p. 23-26.
16. A. Chiciuc, I. Sobor. *Sistem software de evaluare a potențialului energetic eolian*. Simposia Professorum ULIM. Seria Economie, Chișinău – 2002, p. 277-284.
17. P.Todos, I. Sobor, D. Ungureanu, A. Chiciuc, M. Pleșca. *Energia regenerabilă: studiu de fezabilitate*. Ministerul Ecologiei, construcției și Dezvoltării Teritoriului, PNUD Moldova – 2002, p. 159.

18. P.Todos, I. Sobor, A. Chiciuc, M. Grosu. *Cu privire la potențialul energetic eolian al Republicii Moldova.* ”70 de ani ai Universității Agrare de Stat din Moldova, Simpozion Științific Internațional. 7-8 octombrie. Centrul ed. al UASM 2003. Inginerie agrară p. 155-157.
19. I. Sobor. *Potențialul energetic eolian al Republicii Moldova: modele, estimări, măsurări și validări.* Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică, Centrul Universitar „Energie Plus”.
20. P.Todos, I. Sobor, A. Chiciuc, M. Grosu. *Prefeasibility study for wind power production in Republic of Moldova.* Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Tomul L (LIV), FASC. 5, 2004. Electrotehnică, Energetică, Electronică, Iași – 2004.
21. I. Sobor, A. Chiciuc. *Studiu de fezabilitate a unei centrale eoliene amplasată în zona de sud a Republicii Moldova.* Energetica, nr.12, 2006, p.516 -519. ISSN: 1453-2360.
22. T. Constantinov, M. Nedeaľcov, V. Raileanu, O. Crivova, R. Cojocari, G. Mleavaia. *Digital Climatic Atlas of Republic of Moldova.* Lucrările Simpozionului Sisteme Informaționale Geografice Ediția a XVIII-a. 15-17 octombrie 2010, Iași, România. p. 6-13 ISSN: 1223-5334
23. M. Nedeaľcov. *Un produs științific performant: ATLASUL „RESURSELE CLIMATICE ALE REPUBLICII MOLDOVA”* Akademos. nr. 3 (30), septembrie 2013. p 36-38.
24. Matthew A. Lackner, Anthony L. Rogers, James F. Manwell, *The round robin site assessment method: A new approach to wind energy site assessment, Renewable Energy* 33 (2008) 2019–2026 Elsevier.
25. Wind Power Energy - tehnologie care măsoară vântul cu ajutorul – sodar (<http://wpe.ro/wind-power-energy-duce-in-premiera-in-romania-o-tehnologie-care-masoara-vantul-cu-ajutorul-sunetului/>) Accesat 1/12/2014.
26. <http://www.sgurrenergy.com/galion-lidar/> Accesat 1/12/2014.
27. R.D. Prasad¹ R.C. Bansal² M. Sauturaga, *Some of the design and methodology considerations in wind resource assessment* Published in IET Renew. Power Gener, 2009, Vol. 3, No. 1, pp. 53–64 53 doi.
28. About GIS at NREL <http://www.nrel.gov/gis/about.html> Accesat 2/12/2014.
29. D. Elliott is with the National, Harnessing Untapped Wind Power Worldwide panel session, 2002 IEEE PES Winter Meeting. Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA.

30. A. Lopez, B. Roberts, D. Heimiller, N. Blair, G. Porro, U.S. *Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis*, July 2012, Technical Report, NREL/TP-6A20-51946.
31. M.J. Khan, M.T. *Wind energy resource map of Newfoundland* Iqbal Renewable Energy 29 (2004) 1211–1221, 2003 Elsevier Ltd.
32. NOAA's National Climatic Data Center (NCDC) (<http://www.ncdc.noaa.gov/>) Accesat 3/12/2014.
33. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, *Southwest Fisheries Science Center. Comprehensive ocean dataset extraction (User'sguide)*, NOAA-TM-N M FS-S W FSC-228.; R.D. Prasad R.C. Bansal M. Sauturaga³, Some of the design and methodology considerations in wind resource assessment Published in IET Renew. Power Gener, 2009, Vol. 3, No. 1, pp. 53–64 53 doi.
34. CRES Presentation (http://www.cres.gr/kape/present/present_uk.htm Accesat 4/12/2014).
35. Giovanni Riva. Ester Foppapedretti. Carla de Carolis. Eleftherios Giakoumelos. Charalambos Malamatenios. etc, *Manual – Surse Regenerabile de Energie*, București 2012 pp 103.
36. Philippe Beaucage et.al, *Wind Assessment Using Synthetic Aperture Radar (SAR) Satellite and the Mesoscale Compressible Community (MC2) model*, Institut National de la Recherche Scientifique (UQ), 1650 Lionel-Boulet, Varennes (Qc), J3X 1S2, Canada, Phone (450) 929-8151.
37. Dr. Matthias Lange, Ulrich Focken, *Physical Approach to Short-Term Wind Power Prediction*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2006.
38. Michael Brower, J. W. Zack, B. Bailey, M. N. Schwartz, and D. L. Elliott, *Mesoscale modelling as a tool for wind resource assessment and mapping*, TrueWind Solutions, Albany, NY, and National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.
39. Villanueva, M. P, M. P. Curtet, D. Cabezon, E. Cantero, I. Marti, (2004). *Wind resource assessment in complex terrain using a CFD model*. Wind Energy Department, National Renewable Energy Centre (CENER), Navarra Spain, pp. 11.
40. Anderson, John D., (1995). *Computational Fluid Dynamics: the basics with applications*. McGraw-Hill: New York, NY, pp. 3.
41. Alan Russell. *Computational fluid dynamics modeling of atmospheric flow applied to wind energy research* December 2009 pp. 1 - 5.

42. Jason Allan Smith. *California polytechnic state university wind resource assessment* September 2011. pp. 3, 44.
43. Adrian, G., Fiedler, F. *Simulation of unstationary wind and temperature fields over complex terrain and comparison with observations*, Beitr. Phys. Atmos., (1991), pp. 64, 27-48.
44. Helmut P. Frank, Ole Rathmann, Niels G. Mortensen, Lars Landberg, *The Numerical Wind Atlas— the KAMM/WAsP Method*, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark June 2001 pp. 9, 19.
45. WindFarmer (<http://www.gl-garradhassan.com/en/software/GHWindFarmer.php> Accesat 7/12/2014).
46. Djerf, E. & Mattson, H.: *Evaluation of the Software program WindFarm and Comparisons with Measured Data from Alsvik*, FFA TN-2000-30 pp. 7.
47. A joint publication by Scottish Renewables, Scottish Natural Heritage, Scottish Environment Protection Agency, Forestry Commission Scotland, *Good practice during windfarm construction* Version 1, October 2010.
(<http://www.snh.org.uk/pdfs/strategy/renewables/Good%20practice%20during%20windfarm%20construction.pdf>) Accesat 7/12/2014.
48. Dr. Tom Acker, Arshiya Hoseyni Chime, *Wind Modeling using WindPro and WAsP Software*, Sustainable Energy Solution lab, Mechanical Engineering Department Northern Arizona University, Flagstaff, AZ 86001, July 2011 pp. 4.
49. windPRO (<http://www.emd.dk/windpro/> Accesat 8/12/2014).
50. Lasse Svenningsen, *WindPRO /Energy, WAsP In WindPRO*, EMD International A/S, Niels Jernesvej 10, 9220 Aalborg Ø, pp. 4.
(http://www.emd.dk/files/windpro/WindPRO_WAsP_Parameters.pdf) Accesat 8/12/2014.
51. Per Nielsen, EMD International A/S, *WindPRO 2.7 User Guide* 3 edition, Oct 2010
(http://www.emd.dk/files/windpro/manuals/for_print/MANUAL2.7.pdf) Accesat 8/12/2014.
52. WindFarm Summary of Capabilities (<http://www.resoft.co.uk/English/index.htm>) Accesat 9/12/2014.
53. Coppin P.A., Ayotte K. A., Steggel N., *Wind resource assessment in Australia – a planners Guide*, Wind Energy Research Unit, CSIRO Land and Water, Version 1.1, October 2003, pp. 74.

54. Dinamica Atmosferei. Studiu FAPPM 2009. Facultatea de Fizică din București. (<http://www.fizica.unibuc.ro/fizica/Admitere/Master/doc/2009/StudiuFAPPM.pdf>) Accesat 10/03/2014).
55. Synoptic scale meteorology.(http://en.wikipedia.org/wiki/Synoptic_scale_meteorology) Accesat 10/03/2014.
56. WindFarmer price list (<http://www.glgarradhassan.com/assets/downloads/WindFarmerPriceList.pdf>) Accesat 7/12/2014
57. N. G. Mortensen, L. Landberg, Ib Troen, E. L. Petersen, O. Rathmann and M. Nielsen. *WAsP Utility Programs*. Riso-I-2261(EN). Roskilde, 2004, 54 p.
58. Erik Lundtang Petersen, *The new generation of tools for prediction of wind power potential and site selection*, Accesibil pe site-ul: <http://orbit.dtu.dk/>.
59. Întreprinderea de Stat Institutul de Geodezie, Prospecțiuni Tehnice și Cadastru (<http://www.ingeocad.md>) Accesat 10/12/2014
60. N. G. Mortensen, O. Rathmann, M. Nielsen, *WAsP 10 course note*, National Laboratory for Sustainable Energy, November 2011, Riso – I – 2952 (ed.8) pp. 198.
61. M.D. Perera. *Shelter behind two-dimensional solid and porous fences*. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, nr. 8, 1982, pp. 94-104.
62. A. J. Bowen and N. G. Mortensen, *WAsP prediction errors due to site orography*. Riso-R-995(EN), Roskilde, 2004, 65 p. ISSN 0106-2840; ISBN 87-550-2320-7.
63. O. Rathmann, N. G., Mortensen, L. Landberg and I. Antoniou. *Assessing the accuracy of WAsP in non-simple terrain*. BWEA 18th Conference, 24-27 September, 1996, University of Exeter, UK, pp.1-6.
64. A. J. Bowen and Niels G. Mortensen, *Exploring the limits of WAsP: the Wind Atlas Analyses and Application Program*. European Union Wind Energy Conference, 20-24 May 1996, pp.584-587.
65. N. G. Mortensen and E. L. Petersen, *Influence of topographical input data on the accuracy of wind flow modeling in complex terrain*. European Wind Energy Conference & Exhibition 1997, Dublin Ireland, October, 6-9 1997, pp.317-320.
66. N. G., Mortensen, A. J. Bowen, and I. Antoniou, *Improving WAsP predictions in (too) complex terrain*. Proceedings of the European Wind Energy Conference, Athens (GR), 27 Feb - 2 Mar.

67. V. Rachier. Metoda Atlasului Vântului și aplicarea acesteia în cazul Republicii Moldova. Simpozionul Stiintific Internațional al Inginerilor Romani de Pretutindeni - SINGRO 2014, ediția a XI-a, 23 - 24 octombrie, Chișinău.
68. Hotărârii Guvernului Republicii Moldova nr.401 din 3 aprilie 2003, (<http://www.meteo.md/administracia.htm>) Accesat 10/10/2013.
69. Activitatea Serviciului Hidrometeorologic de Stat, (<http://www.meteo.md/strucf.htm>) Accesat 10/10/2013.
70. *Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6, Выпуск 11, Молдавская ССР. Гидрометеоздат. Л.: - 1990.*
71. I. Sobor. A. Chiciuc. A. Azarov. V. Rachier. *Variatiile diurne ale vitezei vantului în zona podisului central al Republicii Moldova*, Buletinul AGIR, Volumul I, ianuarie - martie 2013, București, pag 139-144.
72. V. Rachier. N. Moldovanu. *Observed wind climate in the Moldova's north region*, Geographical and Geocological Research of Ukraine and Adjacent Territories, Volumul I, 1-7 Aprilie 2013, Taurida Ukraina, pag 535-539.
73. V. Rachier. *Observed wind climat of Republic of Moldova*, International Conference of Scientific Paper AFASES 2013, Brasov, 23-25 Mai 2013, pag 398-405.
74. 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.
75. V. Rachier. *Analiza statistică a datelor vântului pe perioada 1990 – 2011 la stațiile serviciului hidrometeorologic de stat din sudul Republicii Moldova*, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor. 20 - 21 Noiembrie, Chișinău 2013, Tehnica-UTM, 2014, (volumul I), pp 446-451, ISBN 978-9975-45-310-3.
76. 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, august, Chișinău 2013, pp 22 - 27.
77. Alam Md. Mahbub et al. *Wind speed and power characteristics at different heights for a wind data collection tower in Saudi Arabia*. Wold Renewable Energy Congress, 8-13 May 2011, Linkoping, Sweden, pp. 4082-4089.

78. Rachel Redburna. *Tall Tower Wind Investigation of Northwest Missouri*. MSc thesis. University of Missouri–Columbia, 2007.
79. W. Weibull. *A statistical Distribution Function of Wide Applicability*. Journal of Applied Mechanics, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. September, 1951, pp. 293-297.
80. V. Rachier. N. Moldovanu. *Observed wind climate in the Moldova's north region*, Geographical and Geocological Research of Ukraine and Adjacent Territories, Volumul I, 1-7 Aprilie 2013, Taurida Ukraina, pag 535-539.
81. V. Rachier. *Observed wind climat of Republic of Moldova*, International Conference of Scientific Paper AFASES 2013, Brasov, 23-25 Mai 2013, pag 398-405.
82. Moldova National Energy Balance in 2012.(www.statistica.md) Accesat 09/03/2014.
83. D. Elliott, M. Schwartz, G. Scott, S. Haymes, D. Heimiller, R. George, *Wind Energy Resource Atlas of Armenia*. NREL, 2003. Available at www.doe.gov/bridge.
84. *Wind Energy: the facts – an analysis of wind energy in the EU-25*. EWEA, 2004.
85. A. Dhanju, Ph. Whitaker and W. Kempton, *Assessing offshore wind resources: An accessible methodology*. Renew Energy (2007), doi: 10.1016/j.renene.2007.03.006.
86. B. Sheridan, Scott D. Baker, S. Pearre, J. Firestone and W. Kempton, *Calculating the offshore wind popwer resource: Robust assessment methods applied to the U.S. Atlantic Coast*, Renewable Energy (2012), doi: 10.1016/j.renene.2011.11.029.
87. T. Wizelius, *Developing wind power projects: theory and practice*. Lomdon, 2009, 290 p. ISBN: 978-1-84407-262-0.
88. I. Bostan, V. Dulgheru, I. Sobor, V. Bostan, A. Sochireanu, *Sisteme de conversie a energiilor regenerabile*, Editura Tehnica-Info, Chişinău 2007, 593 p., ISBN 978-995-63-076-4.
89. Vestas facts. (www.vestas.com) Accesat 3/05/2014.
90. I. Sobor, *Potenţialul energetic eolian al Republicii Moldova: modele, estimări, măsurări şi validări*, Chişinău 2007.
91. V. Rachier, I. Sobor, A. Chiciuc. *ASSESSMENT OF WIND ENERGY RESOURCE OF MOLDOVA*. Meridian Ingineresc, nr.2, 2014, p. 23-29. ISSN 1683-853X, categoria C.
92. V. Rachier. *Evaluarea potenţialului electric eolian pentru regiunea de sud a Republicii Moldova*, Conferinţa Tehnico-Ştiinţifică a Studenţilor şi Doctoranzilor. 20 - 25 Octombrie, Chişinău 2014.

93. Rachier Vasile, Sobor Ion, Chiciuc Andrei. *Assessment of Wind Energy Resource of Moldova*. Conference Proceeding ICERE 2014. International Conference on Environment and Renewable Energy, 7-8 May 2014, Paris, France, p. 66. ISBN -10:1499567154.
94. Scottish Natural Heritage, *Siting and Designing windfarms in the landscape*, Version 1, December 2009, (<http://www.snh.gov.uk/docs/A337202.pdf>) Accesat 21/12/2014.
95. George W. Kamperman, Richard R. James, *The “HOW TO” guide to siting wind turbines to prevent health risks from sound*, Version 2.1, October 28, 2008, (<http://www.windturbinesyndrome.com/wp-content/uploads/2008/11/kamperman-james-10-28-08.pdf>) Accesat 22/12/2014.
96. M. Ragheb, *OROGRAPHY AND WIND TURBINE SITING*, 3/13/2014, (<http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Orography%20and%20Wind%20Turbine%20Siting.pdf>) Accesat 23/12/2014.
97. Siting Guidelines for Wind Power Projects in South Dakota, (<https://gfp.sd.gov/wildlife/docs/wind-power-siting-guidelines.pdf>) Accesat 24/12/2014.
98. *General Specification V90-1.8/2.0 MW GridStreamer™* , Document no.: 0005-6279 V15, 2011-10-27, Vestas Wind Systems A/S - Alsvej 21 - 8940 Randers SV Denmark, pp. 65 www.vestas.com .
99. *General Specification V112–3.0 MW 50/60 Hz*, Document no.: 0011-9181 V06, 2011-08-26, Vestas Wind Systems A/S - Alsvej 21 - 8940 Randers SV Denmark, pp. 56 www.vestas.com.
100. *Micrositing_Guidelines*, Center for Wind Energy Technology, Ministry of New and Renewable Energy, (http://www.cwet.tn.nic.in/hindi/Docu/Micrositing_Guidelines.pdf) Accesat 27/12/2014.
101. *Wind Farm Issues in Australia*, Version May 2004, pp. 26, (http://www.w-wind.com.au/downloads/CBP5_Siting.pdf), Accesat 27/12/2014.
102. Kjersti Røkenes, *Investigation of terrain effects with respect to wind farm siting*, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, Trondheim, October 2009, ISBN 978-82-471-1798-9 (electronic ver.), ISSN 1503-8181, Doctoral Theses at NTNU, 2009:199

103. Christopher M. O'Reilly, *Offshore Wind Farm Siting Procedures Applied Offshore of Block Island, Rhode Island*, MASTER OF OCEAN ENGINEERING THESIS, UNIVERSITY OF RHODE ISLAND, 2013, pp. 134.
104. Planului Național de Acțiuni privind Energia Regenerabilă pentru anii 2013-2020. Monitorul Oficial, nr. 4-8, 10 Ianuarie, 2014. pp. 25-66.
105. *REGLEMENTARE AERONAUTICĂ CIVILĂ ROMÂNĂ* privind condițiile de avizare a documentațiilor tehnice pentru obiectivele aflate în zone cu servituți aeronautice civile RACR - CADT, ediția 03/2008.
106. Vadim Ceban, *Dezvoltarea energiei regenerabile în Republica Moldova: realități, capacități, opțiuni, perspective*, Policy Analysis, Asociația pentru Politică Externă.
107. Hotărîrea Guvernului nr.102/2013 cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova pînă în anul 2030.
108. Legea nr.160/2007 a energiei regenerabile.
109. Hotărîrea ANRE 75/12.12.2002 cu privire la aprobarea Regulilor pieței energiei electrice, modificată prin Hotărîrea ANRE 320/16.01.2009.
110. Hotărîrea ANRE 321/22.01.2009 cu privire la aprobarea Metodologiei determinării, aprobării și aplicării tarifelor la energia electrică produsă din surse regenerabile de energie și biocombustibil.
111. Tore Wizelius. *Developing Wind Power Project*. UK 2007.
112. Legea Nr. 438 din 28.12.2006 – cu privire la regiunile de dezvoltare regională.
113. The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association. March 2009-156 p.
(http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Economics_of_Wind_Energy.pdf) Accesat 20/11/2014.
114. V. Rachier, I. Sobor. *Moldova's wind power potential and leveled cost of energy*, 10 th International Conference on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2015, 8-9 October – Craiova-Chișinău, pp 543 – 546, ISBN 978-606-567-284-0

A1. Variațiile anuale și diurne ale vitezei vântului la stațiile hidrometeorologice din Republica Moldova

Tabelul A 1.1. Datele generale despre stațiile hidrometeorologice ale RM

Nr	Nume	Lat	Lon	Elev	Din	Până	VMV
1	Bălțata	47° 3' 19,37"	29° 2' 10,14"	79	01/1990	12/2011	2,45
2	Bălți	47°46' 28,63"	27° 57' 2,34"	102	01/1990	12/2011	2,7
3	Bravicea	47°22' 19,85"	28°26' 17,92"	78	01/1990	12/2011	1,4
4	Briceni	48° 21' 7,67"	27° 6' 7,42"	261	01/1990	12/2011	2,19
5	Cahul	45°53' 57,26"	28°12' 48,42"	196	01/1990	12/2011	3,7
6	Camenca	48° 2' 36,67"	28°41' 53,23"	154	01/1990	12/2011	2,55
7	Ceadâr-Lunga	46° 2' 8,09"	28° 51' 7,92"	180	01/1990	12/2011	3,98
8	Chișinău	46°58' 18,08"	28°50' 53,81"	173	01/1990	12/2011	2,28
9	Codrii	47° 6' 39,85"	28°21' 44,04"	157	01/1996	12/2011	1,28
10	Comrat	46°18' 10,30"	28°37' 46,09"	133	01/1990	12/2011	2,5
11	Cornești	47° 22' 1,81"	27°59' 38,33"	232	01/1990	12/2011	2,5
12	Dubăsari	47°17' 22,96"	29° 7' 25,07"	40	01/1990	12/2011	1,94
13	Fălești	47° 35' 0,28"	27°42' 17,53"	162	01/1990	12/2011	2,11
14	Leova	46°29' 18,31"	28° 17' 0,24"	156	01/1990	12/2011	2,55
15	Rîbnița	47°46' 21,11"	29° 0' 59,40"	119	01/1990	12/2011	2,02
16	Soroca	48°11' 54,56"	28°18' 42,80"	173	01/1990	12/2011	2,83
17	Ștefan-Vodă	46°31' 40,37"	29° 39' 4,18"	173	01/1990	12/2011	2,37
18	Tiraspol	46° 50' 3,52	29° 37' 1,16"	40	01/1990	12/2011	2,84

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

Lon este longitudinea în grade, E;

Elev este înălțimea în metri deasupra nivelului mării;

Din /Până perioada măsurărilor în an/lună;

VMV viteza medie a vântului în metri.

A1.1. Stația hidrometeorologică Bălțața

Este amplasată la 200 m în direcția nord de la satul Bălțața, raionul Criuleni pe o culme între pâraul Bălțața, care curge la o distanță de 1,2 km spre sud-vest de stație și un talveg. La o distanță de 5 km spre nord de stație curge r. Nistru, iar la 700 m spre sud este un lac de acumulare cu suprafața de 12 ha, construit în 1955. Coordonatele anemometrului: 47° 3'19.37" latitudine nordică, 29° 2'10.14" grade longitudine estică, altitudinea - 79 m deasupra nivelului mării. Stația meteorologică este situată în regiunea centrală a Codrilor, împrejurimile ei fiind întretăiate de văi, pante adânci și vâlcele. Platforma meteorologică este localizată pe o suprafață netedă, ușor înclinată spre S-E, acoperită cu un înveliș ierbos artificial și înconjurată de terenuri agricole (vezi imaginea de mai jos obținută din ortofoto Cadastrul Republicii Moldova).

La circa 9 km de stație se întinde un lanț de dealuri cu înălțimea de 60-70 m, formațiuni forestiere, cu suprafața de 6-8 km², iar pe o rază de la 1 până la 6 km, stația e înconjurată de localități rurale. La 170 m spre est de platforma stației se află un talveg adânc de 15-16 m.

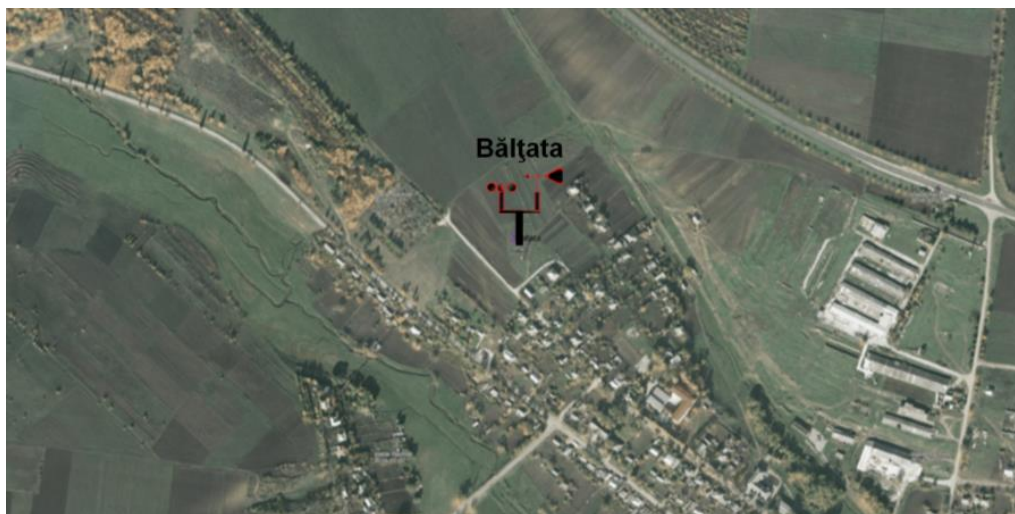
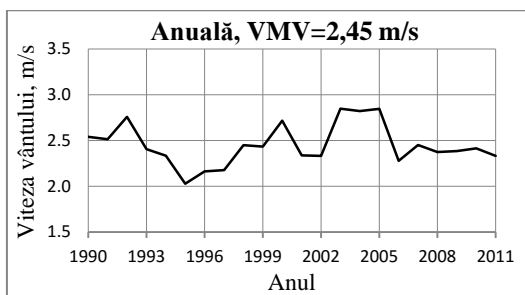
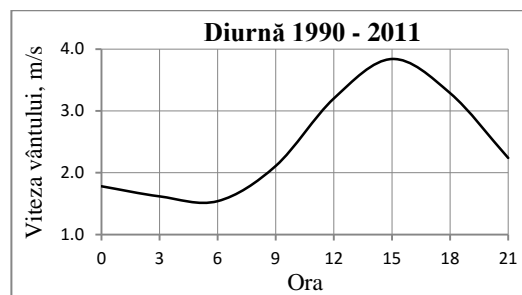


Fig. A 1.1. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Bălțața, imagine MapInfo

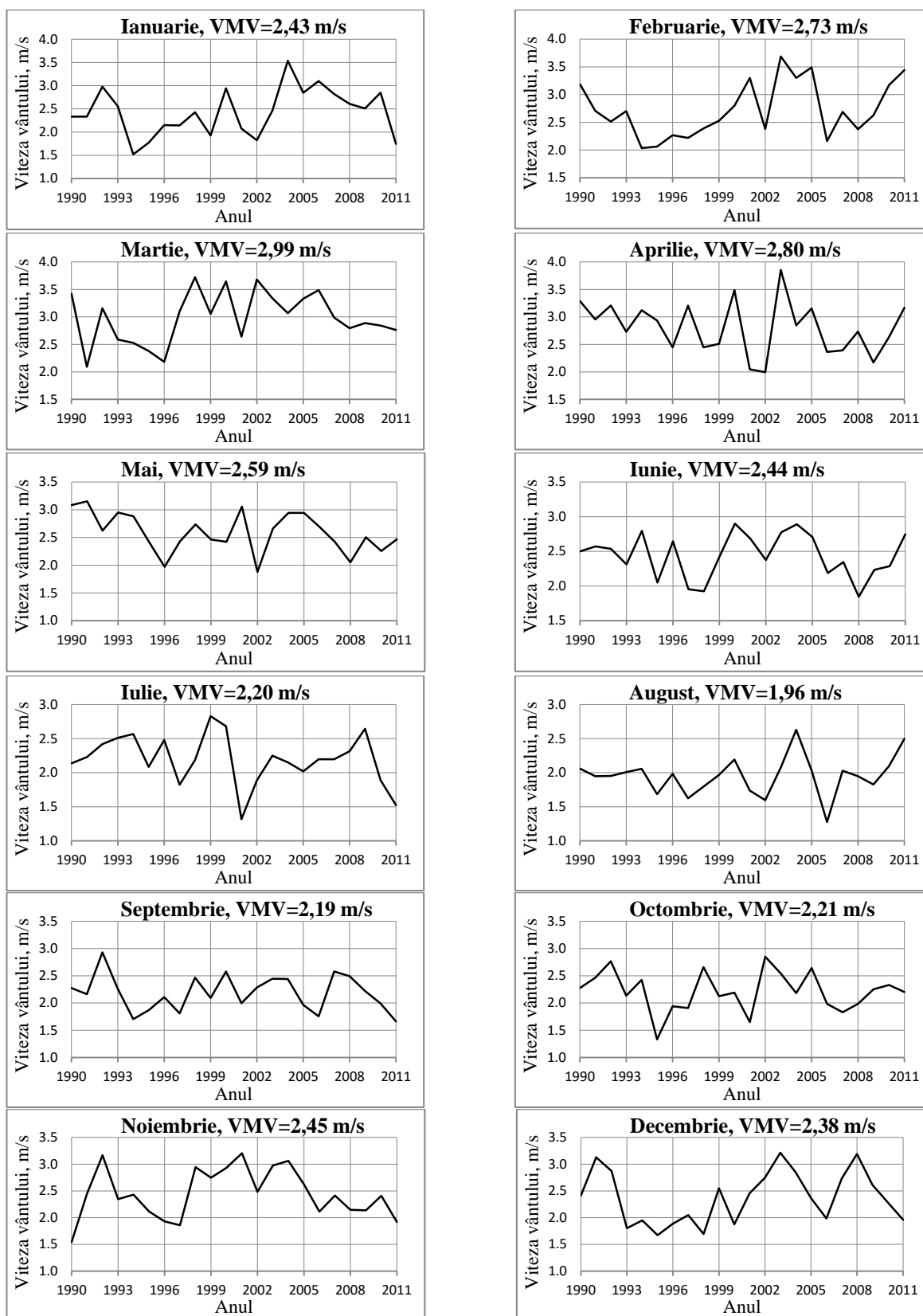


Variația anuală a vitezei vântului

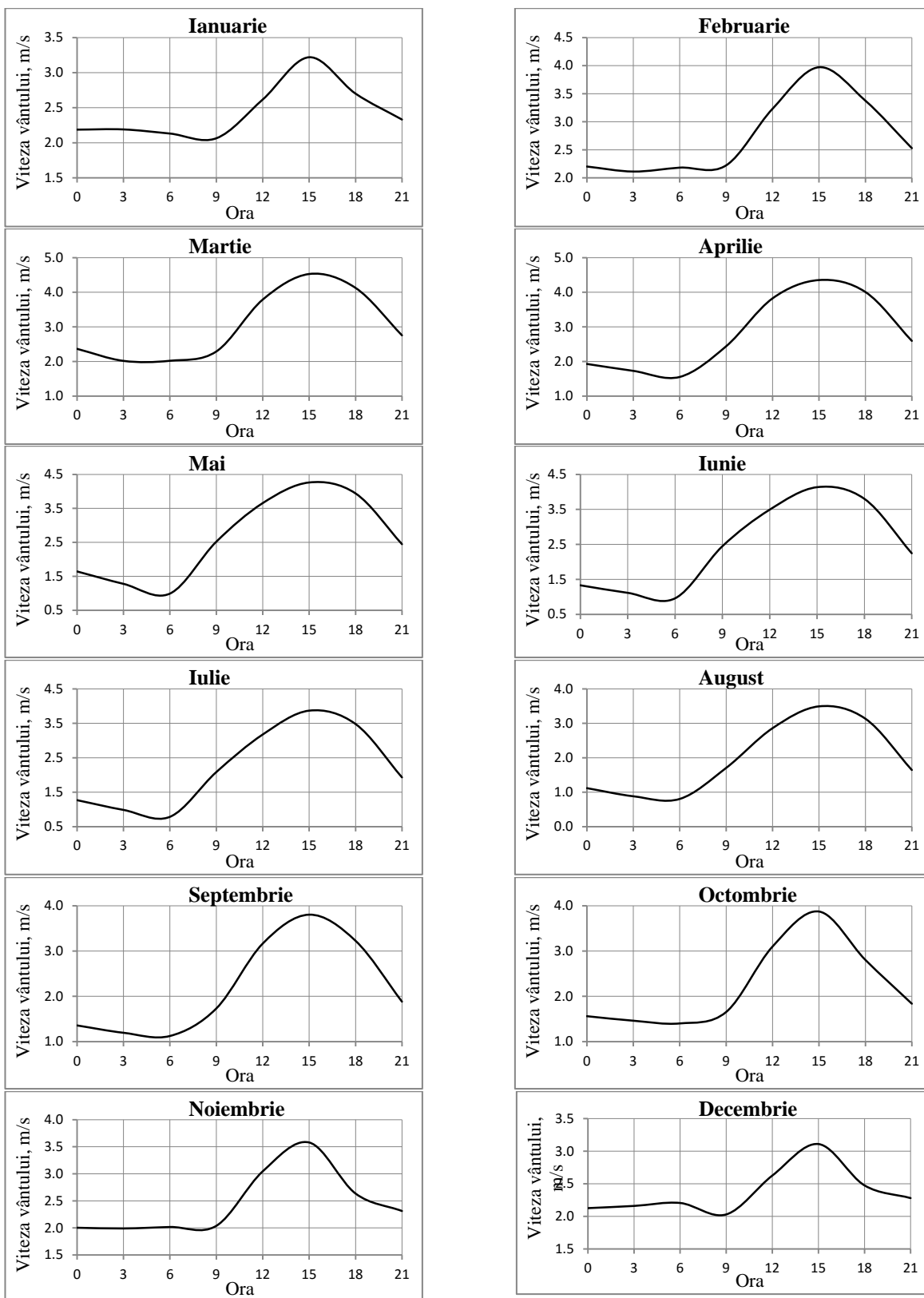


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună



A1.2. Stația hidrometeorologică Bălți

Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $47^{\circ} 46' 28,63''$ latitudine nordică, $27^{\circ} 57' 2,34''$ longitudine estică și altitudinea de 102 m deasupra nivelului mării fiind situată în zona aeroportului din municipiul Bălți. Aceasta este amplasată la circa 2 km de la râul Răut, pe malul stâng al acestuia, unde terenul reprezintă o suprafață relativ netedă de luncă. La sud și sud-est de stație, pe o distanță de 4 - 10 km, relieful este deluros, întretăiat de vâlcele și râpe. Cotele absolute ale colinelor ating 150-200 m. Lățimea văii râului în regiunea stației variază între 4-5 km, iar a râului variază între 3,5 - 5,5 m. Platforma meteorologică este situată pe un loc drept, acoperită cu înveliș natural ierbos, iar la o distanță de aproximativ 70 m în jurul acestei platforme sunt amplasate case de locuit cu un nivel și copaci solitari cu înălțimea de 4 - 5 m. La o distanță de aproximativ 500 m, în direcția nord trece traseul Bălți - Florești și linia de cale ferată. În partea de est a stației de măsurare, la aproximativ 100 m se întinde zona aeroportului, iar în spatele acesteia este un teren deschis și neted.

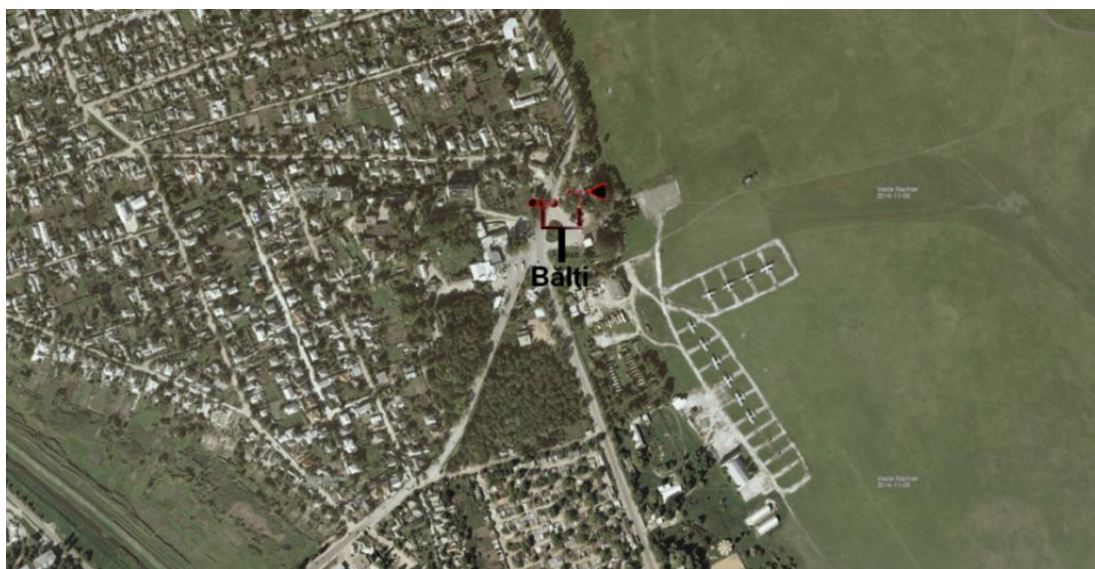
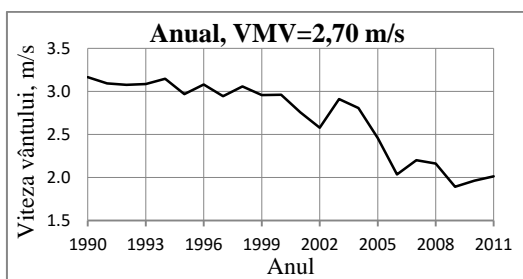
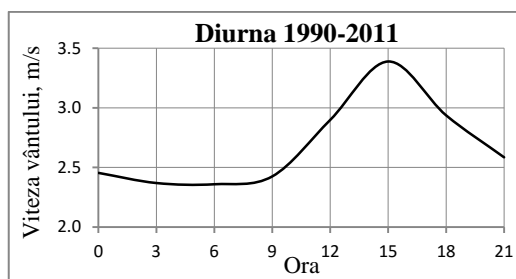


Fig. A 1.2. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Bălți, imagine MapInfo

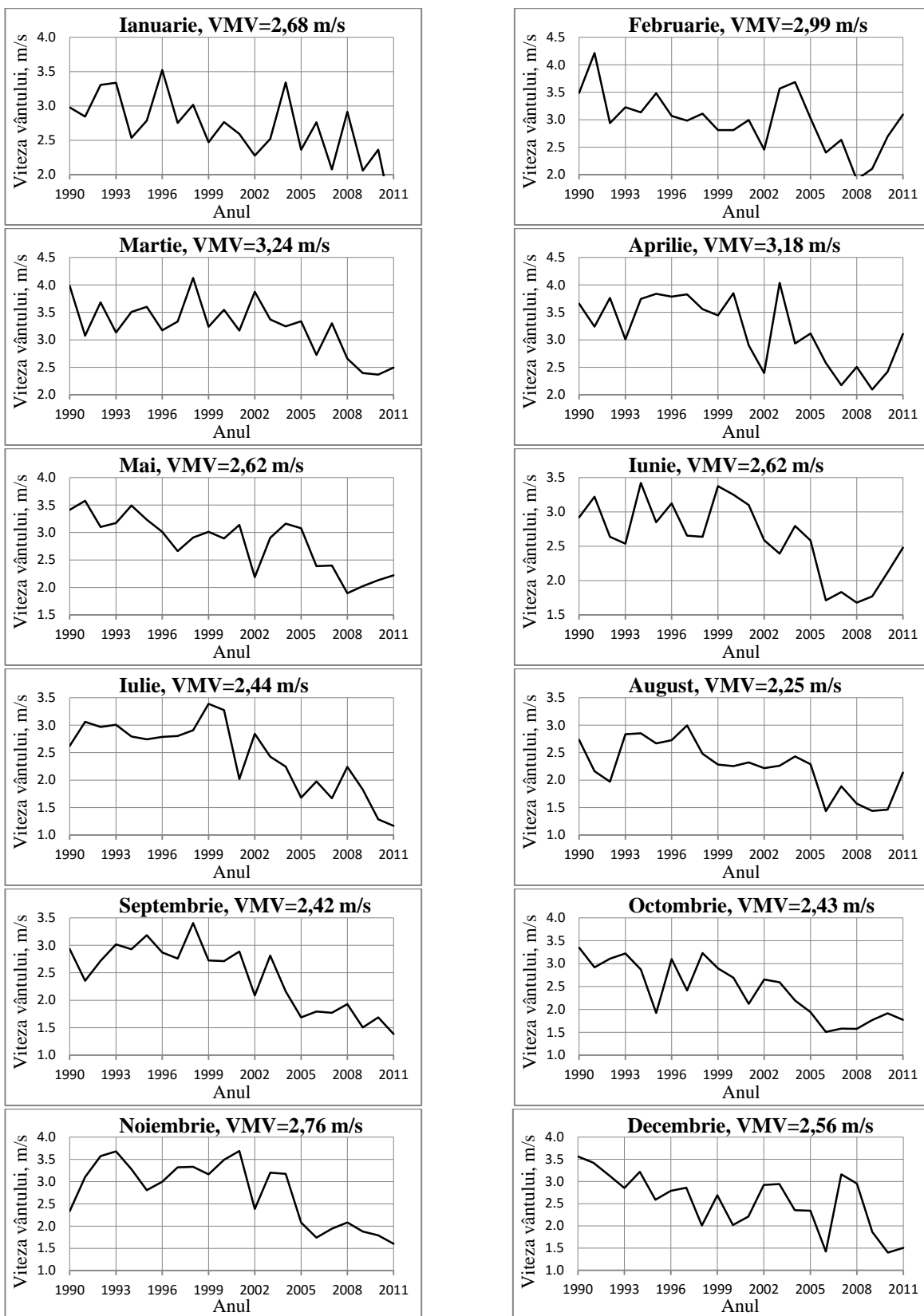


Variația anuală a vitezei vântului

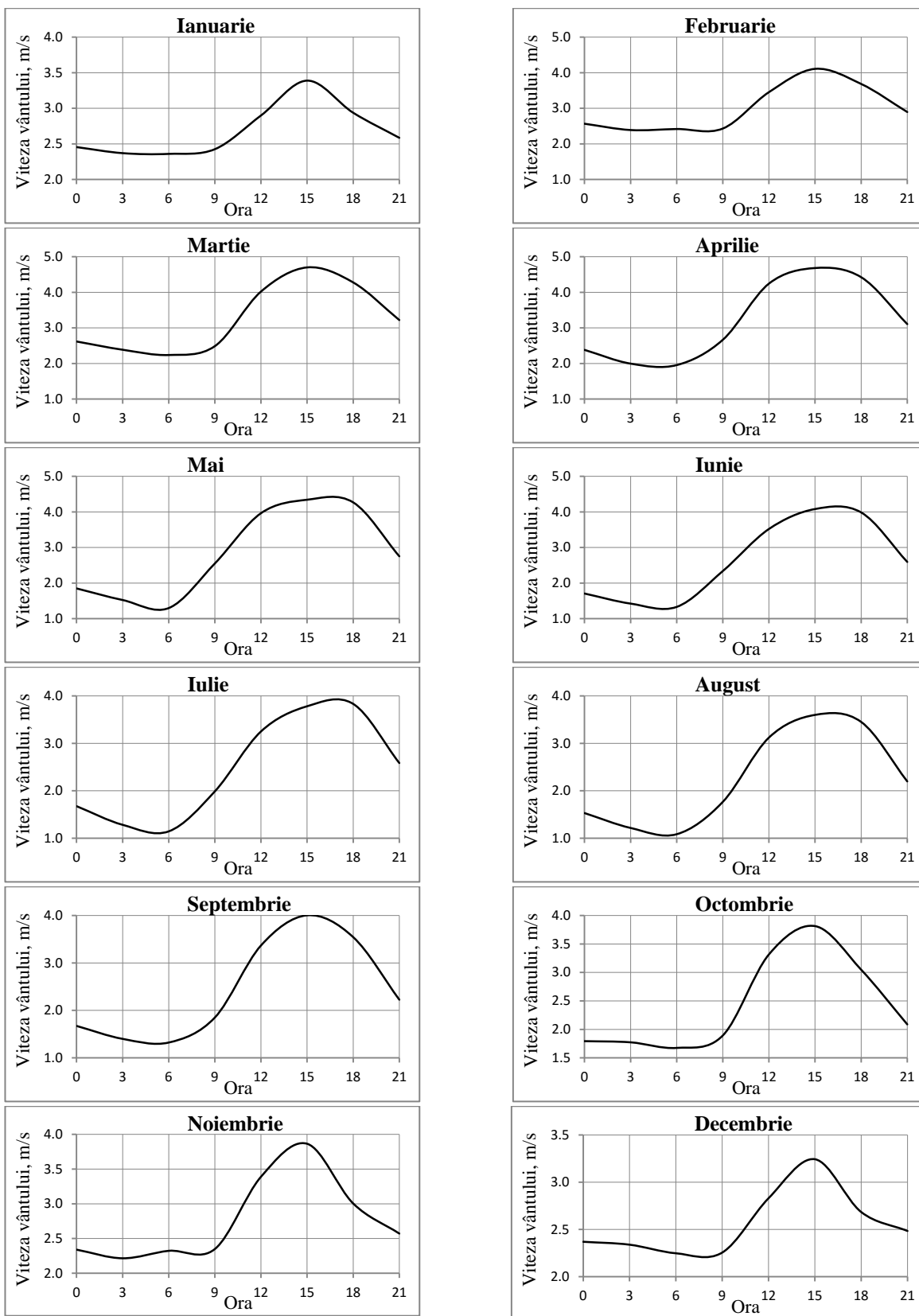


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună



A1.3. Stația hidrometeorologică Bravicea

Stația hidrometeorologică cu coordonatele geografice $47^{\circ} 22' 19,85''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 26' 17,92''$ longitudine estică și altitudinea de 78 m deasupra nivelului mării, este situată chiar în satul Bravicea, puțin mai la nord de centrul satului, fiind înconjurată de case de locuit și construcții, fapt ce a contribuit negativ asupra măsurărilor atât a vitezei, cât și a direcției vântului.

Stația este amplasată într-o zonă cu văi largi de câțiva km și dealuri relativ joase acoperite cu vii, livezi și fâșii forestiere. În partea de sud-vest și sud-est la o distanță de aproximativ 3 km se întind fâșii forestiere ale codrilor Moldovei.

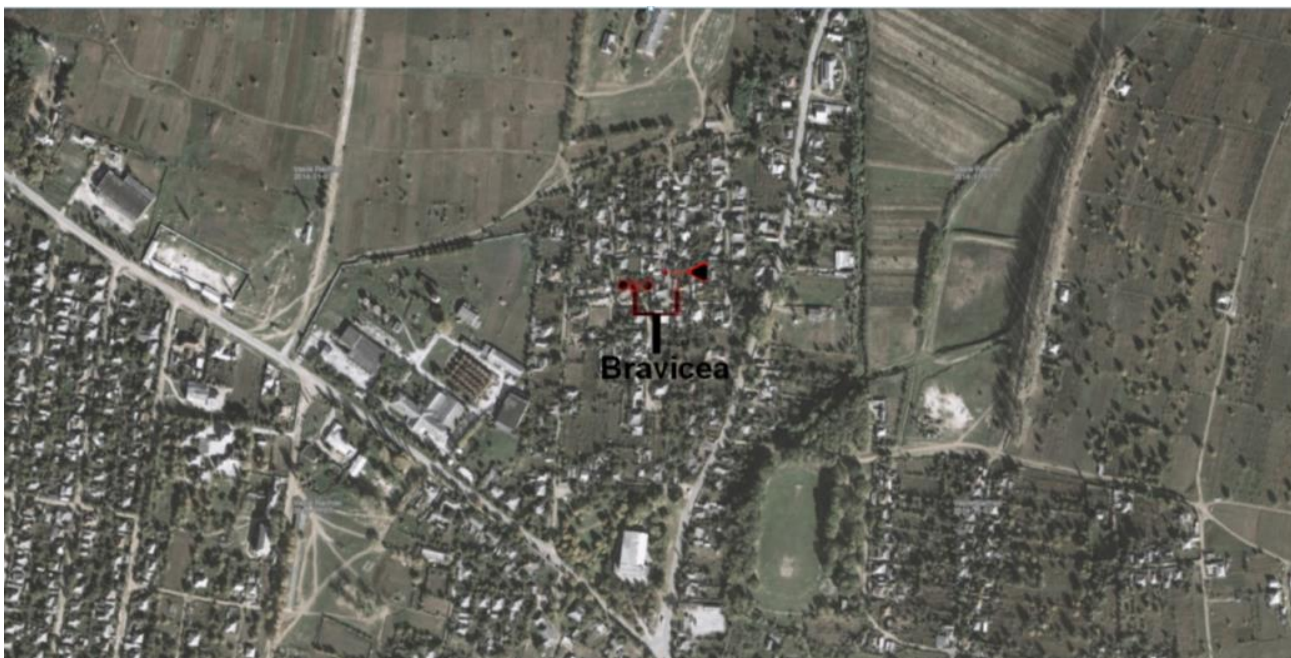
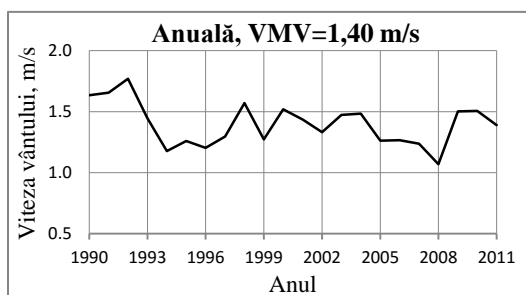
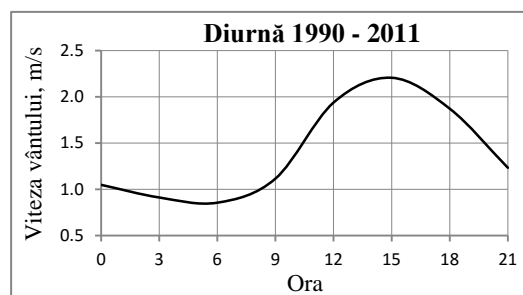


Fig. A 1.3. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Bravicea, imagine MapInfo

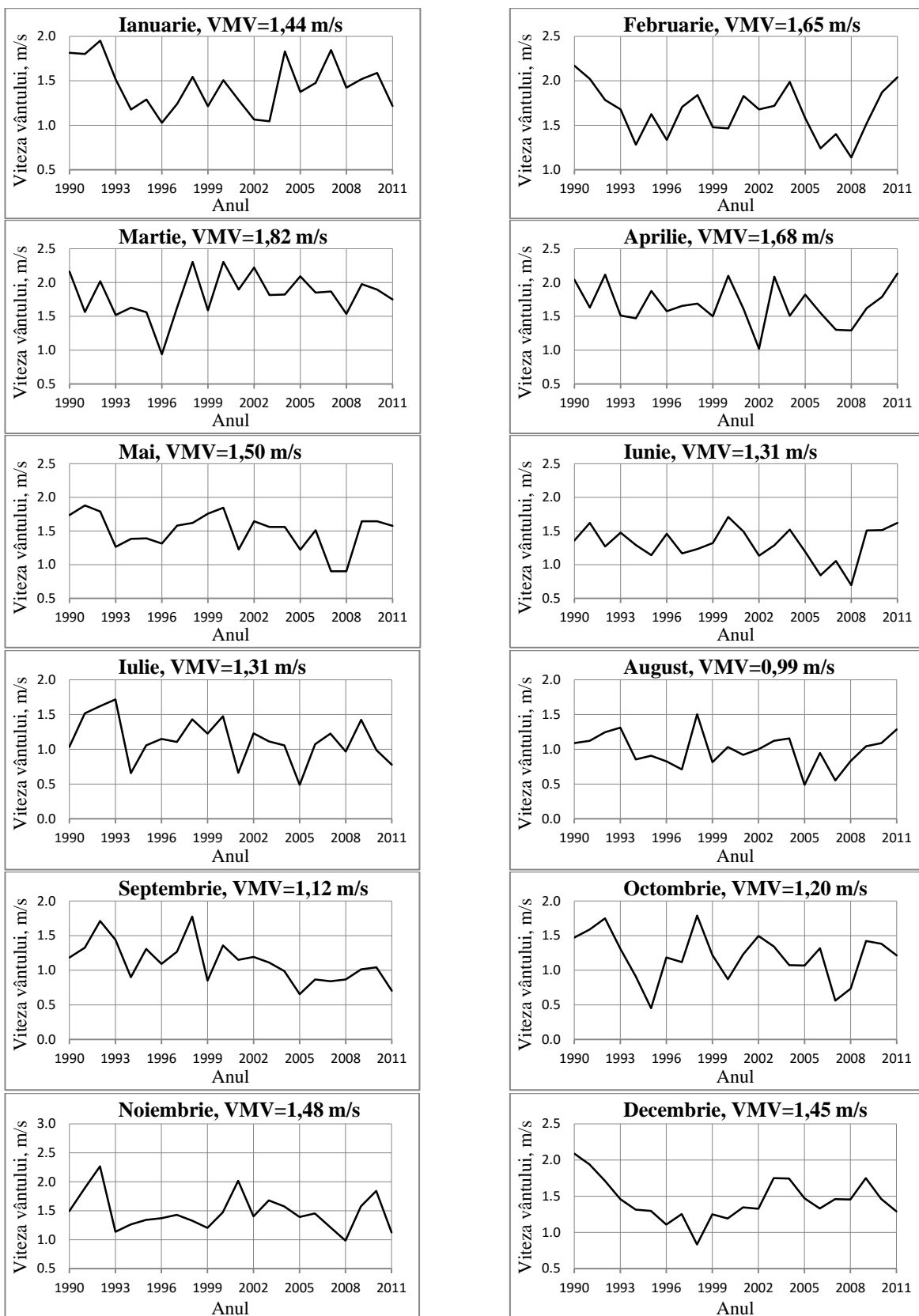


Variația anuală a vitezei vântului

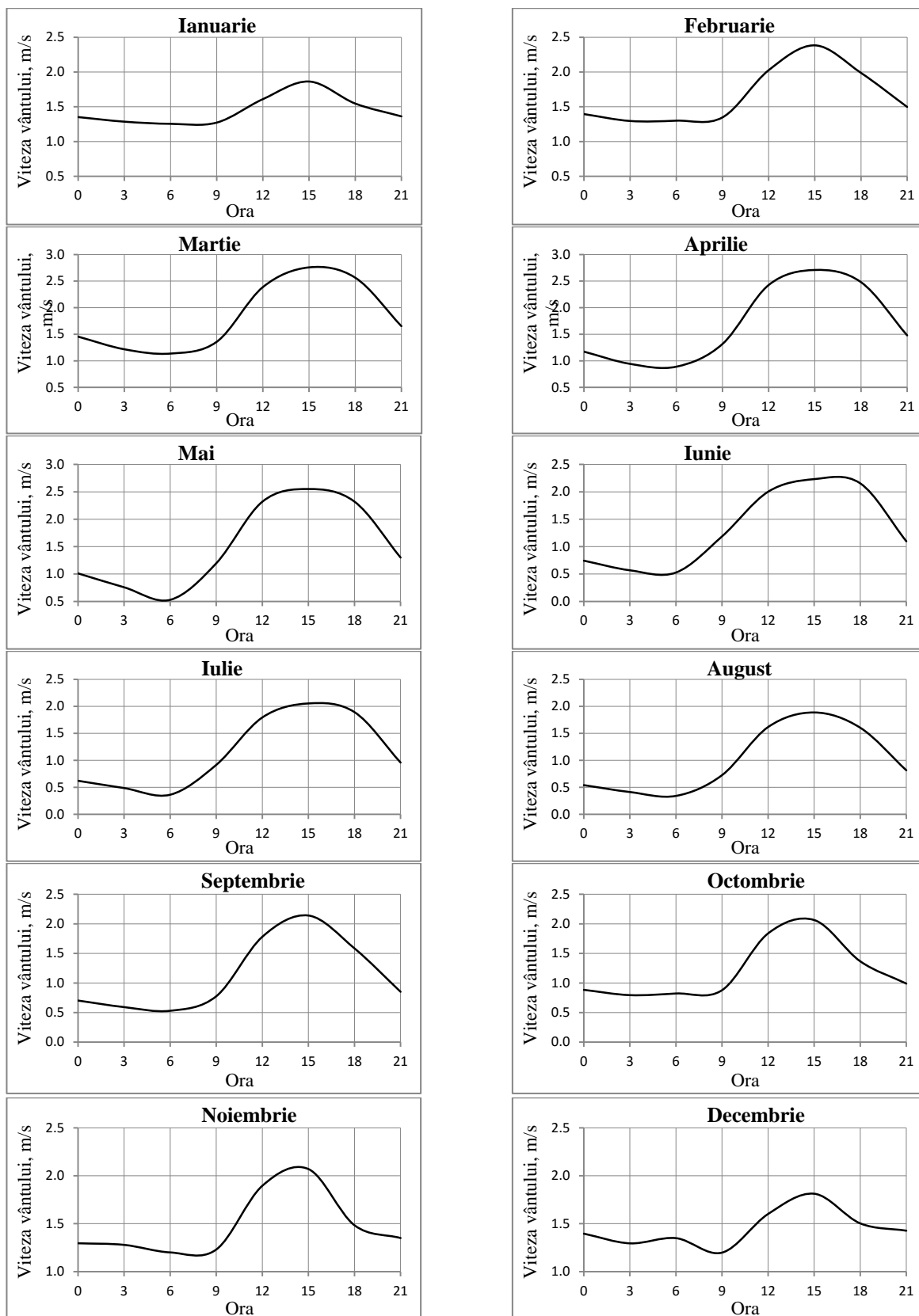


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

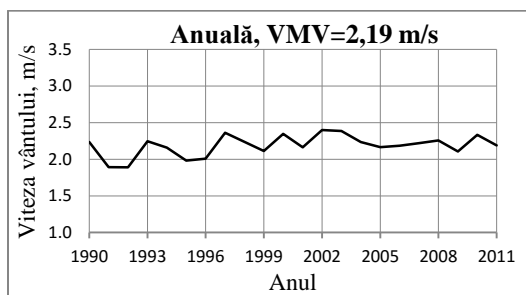


A1.4. Stația hidrometeorologică Briceni

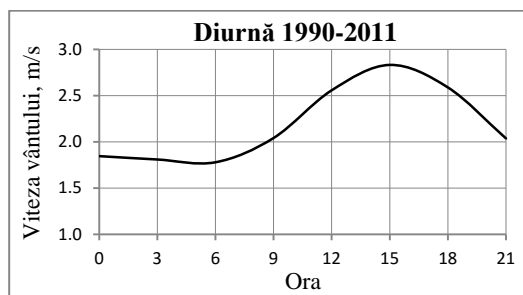
Stația hidrometeorologică cu coordonatele geografice $48^{\circ} 21' 7,67''$ latitudine nordică, $27^{\circ} 6' 7,42''$ longitudine estică și altitudinea de 261 m deasupra nivelului mării este situată în partea de sud-est a orasului Briceni, pe un teren drept și este cea mai nordică stație meteo de pe teritoriul Republicii Moldova. Stația a fost înlocuită în 2004 cu o stație automată ce permite măsurarea în regim automat a temperaturii și umidității aerului, presiunii atmosferice, vitezei și direcției vântului, temperaturii suprafeței solului și la adâncimi de 5-20 cm, în regim continuu, și de a transmite operativ informația. Această stație este situată pe creasta lanțului deluros Hotin, ajungând la înălțimi de până la 300 m. Relieful din preajma stației este deluros întretăiat de vâlcele și râpe cu depresiuni de aproximativ 30 - 40 m, ce se întind în direcțiile sud-vest și sud-est. La o distanță de aproximativ 1,6 km de stație. De asemenea, nu departe de stație curge râul Lopatinka cu direcția nord spre sud, care are o lățime de 2,5-3 m în regiunea stației, iar valea râului se întinde pe o lățime de 1,5 - 2 km.



Fig. A 1.4. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Briceni, imagine MapInfo

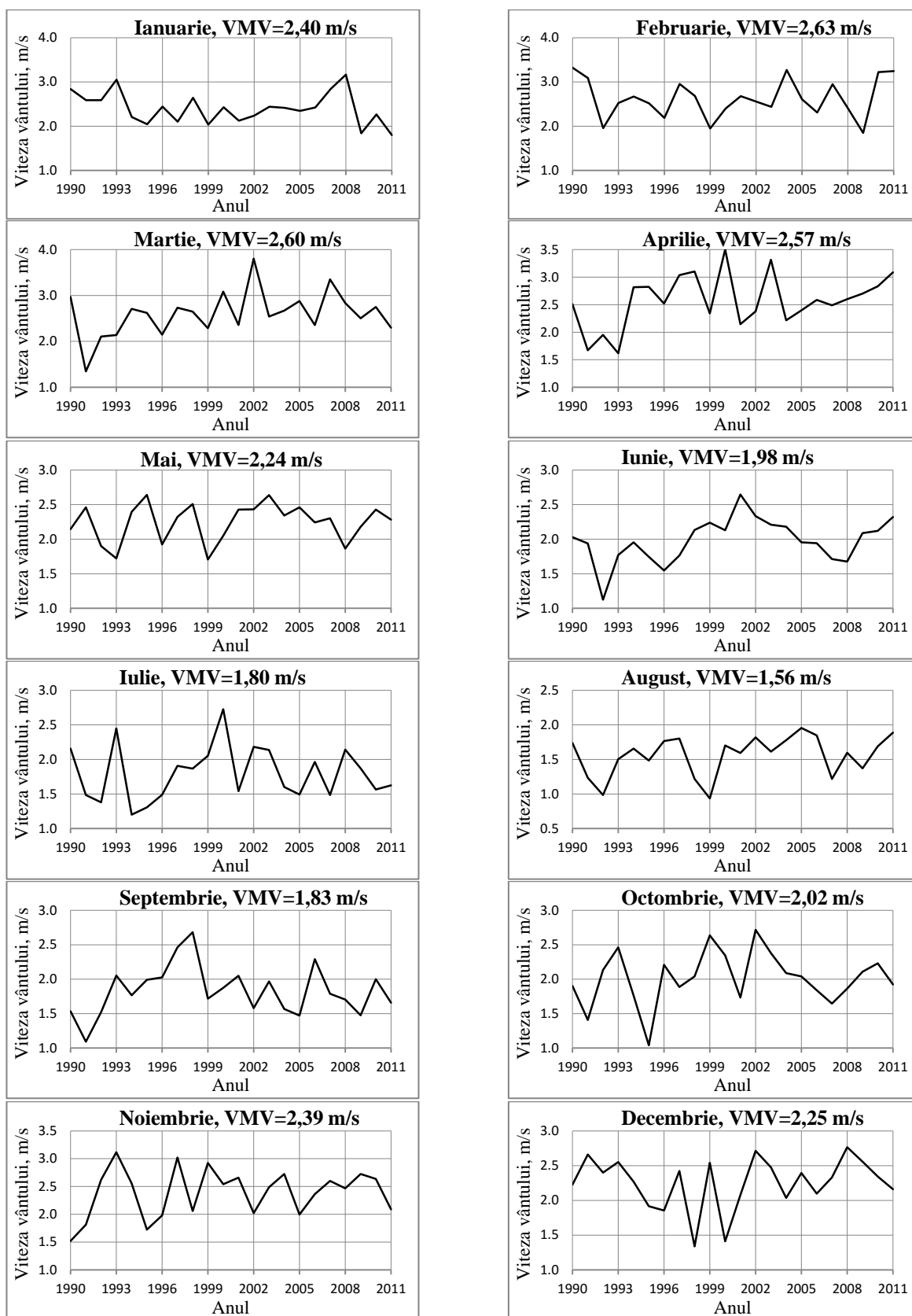


Variația anuală a vitezei vântului

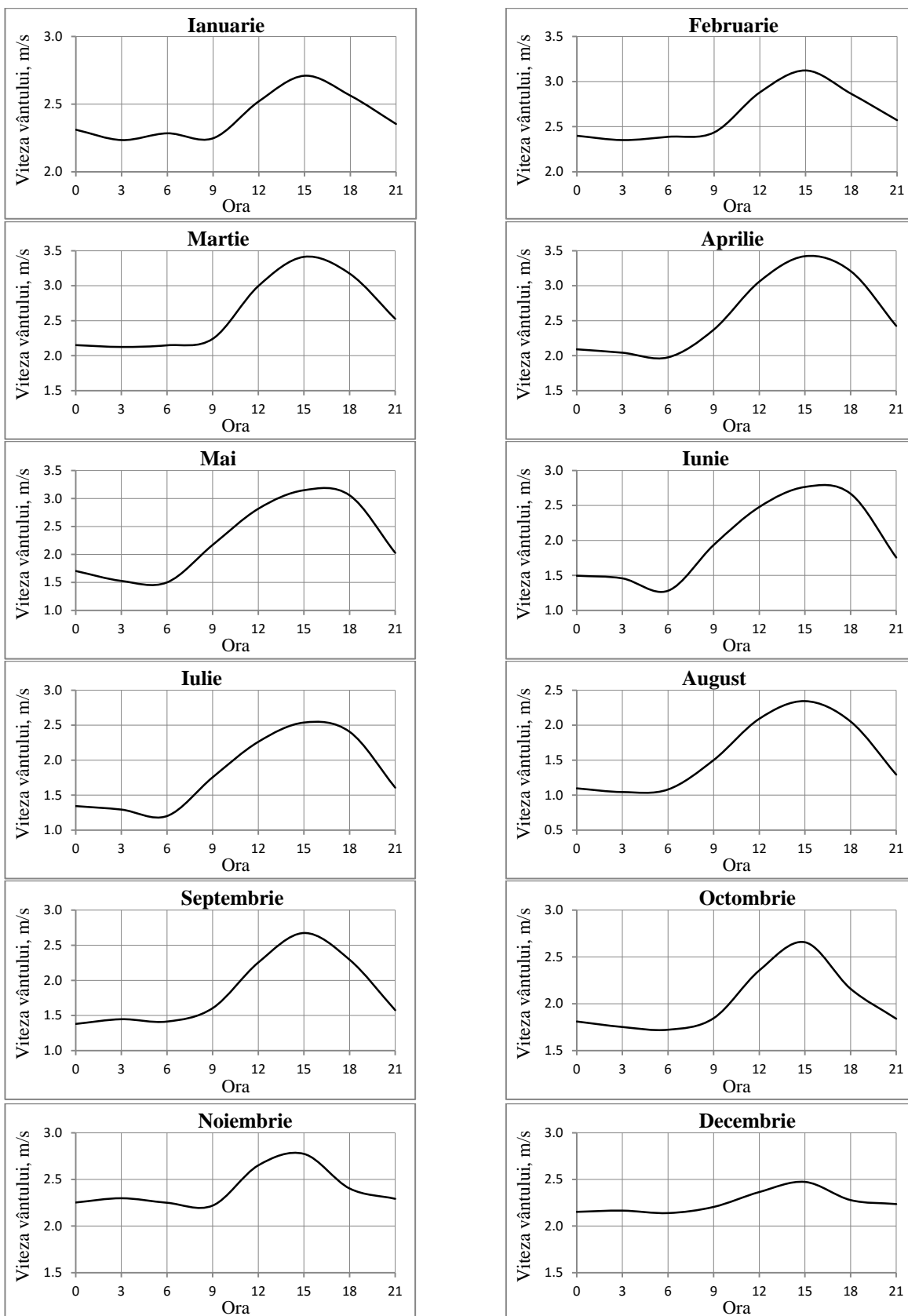


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

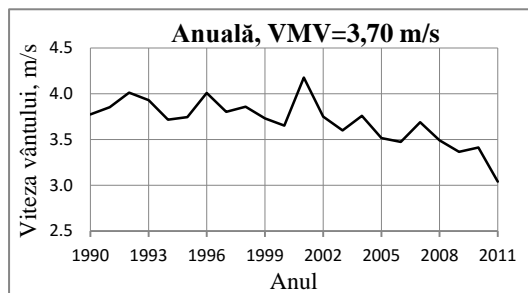


A1.5. Stația hidrometeorologică Cahul

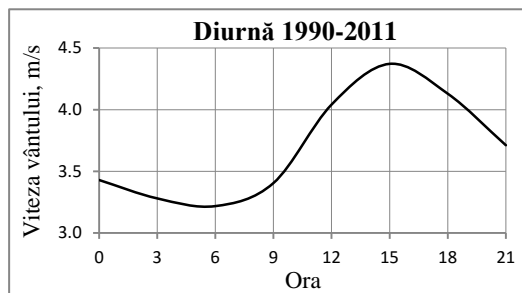
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $45^{\circ} 53' 57,26''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 12' 48,42''$ longitudine estică, altitudinea de 196 m deasupra nivelului mării și este situată pe Cîmpia Moldovei de Sud, pe malul stîng al râului Prut, în partea de sud a periferiei orașului Cahul. Platforma meteorologică este situată pe un loc drept și deschis, iar sectorul ocupat de ea este acoperit cu un înveliș ierbos natural. Regiunea dată se caracterizează prin prezența reliefului deluros întretăiat de vâlcele și râpe. În partea de vest a stației la o distanță de aproximativ 10-12 km curge râul Prut cu direcția nord - sud. Lunca malului stîng al râului are lățimea de 5-6 km, fiind acoperită cu stufărișuri, bălți și iazuri ce se alimentează din râul Prut. În partea de vest la aproximativ 80 metri se întinde primul rând de case.



Fig. A 1.5. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Cahul, imagine MapInfo

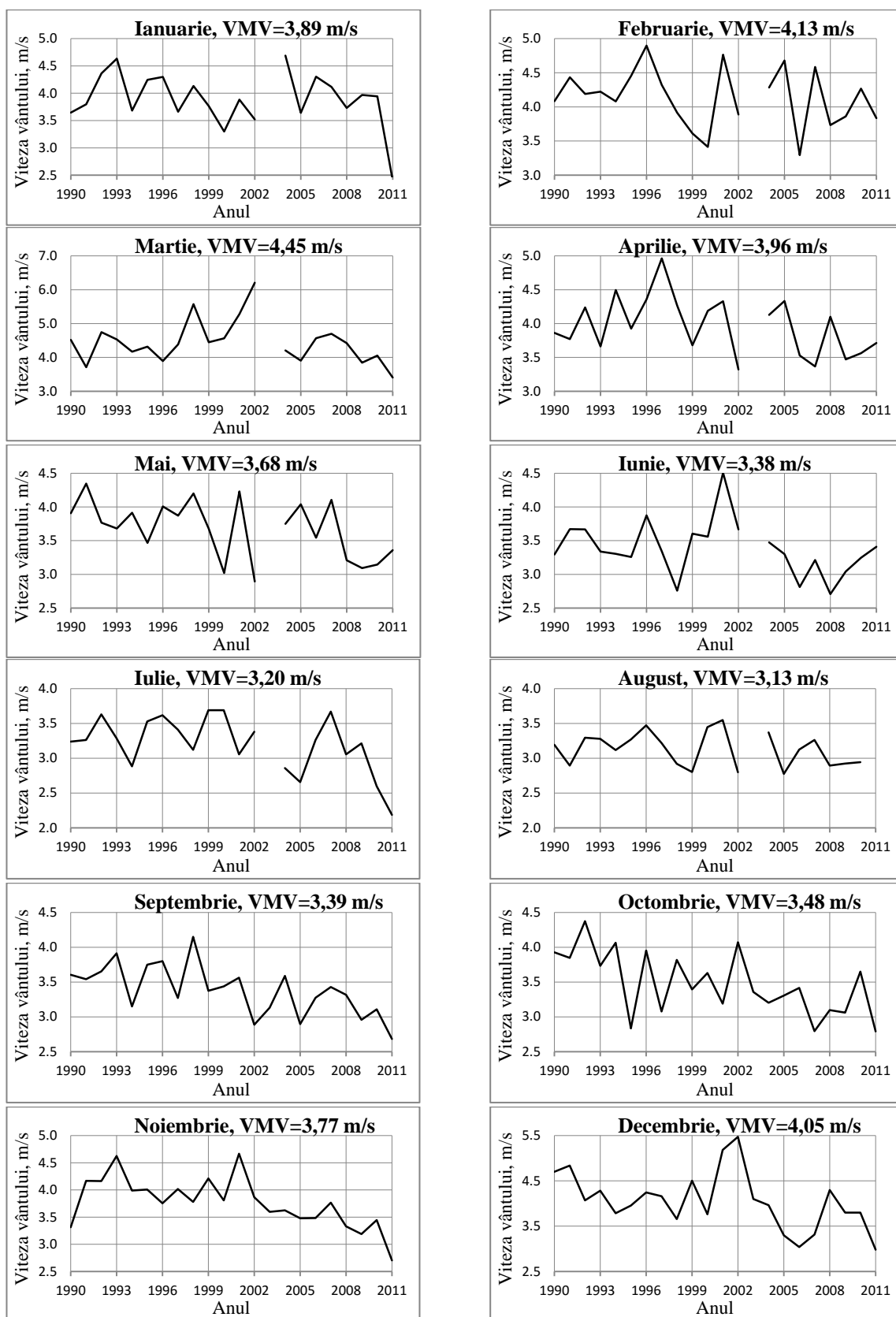


Variația anuală a vitezei vântului

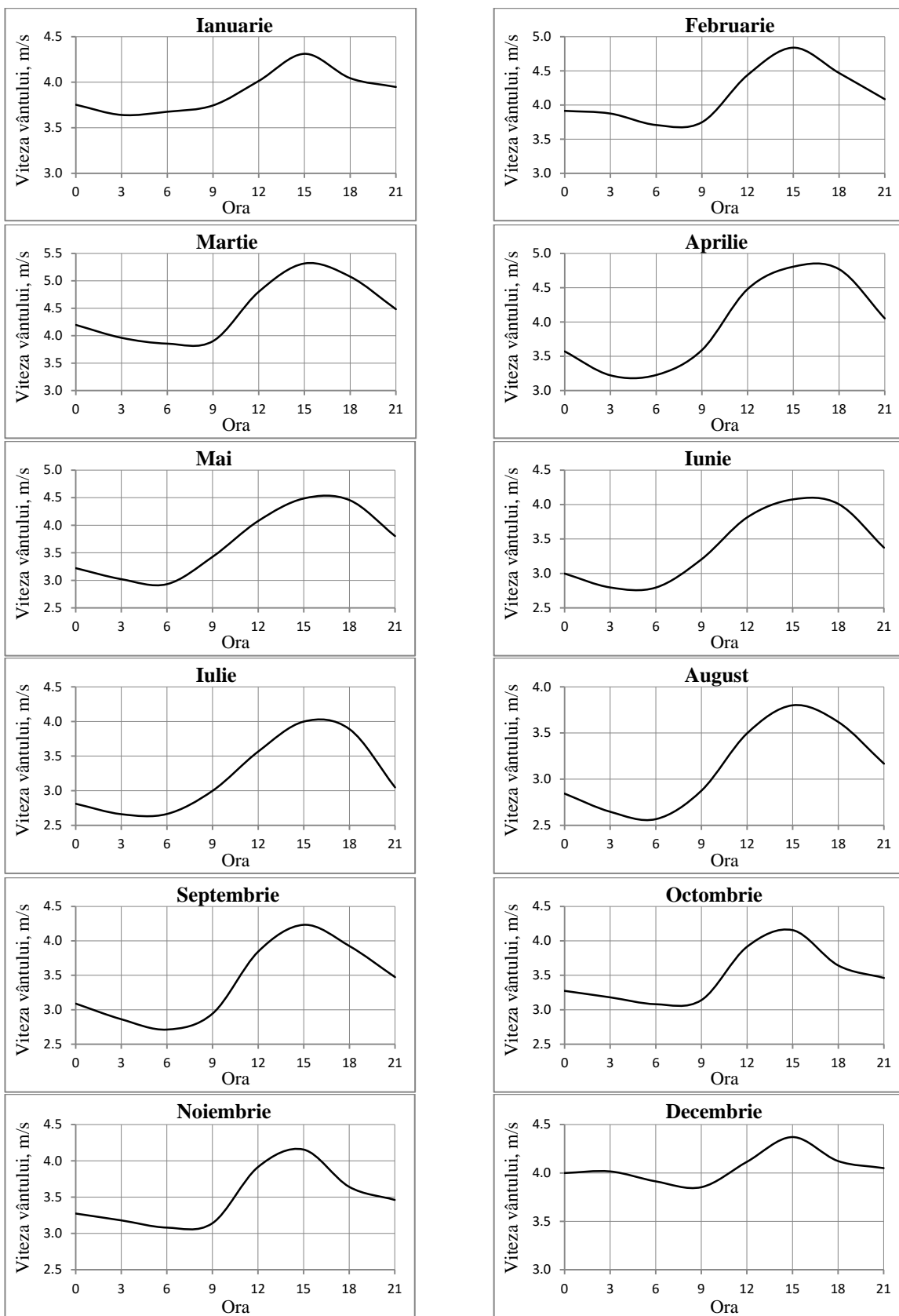


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

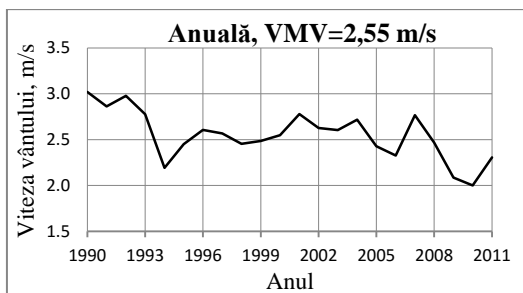


A1.6. Stația hidrometeorologică Camenca

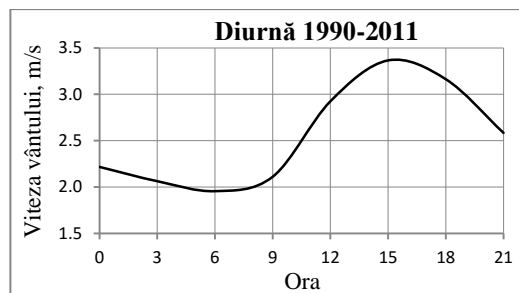
Amplasată în partea de nord, la periferia orașelului Camenca, această stație hidrometeorologică are coordonatele geografice $48^{\circ} 2' 36,67''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 41' 53,23''$ longitudine estică și altitudinea de 154 m deasupra nivelului mării. Platforma meteorologică este situată la o distanță de 2,5 km de malul stâng al râului Nistru și la 1 km depărtare de orașelul Camenca. Relieful din preajmă este deluros, întretăiat de vâlcele și râpe adânci. Spre est de stație, la o distanță de aproximativ 1,5 km, în depresiunea unei văi adânci curge râul Camenca, pe pantele căruia cresc plantații de viță de vie. În direcția sud, la o distanță de aproximativ 500 m sunt plantate livezi și vii, iar la 300-400 m se întinde o pantă abruptă și pietroasă. La circa 1-1,2 km spre nord-vest de stație, pe versanții dealurilor se întinde pădurea de foioase a Podișului Nistrean, iar la 4 km spre sud-est trece linia de cale ferată.



Fig. A 1.6. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Camenca imagine Google Earth

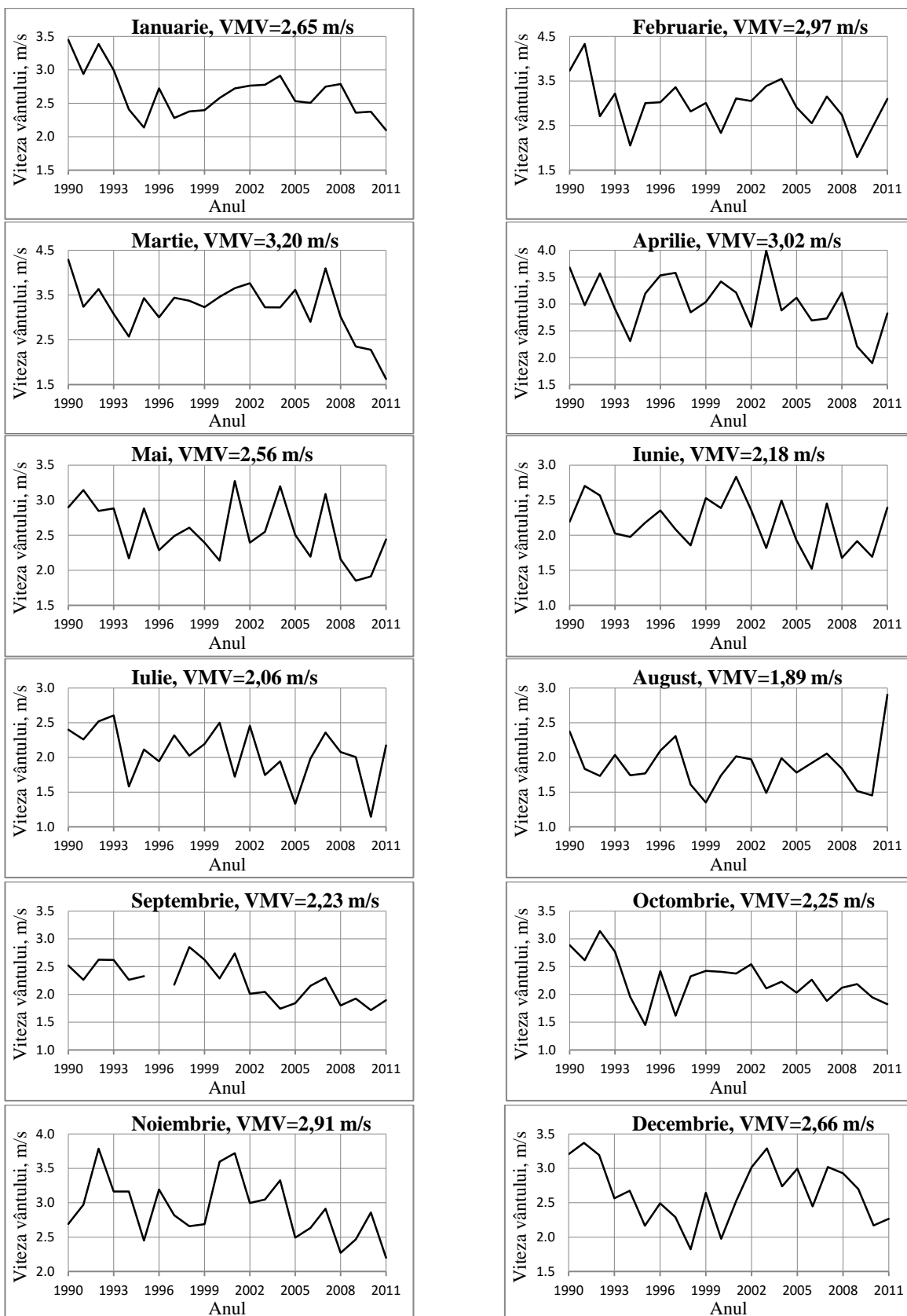


Variația anuală a vitezei vântului

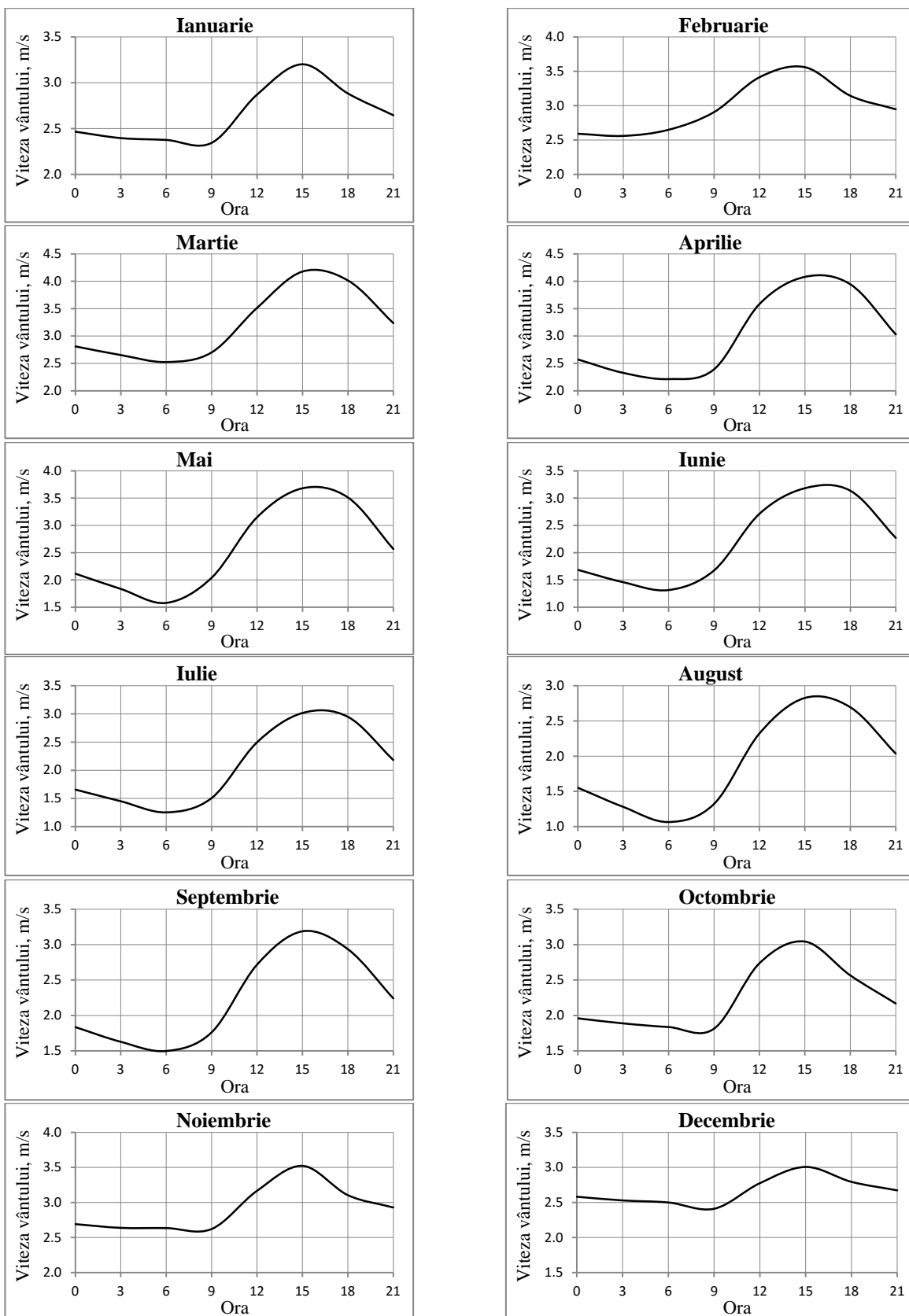


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună



A1.7. Stația hidrometeorologică Ceadâr-Lunga

Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $46^{\circ} 2' 8,09''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 51' 7,92''$ longitudine estică, altitudinea de 180 m deasupra nivelului mării și este amplasată în regiunea Câmpiei Moldovei de Sud, în partea de sud-est a orașelului Ceadâr-Lunga. În jurul platformei meteorologice se întind lanuri cu culturi agricole, iar în partea de nord-vest, la o distanță de aproximativ 600 m pe vârful unor pante deluroase, sunt fâșii forestiere și copaci singuratici. De asemenea, în partea de nord-vest de stația meteo, la o distanță de aproximativ 1,5 km se întinde orașelul Ceadâr-Lunga.

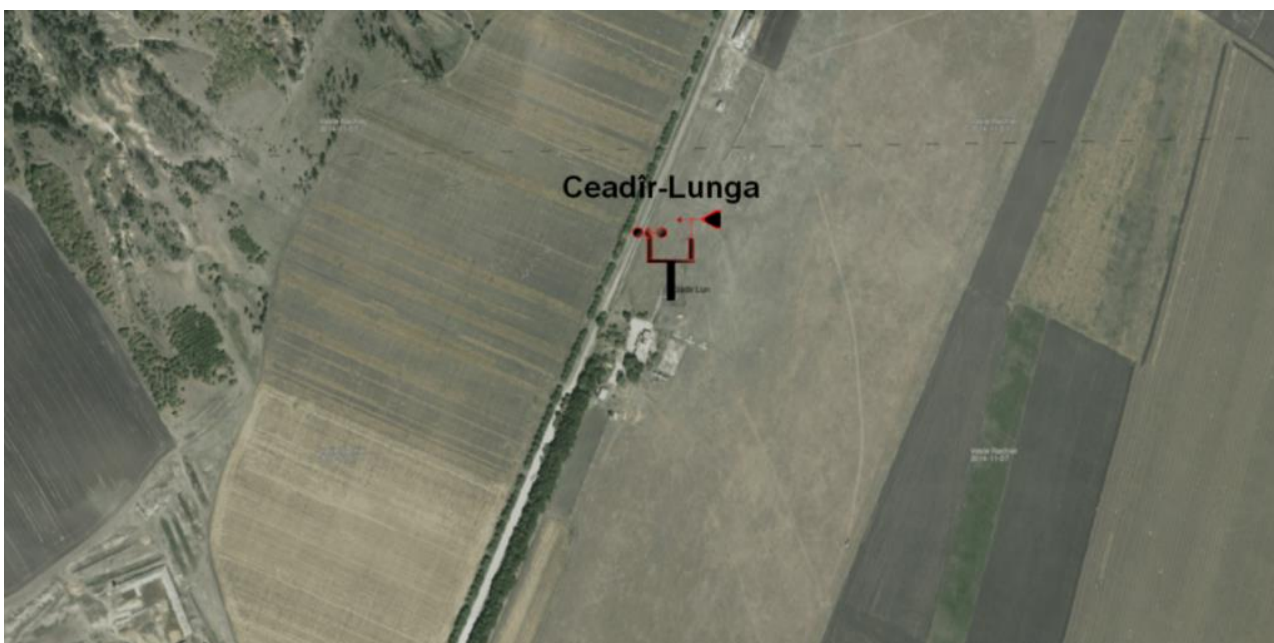
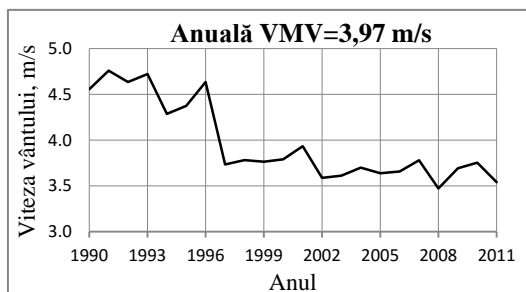
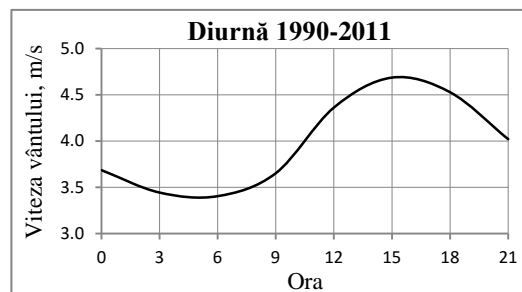


Fig. A 1.7. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Ceadâr-Lunga, imagine MapInfo

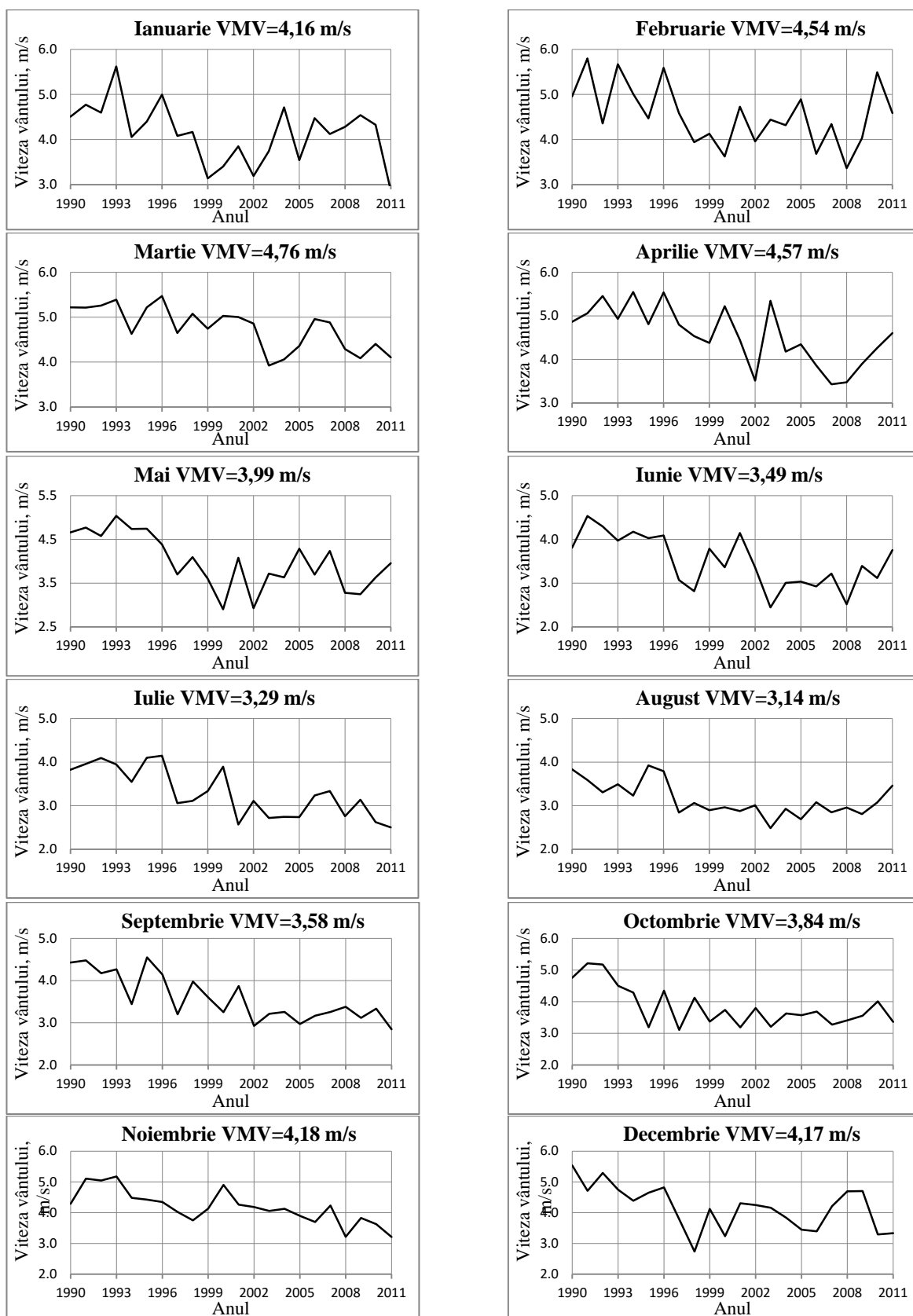


Variația anuală a vitezei vântului

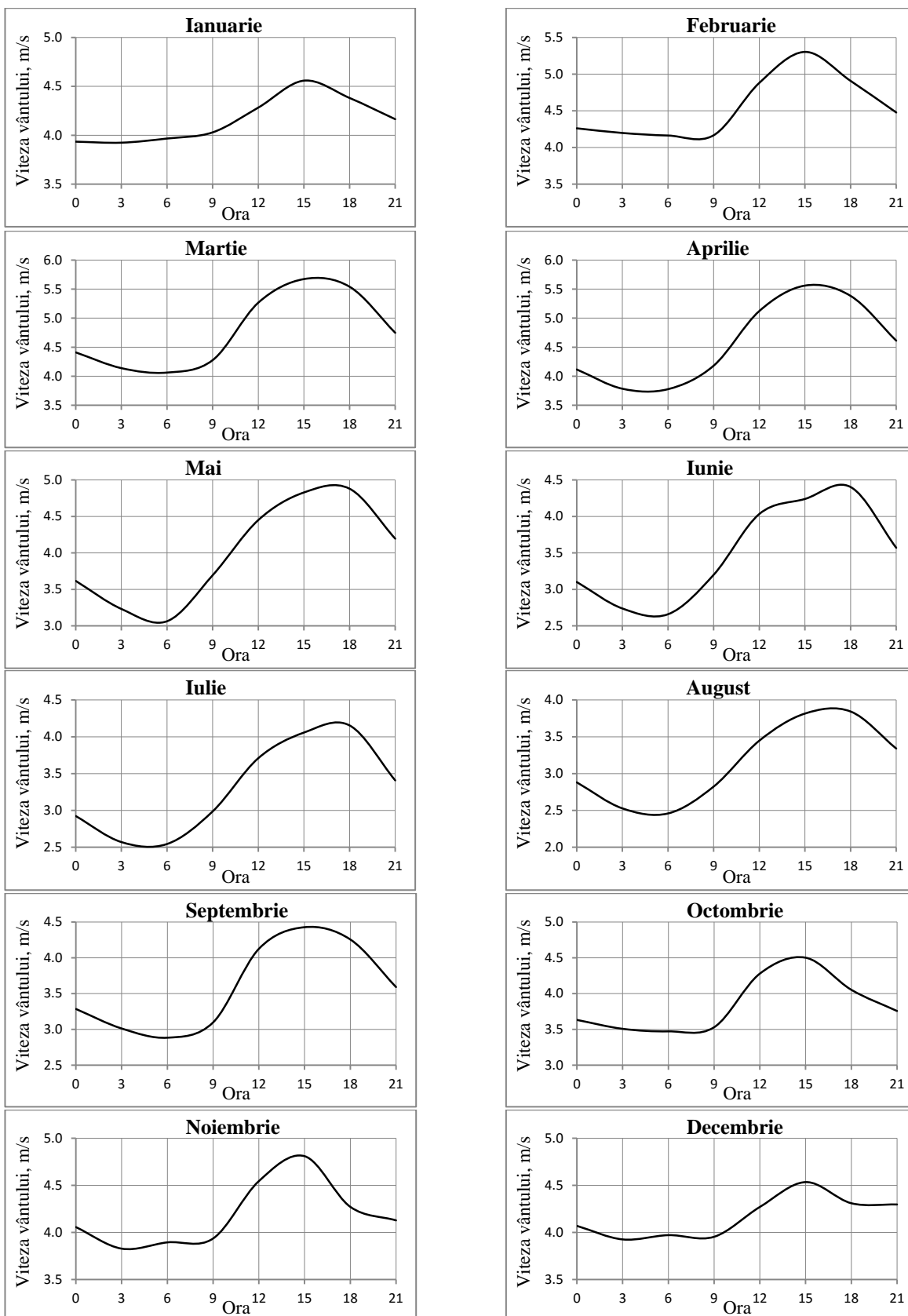


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună



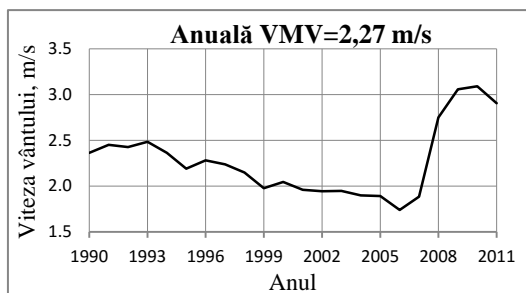
A1.8. Stația hidrometeorologică Chișinău

Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $46^{\circ} 58' 18,08''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 50' 53,81''$ longitudine estică și altitudinea de 173 m deasupra nivelului mării, este amplasată pe Podișul Moldovei Centrale, având cotele absolute de circa 200 m și este situată la periferia sudică a mun. Chișinău pe una dintre colinele înalte ale orașului. La o distanță de 4 km de stație se află Aeroportul Internațional Chișinău.

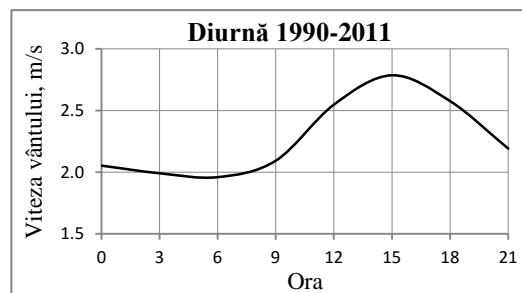
Până în 2006, platforma meteorologică a fost situată pe o suprafață plană ce era împrejurată cu diferite tipuri de construcții atât cu destinație locativă, cât și administrativă, ceea ce ducea la poluarea destul de simțitoare a datelor finale despre vânt, fapt care se poate observa din caracteristica anuală a vântului care este prezentată mai jos. Începând cu anul 2006, stația a fost strămutată cu aproximativ 200 m în afara orașului într-o zonă mai deschisă având în preajmă la o distanță de 60 m în partea de sud-est clădirea stației, iar în aceeași direcție, la aproximativ 110 m, se întinde o fâșie de livadă.



Fig. A 1.8. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Chișinău, imagine MapInfo

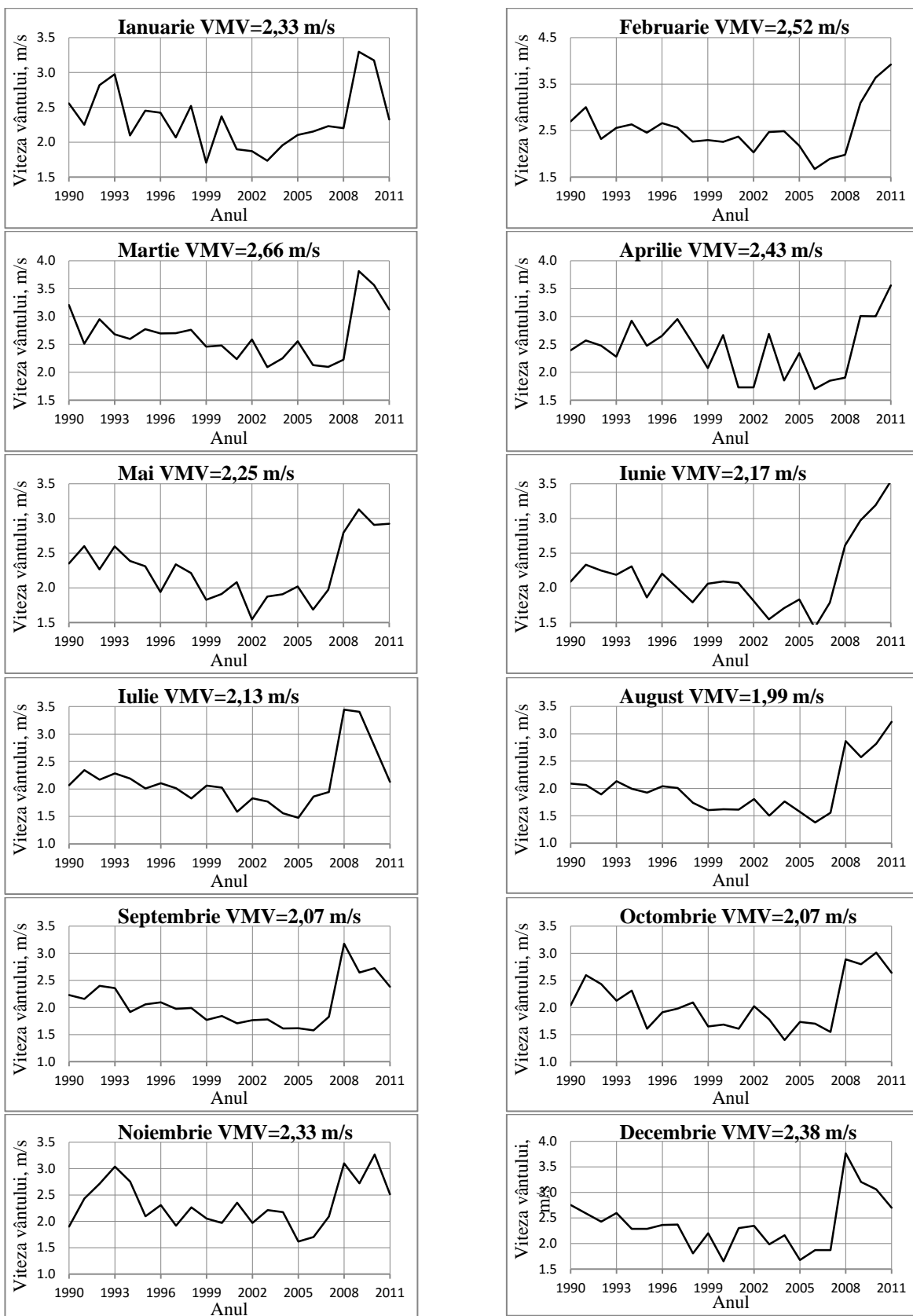


Variația anuală a vitezei vântului

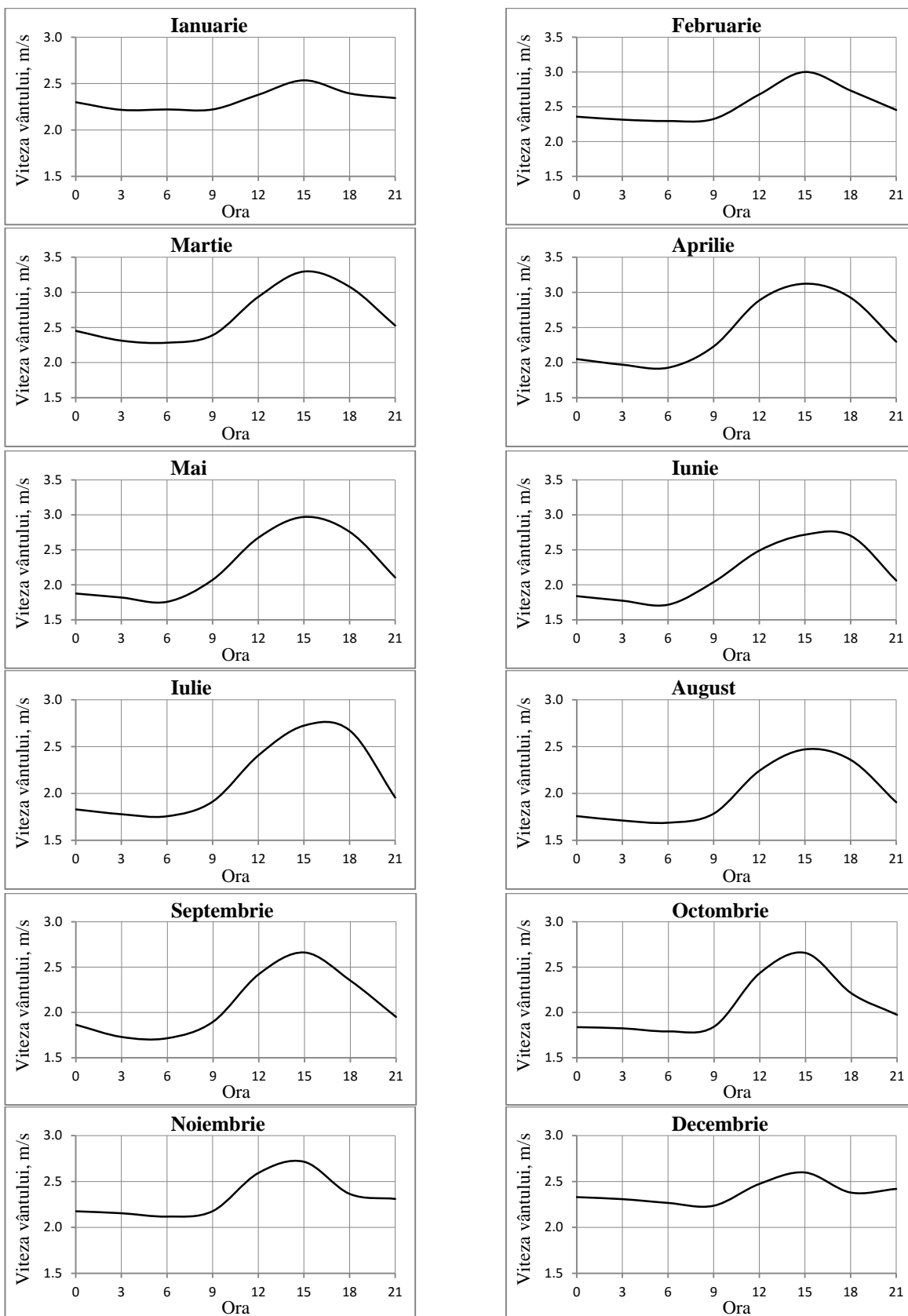


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

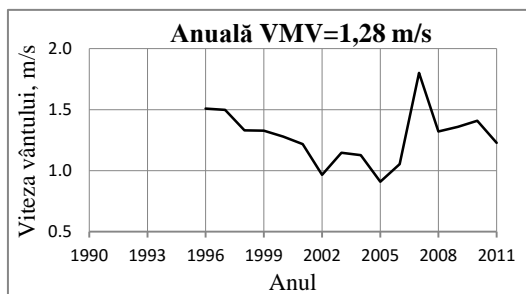


A1.9. Stația hidrometeorologică Codri

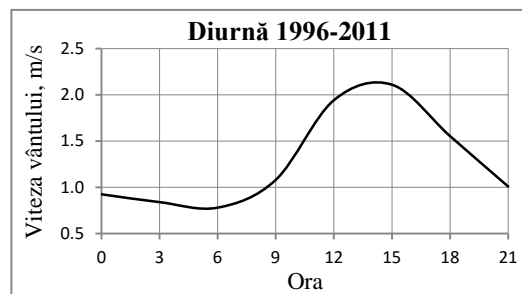
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $47^{\circ} 6' 39,85''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 21' 44,04''$ longitudine estică, altitudinea de 157 m deasupra nivelului mării și este situată practic în centrul Moldovei în regiunea celei mai mari fâșii de pădure numită Codri, la circa 2 km distanță de la satul Lozova. În linii generale, stația este practic înconjurată de jur împrejur de pădure, însă în partea de est, la 150 m, se află câteva terenuri agricole unde sunt cultivate diverse culturi. Spre sud, la aproximativ 100 m se întinde un lac de acumulare. De asemenea, în partea de nord a stației, la aproximativ 70 m, sunt câteva case răzlețe.



Fig. A 1.9. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Codri, imagine MapInfo

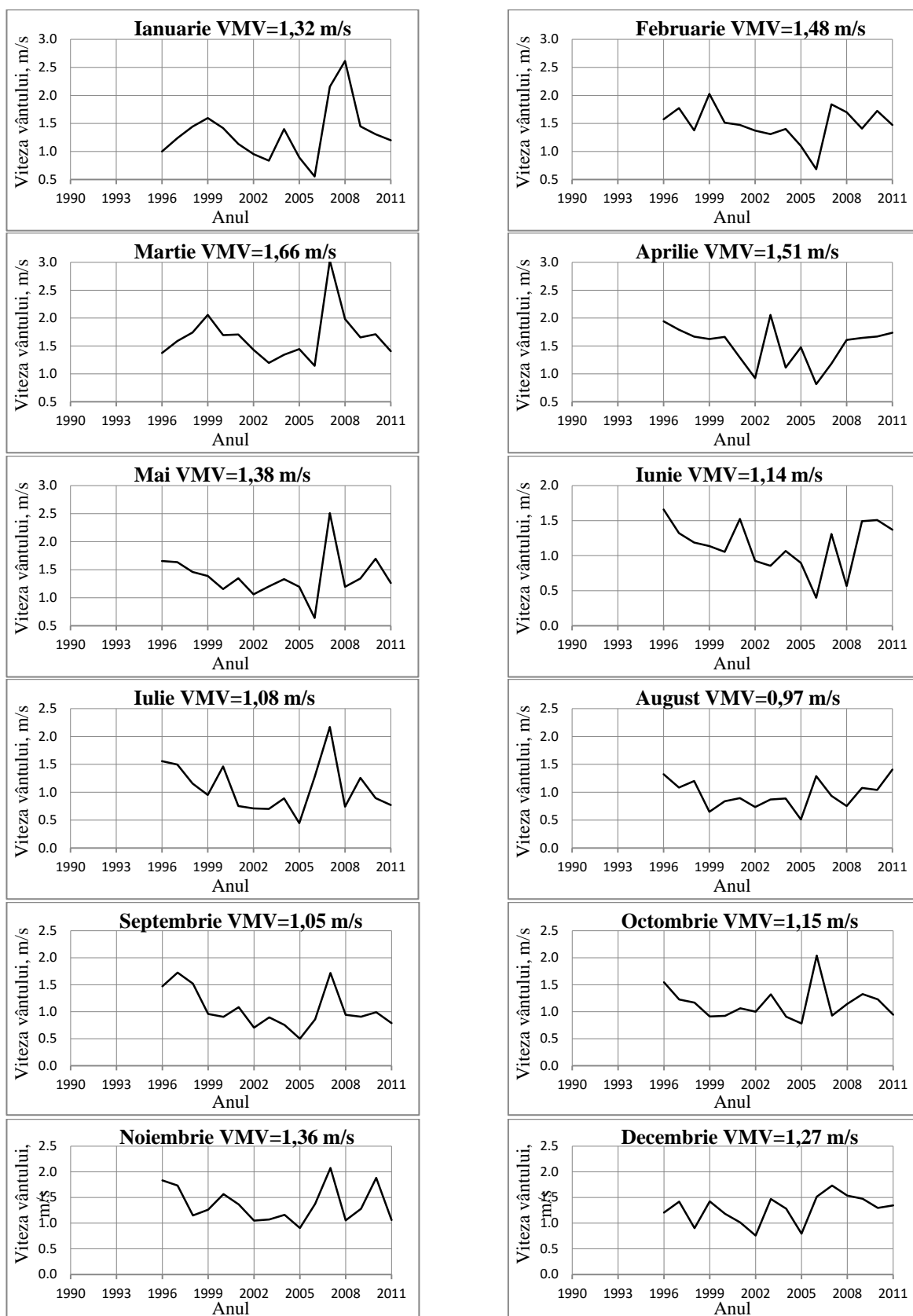


Variația anuală a vitezei vântului

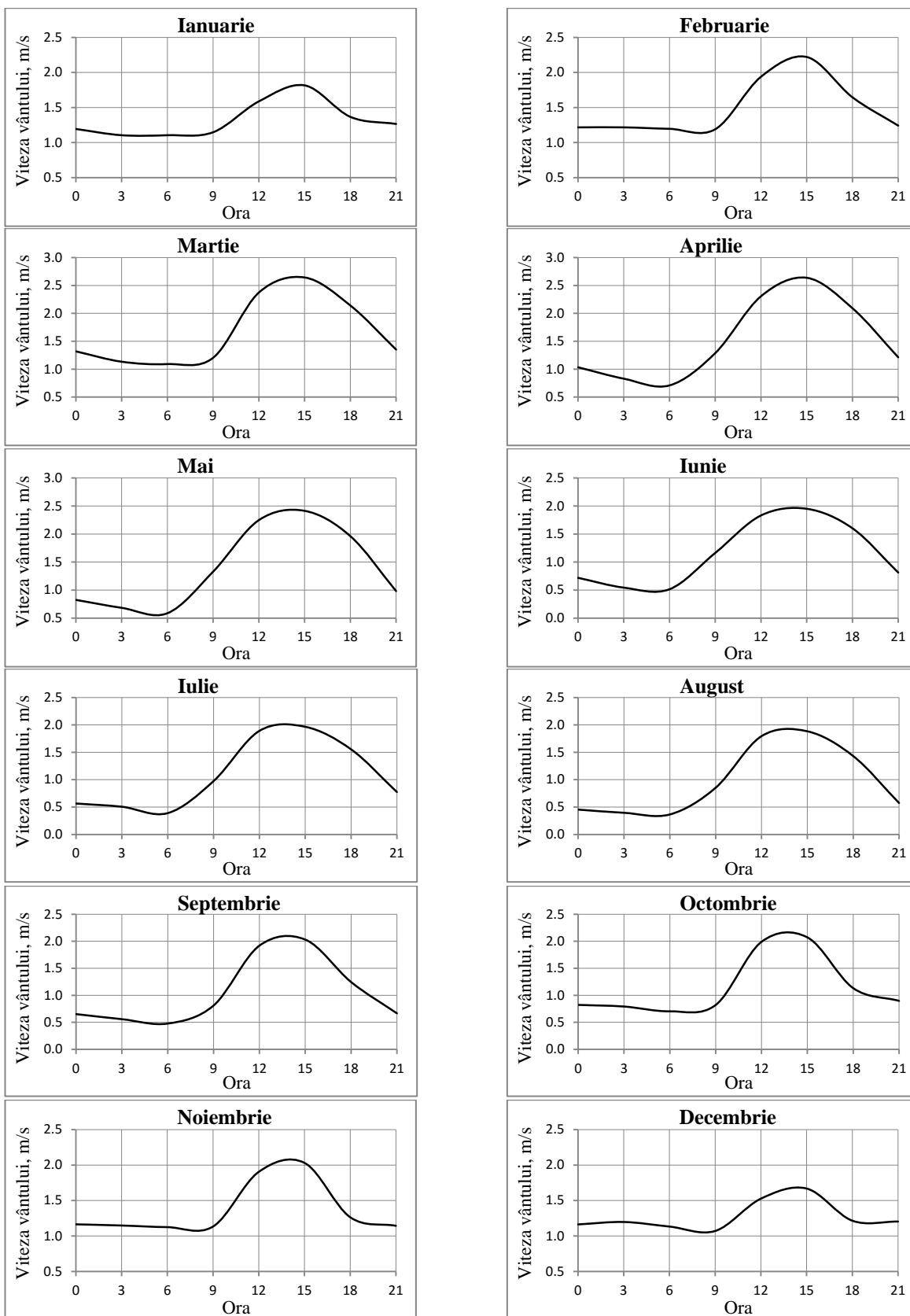


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

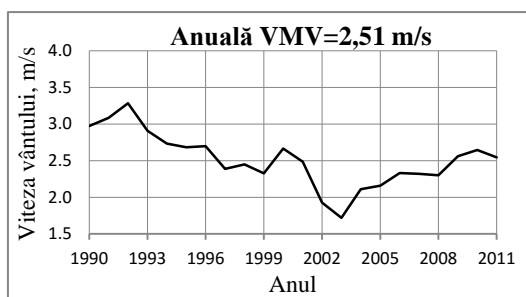


A1.10. Stația hidrometeorologică Comrat

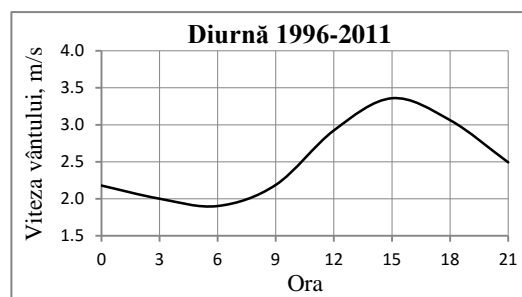
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $46^{\circ} 18' 10,30''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 37' 46,09''$ longitudine estică, altitudinea de 133 m deasupra nivelului mării și este amplasată în regiunea Câmpiei Moldovei de Sud, pe malul drept a râului Ialpuș, în zona limitrofă de vest a orașului Comrat. Platforma meteorologică este amplasată pe un podiș cu o înclinație mai evidentă în direcția nordică, pe alocuri platforma este acoperită cu înveliș ierbos natural. Relieful din preajmă este deluros întretăiat de vâlcele și râpe adânci de aproximativ 20-30 m, iar în direcția nord și sud, la o distanță de 1-1,5 km, se înalță coline care depășesc nivelul stației cu 20-60 m. Spre E de stație, la 3 km, curge râul Ialpuș având malurile joase, puțin înclinate, cu lățimea văii de 1-2 km, iar adâncimea de 40-50 m. În direcția sudică pantele văii sunt acoperite de livezi, vișade-vie, fâșii forestiere.



Fig. A 1.10. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Comrat, imagine MapInfo

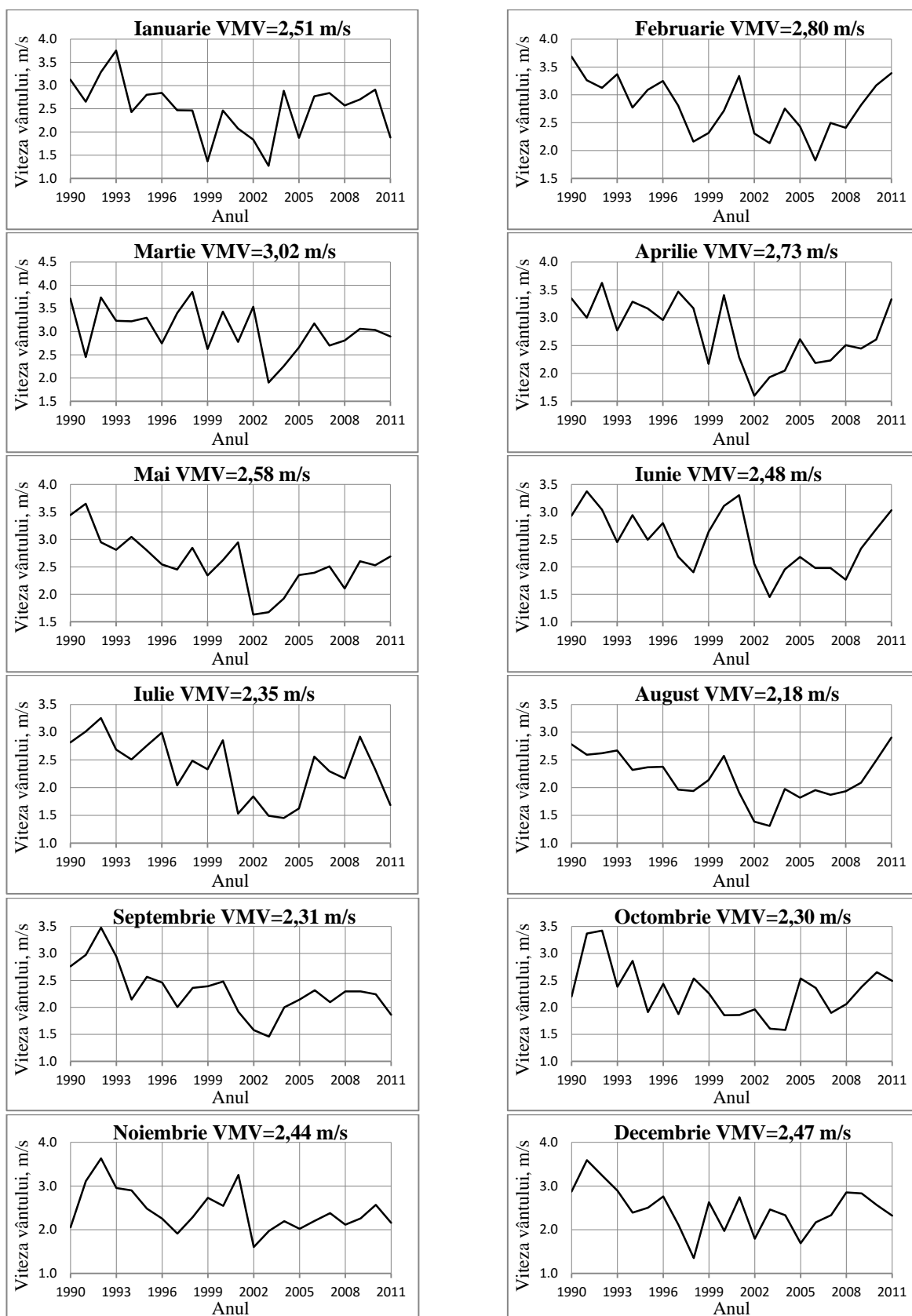


Variația anuală a vitezei vântului

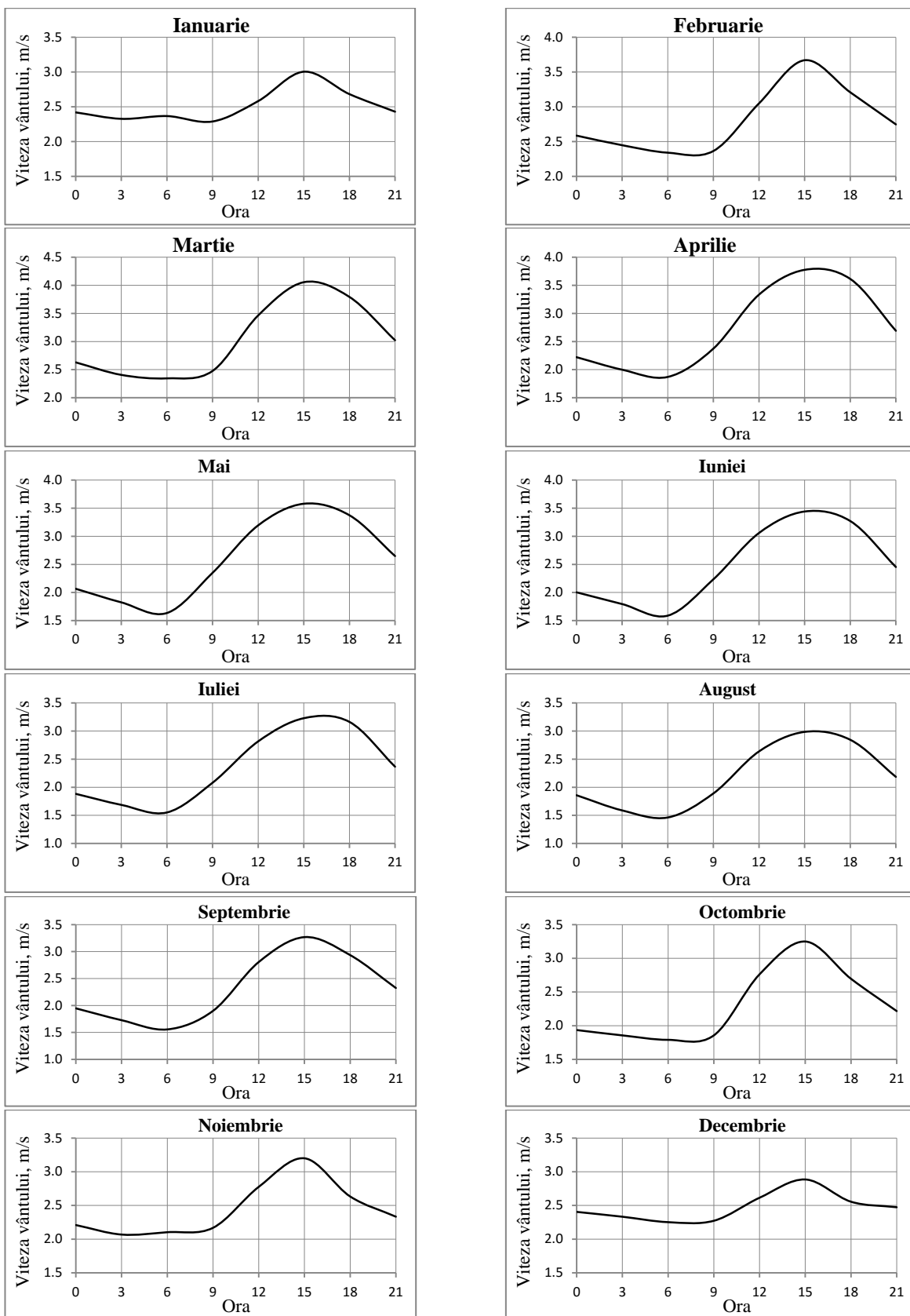


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

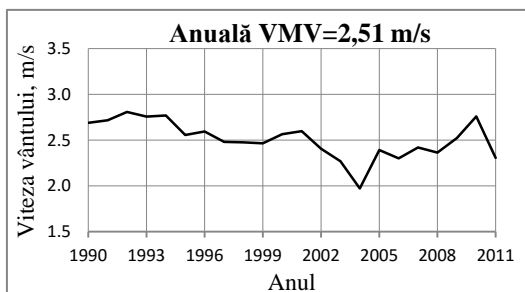


A1.11. Stația hidrometeorologică Cornești

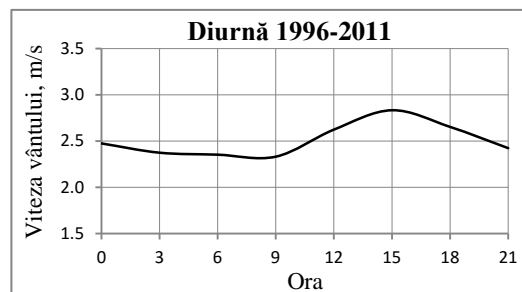
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $47^{\circ} 22' 1,81''$ latitudine nordică, $27^{\circ} 59' 38,33''$ longitudine estică, altitudinea de 232 m deasupra nivelului mării și este situată în preajma satului Cornești, raionul Ungheni. Aceasta este amplasată în Zona Codrilor, succedată de un relief deluros, întretăiat de vâlcele și râpe, orientate în diferite direcții. La 3 km spre nord-est și est se întinde un masiv forestier. La o distanță de 3 km spre vest de stație curge râul Pojarnaia, pantele văii râului sunt ocupate cu grădini, vii și livezi. În partea de vest a stației la aproximativ 350 m se întinde un lac de acumulare cu o suprafață medie.



Fig. A 1.11. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Cornești, imagine MapInfo

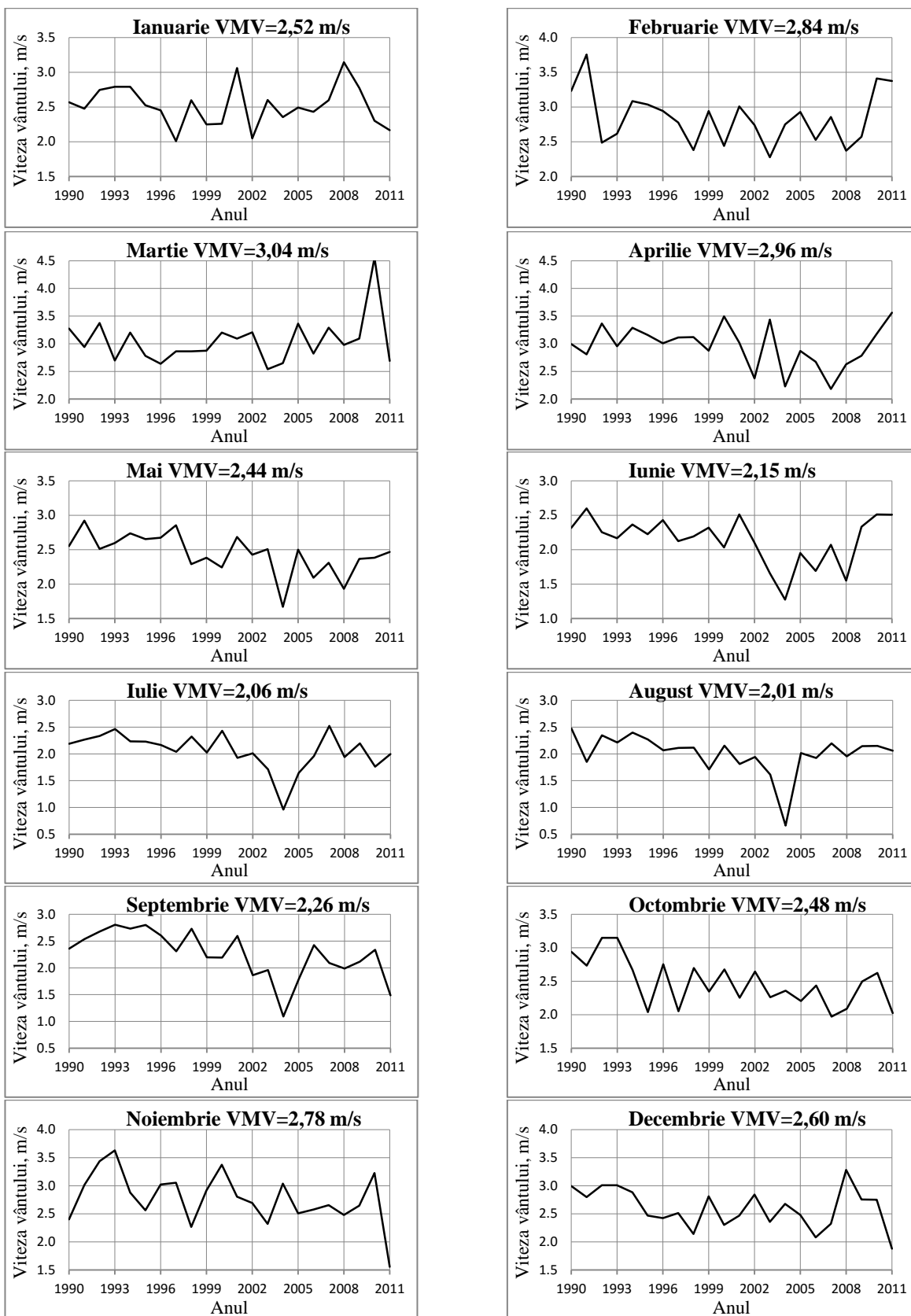


Variația anuală a vitezei vântului

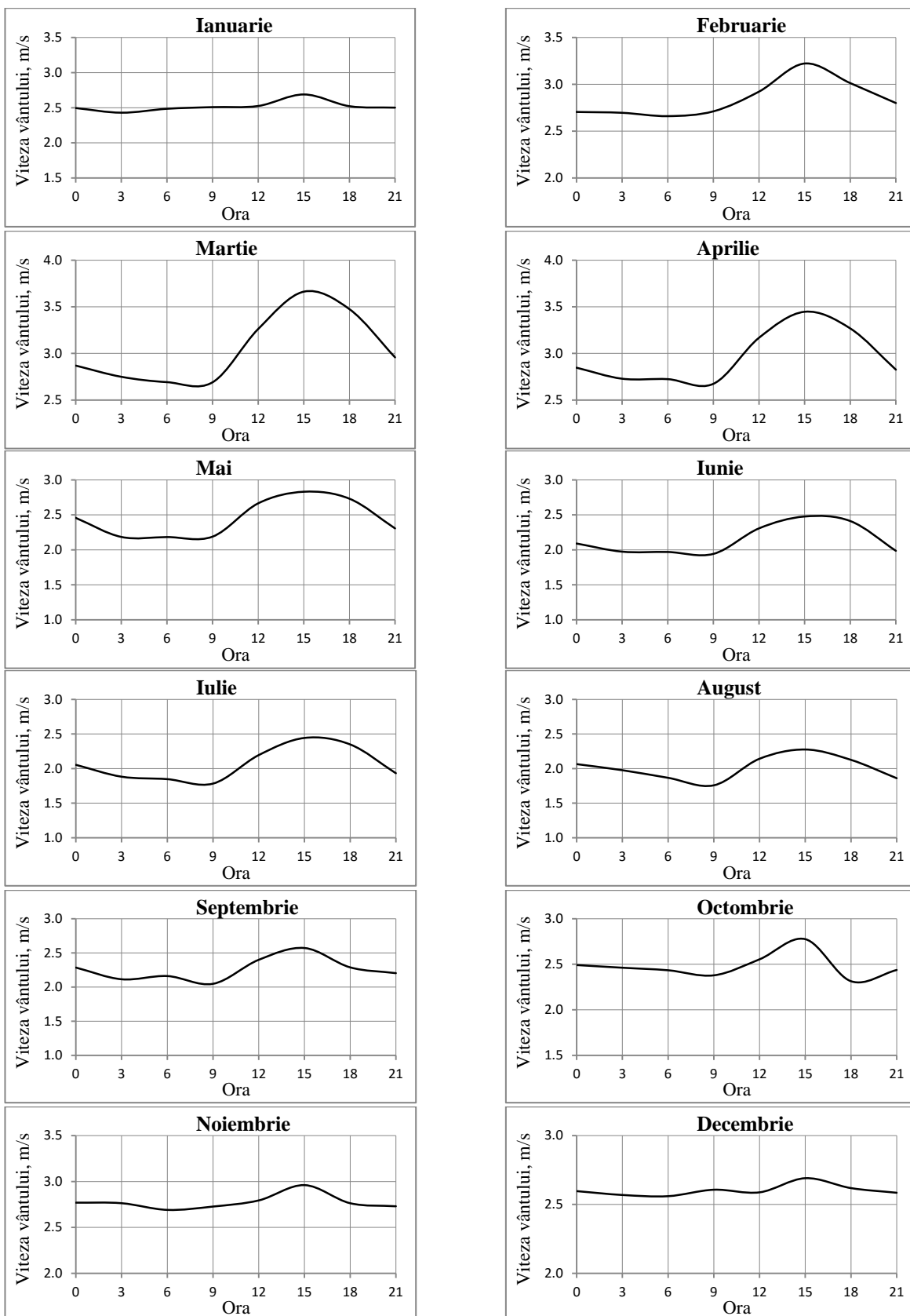


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

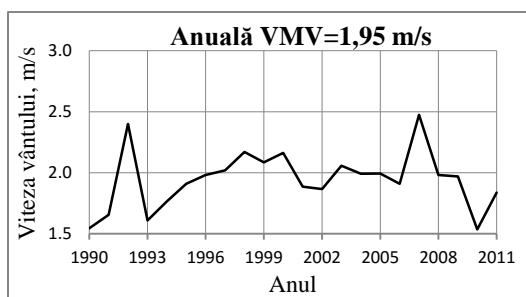


A1.12. Stația hidrometeorologică Dubăsari

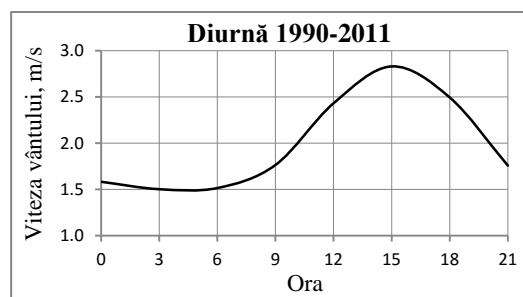
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $47^{\circ} 17' 22,96''$ latitudine nordică, $29^{\circ} 7' 25,07''$ longitudine estică, altitudinea de 40 m deasupra nivelului mării și este amplasată în partea de nord-vest a orașului Dubăsari, la o distanță de 150 m de la malul stâng a râului Nistru. Stația este situată pe panta văii râului Nistru, care are lățimea văii de 3,5 – 4,5 km, iar pantele careia sunt moderat-abrupte cu înălțimea de 100-120 m. Versantul stâng este puternic întretăiat de vâlcele și râpe, versantul drept, la 3 km sud de stație, este întretăiat de valea râului Răut care este afluent de dreapta al râului Nistru. La sud, aproximativ 2,5 km de stație, terenul este deluros. Spre vest de stație, la distanța de cca. 300 m, se întinde bazinul de acumulare Dubăsari cu lățimea aproximativ 1,4 km. Pantele văii sunt acoperite cu livezi și vii, crestele acestora, fiind destinate pentru agricultură. La 1-1,5 km spre vest, pe versantul drept al văii, se întinde un masiv păduros de aproximativ 3 km², iar de celelalte părți stația este înconjurată de sate.



Fig. A 1.12. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Dubăsari, imagine MapInfo

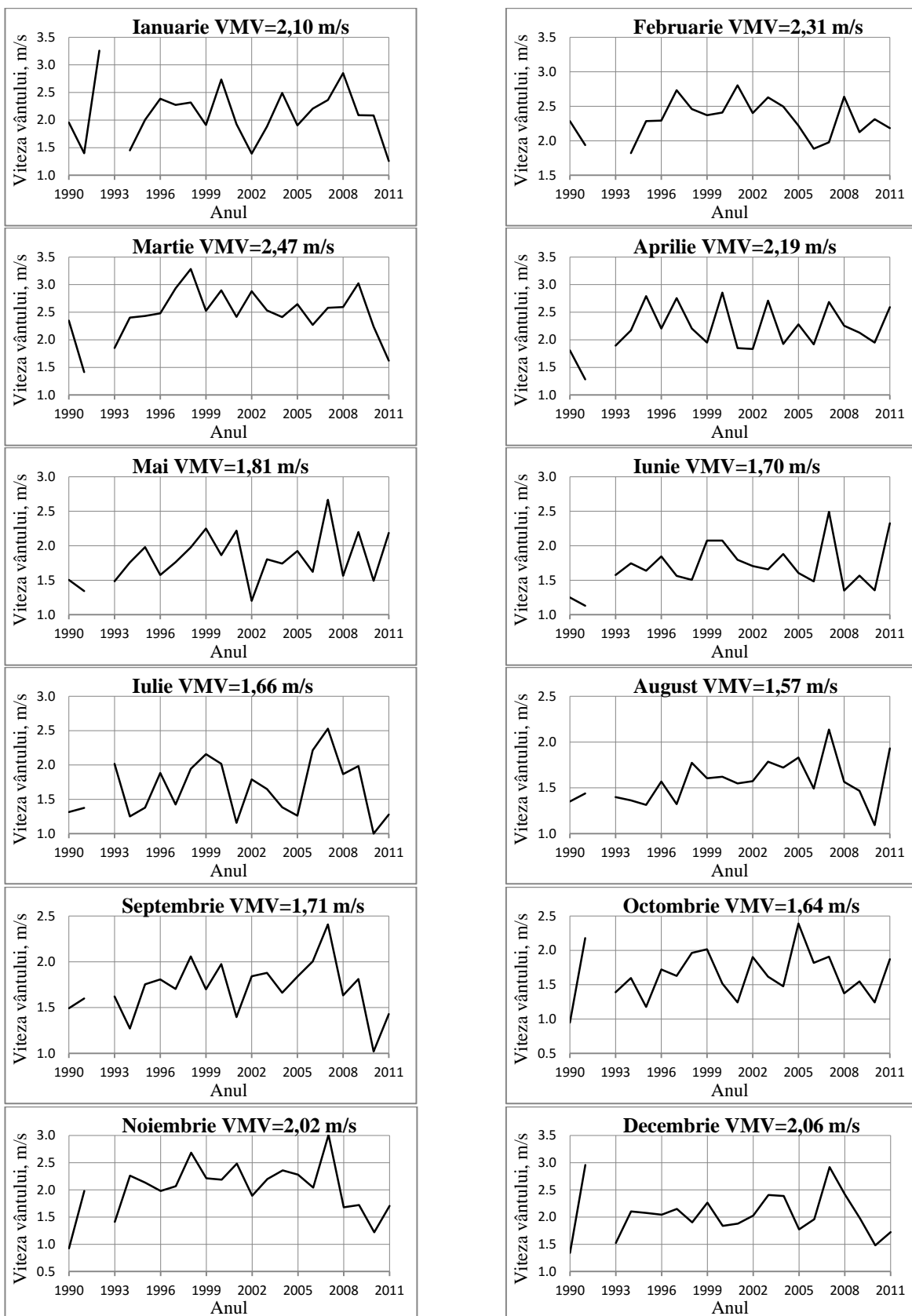


Variația anuală a vitezei vântului

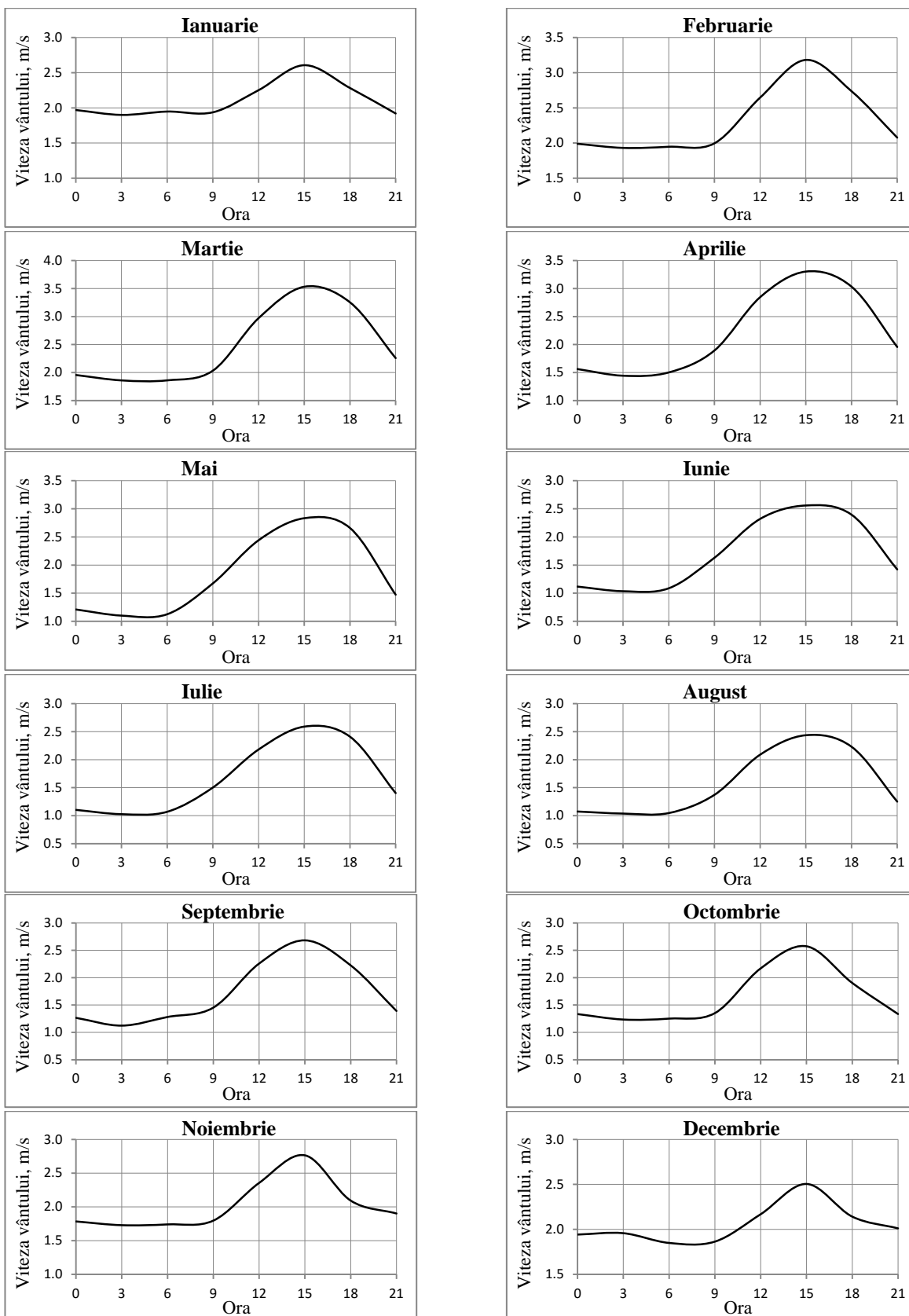


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună



A1.13. Stația hidrometeorologică Fălești

Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $47^{\circ} 35' 0,28''$ latitudine nordică, $27^{\circ} 42' 17,53''$ longitudine estică, altitudinea de 162 m deasupra nivelului mării și este situată în zona câmpiei Prutului, în partea de nord-vest a orașului Fălești, cu înclinație ușoară de la nord spre sud. Relieful din preajmă este deluros, întretăiat de numeroase vâlcele, râpe, dealuri, versanți, care depășesc înălțimea locului pe care este amplasată stația cu 15-50 m. Spre sud și sud-est de stația meteorologică, la o distanță de 1,5 km, se află un bazin de acumulare cu suprafața de 12 hectare. Pantele vâlcelor și ale râpelor sunt plantate cu culturi agricole, viță de vie și livezi. La o distanță de 10 km în direcția sud și sud-est se întâlnesc fâșii forestiere, relativ mici. În jurul stației, la distanța de 2-8 km, sunt amplasate localități rurale.

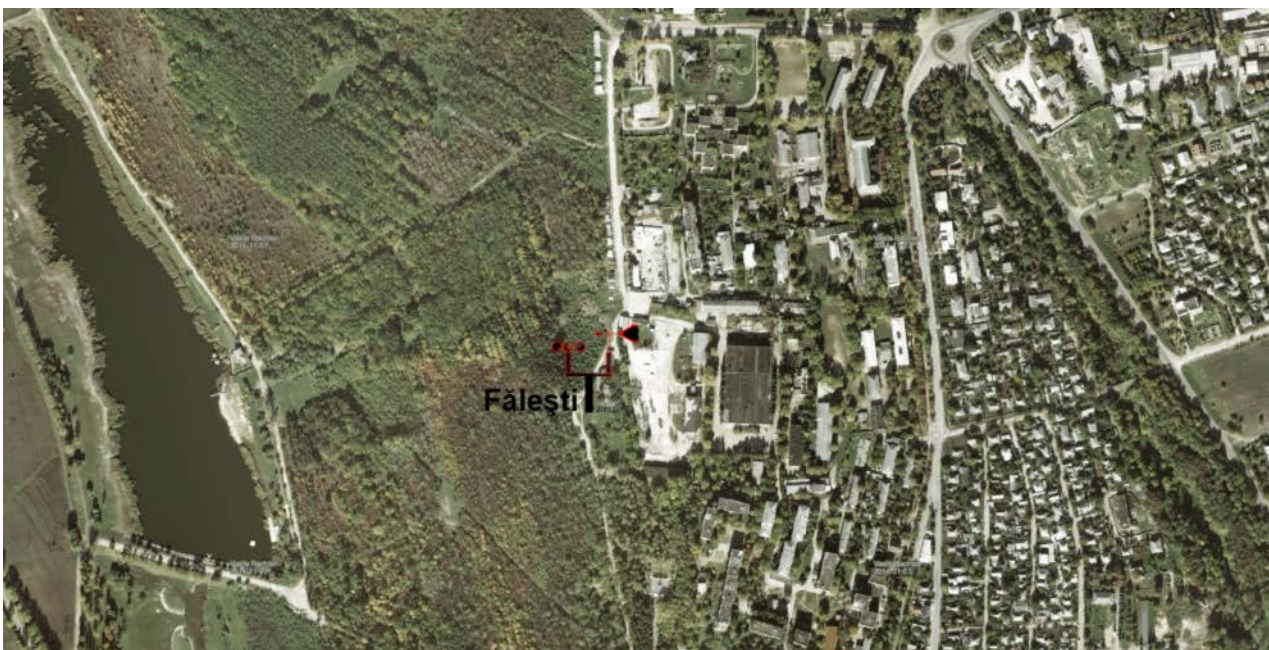
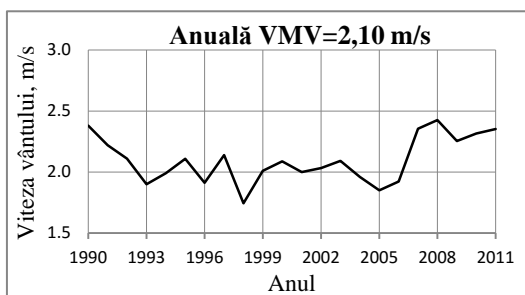
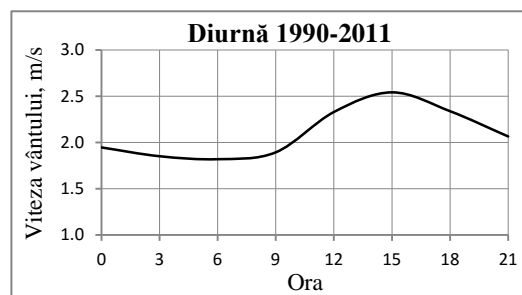


Fig. A 1.13. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Fălești, imagine MapInfo

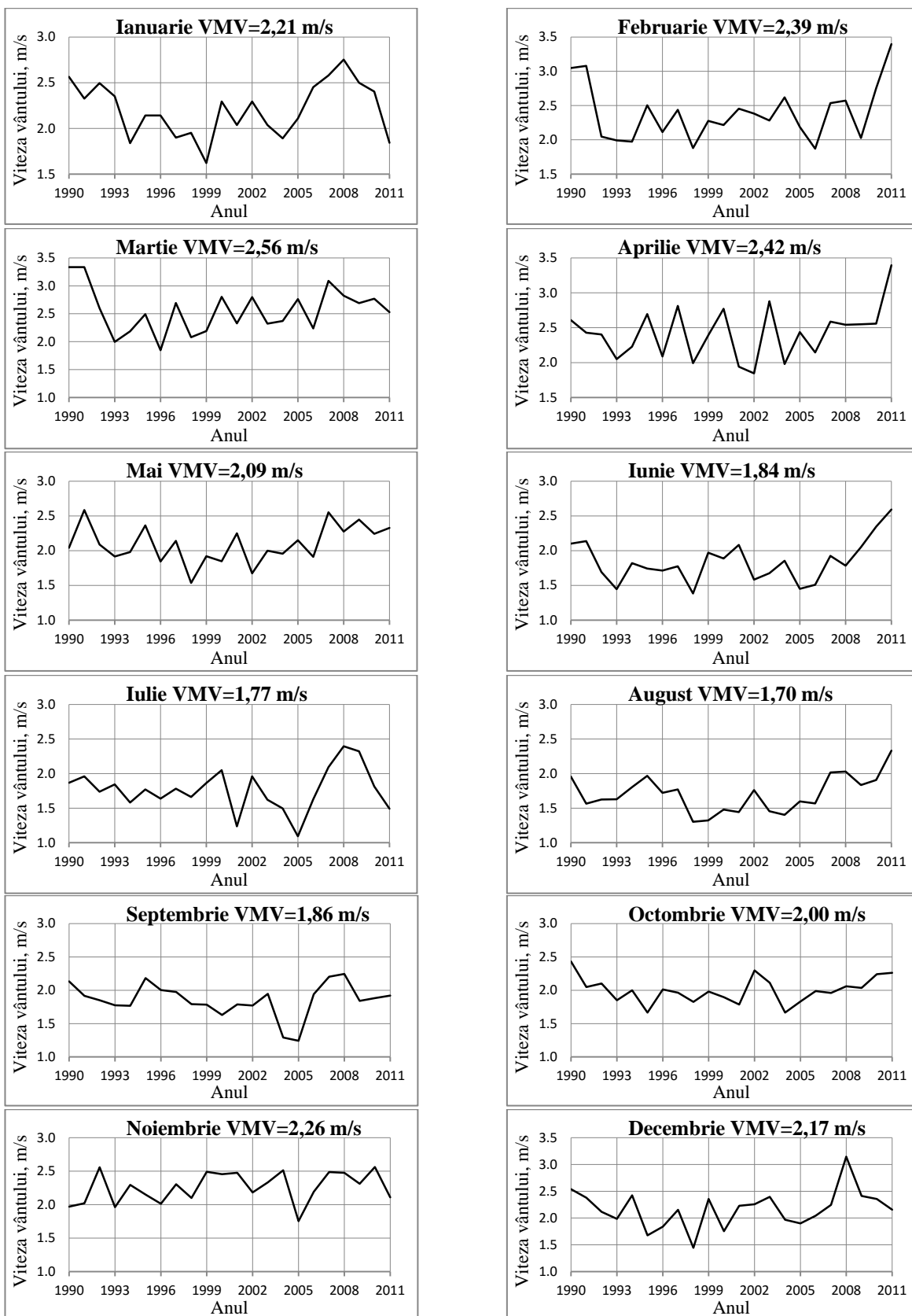


Variația anuală a vitezei vântului

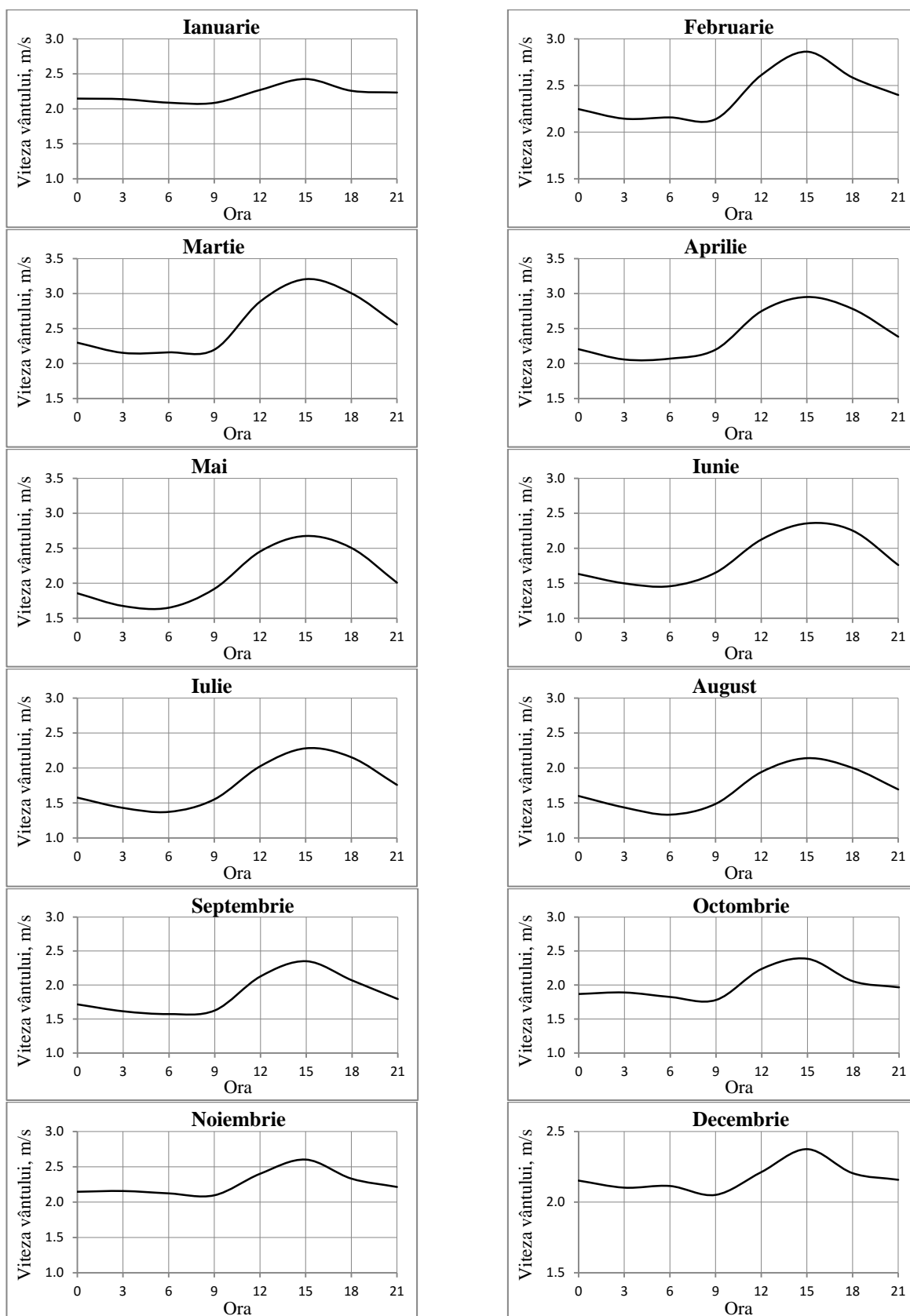


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

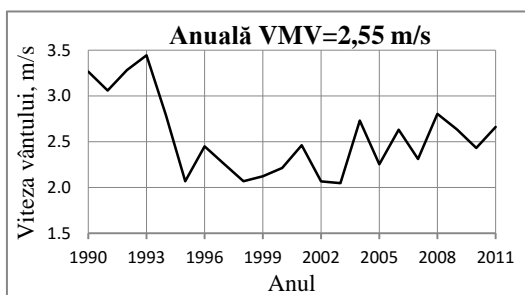


A1.14. Stația hidrometeorologică Leova

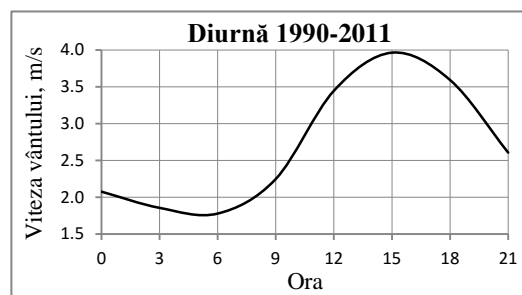
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $46^{\circ} 29' 18,31''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 17' 0,24''$ longitudine estică, altitudinea de 156 m deasupra nivelului mării și este situată pe una din terasele înalte din partea stângă a râului Prut, la periferia de nord a orașului Leova. Platforma meteorologică se află pe un loc neted, sectorul ocupat de ea este acoperit cu înveliș ierbos natural. La 100 m spre vest de platformă trece o șosea, însoțită de o parte și de alta decâte o linie de copaci. La 3 km spre vest de stație, în direcție meridională, curge râul Prut, la 3-5 km - râul Sîrma, iar la 7-8 km spre est râul Sărata. Văile râurilor Sîrma și Sărata au o adâncime de 160-180 m, iar pantele lor de dreapta sunt abrupte, pronunțat divizate de văgăuni și râpe cu o acțiune intensă de alunecare. Pantele de stânga sunt divizate moderat de vâlcele, parțial cultivate. Se întâlnesc masive forestiere, cu suprafața mai mare de 1 km².



Fig. A 1.14. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Leova, imagine MapInfo

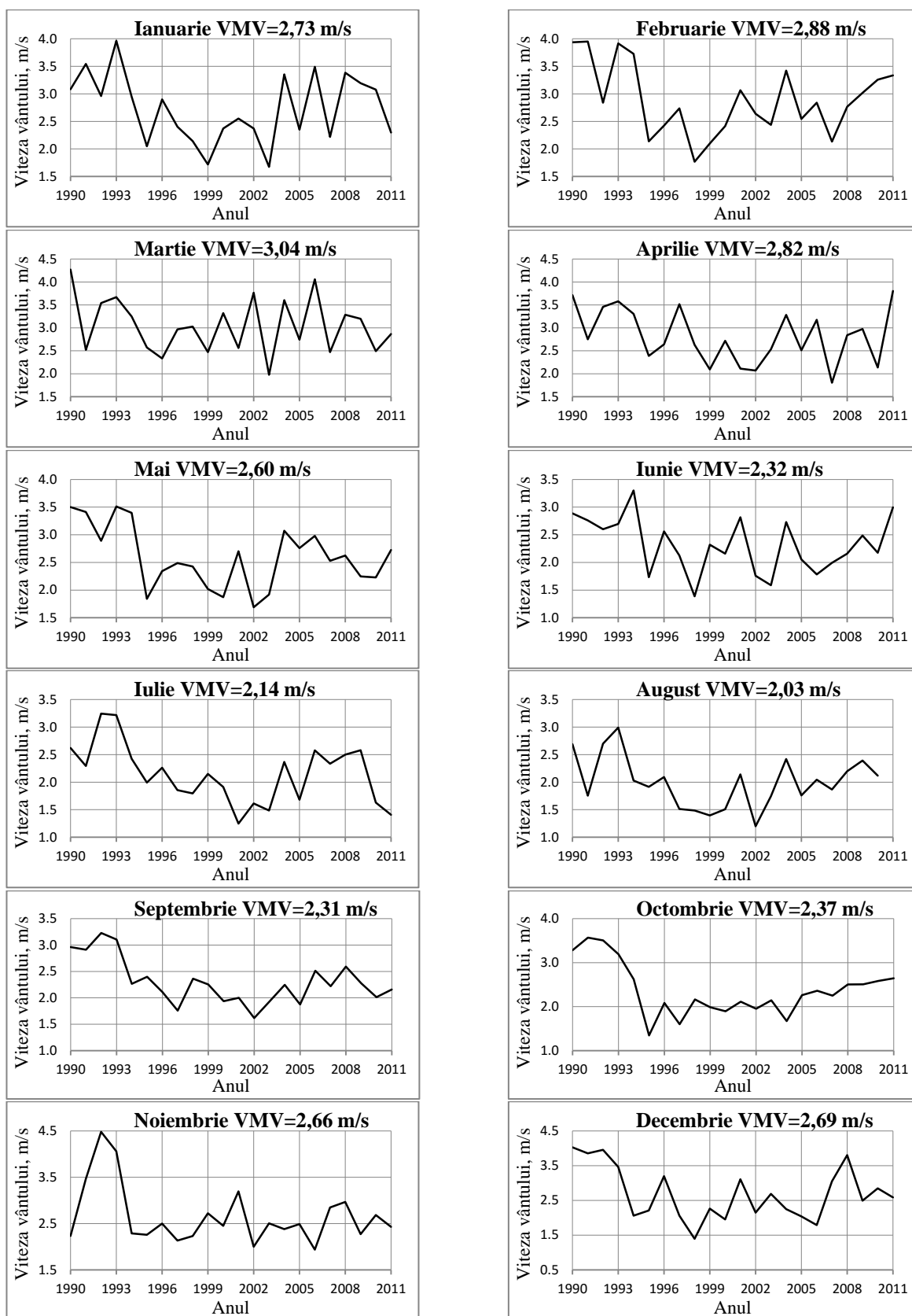


Variația anuală a vitezei vântului

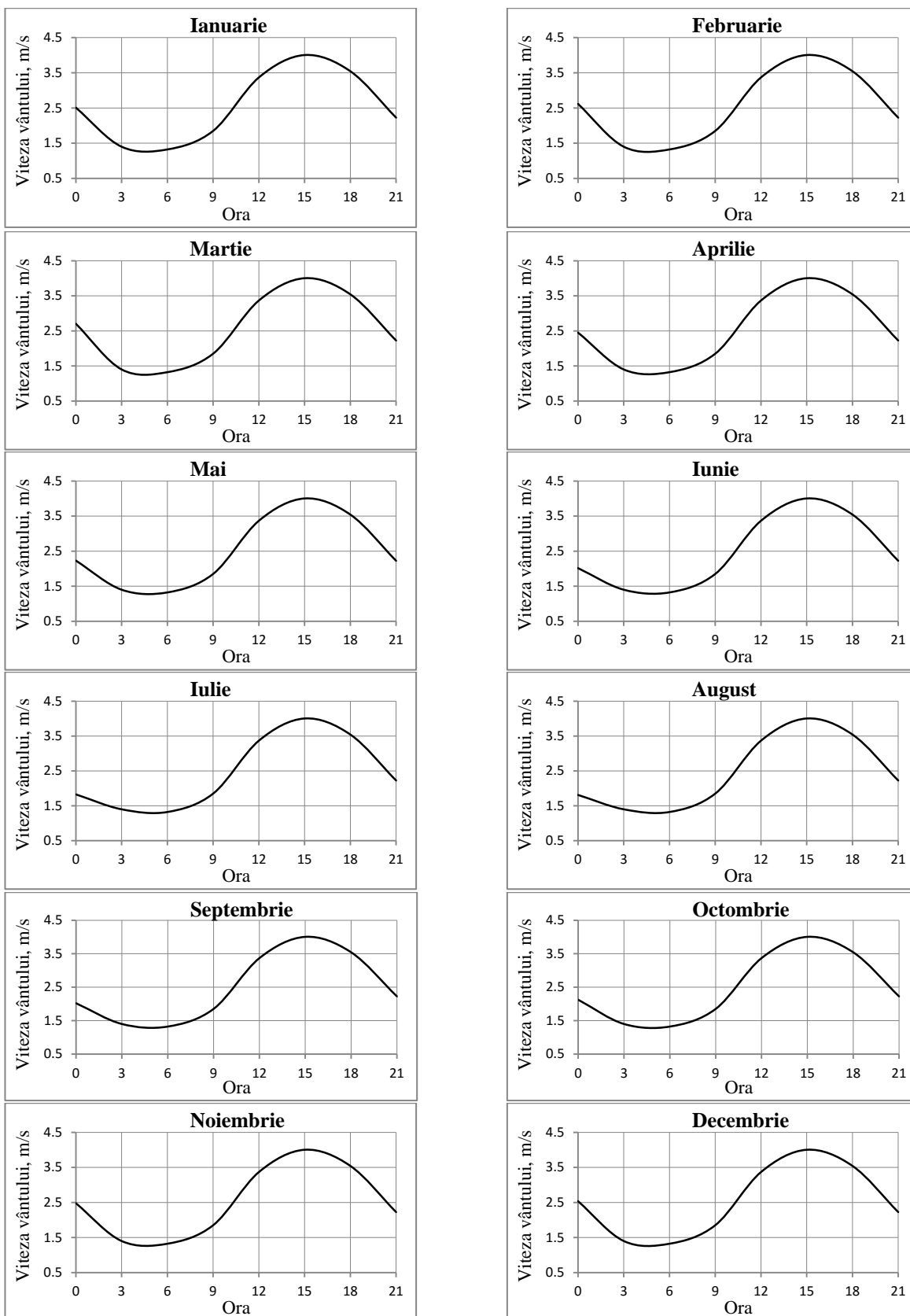


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

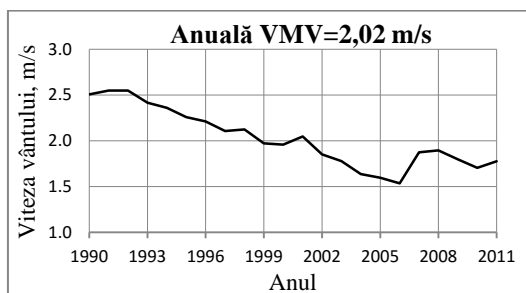


A1.15. Stația hidrometeorologică Rîbnița

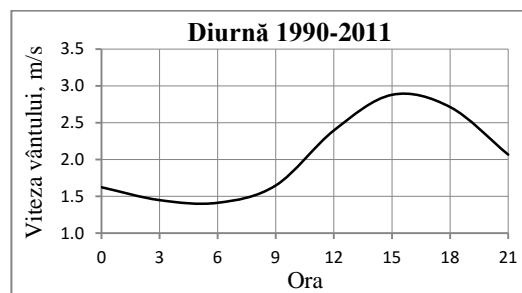
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $47^{\circ} 46' 21,11''$ latitudine nordică, $29^{\circ} 0' 59,40''$ longitudine estică, altitudinea de 119 m deasupra nivelului mării și este situată în partea de nord-est a orașului Rîbnița, pe malul stîng al râului Nistru, avînd cote absolute între 160-240 m. Relieful din preajma stației este întretăiat de văi, râulețe cu adîncimea de 60-80 cm și de râpe cu adîncimea de 15-20 m. Spre Vest de stație, în direcție meridională la o distanță de 1 km își ia începutul lacul de acumulare Dubăsari. La 1,5 km, în direcția sudică de stație, curge râul Rîbnița, în care se revarsă doi afluenți, de partea stîngă și dreaptă a râului. Din partea malului drept al lacului de acumulare Dubăsari, la 1,5 km spre V de stație, se revarsă râul Ciorna, malurile căruia ating cote de până la 100 m. Pe malul drept și stîng al bazinului de acumulare se întîlnesc fâșii împădurite, avînd suprafețe cuprinse între 8-10 km². În marea majoritate, sectoarele din preajma stației sunt supuse activității agricole.



Fig. A 1.15. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Rîbnița, imagine MapInfo

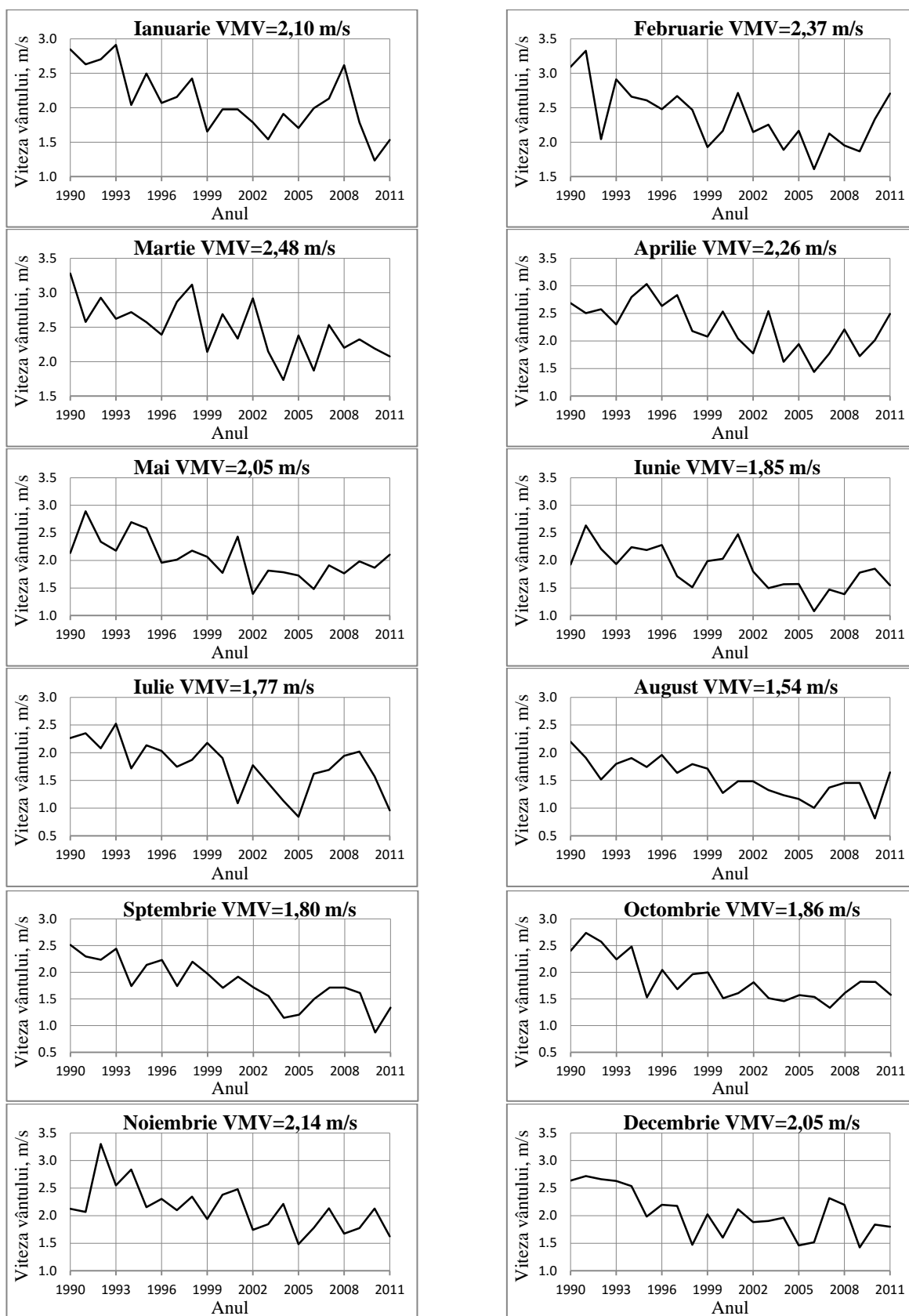


Variația anuală a vitezei vântului

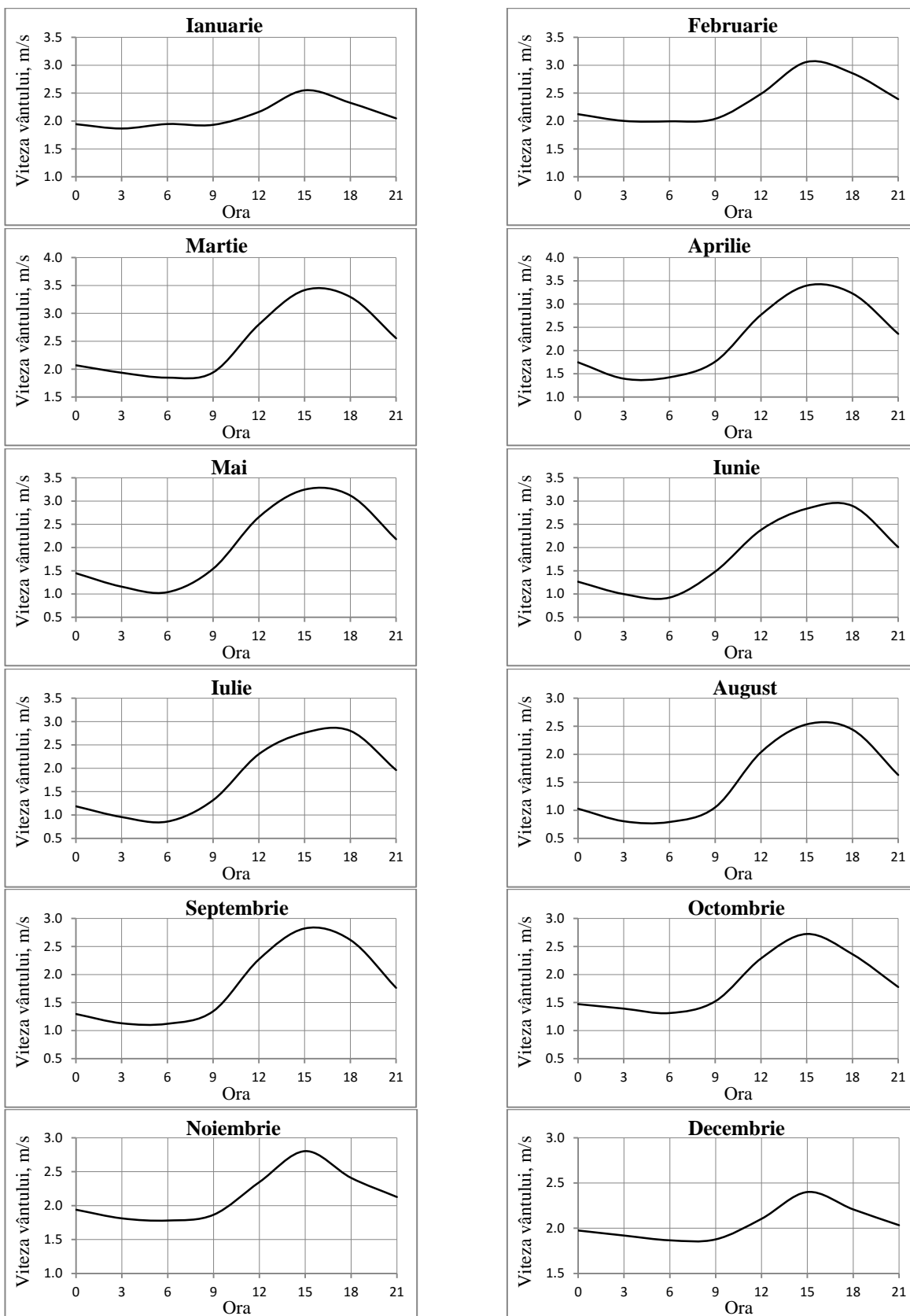


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

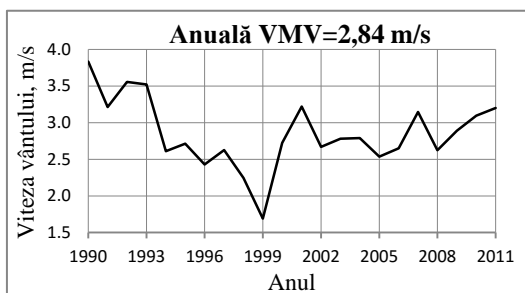


A1.16. Stația hidrometeorologică Soroca

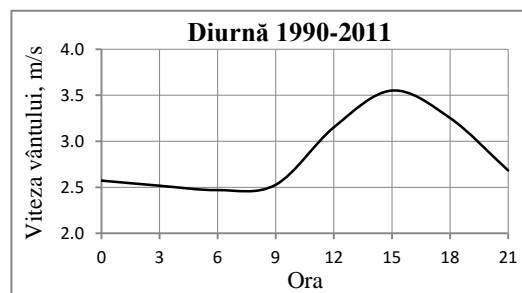
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $48^{\circ} 11' 54,56''$ latitudine nordică, $28^{\circ} 18' 42,80''$ longitudine estică, altitudinea de 173 m deasupra nivelului mării și este situată pe malul drept al râului Nistru, la distanța de 5-7 km spre nord-est, având cotele absolute de 200-300 m, la 6 km depărtare de orașul Soroca. Relieful regiunii este deluros, întretăiat de vâlcele și râpe, cu precădere spre est și sud, micșorându-și treptat altitudinea, iar la distanța de aproximativ 2 km spre sud panta coboară brusc sub un unghi de $30-35^{\circ}$ și trece treptat în valea râului Nistru. Valea râului este intens valorificată și utilizată în scopuri agricole, iar pe alocuri se întâlnesc grupuri răslețe de pomi și construcții. La 700 m în direcția sud-vest de stație, pe o distanță de 2 km se întinde o pădure de foioase, acoperind văile râpelor.



Fig. A 1.16. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Soroca, imagine MapInfo

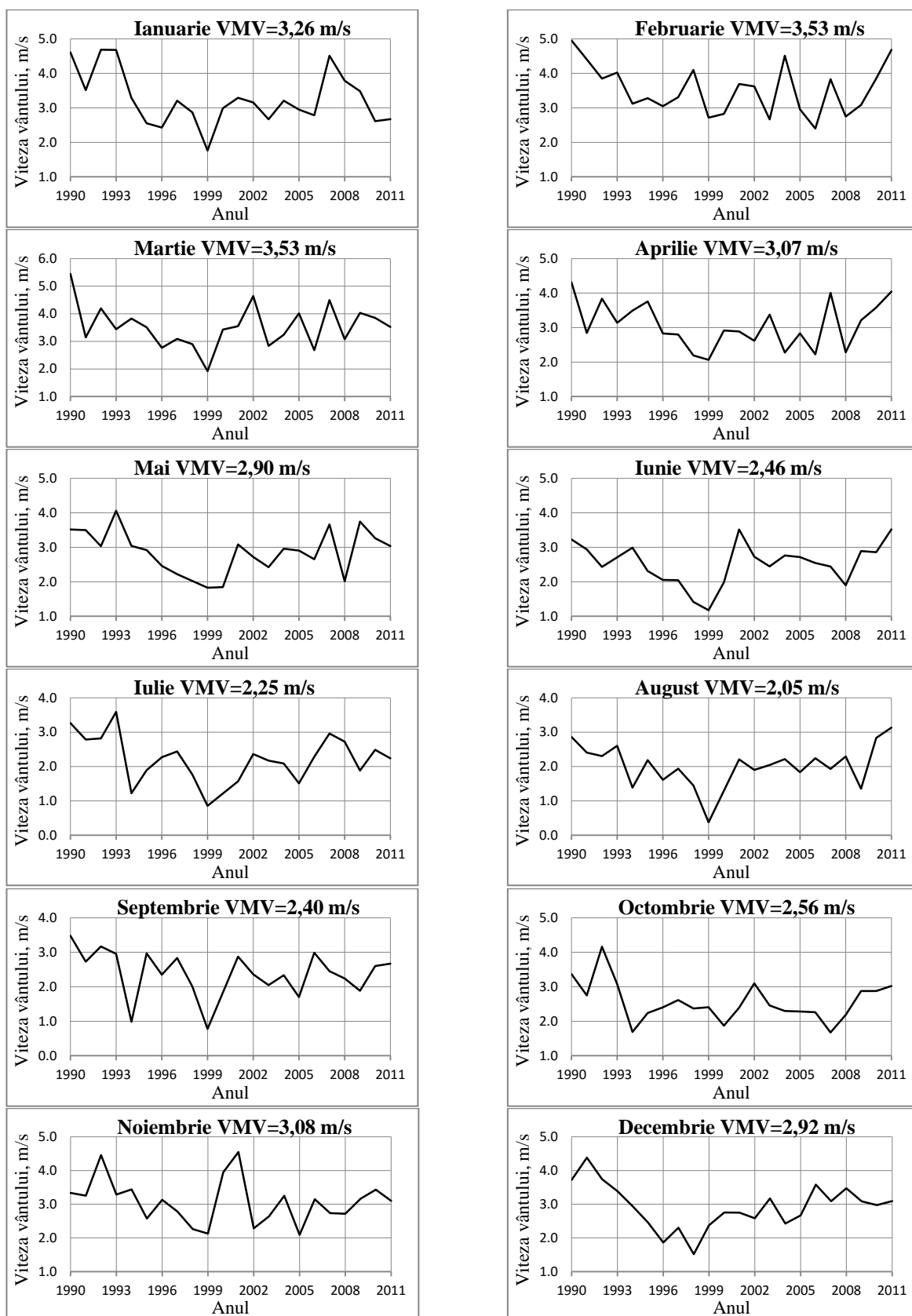


Variația anuală a vitezei vântului

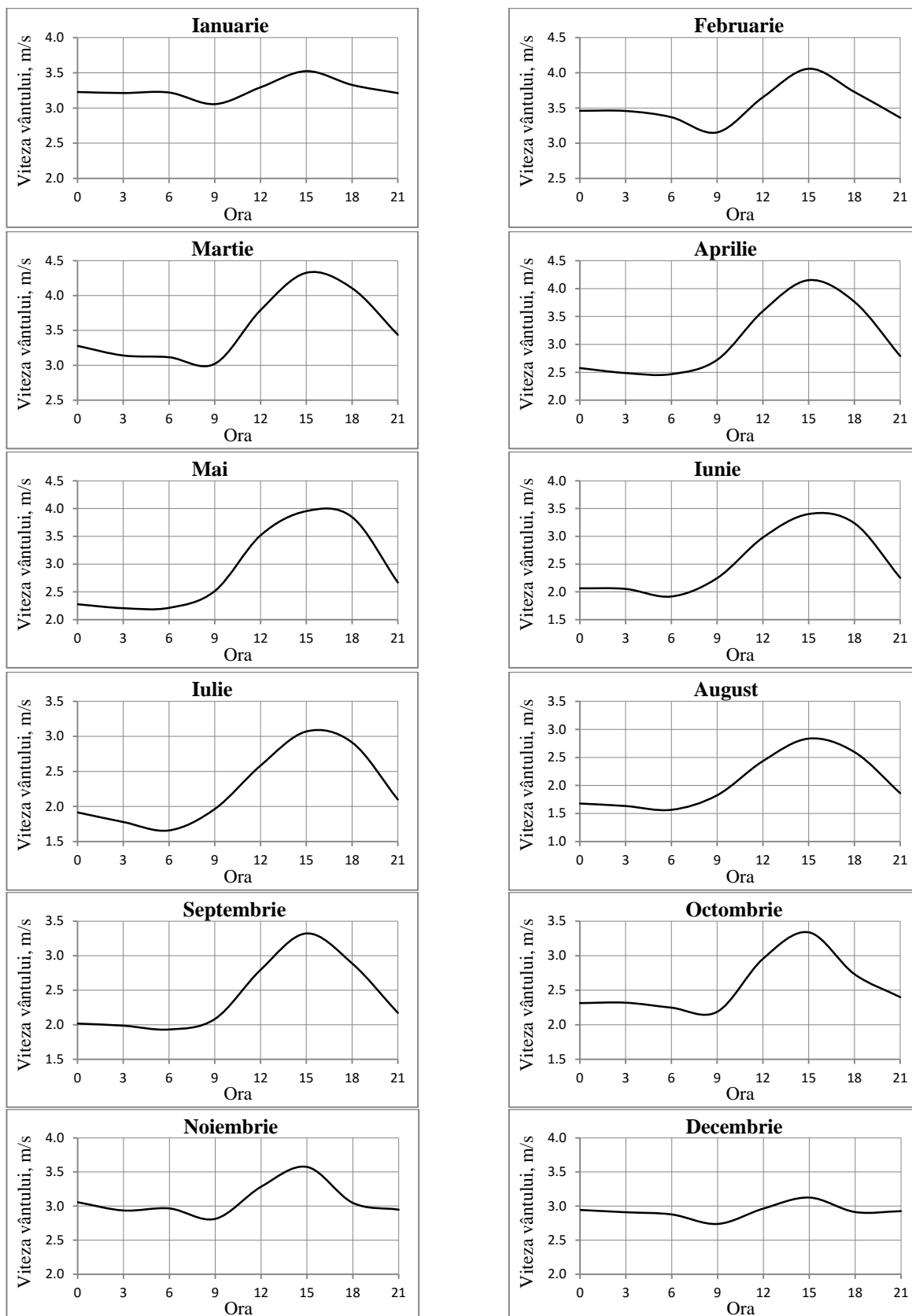


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună

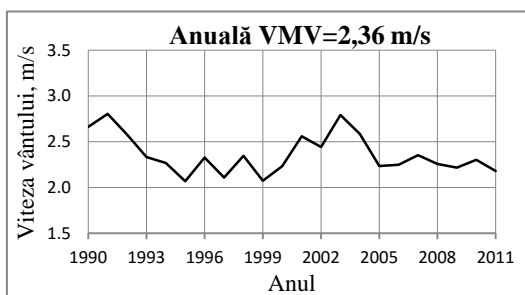


A 1.17. Stația hidrometeorologică Ștefan-Vodă

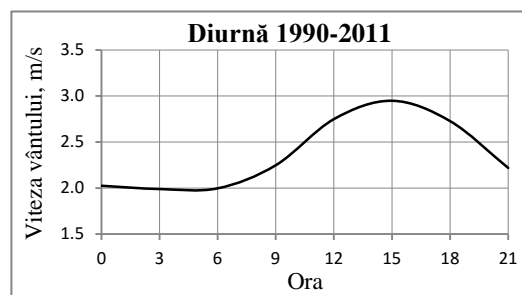
Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice 46° 31' 40,37" latitudine nordică, 29° 39' 4,18" longitudine estică, altitudinea de 173 m deasupra nivelului mării și este situată în partea de vest a Câmpiei Mării Negre. Este amplasată la periferia nord-vest a orașului Ștefan-Vodă. În oraș predomină construcții cu un singur nivel, iar sectorul pe care este situată stația, este neted, acoperit cu un înveliș ierbos natural. Teritoriul acestei zone reprezintă o câmpie deluroasă înclinată spre râul Nistru și spre depresiunea Mării Negre. Râul Nistru curge la o distanță de 10 km de la stație. Teritoriul din preajma stației este ocupat de câmpii, pe alocuri întretăiate de fâșii forestiere, iar la distanța de 10-12 m spre S-V este plantată o livadă. La 100 m spre est de platforma meteorologică trece șoseaua Căușeni-Belgorod-Dnestrovsc, iar la aproximativ 80 m spre sud de stație se află o clădire a Serviciului Hidrometeorologic de Stat cu două nivele.



Fig. A 1.17. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Ștefan-Vodă, imagine MapInfo

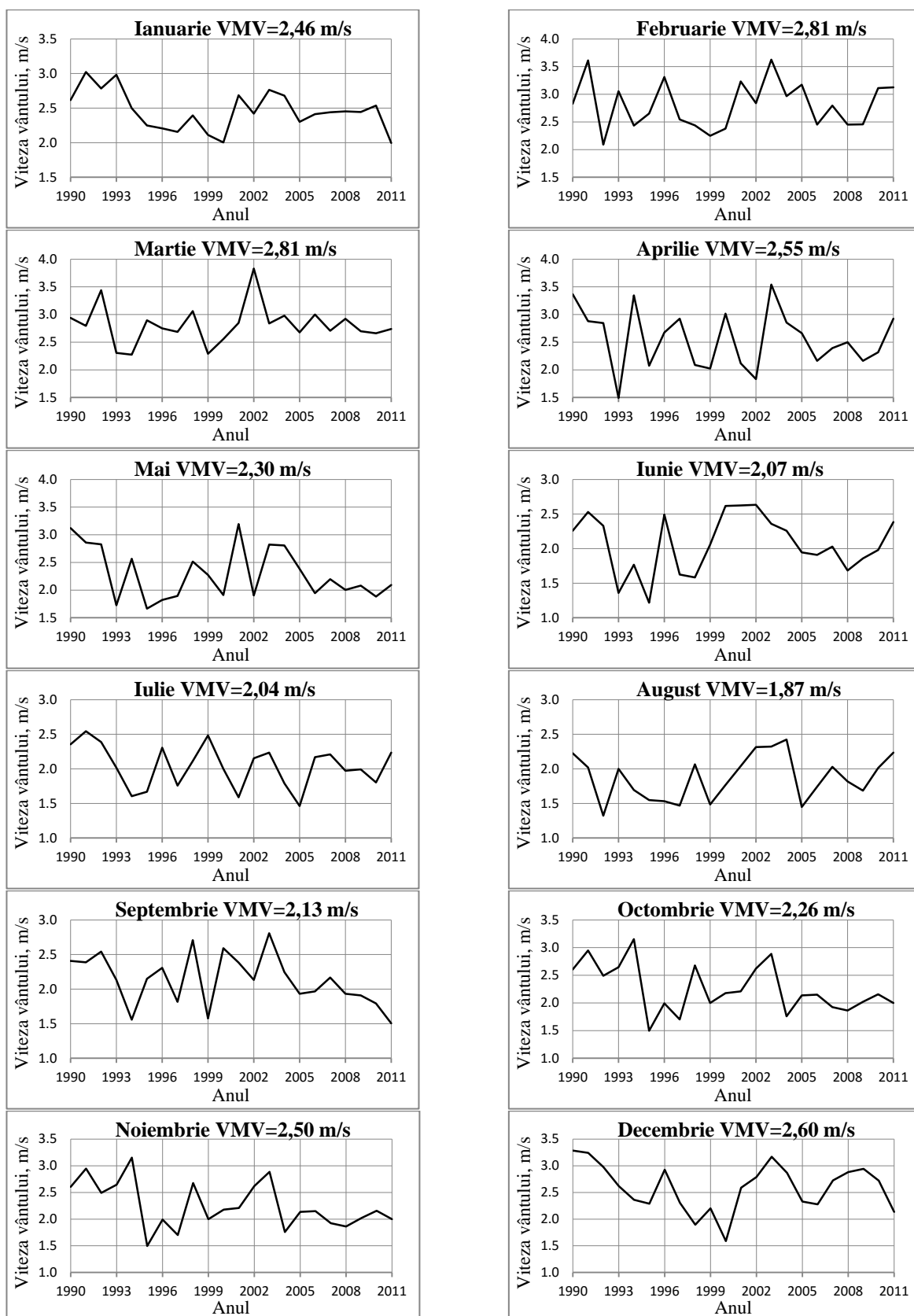


Variația anuală a vitezei vântului

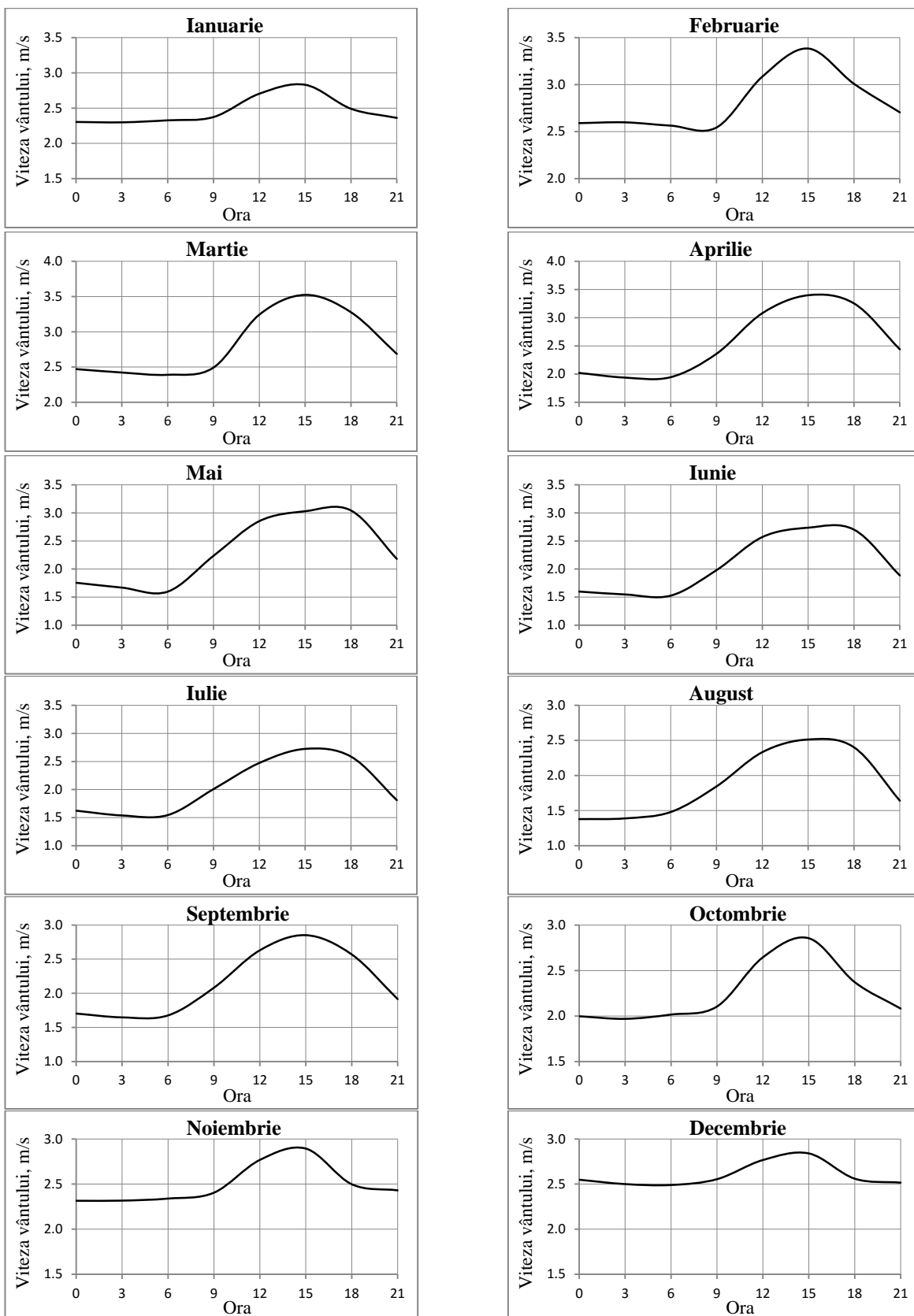


Variația diurnă a vitezei vântului

Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună



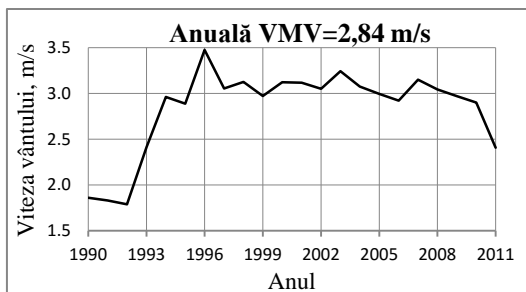
A1.18. Stația hidrometeorologică Tiraspol

Stația hidrometeorologică are coordonatele geografice $46^{\circ} 50' 3,52$ latitudine nordică, $29^{\circ} 37' 1,16$ " longitudine estică, altitudinea de 40 m deasupra nivelului mării și este situată pe panta din partea stângă a văii râului Nistru, fiind în partea de sud a orașului Tiraspol. Relieful regiunii se caracterizează prin prezența unor coline neînsemnate, cu peisaje preponderent plane, iar spre sud cu precădere la nivelul albiei râului. În vecinătatea stației se întâlnesc lanuri, grădini, livezi, vii, iar de-a lungul fluviului se întind păjiști, formațiuni forestiere și arbuști.

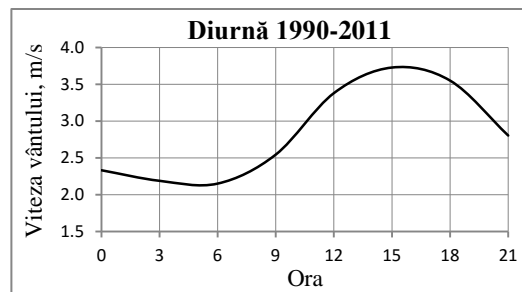
Platforma meteorologică este situată pe un loc plan, deschis, iar sectorul ocupat de ea este acoperit de un înveliș ierbos natural. La o distanță de aproximativ 500 m spre nord-est de stație trece calea ferată. Spre sud de stație, la o distanță de 1 km, curge râul Nistru, pe malul stâng al căruia este situată stația. Albia râului șerpuiește, formând un șir de meandre. Malurile fluviului sunt înalte de 2-5 m, iar lățimea râului - 100-120 m.



Fig. A 1.18. Amplasarea geografică a stației hidrometeorologice Tiraspol, imagine MapInfo

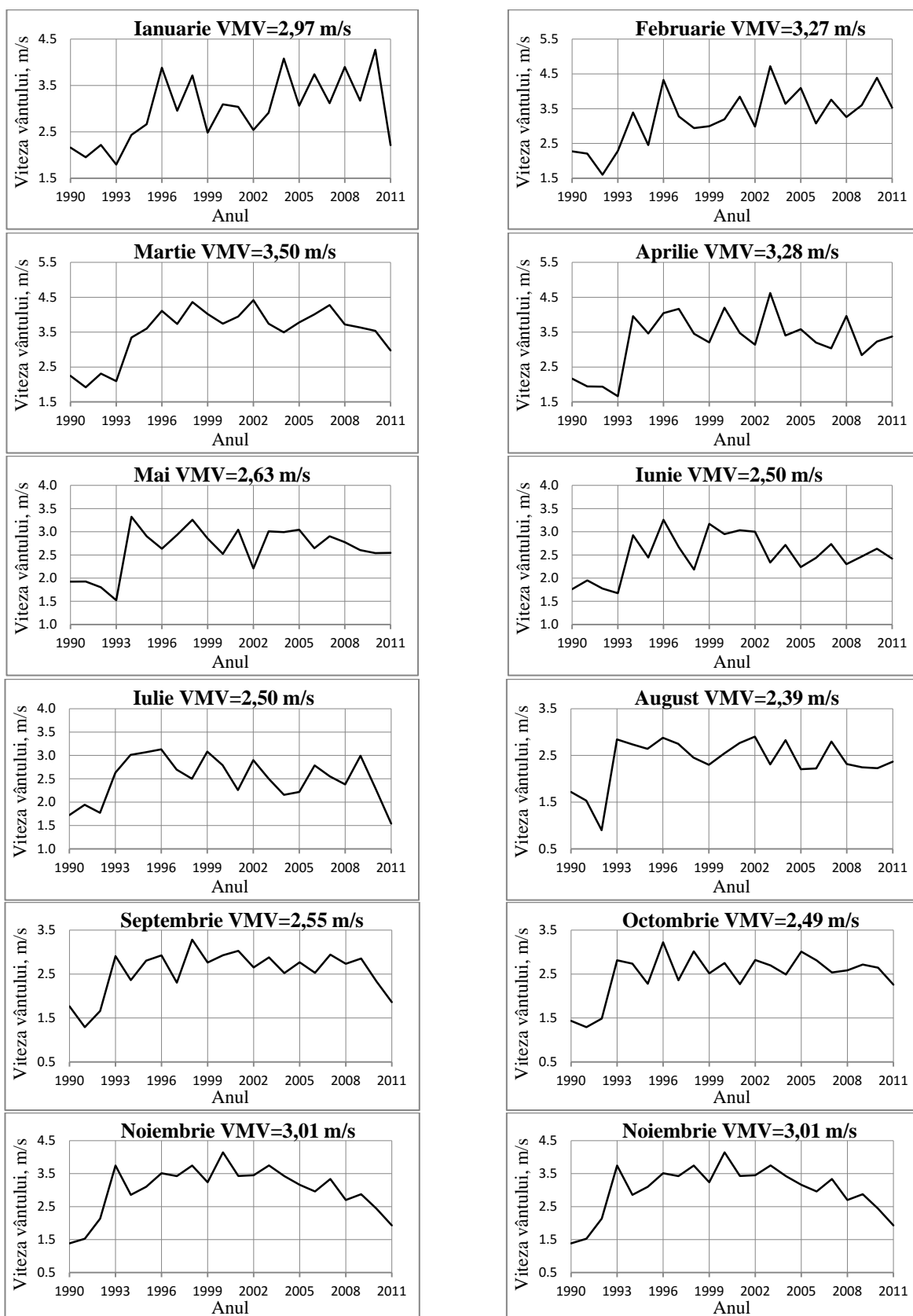


Variația anuală a vitezei vântului

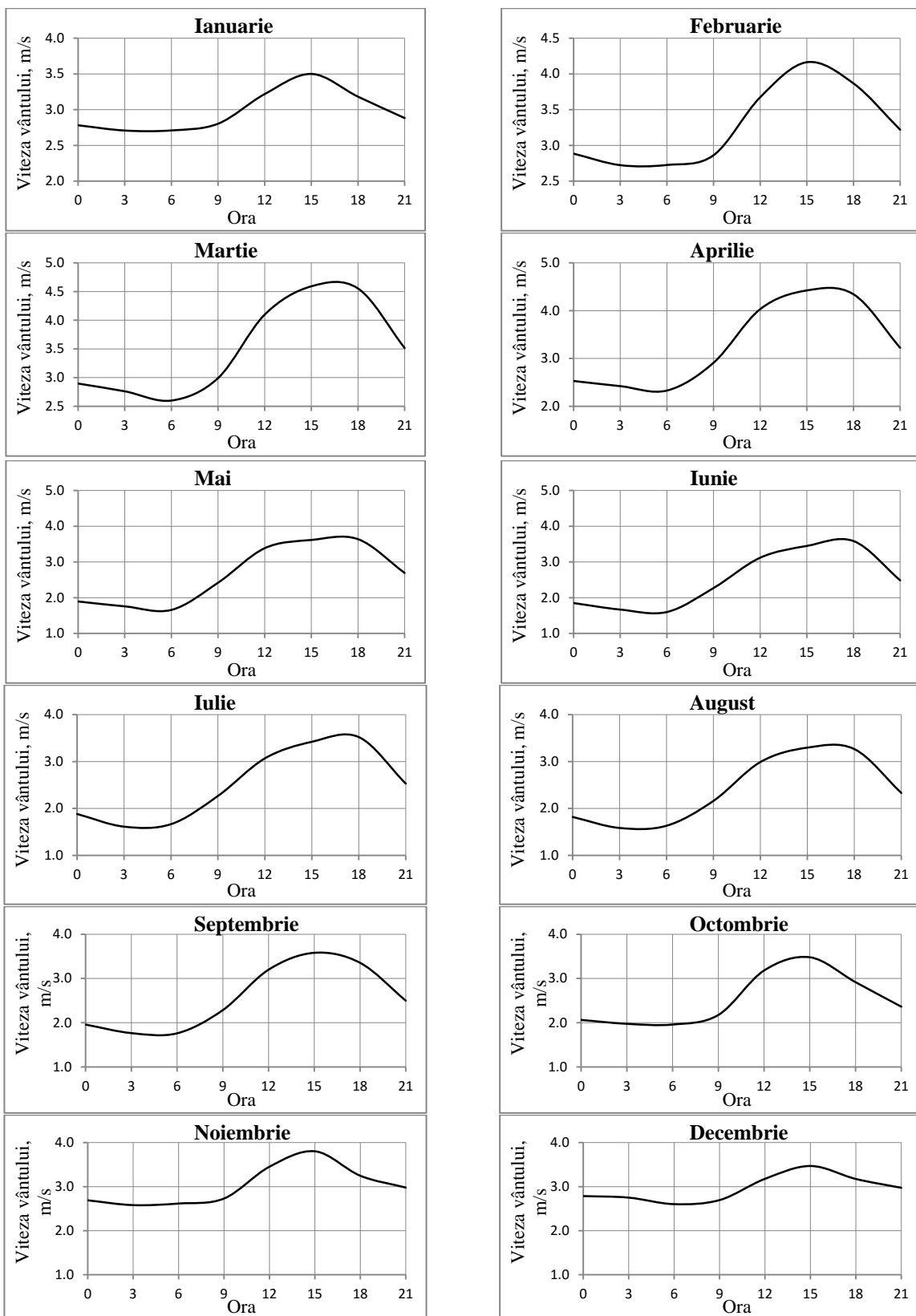


Variația diurnă a vitezei vântului

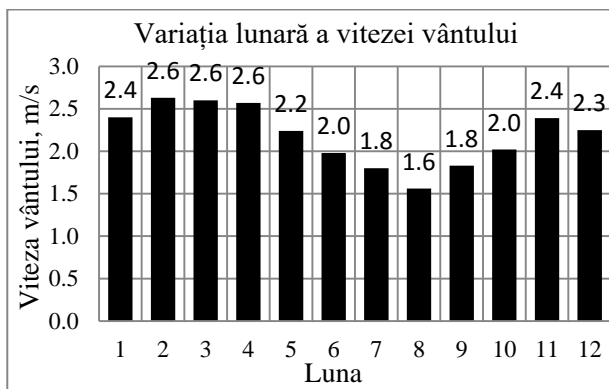
Variația anuală a vitezei vântului pentru fiecare lună



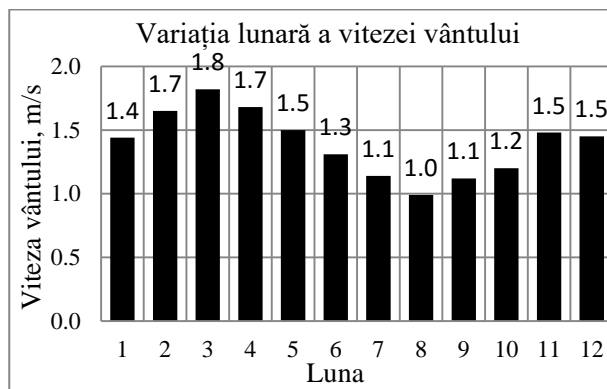
Variația diurnă a vitezei vântului pentru fiecare lună



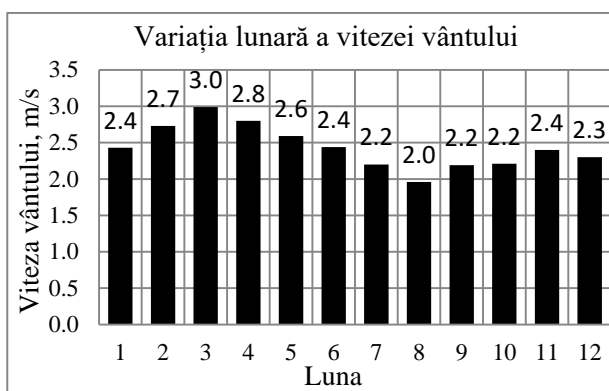
A2. Variațiile lunare pentru cele 18 stații hidrometeorologice amplasate pe teritoriul Republicii Moldova



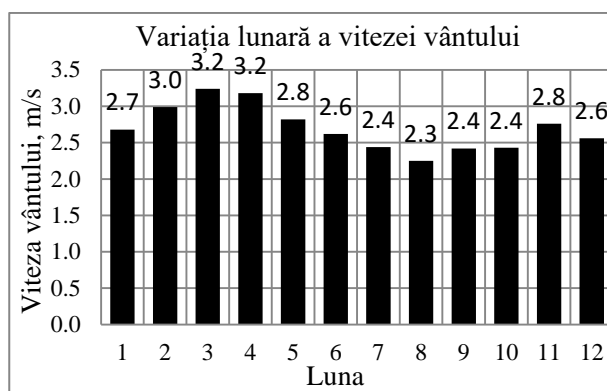
Stația Briceni



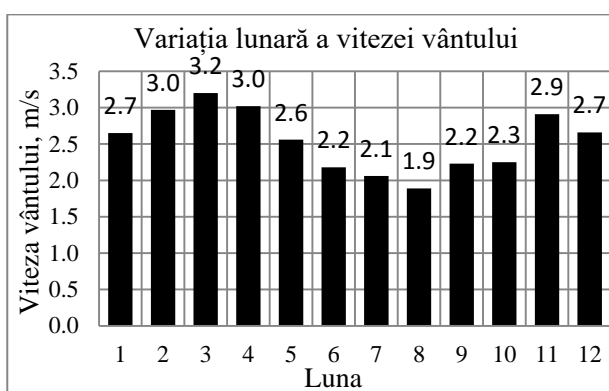
Stația Bravicea



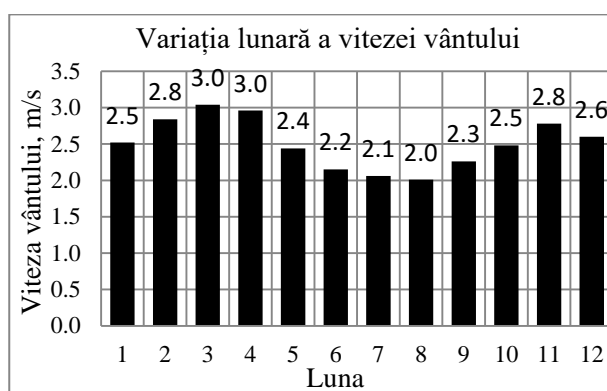
Stația Bălțața



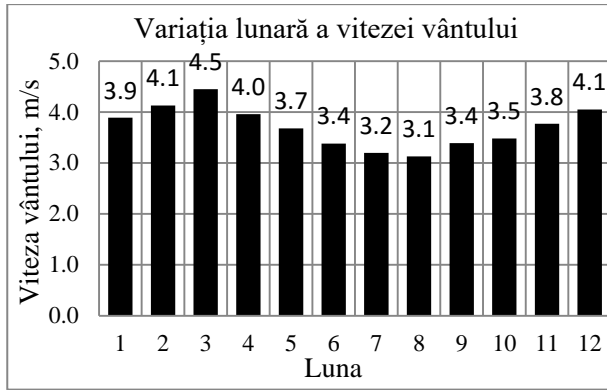
Stația Bălți



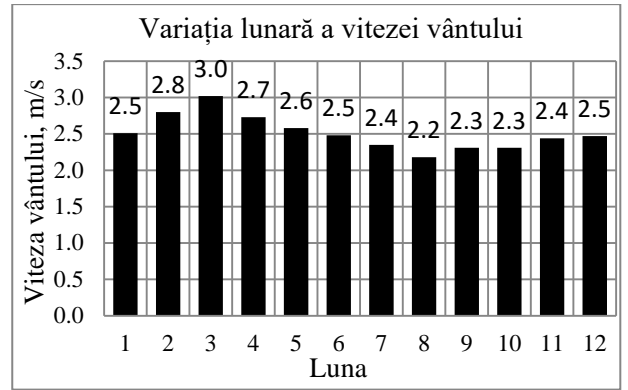
Stația Camenca



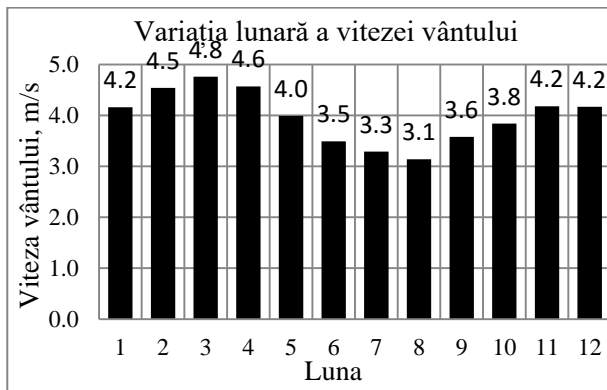
Stația Cornești



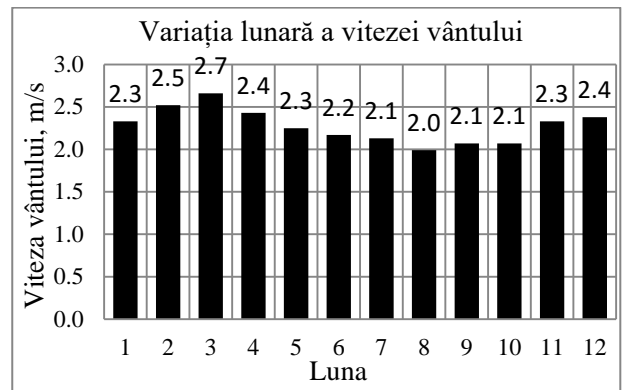
Stația Cahul



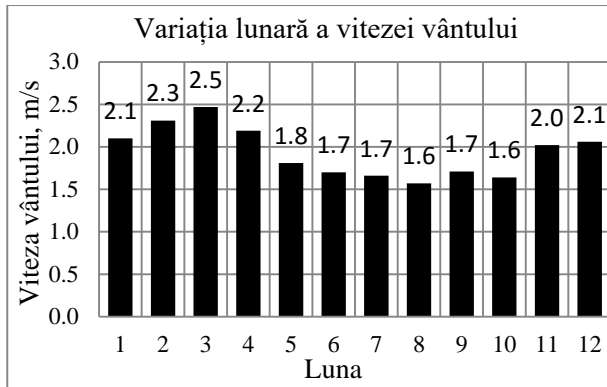
Stația Comrat



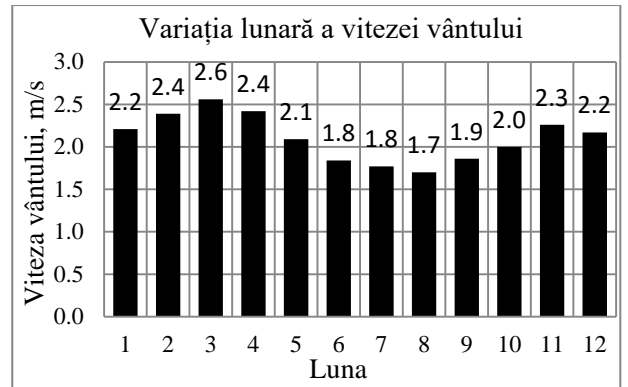
Stația Ceadâr-Lunga



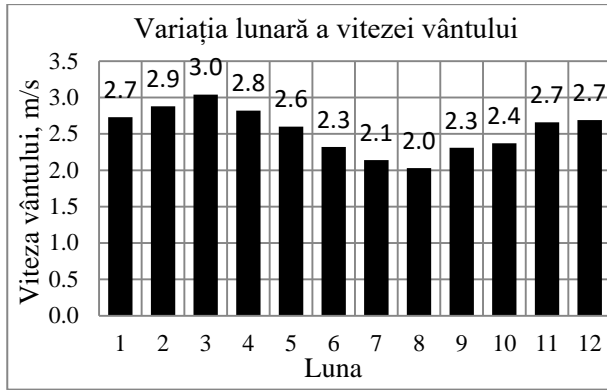
Stația Chișinău



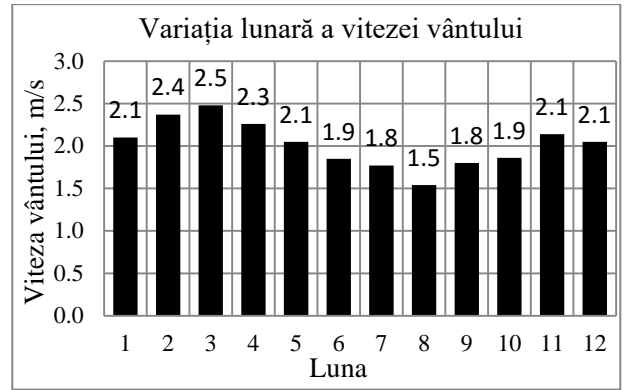
Stația Dubăsari



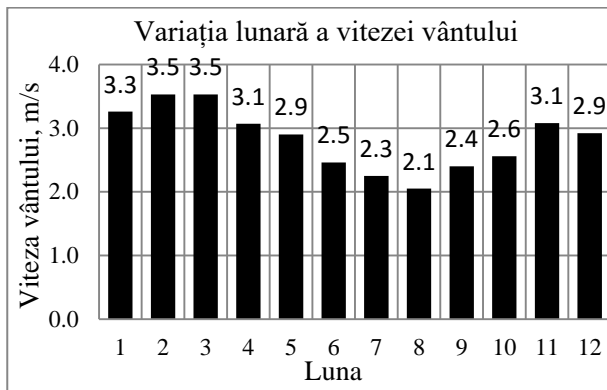
Stația Fălești



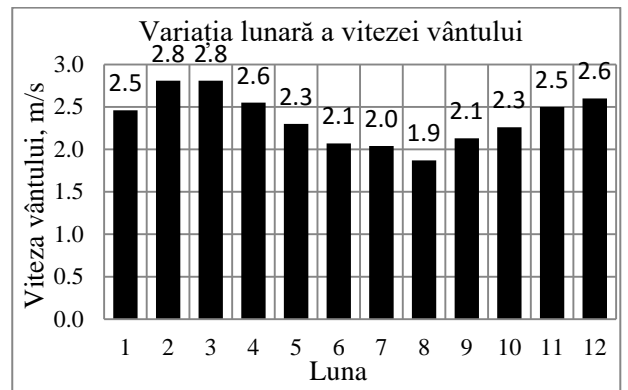
Stația Leova



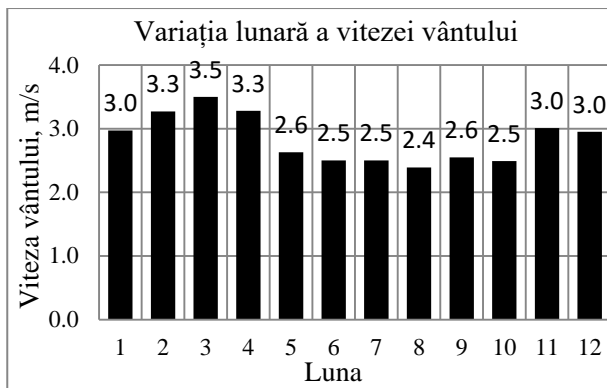
Stația Râbnița



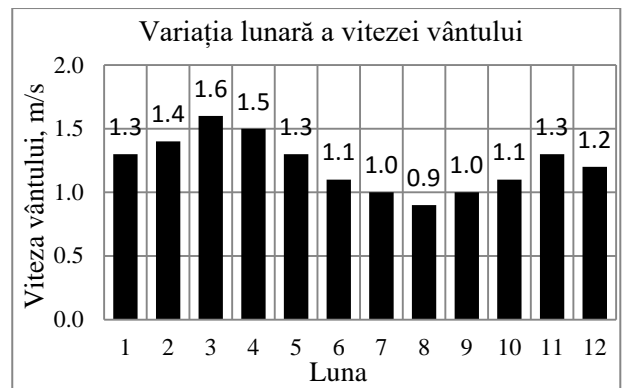
Stația Soroca



Stația Ștefan-Vodă



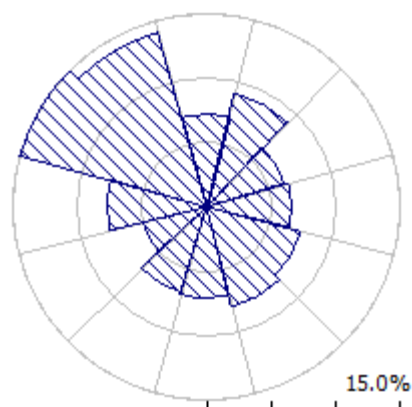
Stația Tiraspol



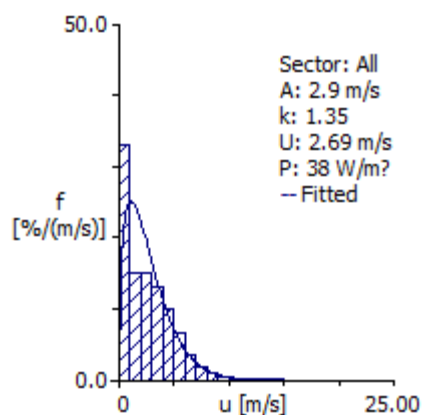
Stația Codri

A3. Observațiile Climei Vântului la stațiile hidrometeorologice de pe teritoriul Republicii Moldova

A3.1. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Bălțața (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

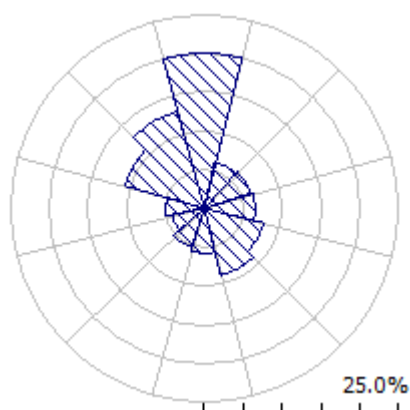
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	3.0	3.3	2.7	2.5	2.3	2.8	2.5	2.7	2.0	2.2	3.5	3.9	2.9
k	1.40	1.59	1.31	1.28	1.40	1.48	1.35	1.31	1.07	1.19	1.42	1.59	1.35
U	2.73	2.94	2.51	2.28	2.13	2.52	2.28	2.48	1.92	2.07	3.16	3.54	2.69
E	37	39	33	26	18	27	24	32	22	22	57	68	38
f	7.3	9.0	6.2	6.5	7.5	8.0	7.0	6.9	5.1	7.6	14.9	14.0	100

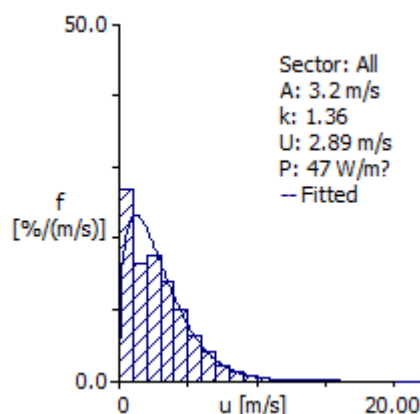
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	353	289	398	400	373	333	381	376	495	390	231	222	330
2.0	122	126	117	148	183	148	158	141	137	204	169	136	150
3.0	138	155	141	153	179	172	159	148	125	158	157	133	152
4.0	134	150	126	122	131	144	125	127	96	102	140	134	130
5.0	109	124	94	86	78	105	88	95	70	71	113	126	101
6.0	71	83	63	52	35	60	52	56	39	39	78	98	65
7.0	39	44	34	23	14	22	24	30	20	18	49	67	36
8.0	19	17	14	9	5	9	8	14	10	9	27	39	18
9.0	9	7	7	4	2	3	3	7	5	4	16	21	9
10.0	3	3	4	2	1	2	2	3	2	2	10	11	5
11.0	2	1	2	1	0	1	0	1	0	1	6	6	3
12.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1
13.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.2. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Bălți (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

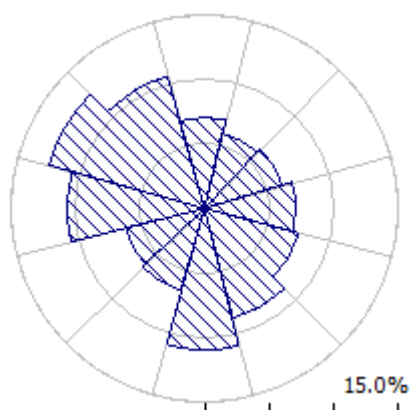
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	2.2	3.6	3.2	3.2	3.8	4.1	3.4	2.7	2.1	2.0	3.3	4.4	3.2
k	1.18	1.68	1.59	1.44	1.63	1.69	1.48	1.44	1.21	1.13	1.35	1.66	1.36
U	2.07	3.25	2.86	2.90	3.44	3.69	3.04	2.46	1.93	1.96	2.99	3.94	2.89
E	22	49	36	43	61	71	47	26	17	21	53	89	47
f	20.1	6.1	6.3	6.6	7.9	8.8	5.7	5.3	4.4	5.0	10.8	13.0	100

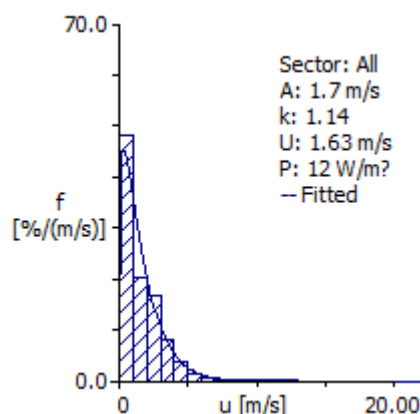
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	246	300	300	300	246	214	324	362	449	427	226	154	268
2.0	346	74	111	125	102	86	97	131	162	193	171	91	165
3.0	222	140	176	171	145	146	143	182	174	168	197	157	175
4.0	66	173	178	160	156	168	145	152	118	104	158	174	139
5.0	47	137	116	109	133	143	117	87	56	56	97	141	101
6.0	32	84	57	61	92	98	75	46	21	23	58	102	64
7.0	20	46	30	34	59	64	44	22	11	12	37	72	39
8.0	11	23	17	19	31	38	27	9	5	7	22	44	23
9.0	5	11	9	10	16	20	15	6	2	3	12	26	12
10.0	3	6	4	4	10	10	8	3	1	2	8	17	7
11.0	1	3	1	2	4	5	3	0	1	1	5	9	3
12.0	1	2	0	1	2	3	1	0	1	1	3	4	2
13.0	0	1	0	1	2	3	0	0	1	1	3	4	2
14.0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	2	1
15.0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.3. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Bravicea (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

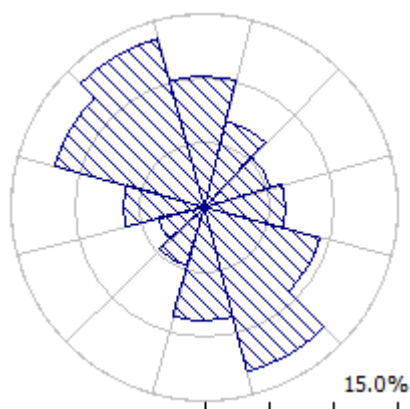
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	1.4	1.0	1.1	1.3	1.6	1.9	2.0	1.3	1.1	1.8	2.2	2.3	1.7
k	1.06	0.95	1.00	1.15	1.16	1.22	1.11	1.01	0.98	1.38	1.36	1.34	1.14
U	1.40	1.02	1.06	1.26	1.56	1.79	1.90	1.30	1.13	1.66	2.05	2.16	1.63
E	9	4	4	5	10	13	20	8	6	9	17	20	12
f	7.0	6.0	6.2	7.0	7.6	8.7	11.0	6.6	6.2	10.6	12.5	10.6	100

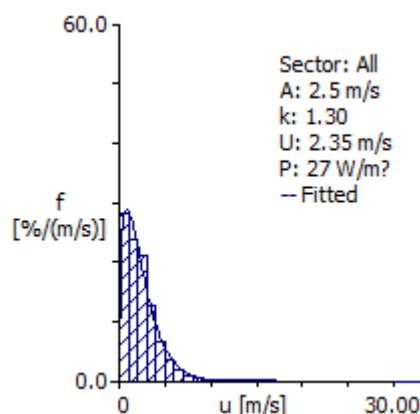
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	551	652	633	561	510	453	407	583	622	414	350	373	483
2.0	184	173	186	205	179	187	232	174	175	255	225	183	201
3.0	152	112	121	156	165	176	174	140	125	207	209	195	169
4.0	64	42	38	50	84	96	84	61	49	76	113	123	79
5.0	29	14	14	19	38	51	52	27	20	32	60	71	39
6.0	10	4	5	7	14	22	23	9	6	8	23	28	15
7.0	4	2	2	2	7	10	13	4	2	4	12	15	7
8.0	2	1	0	0	2	4	5	1	0	2	4	6	3
9.0	2	1	0	0	1	2	4	1	0	1	2	4	2
10.0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	2	1
11.0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
12.0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13.0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.4. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Briceni (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

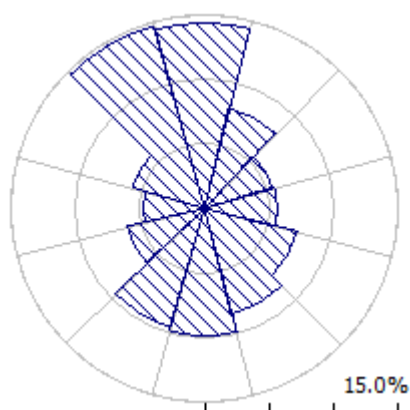
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	2.1	1.9	2.0	2.3	3.1	3.2	2.2	1.7	1.5	2.3	3.2	3.0	2.5
k	1.31	1.22	1.27	1.46	1.41	1.46	1.44	1.25	1.09	1.13	1.39	1.42	1.30
U	1.91	1.75	1.89	2.09	2.81	2.86	1.99	1.57	1.49	2.16	2.93	2.70	2.35
E	15	13	15	16	41	41	14	9	10	28	48	35	27
f	10.1	6.9	5.4	6.3	9.2	13.2	8.7	4.8	3.7	6.3	12.0	13.5	100

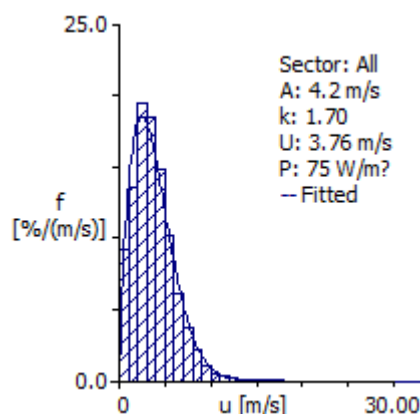
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	312	378	382	322	230	191	296	440	508	338	194	203	282
2.0	311	303	239	234	187	201	287	276	225	243	188	223	238
3.0	208	193	199	227	206	219	232	183	155	209	221	227	212
4.0	98	80	106	126	151	162	109	66	67	108	164	157	127
5.0	41	25	42	51	95	101	44	22	24	46	94	89	65
6.0	17	11	19	21	61	62	19	8	12	23	59	48	36
7.0	6	5	5	10	36	31	7	2	5	11	32	24	18
8.0	2	1	2	5	17	15	3	1	2	7	18	13	9
9.0	1	0	1	1	7	8	1	1	1	6	11	6	5
10.0	1	1	1	1	4	5	0	0	1	4	8	4	3
11.0	1	1	1	1	1	2	0	0	1	1	5	2	2
12.0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2	1	1
13.0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
14.0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
15.0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
16.0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.5. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Cahul (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

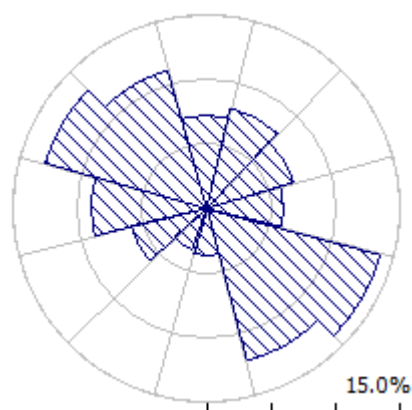
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	4.6	4.0	4.0	4.2	4.7	4.4	4.0	4.1	3.6	3.3	3.6	4.8	4.2
k	1.60	1.65	1.68	1.65	2.01	1.94	2.11	1.88	1.69	1.49	1.55	1.75	1.70
U	4.16	3.62	3.53	3.77	4.15	3.86	3.50	3.62	3.18	2.94	3.25	4.24	3.76
E	109	69	63	78	83	69	48	59	46	42	55	103	75
f	14.4	7.9	5.5	5.7	7.4	8.5	9.8	9.5	6.2	4.7	5.8	14.7	100

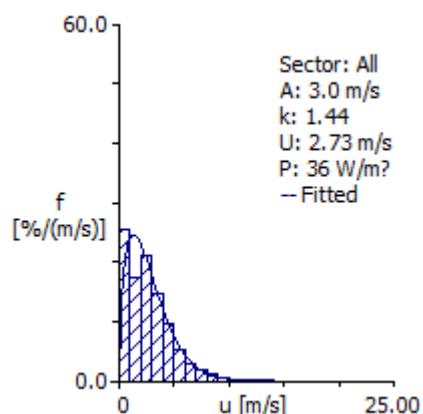
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	72	99	122	119	87	80	79	80	122	161	132	62	92
2.0	135	150	142	132	92	106	135	137	172	197	177	112	135
3.0	176	205	198	182	157	185	217	211	234	234	220	172	195
4.0	164	179	189	171	182	204	214	200	196	173	175	175	185
5.0	147	137	142	143	164	170	169	155	127	103	118	153	148
6.0	111	96	85	98	129	118	105	101	69	59	72	117	101
7.0	74	61	50	57	87	66	48	57	37	33	46	78	61
8.0	49	34	34	43	51	36	20	32	23	19	30	55	38
9.0	31	18	21	24	28	19	8	16	12	10	16	34	22
10.0	18	11	10	13	15	7	3	7	5	5	8	18	11
11.0	8	4	3	9	5	3	1	3	2	2	3	10	5
12.0	5	3	2	4	2	2	0	1	1	2	2	6	3
13.0	4	3	1	2	1	2	0	1	1	1	2	4	2
14.0	3	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	2	1
15.0	3	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
16.0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
17.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.6. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Camenca (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

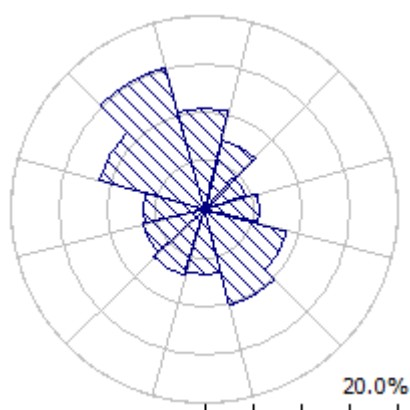
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	2.9	2.9	2.8	2.5	3.6	3.8	1.7	1.3	2.4	2.9	3.2	2.9	3.0
k	1.47	1.55	1.41	1.35	1.59	1.71	1.04	0.95	1.38	1.45	1.41	1.45	1.44
U	2.66	2.65	2.55	2.27	3.22	3.35	1.68	1.37	2.20	2.66	2.92	2.65	2.73
E	32	29	30	23	51	52	16	11	20	33	46	33	36
f	7.2	7.9	7.1	6.0	13.8	12.1	3.6	3.3	6.0	9.0	13.0	11.1	100

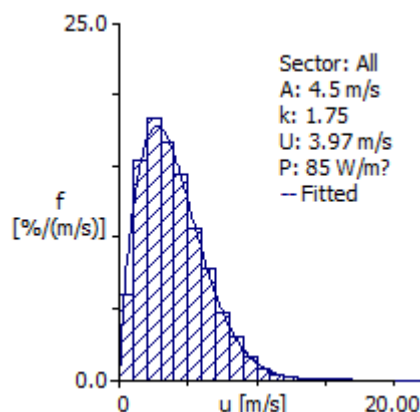
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	283	260	295	342	162	164	520	580	348	244	184	218	253
2.0	163	168	178	192	156	131	155	168	193	191	192	214	175
3.0	200	221	200	199	213	203	156	138	207	224	226	232	210
4.0	146	163	137	120	172	178	78	57	123	146	153	145	147
5.0	97	95	90	74	122	131	43	27	66	89	103	89	96
6.0	55	45	47	36	73	84	22	14	32	47	59	45	53
7.0	28	23	25	17	44	52	14	8	16	26	33	26	30
8.0	15	13	15	9	30	29	7	3	7	16	21	15	18
9.0	7	7	8	7	17	16	3	2	3	9	14	9	10
10.0	3	3	3	2	7	7	1	1	1	4	7	4	4
11.0	1	1	1	1	3	3	0	1	1	2	4	1	2
12.0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	2	1	1
13.0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.7. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Ceadâr-Lunga (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

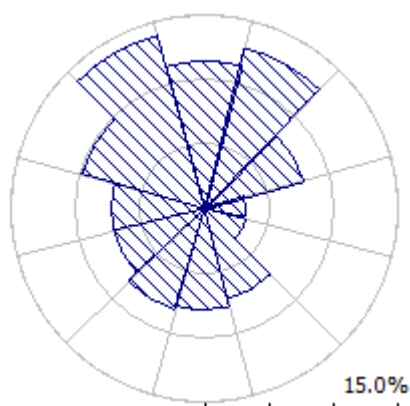
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	4.2	4.5	4.7	5.2	5.6	5.4	4.6	3.6	3.4	3.2	4.0	4.5	4.5
k	1.82	1.83	1.79	1.81	2.12	2.15	1.96	1.72	1.65	1.46	1.56	1.78	1.75
U	3.78	4.01	4.22	4.63	4.94	4.83	4.05	3.25	3.03	2.93	3.60	4.03	3.97
E	70	83	99	129	133	123	79	47	40	44	73	87	85
f	10.5	7.4	4.5	5.7	8.7	10.2	6.8	7.1	6.5	6.3	11.3	15.1	100

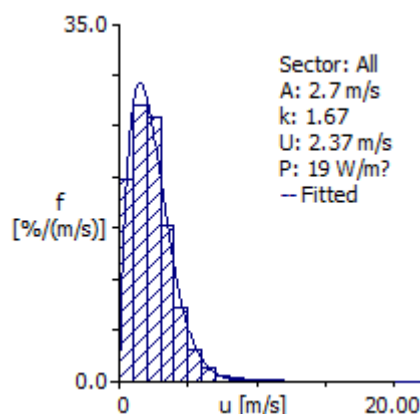
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	53	54	56	44	32	31	56	80	100	104	79	49	59
2.0	161	141	123	110	83	86	144	203	226	249	197	152	155
3.0	201	182	166	149	122	125	172	230	233	240	202	186	183
4.0	179	174	178	158	151	159	166	186	182	147	155	166	166
5.0	150	153	151	149	161	164	154	137	125	105	127	146	144
6.0	106	111	109	119	143	140	122	75	61	67	89	109	106
7.0	74	79	87	95	117	116	90	44	36	44	61	79	78
8.0	37	50	53	62	76	76	47	22	18	23	36	48	47
9.0	20	29	36	45	53	51	28	13	11	12	26	31	30
10.0	9	13	18	29	32	27	12	6	5	5	14	18	16
11.0	4	7	10	18	16	14	5	3	3	1	7	9	8
12.0	2	2	6	10	8	5	1	1	0	1	2	3	3
13.0	2	1	3	6	4	3	1	1	0	1	2	2	2
14.0	1	1	2	3	1	1	1	0	0	0	1	1	1
15.0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.8. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Chișinău (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

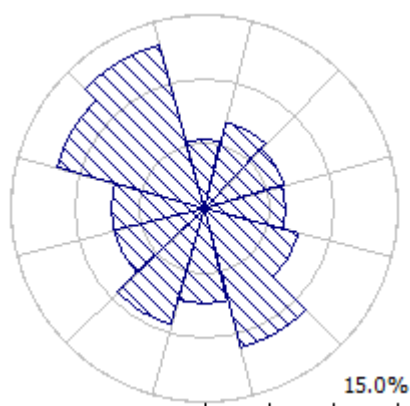
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	2.3	2.8	2.6	2.2	2.3	2.9	2.5	2.4	2.5	2.6	2.9	3.0	2.7
k	1.73	1.89	1.73	1.51	1.44	1.75	1.69	1.53	1.69	1.67	1.73	1.58	1.67
U	2.05	2.48	2.34	2.00	2.13	2.58	2.26	2.15	2.27	2.28	2.54	2.65	2.37
E	12	19	18	13	17	23	16	16	16	17	23	29	19
f	11.5	12.8	7.9	3.2	3.4	7.3	7.8	8.1	7.2	7.2	9.9	13.9	100

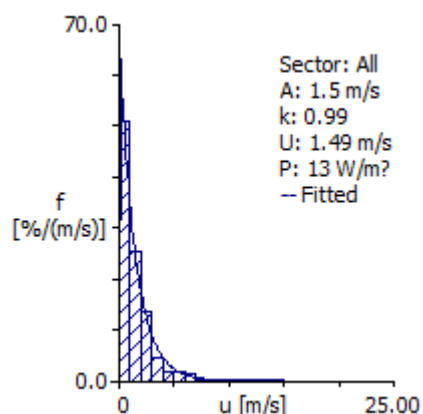
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	224	151	202	333	324	193	217	231	215	212	157	136	197
2.0	322	264	270	240	230	229	278	306	277	277	252	251	270
3.0	254	282	255	211	187	233	249	247	259	261	279	280	258
4.0	132	174	149	127	131	167	149	123	147	145	172	168	153
5.0	48	83	74	57	77	100	66	52	62	62	80	80	71
6.0	14	31	34	22	33	51	25	22	25	24	32	40	30
7.0	4	11	12	7	12	20	10	10	9	11	14	20	12
8.0	1	4	3	2	5	6	4	5	3	5	7	13	5
9.0	0	1	1	0	1	1	1	2	2	2	3	7	2
10.0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	1
11.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
12.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
13.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A.3.9. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Codri (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

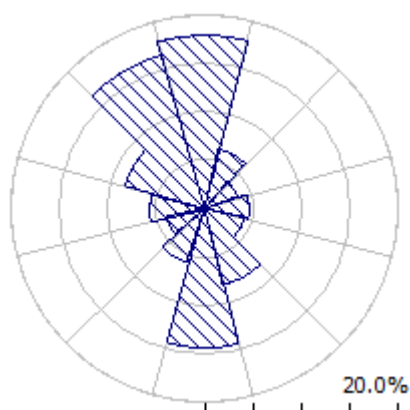
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	0.9	1.0	1.1	1.2	1.6	2.1	1.9	1.5	1.2	1.2	1.7	1.7	1.5
k	0.89	1.09	1.00	0.87	0.88	1.03	1.00	1.07	0.92	1.06	1.24	1.23	0.99
U	1.00	1.01	1.08	1.24	1.68	2.04	1.88	1.41	1.27	1.16	1.60	1.58	1.49
E	5	3	5	10	24	29	24	9	10	5	9	9	13
f	5.3	6.9	6.5	6.3	7.6	11.1	7.4	9.4	7.3	7.2	11.9	13.1	100

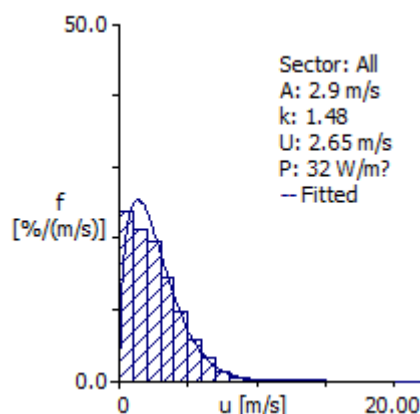
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	659	619	618	607	509	394	477	502	577	582	415	413	508
2.0	196	270	240	203	212	227	175	289	254	255	310	327	256
3.0	115	89	100	102	132	152	147	130	105	111	187	180	137
4.0	17	11	22	47	50	83	76	39	26	31	50	45	44
5.0	2	4	9	21	25	53	44	14	10	8	10	9	18
6.0	4	3	5	11	33	47	39	12	12	6	13	12	18
7.0	4	3	3	5	25	29	27	10	11	5	11	11	13
8.0	0	0	0	1	1	4	2	0	1	0	0	0	1
9.0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10.0	2	0	1	1	5	4	6	2	2	1	1	2	2
11.0	2	0	0	0	5	4	6	2	2	1	1	1	2
12.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.10. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Comrat (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

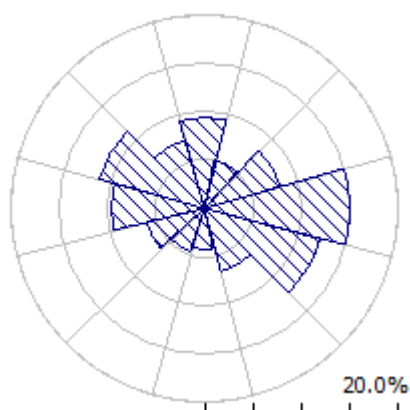
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	3.1	2.6	2.1	2.0	2.3	3.0	2.8	2.6	2.3	2.3	3.5	3.7	2.9
k	1.56	1.46	1.34	1.33	1.40	1.61	1.46	1.32	1.25	1.44	1.63	1.72	1.48
U	2.80	2.40	1.92	1.84	2.12	2.68	2.51	2.42	2.12	2.11	3.14	3.30	2.65
E	35	24	14	13	18	29	28	29	21	17	46	49	32
f	17.8	6.4	3.6	4.7	4.2	8.1	14.3	6.0	4.1	5.8	8.6	16.5	100

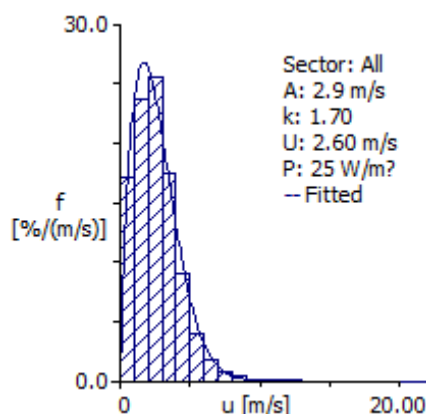
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	174	285	417	385	364	234	215	301	369	310	199	144	239
2.0	229	215	186	247	195	198	259	215	204	244	159	177	212
3.0	209	197	170	178	180	195	205	181	198	219	183	189	195
4.0	155	140	121	106	128	156	135	125	115	126	164	161	143
5.0	109	85	67	53	78	110	89	83	53	56	125	132	97
6.0	67	46	27	20	33	62	51	47	28	26	82	94	59
7.0	34	21	9	8	15	28	26	25	16	13	47	57	31
8.0	13	7	3	3	6	11	12	13	7	4	22	27	13
9.0	6	2	0	1	1	4	6	6	4	2	10	11	6
10.0	3	1	0	0	0	1	2	3	2	1	4	4	2
11.0	1	1	0	0	0	0	0	2	1	0	2	2	1
12.0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0
13.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.11. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Cornești (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

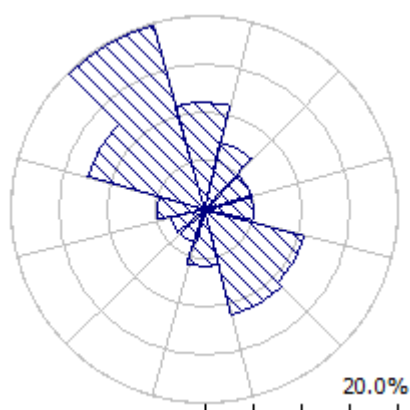
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	2.6	2.6	2.8	3.2	3.3	3.3	2.9	2.7	2.6	2.8	2.9	2.7	2.9
k	1.70	1.71	1.84	1.79	1.81	1.72	1.59	1.63	1.55	1.66	1.73	1.73	1.70
U	2.33	2.30	2.50	2.85	2.97	2.90	2.60	2.38	2.30	2.50	2.59	2.41	2.60
E	18	17	20	31	34	34	27	20	19	23	24	19	25
f	9.4	5.1	8.2	15.0	12.2	6.7	4.2	4.7	6.1	9.6	11.3	7.4	100

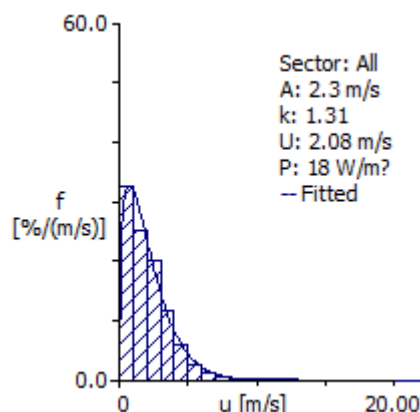
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	192	223	166	121	125	167	233	237	227	180	158	189	172
2.0	282	256	245	214	194	187	201	237	271	258	248	261	236
3.0	265	271	285	259	244	228	221	240	245	254	260	269	255
4.0	155	155	180	201	201	187	163	153	139	163	175	161	175
5.0	65	57	74	112	122	116	97	76	63	80	90	73	89
6.0	24	20	30	49	62	61	47	34	29	36	40	28	40
7.0	9	10	13	23	28	30	20	13	15	16	17	12	18
8.0	3	3	5	12	14	13	9	6	7	7	7	4	8
9.0	2	2	1	6	6	7	4	3	3	3	3	2	4
10.0	1	1	1	2	3	2	2	1	1	2	2	1	2
11.0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1
12.0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.12. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Dubăsari (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

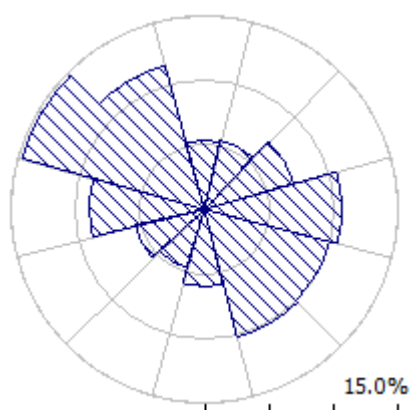
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	2.5	2.1	1.7	1.5	1.9	2.1	1.9	1.4	1.5	1.9	2.9	2.8	2.3
k	1.53	1.39	1.24	1.20	1.42	1.58	1.37	1.05	1.06	1.09	1.40	1.46	1.31
U	2.23	1.89	1.60	1.42	1.74	1.92	1.78	1.41	1.49	1.85	2.66	2.58	2.08
E	18	13	9	7	10	11	11	9	11	19	35	30	18
f	11.1	7.1	5.0	5.0	10.5	11.3	5.9	3.5	3.6	4.8	12.4	19.8	100

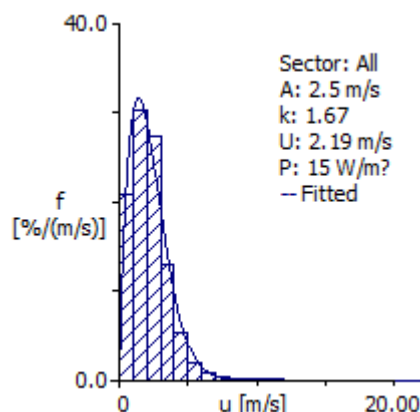
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	260	362	456	494	343	293	399	558	545	445	235	200	324
2.0	258	249	237	261	322	298	239	170	164	204	219	251	251
3.0	237	201	174	146	198	231	188	131	136	156	197	223	200
4.0	138	113	83	65	88	113	103	78	82	88	140	147	115
5.0	65	46	32	22	32	43	46	41	40	50	93	88	58
6.0	25	16	12	8	10	14	16	16	20	27	54	46	27
7.0	10	7	3	3	3	5	6	4	9	16	29	22	12
8.0	4	3	1	0	1	1	2	1	3	9	15	11	6
9.0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	3	8	5	3
10.0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	4	3	1
11.0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	2	1
12.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
13.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.13. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Făleşti (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

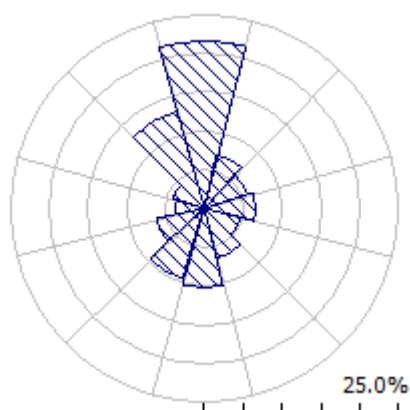
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	2.3	2.2	2.1	2.4	2.5	2.5	2.2	1.9	2.1	2.6	2.9	2.6	2.5
k	1.78	1.68	1.83	1.83	1.96	1.98	1.77	1.68	1.59	1.51	1.60	1.69	1.67
U	2.05	1.96	1.88	2.09	2.22	2.25	1.95	1.67	1.92	2.30	2.64	2.32	2.19
E	11	11	9	12	13	13	10	7	11	20	28	18	15
f	5.4	5.5	7.2	10.6	9.9	10.2	5.9	4.7	5.5	9.0	14.6	11.5	100

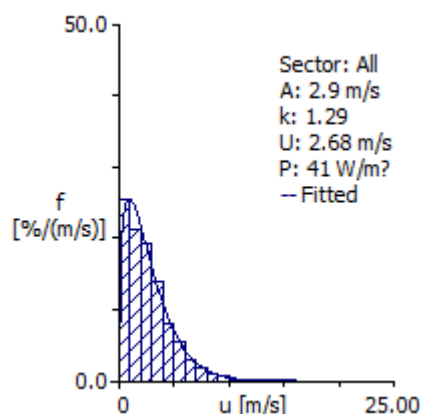
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	250	262	243	195	175	174	258	333	280	208	147	180	208
2.0	291	315	351	331	302	296	314	343	315	291	253	296	303
3.0	268	261	277	292	305	298	263	224	241	252	262	276	272
4.0	128	105	90	119	146	152	114	75	104	132	166	142	130
5.0	45	37	28	43	53	59	38	19	39	63	87	64	54
6.0	13	12	8	14	14	16	10	5	13	29	43	26	20
7.0	4	5	2	4	3	4	2	1	4	13	22	10	8
8.0	1	2	0	1	1	1	1	0	1	6	10	3	3
9.0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	4	5	1	1
10.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	1
11.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0
12.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.14. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Leova (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

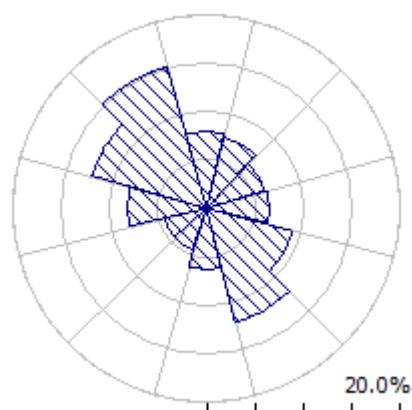
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	3.2	2.4	2.5	2.6	2.5	3.0	3.1	2.7	2.1	1.8	2.5	3.8	2.9
k	1.35	1.23	1.25	1.19	1.28	1.47	1.46	1.40	1.28	1.07	1.09	1.41	1.29
U	2.98	2.20	2.31	2.41	2.33	2.70	2.81	2.45	1.98	1.77	2.45	3.47	2.68
E	52	25	28	35	27	34	38	27	17	17	45	76	41
f	21.5	7.2	5.9	6.7	4.8	6.5	10.2	9.6	6.4	3.9	4.3	13.1	100

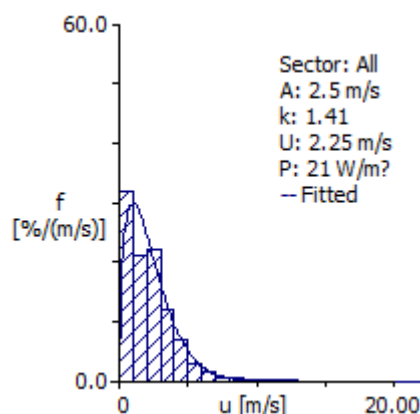
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	165	304	320	305	346	270	224	250	335	442	363	169	254
2.0	212	258	221	228	190	176	199	239	269	233	184	164	212
3.0	217	199	183	182	173	185	194	212	195	151	159	179	193
4.0	162	117	123	117	124	153	151	140	107	83	111	153	138
5.0	91	53	67	64	68	95	94	70	46	40	67	111	79
6.0	64	32	41	47	47	60	65	45	26	27	45	82	54
7.0	35	17	18	23	26	27	34	22	10	12	27	53	29
8.0	22	10	12	13	15	18	22	13	7	5	15	37	19
9.0	12	5	7	8	6	9	9	5	3	2	7	20	9
10.0	8	3	4	6	3	5	5	3	2	1	7	13	6
11.0	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6	2
12.0	3	1	1	3	0	0	1	1	0	1	4	5	2
13.0	3	1	0	3	0	0	1	1	0	0	2	4	2
14.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
15.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
16.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.15. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Rîbnița (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

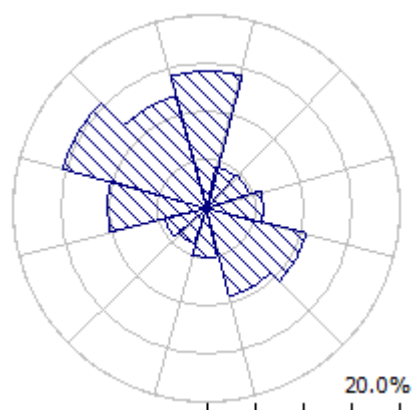
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	2.7	2.5	2.1	1.9	2.4	2.7	1.9	1.3	1.4	2.4	2.9	3.0	2.5
k	1.49	1.43	1.28	1.24	1.45	1.65	1.31	1.12	1.09	1.28	1.47	1.60	1.41
U	2.45	2.25	1.93	1.75	2.13	2.37	1.76	1.30	1.32	2.20	2.62	2.72	2.25
E	25	20	15	12	17	19	11	6	7	23	31	30	21
f	8.0	7.5	6.2	6.4	9.1	12.1	6.3	4.4	4.4	8.1	12.4	15.2	100

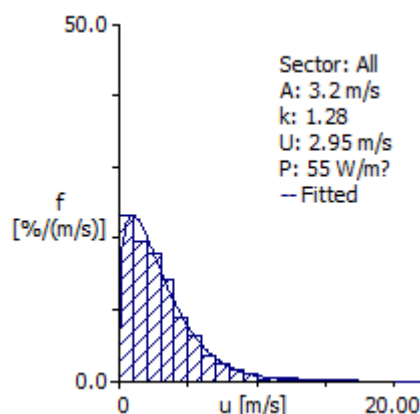
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	302	331	408	430	313	235	415	560	566	340	232	178	318
2.0	174	195	199	226	235	233	232	193	180	213	206	208	210
3.0	220	223	198	183	229	257	207	164	155	207	229	256	221
4.0	140	124	98	86	116	143	79	52	62	111	145	163	121
5.0	89	71	55	46	61	79	41	23	24	63	90	103	70
6.0	39	28	23	15	24	29	13	3	8	29	45	45	29
7.0	21	16	12	8	13	16	7	2	4	16	27	27	17
8.0	7	5	4	3	5	4	3	1	0	8	12	9	6
9.0	3	4	2	2	2	3	2	0	1	6	9	5	4
10.0	2	2	1	1	1	1	0	0	0	2	3	2	2
11.0	1	2	1	1	1	1	0	0	0	1	2	2	1
12.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.16. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Soroca (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

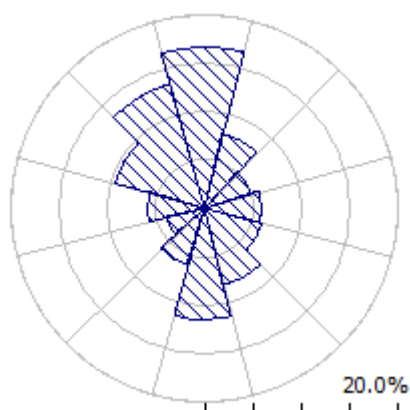
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	1.6	2.3	2.5	2.8	3.3	3.4	3.0	3.0	3.2	4.0	4.2	3.8	3.2
k	1.05	1.27	1.26	1.40	1.44	1.41	1.32	1.35	1.39	1.49	1.44	1.38	1.28
U	1.55	2.16	2.28	2.59	3.04	3.09	2.77	2.76	2.96	3.64	3.83	3.49	2.95
E	12	22	26	32	49	54	44	41	49	81	100	81	55
f	14.3	4.4	4.6	5.8	10.6	9.4	5.1	3.9	4.4	10.2	15.5	12.0	100

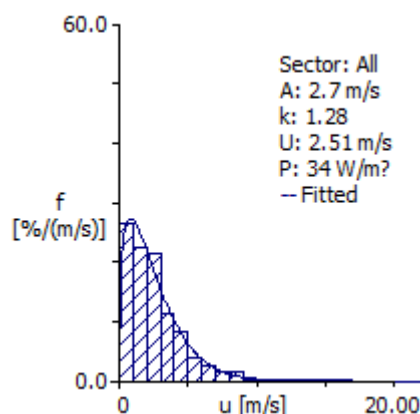
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	414	344	329	267	172	194	282	312	277	144	121	159	232
2.0	400	220	214	200	185	178	173	143	140	128	132	150	196
3.0	90	195	194	196	217	197	178	174	174	192	189	195	179
4.0	46	130	132	150	165	159	137	148	152	176	168	169	143
5.0	20	53	55	84	101	100	84	94	101	120	115	104	87
6.0	15	32	35	50	71	73	64	64	67	91	94	80	65
7.0	6	10	17	23	37	40	34	27	36	55	60	48	36
8.0	4	6	12	14	23	25	23	14	23	36	46	36	25
9.0	2	3	5	8	12	14	11	10	14	23	28	21	15
10.0	2	2	2	5	9	10	7	7	9	15	19	16	10
11.0	0	1	1	1	2	2	1	1	2	6	7	4	3
12.0	1	1	1	0	3	3	2	2	2	6	8	6	4
13.0	1	1	1	1	3	3	2	2	2	5	7	6	3
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
15.0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	3	2	1
16.0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	2	2	1
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.17. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Ștefan-Vodă (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

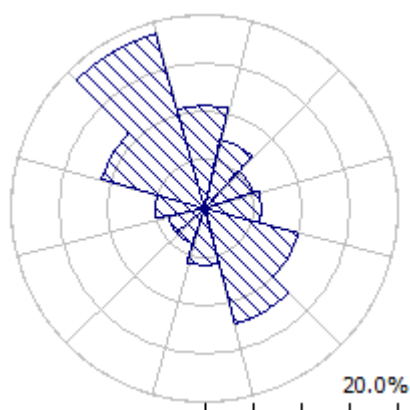
Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	3.0	2.6	2.1	2.4	2.5	3.0	2.7	1.8	1.4	2.1	3.1	3.4	2.7
k	1.30	1.30	1.12	1.29	1.29	1.52	1.41	1.14	0.95	1.05	1.28	1.41	1.28
U	2.76	2.37	1.98	2.18	2.33	2.66	2.45	1.72	1.47	2.02	2.85	3.07	2.51
E	44	28	22	22	27	31	27	14	13	27	50	53	34
f	16.7	8.0	5.0	6.0	6.1	8.1	11.4	6.0	4.1	5.8	9.5	13.2	100

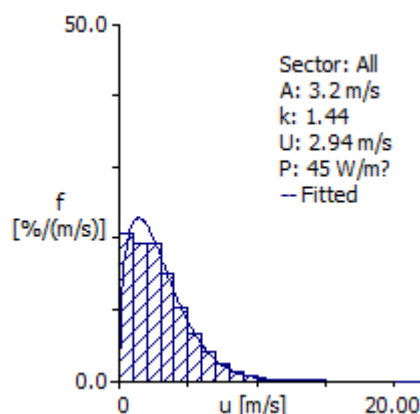
Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	143	288	417	333	329	254	210	419	535	369	227	167	265
2.0	249	228	203	224	200	183	262	271	224	250	201	188	224
3.0	256	214	171	214	201	208	248	178	133	192	200	218	214
4.0	129	117	88	93	112	149	111	63	45	67	123	154	114
5.0	97	73	60	70	74	104	78	31	27	56	97	112	82
6.0	42	33	23	26	31	47	38	15	13	18	53	59	38
7.0	32	19	13	16	25	28	29	10	9	16	38	40	26
8.0	23	11	12	11	13	14	12	6	6	12	26	27	17
9.0	20	9	10	10	11	11	9	4	5	11	23	21	14
10.0	3	2	2	1	1	1	1	1	1	3	5	5	3
11.0	3	2	2	1	1	1	1	1	1	3	4	4	2
12.0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1
13.0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A3.18. Observațiile Climei Vântului la stația hidrometeorologică Tiraspol (1990-2011)



Roza vântului



Histograma funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului și aproximația Weibull

Valorile coeficienților Weibull, vitezei medii U, densității de putere E și funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului F

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
A	3.8	4.0	3.4	3.1	3.6	3.3	2.3	1.9	1.9	2.3	3.2	3.6	3.2
k	1.60	1.55	1.42	1.31	1.55	1.59	1.45	1.33	1.26	1.35	1.54	1.59	1.44
U	3.45	3.60	3.10	2.87	3.23	2.97	2.12	1.76	1.76	2.09	2.86	3.24	2.94
E	62	74	54	49	53	40	17	11	12	18	37	52	45
f	10.7	7.4	5.3	5.9	10.1	12.2	6.0	3.9	3.8	5.1	11.1	18.6	100

Funcția densitate de probabilitate a vitezei vântului, F, % pentru diferite valori ale vitezei vântului și diferite sectoare

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1.0	165	201	256	262	176	166	297	394	404	322	174	125	207
2.0	161	135	152	187	177	199	257	259	256	247	207	183	193
3.0	173	146	158	166	184	211	206	187	178	197	223	217	193
4.0	151	147	138	124	149	165	126	97	88	120	166	179	149
5.0	122	121	109	91	114	114	67	40	39	63	103	122	103
6.0	93	92	75	67	84	71	30	15	19	29	59	77	67
7.0	61	66	47	43	53	37	11	5	8	12	33	43	40
8.0	37	43	31	28	32	19	4	2	5	5	19	26	24
9.0	20	23	18	17	18	10	1	1	2	3	10	14	13
10.0	10	12	8	8	9	5	1	1	0	1	4	7	6
11.0	4	5	4	4	3	2	0	0	0	0	2	4	3
12.0	2	3	2	2	1	1	0	0	0	0	1	1	1
13.0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
14.0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
15.0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A4. Atlasul vântului la cele 18 stații hidrometeorologice amplasate pe teritoriul Moldovei

A4.1. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Bălțata

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,4	3,1	2,7	2,1	1,4
	K	1,56	1,34	1,34	1,35	1,37
	Viteza medie, m/s	3,98	2,81	2,46	1,95	1,31
	Densitatea de putere, W/m ²	99	44	30	14	4
25	A, m/s	4,8	3,7	3,3	2,8	2,2
	K	1,59	1,44	1,43	1,42	1,44
	Viteza medie, m/s	4,31	3,37	3,04	2,56	1,99
	Densitatea de putere, W/m ²	123	68	50	30	14
50	A, m/s	5,1	4,3	4,0	3,4	2,8
	K	1,60	1,59	1,57	1,54	1,54
	Viteza medie, m/s	4,55	3,89	3,57	3,10	2,56
	Densitatea de putere, W/m ²	143	90	71	47	27
100	A, m/s	5,3	5,2	4,8	4,2	3,6
	K	1,51	1,68	1,70	1,72	1,74
	Viteza medie, m/s	4,78	4,62	4,26	3,76	3,22
	Densitatea de putere, W/m ²	181	141	108	74	45
200	A, m/s	5,5	6,4	5,9	5,2	4,6
	K	1,36	1,62	1,63	1,65	1,69
	Viteza medie, m/s	4,99	5,75	5,28	4,68	4,07
	Densitatea de putere, W/m ²	243	285	218	149	95

A4.2. Atlasul Vântului la hidrometeorologică meteo Bălți

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	5,5	3,8	3,4	2,6	1,8
	K	1,53	1,35	1,35	1,35	1,37
	Viteza medie, m/s	4,95	3,52	3,08	2,42	1,62
	Densitatea de putere, W/m ²	195	86	57	28	8
25	A, m/s	6,0	4,6	4,2	3,5	2,7
	K	1,56	1,43	1,43	1,42	1,43
	Viteza medie, m/s	5,36	4,20	3,79	3,18	2,46
	Densitatea de putere, W/m ²	242	132	97	58	27
50	A, m/s	6,3	5,4	4,9	4,3	3,5
	K	1,57	1,57	1,56	1,53	1,53
	Viteza medie, m/s	5,66	4,84	4,43	3,84	3,15
	Densitatea de putere, W/m ²	283	176	137	91	51
100	A, m/s	6,6	6,4	5,9	5,2	4,4
	K	1,49	1,67	1,69	1,71	1,72
	Viteza medie, m/s	5,95	5,71	5,27	4,64	3,95
	Densitatea de putere, W/m ²	354	267	206	140	85
200	A, m/s	6,8	7,9	7,2	6,4	5,6
	K	1,35	1,63	1,64	1,65	1,69
	Viteza medie, m/s	6,21	7,04	6,48	5,74	4,98
	Densitatea de putere, W/m ²	469	518	398	275	175

A4.3. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Bravicea

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	3,9	2,7	2,3	1,9	1,2
	K	1,28	1,10	1,12	1,14	1,13
	Viteza medie, m/s	3,62	2,56	2,25	1,80	1,19
	Densitatea de putere, W/m ²	103	49	32	16	5
25	A, m/s	4,3	3,2	2,9	2,5	1,9
	K	1,30	1,18	1,19	1,20	1,19
	Viteza medie, m/s	3,93	3,06	2,78	2,37	1,81
	Densitatea de putere, W/m ²	127	73	54	33	15
50	A, m/s	4,5	3,8	3,5	3,1	2,5
	K	1,31	1,30	1,29	1,29	1,26
	Viteza medie, m/s	4,15	3,53	3,26	2,86	2,32
	Densitatea de putere, W/m ²	147	93	73	49	28
100	A, m/s	4,7	4,6	4,3	3,8	3,2
	K	1,24	1,38	1,41	1,45	1,42
	Viteza medie, m/s	4,36	4,18	3,88	3,46	2,91
	Densitatea de putere, W/m ²	189	138	107	73	45
200	A, m/s	4,8	5,6	5,2	4,7	4,0
	K	1,13	1,34	1,37	1,40	1,39
	Viteza medie, m/s	4,55	5,17	4,78	4,30	3,67
	Densitatea de putere, W/m ²	262	275	212	147	93

A4.4. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Briceni

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,1	2,8	2,5	2,0	1,3
	K	1,40	1,22	1,24	1,24	1,27
	Viteza medie, m/s	3,70	2,63	2,31	1,82	1,24
	Densitatea de putere, W/m ²	94	43	28	14	4
25	A, m/s	4,4	3,4	3,1	2,6	2,0
	K	1,42	1,31	1,31	1,31	1,33
	Viteza medie, m/s	4,01	3,14	2,85	2,40	1,87
	Densitatea de putere, W/m ²	116	65	48	29	13
50	A, m/s	4,7	4,0	3,7	3,2	2,6
	K	1,44	1,44	1,43	1,41	1,42
	Viteza medie, m/s	4,24	3,64	3,34	2,90	2,40
	Densitatea de putere, W/m ²	135	85	67	45	25
100	A, m/s	4,9	4,8	4,4	3,9	3,4
	K	1,36	1,51	1,54	1,56	1,59
	Viteza medie, m/s	4,45	4,32	3,99	3,53	3,03
	Densitatea de putere, W/m ²	172	132	102	69	43
200	A, m/s	5,0	5,9	5,5	4,9	4,3
	K	1,23	1,46	1,48	1,50	1,54
	Viteza medie, m/s	4,65	5,37	4,95	4,38	3,83
	Densitatea de putere, W/m ²	235	269	205	140	89

A4.5. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Cahul

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	6,2	4,3	3,8	3,0	2,0
	K	2,01	1,72	1,72	1,74	1,73
	Viteza medie, m/s	5,49	3,87	3,38	2,67	1,78
	Densitatea de putere, W/m ²	192	80	53	26	8
25	A, m/s	6,7	5,2	4,7	4,0	3,0
	K	2,05	1,85	1,85	1,84	1,83
	Viteza medie, m/s	5,94	4,63	4,17	3,52	2,70
	Densitatea de putere, W/m ²	239	126	93	55	25
50	A, m/s	7,1	6,1	5,5	4,8	3,9
	K	2,07	2,08	2,04	2,01	1,96
	Viteza medie, m/s	6,28	5,36	4,90	4,25	3,47
	Densitatea de putere, W/m ²	280	174	135	90	50
100	A, m/s	7,4	7,2	6,6	5,8	4,9
	K	1,94	2,21	2,23	2,26	2,24
	Viteza medie, m/s	6,60	6,37	5,85	5,16	4,36
	Densitatea de putere, W/m ²	347	275	212	144	88
200	A, m/s	7,7	8,9	8,2	7,3	6,2
	K	1,73	2,11	2,13	2,16	2,17
	Viteza medie, m/s	6,89	7,92	7,25	6,42	5,52
	Densitatea de putere, W/m ²	449	551	419	288	182

A4.6. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Camenca

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	5,4	3,8	3,3	2,6	1,7
	K	1,58	1,36	1,37	1,37	1,39
	Viteza medie, m/s	4,88	3,45	3,02	2,37	1,60
	Densitatea de putere, W/m ²	180	80	53	26	8
25	A, m/s	5,9	4,5	4,1	3,4	2,7
	K	1,60	1,45	1,45	1,44	1,46
	Viteza medie, m/s	5,29	4,12	3,72	3,13	2,42
	Densitatea de putere, W/m ²	225	122	90	54	25
50	A, m/s	6,2	5,3	4,9	4,2	3,4
	K	1,62	1,60	1,58	1,56	1,56
	Viteza medie, m/s	5,58	4,76	4,36	3,78	3,10
	Densitatea de putere, W/m ²	261	163	127	85	47
100	A, m/s	6,5	6,3	5,8	5,1	4,4
	K	1,53	1,71	1,73	1,74	1,75
	Viteza medie, m/s	5,87	5,63	5,19	4,57	3,89
	Densitatea de putere, W/m ²	329	249	192	131	80
200	A, m/s	6,7	7,8	7,2	6,4	5,5
	K	1,38	1,65	1,67	1,68	1,71
	Viteza medie, m/s	6,13	6,96	6,40	5,67	4,91
	Densitatea de putere, W/m ²	438	492	376	260	165

A4.7. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Ceadâr-Lunga

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	6,5	4,5	4,0	3,1	2,1
	K	2,08	1,77	1,78	1,78	1,79
	Viteza medie, m/s	5,73	4,04	3,53	2,78	1,86
	Densitatea de putere, W/m ²	212	88	59	28	8
25	A, m/s	7,0	5,5	4,9	4,1	3,2
	K	2,12	1,90	1,90	1,88	1,88
	Viteza medie, m/s	6,21	4,84	4,36	3,66	2,82
	Densitatea de putere, W/m ²	265	139	102	61	28
50	A, m/s	7,4	6,3	5,8	5,0	4,1
	K	2,14	2,13	2,10	2,05	2,03
	Viteza medie, m/s	6,56	5,60	5,11	4,42	3,61
	Densitatea de putere, W/m ²	310	193	149	99	55
100	A, m/s	7,8	7,5	6,9	6,1	5,1
	K	2,01	2,27	2,29	2,31	2,30
	Viteza medie, m/s	6,90	6,65	6,11	5,37	4,55
	Densitatea de putere, W/m ²	382	306	235	160	97
200	A, m/s	8,1	9,3	8,5	7,5	6,5
	K	1,79	2,17	2,19	2,21	2,23
	Viteza medie, m/s	7,20	8,26	7,57	6,68	5,75
	Densitatea de putere, W/m ²	492	611	465	318	201

A4.8. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Chișinău

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,4	3,1	2,7	2,1	1,4
	K	1,40	1,26	1,28	1,28	1,30
	Viteza medie, m/s	4,01	2,86	2,51	1,98	1,34
	Densitatea de putere, W/m ²	119	52	34	17	5
25	A, m/s	4,8	3,7	3,4	2,8	2,2
	K	1,42	1,33	1,33	1,33	1,35
	Viteza medie, m/s	4,34	3,41	3,09	2,60	2,02
	Densitatea de putere, W/m ²	149	80	59	35	16
50	A, m/s	5,0	4,3	4,0	3,4	2,8
	K	1,43	1,43	1,42	1,41	1,42
	Viteza medie, m/s	4,58	3,94	3,61	3,14	2,59
	Densitatea de putere, W/m ²	173	109	85	56	31
100	A, m/s	5,3	5,2	4,8	4,2	3,6
	K	1,37	1,51	1,53	1,54	1,54
	Viteza medie, m/s	4,82	4,65	4,29	3,79	3,24
	Densitatea de putere, W/m ²	215	165	128	88	55
200	A, m/s	5,4	6,3	5,8	5,2	4,5
	K	1,27	1,51	1,52	1,53	1,55
	Viteza medie, m/s	5,03	5,73	5,27	4,68	4,07
	Densitatea de putere, W/m ²	278	311	240	166	107

A4.9. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Codri

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,3	2,9	2,5	2,0	1,3
	K	0,92	0,86	0,86	0,87	0,89
	Viteza medie, m/s	4,44	3,12	2,71	2,13	1,43
	Densitatea de putere, W/m ²	400	171	111	52	15
25	A, m/s	4,6	3,4	3,1	2,6	2,0
	K	0,93	0,88	0,88	0,89	0,90
	Viteza medie, m/s	4,80	3,68	3,30	2,78	2,14
	Densitatea de putere, W/m ²	496	261	188	108	47
50	A, m/s	4,9	4,0	3,6	3,2	2,6
	K	0,93	0,91	0,91	0,92	0,93
	Viteza medie, m/s	5,08	4,16	3,79	3,31	2,71
	Densitatea de putere, W/m ²	585	337	259	167	89
100	A, m/s	5,1	4,7	4,3	3,8	3,3
	K	0,92	0,96	0,96	0,96	0,97
	Viteza medie, m/s	5,34	4,76	4,39	3,91	3,34
	Densitatea de putere, W/m ²	696	436	346	242	147
200	A, m/s	5,3	5,6	5,1	4,7	4,1
	K	0,89	0,99	0,99	1,00	1,01
	Viteza medie, m/s	5,57	5,59	5,17	4,67	4,09
	Densitatea de putere, W/m ²	873	657	526	375	245

A4.10. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Comrat

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	6,2	4,4	3,8	3,0	2,0
	K	1,54	1,37	1,37	1,38	1,39
	Viteza medie, m/s	5,60	3,99	3,47	2,73	1,83
	Densitatea de putere, W/m ²	283	122	81	39	12
25	A, m/s	6,7	5,2	4,7	4,0	3,0
	K	1,56	1,45	1,44	1,44	1,44
	Viteza medie, m/s	6,07	4,74	4,27	3,59	2,76
	Densitatea de putere, W/m ²	353	188	138	82	37
50	A, m/s	7,1	6,1	5,5	4,8	3,9
	K	1,57	1,57	1,55	1,54	1,53
	Viteza medie, m/s	6,41	5,45	4,97	4,31	3,53
	Densitatea de putere, W/m ²	410	252	195	129	71
100	A, m/s	7,5	7,2	6,6	5,8	4,9
	K	1,51	1,69	1,69	1,70	1,68
	Viteza medie, m/s	6,73	6,39	5,87	5,19	4,40
	Densitatea de putere, W/m ²	506	368	286	197	121
200	A, m/s	7,7	8,7	8,0	7,1	6,2
	K	1,39	1,67	1,67	1,68	1,69
	Viteza medie, m/s	7,03	7,79	7,15	6,37	5,49
	Densitatea de putere, W/m ²	651	681	526	368	235

A4.11. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Cornești

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,6	3,2	2,8	2,2	1,5
	K	1,83	1,59	1,59	1,61	1,62
	Viteza medie, m/s	4,06	2,89	2,53	2,00	1,35
	Densitatea de putere, W/m ²	86	37	25	12	4
25	A, m/s	5,0	3,9	3,5	3,0	2,3
	K	1,87	1,71	1,69	1,70	1,69
	Viteza medie, m/s	4,40	3,46	3,12	2,64	2,04
	Densitatea de putere, W/m ²	107	58	43	26	12
50	A, m/s	5,2	4,5	4,1	3,6	2,9
	K	1,88	1,89	1,85	1,84	1,81
	Viteza medie, m/s	4,65	4,00	3,66	3,19	2,62
	Densitatea de putere, W/m ²	125	80	62	42	23
100	A, m/s	5,5	5,4	4,9	4,4	3,7
	K	1,77	2,00	2,00	2,04	2,04
	Viteza medie, m/s	4,89	4,75	4,37	3,87	3,30
	Densitatea de putere, W/m ²	156	126	98	67	41
200	A, m/s	5,7	6,7	6,1	5,4	4,7
	K	1,60	1,92	1,92	1,96	1,98
	Viteza medie, m/s	5,10	5,91	5,42	4,82	4,17
	Densitatea de putere, W/m ²	203	252	193	133	86

A4.12. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Dubăsari

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,1	2,9	2,5	2,0	1,4
	K	1,54	1,33	1,33	1,34	1,37
	Viteza medie, m/s	3,72	2,64	2,31	1,83	1,24
	Densitatea de putere, W/m ²	82	37	25	12	4
25	A, m/s	4,5	3,5	3,1	2,6	2,1
	K	1,57	1,43	1,41	1,42	1,43
	Viteza medie, m/s	4,03	3,16	2,85	2,41	1,88
	Densitatea de putere, W/m ²	101	57	42	25	12
50	A, m/s	4,7	4,1	3,7	3,2	2,7
	K	1,58	1,59	1,55	1,54	1,54
	Viteza medie, m/s	4,25	3,66	3,34	2,92	2,41
	Densitatea de putere, W/m ²	118	75	59	40	23
100	A, m/s	4,9	4,9	4,5	4,0	3,4
	K	1,49	1,69	1,69	1,72	1,74
	Viteza medie, m/s	4,47	4,35	3,99	3,54	3,03
	Densitatea de putere, W/m ²	150	116	90	62	38
200	A, m/s	5,1	6,0	5,5	4,9	4,3
	K	1,34	1,62	1,62	1,65	1,69
	Viteza medie, m/s	4,67	5,40	4,95	4,40	3,83
	Densitatea de putere, W/m ²	203	237	180	125	80

A4.13. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Fălești

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	3,9	2,7	2,4	1,9	1,3
	K	1,92	1,65	1,65	1,65	1,67
	Viteza medie, m/s	3,44	2,45	2,14	1,70	1,15
	Densitatea de putere, W/m ²	49	22	14	7	2
25	A, m/s	4,2	3,3	3,0	2,5	2,0
	K	1,96	1,77	1,76	1,75	1,75
	Viteza medie, m/s	3,72	2,93	2,64	2,24	1,75
	Densitatea de putere, W/m ²	62	34	25	15	7
50	A, m/s	4,4	3,8	3,5	3,1	2,5
	K	1,97	1,97	1,94	1,90	1,88
	Viteza medie, m/s	3,93	3,39	3,10	2,71	2,24
	Densitatea de putere, W/m ²	72	46	36	25	14
100	A, m/s	4,7	4,6	4,2	3,7	3,2
	K	1,85	2,09	2,12	2,13	2,13
	Viteza medie, m/s	4,13	4,03	3,70	3,29	2,82
	Densitatea de putere, W/m ²	90	73	56	39	25
200	A, m/s	4,8	5,7	5,2	4,6	4,0
	K	1,66	2,00	2,03	2,04	2,06
	Viteza medie, m/s	4,32	5,01	4,59	4,10	3,57
	Densitatea de putere, W/m ²	116	147	111	79	52

A4.14. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Leova

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,1	2,8	2,5	2,0	1,3
	K	1,44	1,24	1,26	1,27	1,29
	Viteza medie, m/s	3,72	2,64	2,32	1,83	1,24
	Densitatea de putere, W/m ²	91	42	28	14	4
25	A, m/s	4,5	3,4	3,1	2,6	2,1
	K	1,47	1,33	1,34	1,34	1,36
	Viteza medie, m/s	4,03	3,16	2,86	2,41	1,88
	Densitatea de putere, W/m ²	113	63	47	28	13
50	A, m/s	4,7	4,0	3,7	3,2	2,7
	K	1,48	1,47	1,46	1,45	1,45
	Viteza medie, m/s	4,26	3,65	3,36	2,92	2,42
	Densitatea de putere, W/m ²	132	83	66	44	25
100	A, m/s	4,9	4,8	4,5	4,0	3,4
	K	1,40	1,56	1,59	1,61	1,63
	Viteza medie, m/s	4,48	4,34	4,01	3,55	3,04
	Densitatea de putere, W/m ²	167	129	99	67	42
200	A, m/s	5,0	6,0	5,5	4,9	4,3
	K	1,26	1,50	1,53	1,55	1,59
	Viteza medie, m/s	4,68	5,39	4,97	4,41	3,85
	Densitatea de putere, W/m ²	228	262	199	136	87

A4.15. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Rîbnița

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	5,0	3,5	3,0	2,4	1,6
	K	1,58	1,36	1,36	1,37	1,38
	Viteza medie, m/s	4,51	3,19	2,78	2,20	1,47
	Densitatea de putere, W/m ²	142	63	42	20	6
25	A, m/s	5,5	4,2	3,8	3,2	2,5
	K	1,62	1,46	1,45	1,45	1,45
	Viteza medie, m/s	4,89	3,82	3,44	2,89	2,23
	Densitatea de putere, W/m ²	175	97	71	42	19
50	A, m/s	5,8	4,9	4,5	3,9	3,2
	K	1,63	1,62	1,60	1,57	1,55
	Viteza medie, m/s	5,16	4,42	4,03	3,50	2,86
	Densitatea de putere, W/m ²	205	128	100	67	37
100	A, m/s	6,0	5,9	5,4	4,8	4,0
	K	1,53	1,72	1,74	1,76	1,76
	Viteza medie, m/s	5,43	5,24	4,82	4,25	3,60
	Densitatea de putere, W/m ²	259	199	153	103	63
200	A, m/s	6,2	7,3	6,7	5,9	5,1
	K	1,37	1,65	1,66	1,69	1,70
	Viteza medie, m/s	5,67	6,52	5,97	5,29	4,55
	Densitatea de putere, W/m ²	348	404	307	209	132

A4.16. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Soroca

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,7	3,3	2,9	2,3	1,5
	K	1,48	1,29	1,31	1,32	1,33
	Viteza medie, m/s	4,27	3,04	2,67	2,12	1,42
	Densitatea de putere, W/m ²	132	60	40	19	6
25	A, m/s	5,1	4,0	3,6	3,1	2,4
	K	1,50	1,38	1,39	1,40	1,40
	Viteza medie, m/s	4,62	3,64	3,30	2,79	2,15
	Densitatea de putere, W/m ²	164	91	67	40	18
50	A, m/s	5,4	4,7	4,3	3,7	3,1
	K	1,51	1,54	1,52	1,51	1,50
	Viteza medie, m/s	4,88	4,22	3,87	3,37	2,76
	Densitatea de putere, W/m ²	191	120	94	63	35
100	A, m/s	5,7	5,6	5,2	4,6	3,9
	K	1,43	1,62	1,65	1,68	1,69
	Viteza medie, m/s	5,13	5,01	4,62	4,09	3,48
	Densitatea de putere, W/m ²	243	188	144	98	60
200	A, m/s	5,8	6,9	6,4	5,7	4,9
	K	1,29	1,56	1,58	1,62	1,63
	Viteza medie, m/s	5,36	6,22	5,72	5,09	4,40
	Densitatea de putere, W/m ²	328	381	289	198	125

A4.17. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Ștefan Vodă

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	4,4	3,1	2,7	2,1	1,5
	K	1,43	1,24	1,25	1,26	1,31
	Viteza medie, m/s	4,03	2,86	2,51	1,98	1,36
	Densitatea de putere, W/m ²	117	54	36	18	5
25	A, m/s	4,8	3,7	3,4	2,8	2,3
	K	1,46	1,32	1,33	1,33	1,37
	Viteza medie, m/s	4,37	3,42	3,09	2,61	2,06
	Densitatea de putere, W/m ²	144	82	60	36	17
50	A, m/s	5,1	4,4	4,0	3,5	2,9
	K	1,47	1,47	1,46	1,44	1,47
	Viteza medie, m/s	4,61	3,96	3,63	3,16	2,64
	Densitatea de putere, W/m ²	169	107	83	56	32
100	A, m/s	5,3	5,2	4,8	4,3	3,7
	K	1,38	1,56	1,58	1,61	1,66
	Viteza medie, m/s	4,85	4,69	4,33	3,84	3,33
	Densitatea de putere, W/m ²	215	163	125	85	53
200	A, m/s	5,4	6,5	6,0	5,3	4,7
	K	1,25	1,49	1,52	1,54	1,61
	Viteza medie, m/s	5,06	5,83	5,37	4,77	4,20
	Densitatea de putere, W/m ²	294	332	252	174	112

A4.18. Atlasul Vântului la stația hidrometeorologică Tiraspol

Înălțimea deasupra solului, m	Parametrul	Clasa de rugozitate				
		0	1	2	3	4
		0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10	A, m/s	7,4	5,2	4,5	3,6	2,4
	K	1,47	1,35	1,35	1,36	1,37
	Viteza medie, m/s	6,66	4,78	4,16	3,27	2,18
	Densitatea de putere, W/m ²	509	216	142	68	20
25	A, m/s	8,0	6,2	5,6	4,7	3,6
	K	1,48	1,40	1,40	1,40	1,41
	Viteza medie, m/s	7,21	5,64	5,08	4,26	3,28
	Densitatea de putere, W/m ²	638	333	243	144	65
50	A, m/s	8,4	7,1	6,5	5,6	4,6
	K	1,49	1,49	1,48	1,47	1,46
	Viteza medie, m/s	7,62	6,41	5,87	5,09	4,16
	Densitatea de putere, W/m ²	744	445	343	226	125
100	A, m/s	8,8	8,2	7,6	6,7	5,7
	K	1,45	1,60	1,60	1,59	1,57
	Viteza medie, m/s	8,00	7,38	6,82	6,05	5,14
	Densitatea de putere, W/m ²	897	612	484	338	212
200	A, m/s	9,1	9,8	9,1	8,1	7,0
	K	1,37	1,61	1,61	1,61	1,61
	Viteza medie, m/s	8,35	8,76	8,11	7,26	6,31
	Densitatea de putere, W/m ²	1117	1017	806	576	378

A4. Mențiuni



SIELMEN 2015
DIPLOMA OF PARTICIPATION

Awarded to

Vasile RACHER

In acknowledgement of your participation at the
10th International Conference on Electromechanical and Power Systems

CHAIRS OF THE ORGANIZING COMMITTEE

Sergiu IVANOV

Ivanov

Ilie NUCĂ

Dorin Dumitru LUCACHE

Lucache



06-09.10.2015

Craiova - Chişinău

Certificate of Participation

ICERE 2014
INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT
AND RENEWABLE ENERGY

It is hereby certified that

Vasile Rachier
participated in ICERE 2014

International Conference on Environment and Renewable Energy
7-8 May 2014, Paris, France
Cité Internationale Universitaire de Paris



[Signature]

Organizing Committee

(Elerp, Bongo)

7 May 2014

Date

Paris, France

MINISTERUL EDUCAȚIEI
AL REPUBLICII MOLDOVA



UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

DIPLOMĂ



Se decernează d-lui

RACHIER Vasile

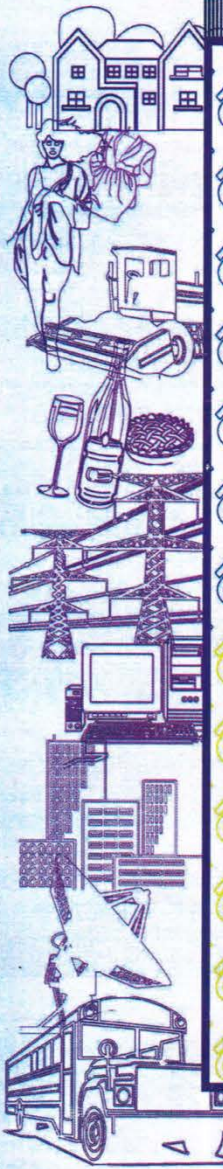
lector asistent, drd.

FE, Catedra EM

*Cel mai bun doctorand
al anului 2012-2013*

Ion Bostan
Rector, academician

Chișinău 2013



PhD Spring Course “INNOVATIONS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT”



Certificate of participation awarded to

Vasile Rachier

in recognition of the successful completion of PhD spring course “Innovations for Sustainable Development” (6 ECTS).

Dr. Karel Mulder
Coordinator of the course
(TU Delft, the Netherlands)

Prof. Yuriy Yakymenko
First Vice-Rector
(NTUU “KPI”, Ukraine)



National Technical University of Ukraine
“Kyiv Polytechnic Institute”
March 18 – 28, 2013

“Henri Coanda”
Air Force Academy



“General M.R. Stefanik”
Armed Forces Academy



SLOVAK REPUBLIC

AFASES 2012

Certificate of Attendance

This is to certify that

Vasile RACHIER

has successfully attended
the International Conference of Scientific Papers with

“ENERGY POTENTIAL EVALUATION FOR A WIND TURBINE USED FOR PUMPING”



ARSEDU
ASSOCIATION for
RESEARCH and EDUCATION

Brasov, ROMANIA, May 24-26, 2012



MINISTERUL EDUCAȚIEI
AL REPUBLICII MOLDOVA



UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

DIPLOMĂ



Se decernează d-lui

RACHIER Vasile
lector asistent

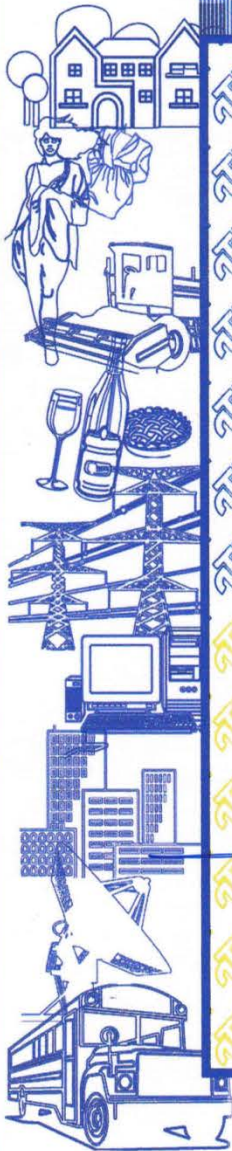
FE
cat. EM

Laureat al anului universitar
2010-2011
în domeniul activității didactice
începătoare

Ion Bostan
Rector, academician



Chișinău 2011



CERTIFICATE OF PARTICIPATION

WASP Training Course
Risø DTU
22-24 November 2011

This is to certify that

Rachier Vasile

has participated in a 3-day course in the software program WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) held at Risø DTU, Roskilde, Denmark on 22-24 November 2011.

Organizing company: Risø DTU


Teachers: Niels G. Mortensen
Ferhat Bingöl
Brian O. Hansen



Niels G. Mortensen
Senior Scientist



Ferhat Bingöl
Scientist



Brian O. Hansen
Product Manager



Zertifikat

Vasile Rachier

hat an dem Fachseminar

Solarexperte

mit Erfolg teilgenommen.

Der Lehrgang bestand aus den Teilen

Photovoltaik (40 LE), 14. - 19.11.2011 in Chisinau, Moldau

Solarthermie (40 LE), 28.11. - 02.12.2011 in Chisinau, Moldau

Praxisübungen (40 LE), 11. - 17.12.2011 in Plovdiv, Bulgarien

Die Lehrgangsinhalte sind auf der Rückseite aufgeführt

Koblenz, 23.12.2011

Alexander Baden
Hauptgeschäftsführer



Declarația privind asumarea răspunderii


Subsemnatul, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Rachier Vasile

Semnătura

Data:

CURRICULUM VITAE

Numele, prenumele:	RACHIER Vasile	
Data și locul nașterii:	17.01.1987, satul Breanova, raionul Orhei, Republica Moldova	
Starea familială:	Căsătorit, un copil	
Adresa la domiciliu:	Or. Chișinău, str. Grigore Vieru 22/3 ap. 6, Republica Moldova, Tel: 022-24-19-17	
Adresa la serviciu:	Str. 31 August 1989 nr. 78, mun. Chișinău, Republica Moldova. Tel: 022-23-76-19	
Funcția:	Lector universitar	
Studii:	<ul style="list-style-type: none">• 2010 - diplomă de licență, specialitatea Inginerie electrică, UTM, FEIE, catedra EMM• 2012 - diplomă de masterat, specialitatea Inginerie electrică, UTM, FEIE, catedra EMM	
Activitatea profesională:	2003 – prezent: cadru didactic, catedra EMM, FEIE, UTM	
Domeniu de interes științific:	Cursuri predate: 2010-2012 – Tehnologii informaționale 2010-2012 – Grafica asistată la calculator 2010-2015 – Programarea și utilizarea controlerelor	
Participări la evenimente științifice internaționale	<ul style="list-style-type: none">- Sursele de energii regenerabile- Metode și softuri ce permit evaluarea producerii din surse regenerabile <ol style="list-style-type: none">1. Simpozionul Științific Internațional al Inginerilor Romani de Pretutindeni - SINGRO 2014, ediția a XI-a, 23 - 24 octombrie – Chișinău, Moldova.2. Conferința Internațională “Mediu și Energie Regenerabilă” 7 - 8 Mai, 2014 – Paris, Franța.3. Conferința Internațională “Cercetarea Geografică și Geoecologică a Ucrainei” 1 - 7 Aprilie, 2013 – Simferopol, Ucraina.4. Conferința Internațională a Lucrărilor Științifice AFASES – 2013, 23 - 25 Mai, Academia Forțelor Aeriene „Henri Coanda”, Brașov, Romania.5. A 9-a conferință internațională cu expoziție de sisteme electromecanice și energetice SIELMEN 2013, Chișinău, Republica Moldova.6. Conferința Internațională a Lucrărilor Științifice AFASES – 2012, 24 - 26 Mai, Academia Forțelor Aeriene „Henri Coanda”, Brașov, Romania.7. Conferința Internațională a Tinerilor Cercetători, Ediția X, 2012, ULIM, Chișinău, Republica Moldova.8. Conferința Internațională a Lucrărilor Științifice AFASES – 2011, 26 - 28 Mai, Academia Forțelor Aeriene „Henri Coanda”, Brașov, Romania.9. Conferința Internațională de Sisteme Electromecanice și Energetice, SIELMEN 2011, Chișinău, 13-14 octombrie 2011.	
Cunoașterea limbilor:	Română – excelent (nativă) Rusă – bine Engleza - bine	
E-mail:	rachier.vasile@yahoo.com	
Tel:	+373-022-23-76-19	