

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
FACULTATEA ENERGETICĂ ȘI INGINERIE ELECRICĂ

Cu titlu de manuscris
C.Z.U.: 621.9:697(478)(043)

MANGOS OCTAVIAN

**CONTRIBUȚII LA VALORIFICAREA POTENȚIALULUI ENERGETIC
EOLIAN AL REPUBLICII MOLDOVA**

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

Teză de doctor în științe ingineresti

Conducător științific:



SOBOR Ion
prof. univ., dr.

Autor:



MANGOS Octavian

Chișinău, 2024

© MANGOS OCTAVIAN, 2024

CUPRINS

ADNOTARE (în română, engleză și rusă)	6
ABREVIERI ȘI NOTAȚII UTILIZATE	9
INTRODUCERE	12
1. PRODUCEREA ENERGIEI ELECTRICE ȘI TERMICE EOLIENE LA NIVEL MONDIAL ȘI NAȚIONAL: STAREA ACTUALĂ	19
1.1. Piața eoliană – pentru o tranziție energetică accelerată	19
1.2. Tehnologia eoliană – cea mai dinamică tehnologie de producere a energiei regenerabile	20
1.3. Producerea energiei electrice regenerabile (e-SRE) în perioada 2011-2022: cazul Republicii Moldova	25
1.4. Perspectiva utilizării energiei termice (t-SRE) în gospodăriile casnice din sectorul rural al Republicii Moldova	28
1.4.1. Clasificarea gospodăriilor casnice din sectorul rural după numărul de persoane	28
1.4.2. Suprafața totală și suprafața încălzită din sectorul rural	28
1.4.3. Sisteme de încălzire a apei menajere în gospodăriile casnice din sectorul rural	29
1.5. Evaluarea consumului de energie termică pentru încălzirea apei menajere	30
1.5.1. Norme de consum de apă pentru case locative	30
1.5.2. Clasificarea locuințelor după dotarea cu comodități	31
1.5.3. Calculul cantității specifice de energie termică necesară pentru încălzirea apei	33
Concluzii la capitolul 1	36
2. STUDIUL POTENȚIALULUI ENERGETIC EOLIAN AL REPUBLICII MOLDOVA PENTRU ENTITĂȚILE ADMINISTRATIV – TERITORIALE DE NIVELUL DOI	38
2.1. Considerații generale	38
2.2. Potențialul energetic eolian și caracteristicile vântului pentru Regiunea de Dezvoltare Nord	39
2.3. Potențialul energetic eolian și caracteristicile vântului pentru Regiunea de Dezvoltare Centru	45
2.4. Potențialul energetic eolian și caracteristicile vântului pentru Regiunea de Dezvoltare Sud, inclusiv UTA-Găgăuzia	51
Concluzii la capitolul 2	57

3. CONVERSIA DIRECTĂ A ENERGIEI EOLIENE ÎN ENERGIE TERMICĂ	59
3.1. Descrierea generatorului termic propus pentru conversia directă a energiei eoliene în energie termică	59
3.2. Modelele constructive elaborate ale generatorului termic	64
3.3. Principiul încălzirii prin inducție electromagnetică	66
3.3.1. Pătrunderea câmpului electromagnetic și puterea transmisă indusului.....	69
3.3.2. Pătrunderea câmpului electromagnetic în corpuri plane	70
3.3.3. Pătrunderea câmpului electromagnetic în corpuri cilindrice.....	73
3.3.4. Calculul simplificat al puterii transmise într-o piesă cilindrică	79
3.3.5. Influența caracteristicilor de material asupra adâncimii de pătrundere și a puterii transmise prin inducție electromagnetică.....	80
3.3.6. Calculul simplificat al parametrilor și caracteristicilor termogeneratorului cu magneți permanenți.....	83
3.4. Simularea câmpului magnetic al termogeneratorului cu magneți permanenți.....	86
3.4.1. Metoda de calcul – considerații generale	86
3.4.2. Materialele utilizate în procesul de simulare.....	89
3.4.3. Caracteristica câmpului magnetic	91
3.4.4. Variația temperaturii indusului în funcție de viteza de rotație	92
3.4.5. Analiza câmpului magnetic	94
3.4.6. Analiza variației temperaturii indusului	96
3.5. Simularea circulației fluxului de lichid caloportor.....	97
3.5.1. Variația temperaturii în conducta de refulare în funcție de debit.....	97
3.5.2. Variația presiunii în conducta de admisie în funcție de debit	98
3.5.3. Analiza variației temperaturii lichidului caloportor	99
3.5.4. Analiza variației presiunii lichidului caloportor.....	103
3.6. Simularea fluxului termic în generatorul termic	105
3.6.1. Analiza fluxurilor termice prin generatorul termic	105
3.6.2. Variația fluxului termic util în generatorul termic în funcție de debit	107
Concluzii la capitolul 3.....	112
4. STUDII PRIVIND PERSPECTIVELE UTILIZĂRII ENERGIEI TERMICE EOLIENE.....	114
4.1. Conversia termică a energiei eoliene și utilizarea potențialului disponibil.....	114
4.2. Caracteristicile unei turbine eoliene moderne	115
4.3. Caracteristica de putere a termogeneratorului cu magneți permanenți.....	118
4.4. Estimarea producerii energiei termice	120
4.4.1. Determinarea caracteristicilor vântului	120
4.4.2. Calculul producției de energie termică.....	126
Concluzii la capitolul 4.....	129
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI	130
BIBLIOGRAFIE	134

ANEXE	144
Anexa 1. Regiunea de Dezvoltare Nord. Identificarea amplasamentelor cu potențial favorabil	144
Anexa 2. Regiunea de Dezvoltare Centru. Identificarea amplasamentelor cu potențial favorabil	178
Anexa 3. Regiunea de Dezvoltare Sud, inclusiv UTA-Găgăuzia. Identificarea amplasamentelor cu potențial favorabil	218
Anexa 4. Rezultatele simulării circulației fluxului de lichid caloportor – variația temperaturii	246
Anexa 5. Rezultatele simulării circulației fluxului de lichid caloportor – variația presiunii.....	255
Anexa 6. Rezultatele simulării fluxului termic în generatorul termic	258
Anexa 7. Mențiuni	263
DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII	275
CV-UL AUTORULUI.....	276

ADNOTARE

Autor – MANGOS Octavian. **Titlul** – *Contribuții la valorificarea potențialului energetic eolian al Republicii Moldova*. Teză de doctor în vederea conferirii titlului de doctor în științe inginerești la specialitatea 221.02. „Tehnologii de conversie a energiei și resurse regenerabile (energie eoliană)”. Chișinău 2024.

Structura lucrării: Lucrarea include introducerea, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 96 titluri și include 7 anexe, 133 pagini, 113 figuri și 25 tabele.

Rezultatele obținute sunt publicate în 14 lucrări.

Cuvinte cheie: potențial eolian, termogenerator eolian, modele 3D, SOLIDWORKS Flow Simulation, energie termică regenerabilă (t-SRE)

Domeniul de studiu – științe inginerești și tehnologii.

Scopul lucrării constă în evaluarea potențialului eolian pentru entitățile administrativ-teritoriale de nivelul doi (raioane) pentru producerea energiei termice și electrice, cercetarea și proiectarea unui termogenerator eolian pentru conversia directă a energiei eoliene în energie termică, care ar asigura sectorul rezidențial cu energie termică și care ar conduce la atingerea obiectivelor Republicii Moldova privind valorificarea energiilor regenerabile.

Obiectivele lucrării: analiza sectorului electroenergetic în ultimii 10 ani, inclusiv a producției de energie electrice (EE) din surse regenerabile (e-SRE), determinarea perspectivei utilizării energiei termice regenerabile (t-SRE) în gospodăriile casnice din sectorul rural al Republicii Moldova, realizarea studiului potențialului energetic eolian și ale caracteristicilor vântului la înălțimi de 50 și 100 m deasupra nivelului solului, identificarea amplasamentelor pentru eventualele centrale eoliene și evaluarea capacităților posibile de instalat în entitățile administrativ-teritoriale de nivelul doi (raioane), cercetarea și proiectarea unui termogenerator eolian de mică putere pentru sectorul rezidențial.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării: constă în identificarea problemelor și căilor posibile de rezolvare privind perspectiva utilizării energiei termice regenerabile (t-SRE) în gospodăriile casnice din sectorul rural și elaborarea metodei de calcul a termogeneratorului eolian de mică putere și producerii de energie termică pentru sectorul rezidențial.

Problema științifică importantă soluționată: constă în cercetarea și proiectarea termogeneratorului eolian pentru conversia directă a energiei eoliene în energie termică pentru producerea de apă caldă menajeră în localitățile rurale.

Importanța teoretică: aduce contribuții științifice într-un domeniu de interes relativ nou – conversia directă a energiei eoliene în energie termică, se propune o nouă schemă a termogeneratorului eolian cu magneți permanenți, pentru care s-a obținut brevet de invenție.

Valoarea aplicativă a lucrării: rezultatele lucrării vor contribui la îmbunătățirea situației în sectorul rural în ceea ce privește alimentarea cu apă caldă și în consecință asigurarea Obiectivului de Dezvoltare Durabilă 6 al ONU, dar și ar contribui la atingerea obiectivelor trasate în HG nr. 102 din 05.02.2013 „Cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2030”, privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile și în consecință sporirea securității energetice a țării.

ANNOTATION

Author – MANGOS Octavian. **Title** - *Contributions to harnessing the wind energy potential of the Republic of Moldova*. Doctoral thesis for PhD qualification in engineering science 221.02. „Energy conversion technologies and renewable resources (wind energy)”. Chisinau 2024.

Thesis structure: The paper comprises an introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, 96 references, 7 annexes, 133 pages, 113 figures and 25 tables.

The results are published in 14 scientific papers.

Keywords: wind potential, wind thermal generator, 3D models, SOLIDWORKS Flow Simulation, renewable thermal energy (t-SRE)

Field of study – engineering sciences and technologies.

The purpose of the thesis consists in evaluation of the wind potential for administrative-territorial entities of the second level (districts) for production of thermal and electrical energy, the research and design of a wind thermal generator for the direct conversion of wind energy into thermal energy, which would provide the residential sector with thermal energy and which would lead to the achievement of the objectives of the Republic of Moldova regarding the exploitation of renewable energies.

Objectives of the paper: analysis of the electric energy sector in the last 10 years, including the production of electric energy (EE) from renewable sources (e-SRE), determining the perspective to use of renewable thermal energy (t-SRE) in households in the rural sector of the Republic of Moldova, carrying out the study of energy potential and the characteristics of wind at heights of 50 and 100 m above ground level, the identification of locations for possible wind power plants and the evaluation of possible capacities to be installed in the administrative-territorial entities of the second level (districts), the research and design of a low power wind thermal generator for the residential sector.

Scientific novelty and originality of the work: it consists in identifying the problems and possible solutions regarding the perspective of using renewable thermal energy (t-SRE) in households in the rural sector and calculation method development of low-power wind thermal generator and the production of thermal energy for the residential sector.

The important scientific problem solved: consists in the research and design of the wind thermal generator for the direct conversion of wind energy into thermal energy for the production of domestic hot water in rural localities.

Theoretical importance: it makes scientific contributions in a relatively new field of interest – the direct conversion of wind energy into thermal energy, a new scheme of the wind thermogenerator with permanent magnets is proposed, for which an invention patent was obtained.

The practical value of the work: the results of work will contribute to improving the situation in the rural sector in terms of hot water supply and, consequently, ensuring Sustainable Development Goal 6 of the UN, but would also contribute to achieving the goals outlined in GD no. 102 of 05.02.2013 "Regarding the Energy Strategy of the Republic of Moldova until 2030", regarding the promotion of the use of energy from renewable sources and consequently increasing the energy security of the country.

АННОТАЦИЯ

Автор – МАНГОС Октавиан. **Название** - *Вклад в использование потенциала ветроэнергетики в Республике Молдова*. Диссертация о присвоение докторской степени в области инженерных наук, специальность 221.02 - *Технологий преобразования энергии и возобновляемые ресурсы (ветровая энергия)*. Кишинев, 2024.

Структура работы: Работа включает введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, библиографию из 96 наименований, 7 приложений, 133 страниц, 113 рисунков и 25 таблиц. Результаты исследования опубликованы в 14 научных работах.

Ключевые слова: ветровой потенциал, тепловой генератор, 3D модели, SOLIDWORKS Flow Simulation, возобновляемая тепловая энергия (т- ВИЭ)

Область исследования – инженерные науки и технологии.

Цель диссертации состоит в оценке ветрового потенциала административно-территориальных образований второго уровня (районов) по производству тепловой и электрической энергии, исследовании и проектировании ветротеплогенератора прямого преобразования энергии ветра в тепловую энергию, что обеспечило бы жилой сектор тепловой энергией и привело бы к достижению целей Республики Молдова в отношении использования возобновляемых источников энергии.

Задачи диссертации: анализ отрасли электроэнергетики за последние 10 лет, в том числе производства электроэнергии из возобновляемых источников (э-ВИЭ), определение перспективы использования возобновляемой тепловой энергии (т- ВИЭ) в домохозяйствах в сельской местности Республики Молдова, изучения энергетического потенциала и характеристик ветра на высотах 50 и 100 м над уровнем земли, определение мест для возможных ветряных электростанций и оценка возможных мощностей для установки в административно-территориальных единицах второго уровня (районах), исследование и проектирование ветротеплогенератора малой мощности для жилого сектора.

Научная новизна диссертации: заключается в выявлении проблем и возможных путей их решения по использованию возобновляемой тепловой энергии (т- ВИЭ) в домохозяйствах сельского хозяйства и определении методики расчета маломощного ветротеплогенератора с постоянными магнитами и производство тепловой энергии для жилищного сектора.

Решаемая научная проблема: заключается в исследовании и разработке ветротеплогенератора для прямого преобразования энергии ветра в тепловую энергию для производства горячей воды для бытовых нужд в сельской местности.

Теоретическая значимость: вносит научный вклад в относительно новую область исследований – прямое преобразование энергии ветра в тепловую, предлагается новая схема ветрового термогенератора с постоянными магнитами, на которую получен патент на изобретение.

Прикладное значение работы: результаты работы будут способствовать улучшению ситуации в сельском хозяйстве в части горячего водоснабжения и, как следствие, обеспечению Цели устойчивого развития 6 ООН, а также будут способствовать достижению намеченных целей в постановление правительства № 102 от 05.02.2013 г. «Об Энергетической стратегии Республики Молдова до 2030 года», касающейся продвижения использования энергии из возобновляемых источников и, следовательно, повышения энергетической безопасности страны.

ABREVIERI ȘI NOTAȚII UTILIZATE

IRENA	International Renewable Energy Agency
ppm	Parte pe milion
CO_2	Dioxid de carbon
PTC	Production Tax Credit
GWEC	Global Wind Energy Council
e-RES	Energie electrică din Surse Regenerabile de Energie
GES	Gaze cu efect de seră
CTE	Centrală termoelectrică
EE	Energie electrică
t-RES	Energie termică din Surse Regenerabile de Energie
$q_{încălzită}$	Cantitatea de energie termică necesară pentru încălzirea 1 m ³ de apă
γ	Greutatea volumetrică a apei
c	Capacitatea termică specifică a apei
t_h	Temperatura medie a apei calde în punctele de priză
t_c	Temperatura medie a apei reci în rețeaua de apeduct
K_{PT}	Coeficientul pierderilor de căldură ale conductelor de alimentare cu apă caldă
$t_c^{înc}$	Temperatura apei reci în rețeaua de apeduct în perioada de încălzire
t_c^{tranz}	Temperatura apei reci în rețeaua de apeduct în perioada de tranziție
n	Numărul de zile într-un an
$n^{înc}$	Durata perioadei de încălzire
n^{rep}	Durata perioadei de reparații în sistemul de alimentare cu căldură
WAsP	Wind Analysis and Applications Programmes
RM	Republica Moldova
RDN	Regiunea de Dezvoltare Nord
RDC	Regiunea de Dezvoltare Centru
RDS	Regiunea de Dezvoltare Sud
D_e	Diametrul exterior al termogeneratorului
L_a	Lungimea miezului feromagnetic al statorului
D_m	Diametrul mediu al inductorului
δ	Lungimea întrefierului
h_c	Grosimea cămășilor termogeneratorului

h_{cc}	Lățimea canalului de curgere
h_i	Grosimea jugului indusului
Φ_δ	Fluxul magnetic din întrefier
B_a	Inducția admisibilă în jugul indusului
h_{pm}	Înălțimea magnetului permanent
b_{pm}	Lățimea magnetului permanent
l_{pm}	Lungimea magnetului permanent
D_i	Diametrul interior al termogeneratorului
f	Frecvenței curenților turbionari induși
p	Numărul de perechi de poli
FEM	Finite Element Method
T_a	Temperatura mediului ambiant
T_i	Temperatura inițială a materialului
T_1	Temperatura lichidului în conducta de admisie
T_2	Temperatura lichidului în conducta de refulare
T_0	Temperatura impusă a cămășilor termogeneratorului
Q	Debit
P_{th}	Pierderile de energie termică
P_1	Presiunea lichidului în conducta de admisie
$Q_{convecție}$	Viteza de transfer de căldură
T_f	Temperatura masei de lichid
T_S	Temperatura suprafeței
α	Coeficientul de transfer de căldură convectiv
$\dot{Q}_{ut}$	Fluxul termic util
$\dot{M}$	Debitul masic
c_p	Căldura specifică a lichidului caloportor
P_W	Puterea disponibilă a vântului
ρ	Densitatea aerului
A	Suprafața baleiată de rotorul turbinei
V	Viteza vântului
C_p	Factorul Betz
λ	Rapiditatea turbinei eoliene

R	Raza maximală a palei rotorului
ω	Viteza unghiulară de rotație
P	Puterea mecanică dezvoltată de turbina eoliană
P_m	Pierderile magnetice în indus
$p_{1,0/50}$	Pierderile specifice în oțel
H	Înălțimea
$\bar{V}$	Viteza medie a vântului
p	Densitatea de putere eoliană
α_v	Exponentul de variabilitate a vitezei vântului cu înălțimea
α_p	Exponentul de variabilitate a densității de putere eoliană cu înălțimea
Γ	Funcții gamma
A	Parametru de scară
k	Parametru adimensional a curbei de distribuție
ET	Producția anuală de energie termică
T_{an}	Numărul de ore într-un an
η	Randamentul termogeneratorului

INTRODUCERE

Actualitatea și importanța problemei abordate.

În zilele noastre, consumul de energie se intensifică în fiecare an în majoritatea țărilor. Resursele de energie, apă dar și de alimente, sunt cheia pentru satisfacerea nevoilor umane de bază. Astfel, cererea globală pentru acestea, crește rapid, în următoarele decenii se așteaptă o creștere a consumului de energie, datorită urbanizării la scară globală [12].

Utilizarea energiei definește începutul civilizației umane de când omul a stăpânit focul pentru confort și gătit, astfel civilizația umană a evoluat pentru a ajunge la centrale nucleare, automobile, avioane, computerul personal și internetul. De-a lungul secolelor, societatea umană a evoluat folosind din ce în ce mai mult energia, în care consumul de energie este necesar pentru funcționarea societății contemporane, prosperitatea națiunilor și supraviețuirea civilizației noastre. Energia este produsă și este utilizată sub diferite forme: avioanele și automobilele folosesc combustibili lichizi cu hidrocarburi; centralele electrice convertesc în primul rând energia din cărbune, gaze naturale, nucleară în energie electrică; iar o gospodărie contemporană folosește electricitate și gaz natural pentru confortul casnic, divertisment și pregătirea hranei. Deoarece majoritatea activităților societății noastre se bazează pe utilizarea energiei, în ultimele trei secole au fost dezvoltate rețele de furnizare a energiei: energia electrică este furnizată către consumatori prin rețele electrice de transport și distribuție; energia termică, cât și gazul natural sunt livrate printr-un sistem complex de conducte și navele care traversează zilnic oceanele pentru a furniza petrolul rafinării. Impactul economic al aprovizionării cu energie și al comerțului de energie este extrem de important pentru toate statele. Majoritatea din acestea se confruntă cu securitatea aprovizionării cu energie, multe tratate și acorduri internaționale sunt încheiate pe resurse energetice ca o problemă principală [95].

Principalii factori care stau la baza creșterii cererii de energie sunt creșterea populației și urbanizarea, creșterea economică și schimbările climatice. Până în 2030 se preconizează creșterea consumului global de energie cu 50 %. Acest lucru va agrava în mod substanțial lipsa de energie din lume, în special în regiunile și țările cu deficit de energie și/sau de apă. Această creștere continuă nu va putea exista pe termen lung, ceea ce impune gestionarea corectă, a acestor resurse, într-un mod durabil [96].

Gospodăriile, consumă cantități considerabile de resurse (apă, alimente și energie) pentru a satisface cererea zilnică a locuitorilor. Gospodăria este o unitate de cerere și poate fi, de asemenea, cea mai potrivită unitate pentru influențarea practicilor de consum. O mare parte a consumului de energie și apă poate fi atribuită utilizărilor casnice [12].

Astfel, consumul de energie pentru necesitățile de apă caldă menajeră ale gospodăriilor, dar și altor sectoare, constituie o parte semnificativă a balanței energetice. La general, consumurile casnice de apă și energie electrică sunt de obicei legate și studierea acestei relații poate identifica oportunități de eficientizare a consumului ceea ce implică o abordare integrată a acestor două componente.

Contribuția de energie pentru încălzirea apei în sectorul casnic este mare. Sectorul rezidențial este un mare consumator atât de energie, cât și de apă. La nivel mondial, consumul de apă caldă menajeră a crescut de-a lungul ultimelor decenii, ceea ce a implicat și un consum crescut de energie electrică pentru încălzirea apei, care reprezintă aproximativ 40 % din consumul total. Cea mai mare parte a consumului de energie electrică este utilizat pentru iluminat, încălzirea apei, gătit și aer condiționat [96].

În acest sens, valorificarea surselor regenerabile de energie, la general și valorificarea potențialului eolian, în particular, devine o preocupare primordială atât la nivel mondial cât și la cel național. Dacă la nivel mondial unul dintre motivele principale este dorința diminuării emisiilor de gaze cu efect de seră, atunci la nivel național se adaugă și necesitatea stringentă de diversificare a surselor de energie și micșorarea dependenței de import. Pentru valorificarea potențialului eolian, apare necesitatea studiului potențialului energetic și ale caracteristicilor vântului pentru identificarea amplasamentelor pentru eventuale centrale eoliene și evaluarea capacităților posibile de instalat.

În prezent, energia generată de turbinele eoliene și de alte sisteme de conversie a energiei regenerabile, sunt exclusiv orientate spre producerea energiei electrice. La nivel global piața turbinelor eoliene de putere mică se dezvoltă într-un ritm accelerat. Majoritatea absolută a turbinelor eoliene moderne de putere mică se utilizează pentru producerea energiei electrice. Aceasta se datorează faptului că energia electrică poate fi convertită în alte forme de energie, cum ar fi mecanică, termică, chimică, radiație electromagnetică etc. Însă transformarea energiei electrice produse din surse regenerabile în energie termică, este o metodă mai puțin eficientă, datorită pierderilor atât mecanice, cât și electrice, în lanțul de transformare: energie mecanică – energie electrică – energie termică.

În acest context, trebuie menționat faptul cât de rațional ar fi de a converti energia eoliană direct în energie termică, luând în considerație faptul că energia termică poate fi ușor obținută din energie electrică, care, la rândul său, se obține cu ajutorul unui generator electric antrenat de aceeași turbină eoliană. Totul constă în particularitățile de instalare a turbinelor eoliene de putere mică pentru producerea de energie electrică. Pentru exploatarea eficientă a turbinelor eoliene de putere mică, acestea pot fi folosite în trei categorii de sisteme de conectare: sistem off-grid (regim

autonom), sistem on-grid (cu conectare la rețea) sau în sistem mixt. Pentru un sistem off-grid instalația eoliană trebuie dotată cu acumulatori electrice și respectiv un invertor pentru menținerea calității energiei electrice. Sistemul off-grid oferă independență totală față de rețeaua electrică națională, însă aceasta implică costuri mari pentru acumulatorii electrice. Un sistem on-grid presupune că instalația eoliană trebuie conectată la rețea și să lucreze în regim sincron cu rețeaua electrică, în acest caz instalația se dotează cu un invertor respectiv. Sistemul on-grid, la rândul său, presupune costuri mai mici pentru instalație, însă are o dependență totală de rețeaua electrică, în caz când dispare tensiunea din rețea, consumatorul nu mai este alimentat cu energie electrică, chiar dacă turbina eoliană ar produce energie electrică. Sistemul mixt este conectat la rețeaua electrică și care include și acumulatori electrice pentru stocarea energiei electrice. Acest sistem necesită cea mai mare investiție inițială.

Mai mult decât atât, tariful unei unități de energie electrică este mai mare decât tariful unei unități de energie termică. Totodată, populația rurală are nevoie de energie termică pentru încălzirea spațiilor locative, în procese tehnologice și prepararea apei calde. În viitorul apropiat acești potențiali consumatori de energie termică nu vor fi conectați la sisteme termice centralizate sau de cartier.

Ca urmare, pentru producerea energiei termice pe larg sunt utilizate gazele naturale și alți combustibili fosili, care au un efect negativ asupra mediului prin emisii de gaze cu efect de seră în atmosferă. Evident, apare necesitatea de a reduce utilizarea combustibililor fosili în acest scop, prin dezvoltarea și implementarea sistemelor de conversie a energiilor regenerabile. Astfel, generatoarele termice cu curenți turbionari pot avea un potențial considerabil [31].

La rândul său, termogeneratorul cu magneți permanenți este un generator termic pentru transformarea directă a lucrului mecanic, care poate fi generat de un organ de lucru eolian, în energie termică prin intermediul curenților turbionari [41]. Astfel, încălzirea prin inducție electromagnetică se bazează pe pătrunderea câmpului electromagnetic în materiale conductoare aflate într-un câmp magnetic variabil în timp. Ulterior, curenții turbionari, determinați de tensiunile electromotoare induse, conduc la încălzirea materialelor conductoare prin efectul Joule [43].

Principalele caracteristici ale încălzirii prin inducție electromagnetică sunt:

- transmiterea energiei electromagnetice de la magneții permanenți, care creează câmpul magnetic excitant, la obiectul de încălzit, fără contact direct;
- utilizarea rațională a energiei pentru generarea de căldură, inclusiv în unele procese în care înlocuiește încălzirea cu combustibil.

Conversia directă a energiei eoliene în energie termică ar putea fi o soluție alternativă pentru variantele menționate mai sus. Aceasta are următoarele avantaje:

1. Generatorul de energie termică poate fi de minimum 2,5 ori mai ieftin decât generatorul electric de aceeași putere. Aceasta se bazează pe următoarele argumente: nu se folosesc materiale active scumpe ca cupru pentru înfășurări, oțel electrotehnic, izolație electrică, lac pentru îmbibare; doar magneții permanenți necesari pentru generatorul termic sunt încă costisitori. Tehnologia de producție este asemănătoare cu cea de producție a generatoarelor, dar decade necesitatea ștanțării, bobinării, îmbibării cu lac, etc.
2. Generatorul de energie termică nu conține piese care se uzează (cu excepția rulmenților). Durata de exploatare poate depăși 20 de ani.
3. Potențialul energetic eolian poate fi utilizat la maxim: generatorul termic funcționează în toată gama de variație a vitezei vântului. Acumulatorul de energie – rezervor cu apă – este mai ieftin decât acumulatele electrice și nu necesită cheltuieli de întreținere [69, 70].

Scopul și obiectivele tezei.

Scopul tezei constă în evaluarea potențialului eolian pentru entitățile administrativ-teritoriale de nivelul doi (raioane) pentru producerea energiei termice și electrice, cercetarea și proiectarea unui termogenerator eolian pentru conversia directă a energiei eoliene în energie termică, care ar asigura sectorul rezidențial cu energie termică și care ar conduce la atingerea obiectivelor Republicii Moldova privind valorificarea energiilor regenerabile.

Obiectivele stabilite pentru atingerea scopului tezei sunt următoarele:

- analiza sectorului electroenergetic în ultimii 10 ani, inclusiv a producției de energie electrice (EE) din surse regenerabile (e-SRE);
- determinarea perspectivei utilizării energiei termice regenerabile (t-SRE) în gospodăriile casnice din sectorul rural al Republicii Moldova;
- realizarea studiului potențialului energetic și ale caracteristicilor vântului la înălțimi de 50 și 100 m deasupra nivelului solului;
- identificarea amplasamentelor pentru eventualele centrale eoliene și evaluarea capacităților posibile de instalat în entitățile administrativ-teritoriale de nivelul doi (raioane);
- cercetarea și proiectarea unui termogenerator eolian de mică putere pentru sectorul rezidențial.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării constă în identificarea problemelor și căilor posibile de rezolvare privind perspectiva utilizării energiei termice regenerabile (t-SRE) în gospodăriile casnice din sectorul rural și elaborarea metodei de calcul pentru un termogenerator

eolian de mică putere și producerii de energie termică pentru sectorul rezidențial. Problema științifică importantă soluționată constă în cercetarea și proiectarea termogeneratorului eolian pentru conversia directă a energiei eoliene în energie termică pentru producerea de apă caldă menajeră în localitățile rurale.

Importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării.

Prezenta teză aduce contribuții științifice într-un domeniu de interes relativ nou – conversia directă a energiei eoliene în energie termică, se propune o nouă schemă a termogeneratorului eolian cu magneți permanenți, pentru care s-a obținut brevet de invenție. De asemenea, în baza studiului potențialului energetic și caracteristicilor vântului, s-au obținut hărțile potențialului energetic eolian pentru entitățile administrativ-teritoriale de nivelul doi în baza cărora s-a evaluat capacitățile eoliene teoretice posibile de instalat pentru fiecare raion. Rezultatele obținute contribuie la atingerea obiectivelor naționale privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile, de asemenea contribuie și la îmbunătățirea situației în sectorul rural în ceea ce privește alimentarea cu apă caldă prin conversia directă a energiei eoliene în energie termică.

Ipoteza de cercetare.

Conversia directă a energiei eoliene în energie termică poate contribui la:

- Valorificarea potențialului energetic eolian pentru înălțimi mai mici de 50 m;
- Utilizarea mai eficientă a potențialului energetic eolian în vederea producerii energiei termice în comparație cu producerea energiei electrice;
- Îmbunătățirea situației în sectorul rural în ceea ce privește alimentarea cu apă caldă.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese.

Pentru realizarea studiului potențialului energetic și ale caracteristicilor vântului a fost folosită Metoda Atlasului Vântului [21] însoțită de programul specializat Wind Atlas Analysis and Application Program, datele despre viteza și direcția vântului măsurate de Universitatea Tehnică a Moldovei și harta orografică a Republicii Moldova. Pentru fiecare raion s-au calculat și prezentat hărțile vitezei medii anuale ale vântului și densității puterii eoliene la înălțimea de 50 și 100 m deasupra nivelului solului, s-a efectuat clasificarea teritoriului fiecărui raion în funcție de valoarea densității de putere și s-a calculat puterea eoliană teoretică posibil de instalat.

Pentru analiza încălzirii prin inducție în generatorul termic eolian cu magneți permanenți, s-a efectuat studiul caracteristicilor câmpului magnetic generat de magneții permanenți. S-a realizat calculul simplificat al parametrilor și caracteristicilor termogeneratorului cu magneți permanenți în baza cărora au fost realizate simulări utilizând software SOLIDWORKS Electromagnetic Simulation, pentru simularea câmpurilor electromagnetice și simularea procesului de încălzire prin inducție, care implică calculul parametrilor câmpului

electric/magnetic, curenților turbionari, determinarea temperaturilor materialelor la încălzirea prin inducție.

Aprobarea rezultatelor obținute.

Rezultatele de bază ale investigație realizate au fost expuse și aprobate în cadrul mai multor seminare, simpozioane și conferințe de nivel național și internațional:

- International Conference on Electromechanical and Energy Systems” SIELMEN-2019. 10-11 Octombrie 2019;
- Conferința Internațională Zilele Academiei de Științe Tehnice din România 2019 Ediția a XIV-a, octombrie 2019 Chișinău;
- „Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor”, UTM, 26 - 29 martie 2019;
- „Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor”, UTM, aprilie 2020;
- „Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor”, UTM, 23 – 25 martie 2021;
- „International Conference on Electromechanical and Energy Systems” SIELMEN-2021. 7-8 Octombrie 2021;
- „Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor”, UTM, 29 - 31 martie 2022;
- „Conferința Națională de Acționări Electrice” (CNAE), ediția XX, Timișoara | 12-13 Mai 2022;
- International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV), July, 10 – 12, 2022, Suceava, Romania;
- International Conference On Electrical Engineering And Systems (ICEES). 21 – 23 September 2022, Reșița, Romania;
- „International Conference on Electromechanical and Energy Systems” SIELMEN-2023. 12-13 Octombrie 2023.

Sumarul compartimentelor tezei.

Teza de doctor a fost elaborată în conformitate cu cerințele înaintate de către Agenția Națională de Asigurare a Calității în Educație și Cercetare. Teza include introducerea, 4 capitole structurate în paragrafe, adnotarea în limbile română, engleză și rusă, lista abrevierilor utilizate, concluzii generale și recomandări, lista bibliografică în număr de 96 titluri, 7 anexe. Numărul total de pagini al lucrării este 133 (până la bibliografie), conținând 113 figuri și 25 tabele.

În **Introducere** sunt prezentate aspectele generale privind actualitatea temei și necesitatea utilizării conversiei directe a energiei eoliene în energie termică pentru producerea de apă caldă menajeră, scopul și obiectivele tezei, noutatea și originalitatea științifică a lucrării, importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării, ipoteza de cercetare, metodologiei de cercetare precum și sumarul compartimentelor tezei.

În **Capitolul 1** – *Producerea energiei electrice și termice eoliene la nivel mondial și național: starea actuală* s-a realizat o analiză a capacităților eoliene instalate la nivel mondial, s-a efectuat de asemenea analiza sectorului electroenergetic la nivel național în ultimii 10 ani privind producția de energie electrice din surse regenerabile (e-SRE). S-a determinat structura gospodăriilor casnice și s-a evaluat necesarul de energie termică pentru încălzirea apei menajere în perspectiva utilizării energiei termice eoliene.

În **Capitolul 2** – *Studiul potențialului energetic eolian al Republicii Moldova pentru entitățile administrativ – teritoriale de nivelul doi* s-au realizat hărțile potențialului eolian determinat pentru fiecare raion în care sunt indicate toate localitățile și suplimentar, în formă tabelară, sunt prezentate numărul de celule, ariile amplasamentelor cu densitatea de putere eoliană egală sau mai mare de 150 W/m^2 și capacitatea eoliană în MW care teoretic ar putea fi instalată în raionul respectiv.

În **Capitolul 3** – *Conversia directă a energiei eoliene în energie termică* s-a realizat calculul parametrilor și caracteristicilor a termogeneratorului cu magneți permanenți. Sunt prezentate rezultatele simulărilor efectuate în SOLIDWORKS Electromagnetic Simulation pentru studiul câmpului magnetic al generatorului și respectiv determinarea temperaturilor cămășilor (indusului) în funcție de viteza de rotație a rotorului. De asemenea s-au efectuat simulări în SOLIDWORKS Flow Simulation pentru determinarea variației temperaturii în conducta de refulare a termogeneratorului în funcție de debit și pentru determinarea variației presiunii lichidului în conducta de admisie în funcție de debit.

În **Capitolul 4** – *Studii privind perspectivele utilizării energiei termice eoliene* s-a efectuat un calcul pentru estimarea producerii de energie termică de o turbină eoliană dotată cu un generator termic cu magneți permanenți. Este prezentată o metodă de calcul pentru determinarea caracteristicilor vântului pentru diferite înălțimi în baza hărților potențialului energetic eolian elaborate. În același timp s-a realizat calculul pentru determinarea caracteristicilor unei turbine eoliene moderne.

Fiecare capitol al lucrării se încheie cu prezentarea concluziilor de bază și evidențierea principalelor rezultate obținute. Teza finalizează cu prezentarea concluziilor generale.

1. PRODUCEREA ENERGIEI ELECTRICE ȘI TERMICE EOLIENE LA NIVEL MONDIAL ȘI NAȚIONAL: STAREA ACTUALĂ

1.1. Piața eoliană – pentru o tranziție energetică accelerată

Creșterea exponențială a consumului de energie, de la începutul revoluției industriale, a produs schimbări semnificative în mediul global, principalul dintre acestea fiind creșterea concentrației medii de dioxid de carbon din atmosferă de la 280 ppm în 1750 la mai mult de 418 ppm în 2023 [1].

Spre comparație, în anul 2011 concentrația medie de dioxid de carbon din atmosferă era în jur de 390 ppm, astfel este o creștere de aproape 30 ppm în doar 11 ani, o tendință alarmantă.

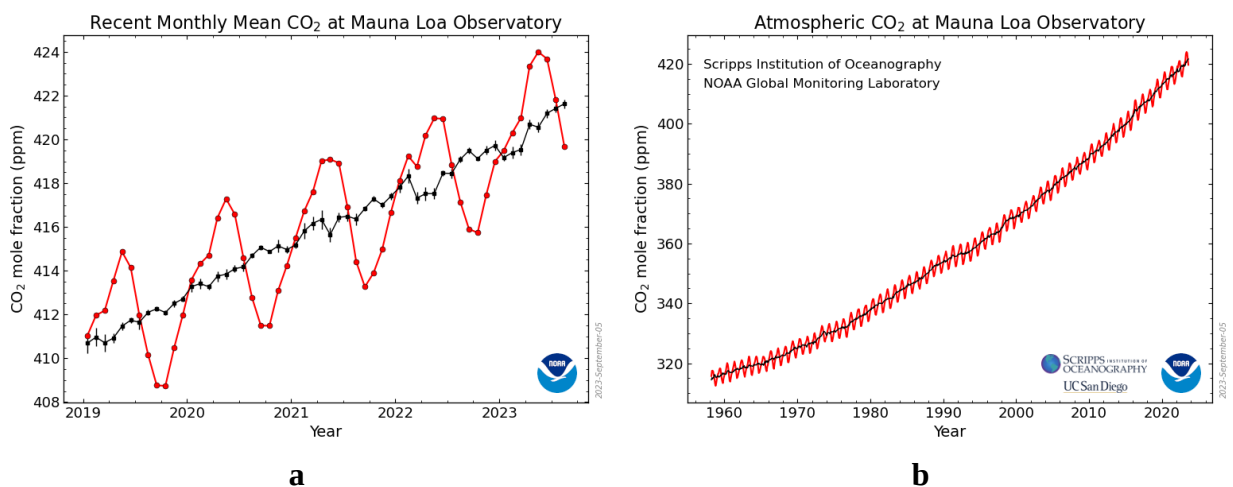


Figura 1.1. Tendințele de creștere a concentrației dioxidului de carbon în atmosferă, perioada 2019 – 2023 (a), perioada 1960 – 2023 (b) [2]

Climatologii prezic că aceste schimbări vor provoca o creștere a temperaturii medii a planetei. Alte efecte semnificative asupra mediului ale consumului de energie sunt: problemele ecologice cauzate de ploile acide, care au amenințat ecosistemele mai multor lacuri și râuri, contaminarea cu plumb a atmosferei, deșeuri nucleare, produse de cele 430 de centrale nucleare aflate în funcțiune la nivel mondial, degajarea de căldură de la toate centralele termice, care este însoțită și de consumul de apă potabilă.

În acest context, energia regenerabilă și în particular, energia eoliană va juca rolul principal în realizarea unui nivel scăzut de carbon. Astfel, într-un studiu efectuat de către Agenția Internațională pentru Energii Regenerabile (IRENA) arată că pentru atingerea obiectivelor de reducere a emisiilor de CO₂ până în 2030, este necesar o creștere triplă a capacității eoliene globale on-shore, o creștere de 10 ori a capacității eoliene off-shore, în plus trebuie electrificarea pe scară largă a proceselor din domeniile și industriile unde se degajă gaze cu efect de seră. Însă, mai multe

blocaje trebuie eliminate de urgență pentru a asigura această creștere accelerată – care se ridică la peste 100 GW pentru instalațiile noi anuale, on-shore și off-shore, în următorul deceniu [3].

Energia eoliană, în particular și sursele regenerabile la general, ca soluție spre realizarea obiectivelor privind micșorarea de emisii de gaze cu efect de seră, se confruntă încă cu o problemă esențială – este o sursă variabilă de energie. O soluție promițătoare ar fi sistemele hibride respectiv combinarea energiei eoliene cu o altă sursă de energie și/sau soluție de stocare, aceasta rămâne un subiect cheie în industria eoliană și în surse regenerabile. Sistemele hibride oferă oportunități de creștere a cotei de surse regenerabile în rețea, pentru înlocuirea combustibililor fosili pe piețele mari precum Europa, SUA și Australia și alte piețe cu creștere înaltă, precum Asia de Sud-Est. Pe piețele emergente, cum ar fi continentul african și zonele îndepărtate, cum sunt insule mici, soluțiile hibride pot aduce valoare și asigura securitatea aprovizionării prin facilitarea integrării sistemului, precum și pentru a permite soluții micro-grid/off-grid.

Sistemele hibride ca soluție care combină mai multe tehnologii este în curs de desfășurare pe multe piețe. Ca soluție tehnică, aceasta poate ajuta la soluționarea provocării cheie a energiei regenerabile variabile: flexibilitate.

În orice caz, energia eoliană s-a extins continuu în ultimii 20 de ani. În 2023, piața mondială a energiei eoliene a atins o nouă treaptă de capacitate instalată cumulativă, cu o creștere continuă puternic vizibilă în Asia, America și Europa.

1.2. Tehnologia eoliană – cea mai dinamică tehnologie de producere a energiei regenerabile

În anul 2022 s-au înregistrat instalații noi eoliene globale care depășesc 77,6 GW și aducând capacitatea totală instalată la 906 GW, o creștere de 9 % față de anul 2021. Noile instalații de pe piața eoliană on-shore au atins 68,8 GW, în timp ce piața eoliană off-shore a înregistrat 8,8 GW, figura 1.2, reprezentând aproximativ 11 % din capacitățile noi instalate la nivel global în 2022 [4].

Asia continuă să conducă în dezvoltarea energiei eoliene la nivel mondial, cu o capacitate de 43,5 GW nou instalate în 2022, reprezentând 56 % din noile capacități globale, urmată de Europa cu 25 % din capacitățile noi, datorită, în primul rând, unei creșteri în Spania, Suedia și Germania. America de Nord a avut o cotă parte de 12 %, pe când dezvoltarea piețelor din Africa, Orientul Mijlociu, America Latină și Asia de Sud-Est a înregistrat o creștere constantă, dar nespectaculoasă, cu capacități de 6,2 GW în 2022, America Latină 7 %, Africa și Orientul Mijlociu doar 1 %, figura 1.3.

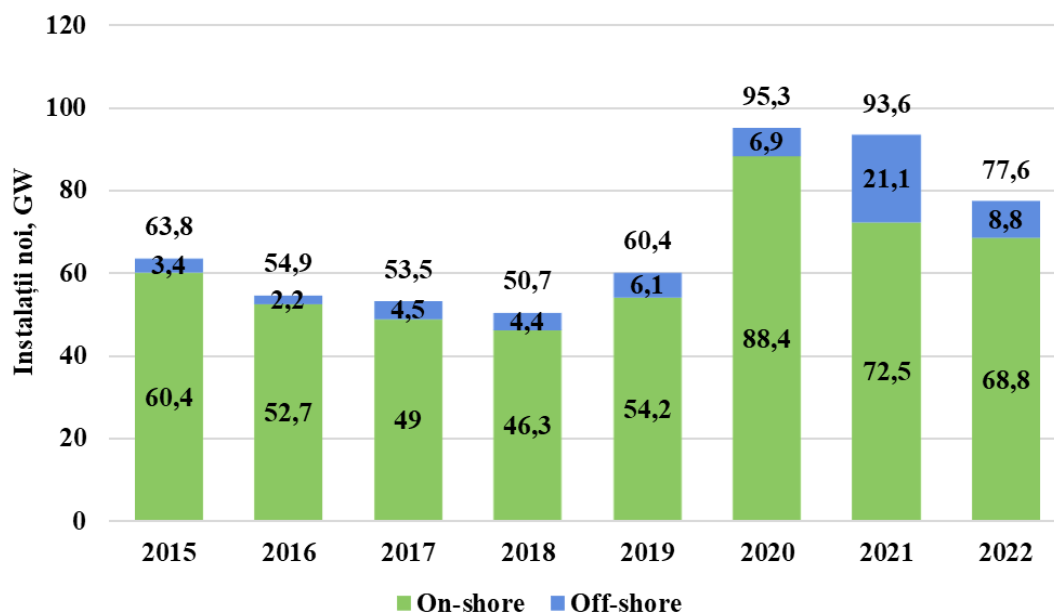


Figura 1.2. Instalații eoliene noi

Primele cinci state cu cele mai mari capacități noi instalate de putere eoliană în 2022 au fost China, SUA, Brazilia, Germania și Suedia. Aceste cinci piețe au constituit împreună 71 % din capacitatea globală în 2022, figura 1.4.

În ceea ce privește capacitățile cumulate, primele cinci piețe la sfârșitul anului 2022 au rămas neschimbate. Aceste piețe sunt: China, SUA, Germania India și Spania, care au reprezentat împreună 72% din totalul instalației eoliene instalate la nivel mondial [4].

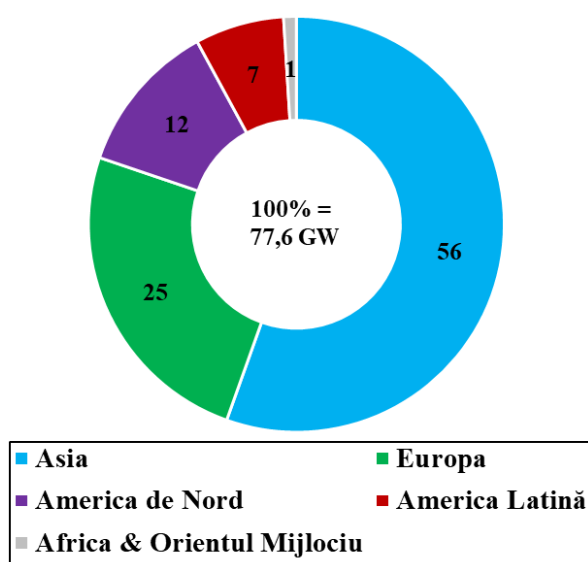


Figura 1.3. Capacități noi instalate în 2022 pe regiuni, % [4]

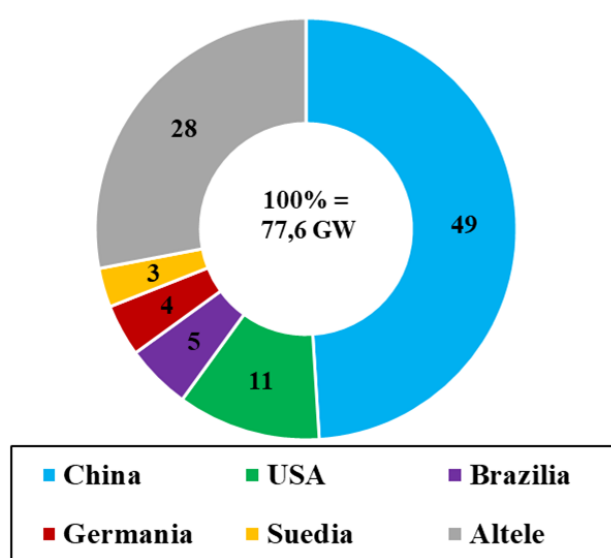


Figura 1.4. Capacități noi instalate în 2022 pe state, % [4]

Deși capacitățile globale continuă să crească, investițiile nu cresc suficient de rapid. Totuși în 2022, investițiile în energia eoliană on-shore și off-shore au totalizat 174 miliarde USD, ceea ce este semnificativ mai mult comparativ cu 72 miliarde USD în 2013, figura 1.5. Aceasta înseamnă că investițiile în energie eoliană au crescut cu aproximativ 14 % în ultimul deceniu. O scădere a investițiilor într-un anumit an poate nu obligatoriu ar însemna o scădere a capacității instalate în același an. În 2017, de exemplu, investițiile au crescut, dar capacitatea nou instalată a scăzut. Acest lucru se datorează parțial scăderilor costurilor, dar și din cauza decalajului de timp dintre finanțarea și finalizarea unui proiect. Decalajul este estimat a fi de aproximativ 0,9 ani pentru eolianul on-shore și de 2 ani pentru eolianul off-shore, deși unele proiecte pot dura mai mult pentru a fi puse în funcțiune [5].

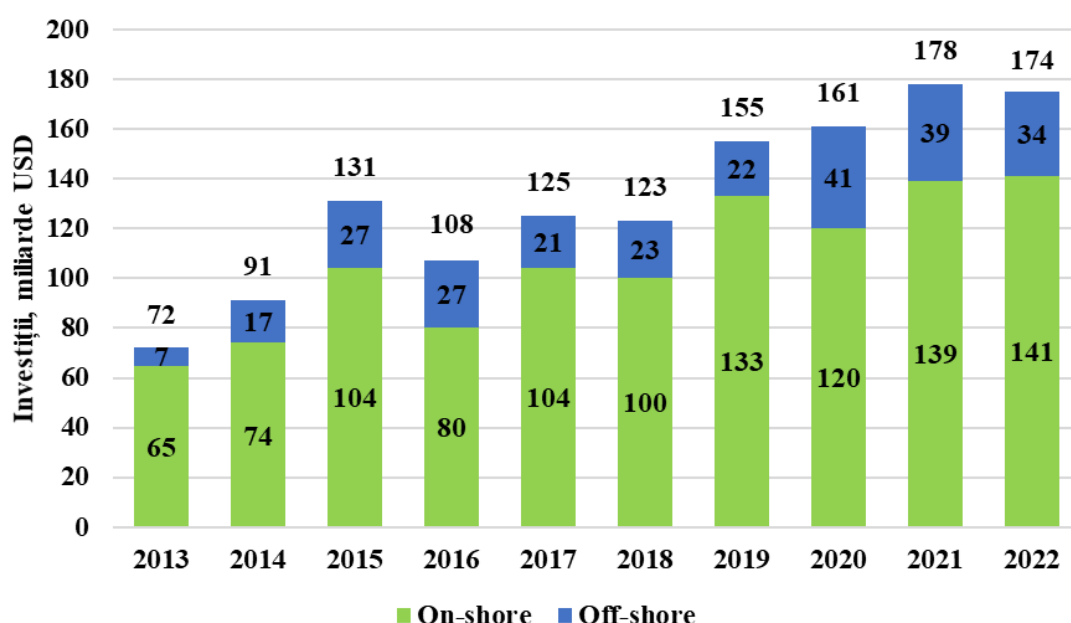


Figura 1.5. Investițiile în energia eoliană [5]

Piața mondială eoliană on-shore. La nivel global în anul 2022 au fost instalate circa 68,8 GW de capacitate eoliană on-shore, o scădere de 5 % față de anul 2021, în care s-au înregistrat capacități on-shore noi instalate de 72,5 GW. Însă totuși anul 2022 rămâne a fi al treile după capacitatea instalată on-shore. Astfel, capacitatea eoliană cumulativă on-shore este egală cu 842 GW.

Ca cea mai mare piață eoliană din lume, China a conectat la rețea 32,4 GW putere eoliană on-shore în anul 2022 sporind totalul capacităților sale on-shore la 337 GW, ceea ce constituie 40 % din capacitatea totală instalată on-shore la nivel mondial. Sectorul eolian din China a trecut printr-o perioadă crucială de reformă în domeniul reglementării în ultimii ani. În 2018, guvernul chinez a introdus o schemă de licitație și un an mai târziu, Comisia Națională de Dezvoltare și Reformă a lansat o politică prezentând o foaie de parcurs clară către energia eoliană „fără

subvenții”. Acest regulament înseamnă că proiectele deja aprobate până în 2018 au primit în continuare tariful reglementat de alimentare dacă sunt conectate la rețea înainte de sfârșitul anului 2020. Începând cu 1 ianuarie 2021, toate proiectele eoliene aprobate sunt conectate la rețea în paritate, ceea ce înseamnă că electricitatea generată din surse regenerabile va primi aceeași remunerație ca și cea de la centralele pe cărbune. Astfel, din 2021 noile capacități eoliene on-shore în China sunt conduse de proiecte fără subvenții.

A doua cea mai mare piață din 2022 a fost SUA cu 9 GW capacități noi on-shore și cu o capacitate totală de 143 GW. În SUA energia eoliană on-shore este determinată în primul rând de către planurile PTC (Production Tax Credit). Odată cu semnarea actului de reducere a inflației în august 2022, PTC va rămâne principalul motor al noilor instalații capacități on-shore din SUA cel puțin până în 2024. Pe lângă China și SUA, printre primele cinci state cu piețe eoliene on-shore sunt și Brazilia (4,1 GW), Suedia (2,8 GW) și Finlanda (2,7 GW) [4].

În ceea ce privește mecanismele de susținere a pieței, situația a rămas neschimbată. Excluzând cele mai mari două piețe, China și SUA, licitațiile și certificatele ecologice, au fost principalii factori care au stat la baza implementării noilor instalații eoliene on-shore în 2022.

Piața mondială eoliană off-shore O capacitate eoliană off-shore de circa 8,8 GW au fost instalate la nivel global în 2022, o scădere considerabilă față de anul 2021, care a fost un an record cu capacități on-shore noi instalate de 21,1 GW. Însă totuși anul 2022 rămâne a fi al doilea după capacitatea instalată off-shore. Astfel, capacitatea cumulativă off-shore a ajuns la 64,3 GW [4].

China rămâne a fi cu cea mai mare capacitate instalată, în 2022 a instalat mai mult de 5 GW off-shore eolian, ceea ce constituie 58 % din capacitatea totală nou instalată la nivel mondial. Regatul Unit și Taiwanul au fiecare câte 13 %, aproximativ 1,1 GW în 2022. Franța și Olanda au instalat aproximativ câte 0,4 GW.

În sectorul off-shore din SUA, care este unica țară cu turbine eoliene off-shore din America de Nord, în 2022 nu a fost instalată nici o turbină eoliană off-shore.

Dezvoltarea pe piețele off-shore din Asia rămâne a fi pozitivă și în 2022. În afara Chinei, Taiwanul și Japonia au o dinamică pozitivă în vederea conectării rețelei off-shore la scară mare. Până în 2025 Taiwanul planifică instalarea a 5,6 GW de putere eoliană, apoi mai preconizează a fi instalate încă 10 GW între anii 2026 și 2030.

În general, piața eoliană off-shore a crescut de la 23 GW în 2018 la 64 GW 2022, o creștere semnificativă în doar cinci ani, figura 1.6 [4].

În figura 1.6 este prezentată dezvoltarea istorică a noilor capacități eoliene (on-shore și off-shore) și în figura 1.7 dezvoltarea istorică a capacității cumulative eoliene instalate (on-shore și off-shore).

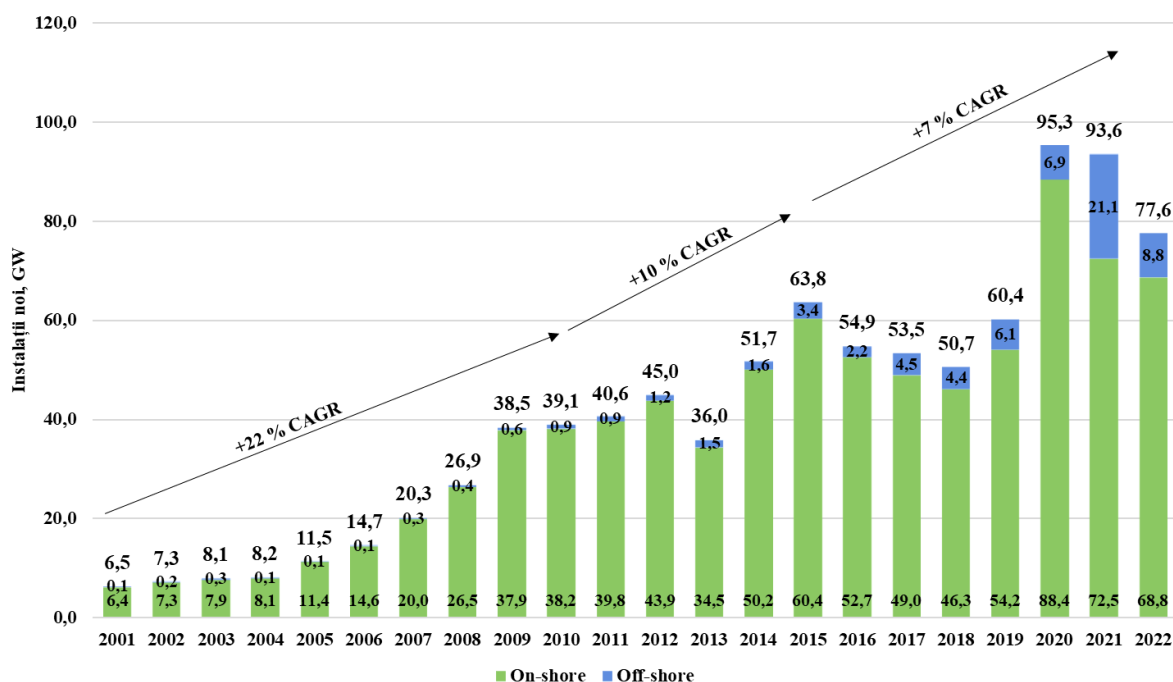


Figura 1.6. Dezvoltarea istorică a noilor capacități eoliene (on-shore și off-shore)

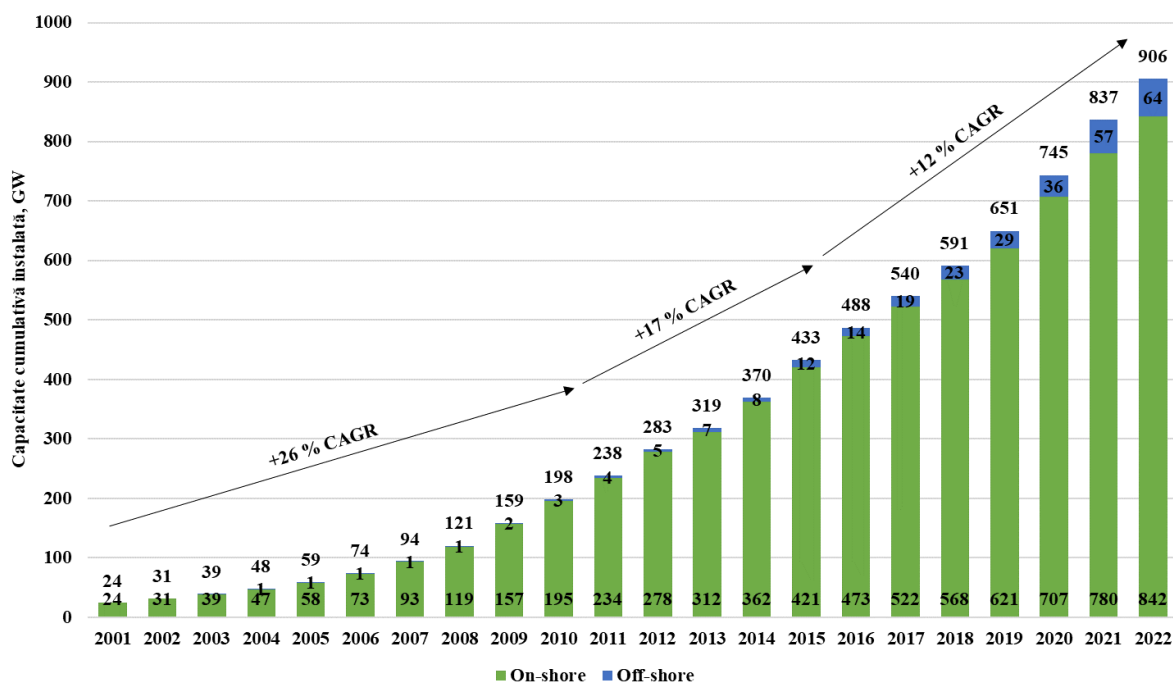


Figura 1.7. Dezvoltarea istorică a capacității cumulative eoliene instalate (on-shore și off-shore)

Capacitatea instalațiilor eoliene este într-o creștere continuă, iar conform celor de la GWEC Market Intelligence [4], se așteaptă ca noile instalații de energie eoliană să depășească 100 GW în 2023 și respectiv capacitate nouă instalată în următorii cinci ani, conform politicilor actuale, va atinge 680 GW. Aceasta ar însemna mai mult de 136 GW de noi instalații pe an până în 2027.

1.3. Producerea energiei electrice regenerabile (e-SRE) în perioada 2011-2022: cazul Republicii Moldova

Producerea Energiei Electrice din Surse Regenerabile de Energie (e-RES), contribuie la atenuarea emisiilor de GES. Totodată, în cazul Republicii Moldova, se reduce dependența de procurările energiei electrice de la CTE Moldovenească (Transnistria) sau de importul de peste hotare. În anul 2022 procurările de energie electrică de la CTE Moldovenească și importul de peste hotare au constituit 81,13 % [6], respectiv doar 18.86 % s-au produs în partea dreaptă a Nistrului.

Cu excepția energiei electrice hidraulice, până în a. 2010 în Moldova e-RES nu s-a produs. În acel an a fost implementată prima instalație de producere a energiei electrice. În prezent se dezvoltă trei tehnologii de producere a e-RES: solară fotovoltaică, eoliană și din biogaz. În anul 2022 producția de e-RES a constituit circa 196,237 GWh sau 4,8 % din consumul total de energie electrică, figura 1.8, iar puterea instalată a fost egală cu 143,8 MW, figura 1.9 [6]. Cantitatea respectivă de energie electrică produsă s-a majorat cu 68,5 % comparativ cu anul 2021, an pe parcursul căruia a fost livrată în rețelele electrice o cantitate totală de energie electrică produsă din surse regenerabile de 116,313 GWh, tabelul 1.1.

Tabelul 1.1. Producerea EE din surse regenerabile în anii 2016-2022 [6]

Tip SRE	Cantitate energie electrică produsă și livrată în rețelele electrice, mii kWh						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Energie solară (fotovoltaică)	1311	1509	1457	1437	3275	7764	30297
Biogaz (produs din biomasă)	14030	21576	27961	28748	27793	32239	23567
Energie eoliană	2477	7066	21968	36915	50138	76310	142373
Total	17818	30151	51386	67100	81206	116313	196237

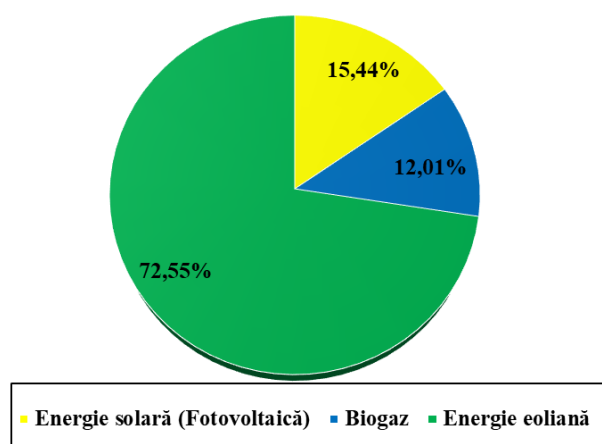


Figura 1.8. Contribuția fiecărei SRE în cantitatea totală de energie electrică produsă din SRE, 2022

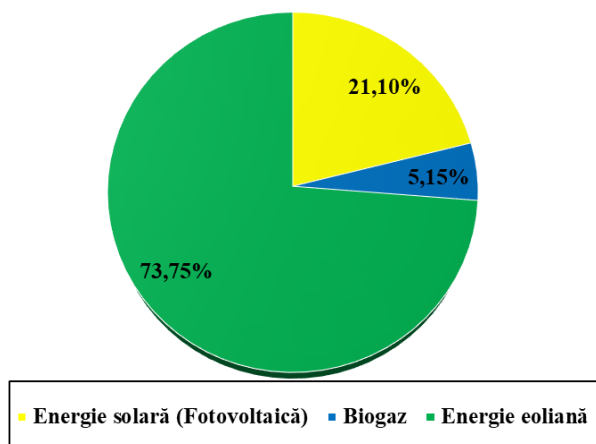


Figura 1.9. Distribuția capacităților de producere a energiei electrice pe tipuri de SRE, 2022

Totodată, se atestă o creștere rapidă a capacităților de producere a e-RES. Astfel în perioada 2011-2022 capacitatea totală instalată a crescut de la 0,085 la 143,8 MW figura 1.10.

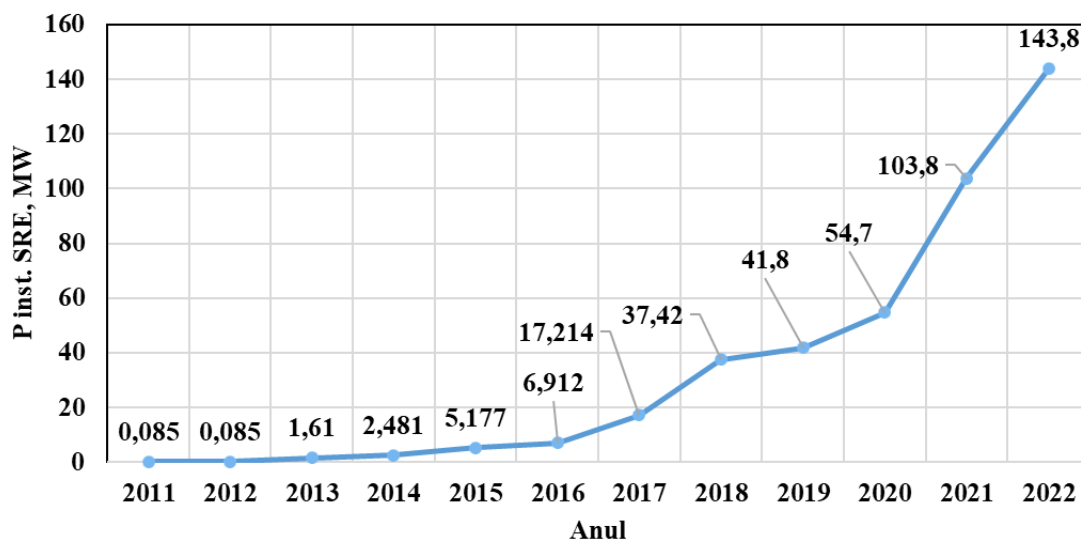


Figura 1.10. Evoluția capacității totale instalate de SRE

În același timp, puterea totală a grupurilor electrogene care funcționează pe biogaz la sfârșitul anului 2022 a constituit circa 7400 kW, cu o cantitate de energie electrică produsă și livrată în rețelele electrice de 23,57 GWh [6]. Dezvoltarea capacităților de producere a electricității din biogaz sunt prezentate în figura 1.11.

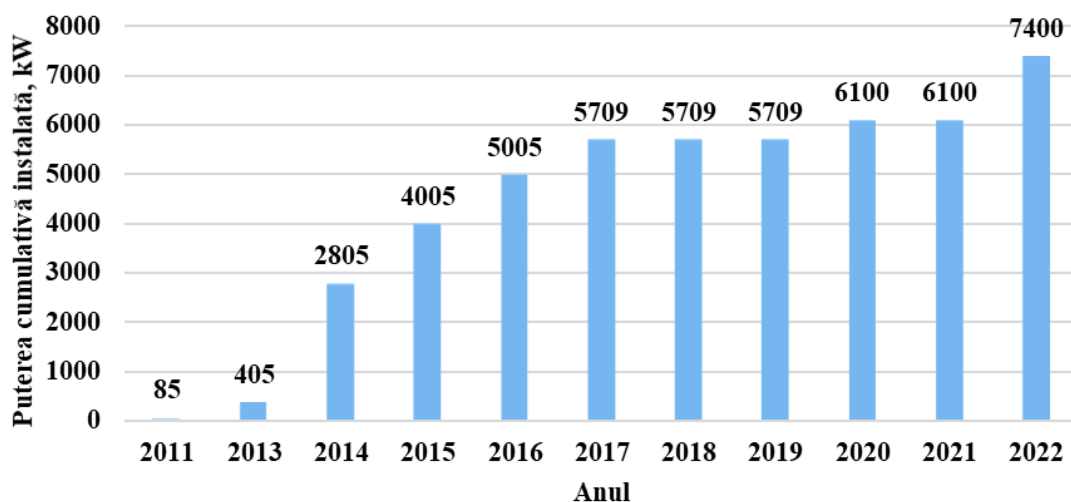


Figura 1.11. Dinamica creșterii capacității grupurilor electrogene pe biogaz

Totodată, tehnologia de producere a energiei electrice prin conversia radiației solare este una printre cele mai promițătoare cu o perspectivă enormă de dezvoltare. În anul 2022 puterea cumulativă a sistemelor fotovoltaice a atins circa 30,3 MW, o creștere de 3 ori în comparație cu anul 2021 și în rețea s-a livrat 30297 mii kWh [6]. Din figura 1.12, pentru perioada 2012-2022, se constată o creștere enormă a capacităților fotovoltaice.

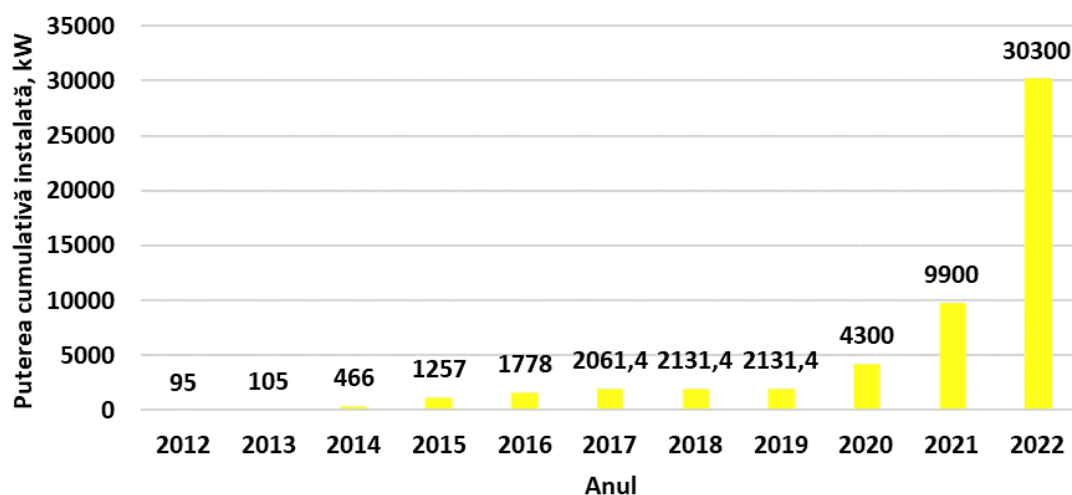


Figura 1.12. Dinamica creșterii capacității fotovoltaice în perioada 2012-2022

Filieră eoliană, în decursul anilor, s-a dezvoltat doar cu aportul investitorilor locali, care importă și instalează turbine eoliene de mână a doua. Astfel, prima turbină eoliană cu puterea 1,1 MW a fost dată în exploatare în 2012, conectată la rețea și din februarie 2013 furnizează electricitate în sistemul electroenergetic la un tarif reglementat, calculat și aprobat de ANRE. Ulterior, pe parcursul a 4 ani (2012-2015) puterea instalată eoliană a rămas constantă și egală cu 1,1 MW. Începând cu anul 2016 se constată o îmbunătățire – puterea instalată a crescut cu 10,5 MW, de către investitorii locali au fost importate turbine și montate în zona de nord a țării. Apoi, în anul 2017 suplimentar au fost importate turbine eoliene cu o putere totală de 5 MW, și spre sfârșitul anului 2018 puterea cumulativă a fost de 29,33 MW. Pe parcursul următorilor ani, capacitățile au crescut constant, iar în anul 2022 a fost dată în exploatare o capacitate record, ajungând în total la 105,9 MW, semnificativ mai mult decât în 2021, figura 1.13.

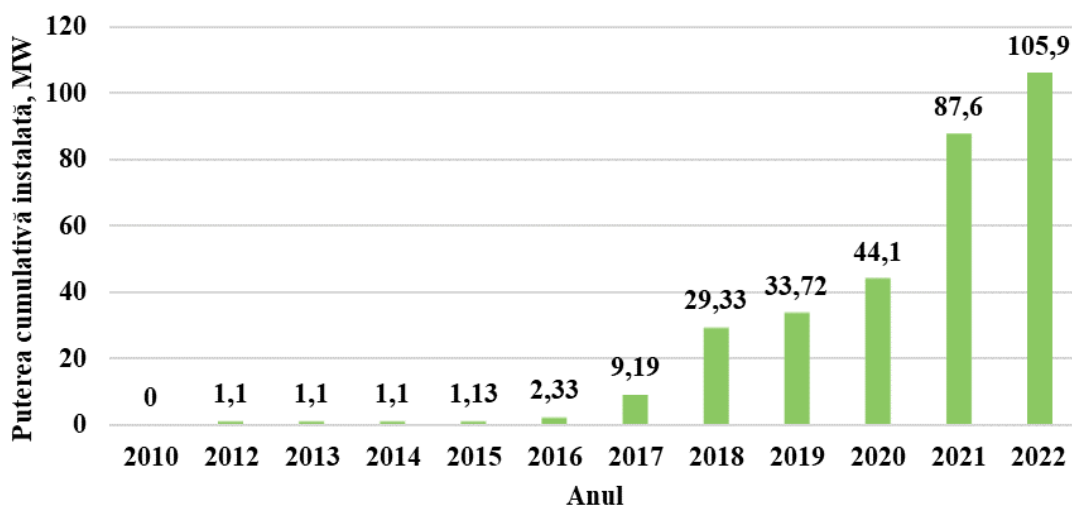


Figura 1.13. Dinamica creșterii capacității instalațiilor eoliene în perioada 2012-2022

1.4. Perspectiva utilizării energiei termice (t-SRE) în gospodăriile casnice din sectorul rural al Republicii Moldova

Conform rezultatelor cercetării privind consumul de energie în gospodăriile casnice, efectuat de către Biroul Național de Statistică, s-a stabilit structura gospodăriilor casnice cât și a sistemelor de încălzire a apei menajere în gospodăriile casnice din sectorul rural [7].

1.4.1. Clasificarea gospodăriilor casnice din sectorul rural după numărul de persoane

Repartizarea gospodăriilor casnice după numărul de persoane în gospodărie relevă o preponderență a gospodăriilor formate maxim din 2 persoane (28,6 %), gospodăriile din 4 și mai multe persoane fiind prezentate în proporție de 26,3 % din total gospodării. Gospodăriile cu 5 și mai multe persoane sunt caracteristice în special pentru mediul rural, figura 1.14 [7].

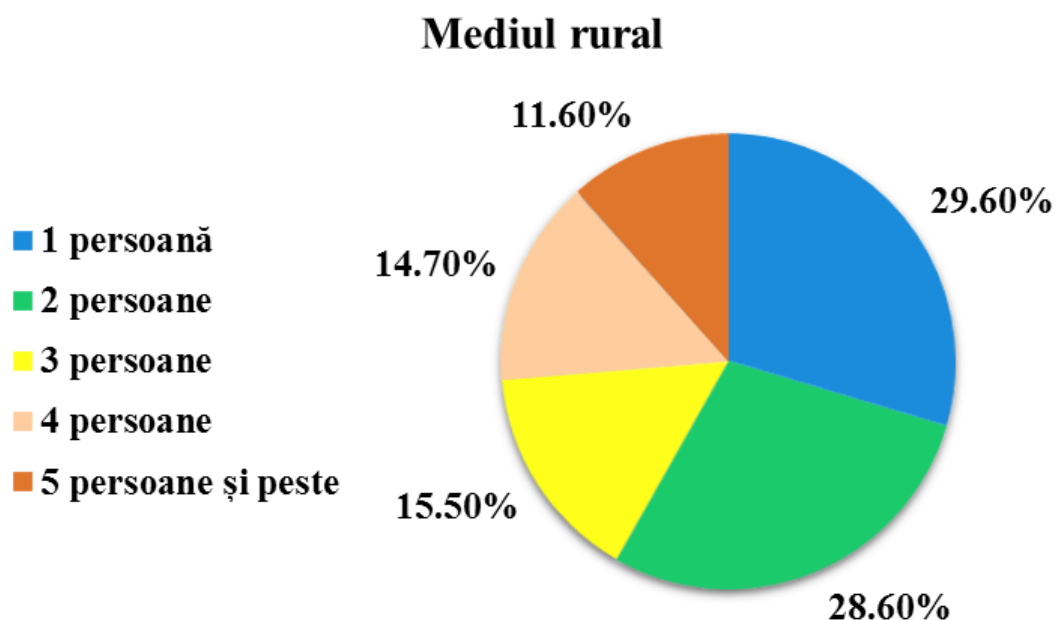


Figura 1.14. Repartizarea gospodăriilor după numărul de persoane

1.4.2. Suprafața totală și suprafața încălzită din sectorul rural

Conform datelor studiului, mai mult de jumătate din gospodării (61,7 %) sunt locuințe cu suprafața totală de 50 – 99 m². În același timp 17,3 % – locuințe cu o suprafață totală de 21 – 49 m² și doar 20,6 % din gospodării dispun de locuințe cu suprafața totală de peste 100 m², figura 1.15 [8].

Totodată, o analiză a structurii gospodăriilor după suprafața încălzită a locuințelor demonstrează că în perioada rece a anului populația încălzește o suprafață cu mult mai mică, decât suprafața totală a locuințelor. Ponderea cea mai mare o dețin gospodăriile cu o suprafață încălzită a locuințelor de 21 – 49 m² și doar 10,0 % încălzesc o suprafață de 50 – 99 m², figura 1.16 [7].

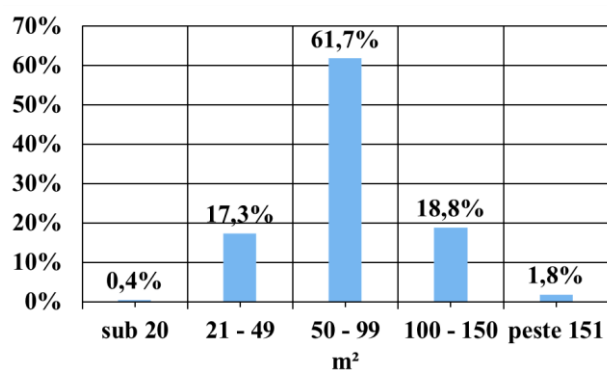


Figura 1.15. Structura suprafeței totale a locuințelor din sectorul rural

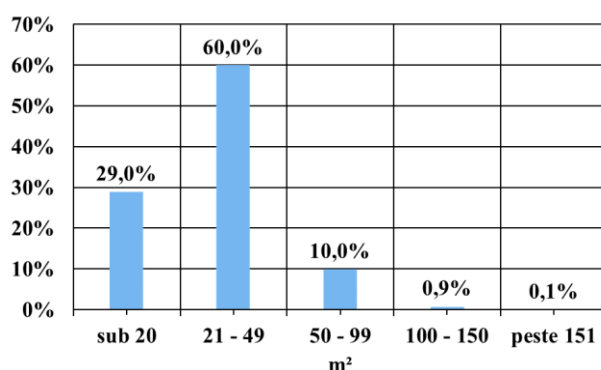


Figura 1.16. Structura suprafeței încălzite a locuințelor din sectorul rural

1.4.3. Sisteme de încălzire a apei menajere în gospodăriile casnice din sectorul rural

Conform datelor studiului 77,6 % din locuințe nu dispun de nici un tip de sistem de încălzire a apei menajere, 22,3 % din locuințe dispun de sistem autonom de încălzire a apei menajere și doar 0,1 % din locuințe sunt conectate la sistemul centralizat de încălzire a apei menajere. Astfel, pe medii de reședință situația este în defavoarea mediului rural, figura 1.17 [7]. O astfel de stare afectează grav respectarea normelor sanitare și în consecință a sănătății oamenilor. O soluție poate fi valorificarea potențialului eolian în scopul producerii energiei termice pentru încălzirea apei menajere folosind generatoare termice speciale cu eficiența de peste 95 %.

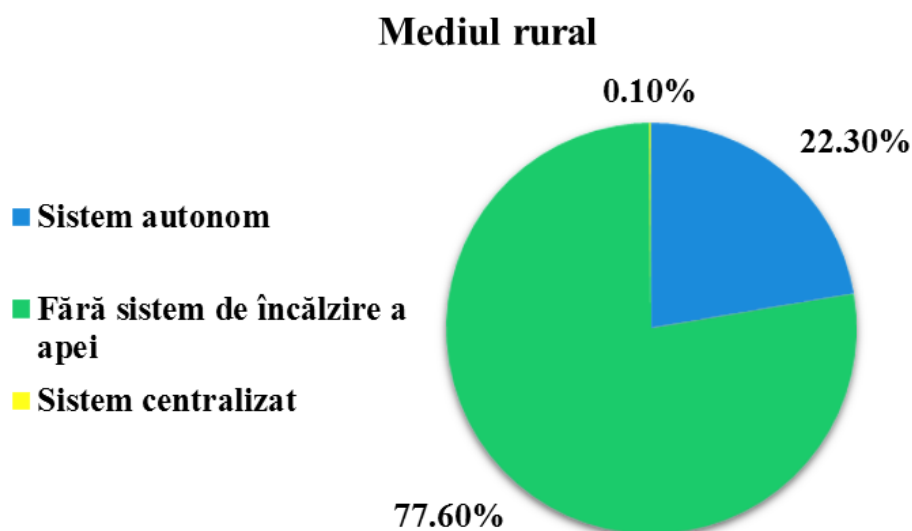


Figura 1.17. Repartizarea locuințelor după sistemul de încălzire a apei menajere

1.5. Evaluarea consumului de energie termică pentru încălzirea apei menajere

1.5.1. Norme de consum de apă pentru case locative

Normele de consum pe apă potabilă sunt determinate în conformitate cu normele consumului de apă pentru clădirile de locuit și cele publice, specificate în Regulamentul Igienic, aprobat de Consiliul de expertiză al Ministerului Sănătății și Protecției Sociale prin procesul-verbal nr. 5 din 31.10.1996, Regulamentul privind achiziționarea, proiectarea, instalarea, recepția și exploatarea aparatelor de evidență a consumurilor de apă, aprobat prin Hotărârea de Guvern nr.1228 din 13.11.2007, Regulamentul privind folosirea sistemelor comunale de alimentare cu apă și de canalizare, aprobat prin Hotărârea de Guvern nr. 656 din 27.05.2002 și Regulamentului de organizare și funcționare a serviciilor publice de alimentare cu apă și de canalizare din municipiul Chișinău aprobat prin Decizia Consiliului Municipal Chișinău nr.5/4 din 25.03.2008.

Pentru normele de consum sunt aprobate peste 20 de categorii de consum pentru o persoană, în dependență de dotarea cu servicii a locuinței (apă potabilă, canalizare, apă caldă, duș, cadă de baie, veceu, încălzitor cu gaze, etc). Spre exemplu în prezent, pentru apartamentele dotate cu sistem de alimentare cu apă potabilă, apă caldă, sistem de canalizare, dotate cu veceu, lavoare, cu cadă de baie de lungimea 1500 mm și mai mare, și cu duș, valoarea normei de consum la apă rece este de $0,195 \text{ m}^3/\text{zi}$ pentru o persoană, pentru apă menajeră - $0,105 \text{ m}^3/\text{zi}$ pentru o persoană, conform normativelor aprobate.

Regulile și normele igienice prezintă directiva normativă a Republicii Moldova, ce stabilește cerințele igienice (normative) cu privire la proiectarea, construirea și exploatarea apeductelor destinate aprovizionării populației cu apă potabilă inofensivă și favorabilă după calitățile organoleptice, fizico-chimice și microbiologice [9].

Regulile și normele igienice se extind asupra proiectării, construirii și exploatării apeductelor exterioare și interioare de apă potabilă, ale blocurilor locative și clădirilor publice, construite deja sau reconstruite, ale clădirilor de producere și auxiliare de la întreprinderile industriale, aflate și amplasate atât în centrele populate existente cât și în cele din nou construite, și de asemenea conțin cerințe igienice principale cu privire la menținerea și exploatarea rețelelor de apeduct ce aduc apă pentru scopuri potabile și pentru fabricarea produselor alimentare [9].

Normele necesarului de apă la un locuitor/litri/pe zi/pentru apeductele centrelor populate, blocurilor locative și clădirilor publice, clădirilor auxiliare și de producere a întreprinderilor industriale trebuie să fie stabilite în fiecare caz aparte în dependență de gradul de amenajare, condițiile climaterice și alte condiții locale [9], astfel în baza documentelor normative din domeniu, enumerate mai sus, inclusiv și pentru respectarea normelor igienice, au fost determinate norme de consum pentru casele locative din mediul rural, tabelul 1.2.

Tabelul 1.2. Norme de consum de apă pentru casele locative [9, 10]

Nr. d/o	Consumatori	Unitate de raportare	Norma consumului de apă, litri	
			Total	Inclusiv apă caldă
	Case locative			
1	Cu sistem de alimentare cu apă potabilă, fără sistem de canalizare, fără closet, fără cadă de baie sau duș	La 1 pers. / zi	90	36
2	Cu sistem de alimentare cu apă potabilă, sistem de canalizare, fără closet, fără cadă de baie sau duș	La 1 pers. / zi	95	40
3	Cu sistem de alimentare cu apă potabilă, apă caldă, fără sistem de canalizare, dotate cu closet, lavoare, cu cadă de baie mică sau duș	La 1 pers. / zi	100	45
4	Cu sistem de alimentare cu apă potabilă, apă caldă, sistem de canalizare, dotate cu closet, lavoar, cadă de baie mică sau duș	La 1 pers. / zi	250	105

De menționat faptul că în conformitate cu rezultatele studiilor efectuate anterior în diferite țări europene [11] conform rapoartelor de consum de apă caldă menajeră și variațiile lunare, se evidențiază numeroase diferențe în consumul de apă caldă menajeră, precum și tendința de a se schimba în timp datorită creșterii globale a prețurilor la energie, schimbărilor tehnologice, introducerii contorizării individuale, precum și a unei largi varietăți de alți factori care pot apărea la nivel local sau regional. Astfel, raportul mediu anual de consum de apă caldă menajeră este de 42 % din consumul total de apă în gospodării [11].

Într-un alt studiu [12], pentru modelarea consumului de apă caldă menajeră în gospodării și energiei necesare pentru încălzirii apei, se presupune că din totalul de apă utilizată într-o gospodărie, circa 50 % necesită încălzirea acesteia, utilizată pentru baie, duș, lavoare, spălat vase, rufe și pentru gătit [12].

Conform normelor de consum de apă potabilă și de apă caldă din [9, 10], este de menționat faptul că raportul dintre consumul de apă rece și apă caldă, pentru toate categoriile de consumatori, este aproximativ egal cu 45 %.

1.5.2. Clasificarea locuințelor după dotarea cu comodități

Dotarea locuinței cu principalele comodități reflectă gradul de confort al fondului locativ. Astfel, cea mai mare parte a gospodăriilor din mediul urban beneficiază de un șir de utilități în interiorul locuinței (rețele de apă caldă, încălzire, grup sanitar, canalizare, etc.), ceea ce este mai puțin caracteristic mediului rural. În tabelul 1.3 sunt prezentate datele despre dotarea locuințelor pe comodități.

Tabelul 1.3. Dotarea locuințelor pe comodități, după regiuni [13]

	Chișinău, %	Nord, %	Centru, %	Sud, %
Apă caldă rețea publică	31.90	-	-	-
Apă caldă sistem propriu	62.30	42.70	51.20	54.10
Sistem de canalizare rețea publică	89.30	23.70	11.60	12.30
Sistem de canalizare propriu	7.60	35.70	56.20	52.30
Baie sau duș în interiorul locuinței	92.70	46.00	54.60	56.20
Grup sanitar cu apă în interiorul locuinței	90.80	42.20	45.30	41.80

În figura 1.18 este prezentată distribuția gospodăriilor după comodități sub formă grafică.

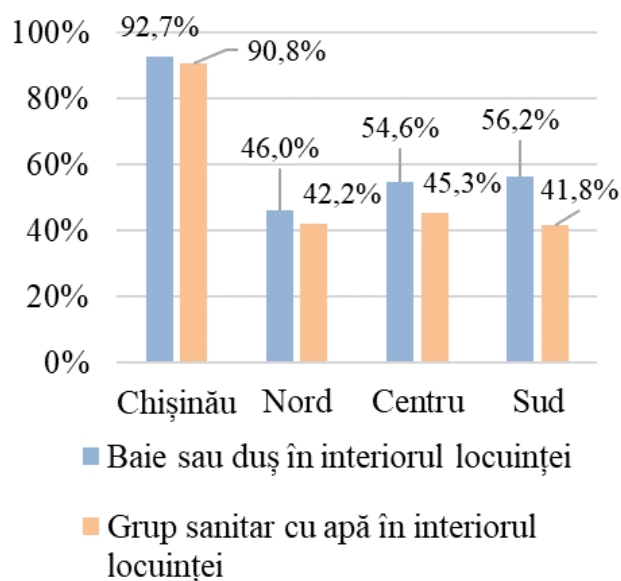


Figura 1.18. Distribuția gospodăriilor după comodități, după regiuni

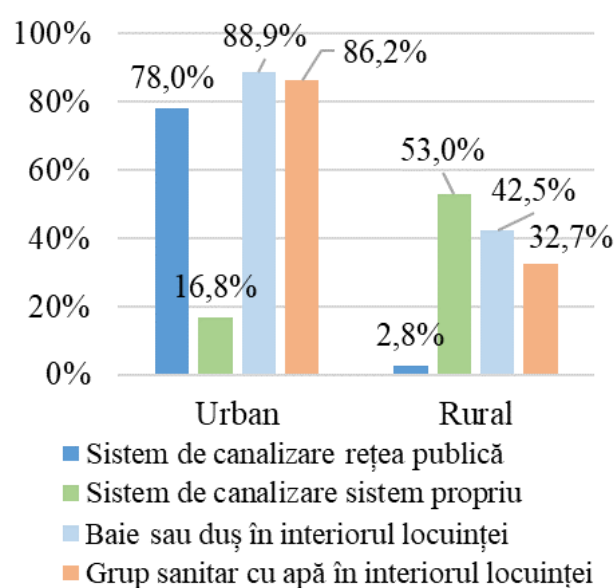


Figura 1.19. Distribuția gospodăriilor după sistemul de canalizare și comodități, după medii

În mediul urban, 97,0 % din gospodării au acces la apeduct, 86,2 % dispun de grup sanitar cu apă în interiorul locuinței, 94,8 % au sistem de canalizare și 88,9 % dispun de baie sau duș în interiorul locuinței, figura 1.19. În cazul gospodăriilor din mediul rural doar 70,5 % dispun de apeduct, 32,7 % – de grup sanitar cu apă în interiorul locuinței, 55,8 % au sistem de canalizare și doar 42,5 % dispun de baie sau duș în interiorul locuinței figura 1.19, [14]. În tabelul 1.4 sunt prezentate datele despre dotarea locuințelor pe comodități.

Tabelul 1.4. Dotarea locuințelor pe comodități, după medii [15]

	Total, %	Urban, %	Rural, %
Apă caldă rețea publică	7.30	18.10	-
Apă caldă sistem propriu	51.80	69.40	40.10
Sistem de canalizare rețea publică	33.00	78.00	2.80
Sistem de canalizare propriu	38.40	16.80	53.00
Baie sau duș în interiorul locuinței	61.10	88.90	42.50
Grup sanitar cu apă în interiorul locuinței	54.20	86.20	32.70

1.5.3. *Calculul cantității specifice de energie termică necesară pentru încălzirea apei*

Cantitatea de energie termică necesară pentru încălzirea 1 m³ de apă se determină cu formula [16]:

$$q_{\text{încălzită}} = \gamma \cdot c \cdot (t_h - t_c) \cdot (1 + K_{PT}) \cdot 10^{-6} \quad (1.1)$$

unde:

γ – greutatea volumetrică a apei, kgf/m^3 ; valoarea greutății volumetrice a apei se admite în dependență de temperatura la care este efectuată încălzirea apei cu scopul alimentării cu apă caldă menajeră și se acceptă egală cu:

- 983,24 kgf/m^3 la $t_h = 60^\circ C$;
- 985,73 kgf/m^3 la temperatura $t_h = 55^\circ C$;
- 988,07 kgf/m^3 la temperatura $t_h = 50^\circ C$;

c – capacitatea termică specifică a apei, $kcal/(kgf \cdot ^\circ C)$, se admite egală cu 1,0 $kcal/(kgf \cdot ^\circ C)$;

t_h – temperatura medie a apei calde în punctele de priză, $^\circ C$;

t_c – temperatura medie a apei reci în rețeaua de apeduct, $^\circ C$;

K_{PT} – coeficient, ce ia în considerare pierderile de căldură ale conductelor sistemului de alimentare cu apă caldă menajeră și cheltuielile de energie termică pentru încălzirea camerelor de baie [16].

Cota pierderilor de energie termică în rețelele termice de alimentare cu apă caldă menajeră este estimată în mărime de 5 % [17].

Temperatura medie a apei reci din rețeaua de apeduct, t $^\circ C$, se admite conform datelor stației locale de meteorologie; în absența unor date fiabile, temperatura medie se determină conform formulei [16]:

$$t_c = \frac{t_c^{\text{inc}} \cdot n^{\text{inc}} + t_c^{\text{tranz}} (n - n^{\text{rep}} - n^{\text{inc}})}{n - n^{\text{rep}}} \quad (1.2)$$

unde:

t_c^{inc} – temperatura apei reci în rețeaua de apeduct în perioada de încălzire, se admite egală cu 5 $^\circ C$;

t_c^{tranz} – temperatura apei reci în rețeaua de apeduct în perioada de tranziție, se admite egală cu 15 $^\circ C$;

n – numărul de zile într-un an (se admite egal cu 365 sau 366), zile;

n^{inc} – durata perioadei de încălzire, zile;

n^{rep} – durata perioadei de reparații în sistemul de alimentare cu căldură (întreruperea funcționării sistemelor de alimentare cu apă caldă menajeră), zile [16].

În tabelul 1.5 sunt prezentate rezultatele calculului cantității specifice de energie termică $q_{\text{încălzită}}$ pentru încălzirea apei până la temperatura de 50 – 55 °C. Temperatura apei reci se admite de 2 – 20 °C.

Tabelul. 1.5. Cantitatea specifică de energie termică pentru încălzirea 1 m³ apă [16]

Temperatura apei reci, °C	Cantitatea specifică de energie termică, $q_{\text{încălzită}}$ Gcal/m ³ , la temperatura de încălzire	
	50 °C	55 °C
2	0,04743	0,05224
3	0,04644	0,05126
4	0,04545	0,05027
5	0,04446	0,04929
6	0,04348	0,04830
7	0,04249	0,04732
8	0,04150	0,04633
9	0,04050	0,04534
10	0,03952	0,04436
11	0,03853	0,04337
12	0,03755	0,04239
13	0,03656	0,04140
14	0,03557	0,040415
15	0,03458	0,03943
16	0,03359	0,03844
17	0,03261	0,03746
18	0,03162	0,03647
19	0,03063	0,03549
20	0,02964	0,03450

În absența dispozitivelor de măsurare a temperaturii apei calde valoarea cantității specifice de energie termică pentru încălzirea 1 m³ de apă până la temperatura necesară cu scopul prestării serviciilor de apă caldă menajeră poate fi admisă egală cu 0,055 Gcal/m³ [16, 18].

Valorile recomandate sunt calculate pe baza datelor acceptate în conformitate cu documentația tehnică normativă și fără a lua în considerare pierderile de energie termică din conductele sistemului de alimentare cu apă caldă menajeră [16, 19].

Temperatura medie de alimentare cu apă este considerată conform tabelului 1.5, acesta este un model flexibil pentru a se potrivi cu orice diferență de temperatură a apei rece – caldă, având în vedere diferite condiții climatice din diferite regiuni în funcție de anotimpuri și climă. Temperatura medie a apei calde se admite egală cu 55 °C, conform [16, 19].

Consumul de apă caldă pe cap de locuitor se admite în conformitate cu Normele de consum de apă pentru casele locative [9, 10].

Valorile calculate ale necesarului de energie pentru apa caldă menajeră după tipul și repartizarea gospodăriilor, sunt prezentate în tabelul 1.6.

Tabelul 1.6. Valori calculate ale necesarului de energie pentru apa caldă menajeră în funcție de dotări [20]

Necesarul de energie pentru încălzirea apei, kWh/zi											
Temperatura apei reci, °C	Cantitatea specifică de energie termică, Gcal/m ³ , la temperatura de încălzire	Cu sistem de alimentare cu apă potabilă, fără sistem de canalizare, fără closet, fără cadă de baie sau duș					Cu sistem de alimentare cu apă potabilă, sistem de canalizare, fără closet, fără cadă de baie sau duș				
		Norma consumului de apă, litri la 1 pers. / zi					Norma consumului de apă, litri la 1 pers. / zi				
		36					40				
		Numărul de persoane					Numărul de persoane				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
4	0.05027	2.10	4.21	6.31	8.41	10.52	2.34	4.67	7.01	9.35	11.68
5	0.04929	2.06	4.12	6.19	8.25	10.31	2.29	4.58	6.87	9.17	11.46
6	0.0483	2.02	4.04	6.06	8.08	10.10	2.25	4.49	6.74	8.98	11.23
7	0.04732	1.98	3.96	5.94	7.92	9.90	2.20	4.40	6.60	8.80	11.00
8	0.04633	1.94	3.88	5.82	7.75	9.69	2.15	4.31	6.46	8.62	10.77
9	0.04534	1.90	3.79	5.69	7.59	9.49	2.11	4.22	6.32	8.43	10.54
10	0.04436	1.86	3.71	5.57	7.42	9.28	2.06	4.12	6.19	8.25	10.31
11	0.04337	1.81	3.63	5.44	7.26	9.07	2.02	4.03	6.05	8.06	10.08
12	0.04239	1.77	3.55	5.32	7.09	8.87	1.97	3.94	5.91	7.88	9.85
13	0.0414	1.73	3.46	5.20	6.93	8.66	1.92	3.85	5.77	7.70	9.62
14	0.040415	1.69	3.38	5.07	6.76	8.45	1.88	3.76	5.64	7.52	9.39
15	0.03943	1.65	3.30	4.95	6.60	8.25	1.83	3.67	5.50	7.33	9.17
16	0.03844	1.61	3.22	4.82	6.43	8.04	1.79	3.57	5.36	7.15	8.94
17	0.03746	1.57	3.13	4.70	6.27	7.84	1.74	3.48	5.22	6.97	8.71
18	0.03647	1.53	3.05	4.58	6.10	7.63	1.70	3.39	5.09	6.78	8.48
19	0.03549	1.48	2.97	4.45	5.94	7.42	1.65	3.30	4.95	6.60	8.25
Temperatura apei reci, °C	Cantitatea specifică de energie termică, Gcal/m ³ , la temperatura de încălzire	Cu sistem de alimentare cu apă potabilă, apă caldă, fără sistem de canalizare, dotate cu closet, lavoare, cu cadă de baie mică sau duș					Cu sistem de alimentare cu apă potabilă, apă caldă, sistem de canalizare, dotate cu closet, lavoar, cadă de baie mică sau duș				
		Norma consumului de apă, litri la 1 pers. / zi					Norma consumului de apă, litri la 1 pers. / zi				
		45					105				
		Numărul de persoane					Numărul de persoane				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
4	0.05027	2.63	5.26	7.89	10.52	13.15	6.13	12.27	18.40	24.54	30.67
5	0.04929	2.58	5.16	7.73	10.31	12.89	6.02	12.03	18.05	24.06	30.08
6	0.0483	2.53	5.05	7.58	10.10	12.63	5.89	11.79	17.68	23.58	29.47
7	0.04732	2.47	4.95	7.42	9.90	12.37	5.77	11.55	17.32	23.10	28.87
8	0.04633	2.42	4.85	7.27	9.69	12.12	5.65	11.31	16.96	22.62	28.27
9	0.04534	2.37	4.74	7.11	9.49	11.86	5.53	11.07	16.60	22.13	27.66
10	0.04436	2.32	4.64	6.96	9.28	11.60	5.41	10.83	16.24	21.65	27.07
11	0.04337	2.27	4.54	6.80	9.07	11.34	5.29	10.59	15.88	21.17	26.46
12	0.04239	2.22	4.43	6.65	8.87	11.08	5.17	10.35	15.52	20.69	25.86
13	0.0414	2.17	4.33	6.50	8.66	10.83	5.05	10.10	15.16	20.21	25.26
14	0.040415	2.11	4.23	6.34	8.45	10.57	4.93	9.86	14.80	19.73	24.66
15	0.03943	2.06	4.12	6.19	8.25	10.31	4.81	9.62	14.44	19.25	24.06
16	0.03844	2.01	4.02	6.03	8.04	10.05	4.69	9.38	14.07	18.76	23.45
17	0.03746	1.96	3.92	5.88	7.84	9.80	4.57	9.14	13.71	18.29	22.86
18	0.03647	1.91	3.81	5.72	7.63	9.54	4.45	8.90	13.35	17.80	22.25
19	0.03549	1.86	3.71	5.57	7.42	9.28	4.33	8.66	12.99	17.32	21.65

Concluzii la capitolul 1

În ultimele decenii Energia eoliană a devenit o sursă de energie curentă. Este cunoscută ca cea mai mare sursă de noi capacități de putere pe piețele din întreaga lume.

Cu toate acestea, pentru a crește ponderea energiei eoliene pe piețele energetice și pentru a accelera tranziția energetică globală, este necesar să se facă o serie de schimbări, cum ar fi: o concentrare continuă pe soluțiile care sprijină integrarea energiei eoliene și a altor surse regenerabile; combinarea cu alte tehnologii - cum ar fi sistemele hibride - pentru a decarboniza sectoarele în care electrificarea directă este o provocare și creșterea capacității de stocare a energiei în momentele în care se furnizează în exces.

Cu privire la tehnologia eoliană pe plan mondial s-au constatat următoarele:

1. În 2022 s-au înregistra capacități noi care au depășit 77 GW și aducând capacitatea totală instalată la nivel mondial la 906 GW, o creștere de 9 % față de anul 2021.
2. Instalațiile de pe piața eoliană on-shore au atins 68,8 GW, în timp ce piața eoliană off-shore a înregistrat 8,8 GW, reprezentând aproximativ 11 % din capacitățile noi instalate la nivel global în 2022.
3. Capacitatea instalațiilor eoliene este într-o creștere continuă, iar conform datelor de la GWEC Market Intelligence, se preconizează ca noile instalații de energie eoliană să depășească 100 GW în 2023 și respectiv capacitatea nouă instalată în următorii cinci ani, conform politicilor actuale, va atinge 680 GW. Aceasta ar însemna mai mult de 136 GW de noi instalații pe an până în 2027.

În sectorul energiei regenerabile pe plan național s-au înregistrat următoarele:

1. Puterea totală instalată de SRE la nivel național în anul 2022 a constituit 143,8 MW, o creștere cu aproximativ 30 % față de 2021.
2. Producția de e-SRE pentru anul 2021 a constituit circa 196,237 GWh sau 4,8 % din consumul total de energie electrică.
3. În același timp, cantitatea produsă de e-SRE s-a majorat cu 68,5 % în 2022 comparativ cu anul 2021.

În baza studiului și analizei documentelor normative cu privire la perspectiva utilizării energiei termice în gospodăriile casnice și evaluării consumului de energie termică pentru încălzirea apei menajere, s-au determinat următoarele:

1. În sectorul rural mai mult de jumătate din gospodării, 61,7 %, sunt locuințe cu suprafața totală de 50-99 m², în același timp doar 17,3 %-locuințe cu o suprafață totală de 21-49 m².
2. Totodată, în sectorul rural 77,6 % din locuințe nu dispun de sisteme de încălzire a apei menajere.

3. Raportul dintre consumul de apă rece și apă caldă, pentru toate categoriile de consumatori, este aproximativ egal cu 45 %.
4. În mediul urban, 97,0 % din gospodăriile au acces la apeduct, 86,2 % dispun de grup sanitar cu apă în interiorul locuinței, 94,8 % au sistem de canalizare și 88,9 % dispun de baie sau duș în interiorul locuinței.
5. Totodată, în cazul gospodăriilor din mediul rural doar 70,5 % dispun de apeduct, 32,7 % – de grup sanitar cu apă în interiorul locuinței, 55,8 % au sistem de canalizare și doar 42,5 % dispun de baie sau duș în interiorul locuinței.
6. S-a determinat valoarea cantității specifice de energie termică pentru încălzirea apei cu temperatura de 11 °C, până la temperatura de 55 °C, care este egală cu 0,043 Gcal/m³.
7. Pentru a încălzi volumul necesar de apă pentru consumatorul dotat cu sistem de alimentare cu apă potabilă, sistem de canalizare, fără closet și fără cadă de baie sau duș, pentru 1 persoană, este necesară o cantitate de energie de 60,6 kWh/lună persoană, iar pentru consumatorul cu sistem de alimentare cu apă potabilă, apă caldă, cu sistem de canalizare, dotate cu closet, lavoar și cadă de baie mică sau duș – 159 kWh/lună persoană.

2. STUDIUL POTENȚIALULUI ENERGETIC EOLIAN AL REPUBLICII MOLDOVA PENTRU ENTITĂȚILE ADMINISTRATIV – TERITORIALE DE NIVELUL DOI

2.1. Considerații generale

Informații utile despre potențialul eolian al Republicii Moldova pot fi găsite în câteva surse, principala fiind Atlasul Resurselor Energetice Eoliene al Republicii Moldova [21].

În studiul dat s-a pus accentul pe determinarea potențialului energetic și ale caracteristicilor vântului pentru entitățile administrativ – teritoriale de nivelul doi (raioane). Studiul s-a elaborat în cadrul programului de stat 20.80009.7007.10. „Studiul potențialului energetic eolian și solar al Republicii Moldova și elaborarea sistemelor de conversie pentru consumatori dispersați” [22].

Pentru realizarea studiului a fost folosită Metoda Atlasului Vântului [21] însoțită de programul specializat Wind Atlas Analysis and Application Program, datele despre viteza și direcția vântului măsurate de UTM și harta orografică a RM [23]. Pentru fiecare raion s-au calculat și prezentat hărțile vitezei medii anuale ale vântului și densității puterii eoliene la înălțimea de 50 și 100 m deasupra nivelului solului, s-a efectuat clasificarea teritoriului fiecărui raion în funcție de valoarea densității de putere și s-a calculat puterea eoliană teoretică posibil de instalat [24, 25].

În hărțile prezentate în continuare, potențialul eolian este determinat pentru fiecare raion, în care suprafața unei celule este de 100 x 100 m, sunt indicate toate localitățile și suplimentar, în formă tabelară, sunt prezentate numărul de celule, ariile amplasamentelor cu densitatea de putere eoliană egală sau mai mare de 150 W/m^2 și capacitatea eoliană în MW care teoretic ar putea fi instalată în raionul respectiv. La baza clasificării teritoriului fiecărui raion, sunt hărțile digitale ale densității de putere eoliana pentru o anumită înălțime. Hărțile reprezintă suma unui anumit număr de dreptunghiuri sau celule, numite în programul WAsP „Resource grid”. Respectiv, s-au identificat numărul celulelor ce au densitatea de putere cuprinsă în limitele de la 150 W/m^2 până la 400 W/m^2 pentru înălțimea de 100 m. Cunoscând aria unei celule egală cu $0,01 \text{ km}^2$ și numărul de celule ce revine fiecărui interval, s-au calculat ariile suprafețelor în care densitatea de putere eoliană se încadrează în unul din intervale menționate. În ipoteza utilizării turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3.0 MW pe un km^2 în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m^2 , s-a calculat puterea teoretică totală posibil de instalat pentru fiecare raion [25].

Potențialul energetic eolian determinat, este unul teoretic, care este destul de mare, însă posibilitatea de utilizare poate fi de zeci sau chiar sute de ori mai mică, ca fiind restricții tehnice care limitează potențialul real. Pentru aprecierea corectă a datelor prezentate în hărți, acestea trebuie citite având în vedere faptul că scara coloră diferă de la o hartă la alta.

2.2. Potențialul energetic eolian și caracteristicile vântului pentru Regiunea de Dezvoltare Nord

Regiunea de Dezvoltare Nord (RDN) este o regiune de dezvoltare care include municipiul Bălți și 11 raioane: Briceni, Edineț, Dondușeni, Drochia, Fălești, Florești, Glodeni, Ocnița, Râșcani, Sângerei și Soroca, figura 2.1. Hărțile potențialului energetic eolian pentru fiecare raion din RDN, clasificarea teritoriului fiecărui raion în funcție de valoarea densității de putere eoliană și amplasamentele cu potențial favorabil identificate sunt prezentate și descrise în Anexa 1.

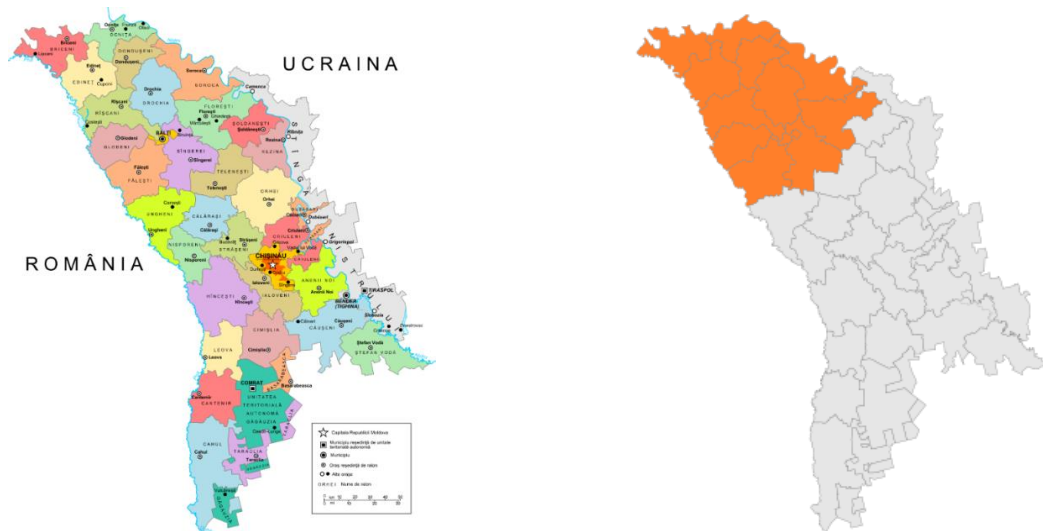


Figura 2.1. Harta administrativ-teritorială a RM (în stânga) și RDN (în dreapta) [26]
În continuare în figura 2.2 este prezentată harta localităților raioanelor din RDN.

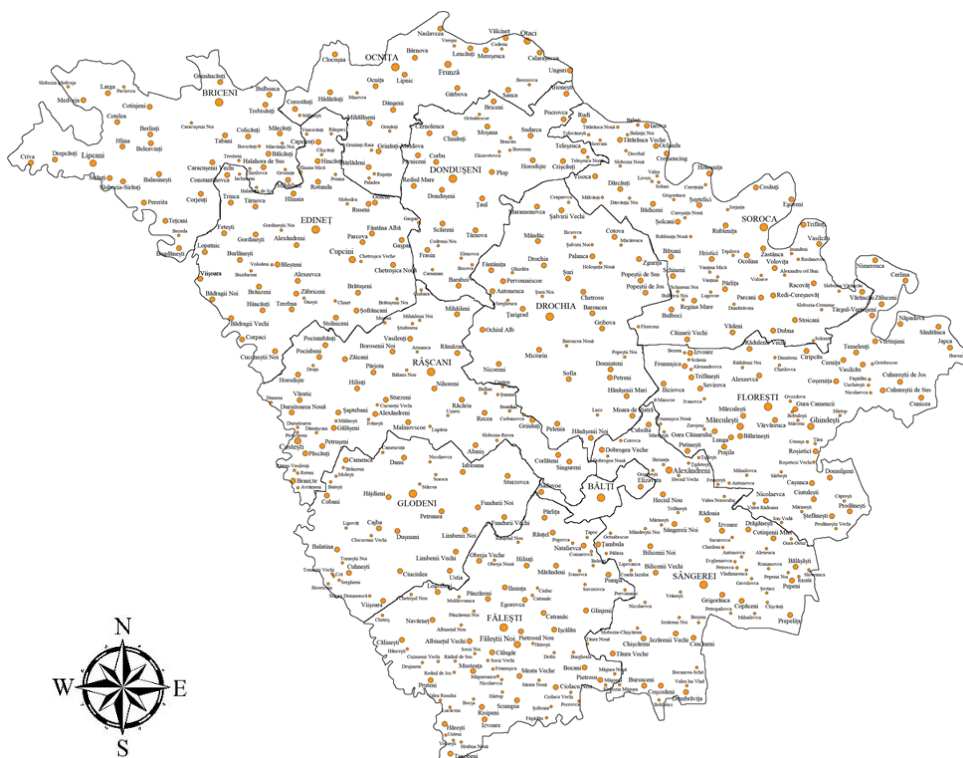


Figura 2.2. Localitățile din Regiunea de Dezvoltare Nord [27]

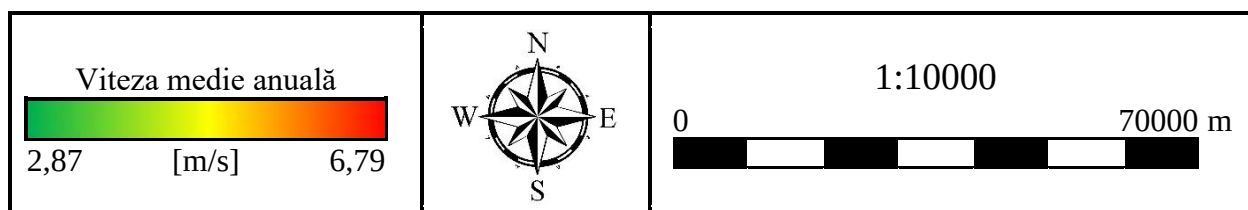
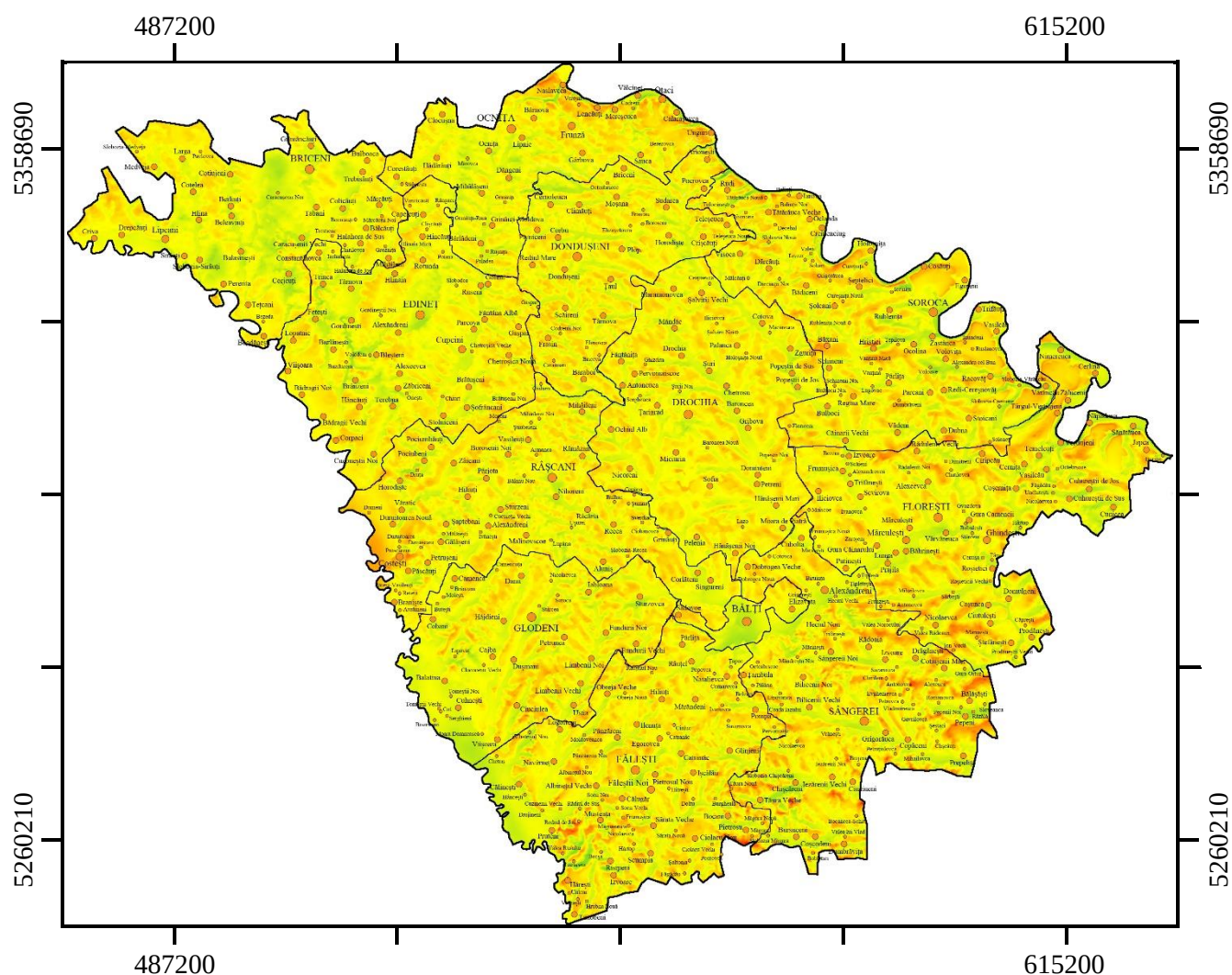


Figura 2.3. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Nord [27]

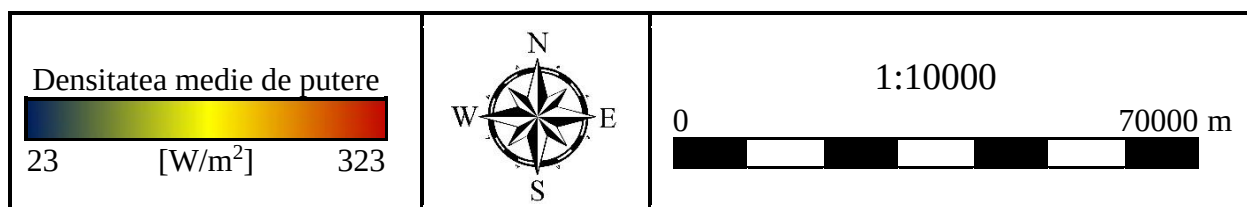
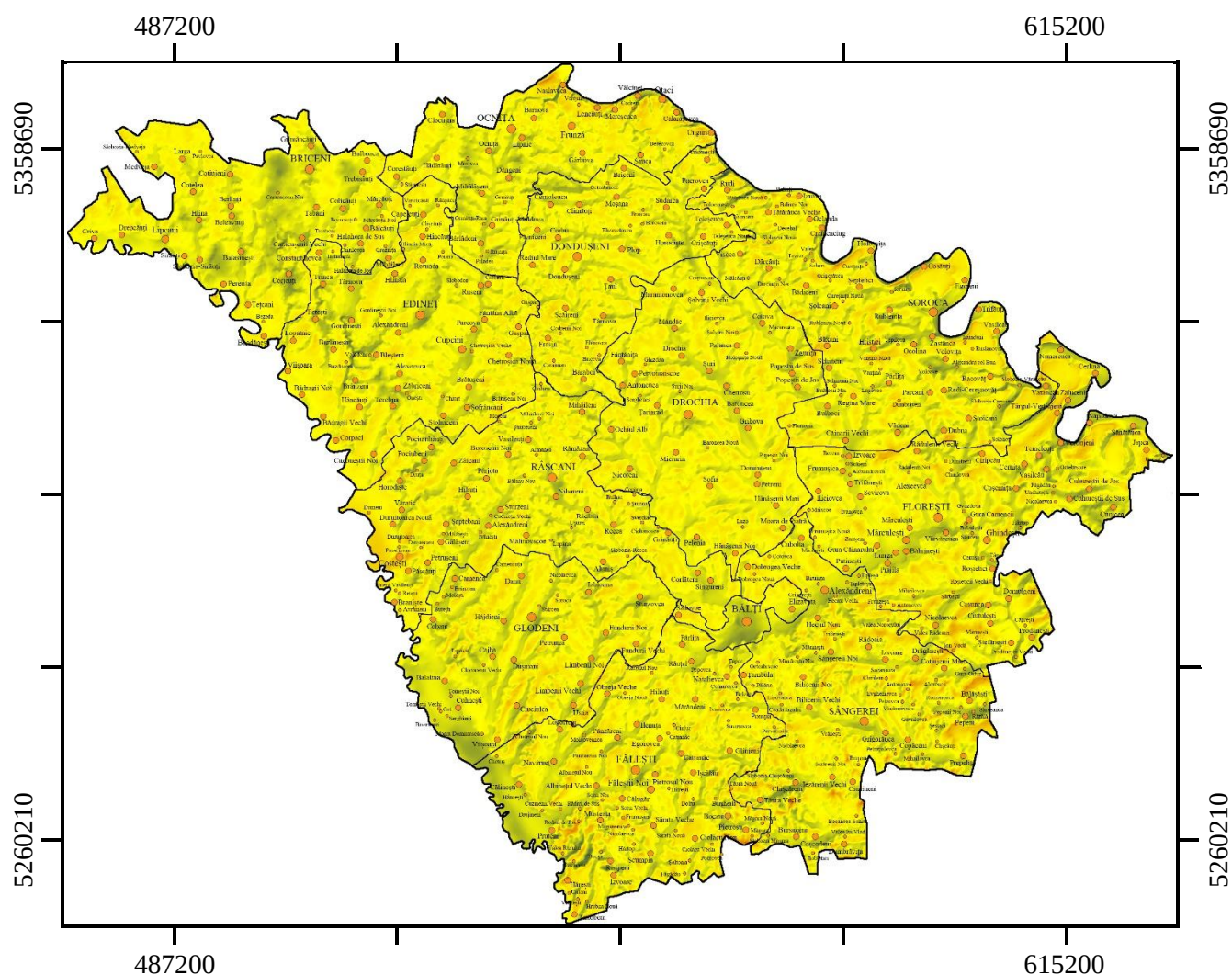


Figura 2.4. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Nord [27]

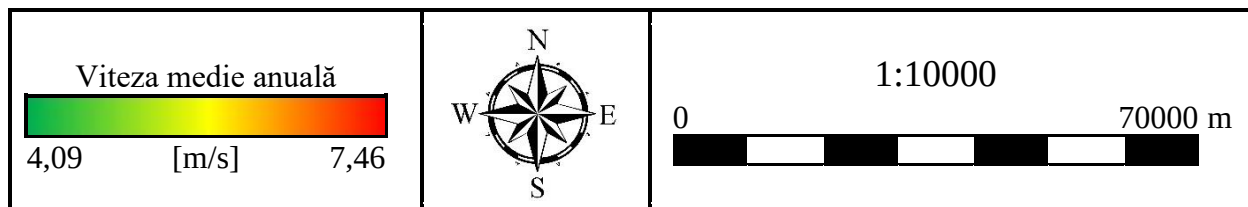
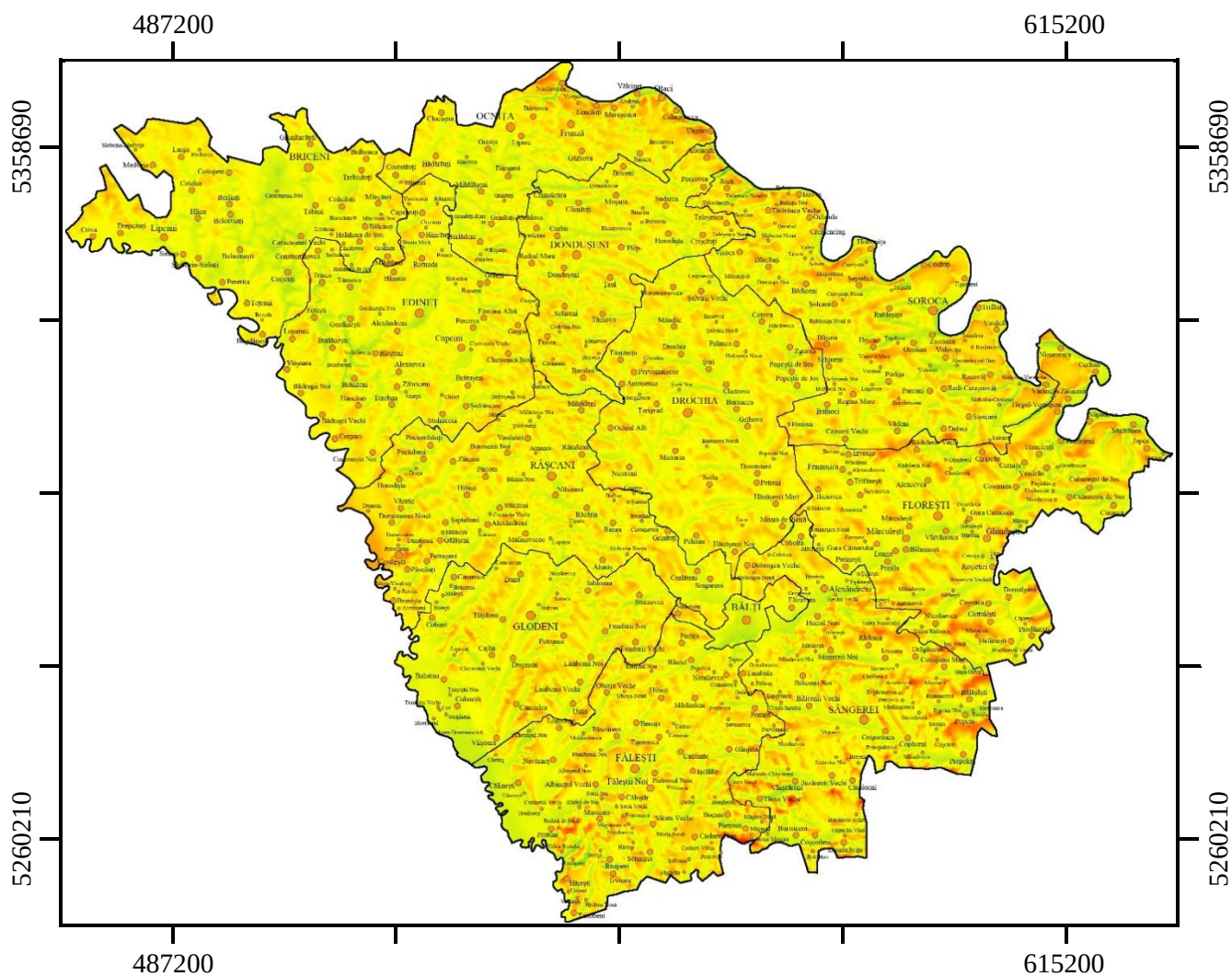


Figura 2.5. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Nord [27]

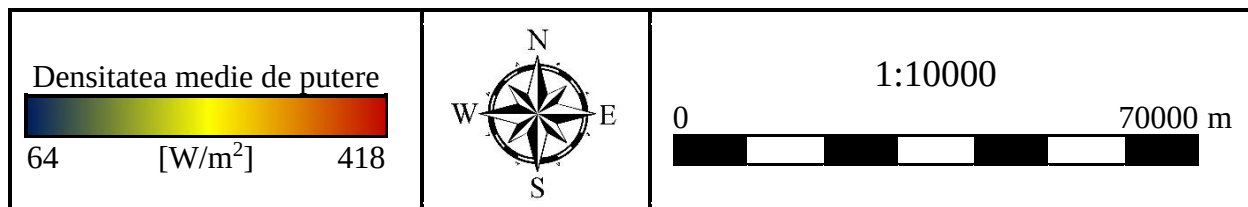
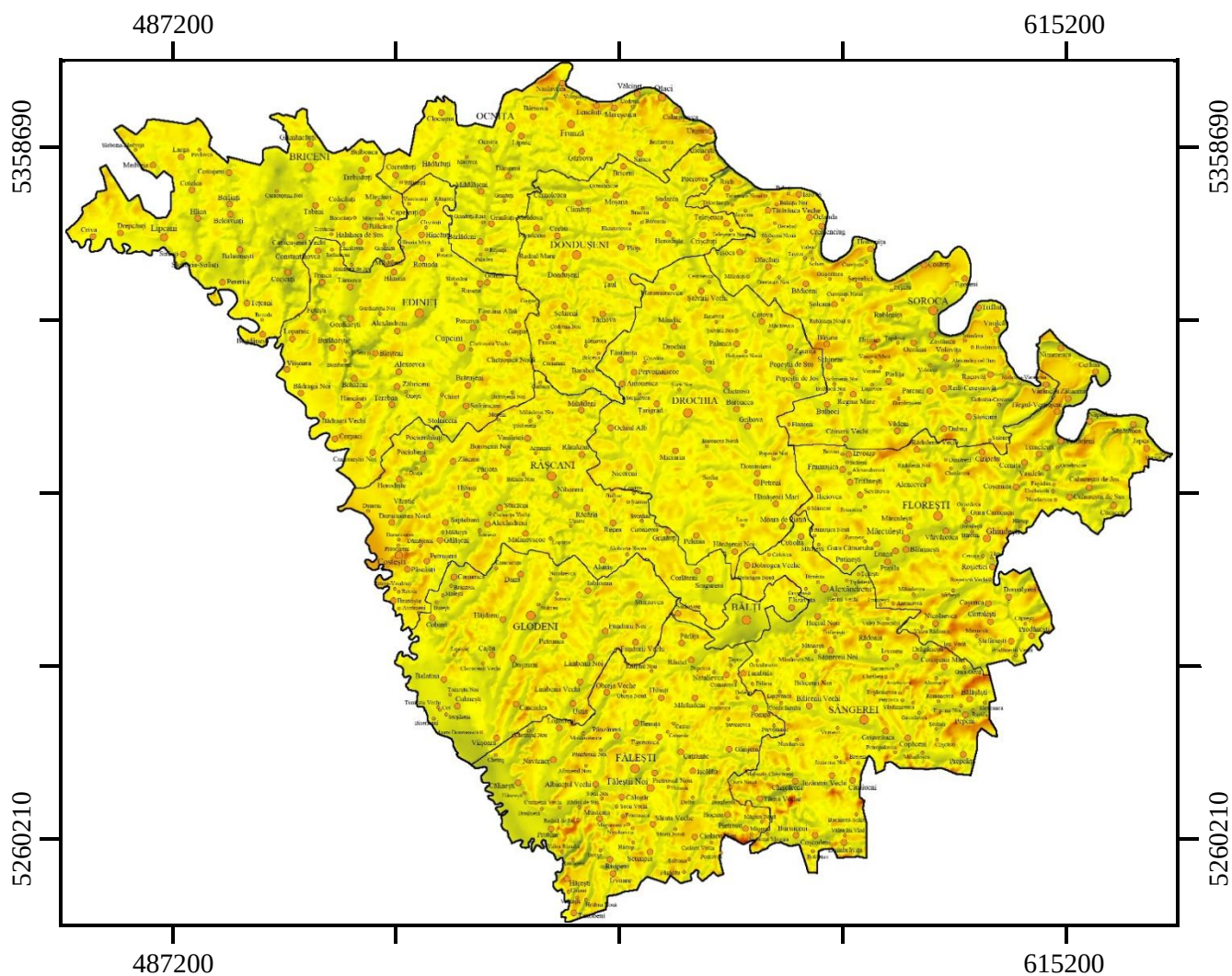


Figura 2.6. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Nord [27]

Hărțile potențialului energetic eolian pentru Regiunea de Dezvoltare Nord la înălțimea de 50 și 100 m deasupra nivelului solului sunt prezentate în figurile 2.3 – 2.6. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt:

- locațiile din raionul Fălești, în apropiere de localitatea Pietrosu și lângă localitatea Rediul de Jos. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,65 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană poate atinge valori până la 243 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 7,44 m/s și densitatea de putere eoliană cu valori până la 404 W/m², anexa A1.5;
- locațiile din raionul Sângerei, la nord de localitatea Bălășești și zona situată la sud de localitatea Pepeni. De asemenea potențial pronunțat se observă la sudul raionului, dealurile la est de localitatea Tăura Veche. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,65 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană poate atinge valori până la 249 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 7,39 m/s și densitatea de putere eoliană cu valori până la 419 W/m², anexa A1.10;
- locațiile din nordul raionului Ocnița, localitatea Naslavcea lângă hotarul cu Ucraina și la est lângă localitatea Unguri. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,39 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană poate atinge valori până la 239 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 7,06 m/s și densitatea de putere eoliană cu valori până la 381 W/m², anexa A1.8.

Tabelul 2.1. Clasificarea teritoriului din Regiunea de Dezvoltare Nord în funcție de valoarea densității de putere [27]

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	96247	719059	169142	6842	461	991751	99,94%
Aria, km ²	962,47	7190,59	1691,42	68,42	4,61	9917,51	99,94%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	4812,35	35952,95	8457,1	342,1	23,05	49587,55	

*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m²

În tabelul 2.1 este prezentată clasificarea teritoriului din Regiunea de Dezvoltare Nord în funcție de valoarea densității de putere eoliană. Practic toată suprafața teritoriului din Regiunea de Dezvoltare Nord sau 9917 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m², din care 4,61 km² (tabelul 2.1) din suprafața RDN are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m². În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 365 MW. În figurile A1.45 – A1.46 sunt prezentate în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele din RDN.

2.3. Potențialul energetic eolian și caracteristicile vântului pentru Regiunea de Dezvoltare Centru

Regiunea de Dezvoltare Centru (RDC) este o regiune de dezvoltare care include 13 raioane: Anenii Noi, Călărași, Criuleni, Dubăsari, Hâncești, Ialoveni, Nisporeni, Orhei, Rezina, Strășeni, Șoldănești, Telenești și Ungheni, figura 2.7. Hărțile potențialului energetic eolian pentru fiecare raion, clasificarea teritoriului fiecărui raion în funcție de valoarea densității de putere eoliană și amplasamentele cu potențial favorabil identificate sunt prezentate și descrise în Anexa 2.

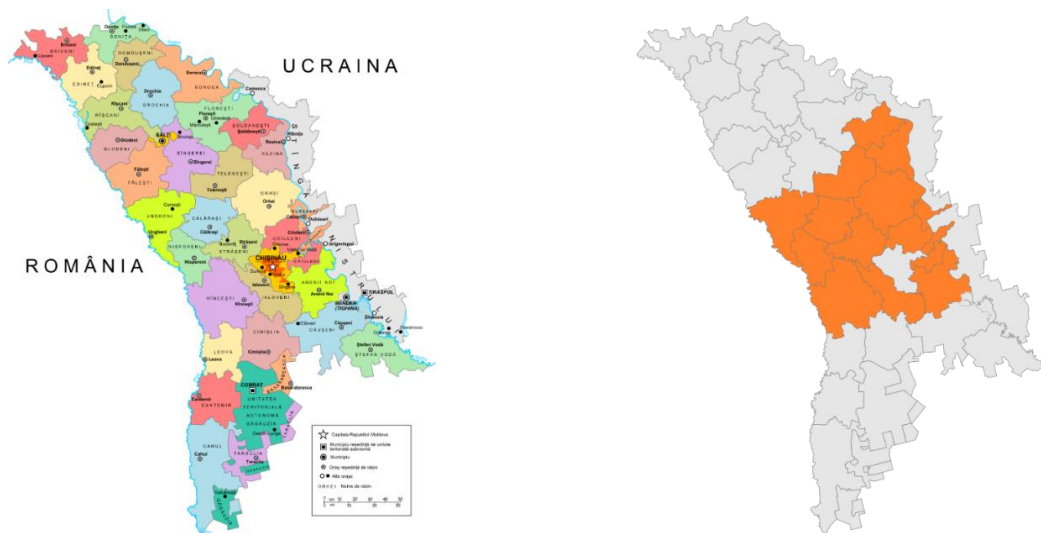


Figura 2.7. Harta administrativ-teritorială a RM (în stânga) și RDC (în dreapta) [28]
În continuare în figura 2.8 este prezentată harta localităților raioanelor din RDC.



Figura 2.8. Localitățile din Regiunea de Dezvoltare Centru [27]

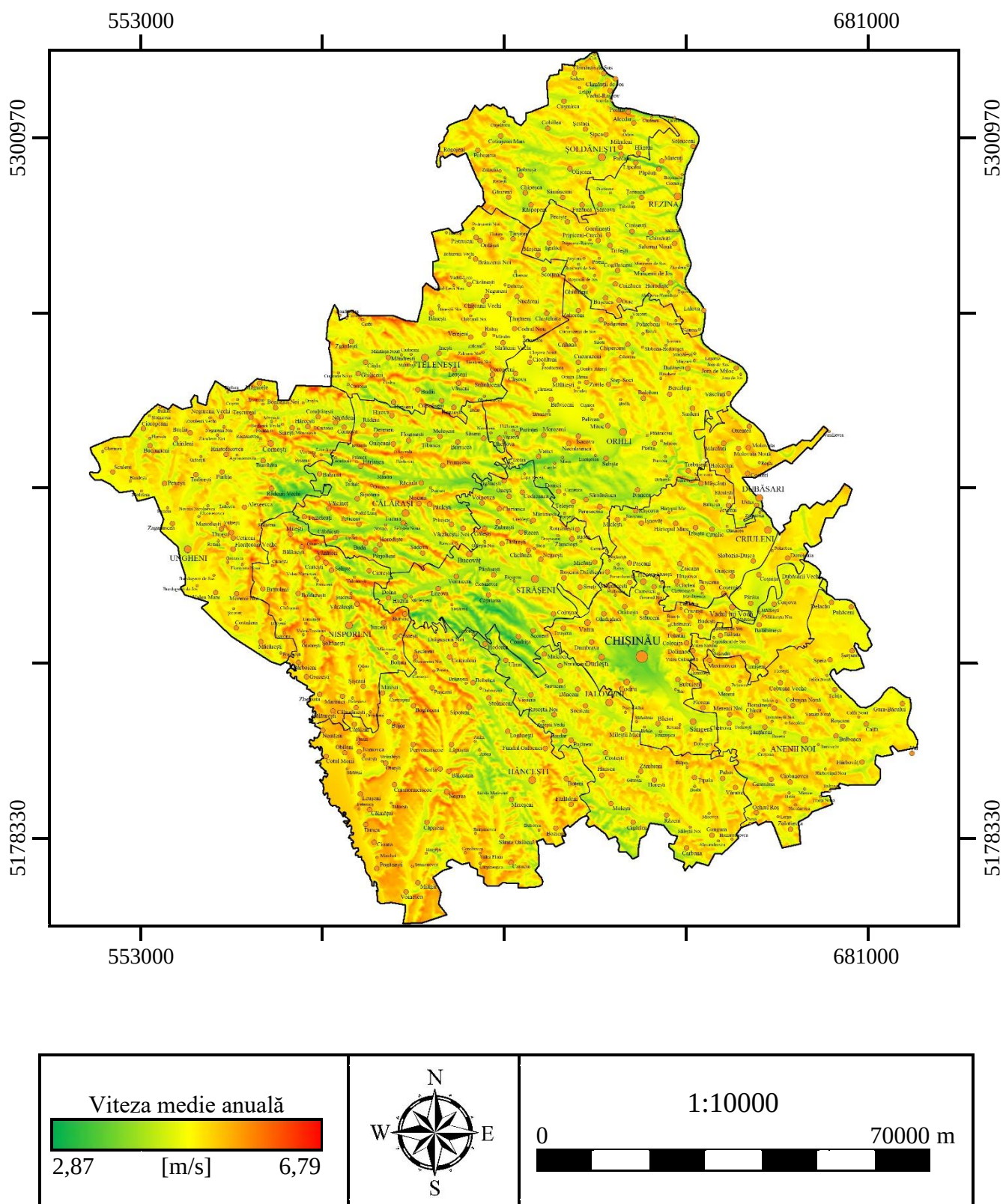


Figura 2.9. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Centru [27]

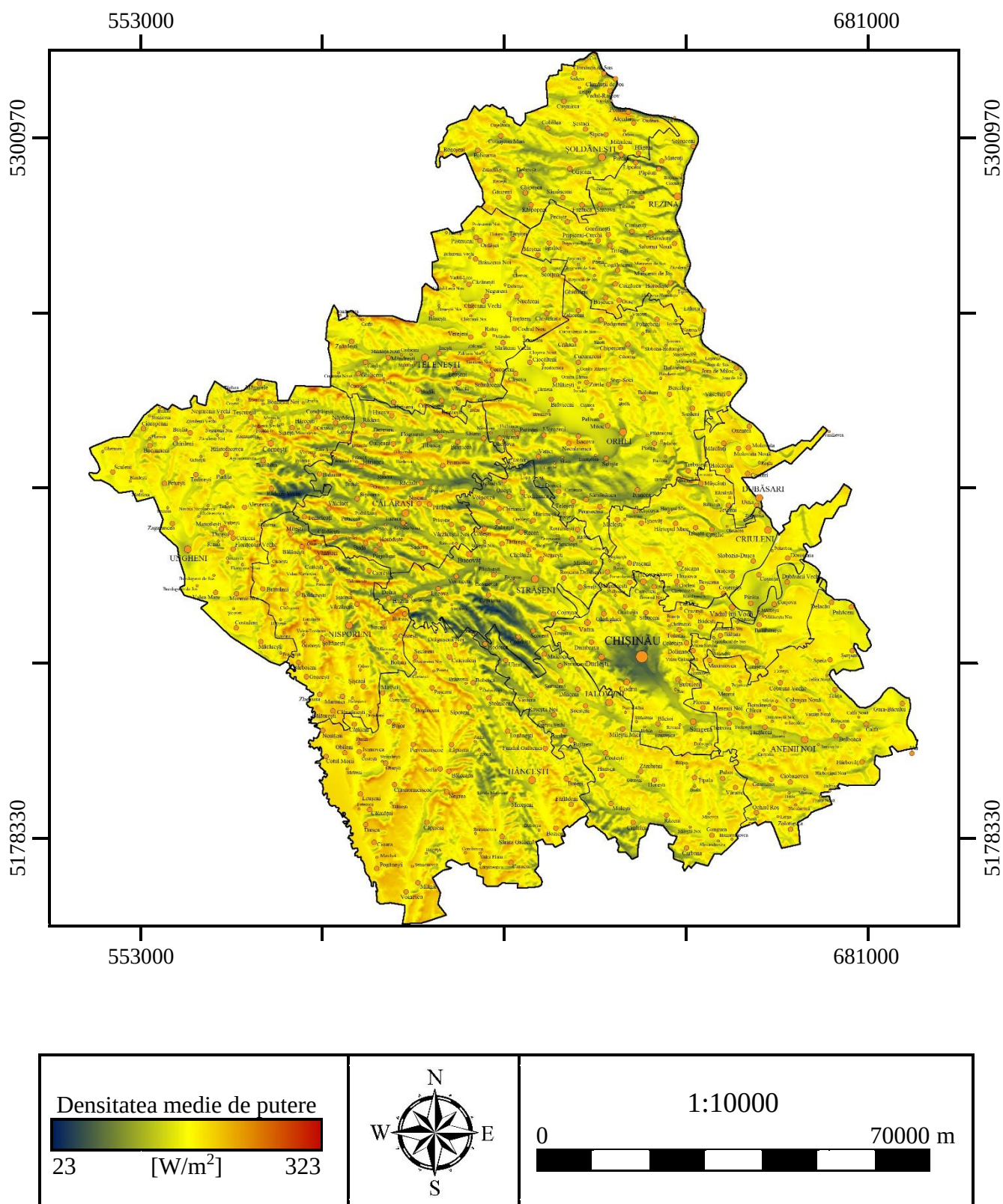


Figura 2.10. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Centru [27]

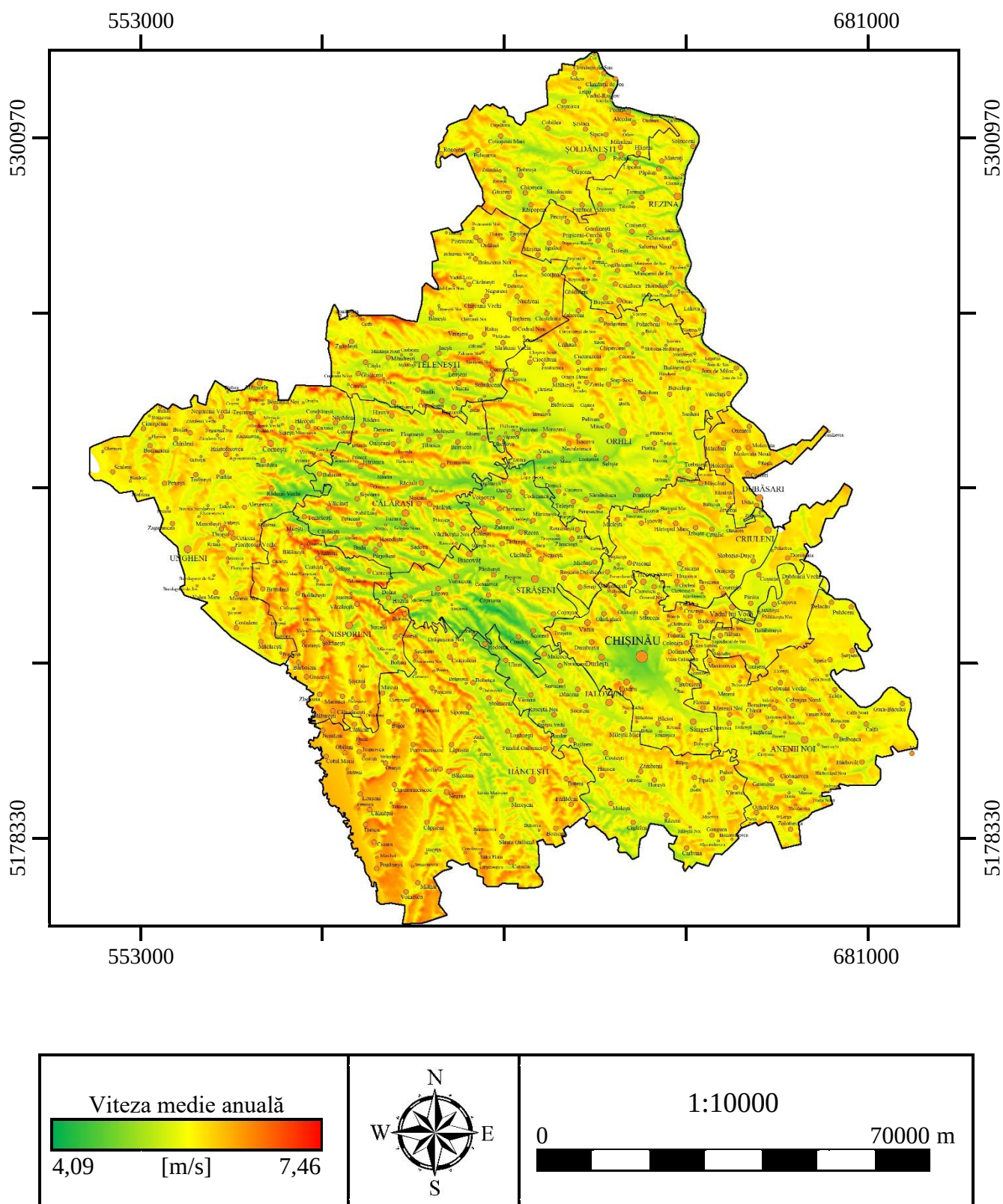


Figura 2.11. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Centru [27]

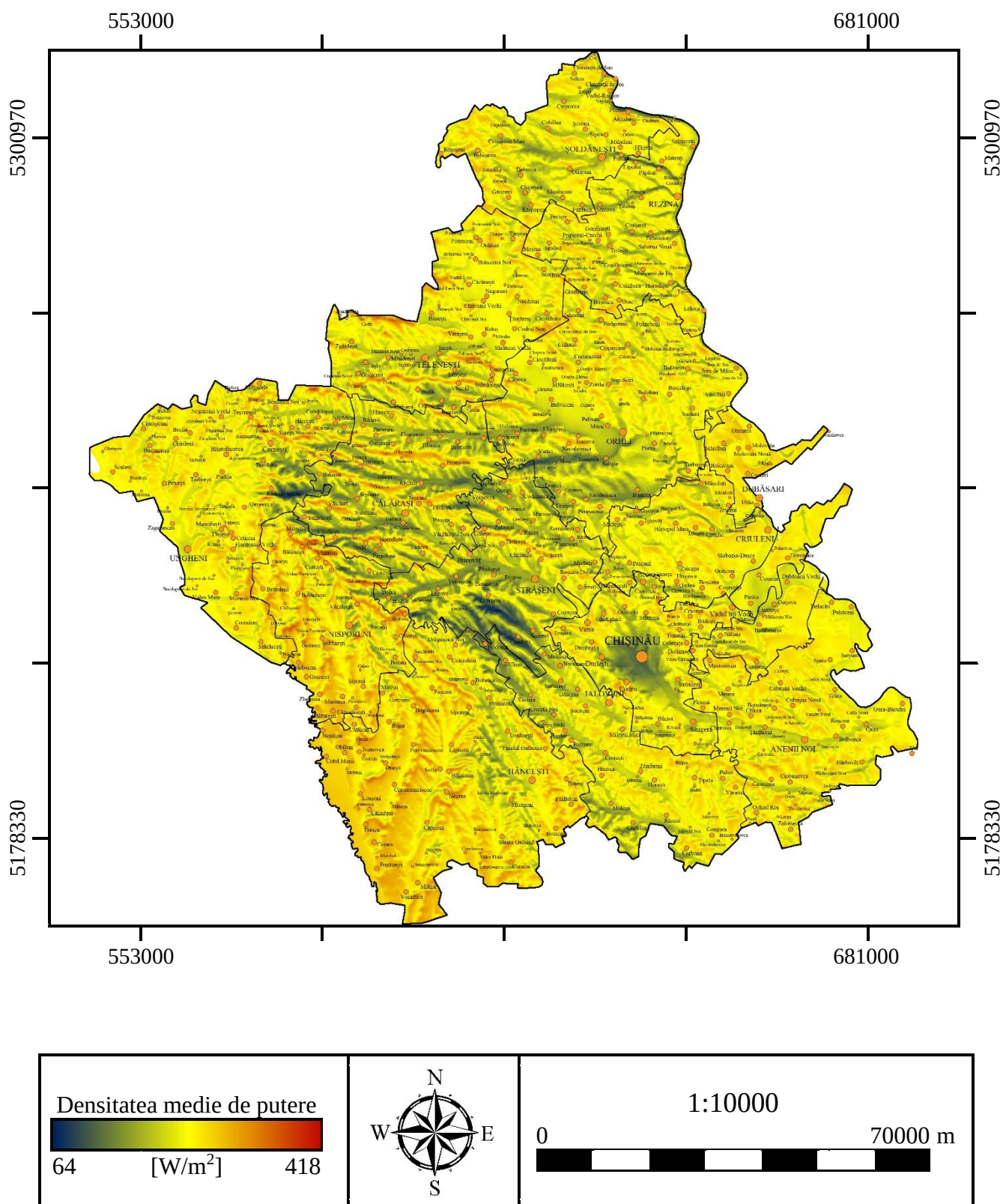


Figura 2.12. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Centru [27]

Hărțile potențialului energetic eolian pentru Regiunea de Dezvoltare Centru la înălțimea de 50 și 100 m deasupra nivelului solului sunt prezentate în figurile 2.9 – 2.12. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt:

- locațiile din raionul Nisporeni, situate în partea de nord a raionului pe linia Milești-Găureni-Seliște. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,79 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 323 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,46 m/s și densitatea de putere eoliană de 398 W/m², anexa A2.7;
- locațiile din raionul Ungheni, situate în partea de nord a raionului pe linia Teșcureni-Sinești-Cornova. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,74 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 294 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv avem viteza medie anuală de 7,33 m/s și densitatea de putere eoliană de 370 W/m², anexa A2.13;
- locațiile din nordul raionului Telenești, situate la est de comuna Ciofu, dealurile de la vest și est de comuna Sărătenii Noi și pe linia Cucioaia-Codru-Văsieni- Suhuluceni. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,56 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 290 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,24 m/s și densitatea de putere eoliană de 362 W/m², anexa A2.12.

Tabelul 2.2. Clasificarea teritoriului din Regiunea de Dezvoltare Centru în funcție de valoarea densității de putere [27]

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	533017	424770	59370	3840	119	1021116	90,67%
Aria, km ²	5330,17	4247,7	593,7	38,4	1,19	10211,16	90,67%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	26650,85	21238,5	2968,5	192	5,95	51055,8	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În tabelul 2.2 este prezentată clasificarea teritoriului din Regiunea de Dezvoltare Centru în funcție de valoarea densității de putere eoliană. Practic toată suprafața teritoriului din Regiunea de Dezvoltare Centru sau 10211 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m², din care 1,19 km² (tabelul 2.2) din suprafața RDC are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m². În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 198 MW. În figurile A2.53 – A2.54 sunt prezentate în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele din RDC.

2.4. Potențialul energetic eolian și caracteristicile vântului pentru Regiunea de Dezvoltare Sud, inclusiv UTA-Găgăuzia.

Regiunea de Dezvoltare Sud (RDS) este o regiune de dezvoltare care include 8 raioane: Basarabeasca, Cahul, Cantemir, Căușeni, Cimișlia, Ștefan Vodă, Leova și Taraclia, figura 2.13. Hărțile potențialului energetic eolian pentru fiecare raion din RDS, inclusiv și UTA-Găgăuzia, clasificarea teritoriului fiecărui raion în funcție de valoarea densității de putere eoliană și amplasamentele cu potențial favorabil identificate sunt prezentate și descrise în Anexa 3.

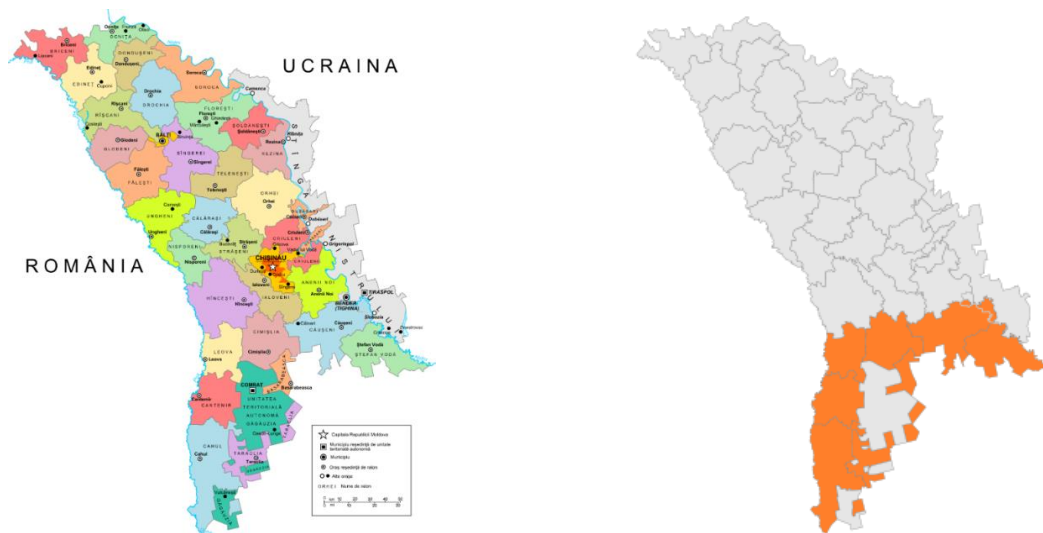


Figura 2.13. Harta administrativ-teritorială a RM (în stânga) și RDS (în dreapta) [29]
În continuare în figura 2.14 este prezentată harta localităților și a raioanelor RDS.

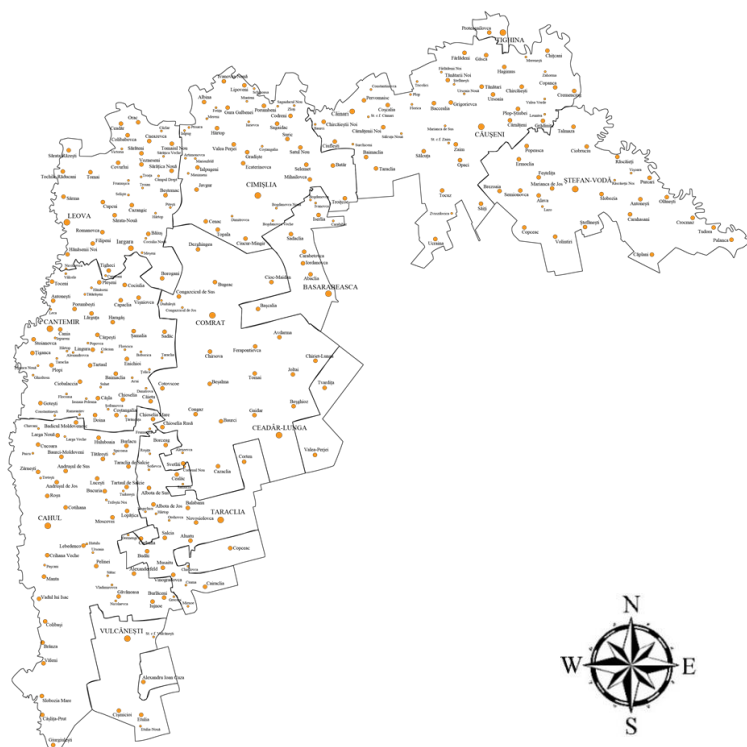


Figura 2.14. Localitățile din Regiunea de Dezvoltare Sud, inclusiv UTA-Găgăuzia [27]

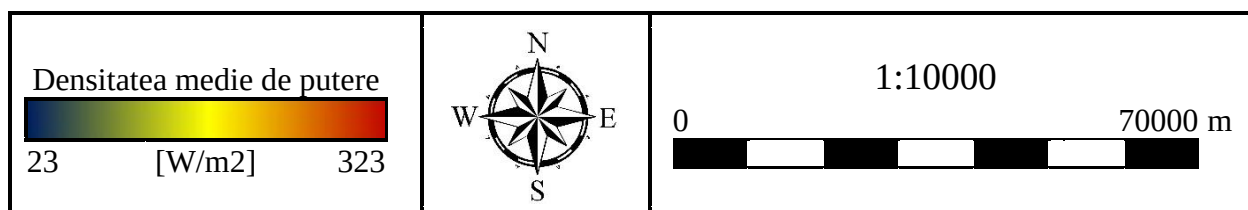
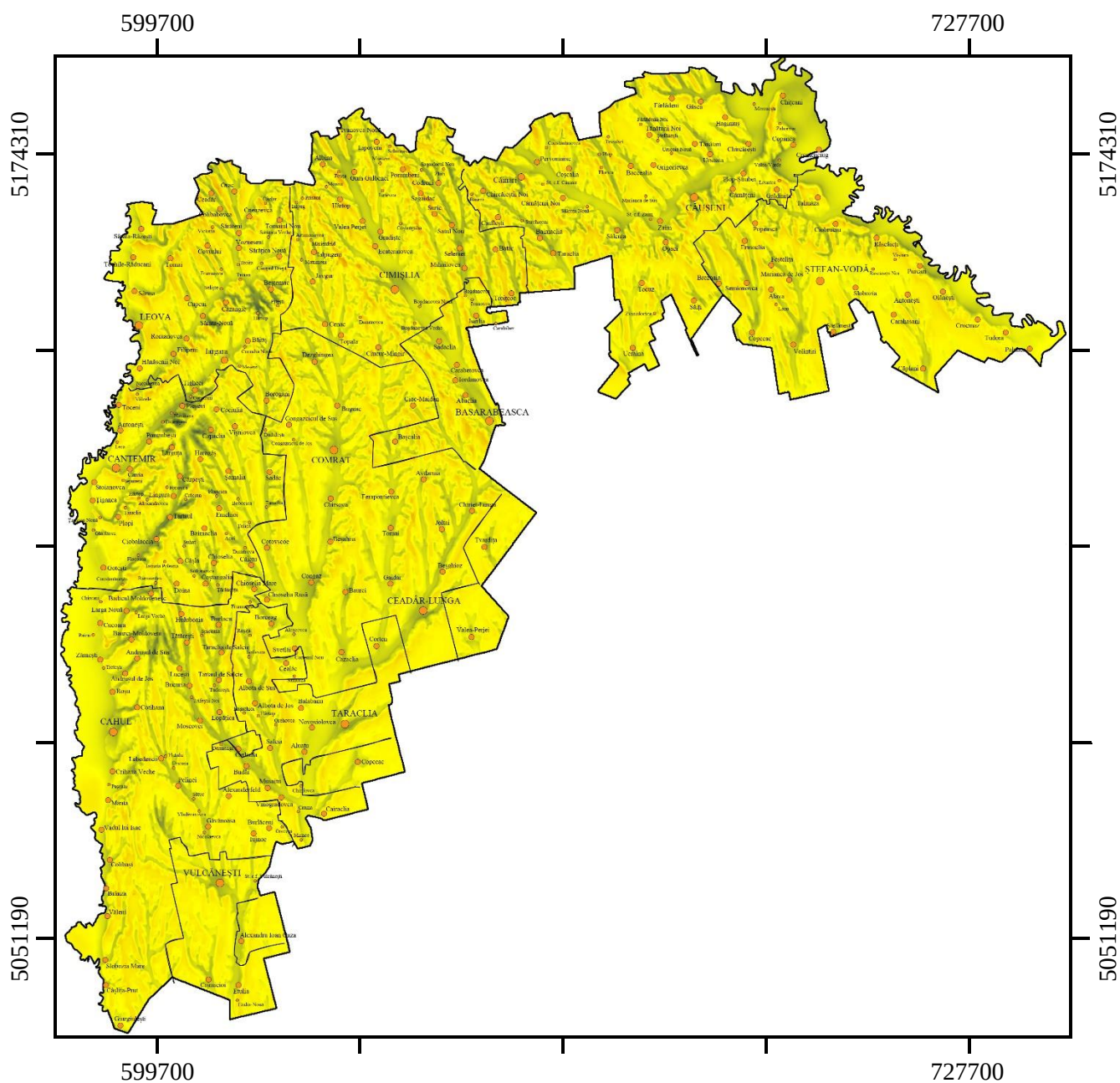


Figura 2.16. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului: Regiunea de Dezvoltare Sud, inclusiv UTA-Găgăuzia [27]

Hărțile potențialului energetic eolian pentru Regiunea de Dezvoltare Sud la înălțimea de 50 și 100 m deasupra nivelului solului sunt prezentate în figurile 2.15 – 2.18. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt:

- locațiile din raionul Cimișlia, situate în partea de nord-est a raionului, acestea sunt dealurile direcționate pe linia Porumbeni-Sagaidac-Suric. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,33 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 225 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,11 m/s și densitatea de putere eoliană de 380 W/m², anexa A3.5;
- locațiile din raionul Leova, situate în partea de nord-vest a raionului – colinele paralele cu linia ce leagă localitățile Ceadâr-Colibabovca-Sărăteni și dealurile direcționate pe linia Victoria – Covurlui – Tomai – Leova. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,34 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 227 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,02 m/s și densitatea de putere eoliană de 366 W/m², anexa A3.7;
- locațiile din raionul Cantemir, situate în partea de nord-vest a raionului – colinele paralele cu linia ce leagă localitățile Vâlcele – Toceni - Antonești și dealurile direcționate pe linia Lărguța – Alexandrovca - Plopi. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,07 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 200 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,98 m/s și densitatea de putere eoliană de 353 W/m², anexa A3.3.

Tabelul 2.3. Clasificarea teritoriului din Regiunea de Dezvoltare Sud, inclusiv UTA-Găgăuzia în funcție de valoarea densității de putere [30]

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	37114	456436	431730	12289	58	937627	99,99%
Aria, km ²	371,14	4564,36	4317,3	122,89	0,58	9376,27	99,99%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	1855,69	22821,79	21586,51	614,44	2,9	46881,33	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În tabelul 2.3 este prezentată clasificarea teritoriului din RDS, inclusiv UTA-Găgăuzia în funcție de valoarea densității de putere eoliană. Practic toată suprafața teritoriului din RDS, inclusiv UTA-Găgăuzia sau 9376 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m², din care 2,9 km² (tabelul 2.3) din suprafața RDS are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m². În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 617 MW. În figurile A3.37 – A3.38 sunt prezentate în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele din RDS.

Concluzii la capitolul 2

În rezultatul studiului realizat pentru Regiunea de Dezvoltare Nord, s-au constatat următoarele:

1. În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat în raioanele analizate din RDN ar putea atinge circa 365 MW. Cea mai mare putere teoretică ar putea fi instalată în raionul Sângerei – 144 MW, urmat de raionul Florești cu 90 MW și raionul Fălești – 51 MW.
2. Pentru toate raioanele analizate din Regiunea de Dezvoltare Nord, densitatea de putere eoliană posibil de instalat este 5 MW/km².
3. Cele mai mari viteze medii anuale ale vântului se constată în raionul Fălești. La înălțimea de 100 m deasupra suprafeței solului viteza medie anuală a vântului este egală cu 7,44 m/s, densitatea de putere eoliană ajungând până la - 404 W/m².
4. Cele mai mici viteze medii anuale ale vântului se constată în raionul Edineț. La înălțimea de 100 m deasupra suprafeței solului viteza medie anuală a vântului este egală cu 6,57 m/s, densitatea de putere eoliană - 289 W/m².

În rezultatul studiului realizat pentru Regiunea de Dezvoltare Centru, s-au constatat următoarele:

1. În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat în raioanele analizate din RDC ar putea atinge circa 196 MW. Cea mai mare putere teoretică ar putea fi instalată în raionul Nisporeni – 76 MW, urmat de raionul Telenești cu 41 MW și raionul Hâncești – 36 MW.
2. Pentru raioanele analizate din Regiunea de Dezvoltare Centru, densitatea de putere eoliană posibil de instalat diferă puțin și este cuprinsă între 3,2 MW/km² (Strășeni) și 4,9 MW/km² (Anenii Noi).
3. Cele mai mari viteze medii anuale ale vântului se constată în raionul Nisporeni. La înălțimea de 100 m deasupra suprafeței solului viteza medie anuală a vântului este egală cu 7,46 m/s, densitatea de putere eoliană - 398 W/m².
4. Cele mai mici viteze medii anuale ale vântului se constată în raioanele Ialoveni, Rezina, Șoldănești și Dubăsari. La înălțimea de 100 m deasupra suprafeței solului viteza medie anuală a vântului este egală cu 6,7 m/s, densitatea de putere eoliană - 286 W/m².

În rezultatul studiului realizat pentru Regiunea de Dezvoltare Sud și UTA Găgăuzia, s-au constatat următoarele:

1. În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat în raioanele analizate mai sus ar putea atinge circa 617 MW. Cea mai mare putere ar putea fi instalată în raionul Cimișlia – 172 MW, urmat de raionul Căușeni cu 107 MW și raionul Leova – 104 MW.
2. Pentru toate raioanele analizate din Regiunea de Dezvoltare Sud, densitatea de putere eoliană posibil de instalat este 5 MW/km².
3. Cele mai mari viteze medii anuale ale vântului se constată în raionul Cimișlia. La înălțimea de 100 m deasupra suprafeței solului viteza medie anuală a vântului este egală cu 7,11 m/s, densitatea de putere eoliană - 380 W/m².
4. Cele mai mici viteze medii anuale ale vântului se constată în raionul Taraclia. La înălțimea de 100 m deasupra suprafeței solului viteza medie anuală a vântului este egală cu 6,72 m/s, densitatea de putere eoliană - 315 W/m².

3. CONVERSIA DIRECTĂ A ENERGIEI EOLIENE ÎN ENERGIE TERMICĂ

3.1. Descrierea generatorului termic propus pentru conversia directă a energiei eoliene în energie termică

Generatorul termic se referă la mașinile de conversie a energiei mecanice în lucru util în general și, în caz particular, la generatoarele termice pentru transformarea directă a lucrului mecanic, generat de un organ de lucru eolian, în energie termică prin intermediul curenților turbionari [31-34].

În domeniul generatoarelor termice sunt identificate două direcții de dezvoltare esențial diferite. Astfel, conversia energiei mecanice dezvoltată, spre exemplu, de rotorul unei turbine eoliene poate fi transformată în căldură având la bază:

- principiul lui Joule, folosit pentru a demonstra echivalentul mecanic al căldurii [35];
- principiul lui Foucault, bazat pe inducția electromagnetică, altfel spus, cu curenți turbionari [36, 37].

În conformitate cu prima direcție de dezvoltare, generatorul termic prezentat în soluția tehnică, figura 3.1 [38], conține un mixer cu zbat-uri plane montate într-un acumulator (vas) termoizolat și umplut cu un lichid caloportor. Mixerul este antrenat de un organ de lucru eolian cu ax vertical sau orizontal. Căldura apare ca rezultat al înfrângerii forțelor de frecare dintre lichid-pale, dintre lichid-pereții acumulatorului și dintre diferite straturi ale lichidului. De-facto, generatoarele termice bazate pe principiul mașinii lui J. Joule, sunt dispozitive mecanice, dezavantajul esențial al cărora fiind momentul de pornire mare și fiabilitate scăzută a elementelor constructive [39]. Totodată, pentru cazul unei turbine eoliene, care dezvoltă, de regulă, un moment de pornire mic, acest tip de generator termic nu va facilita demararea rotorului la viteze joase ale vântului. Astfel, eficiența organului de lucru eolian scade brusc, fapt care contribuie la diminuarea capacității termice a generatorului.

Dezavantajul major al generatorului termic descris în soluția tehnică [38] este diminuat prin abordarea tehnică propusă în schema [40], în care energia mecanică dezvoltată de rotorul unei turbine eoliene este transformată în căldură cu ajutorul unui circuit hidraulic. Dezavantajul acestei soluții tehnice se rezumă la fiabilitatea redusă a componentelor generatorului termic exploatate la presiuni interne mari. Totodată, circuitul hidraulic are o lungime considerabilă în comparație cu înălțimea turnului turbinei eoliene, iar pompa hidraulică cu roți dințate, care asigură circuitul agentului termic în sistemul de încălzire, se rotește în jurul axei organului de lucru eolian odată cu

orientarea acestuia la direcția schimbătoare a vântului, fapt care necesită soluții constructive complexe și costisitoare.

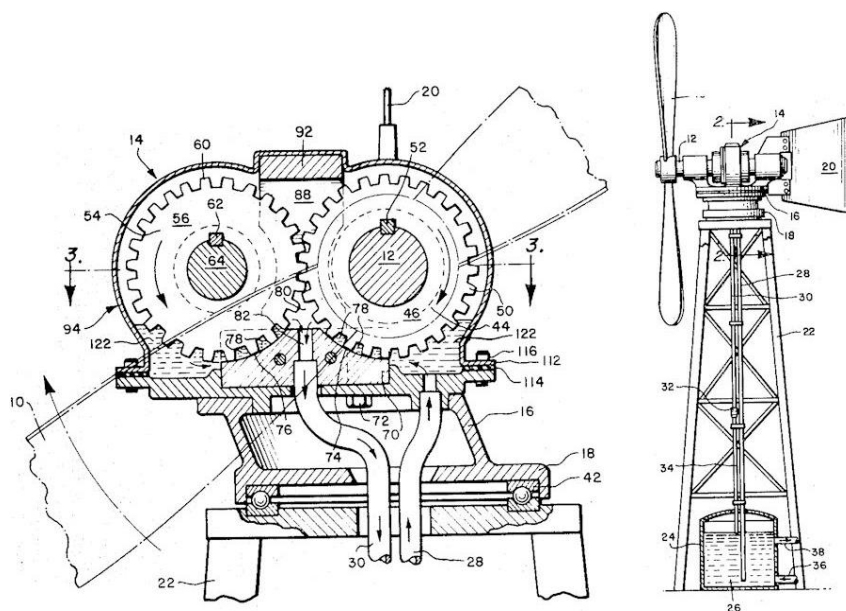


Figura 3.1. Schema tehnologică a CTEol cu generator termic pe baza pompei cu roți dințate: US Patent nr. 4366779 [38]

În calitate de prototip s-a ales soluția tehnică [40], figura 3.2, care conține un generator termic format din două componente principale – inductorul 3 cu magneți permanenți 1, antrenat de rotorul unei turbine eoliene prin intermediul arborelui 2 și indusul executat din material magnetic masiv, în care se induc curenți turbionari. Ca rezultat, curenții turbionari încălzesc indusul, iar căldura generată de acesta este preluată de un lichid caloportor, care circulă prin cămașa de răcire a generatorului termic. Pentru a asigura buna funcționare a turbinei eoliene la viteze joase ale vântului, inductorul poate avea mai mulți poli decât doi. Acest fapt permite cuplarea directă a generatorului termic cu rotorul turbinei eoliene.

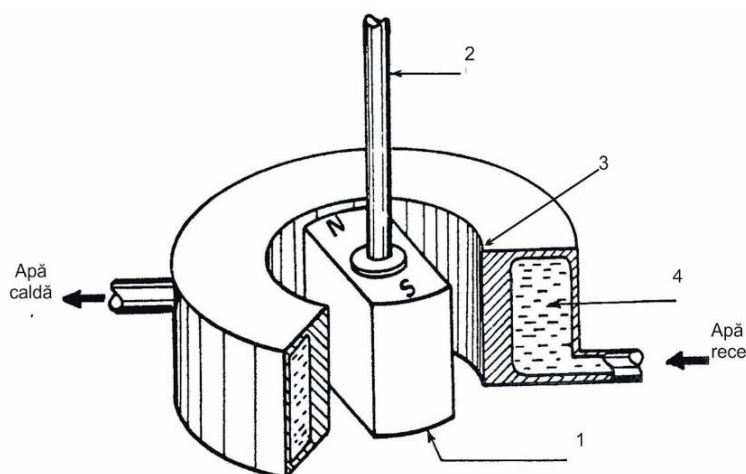


Figura 3.2. Generator termic cu curenți turbionari: UK Patent GB nr. 2 207739 A [40]

Dezavantajul generatorului termic, descris în soluția tehnică [40], constă în eficiența redusă a conversiei energiei mecanice în energie termică, cauza principală fiind suprafața limitată de interacțiune dintre inductor și indus.

Problema tehnică care este rezolvată prin modificări constructive ale generatorului termic (figura 3.3), constă în sporirea eficienței de conversie a energiei mecanice a unei turbine eoliene, în energie termică.

Soluționarea problemei formulate este atinsă prin faptul că generatorul termic eolian, care conține un inductor cu magneți permanenți, antrenat de rotorul unei turbine eoliene, care se rotește concentric în raport cu cămașa indusului prin care circulă un lichid caloportor, iar indusul, la rândul său, este format din două cămăși orientate concentric – una interioară și cealaltă exterioară delimitate printr-un spațiu liber în care este plasat inductorul din material neferomagnetic, pe suprafața cilindrică a căruia sunt frezate caneluri longitudinale în care sunt montați magneții permanenți [41-42].

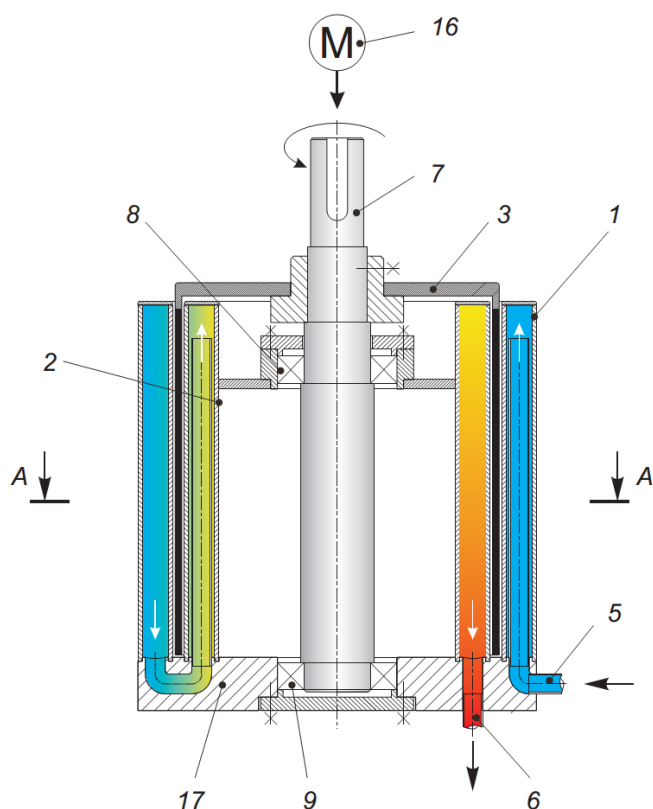


Figura 3.3. Vederea de ansamblu a generatorului termic în secțiune longitudinală [41]

Conform variantei a 2-a, inductorul generatorului este fabricat din material neferomagnetic pe suprafața cilindrică a acestuia sunt frezate caneluri cu părțile laterale concave, în care sunt montați și fixați magneții permanenți cu suprafețele laterale convexe.

Conform variantei a 3-a, cămașa interioară și cea exterioară a indusului pot fi conectate între ele atât consecutiv, pentru asigurarea circulației lichidului caloportor într-un singur flux, cât și pot fi conectate paralel, pentru asigurarea circulației prin fluxuri separate a lichidului caloportor.

Rezultatul tehnic constă în majorarea esențială a suprafeței de interacțiune dintre magnetii permanenți și indus și în consecință crește eficiența conversiei energiei eoliene în căldură.

Generatorul termic eolian cu curenți turbionari, conform figurii 3.3, conține paharele 1 și 2, care formează cămașa exterioară 13, respectiv interioară 14 a indusului generatorului termic prin care circulă lichidul caloportor. În spațiul format dintre cămășile 13 și 14, figura 3.4, este orientat concentric inductorul 3 al generatorului termic, fiind asigurate întrefierurile 11 și 12, cu o lungime de 1-2 mm. Inductorul 3 este executat din material neferomagnetic, iar în canelurile longitudinale, cu părțile laterale în formă concavă 10, sunt montați magnetii permanenți 4 cu părțile laterale convexe, figura 3.6. Lichidul caloportor, figura 3.3, care formează un circuit închis în sistemul de conversie a energiei mecanice în energie termică, intră în cămașa exterioară 13 a generatorului termic prin conducta de admisie 5 și iese din cămașa interioară 14 prin conducta de refulare 6. În același timp, inductorul 3 este montat pe arborele 7, antrenat de motorul 16 și care se rotește liber în rulmenții 8 și 9 fixați în corpul generatorului 17 [41].

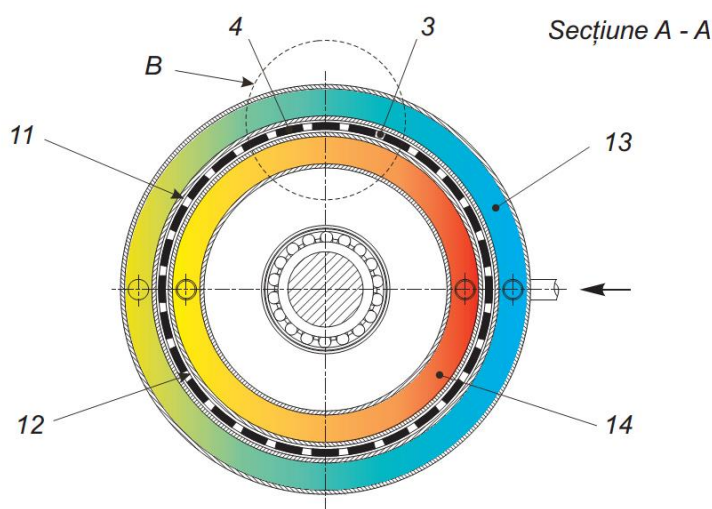


Figura 3.4. Vederea generatorului termic în secțiune transversală (secțiunea A-A) [41]

Generatorul termic eolian cu curenți turbionari funcționează în felul următor. Motorul 16, care poate fi un organ de lucru eolian sau hidraulic, motor cu ardere internă etc. antrenează arborele 7 al generatorului termic pe care este montat inductorul 3. La rotirea inductorului 3 cu magnetii permanenți 4, câmpul magnetic 15 intersectează pereții din material feromagnetic masiv al indusului, figura 3.6. La rândul său, conform figurii 3.4, liniile câmpului magnetic 15 se închid pe calea: polul nord al magnetului – întrefierul 11 – porțiunea de jug a cămășii exterioare 13 – polul

sud al magnetului vecin – întrefierul 12 – porțiunea de jug a cămășii interioare 14. Astfel, în paharele 1 și 2 ale cămășilor indusului 13 și 14 se induc curenți turbionari, are loc încălzirea materialului paharelor 1 și 2 cu care interacționează lichidul caloportor. Așa cum lichidul caloportor, care circulă permanent într-un sistem închis, este admis în cămașa 13 prin conducta de admisie 5, acesta preia o parte din energia termică generată și o transportă consumatorului prin conducta de refulare 6 la ieșirea din cămașa 14 [41].

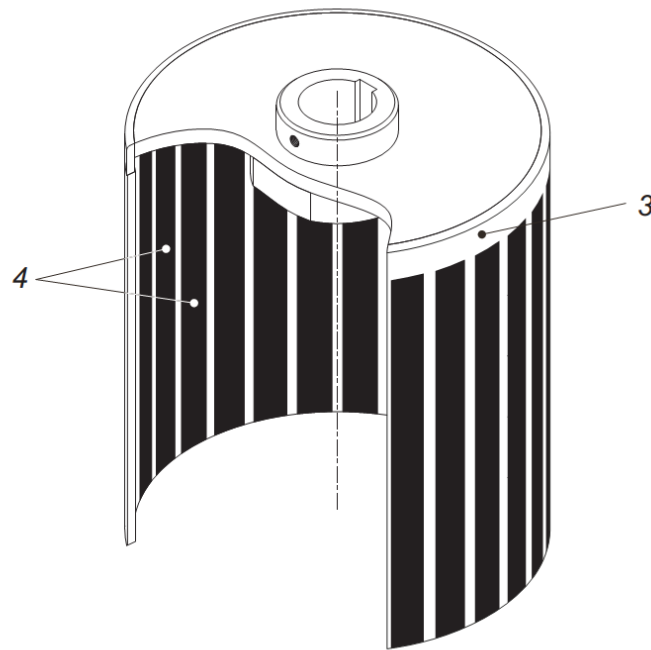


Figura 3.5. Vederea 3D a inductorului [41]

Secțiunea B

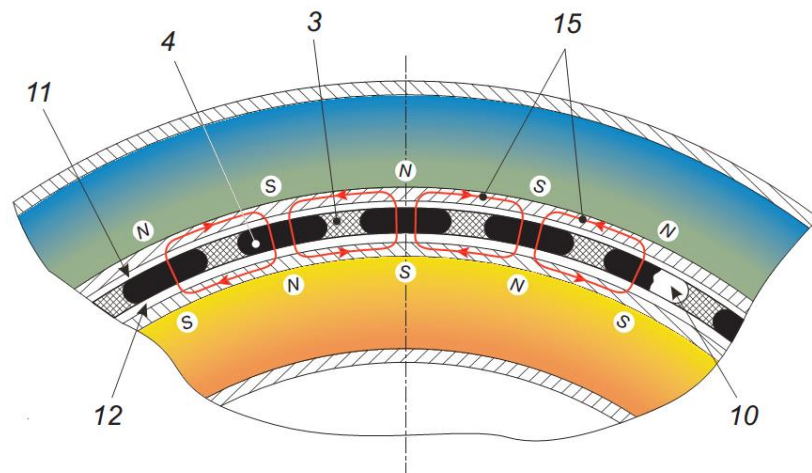


Figura 3.6. Vederea generatorului termic în secțiune transversală (secțiunea B) [41]

3.2. Modelele constructive elaborate ale generatorului termic

În conformitate cu [41], s-au elaborat trei modele constructive ale termogeneratorului, utilizând software SOLIDWORKS, pentru studiul caracteristicilor câmpului magnetic al generatorului termic eolian cu magneți permanenți și curenți turbionari și analiza caracteristicilor termodinamice a generatorului termic cu privire la studiul circulației lichidului caloportor prin cămășile generatorului termic.

Modelele elaborate au aceleași principii constructive și de funcționare descrise în [41], diferența constă în modul de admisie și circulație a lichidului caloportor prin cămășile termogeneratorului. Fiecare model elaborat s-a studiat atât la conectarea cămășilor în serie, cât și în paralel. Modelele elaborate sunt:

- Termogenerator cu admisie directă, cu cămășile conectate în serie/paralel, la care admisia lichidului este direct din baza generatorului, lichidul caloportor circulă liber prin canalele circulare ale cămășilor, figura 3.7;
- Termogenerator cu admisie directă printr-o țeavă montată în canalul exterior al termogeneratorului și conectată în serie/paralel cu o țeavă din canalul interior, figura 3.8;
- Termogenerator cu admisie direcționată, cu cămășile conectate în serie/paralel, la care este montată o spirală din foaie de metal în interiorul cămășilor termogeneratorului, astfel fluxul lichidului caloportor este direcționat prin toată suprafața cămășilor, figura 3.9.

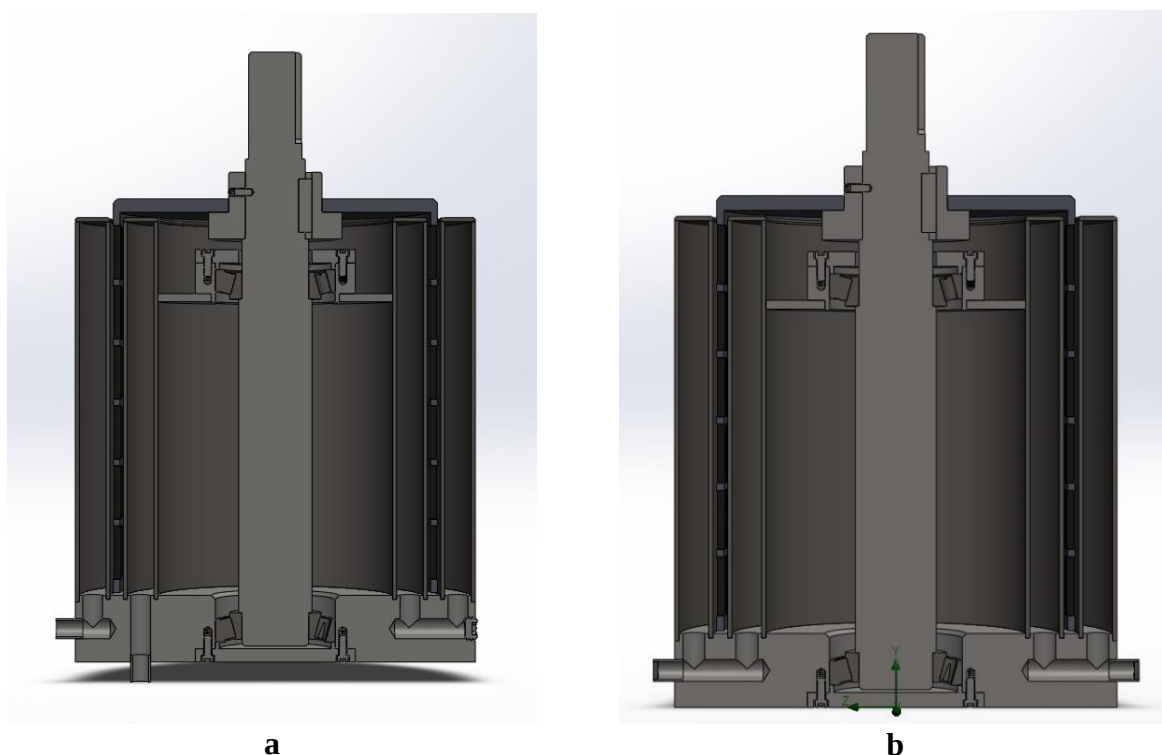
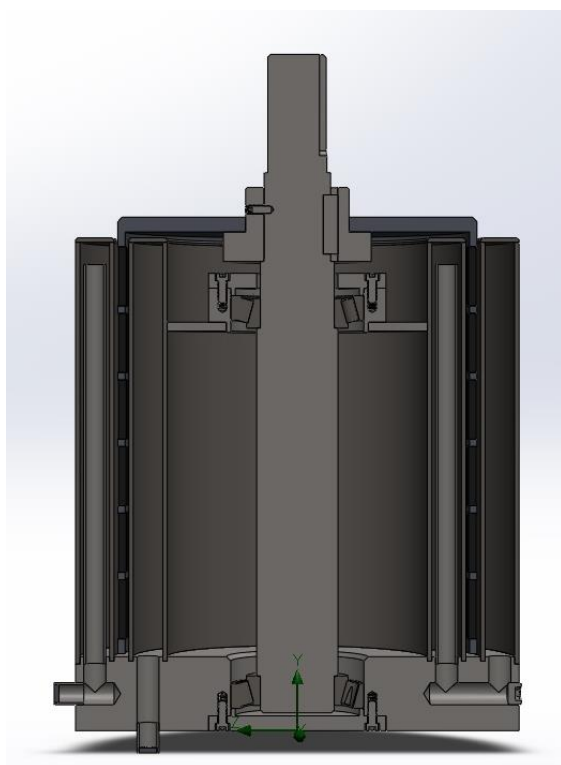
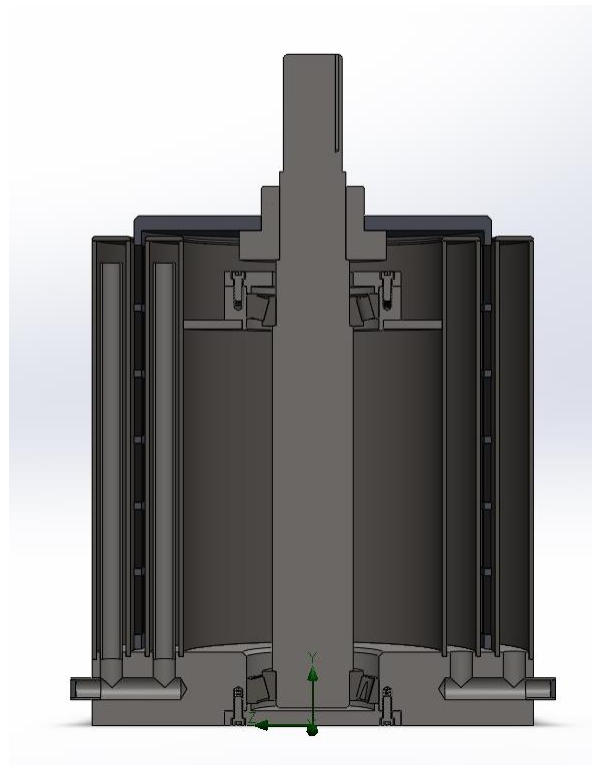


Figura 3.7. Termogenerator cu admisie directă cu cămășile:
a) conectate în serie; b) conectate în paralel

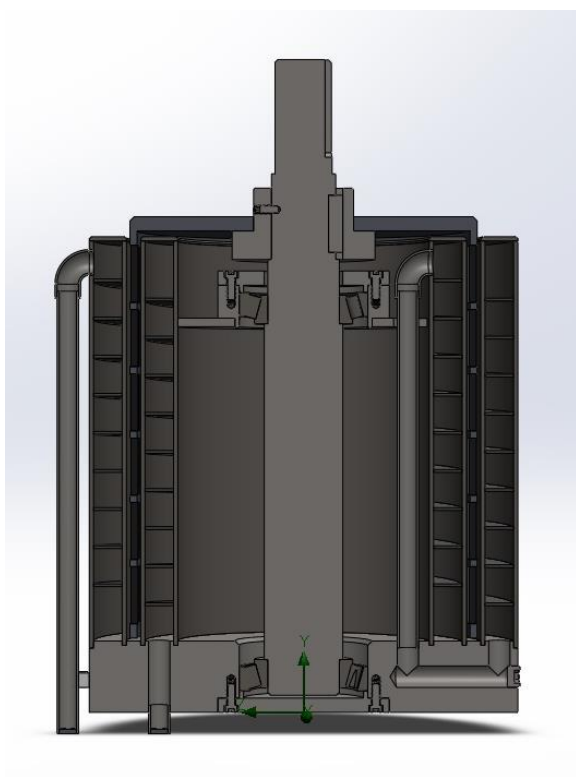


a

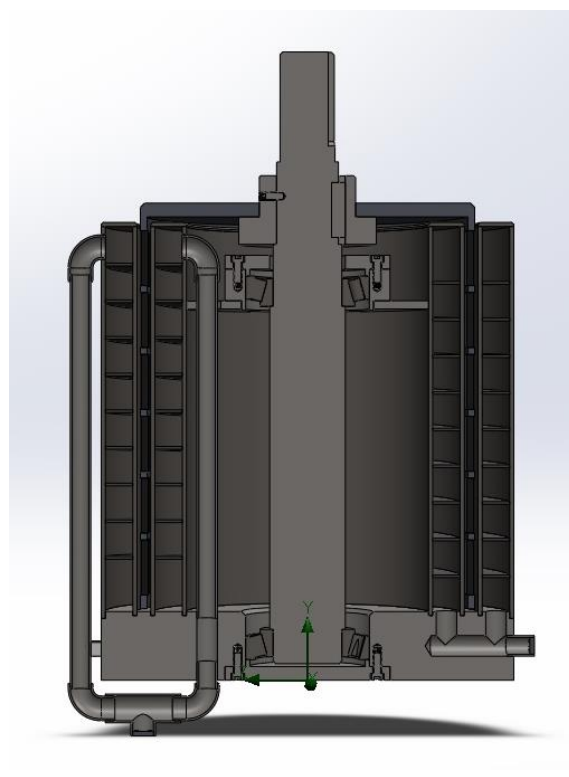


b

**Figura 3.8. Termogenerator cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile:
a) conectate în serie; b) conectate în paralel**



a



b

**Figura 3.9. Termogenerator cu admisie direcționată cu cămășile:
a) conectate în serie; b) conectate în paralel**

3.3. Principiul încălzirii prin inducție electromagnetică

Orice corp conducător de electricitate se încălzește prin efect Joule atunci când este parcurs de curent electric. Încălzirea se obține fie aplicând la extremitățile conductorului o diferență de potențial – încălzirea clasică prin rezistență electrică – fie amplasând acest conductor într-un câmp magnetic variabil în timp – încălzire prin inducție electromagnetică.

În cazul în care o bobină B (figura 3.10, a) va fi parcursă de curent alternativ de frecvență f , aceasta va crea în interiorul și în exteriorul bobinei un câmp magnetic variabil H . Dacă în interiorul bobinei se introduce un corp C din material conductor, fluxul magnetic variabil în timp care traversează materialul, induce o tensiune electromotoare ce determină apariția unor curenți turbionari (Foucault). Dacă fluxul inductor Φ_1 este alternativ, de pulsație ω , în piesă apar curenți induși I_2 , de densitate J_2 (figura 3.10, b) al căror sens este astfel încât fluxul lor Φ_2 se opune fluxului inductor [43].

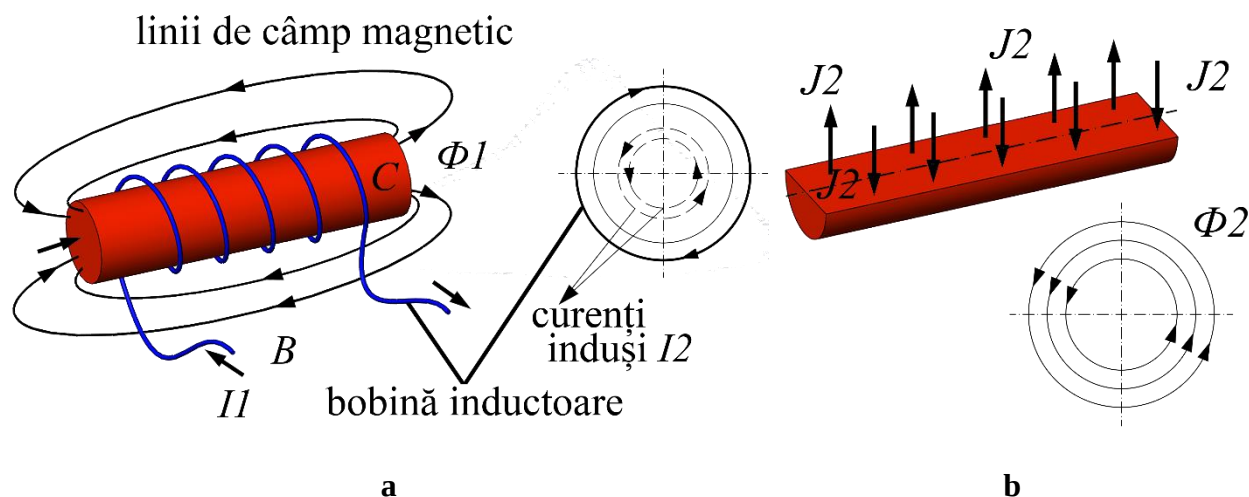


Figura 3.10. Principiul încălzirii prin inducție electromagnetică (a) și apariția curenților turbionari (b)

Câmpul magnetic determinat de curenții J_2 conduce la reducerea câmpului magnetic rezultat în interiorul corpului. Reducerea câmpului magnetic rezultat este cu atât mai pronunțată cu cât frecvența este mai mare. În axul corpului, câmpul magnetic va avea valoarea cea mai mică și va crește treptat spre exterior.

Curenții electrici turbionari produc căldură prin efect Joule și corpul conductor în care aceștia se induc se va încălzi. Bobina B (figura 3.10, a) va constitui circuitul primar sau inductor, iar materialul conductor C – circuitul secundar sau indus. În acest fel, dispozitivele de încălzire prin inducție electromagnetică sunt, ca principiu de funcționare, asemănătoare cu particularitățile specifice de construcție ale transformatoarelor cu sau fără circuit magnetic.

Aplicațiile încălzirii prin inducție nu se limitează la cazul cel mai frecvent al unui corp conductor plasat în interiorul unui solenoid, fiind utilizate configurații foarte variate de inductoare (inductoare plane sau liniare) și poziții variate ale corpului de încălzit în raport cu inductorul. În alte configurații, în calitate de inductor pot servi magneții permanenți, care aflați în mișcare în raport cu corpul de încălzit creează un câmp magnetic variabil.

Tensiunea electromagnetică indusă e , pentru corpuri care nu sunt în mișcare, are expresia:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (3.1)$$

unde: $d\Phi$ este variația fluxului magnetic care traversează corpul de încălzit în intervalul de timp dt [44].

Dacă se notează cu E valoarea efectivă a tensiunii electromotoare induse, puterea transformată în căldură în materialul de încălzit va fi:

$$E = R \cdot I^2 = E^2 / R \quad (3.2)$$

Rezistența electrică R din relația (3.2) nu este aceeași cu cea pe care o prezintă materialul conductor atunci când este parcurs de curent continuu. În curent alternativ, rezistența electrică R are o valoare superioară rezistenței electrice în curent continuu. Creșterea rezistenței electrice este determinată de repartitia neuniformă a densității curentului electric în secțiunea transversală a conductorului. Coeficientul de creștere depinde de permeabilitatea magnetică, de rezistivitatea materialului dar și de frecvența curenților induși de inductor [43].

De asemenea, poate apărea o tensiune electromotoare, conform legii inducției electromagnetice, prin deplasarea cu viteza v , pe direcție x , a corpului conductor într-un câmp magnetic neuniform, obținut cu ajutorul unei bobine alimentată cu tensiune continuă sau cu magneți permanenți. În acest caz, tensiunea electromotoare e_v are expresia:

$$e_v = -\frac{d\Phi}{dt} = -v \cdot \frac{d\Phi}{dx} \quad (3.3)$$

Dacă obiectul de încălzit este constituit dintr-un material cu proprietăți feromagnetice (fierul, oțelul, nichelul, cobaltul), la puterea disipată în material prin inducție electromagnetică, se adaugă și efectul termic determinat de fenomenul de histerezis magnetic (figura 3.11). Aportul încălzirii prin histerezis este cu atât mai pronunțat cu cât aria ciclului buclei de histerezis este mai mare. Raportul dintre puterea P_i dezvoltată prin curenți turbionari și P_h dezvoltată prin histerezis magnetic este:

$$P_i/P_h = a \cdot f \cdot H^{0,4} \quad (3.4)$$

unde: a este o constantă, f – frecvența iar H – valoarea efectivă a intensității câmpului magnetic în care se află materialul feromagnetic [45].

Puterea disipată prin histerezis este în general mult mai mică decât cea disipată prin curenți turbionari induși ($< 10\%$ în majoritatea cazurilor). Numai în cazul particular al materialelor magnetice dure, puterea P_h poate ajunge la $1/4$ din puterea totală disipată în material. Puterea P_h nu mai intervine după atingerea temperaturii corespunzătoare punctului Curie, când permeabilitatea magnetică relativă μ_r devine practic egală cu 1,0 (de exemplu, materialele feromagnetice devin paramagnetice începând cu temperatura de $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ pentru fier, $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ pentru nichel și $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ pentru cobalt). Sub punctul Curie, μ_r poate lua valori ridicate astfel că și curentul electric indus va fi foarte diferit înainte și după punctul Curie.

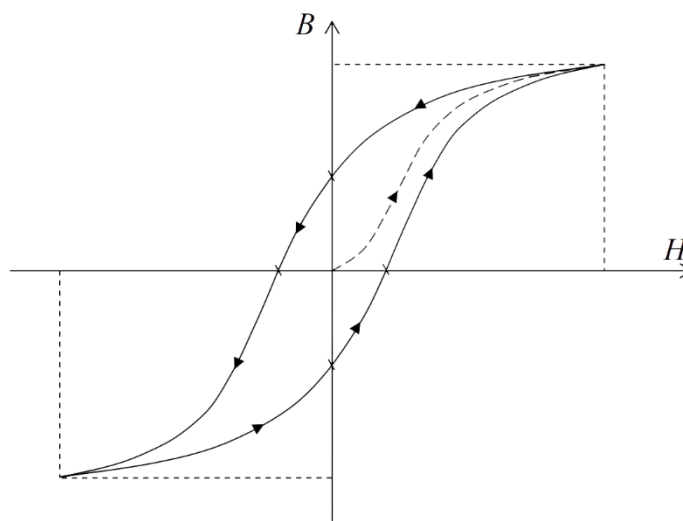


Figura 3.11. Curba de histerezis $B = f(H)$

Încălzirea prin inducție electromagnetică a unui corp implică trei fenomene fizice succesive:

- transferul de energie pe cale electromagnetică de la inductor la corpul de încălzit;
- producerea de căldură în material pe baza curenților induși, prin efect Joule;
- transferul de căldură, prin conducție termică în întreaga masă a corpului.

În general, la transferul termic între o sursă de căldură și un corp, trebuie ca sursa de căldură să aibă temperatura mai ridicată decât a corpului. În cazul încălzirii prin inducție electromagnetică se produce căldură cu ajutorul unui inductor care rămâne relativ rece în raport cu corpul de încălzit, acesta putând fi adus la temperaturi ridicate. Căldura este dezvoltată în piesa însăși, nefiind necesar un agent material de transfer ori contact de transfer.

Încălzirea prin inducție electromagnetică are o inerție termică redusă, ceea ce limitează pierderile. Este posibilă obținerea unor densități de putere ridicate și o mare viteză de încălzire.

Cele mai importante caracteristici ale încălzirii prin inducție sunt următoarele două:

- repartiția curenților induși în corpul de încălzit;
- puterea disipată în corp.

Aceste caracteristici determină în final eficiența economică a acestui tip de încălzire.

Procesul de încălzire prin inducție este dependent de numeroși parametri:

a) parametri ai fluxului magnetic ce traversează corpul de încălzit;

- natura materialului (μ_r) și starea sa (material magnetic influențat sau nu de temperatură);
- tensiunea magnetomotoare a inductorului (caracteristicile și saturația circuitului magnetic);
- scăpările magnetice (dimensiunile inductorului și ale piesei, cuplajul, caracteristicile circuitului magnetic);
- frecvența tensiunii induse.

b) caracteristicile electrice ale inductorului și indusului:

- rezistența acestora la temperaturi ridicate;
- dimensiunile geometrice;
- secțiunea din indus parcursă de curenți turbionari, distribuția densității de curent, lungimea circuitului parcurs de curentul indus [46].

3.3.1. *Pătrunderea câmpului electromagnetic și puterea transmisă indusului*

Determinarea densității curentului electric turbionar indus în conductoare masive și a puterilor dezvoltate de aceștia se face pe baza ecuațiilor lui Maxwell pentru regim cvasistaționar în corpuri imobile [44]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \bar{H} &= \bar{J} && \text{– legea circuitului magnetic;} \\ \operatorname{rot} \bar{E} &= -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} && \text{– legea inducției electromagnetice;} \\ \operatorname{div} \bar{B} &= 0 && \text{– legea fluxului magnetic;} \\ \bar{B} &= \mu \cdot \bar{H} && \text{– legea legăturii dintre inducție și intensitatea câmpului magnetic;} \\ \bar{J} &= \sigma \cdot \bar{E} = \frac{1}{\rho} \cdot \bar{E} && \text{– legea conducției electrice.} \end{aligned} \quad (3.5)$$

În relațiile (3.5), $\bar{E}$ este vectorul câmpului electric, $\bar{H}$ – vectorul câmpului magnetic, $\bar{B}$ – vectorul inducție magnetică, $\bar{J}$ – vectorul densitate de curent electric, σ – conductivitatea electrică a materialului, ρ – rezistivitatea materialului, μ – permeabilitatea.

Determinând expresiile câmpurilor $\bar{E}$ și $\bar{H}$, din relațiile (3.5) se poate deduce expresia energiei electromagnetice absorbite pe unitatea de arie a conductorului, în unitatea de timp (putere specifică) $\bar{S}$ – vectorul fluxului de energie (vectorul Poynting):

$$\bar{S} = \bar{E} \cdot \bar{H} \quad (3.6)$$

Din prima dintre ecuațiile lui Maxwell, având în vedere legea conducției electrice rezultă:

$$\operatorname{rot} \bar{H} = \sigma \cdot \bar{E} \quad (3.7)$$

Dacă se aplică relației (3.7) operatorul rotor, se obține:

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \bar{H} = \sigma \cdot \bar{E} \quad (3.8)$$

sau

$$\text{grad div } \vec{H} - \Delta \vec{H} = \sigma \cdot \text{rot } \vec{E} \quad (3.9)$$

În relația (3.9), primul termen este nul având în vedere legea fluxului magnetic. Dacă se are în vedere și legea inducției electromagnetice, relația (3.9) poate fi scrisă sub forma:

$$\Delta \vec{H} = \sigma \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3.10)$$

Soluția ecuației diferențiale (3.10) poate fi determinată pentru fiecare configurație geometrică în parte, având în vedere condițiile la limită.

3.3.2. Pătrunderea câmpului electromagnetic în corpuri plane

Cazul semispațiului infinit conductor (figura 3.12) este analizat pentru a pune în evidență principalele aspecte legate de pătrunderea câmpului electromagnetic într-un material conductor, aflat într-un câmp magnetic variabil în timp. Se consideră cazul simplificat al câmpului magnetic $\vec{H}_0$ la suprafața de separație, orientat după axa O_Z și având o variație sinusoidală în timp.

Datorită extinderii infinite a semispațiului conductor și caracterului omogen și izotrop al materialului conductor, toate mărimile locale de stare au aceeași valoare în toate punctele oricărui plan $x = \text{const.}$ (paralel cu suprafața de separație a semispațiului conductor). În acest fel, rezultă că toate mărimile electrice din interiorul semispațiului conductor sunt funcții numai de distanță x și de timpul t : $\vec{H} = \vec{H}(x, t)$; $\vec{E} = \vec{E}(x, t)$; $\vec{J} = \vec{J}(x, t)$ [43].

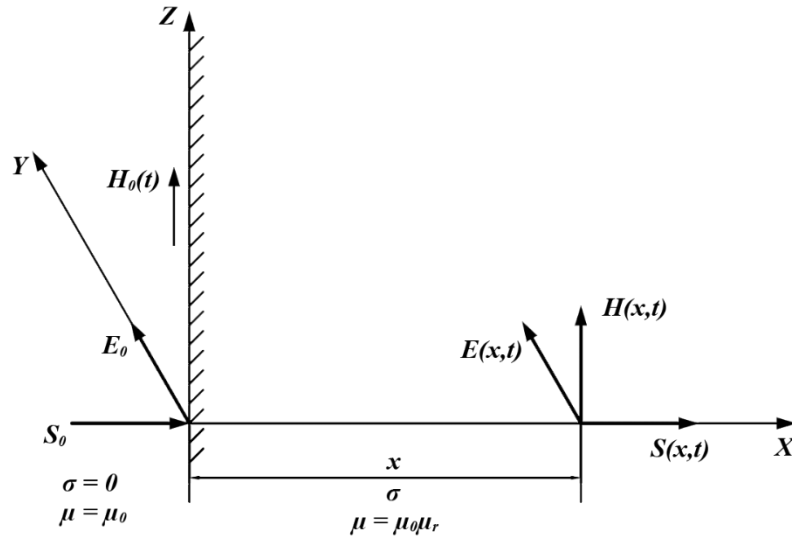


Figura 3.12. Semispațiul infinit conductor

Pentru configurația din figura 3.14, relația (3.10), în coordonate carteziene, se scrie sub forma:

$$\frac{\partial^2 \vec{H}(x, t)}{\partial x^2} = \mu \cdot \sigma \cdot \frac{\partial \vec{H}(x, t)}{\partial t} \quad (3.11)$$

Ecuația (3.11), în regim sinusoidal și în complex simplificat, se scrie sub forma:

$$\frac{d^2 \underline{H}(x)}{dx^2} = j \cdot \omega \cdot \sigma \cdot \underline{H}(x) \quad (3.12)$$

iar:

$$H(x, t) = \text{Im}\{\sqrt{2} \cdot H \cdot e^{j\omega \cdot t}\} \quad (3.13)$$

Soluția generală a ecuației (3.12) este:

$$\underline{H} = \underline{A}_1 \cdot e^{\underline{\alpha} \cdot x} + \underline{A}_2 \cdot e^{-\underline{\alpha} \cdot x} \quad (3.14)$$

În relația (3.14) s-a utilizat notația:

$$\underline{\alpha} = \sqrt{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma} = \sqrt{j} \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu \cdot \sigma} = \frac{1+j}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\omega \cdot \mu \cdot \sigma} \quad (3.15)$$

Se pune astfel în evidență adâncimea de pătrundere δ , definită prin relația [47]:

$$\delta = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (3.16)$$

Având în vedere expresia (3.16) a adâncimii de pătrundere δ , relația (3.15) devine:

$$\underline{\alpha} = \frac{1+j}{\delta} \quad (3.17)$$

Cu expresia (3.17), soluția (3.14) rezultă sub forma:

$$\underline{H} = \underline{A}_1 \cdot e^{(1+j) \cdot x / \delta} + \underline{A}_2 \cdot e^{-(1+j) \cdot x / \delta} \quad (3.18)$$

Pentru configurația analizată, condițiile la limită sunt:

- pentru $x \rightarrow \infty$ câmpul magnetic are o valoare finită, ceea ce impune $A_1 = 0$;
- pentru $x = 0$, $\underline{H} = \underline{H}_0$; rezultă $\underline{A}_2 = \underline{H}_0$.

Având în vedere valorile constantelor de integrare A_1 și A_2 , soluția (3.18) devine

$$\underline{H} = \underline{H}_0 \cdot e^{-(1+j) \cdot x / \delta} = \underline{H}_0 \cdot e^{-x / \delta} \cdot e^{j\varphi} \quad (3.19)$$

unde $\varphi = -x / \delta$ este defazajul variabil al fazorului $\underline{H}$.

Valoarea instantanee a câmpului magnetic este:

$$H(x, t) = H_0 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{-x / \delta} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.20)$$

Densitatea de curent $\bar{J}$ și intensitatea câmpului electric $\bar{E}$ se deduc din prima și respectiv a doua dintre ecuațiile (3.5) ale lui Maxwell. Dacă se observă faptul că singurele componente nenule ale funcției $\text{rot } \bar{H}$ și deci și ale mărimilor $\bar{J}$ și $\bar{E}$ sunt dirijate după axa O_y , iar mărimea $\bar{H}$ este orientată după O_z rezultă [43]:

$$\underline{J} = \sigma \cdot \underline{E} = -\frac{d\underline{H}}{dx} \quad (3.21)$$

sau

$$\underline{J} = H_0 \cdot (1+j) \cdot \frac{1}{\delta} \cdot e^{-(1+j) \cdot x / \delta}$$

$$\underline{E} = H_0 \cdot (1+j) \cdot \frac{1}{\sigma \cdot \delta} \cdot e^{-(1+j) \cdot x / \delta} \quad (3.22)$$

Pentru determinarea puterii active disipată în material se determină expresia vectorului Poynting $\bar{S}$ (orientat în sensul pozitiv al axei O_x):

$$\underline{S} = \underline{E} \cdot \underline{H}^* = H_0^2 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot (1 + j) \cdot e^{-\frac{2x}{\delta}} = P + jQ \quad (3.23)$$

În relația (3.23), P este puterea activă disipată prin efect Joule raportată la unitatea de suprafață a corpului conductor, iar Q este puterea reactivă corespunzătoare.

Pentru $x = 0$ rezultă:

$$\begin{aligned} \underline{S}_0 &= H_0^2 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot (1 + j) = P_0 + jQ_0 \\ \lambda = \cos \varphi &= \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Pentru un conductor plan de grosime finită, excitat pe una din fețe cu $\underline{H}_0$ (figura 3.13), condițiile la limite sunt:

- pentru $x = 0$, $\underline{H} = \underline{H}_0$;
- pentru $x = a$, $\underline{H} = 0$ rezultă dacă se aplică legea circuitului magnetic conturului Γ – figura 3.13).

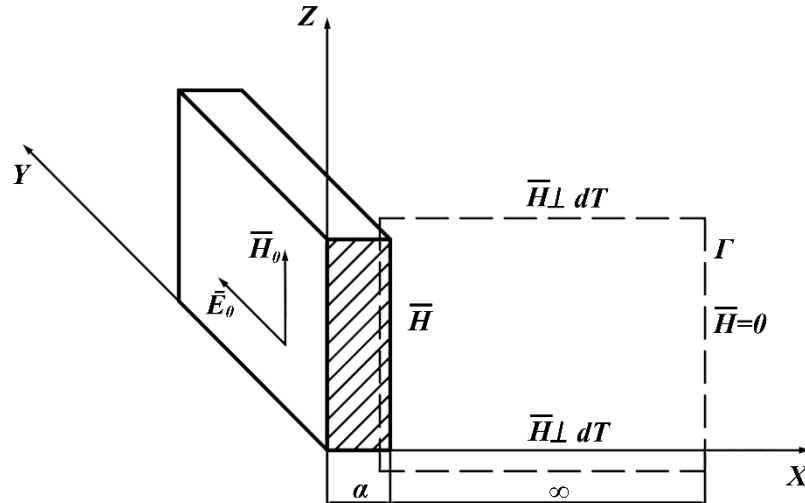


Figura 3.13. Conductor plan de grosime finită, excitat pe una din fețe cu $\underline{H}_0$

Având în vedere condițiile la limite rezultă [43]:

$$\underline{H} = \underline{H}_0 \cdot \frac{\sinh \left[(1 + j) \cdot \frac{a - x}{\delta} \right]}{\sinh \left[(1 + j) \cdot \frac{a}{\delta} \right]} \quad (3.25)$$

De asemenea, se obține:

$$\underline{J} = \sigma \cdot \underline{E} = \underline{H}_0 \cdot \frac{1}{\delta} \cdot (1 + j) \cdot \frac{\cosh \left[(1 + j) \cdot \frac{a - x}{\delta} \right]}{\sinh \left[(1 + j) \cdot \frac{a}{\delta} \right]} \quad (3.26)$$

Puterea $\underline{S}$ are expresia:

$$\underline{S} = H_0^2 \cdot \frac{1}{\delta} \cdot \left[\frac{\sinh 2 \frac{a - x}{\delta} + \sin 2 \frac{a - x}{\delta}}{\cosh 2 \frac{a}{\delta} - \cos 2 \frac{a}{\delta}} + j \frac{\sinh 2 \frac{a - x}{\delta} - \sin 2 \frac{a - x}{\delta}}{\cosh 2 \frac{a}{\delta} - \cos 2 \frac{a}{\delta}} \right] \quad (3.27)$$

Puterea absorbită la suprafața corpului conductor ($x = 0$) rezultă:

$$\underline{S}_0 = H_0^2 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot (F + jG) \quad (3.28)$$

unde expresiile funcțiilor F (corespunzătoare puterii active) și G (corespunzătoare puterii reactive) sunt:

$$F = \frac{\sinh 2\varepsilon + \sin 2\varepsilon}{\cosh 2\varepsilon - \cos 2\varepsilon}; \quad G = \frac{\sinh 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon}{\cosh 2\varepsilon - \cos 2\varepsilon} \quad (3.29)$$

În relațiile (3.29) s-a utilizat notația $\varepsilon = a/\delta$.

Funcțiile F și G sunt prezentate în figura 3.14.

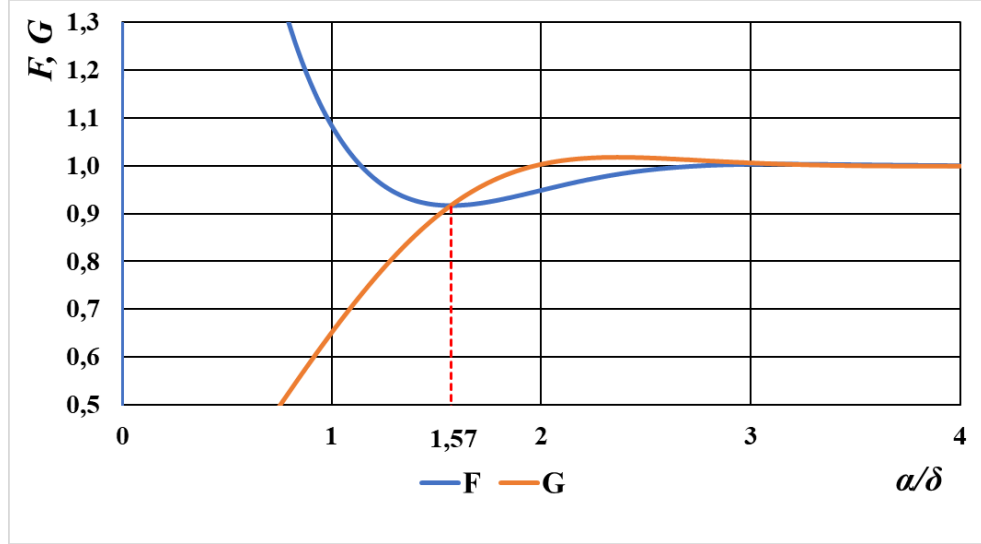


Figura 3.14. Dependența funcțiilor F și G de raportul dintre grosimea a și adâncimea de pătrundere, în cazul unei plăci de grosime finită, excitată pe una dintre fețe

Pentru $\varepsilon \geq 3$, $F \cong G \cong 1$ și deci vectorul Poynting are aceeași valoare ca și în cazul semispațiului conductor.

Pentru ca încălzirea plăcii să se facă cu o eficiență ridicată este necesar ca placa să aibă $\varepsilon < 1,57$. Cu cât ε este mai mic, cu atât transferul de putere va fi mai eficient. Pătrunderea este minimă pentru $\varepsilon = 1,57$.

3.3.3. Pătrunderea câmpului electromagnetic în corpuri cilindrice

Pentru cazul unui conductor cilindric de raza r_0 (figura 3.15) și lungimea infinită, la suprafața căruia este un câmp magnetic $\bar{H}_0$ orientat după axa O_z , cu variație sinusoidală în timp, datorită mediului izotrop și omogen al materialului cilindrului și a uniformității câmpului magnetic la suprafață, toate mărimile de stare locală ale câmpului electromagnetic sunt funcții numai de coordonata r și timpul t : $\bar{H} = \bar{H}(r, t)$; $\bar{E} = \bar{E}(r, t)$; $\bar{J} = \bar{J}(r, t)$ [48].

Relația (3.10) scrisă pentru cazul particular analizat, în coordonate cilindrice, conduce la expresia:

$$\frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \bar{H}}{\partial r} = \mu \cdot \sigma \cdot \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \quad (3.30)$$

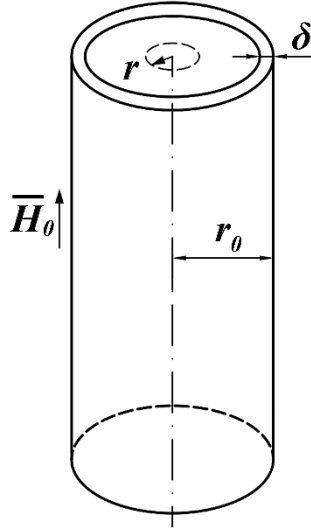


Figura 3.15. Cilindru conductor infinit

În regim armonic, relația (3.30) devine:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left(r \cdot \frac{dH}{dr} \right) = j\omega \cdot \mu \cdot \sigma H \quad (3.31)$$

iar:

$$H(r, t) = \text{Im} \{ \sqrt{2} \cdot \underline{H} \cdot e^{j\omega \cdot t} \} \quad (3.32)$$

Soluția ecuației (3.31) este o formă specială a funcțiilor tip Bessel în care variabila este mărime complexă:

$$\underline{H}(r) = \underline{A}_1 \cdot J_0 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right) + \underline{A}_2 \cdot K_0 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right) \quad (3.33)$$

În relația (3.33), δ este adâncimea de pătrundere având forma indicată în (3.16), J_0 este funcția lui Bessel de speța întâia și ordin zero iar K_0 – funcția Bessel de speța a doua și ordinul zero:

$$J_0(\sqrt{-jx}) = \text{ber } x + j\text{bei } x \quad (3.34)$$

în care:

$$\begin{aligned} \text{ber } x &= 1 - \frac{x^4}{2^2 \cdot 4^2} + \frac{x^8}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2 \cdot 8^2} - \dots \\ \text{bei } x &= \frac{x^2}{2} - \frac{x^6}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2} + \frac{x^{10}}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2 \cdot 8^2 \cdot 10^2} - \dots \end{aligned} \quad (3.35)$$

Intensitatea câmpului electric $\bar{E}$ rezultă din prima dintre ecuațiile lui Maxwell, deoarece $\bar{H}$ este orientat după axa O_z , singurele componente nenule ale $\text{rot } \bar{H}$ sunt cele tangențiale:

$$\bar{E}(r, t) = \bar{E} = - \frac{\partial \bar{H}(r, t)}{\partial r} \quad (3.36)$$

sau, în mărimi complexe:

$$\underline{E} = - \frac{dH}{dr} \quad (3.37)$$

Conductorul cilindric plin prezintă următoarele condiții la limită pentru intensitatea câmpului magnetic [48]:

- pentru $r = 0$, intensitatea câmpului magnetic are o valoare finită și deoarece $J_0(0) = 1$ și $K_0(0) \rightarrow \infty$ rezultă $A_2 = 0$;
- pentru $r = r_0$, $\underline{H} = \underline{H}_0$ și rezultă $\underline{A}_1 = \underline{H}_0 / J_0 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)$.

Având în vedere expresiile constantelor de integrare $\underline{A}_1$ și $\underline{A}_2$, din relația (3.33) rezultă expresia de calcul a câmpului magnetic într-un punct de rază curentă r :

$$\underline{H} = \underline{H}_0 \cdot \frac{J_0 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)}{J_0 \left(\frac{r_0}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)} \quad (3.38)$$

Dacă se au în vedere expresiile funcțiilor Bessel, relația (3.38) devine:

$$\underline{H} = \underline{H}_0 \cdot \frac{\text{ber } x + j \text{bei } x}{\text{ber } x_0 + j \text{bei } x_0} \quad (3.39)$$

unde:

$$x = \frac{r \cdot \sqrt{2}}{\delta} \text{ și } x_0 = \frac{r_0 \cdot \sqrt{2}}{\delta} \quad (3.40)$$

Intensitatea câmpului electric poate fi determinată pe baza relației (3.37) având în vedere expresia (3.39) a intensității câmpului magnetic:

$$\underline{E} = -\frac{d\underline{H}}{dr} = -\underline{H}_0 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot \frac{J'_0 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)}{J_0 \left(\frac{r_0}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)} \quad (3.41)$$

Deoarece:

$$J'_0 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right) = J_1 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right) \quad (3.42)$$

unde J_1 este funcția Bessel de ordinul unu și speța întâia, rezultă:

$$\underline{E} = -\underline{H}_0 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot \frac{J_1 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)}{J_0 \left(\frac{r_0}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)} \quad (3.43)$$

Înlocuind relațiile (3.38) și (3.43) ale intensității câmpului magnetic $\underline{H}$ și respectiv intensității câmpului electric $\underline{E}$ în expresia vectorului Poynting, scrisă în complex, se obține:

$$\underline{S} = \underline{E} \cdot \underline{H}^* = -H_0^2 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{J_0^* \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)}{J_0^* \left(\frac{r_0}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)} \cdot \frac{J_1 \left(\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)}{J_0^* \left(\frac{r_0}{\delta} \cdot \sqrt{-2j} \right)} \quad (3.44)$$

sau:

$$\underline{S} = -H_0^2 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\text{ber}' x + j \text{bei}' x}{\text{ber } x_0 + j \text{bei } x_0} \cdot \frac{\text{ber } x + j \text{bei } x}{\text{ber } x_0 + j \text{bei } x_0} \quad (3.45)$$

Semnul (−) din fața relației (3.45) indică faptul că $\underline{S}$ este orientat spre interiorul cilindrului (în sens contrar variabilei r).

Puterea $\underline{S}_0$ absorbită pe unitatea de arie a suprafeței cilindrului rezultă:

$$\underline{S}_0 = H_0^2 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot (F + jG) = P_0 + jQ_0 \quad (3.46)$$

sau:

$$\underline{S}_0 = H_0^2 \cdot \sqrt{\pi \cdot f \cdot \rho \cdot \mu_0 \cdot \mu_r} \cdot (F + jG) \quad (3.47)$$

În relațiile (3.46) și (3.47) au fost folosite notațiile:

$$F = \sqrt{2} \cdot \frac{\text{ber } x_0 \cdot \text{ber}' x_0 + \text{bei } x_0 \cdot \text{bei}' x_0}{(\text{ber } x_0)^2 + (\text{bei } x_0)^2}$$

$$G = \sqrt{2} \cdot \frac{\text{ber } x_0 \cdot \text{ber}' x_0 - \text{bei } x_0 \cdot \text{bei}' x_0}{(\text{ber } x_0)^2 + (\text{bei } x_0)^2} \quad (3.48)$$

Variația mărimilor F și G în funcție de raportul dintre diametrul $d = 2 \cdot r_0$ și adâncimea de pătrundere δ este indicată în figura 3.16.

La suprafața cilindrului câmpul electric $\underline{E}$ are expresia:

$$\underline{E}_0 = -\underline{H}_0 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot (F + jG) \quad (3.49)$$

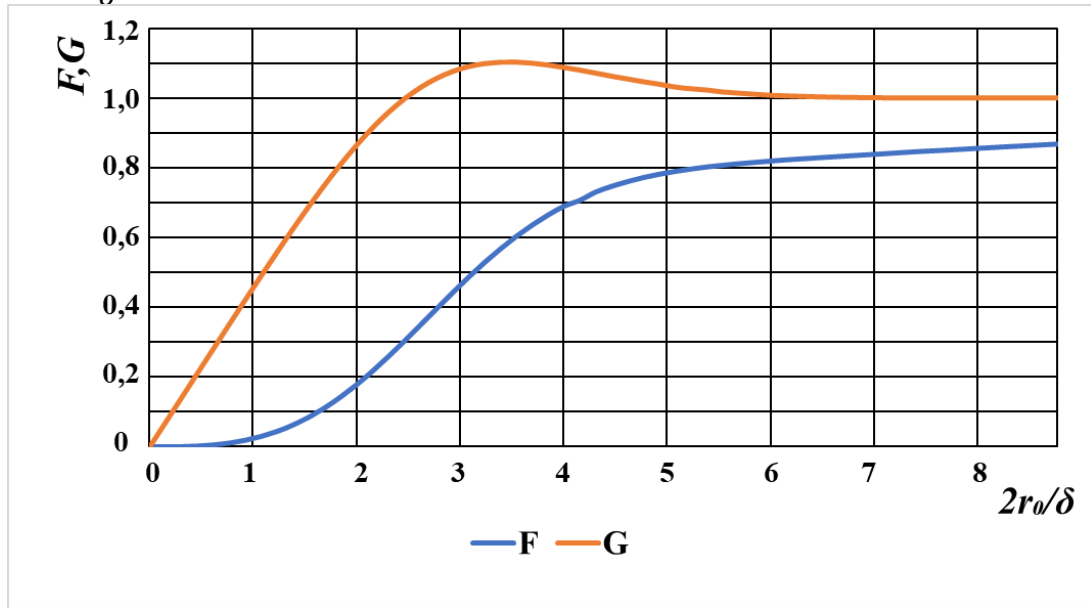


Figura 3.16. Dependența funcțiilor F și G de raportul dintre diametrul d și adâncimea de pătrundere δ

Conductorul cilindric gol, excitat la interior (figura 3.17) poate fi caracterizat prin următoarele condiții la limită pentru câmpul magnetic [48]:

- pentru $r = r_i$, $\underline{H} = \underline{H}_0$;
- pentru $r = r_e$, $\underline{H} = 0$ (din legea circuitului magnetic scrisă pe conturul Γ , deoarece $\underline{H} = \underline{H}_e = N \cdot I = 0$).

Rezultă:

$$\underline{S}_0 = -\underline{H}_0^2 \cdot \frac{\rho}{\delta} \cdot (F + jG) \quad (3.50)$$

Funcțiile F și G depind de r_e și r_i și sunt indicate în figura 3.19 în funcție de raportul dintre grosimea țevii și adâncimea de pătrundere.

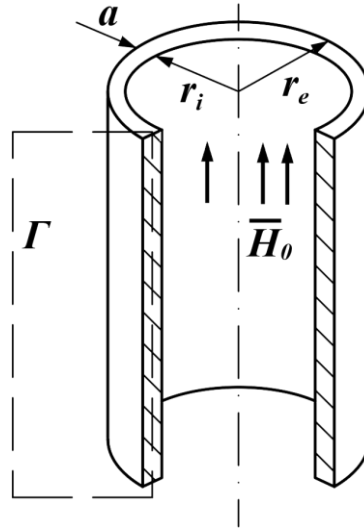


Figura 3.17. Cilindru gol excitat la interior

Conductorul cilindric gol, excitat la exterior (figura 3.18) poate fi caracterizat prin următoarele condiții la limite pentru câmpul magnetic [48]:

- pentru $r = r_e$, $\underline{H} = \underline{H}_0$;
- pentru $r = r_i$, $\underline{H} = \underline{H}_j$.

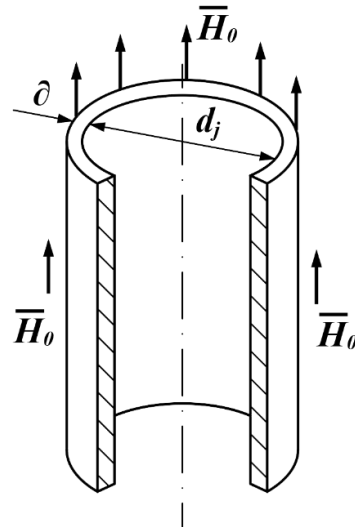


Figura 3.18. Cilindru gol excitat la exterior

Expresia vectorului Poynting are aceeași formă (3.50) iar funcțiile F și G corespund celor din figura 3.20 dacă a/δ are valori mari.

Cazul pieselor cilindrice la care golul din interior este mai mic (a/δ) (figura 3.19, a) poate fi asimilat pieselor cilindrice pline, expresia puterii transmise fiind dată de relația (3.47).

Pentru piesele la care adâncimea de pătrundere devine comparabile cu grosimea peretelui (figura 3.19, b) sau este superioară acesteia (figura 3.19, c), în expresia puterii deduse anterior, funcțiile F și G corespund pătrunderii câmpului electromagnetic în aceste condiții și prezintă valori indicate în figura 3.20. Pentru astfel de piese, factorul de transmisie F , depinde de două rapoarte:

grosimea cilindrului/adâncimea de pătrundere (a/δ) și grosimea piesei/diametrul piesei (a/d) (figura 3.20).

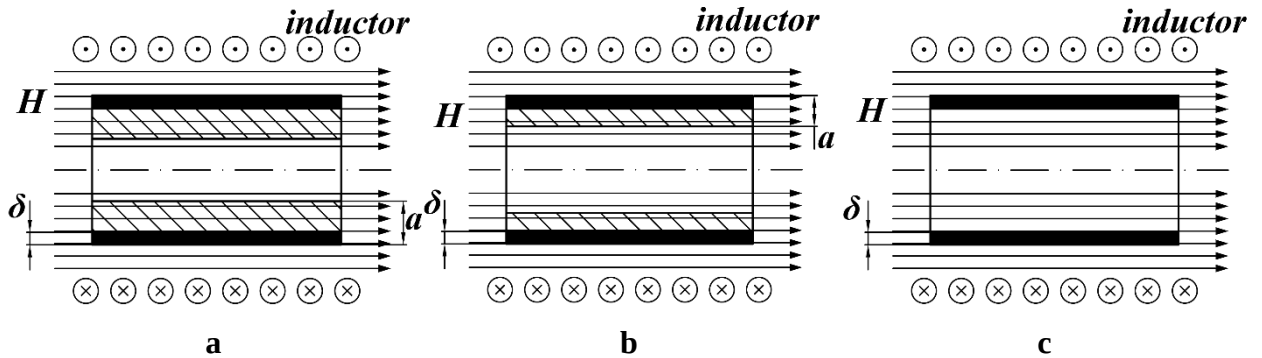


Figura 3.19. Pătrunderea câmpului electromagnetic în piese cilindrice tip țeavă

Se observă faptul că, dacă $a/d = 0,5$, atunci tubul este de fapt un cilindru plin și F va avea aceeași valoare ca la corpurile pline. Mărimea F , pentru $a/\delta \leq 1$ și $a/d \leq 0$ se poate calcula din relația [49]:

$$F = \frac{(a/\delta)^3}{(a/\delta)^4 + \mu_r \cdot (a/d)^2} \quad (3.51)$$

Analiza curbelor din figura 3.20 arată că pentru valori convenabile ale rapoartelor a/d și a/δ puterea transmisă unei piese goale la interior este mai mare decât cea transmisă piesei pline de același diametru, conform relației (3.29), figura 3.14.

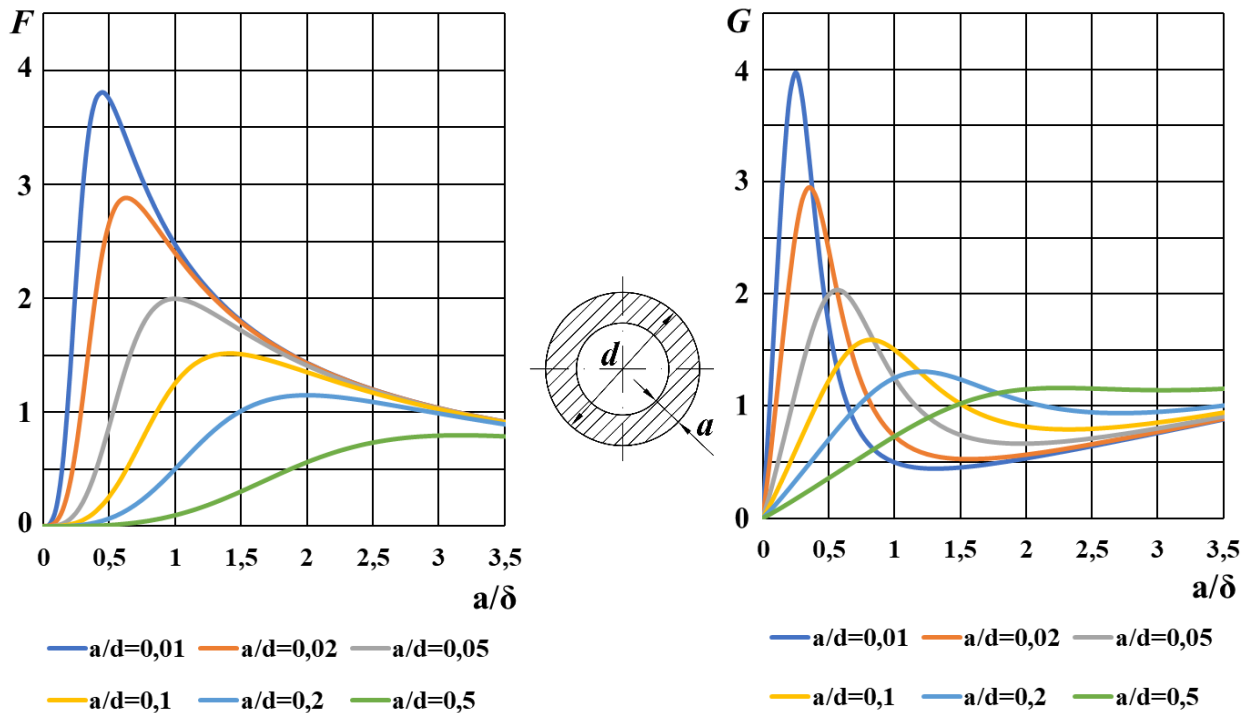


Figura 3.20. Dependența funcțiilor F și G de raportul dintre grosimea a a țevii și adâncimea de pătrundere δ

3.3.4. *Calculul simplificat al puterii transmise într-o piesă cilindrică*

Calculul exact al puterii disipate în materialul supus încălzirii impune utilizarea ecuațiilor lui Maxwell. Utilizând adâncimea de pătrundere δ este posibilă, atunci când raportul dintre diametrul piesei și adâncimea de pătrundere este mai mare ca 10, efectuarea unui calcul simplificat al puterii cu o eroare mai mică de 10 % față de calculul exact. În această ipoteză, se consideră că tot curentul electric din material este concentrat în zona de grosime δ . Curenții induși parcurg deci un conductor asemănător cu o coajă cilindrică (în ipoteza unui corp de formă cilindrică, de înălțime h , supus încălzirii prin inducție). Lungimea conductorului este egală cu circumferința secțiunii circulare a acestui cilindru ($\pi \cdot d$, unde d este diametrul exterior al piesei, $d = 2 \cdot r$).

Aria secțiunii transversale a conductorului considerat, este egală cu $h \cdot \delta$. Rezistența electrică a acestui conductor rezultă:

$$R = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d}{h \cdot \delta} \quad (3.52)$$

Puterea P disipată în corpul de încălzit este:

$$P = R \cdot I_2^2 \quad (3.53)$$

Dacă se are în vedere faptul că curentul I_2 indus în material poate fi exprimat prin produsul dintre valoarea intensității câmpului magnetic creat de inductor H_0 și înălțimea corpului cilindric h , scris sub forma:

$$I_2 \cong H_0 \cdot h \quad (3.54)$$

Puterea dezvoltată în material devine:

$$P = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d}{h \cdot \delta} \cdot H_0^2 \cdot h^2 = \frac{\rho}{\delta} \cdot \pi \cdot d \cdot h \cdot H_0^2 \quad (3.55)$$

Puterea P_1 disipată pe unitatea de lungime a piesei va fi:

$$P_1 = \frac{\rho}{\delta} \cdot \pi \cdot d \cdot H_0^2 \quad (3.56)$$

Puterea P_s indusă pe unitatea de arie rezultă:

$$P_s = \frac{\rho}{\delta} \cdot H_0^2 \quad (3.57)$$

Din relația (3.57) se observă faptul că puterea dezvoltată în corp, coincide cu cea dedusă prin calcul exact din ecuațiile lui Maxwell, dacă se utilizează un factor de corecție k ce depinde de raportul d/δ și de geometria piesei. În cazul piesei de lungime infinită, factorul de corecție k coincide cu factorul de transmisie a puterii F [43].

În calculele practice, expresia (3.57) pentru puterea disipată în material va fi utilizată sub forma:

$$P_s = \frac{\rho}{\delta} \cdot H_0^2 \cdot k \quad (3.58)$$

3.3.5. Influența caracteristicilor de material asupra adâncimii de pătrundere și a puterii transmise prin inducție electromagnetică

Densitatea curentului electric în semispațiu scade de la suprafața sa către interior – efectul pelicular (în engleză „Skin Effect”) – după o curbă exponențială (figura 3.21) iar scăderea este cu atât mai accentuată cu cât frecvența tensiunii induse este mai mare:

$$J(x) = J_0 \cdot e^{-x/\delta} \quad (3.59)$$

În relația (3.59), J_0 este densitatea curentului electric la suprafața indusului ($x = 0$) iar δ este adâncimea de pătrundere. Rezultă:

$$J(\delta) = J_0/e = 0,368 \cdot J_0 \quad (3.60)$$

Curentul electric I care parcurge materialul, pentru o lungime unitară a acestuia pe direcția câmpului magnetic inductor, ca integrală a densității de curent, va fi numeric egal cu aria suprafeței cuprinsă sub curba $J(x)$ (figura 3.21):

$$I = \int_0^{\infty} J_0 \cdot e^{-x/\delta} \cdot dx = J_0 \cdot \delta \quad (3.61)$$

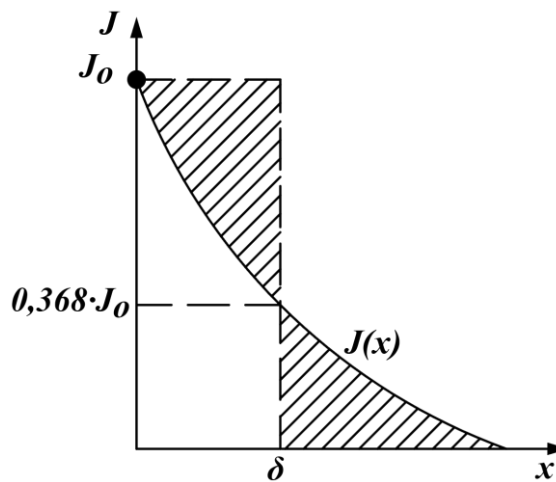


Figura 3.21. Variația densității curentului electric indus și adâncimea de pătrundere

Relația (3.61) pune în evidență semnificația fizică a adâncimii de pătrundere. Configurația reală poate fi echivalentă cu un strat superficial de grosime δ în care densitatea de curent are valoarea constantă J_0 .

Intensitatea curentului electric care parcurge materialul pe o zonă corespunzătoare adâncimii de pătrundere este:

$$I(\delta) = J_0 \cdot \delta \cdot (1 - 1/e) = 0,632 \cdot I \quad (3.62)$$

Din relația (3.62) se observă faptul că, 63,20 % din curentul electric este în zona adâncimii de pătrundere.

Puterea dezvoltată în zona adâncimii de pătrundere δ este:

$$P(\delta) = 0,865 \cdot P \quad (3.63)$$

unde P este puterea totală disipată în semispațiu.

Concentrarea puterii în zona adâncimii de pătrundere condiționează cea mai mare parte a aplicațiilor electrotermice ale inducției electromagnetice.

Variația densității de curent electric $J(x)$ și a puterii $P(x)$ disipată prin efect Joule în corpul de încălzit, în funcție de ordonata x raportată la adâncimea de pătrundere δ este indicată în figura 3.22 a, iar în figura 3.22, b se prezintă diagrama vectorială a densității de curent din corpul de încălzit în funcție de același raport x/δ .

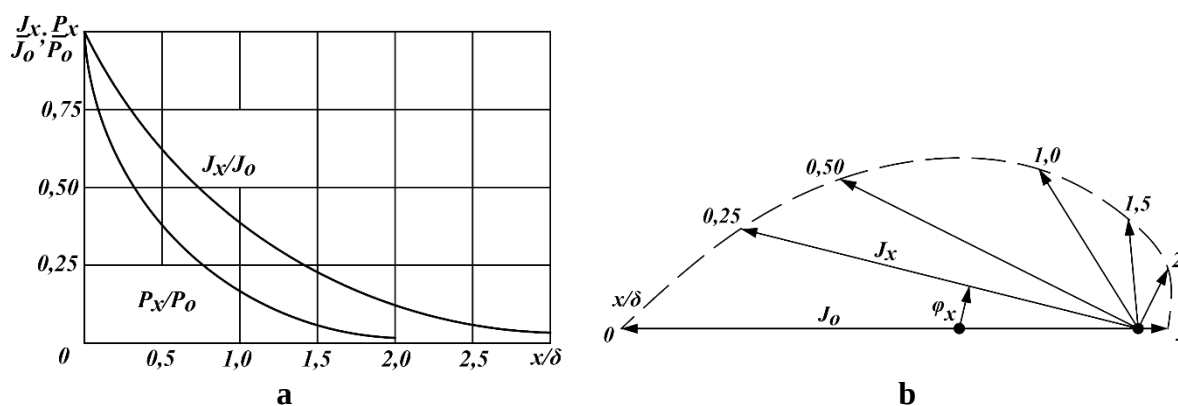


Figura 3.22. Variația densității de curent $J(x)$ și puterii $P(x)$ disipată prin efect Joule în corpul de încălzit

În figura 3.22, J_0 este valoarea densității de curent la suprafața materialului, iar φ_x este faza curentului electric la distanța x de suprafață.

La nivelul adâncimii de pătrundere fazorul densității de curent este defazat cu un radian față de fazorul densității de curent la suprafață.

Adâncimea de pătrundere este influențată, conform relației (3.16) de frecvența f a câmpului magnetic inductor ca și de rezistivitatea ρ și permeabilitatea magnetică μ_r ale materialului corpului supus încălzirii prin inducție electromagnetică.

Proprietățile de material variază cu temperatura θ a acestuia; rezultă deci că și adâncimea de pătrundere va depinde de temperatură dar și de intensitatea câmpului magnetic H (pentru materiale magnetice) conform funcțiilor $\rho = f(\theta)$ și $\mu_r = f(H, \theta)$.

Rezistivitatea ρ a materialelor prezintă o creștere importantă la temperatura critică (figura 3.23). De asemenea, rezistivitatea ρ variază cu conținutul de carbon c în cazul fontelor și oțelurilor (figura 3.24). Variația cu frecvența a adâncimii de pătrundere pentru diferite materiale și temperaturi este indicată în figura 3.25.

Variația adâncimii de pătrundere cu temperatura este redusă pentru materiale nemagnetice, cum ar fi cuprul, aluminiul, titanul etc. Pentru materialele magnetice (fier, nichel, oțel) aflate sub punctul de temperatură Curie θ_C , permeabilitatea magnetică relativă este puternic influențată de intensitatea câmpului magnetic având valori în domeniul 5 ... 100 pentru majoritatea aplicațiilor

industriale. Permeabilitatea relativă μ_r descrește cu temperatura pentru $\theta < \theta_c$ și scade brusc la $\mu_r = 1$ pentru $\theta = \theta_c$. Întru-un proces de încălzire, rezistivitatea ρ și permeabilitatea magnetică relativă μ_r sunt mărimi impuse, fiind caracteristici ale materialului de încălzit, însă frecvența f este o mărime reglabilă.

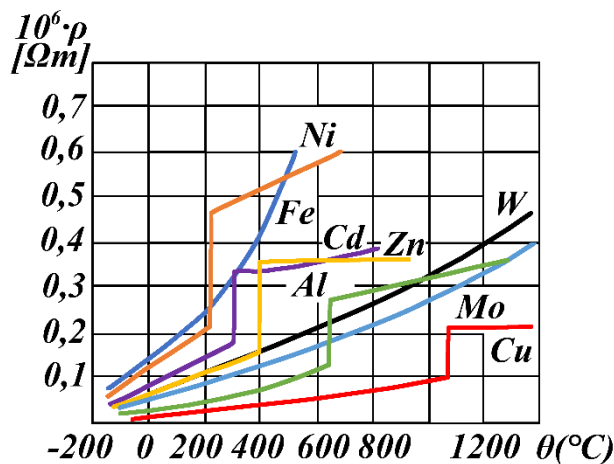


Figura 3.23. Dependenta $\rho = f(\theta)$ pentru diferite materiale

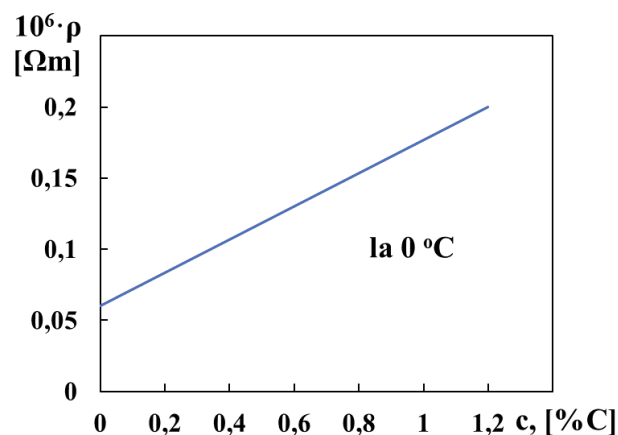


Figura 3.24. Variația rezistivității ρ în funcție de conținutul c de carbon, pentru fontă și oțel

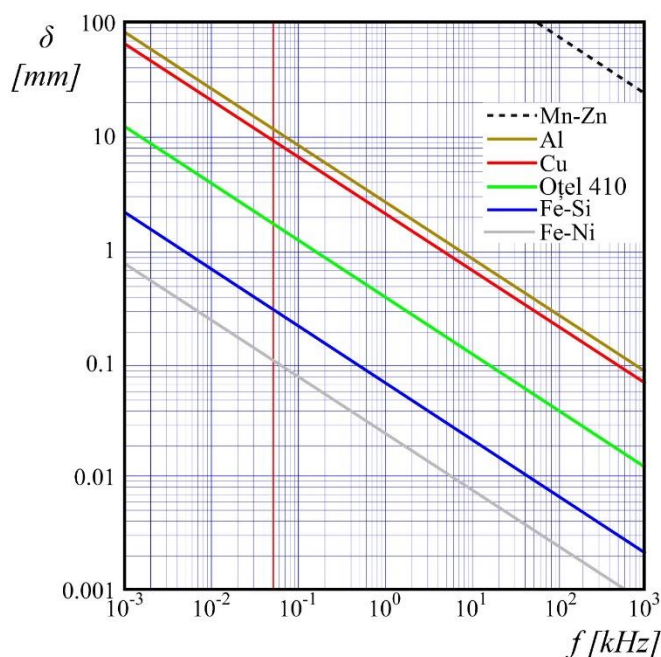


Figura 3.25. Variația cu frecvență a adâncimii de pătrundere pentru diferite materiale la temperatura camerei, linia verticală roșie – indică frecvența de 50 Hz.

Mn-Zn – ferită magnetică moale

Al – aluminiu

Cu – cupru

Oțel 410 – oțel inoxidabil feromagnetic

Fe-Si – oțel electric orientat pe granule

Fe-Ni – permalloy - aliaj de fier și nichel (80%Ni-20%Fe)

3.3.6. *Calculul simplificat al parametrilor și caracteristicilor termogeneratorului cu magneți permanenți*

Caracteristicile de bază ale termogeneratorului cu magneți permanenți

Pentru a proiecta termogeneratorul cu magneți permanenți sunt specificate unele caracteristici de bază care formează datele de intrare, având în vedere unele constrângeri tehnice și tehnologice care pot apărea la confecționarea termogeneratorului:

1. Tipul mașinii – generator termic cu magneți permanenți.
2. Gradul de protecție contra atingerilor și a pătrunderii corpurilor solide străine și de protecție contra pătrunderii apei – IP 23.
3. Topologia – cu întrefier radial și flux longitudinal, construcție cu două statoare (indus).
Magneții permanenți sunt montați pe suprafața cilindrică a rotorului unde sunt frezate caneluri longitudinale.
4. Diametrul exterior al termogeneratorului $D_e = 300 \text{ mm}$.
5. Lungimea miezului feromagnetic al statorului $L_a = 225 \text{ mm}$.

În figura 3.26 sunt prezentate dimensiunile geometrice ale termogeneratorului cu magneți permanenți, principalele fiind diametrul mediu al inductorului D_m , lungimea întrefierului δ și lungimea miezului feromagnetic al statorului L_a .

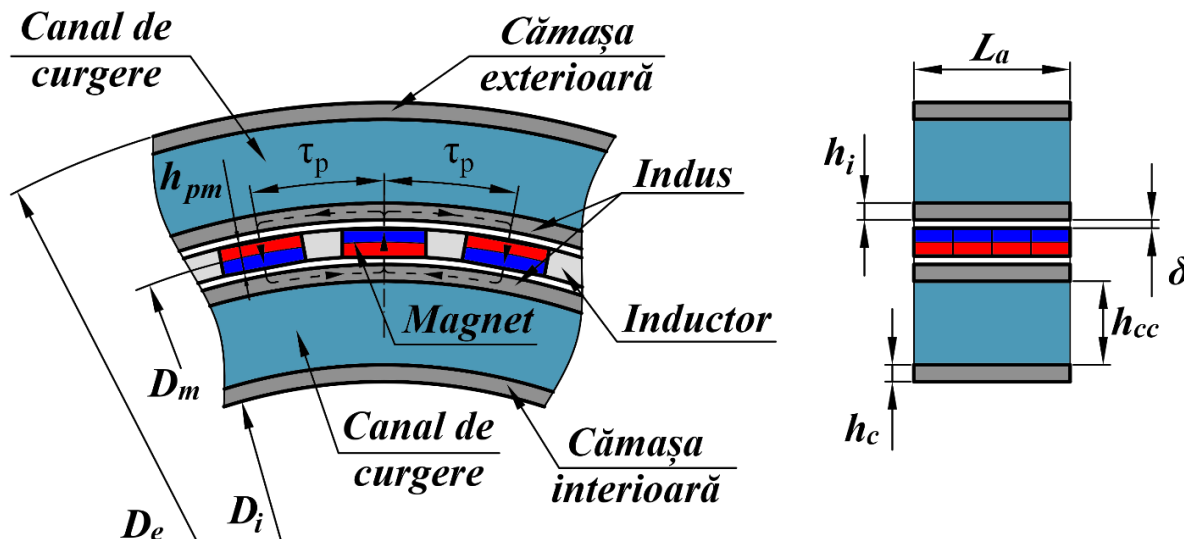


Figura 3.26. Dimensiunile geometrice ale termogeneratorului cu magneți permanenți

Determinarea grosimii cămășilor exterioară și interioară

Luând în considerație procesul tehnologic de confecționare la sudarea cămășilor exterioară și interioară în construcția termogeneratorului, grosimea acestora s-a ales – $h_c = 3 \text{ mm}$.

Determinarea dimensiunii canalului de curgere în termogenerator

În urma analizei rezultatelor obținute prin simulare utilizând software SOLIDWORKS Flow Simulation, cu privire la determinarea variației presiunii lichidului în conducta de admisie și

variației temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare, s-a ales dimensiunea optimă a canalului de curgere – $h_{cc} = 18 \text{ mm}$.

Determinarea jugului indusului

Grosimea jugului indusului h_i , poate fi determinată după expresia:

$$h_i = \frac{\alpha_\delta \cdot \Phi_\delta}{2 \cdot B_a \cdot L_a \cdot K_{Fe}} \quad (3.64)$$

unde: $\alpha_\delta = \frac{2}{\pi}$ – coeficientul de acoperire polară;

Φ_δ – fluxul magnetic din întrefier, Wb ;

L_a – lungimea indusului, m ;

$K_{Fe} = 1$ – coeficientul de umplere a miezului indusului cu oțel;

B_a – inducția admisibilă în jugul indusului.

Conform literaturii de specialitate în domeniul proiectării mașinilor electrice, valoarea inducției în jug este cuprinsă în limitele $1,1 - 1,6 \text{ T}$ [50 – 52], pentru a micșora pierderile magnetice. În cazul termogeneratorului cu magneți permanenți, pierderile magnetice care se transformă în căldură, sunt utile. Astfel, pentru a crește pierderile magnetice în indusul termogeneratorului, valoarea inducției magnetice admisibile trebuie majorată. În literatura de specialitate, valoarea inducției magnetice în zona dentară este admisă în limitele $1,7 - 2,1 \text{ T}$ [50].

Respectiv, pentru termogeneratorul dat, s-a admis valoarea inducției magnetice în indus: $B_a = 2,1 \text{ T}$.

Fluxul magnetic din întrefier poate fi determinat cu expresia:

$$\Phi_\delta = B_\delta \cdot \tau_p \cdot L_a \quad (3.65)$$

unde: B_δ – inducția în întrefier. În literatura de specialitate se recomandă pentru mașini de putere mică valorile permise ale B_δ în limitele $0,85-1,05 \text{ T}$. S-a admis $B_\delta = 0,85 \text{ T}$ [50];

τ_p – pasul polar.

Pasul polar preventiv poate fi determinat cu expresia:

$$\tau_p = \frac{b_p}{\alpha_\delta} = \frac{0,025}{2/\pi} = 0,0393 \text{ m} \quad (3.66)$$

unde: $b_p = 0,025 \text{ m}$ – lățimea polului.

Conform schemei constructive a termogeneratorului, lățimea polului magnetic al inductorului este egală cu lățimea magnetului permanent. Luând în considerație constrângerile materiale pentru confecționarea termogeneratorului, dimensiunile magnetului permanent sunt cunoscute. Astfel, $h_{pm} = 5 \text{ mm}$ – înălțimea magnetului permanent; $b_{pm} = 25 \text{ mm}$ – lățimea magnetului permanent; $l_{pm} = 225 \text{ mm}$ – lungimea magnetului permanent.

Substituind expresia (3.66) în (3.65), obținem:

$$\Phi_{\delta} = B_{\delta} \cdot \tau_p \cdot L_a = 0,85 \cdot 0,0393 \cdot 0,283 = 9,45 \cdot 10^{-3} \text{ Wb} \quad (3.67)$$

Astfel, grosimea jugului indusului

$$h_i = \frac{\alpha_{\delta} \cdot \Phi_{\delta}}{2 \cdot B_a \cdot L_a \cdot K_{Fe}} = \frac{2/\pi \cdot 9,45 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2,1 \cdot 0,283 \cdot 1} = 0,00506 \text{ m} \quad (3.68)$$

S-a acceptat grosimea jugului indusului $h_i = 5 \text{ mm}$.

Lungimea întrefierului

În literatura de specialitate se recomandă ca lungimea întrefierului δ să fie egală sau mai mare de $0,001 \cdot D_e$ [50 – 52]. În cazul dat, $\delta \geq 0,3 \text{ mm}$. Totodată, pentru a micșora influența reacției indusului, pierderilor în magneții permanenți și încălzirii exagerate a acestora, lungimea întrefierului trebuie majorată. Dilatarea termică, solicitările mecanice de asemenea, conduc la majorarea lungimii întrefierului. Pentru generatoare de putere mică și viteze mici de rotație lungimea întrefierului este de $1,0 - 2,0 \text{ mm}$.

Pentru termogeneratorul în cauză s-a ales lungimea minimală a întrefierului egală cu $\delta = 1,25 \text{ mm}$.

Diametrul mediu al inductorului poate fi calculat cu expresia:

$$\begin{aligned} D_m &= D_e - 2 \left(h_c + h_{cc} + h_i + \delta + \frac{h_{pm}}{2} \right) = \\ &= 0,3 - 2 \left(0,003 + 0,018 + 0,005 + 0,00125 + \frac{0,005}{2} \right) = 0,2405 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.69)$$

Diametrul interior al termogeneratorului poate fi calculat cu expresia:

$$\begin{aligned} D_i &= D_e - 4 \left(h_c + h_{cc} + h_i + \delta + \frac{h_{pm}}{2} \right) = \\ &= 0,3 - 4 \left(0,003 + 0,018 + 0,005 + 0,00125 + \frac{0,005}{2} \right) = 0,181 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.70)$$

Numărul de poli

Pentru calculul numărului de poli ai termogeneratorului cu magneți permanenți, se utilizează expresia din literatura de specialitate pentru proiectarea mașinilor electrice [51]:

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D_m}{2p} \quad (3.71)$$

de unde:

$$2p = \frac{\pi \cdot D_m}{\tau_p} = \frac{\pi \cdot 0,2405}{0,0393} = 19,24 \quad (3.72)$$

S-a acceptat numărul de poli: $2p = 18$.

Conform schemei constructive și principiului de funcționare a termogeneratorului dat, frecvența curenților induși variază în funcție de viteza de rotație a rotorului și se determină cu expresia:

$$f = \frac{n \cdot p}{60} \quad (3.73)$$

unde: n – viteza de rotație a rotorului, *rot/min*;

$p = 9$ – numărul de perechi de poli.

Pentru determinarea valorilor temperaturii materialului indusului la încălzirea prin inducție electromagnetică și determinarea caracteristicilor câmpului magnetic generat de magneți permanenți, conform teoriei fundamentale în domeniu și literaturii de specialitate [43, 50, 51, 53], se cunoaște că în indusul termogeneratorului apar pierderi magnetice, utile în acest caz, care și duc la încălzirea materialului indusului.

Pierderile magnetice în oțel depind de mai mulți de factori importanți, care sunt variabili într-un proces dinamic în timp. Având în vedere schema constructivă a termogeneratorului, acesta este, atât din punct de vedere al domeniului mașinilor electrice, cât și al domeniului termodinamicii, un sistem destul de complex și specific. Astfel, pentru a determina cu o precizie corespunzătoare caracteristicile termogeneratorului, în continuare sunt prezentate un set de simulări efectuate, utilizând software SOLIDWORKS, și prezentate rezultatele acestora.

3.4. Simularea câmpului magnetic al termogeneratorului cu magneți permanenți

3.4.1. Metoda de calcul – considerații generale

Pentru realizarea studiului câmpului magnetic al termogeneratorului cu magneți permanenți s-au efectuat simulări utilizând software SOLIDWORKS Electromagnetic Simulation, care permite simularea câmpurilor electromagnetice; calculul parametrilor câmpului electric/magnetic, curenților turbionari, parametrilor mecanici de forță și cuplu etc.

SOLIDWORKS Simulation este un mediu virtual pentru testarea și analiza unui model, permite evaluarea performanței acestuia pentru îmbunătățirea modelului. Pentru aceasta, software-ul folosește o metodă numerică numită Analiza prin Metoda Elementelor Finite (în engleză – Finite Element Method – FEM).

Metoda elementelor finite este o metodă numerică de rezolvare a ecuațiilor cu diferențe parțiale, precum și a ecuațiilor integrale care apar în rezolvarea problemelor de fizică aplicată. Metoda este utilizată pe scară largă pentru a rezolva probleme de mecanică solidă, transfer de căldură, hidrodinamică, electrodinamică și optimizare topologică. Analiza cu elemente finite oferă o tehnică numerică fiabilă pentru analiza proiectelor de inginerie. Procesul începe cu crearea unui model geometric. Apoi, programul subîmparte modelul în bucăți mici de forme (elemente) simple

conectate în puncte comune (noduri). Programele de analiză cu elemente finite privesc modelul ca pe o rețea de elemente discrete interconectate. Metoda elementelor finite prezice comportamentul modelului prin combinarea informațiilor obținute din toate elementele care compun modelul.

Astfel, zona în care se caută soluția ecuațiilor diferențiale este împărțită într-un număr finit de subdomenii (elemente) (figura 3.27). În fiecare dintre elemente, tipul funcției de aproximare este ales în mod arbitrar. În cel mai simplu caz, acesta este un polinom de gradul I. În afara elementului său, funcția de aproximare este egală cu zero. Valorile funcțiilor la granițele elementelor (la noduri) sunt soluția problemei, care nu sunt cunoscute în avans. Coeficienții funcțiilor de aproximare sunt căutați de obicei din condiția de egalitate a valorilor funcțiilor învecinate la granițele dintre elemente (la noduri). Apoi, acești coeficienți sunt exprimați în termeni de valori ale funcțiilor la nodurile elementelor. Se generează un sistem de ecuații algebrice liniare, numărul de ecuații fiind egal cu numărul de valori necunoscute din nodurile pentru care se caută soluția sistemului original, care este direct proporțional cu numărul de elemente, acesta este limitat doar de capacitățile de calcul. Deoarece fiecare dintre elemente este asociat cu un număr limitat de elemente învecinate, sistemul de ecuații algebrice liniare are o formă rară, ceea ce simplifică foarte mult soluția sa [54-55].

Vorbind în termeni de matrici, sunt colectate așa-numitele matrici de rigiditate (sau matricea Dirichlet). În plus, acestor matrici le sunt impuse condiții de limită (de exemplu, în condițiile Neumann, nu se modifică nimic în matrice, iar în condițiile Dirichlet, rândurile și coloanele corespunzătoare nodurilor de limită sunt șterse din matrice, deoarece, datorită condiției la limită, valoarea componentelor corespunzătoare ale soluției este cunoscută). Apoi sistemul de ecuații liniare este asamblat și rezolvat prin una dintre metodele cunoscute.

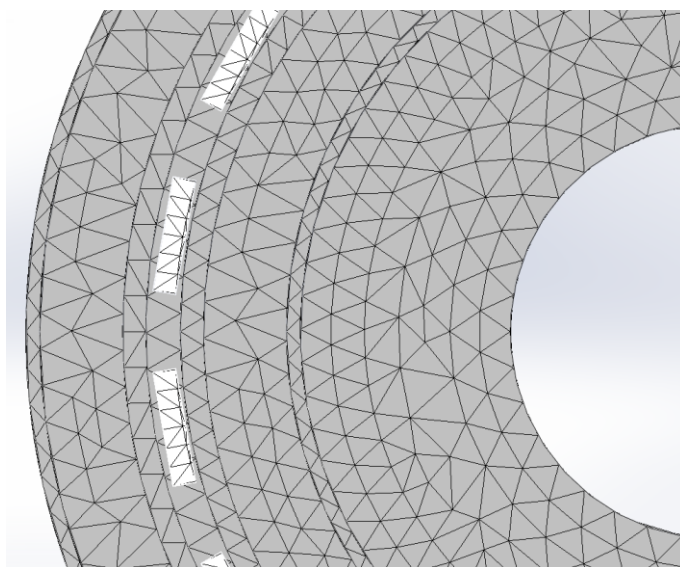


Figura 3.27. Împărțirea modelului în elemente finite.

Din punctul de vedere al matematicii computaționale, ideea metodei elementelor finite constă în minimizarea funcționalei unei probleme variaționale care se realizează pe un set de funcții, fiecare dintre acestea fiind definită pe propriul subdomeniu. Metoda se utilizează pe scară largă în proiectarea structurilor, precum și în modelarea modelelor de mișcare. Printre deficiențele metodei, este de remarcat, influența dimensiunii grilei asupra rezultatelor finale [56].

Metoda elementelor finite este mai dificil de implementat decât metoda diferențelor finite. FEM are însă avantaje care se manifestă în probleme reale: o formă arbitrară a zonei prelucrate, grila poate fi făcută mai rară în locuri unde nu este necesară o precizie specială.

În figura 3.28. este prezentat modelul geometric al termogeneratorului, elaborat în software SOLIDWORKS Electromagnetic Simulation, discretizat în elemente finite, utilizat ulterior în simulări.

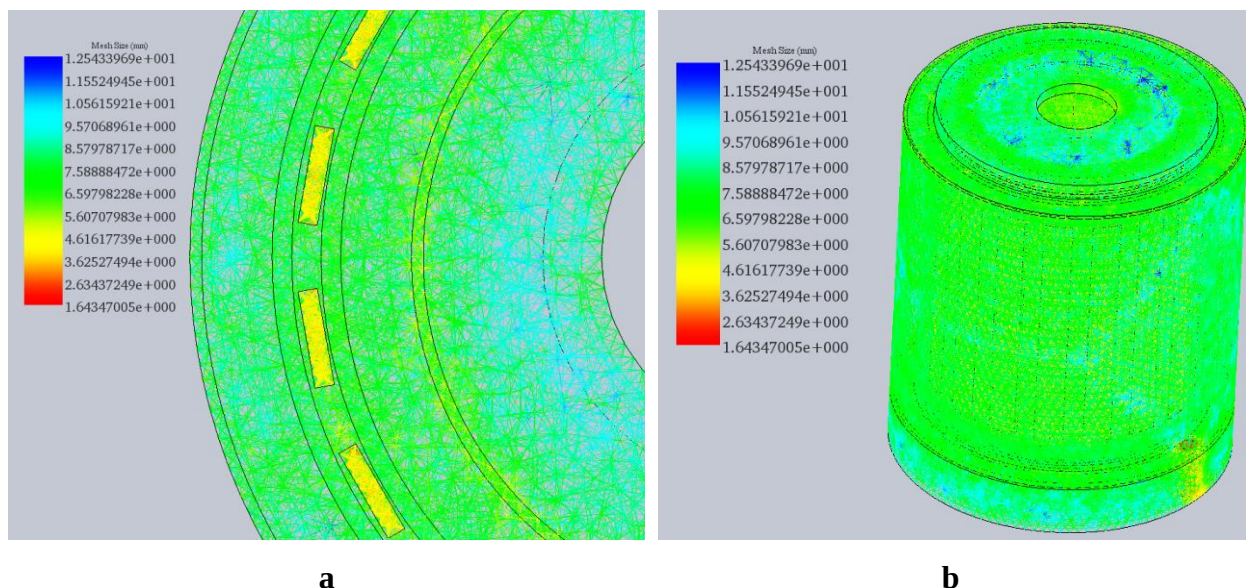


Figura 3.28. Modelul geometric al termogeneratorului, discretizat în elemente finite.
a) vederea în secțiune; b) vederea generală

SOLIDWORKS Electromagnetic Simulation estimează o dimensiune globală a elementului pentru model, luând în considerare volumul, suprafața și alte detalii geometrice. Dimensiunea rețelei generate (numărul de noduri și elemente), prezentate în tabelul 3.1, depinde de geometria și dimensiunile modelului, dimensiunea elementului, toleranța rețelei și controlul rețelei. Modelul este discretizat în 891777 elemente cu 152337 noduri (tabelul 3.1).

Tabelul 3.1. Modelul termogeneratorului discretizat în elemente finite

Numărul de noduri	152337
Numărul de elemente	891777
Setare globală a dimensiunii elementului	11,88 mm
Toleranța	$1,188 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$

3.4.2. Materialele utilizate în procesul de simulare

Pentru simularea și studiul câmpului magnetic al termogeneratorului cu magneți permanenți, s-a realizat modelul 3D al termogeneratorului, în conformitate cu parametrii și caracteristicile respective, utilizând software SOLIDWORKS Electromagnetic Simulation în care trebuie specificate materialele părților componente ale modelului.

Conform schemei constructive a termogeneratorului dat și principiului de funcționare al acestuia, descrise în [41], sunt trei materiale specifice indicate, care trebuie respectate. Astfel, inductorul trebuie să fie dintr-un material neferomagnetic, pe care sunt instalați magneții permanenți și indusul care trebuie să fie din material feromagnetic.

Inductorul (figura 3.26), în model este realizat din aluminiu. Acesta este un metal paramagnetic ușor, de culoare alb-argintiu, ușor de adaptat la turnare și prelucrare. Aluminiul are o conductivitate termică și electrică ridicată, rezistență la coroziune datorită formării rapide a peliculelor puternice de oxid care protejează suprafața de interacțiuni ulterioare. Aparține grupului de metale ușoare. Unele proprietăți fizice ale aluminiului:

- densitate – 2712 kg/m^3 ;
- capacitatea termică specifică – 897 J/kg K ;
- conductivitatea electrică ridicată $37 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ și termică de $203,5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$;
- coeficientul de temperatură al expansiunii liniare este de $24,58 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ($20\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C}$);
- rezistivitate $0,0262\text{--}0,0295 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Magneții permanenți sunt de tip N55. Aceștia sunt magneți neodim (compoziție NdFeB, Neodim-Fier-Bor) cunoscuți sub denumirea de neodymium sau supermagneți, sunt cei mai puternici magneți permanenți. Magneții din neodim sunt foarte stabili și sunt puțin sensibili la câmpurile magnetice externe. Pe de altă parte, un dezavantaj este în cazul temperaturilor mai înalte (începând de la $80 \text{ }^\circ\text{C}$, iar în alte cazuri de la peste $100\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$) (figura 3.29) magneții neodim își pot pierde total magnetismul.

Tabelul 3.2. Proprietățile magnetice ale magnetului permanent tip N55 [57]

Caracteristica	unități	min.	nominal	max.
B_r , Inducția reziduală	<i>Gauss</i>	14600	14900	15200
	<i>mT</i>	1460	1490	1520
H_{CB} , Coercitivitatea	<i>Oe (Oersteds)</i>	9000	11750	14500
	<i>kA/m</i>	716	935	1154
H_{CJ} , Coercitivitatea intrinsecă	<i>Oe (Oersteds)</i>	11000	-	-
	<i>kA/m</i>	876	-	-
BH_{max} , Produs de energie maximă	<i>MGOe</i>	52	53	54
	<i>kJ/m³</i>	414	422	430

Avantajul principal al magneților neodim constă în funcționarea sigură și caracteristici magnetice foarte bune în raport cu masa magnetului, care este semnificativ mai mică.

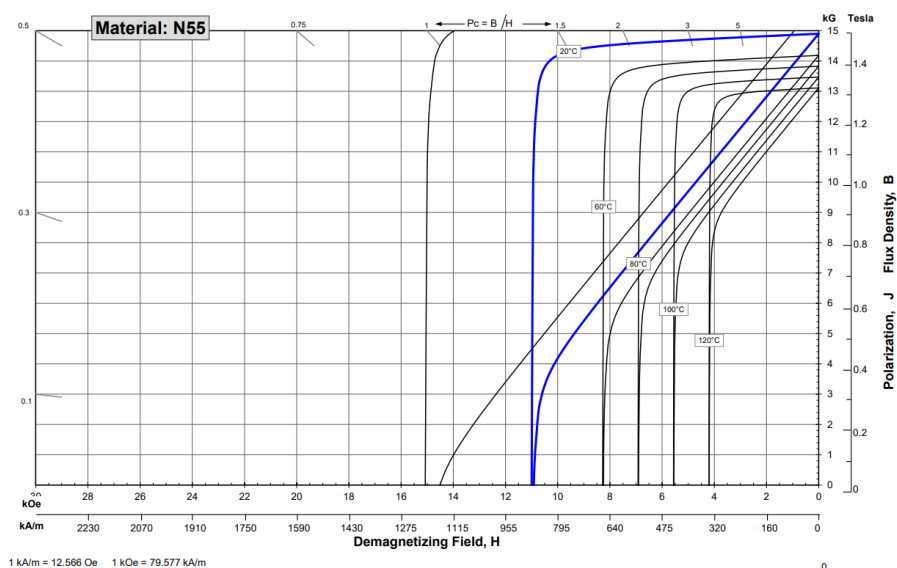


Figura 3.29. Caracteristici de demagnetizare a magnetului NdFeB, N55 [57]

Indusul (figura 3.26), în model este realizat din oțel moale (în engleză – mild steel). Oțelul este un aliaj de fier cu carbon (și alte elemente), care conține cel puțin 45 % fier și în care conținutul de carbon este în intervalul de la 0,02 la 2,14 %, atunci când conținutul de carbon este de la 0,6 % până la 2,14 %, acesta corespunde oțelului cu conținut ridicat de carbon. Dacă conținutul de carbon din aliaj depășește 2,14%, atunci un astfel de aliaj se numește fontă. Carbonul conferă aliajelor rezistență și duritate, reducând plasticitatea și vâscozitatea. Unele caracteristici ale oțelului:

- densitate – $7700 - 7900 \text{ kg/m}^3$;
- căldura specifică – $468 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$;
- coeficient de conductivitate termică 58 W/(m K) ;
- rezistivitate electrică $1,71 \cdot 10^{-7} \text{ Ohm} \cdot \text{m}$.

În figura 3.30 este prezentată caracteristica de magnetizare a oțelului moale. Curba de magnetizare a materialului descrie magnetizarea acestuia în raport cu forța de magnetizare aplicată. Pe măsură ce intensitatea câmpului magnetic H crește, inducția magnetică B se apropie asimptotic de o valoare maximă, numită nivel de saturație pentru material. Din punct de vedere tehnic, deasupra saturației, inducția B continuă să crească, dar la viteza paramagnetică, care este cu câteva ordine de mărime mai mică decât rata feromagnetică observată sub saturație.

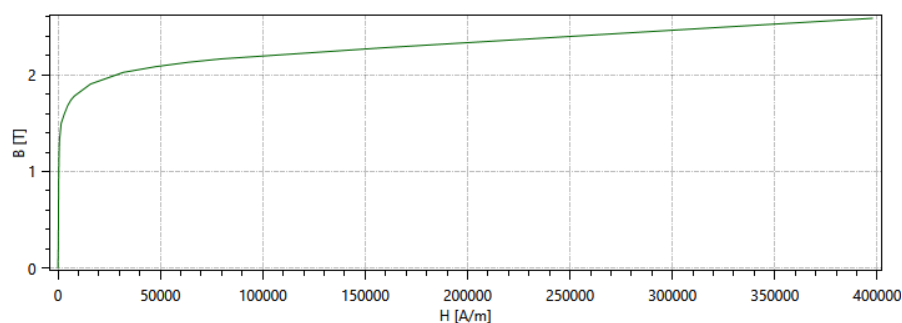


Figura 3.30. Caracteristica de magnetizare a oțelului moale

3.4.3. Caracteristica câmpului magnetic

În continuare sunt prezentate imaginile distribuției câmpului magnetic generat de magneții permanenți, prin cilindrele indusului termogeneratorului. Scopul simulărilor constă atât în analiza distribuției câmpului magnetic și determinarea caracteristicilor acestuia, cât și pentru ajustarea și optimizarea parametrilor de geometrie a termogeneratorului în vederea obținerii unor caracteristici mai bune. Simulările s-au realizat în regim dinamic, aplicând la rotorul termogeneratorului diferite viteze de rotație. În figurile 3.31 – 3.32 sunt prezentate imaginile distribuției câmpului magnetic prin cilindrele indusului termogeneratorului la viteza de rotație de 100 *rot/min*.

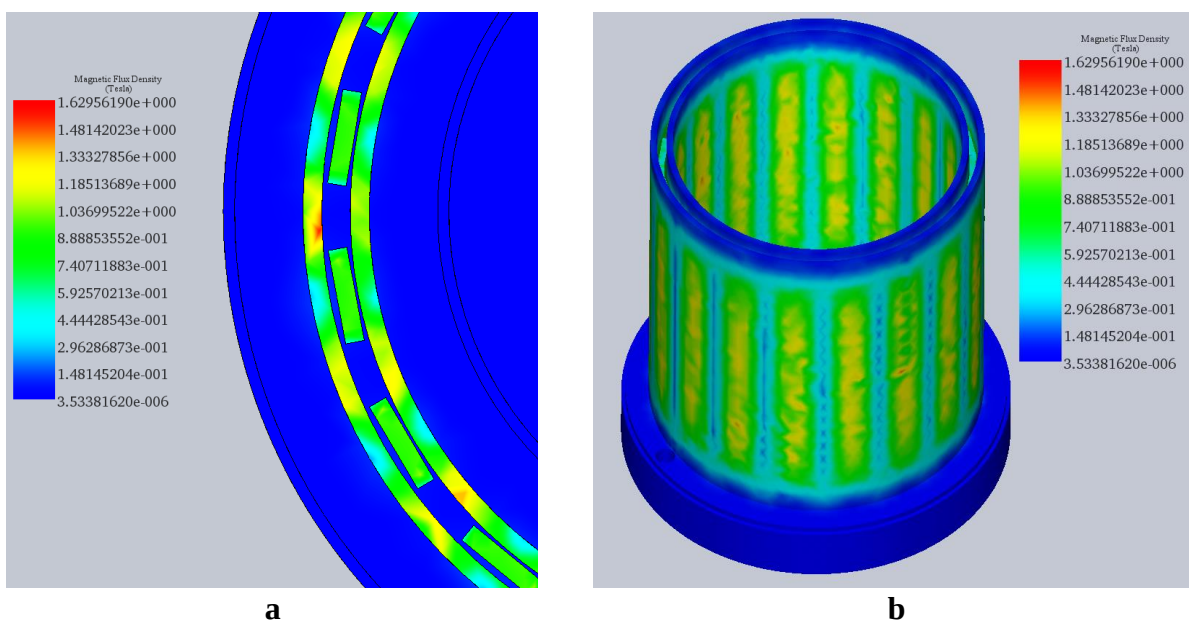


Figura 3.31. Distribuția câmpului magnetic în cilindrele indusului.
a) vederea în secțiune; b) vederea generală

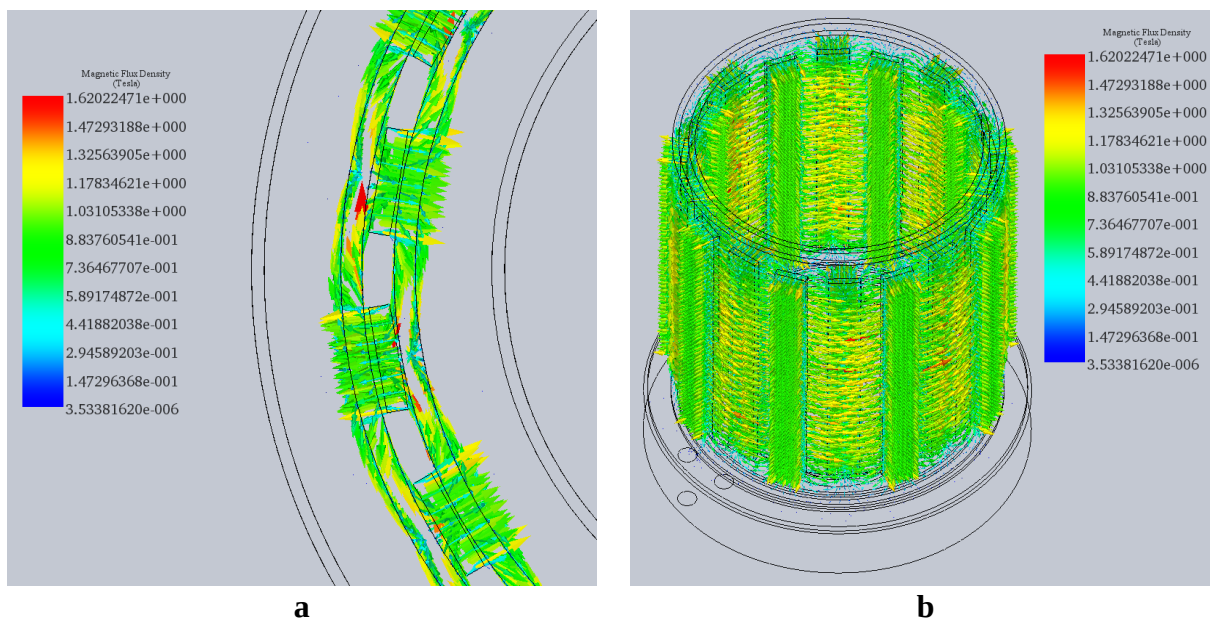


Figura 3.32. Repartizarea liniilor câmpului magnetic.
a) vederea în secțiune; b) vederea generală

Conform rezultatelor simulării, se pot observa zonele în cilindrele indusului, în care valorile inducției magnetice sunt mai mari. Valorile maxime ale inducției magnetice, observate în regim dinamic, sunt de 1,62 – 1,72 T.

3.4.4. Variația temperaturii indusului în funcție de viteza de rotație

În conformitate cu principiul încălzirii prin inducție, orice material conductor aflat într-un câmp magnetic variabil în timp, se va încălzi datorită efectului Joule. Astfel, conform construcției și principiului de funcționare a termogeneratorului, câmpul magnetic generat de magneții permanenți devine variabil în timp datorită rotației rotorului și, în consecință, în cilindrele indusului sunt induși curenți turbionari, care provoacă încălzirea materialului.

Pentru aproximarea temperaturii materialului, în condițiile valorilor câmpului magnetic determinați în 0, s-au realizat simulări la încălzirea prin inducție. În acest tip de analiză, sunt privite doar condițiile termice ale corpului/materialului, atunci când acesta atinge o stare de echilibru termic. La echilibru termic, energia termică care intră în fiecare punct din model este egală cu energia termică care iese din acesta. În general, singura proprietate a materialului care este necesară pentru analiza în stare de echilibru este conductivitatea termică. Respectiv, în acest tip de simulare nu este impus un parametru de timp.

Simularea s-a realizat pentru următoarele condiții de intrare: temperatura mediului ambiant $T_a = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ și temperatura inițială a materialului $T_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, viteza de rotație a rotorului de la 34 până la 600 rot/min.

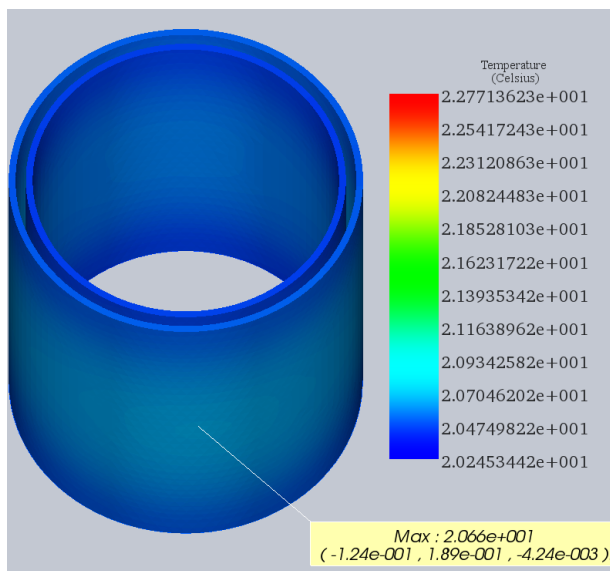


Figura 3.33. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 34\text{ rot/min}$

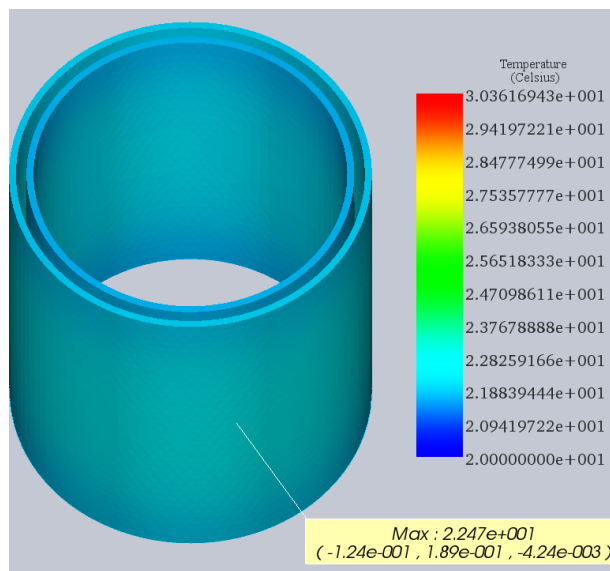


Figura 3.34. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 67\text{ rot/min}$

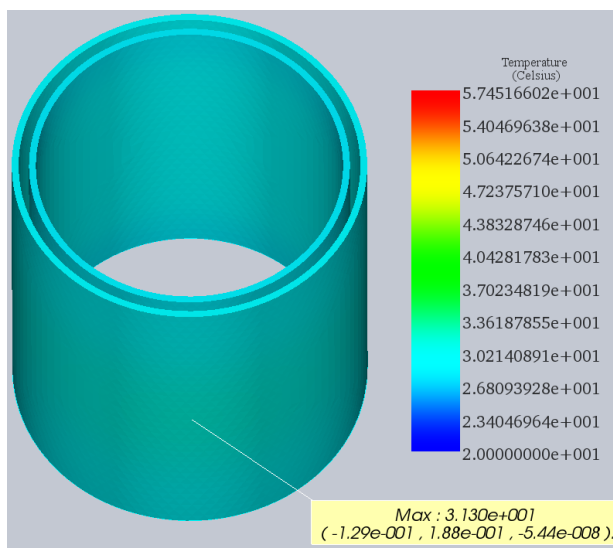


Figura 3.35. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 134 \text{ rot/min}$

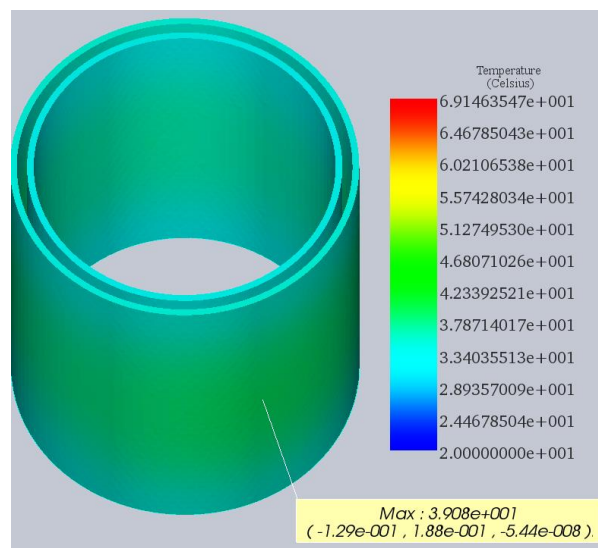


Figura 3.36. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 200 \text{ rot/min}$

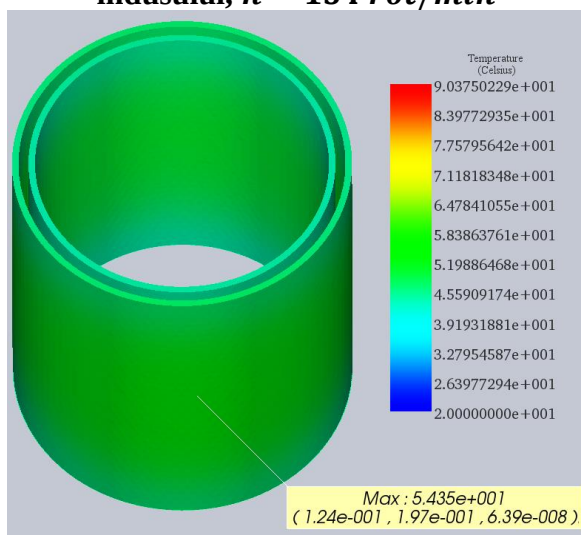


Figura 3.37. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 267 \text{ rot/min}$

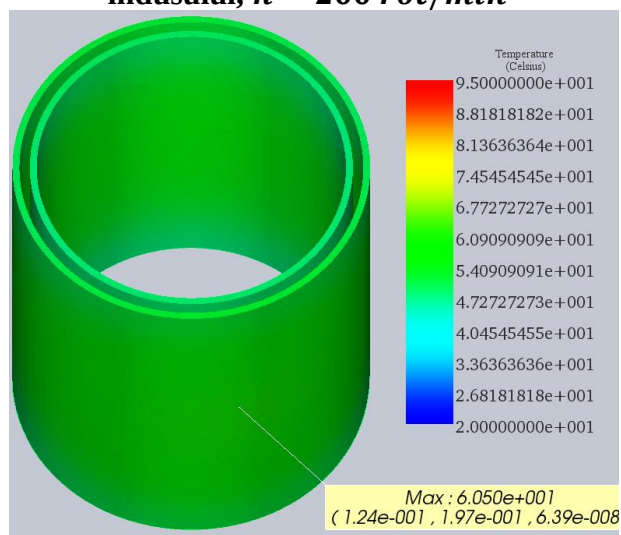


Figura 3.38. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 334 \text{ rot/min}$

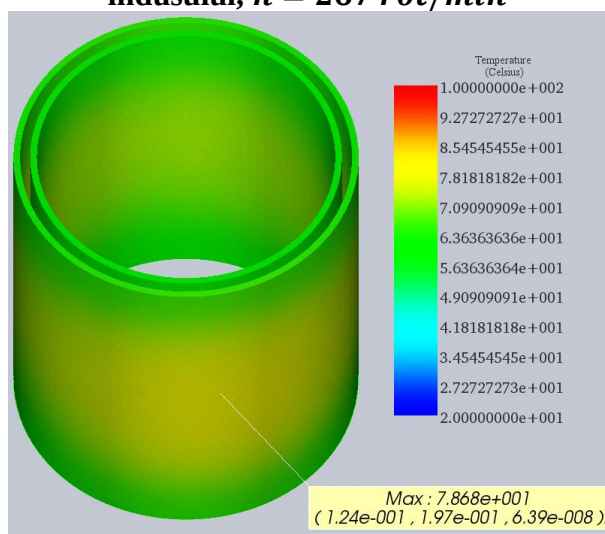


Figura 3.39. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 400 \text{ rot/min}$

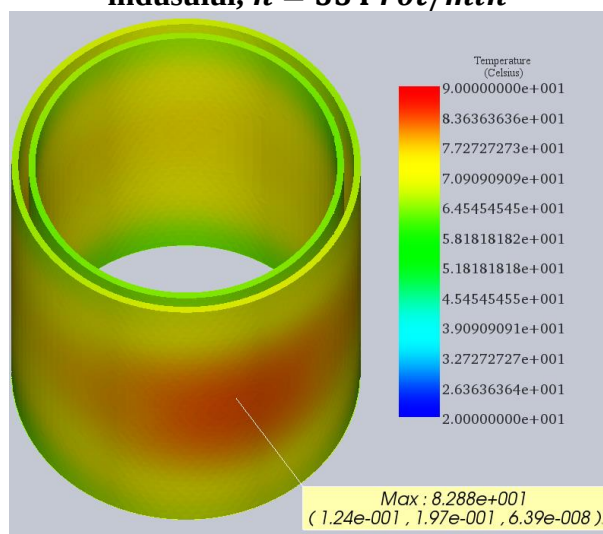


Figura 3.40. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 467 \text{ rot/min}$

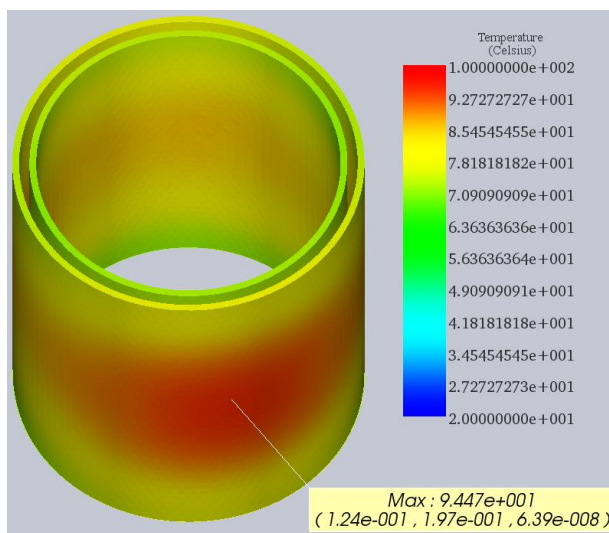


Figura 3.41. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 534 \text{ rot/min}$

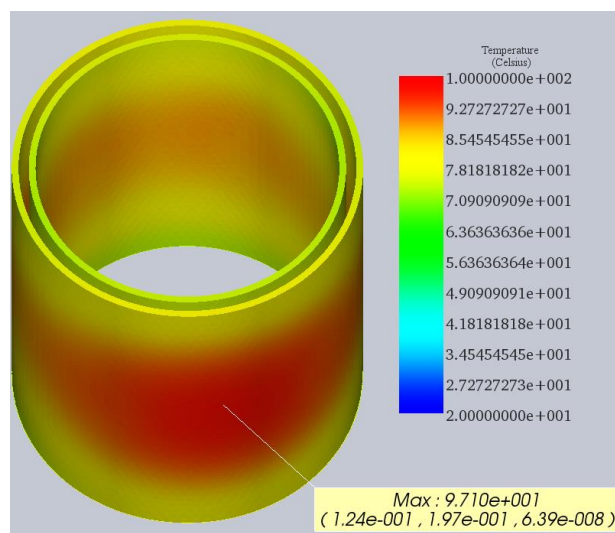


Figura 3.42. Temperatura cilindrelor indusului, $n = 600 \text{ rot/min}$

În figurile 3.33 – 3.42 sunt prezentate temperaturile cilindrelor indusului termogeneratorului, la diferite viteze de rotație a rotorului, de la 34 până la 600 rot/min.

Conform rezultatelor simulării, temperatura maximă a materialului este de 97,1 °C, evident la cea mai mare viteză a rotorului din simulare de 600 rot/min. De menționat faptul că temperatura cilindrului interior al indusului este mai mică decât temperatura cilindrului exterior.

3.4.5. Analiza câmpului magnetic

Conform schemei constructive a termogeneratorului, figura 3.26, indusul este format din două cilindre din oțel moale, între care este amplasat inductorul cu magneții permanenți, respectiv, sunt două întrefieruri, din exteriorul rotorului și în din interior. În figura 3.43 este prezentată distribuția câmpului magnetic în ambele întrefieruri (exterior și interior).

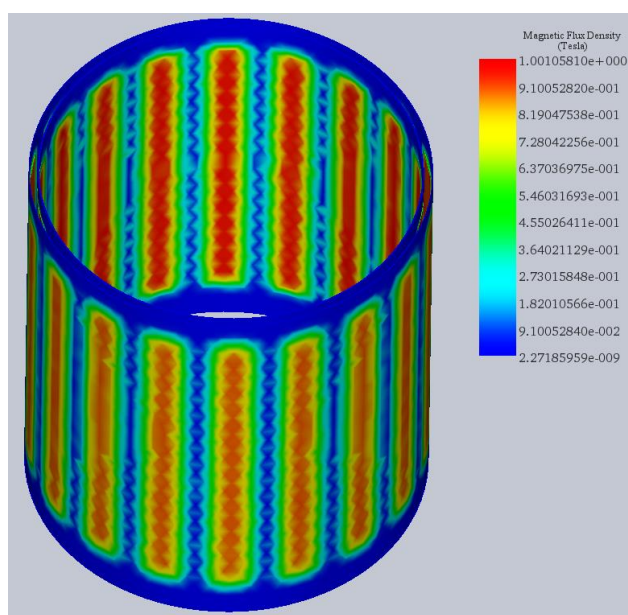


Figura 3.43. Distribuția câmpului magnetic în întrefier

Conform rezultatelor simulării, valoarea inducție în întrefier nu depășește $0,95\text{ T}$. În același timp, se observă că valoarea inducției în întrefierul exterior este mai mic decât în cel interior, figura 3.44, ceea ce influențează valorile inducției magnetice în cilindrele indusului.

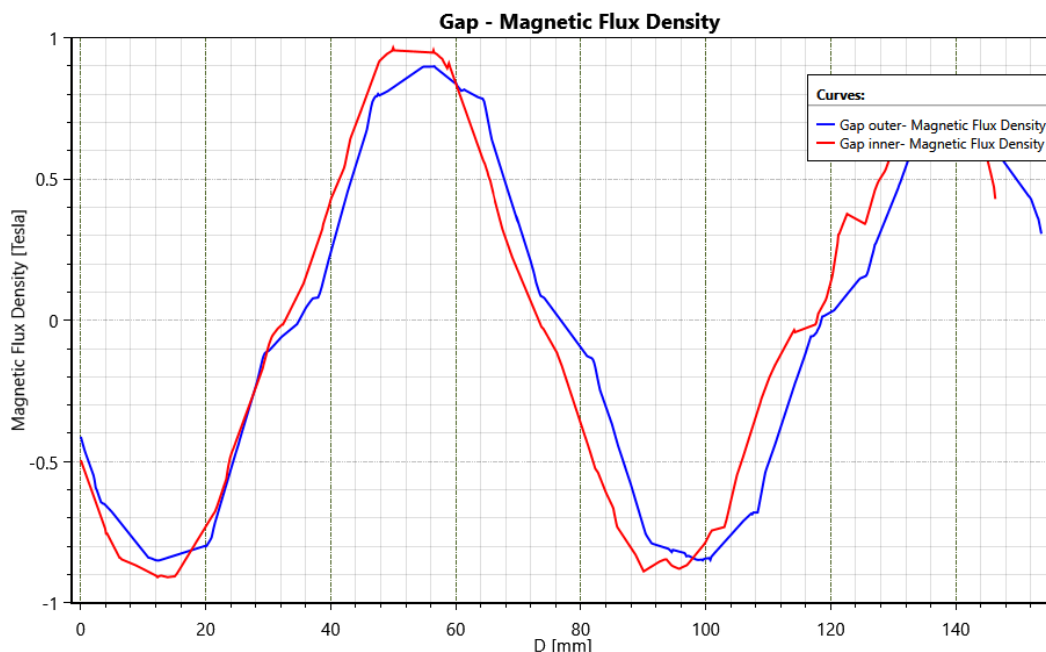


Figura 3.44. Curba inducției în întrefier

În figurile 3.45 și 3.46 se poate observa că valorile maxime ale inducției în cilindrul exterior sunt mai mari (figura 3.45) decât în cilindrul interior (figura 3.46). Astfel, valoarea maximă a inducției în cilindrul exterior, în regim dinamic, este de $1,72\text{ T}$, iar în cel interior de $1,58\text{ T}$, ceea ce influențează asupra încălzirii materialului.

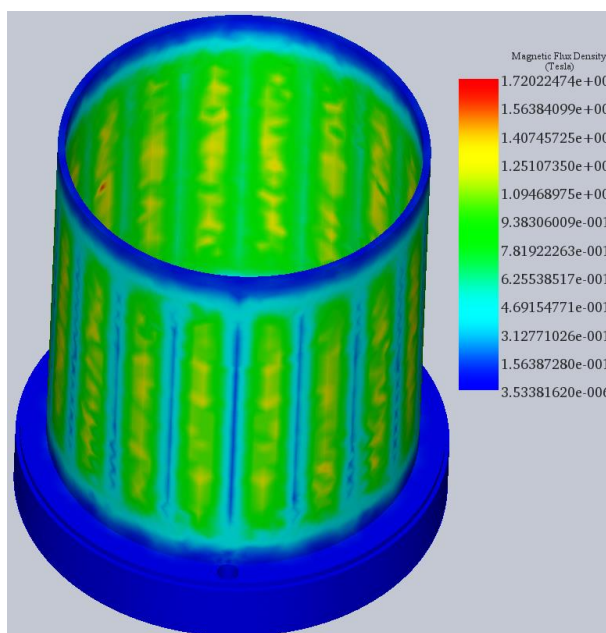


Figura 3.45. Distribuția câmpului magnetic în cilindrul exterior

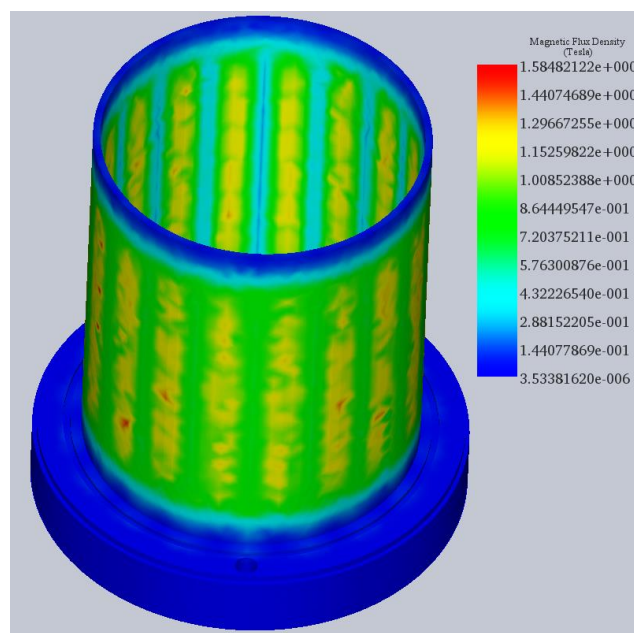


Figura 3.46. Distribuția câmpului magnetic în cilindrul interior

3.4.6. Analiza variației temperaturii indusului

În tabelul 3.3 sunt prezentate rezultatele simulării încălzirii prin inducție a materialului indusului, temperaturile cilindrului intern și extern prezentate separat, în condițiile simulării când temperatura mediului ambiant $T_a = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ și temperatura inițială a materialului $T_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pentru viteza de rotație a rotorului de la 34 până la 600 *rot/min*.

Tabelul 3.3. Valorile temperaturii materialului indusului în funcție de viteza de rotație a rotorului termogeneratorului

Viteza de rotație, <i>n</i> , <i>rot/min</i>	Frecvența, <i>f</i> , <i>Hz</i>	Temperatura cilindrului intern, T_{ci} , $^{\circ}\text{C}$	Temperatura cilindrului extern, T_{ce} , $^{\circ}\text{C}$
34	5	20,58	20,66
67	10	22,17	22,47
134	20	29,96	31,30
200	30	36,86	39,08
267	40	50,40	54,35
334	50	55,87	60,50
400	60	71,98	78,68
467	70	75,69	82,88
534	80	85,94	94,47
600	90	88,25	97,10

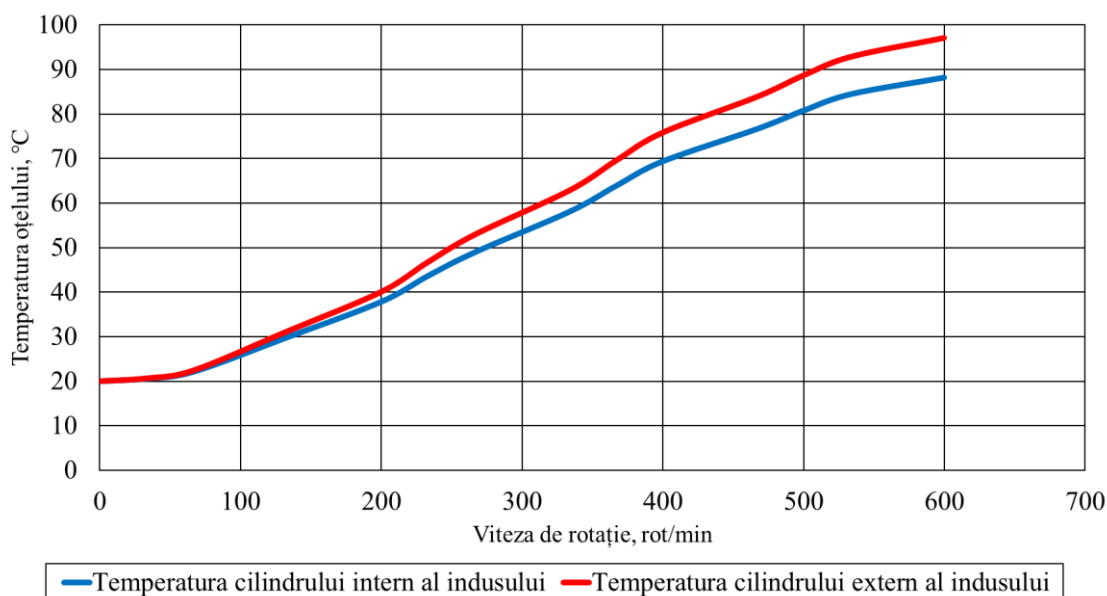


Figura 3.47. Variația temperaturii materialului indusului în funcție de viteza de rotație a rotorului termogeneratorului.

În figura 3.47 este prezentată în formă grafică variația valorilor temperaturii materialului indusului în funcție de viteza de rotație a rotorului termogeneratorului, separat pentru fiecare cilindru al indusului. Respectiv, caracteristica este direct proporțională și poate fi descrisă astfel: odată cu creșterea vitezei de rotație a rotorului termogeneratorului, va crește și temperatura materialului indusului, oțel în cazul dat. Aceasta are loc datorită faptului că pierderile magnetice în indus, utile în cazul dat, sau altfel spus, cantitatea de energie indusă în materialul indusului, crește odată cu frecvența curenților turbionari induși.

3.5. Simularea circulației fluxului de lichid caloportor

3.5.1. Variația temperaturii în conducta de refulare în funcție de debit

Software SOLIDWORKS Flow Simulation permite simularea fluxului de lichide sau gaze cu utilizarea modelelor fizice tipice de lichide sau gaze pentru realizarea calculelor termice complexe și crearea modelelor hidrodinamice sau gazodinamice și termice ale dispozitivelor tehnice [58].

Simularea fluxului lichidului caloportor prin cămășile termogeneratorului s-a realizat cu software SOLIDWORKS Flow Simulation, scopul simulărilor constă în analiza fluxului lichidului prin termogenerator și determinarea variației temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare în funcție de debit $T_2(Q)$, pentru fiecare model constructiv la diferite temperaturi impuse a cămășilor $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Analiza circulației fluxului lichidului, s-a realizat pentru următoarele condiții de intrare: temperatura lichidului în conducta de admisie $T_1=11\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura impusă a cămășilor: $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura mediului ambiant $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pierderile de energie termică exterioare neglijabile $P_{th}=0$ și variația debitului lichidului prin cămășile termogeneratorului de la 10 l/h până la 3500 l/h. În Anexa 4 sunt prezentate rezultatele simulării circulației fluxului de lichid caloportor pentru variația temperaturii.

În figurile A4.1 – A4.36 este prezentat grafic fluxul lichidului caloportor prin termogenerator, la debitul de 1000 l/h și temperatura lichidului prin termogenerator, pentru fiecare model constructiv, la diferite temperaturi impuse a cămășilor: $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Conform rezultatelor simulării, în toate cazurile, pentru modelul constructiv al termogeneratorului cu admisie directă și modelul cu admisie directă prin țeavă internă, la conectarea cămășilor atât în serie cât și în paralel, se observă că în cămășile termogeneratorului se formează zone cu circulație redusă a lichidului caloportor, figurile A4.1 – A4.36 (vezi zonele evidențiate). Respectiv, circulația lichidului este neuniformă, ceea ce determină încălzirea neuniformă a lichidului în cămăși. Aceste zone sunt neactive în procesul de transfer de căldură în termogenerator sau cu un transfer scăzut de căldură, altfel spus, se reduce suprafața activă de lucru în termogenerator.

În modelul constructiv cu admisie direcționată, la conectarea cămășilor atât în serie cât și în paralel, circulația lichidului caloportor este mai uniformă, respectiv și încălzirea lichidului este mai uniformă, suprafața activă de lucru în termogenerator este maximă.

3.5.2. *Variația presiunii în conducta de admisie în funcție de debit*

De asemenea s-au realizat simulări, scopul cărora constă în analiza fluxului de lichid prin termogenerator și determinarea variației presiunii lichidului în conducta de admisie în funcție de debit $P_1(Q)$, pentru fiecare model constructiv.

Datorită frecărilor cu pereții solizi și frecărilor interioare, o parte din energie cinetică a lichidului se transformă ireversibil în căldură, devenind o energie care poartă numele de pierdere hidraulică sau pierderi de sarcină. Respectiv, energia cinetică specifică totală a lichidului scade în lungul curentului. Pierderile de sarcină, depind de forma, de rugozitatea peretelui conductei, de viteza de curgere și de vâscozitatea lichidului care curge [59, 60, 61].

Determinarea presiunii necesare în conducta de admisie pentru modelele constructive elaborate, va determina caracteristicile necesare a pompei pentru menținerea unui debit constant al lichidului prin cămășile termogeneratorului.

Analiza circulației fluxului lichidului, s-a realizat pentru următoarele condiții de intrare: temperatura lichidului în conducta de admisie $T_1=11$ °C, temperatura impusă a cămășilor $T_0=20$ °C și variația debitului lichidului prin cămășile termogeneratorului de la 10 l/h până la 3500 l/h. În Anexa 5 sunt prezentate rezultatele simulării circulației fluxului de lichid caloportor pentru variația temperaturii.

În figurile A5.1 – A5.12 este prezentat grafic fluxul lichidului caloportor prin termogenerator, la debitul de 1000 l/h și presiunea lichidului în termogenerator, pentru fiecare model constructiv.

Conform rezultatelor simulării, ca și în cazul simulărilor prezentate în 3.5.1, pentru modelul constructiv al termogeneratorului cu admisie directă și modelul cu admisie directă prin țeavă internă, la conectarea cămășilor atât în serie cât și în paralel, se observă că în cămășile termogeneratorului se formează zone cu circulație redusă a lichidului caloportor, figurile A5.1 – A5.12 (vezi zonele evidențiate). Privitor la analiza presiunii lichidului în cămășile termogeneratorului, se observă că la modelele constructive cu cămășile conectate în serie, presiunea lichidului în cămașa exterioară este mai mare decât în cea interioară și invers, pentru modelele constructive cu cămășile conectate în paralel, presiunea lichidului în cămașa exterioară este mai mică decât în cea interioară. De menționat că în modelul constructiv cu admisie direcționată, la conectarea cămășilor în paralel, presiunea lichidului este mai uniformă prin cămășile termogeneratorului.

3.5.3. Analiza variației temperaturii lichidului caloportor

În tabelele 3.4 – 3.6 sunt prezentate rezultatele simulărilor privind circulația lichidului caloportor prin cămășile termogeneratorului, pentru temperatura impusă a cămășilor interne și externe egală cu $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura lichidului în conducta de admisie – $T_1=11\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura mediului ambiant $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pierderile de energie termică exterioare neglijabile $P_{th}=0$ și variația debitului lichidului prin cămășile termogeneratorului de la 10 l/h până la 3500 l/h.

Conform rezultatelor simulării, caracteristica termică pentru toate modele constructive, pentru toate cazurile a temperaturii cămășilor, la conectarea cămășilor atât în serie cât și în paralel, are aceeași formă a curbei, care poate fi caracterizată astfel: odată cu creșterea debitului lichidului prin termogenerator, temperatura lichidului în conducta de refulare scade, figurile 3.48 – 3.50. Aceasta are loc datorită faptului că la un debit mai mare, lichidul caloportor nu reușește să se încălzească, respectiv temperatura lichidului este mai mică.

S-au constatat următoarele:

- În modelele constructive cu cămășile conectate în serie lichidul are o temperatură mai mare în conducta de refulare față de aceleași modele dar cu cămășile conectate în paralel, figurile 3.48 – 3.50. Aceasta se explică prin faptul că la conectarea în serie, debitul lichidului caloportor este mai mic și reușește să se încălzească mai mult, față de conectarea în paralel;
- Din punct de vedere al eficienței transferului de căldură, se observă că modelul constructiv 3 (cu admisie direcționată), atât la conectarea cămășilor în serie cât și în paralel, are o eficiență mai sporită a transferului de căldură în comparație cu toate celelalte modele constructive. Concluzia se bazează pe faptul că în modelul 3 dispar zonele în care intensitatea circulația lichidului scade (compară imaginile cu zonele evidențiate și imaginile fără zone evidențiate din figurile A4.1 – A4.36). În primele se observă clar formarea unor zone în care circulația lichidului este neuniformă (vezi zonele evidențiate);
- Aceiași concluzie rezultă și din comparația caracteristicilor termice prezentate în figurile 3.48 – 3.50. Astfel, temperatura lichidului caloportor în conducta de refulare este mai mare cu 40 % față de modelul cu cămășile conectate în paralel; în același timp este cu 60-80 % mai mare față de modelul cu admisie directă cu conectarea cămășilor în serie și cu 70-100 % mai mare față de același model dar cu cămășile conectate în paralel; cu 50-60 % mai mare față de modelul cu admisie directă prin țeavă internă cu conectarea cămășilor în serie și practic de două ori mai mare, 110-120 %, față de același model dar cu cămășile conectate în paralel [62].

Tabelul 3.4. Variația temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare în funcție de debit $T_2(Q)$, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura lichidului în conducta de refulare în funcție de debit, la $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_1=11\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P_{th}=0$						
Debit, l/h	Temperatura T_2 , $^{\circ}\text{C}$					
	Model cu cămășile conectate în serie			Model cu cămășile conectate în paralel		
	cu admisie directă	cu admisie directă prin țeavă internă	cu admisie direcționată	cu admisie directă	cu admisie directă prin țeavă internă	cu admisie direcționată
10	39,11	39,09	39,99	39,00	39,07	39,82
50	34,51	33,93	39,69	31,76	31,07	39,42
100	30,79	30,30	38,58	27,90	27,03	37,95
500	22,82	22,24	32,69	19,15	18,92	25,04
1000	20,85	20,60	31,15	17,98	17,20	23,57
1500	19,56	20,24	30,40	17,53	16,79	22,49
2000	19,30	20,05	29,84	17,33	16,39	21,83
2500	18,91	19,91	29,51	17,19	16,32	21,40
3000	18,72	19,81	29,24	17,26	16,26	21,07
3500	18,59	19,79	29,03	17,13	16,10	20,79

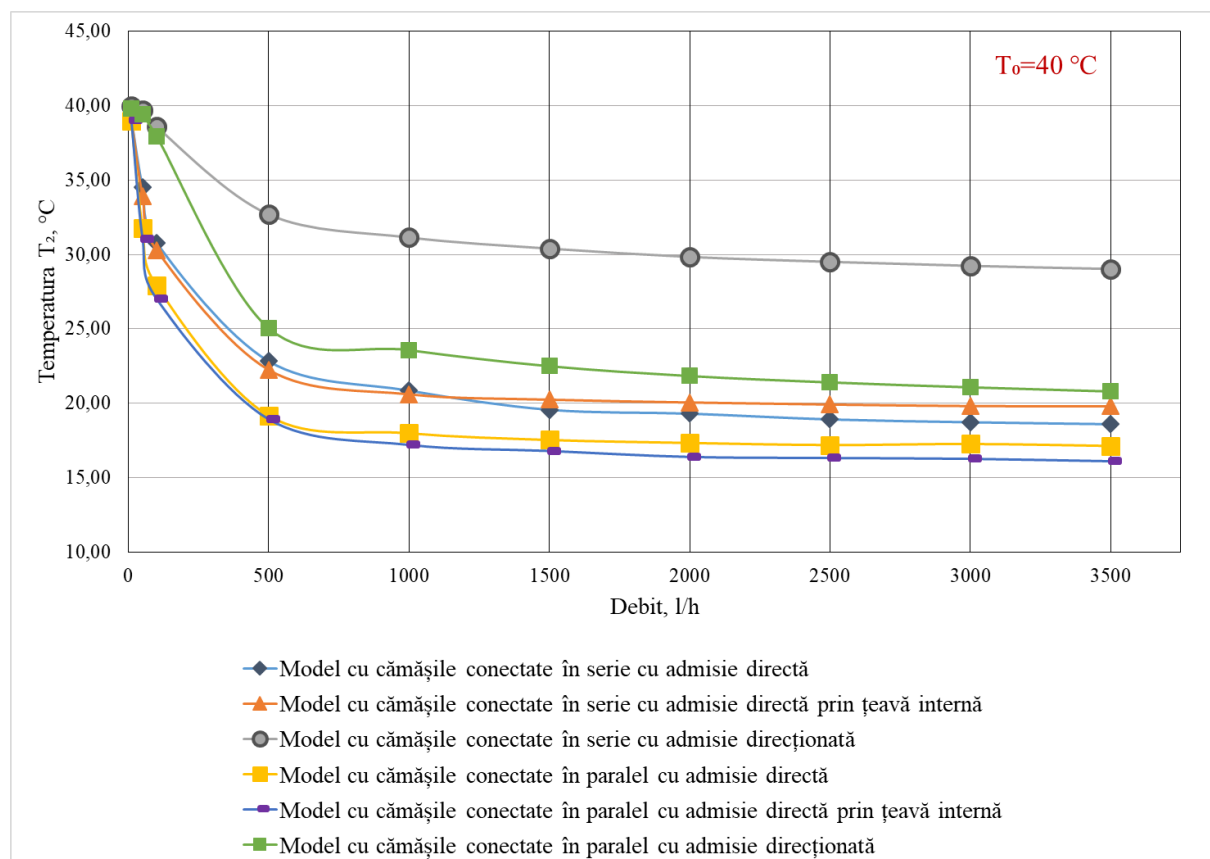


Figura 3.48. Variația temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare a termogeneratorului în funcție de debit $T_2(Q)$, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabelul 3.5. Variația temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare în funcție de debit $T_2(Q)$, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura lichidului în conducta de refulare în funcție de debit, la $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_1=11\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P_{th}=0$						
Debit, l/h	Temperatura T_2 , $^{\circ}\text{C}$					
	Model cu cămășile conectate în serie			Model cu cămășile conectate în paralel		
	cu admisie directă	cu admisie directă prin țevă internă	cu admisie direcționată	cu admisie directă	cu admisie directă prin țevă internă	cu admisie direcționată
10	58,50	58,47	59,98	58,29	58,60	59,69
50	51,19	50,20	59,57	46,35	45,21	59,19
100	45,47	44,09	58,01	39,89	38,50	56,82
500	31,63	30,24	47,91	25,24	24,75	36,41
1000	27,50	27,50	44,86	23,04	21,65	33,46
1500	25,68	26,77	43,35	21,82	20,54	31,55
2000	25,10	26,43	42,34	21,71	20,17	30,39
2500	24,34	26,19	41,60	21,75	19,90	29,58
3000	24,00	25,96	41,02	21,40	19,64	28,97
3500	23,93	25,84	40,59	21,26	19,59	28,47

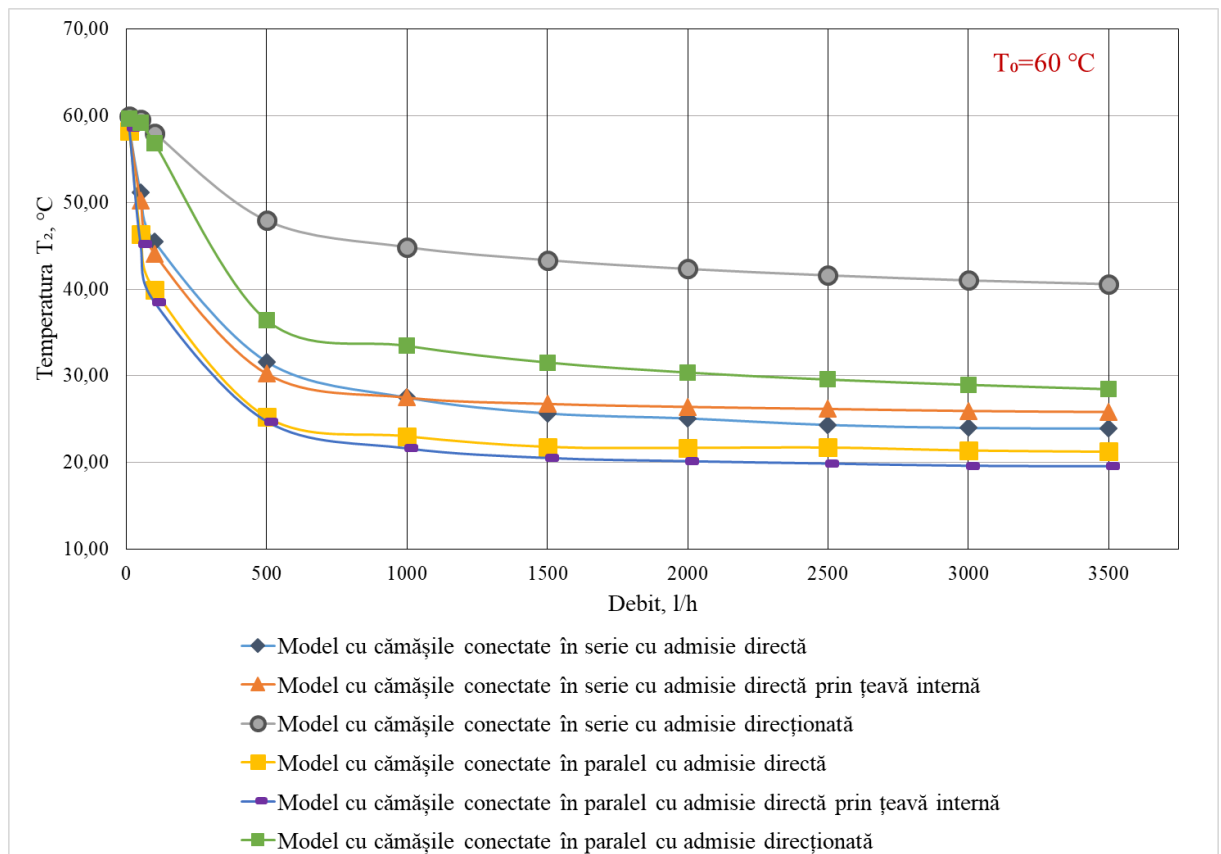


Figura 3.49. Variația temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare a termogeneratorului în funcție de debit $T_2(Q)$, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabelul 3.6. Variația temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare în funcție de debit $T_2(Q)$, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura lichidului în conducta de refulare în funcție de debit, la $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_1=11\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P_{th}=0$						
Debit, l/h	Temperatura T_2 , $^{\circ}\text{C}$					
	Model cu cămășile conectate în serie			Model cu cămășile conectate în paralel		
	cu admisie directă	cu admisie directă prin țevă internă	cu admisie direcționată	cu admisie directă	cu admisie directă prin țevă internă	cu admisie direcționată
10	77,92	77,74	79,93	77,78	77,94	79,54
50	68,13	67,01	79,47	61,20	59,78	78,86
100	60,34	58,27	77,20	52,23	50,36	75,79
500	39,71	38,59	64,06	31,49	30,79	49,12
1000	35,13	35,54	59,61	28,53	25,90	44,27
1500	32,30	34,33	57,29	26,96	24,70	41,51
2000	31,44	33,74	55,76	26,74	24,35	39,71
2500	30,69	33,38	54,71	26,50	23,73	38,50
3000	30,49	33,17	53,80	26,14	23,85	37,53
3500	29,91	32,78	53,08	25,99	23,30	36,78

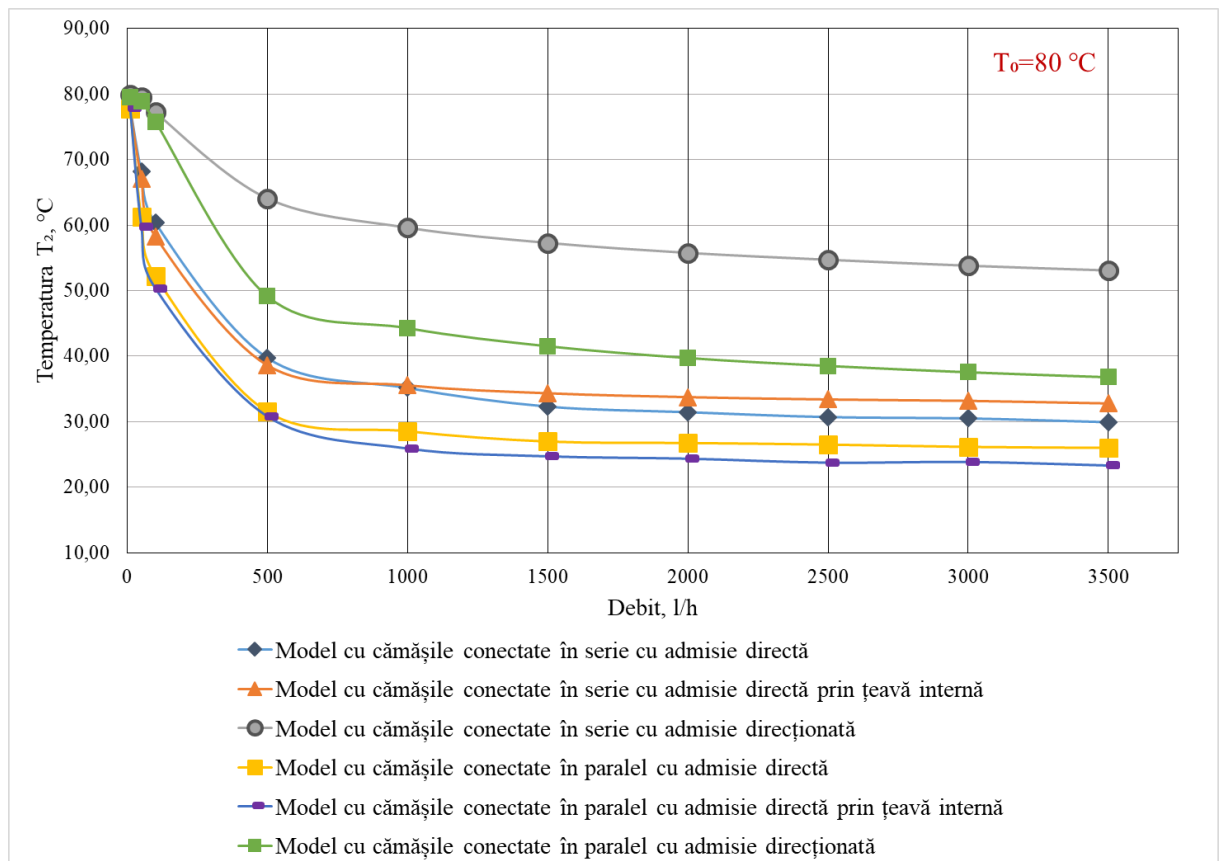


Figura 3.50. Variația temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare a termogeneratorului în funcție de debit $T_2(Q)$, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.5.4. Analiza variației presiunii lichidului caloportor

În tabelul 3.7 sunt prezentate rezultatele simulărilor privind circulația lichidului caloportor prin cămășile termogeneratorului, pentru temperatura impusă a cămășilor interne și externe egală cu $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura lichidului în conducta de admisie – $T_1=11\text{ }^{\circ}\text{C}$ și variația debitului lichidului prin cămășile termogeneratorului de la 10 l/h până la 3500 l/h.

Conform rezultatelor simulării, caracteristica variației presiunii pentru toate modele constructive, la conectarea cămășilor atât în serie cât și în paralel, are aceeași formă a curbei, care poate caracterizată astfel: la creșterea debitului lichidului prin termogenerator, crește și presiunea în conducta de admisie, figura 3.51. Aceasta se datorează faptului că în termogenerator apar pierderi hidraulice. Acestea reprezintă pierderi de energie ale fluidului produse pe traseul de curgere și sunt datorate frecărilor vâscoase, efectelor de turbulență precum și diverselor elemente hidraulice intercalate pe traseul de curgere, iar energia consumată pentru a învinge aceste rezistențe și pentru a menține un debit constant a lichidului, sunt compensate prin creșterea presiunii lichidului în conducta de admisie.

S-au constatat următoarele:

- În modelele constructive cu cămășile conectate în serie, presiunea lichidului în cămașa exterioară este mai mare decât în cea interioară și invers, pentru modelele constructive cu cămășile conectate în paralel, presiunea lichidului în cămașa exterioară este mai mică decât în cea interioară figurile A5.1 – A5.12. Aceasta se explică prin faptul că în circulația lichidului apar pierderi de energie specifică din cauza schimbării bruște a secțiunii și direcției de circulație a lichidului în cotul dintre cămăși, ceea ce creează rezistență hidraulică locală;
- Conform rezultatelor simulării, din punct de vedere al presiunii interne în termogenerator, se observă că în modelul constructiv cu admisie direcționată, la conectarea cămășilor în paralel, presiunea prin cămășile termogeneratorului se repartizează mai uniform în comparație cu celelalte modele, figura A5.12;
- Din punct de vedere al presiunii necesare în conducta de admisie, pentru un debit constant al lichidului prin cămășile termogeneratorului, la modelul constructiv cu admisie directă cu cămășile conectate în paralel, sunt înregistrate cele mai mici valori ale presiunii în conducta de admisie, tabelul 3.7 [63].

**Tabelul 3.7. Variația presiunii lichidului caloportor
în conducta de admisie în funcție de debit $P_1(Q)$, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$**

Presiunea lichidului în conducta de admisie în funcție de debit, la $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_1=11\text{ }^{\circ}\text{C}$						
Debit, l/h	Presiunea P_1 , bar					
	Model cu cămășile conectate în serie			Model cu cămășile conectate în paralel		
	cu admisie directă	cu admisie directă prin țevă internă	cu admisie direcționată	cu admisie directă	cu admisie directă prin țevă internă	cu admisie direcționată
10	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
50	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
100	1,01	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01
500	1,05	1,07	1,07	1,03	1,03	1,04
1000	1,14	1,25	1,23	1,07	1,08	1,10
1500	1,31	1,53	1,49	1,14	1,17	1,21
2000	1,54	1,93	1,85	1,25	1,29	1,36
2500	1,84	2,41	2,31	1,38	1,44	1,54
3000	2,20	3,03	2,86	1,53	1,63	1,77
3500	2,63	3,75	3,51	1,72	1,84	2,04

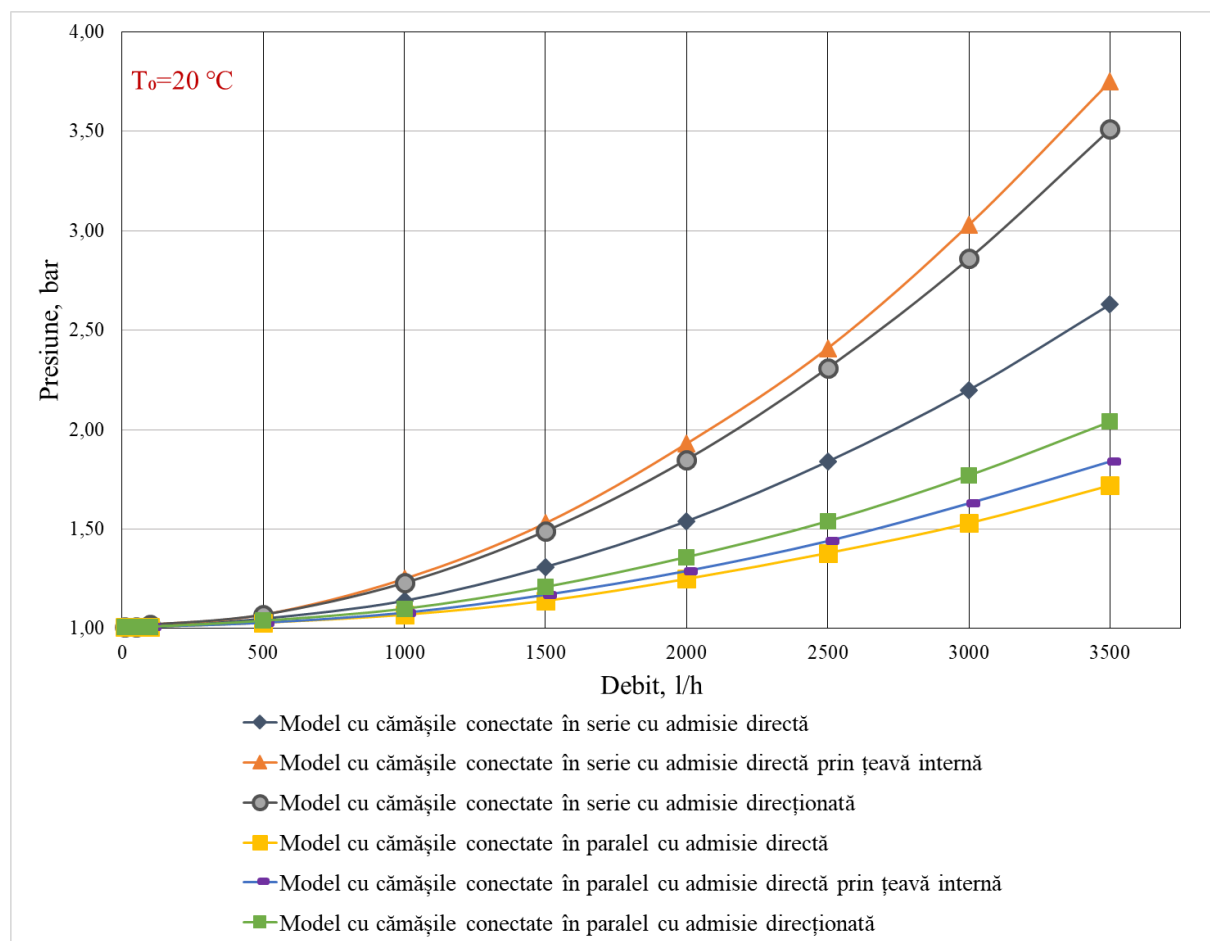


Figura 3.51. Variația presiunii lichidului caloportor în conducta de admisie a termogeneratorului în funcție de debit $P_1(Q)$, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.6. Simularea fluxului termic în generatorul termic

3.6.1. Analiza fluxurilor termice prin generatorul termic

Fluxul termic este o mărime care caracterizează intensitatea transferului de căldură. Transferul de căldură în termogeneratorul cu magneți permanenți se realizează preponderent prin convecție, mai puțin prin conducție. Transferul de căldură convectiv prezintă cota cea mai mare din fluxurile termice prin termogenerator.

Convecția este procesul de transfer de căldură între suprafața unui corp solid și un fluid în prezența unui gradient de temperatură și care se datorează mișcării fluidului. În convecție sunt două elemente:

- Transfer de energie datorită mișcării moleculare aleatorii (difuzie);
- Transferul de energie prin mișcare fluidă volumetrică sau macroscopică (advecție).

Procesul de transfer de căldură prin convecție poate fi explicat astfel: pe măsură ce stratul de lichid adiacent suprafeței fierbinți se încălzește, densitatea acestuia scade (la presiune constantă, densitatea este invers proporțională cu temperatura) și devine plutitor, iar lichidul mai rece (mai greu) înlocuiește lichidul cald de lângă suprafața fierbinte, astfel se formează un model de circulație, figura 3.52 [64-65].

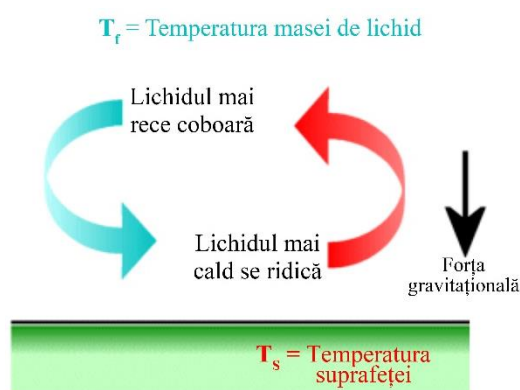


Figura 3.52. Transferul de căldură prin convecție [66]

Viteza de transfer de căldură între un lichid cu temperatura T_f și suprafața unui corp solid cu aria suprafeței A la temperatura T_s care, după legea de răcire a lui Newton, poate fi scrisă astfel:

$$Q_{convecție} = \alpha \cdot A \cdot (T_s - T_f) \quad (3.74)$$

unde: α – coeficientul de transfer de căldură convectiv, în $W/m^2 \cdot ^\circ C$. Coeficientul de transfer de căldură convectiv depinde de mișcarea fluidului, geometria canalului de curgere, de proprietățile termodinamice și fizice ale lichidului ș.a [68].

În general, sunt două forme de transfer de căldură prin convecție:

- Convecția liberă (naturală). Când mișcarea unui lichid sau gaz adiacent unei suprafețe solide este cauzată de forțele de flotabilitate care sunt afectate de o modificare a densității

lichidului sau gazului datorită diferenței de temperatură dintre solid și lichid sau gaz. Când o suprafață fierbinte este lăsată să se răcească în aer, particulele de aer intră în contact cu suprafața și se încălzesc, densitatea lor scade și, prin urmare, particulele se deplasează în sus, figura 3.53 [66].

- Convecția forțată. Când sunt utilizate unele dispozitive externe, cum ar fi o pompă, pentru a accelera curgerea unui lichid sau gaz pe suprafața unui corp solid. Mișcarea rapidă a particulelor lichide sau gazoase pe suprafața unui corp solid crește gradientul de temperatură și respectiv crește viteza de transfer de căldură figura 3.54 [66].

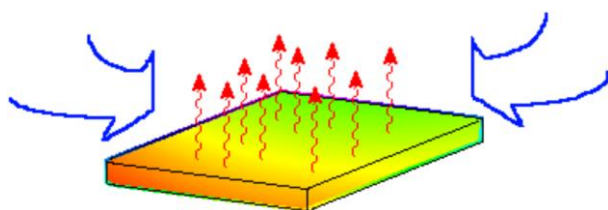


Figura 3.53. Convecția liberă (naturală) [66]

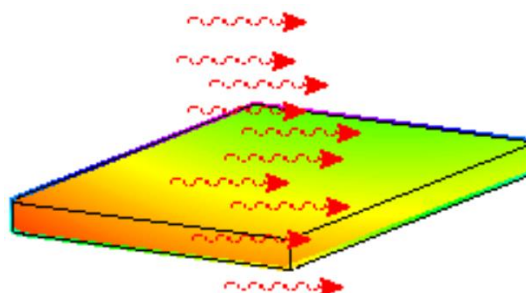


Figura 3.54. Convecția forțată [66]

Convecția forțată este legată de conceptul de strat limită, un strat subțire de tranziție între suprafața considerată a fi adiacentă unei suprafețe staționare și fluxul de lichid sau gaz din vecinătate. În acest caz, coeficientul de convecție poate fi estimat prin măsurarea vitezei de transfer de căldură și a diferenței de temperatură, sau prin măsurarea gradientului de temperatură adiacent suprafeței și a diferenței de temperatură. Măsurarea gradientului de temperatură de-a lungul stratului limită necesită o precizie ridicată și de obicei este efectuată în laboratoare de cercetare. Respectiv, de obicei în literatura de specialitate sunt oferite date tabelare despre coeficienții de transfer de căldură convectivi pentru diferite configurații [66].

Analiza fluxurilor termice prin generatorul termic, s-a realizat pentru următoarele condiții de intrare: temperatura lichidului în conducta de admisie $T_1=11\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura impusă a cămășilor: $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura mediului ambiant $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pierderile de energie termică exterioare neglijabile $P_{th}=0$ și variația debitului lichidului prin cămășile termogeneratorului de la 10 l/h până la 3500 l/h. În Anexa 6 sunt prezentate simulările fluxului termic în generatorul termic.

În figurile A6.1 – A6.18 sunt prezentate grafic fluxurile termice conductive și convective prin termogenerator, la debitul de 1000 l/h, pentru fiecare model constructiv, la diferite temperaturi impuse a cămășilor: $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fluxurile termice conductive apar între paharele cămășilor interioare și exterioare și toate elementele alăturate cu acestea, în figuri sunt prezentate cu săgeți de culoare roșie. În orice caz,

căldura de la aceste elemente ulterior este transmisă către lichidul caloportor prin convecție, în condițiile de simulare unde pierderile de energie termică exterioare sunt neglijabile, $P_{th}=0$.

La rândul său, fluxurile termice convective apar între toată suprafața canalului de curgere și lichidul caloportor în mișcare, în figuri sunt prezentate cu săgeți de culoare albastră. Sunt trei fluxuri termice convective mari: de la cămașa exterioară, de la cămașa interioară și de la celelalte elementele ale generatorului.

Separat este prezentat fluxul termic convectiv doar de la paharele interne, care inițial au o temperatură impusă respectivă, cu săgeți de culoare portocalie.

Paharele interne, menționate mai sus, cu temperaturile impuse de 40, 60 și respectiv 80 °C, care constructiv fac parte din cămășile generatorului, sunt: paharul exterior din cămașa interioară și paharul interior din cămașa exterioară, figurile 3.3 – 3.4.

În conformitate cu condițiile de simulare a fluxurilor termice prin termogenerator, trebuie menționat faptul că, din start, toate elementele generatorului, fără paharele interne, au temperatura egală cu temperatura mediului ambiant în simulare, $T_a=20$ °C.

În plus, despre pierderile hidraulice sau pierderile de energie ale fluidului, care sunt compensate prin creșterea presiunii lichidului pentru a menține un debit constant, descrise în 3.5.4, aceste pierderi în final se transformă în energie termică.

Acești factori în comun influențează asupra temperaturii lichidului în conducta de refulare, eventual influențează asupra distribuției fluxurilor termice prin termogenerator și în rezultat asupra fluxului termic util al termogeneratorului [67].

3.6.2. Variația fluxului termic util în generatorul termic în funcție de debit

În tabelele 3.8 – 3.10 sunt prezentate rezultatele simulărilor privind variația fluxului termic util în funcție de debit, pentru temperatura impusă a cămășilor interne și externe egală cu $T_0=40$ °C; $T_0=60$ °C și $T_0=80$ °C, temperatura lichidului în conducta de admisie – $T_i=11$ °C, temperatura mediului ambiant $T_a=20$ °C, pierderile de energie termică exterioare neglijabile $P_{th}=0$ și variația debitului lichidului prin cămășile termogeneratorului de la 10 l/h până la 3500 l/h.

Mărimea caracteristică pentru intensitatea transferului termic este fluxul termic absorbit de lichidul caloportor, mărime notată cu $\dot{Q}$. În cazul dat, pentru generatorul termic dat, fluxul termic util poate fi calculat utilizând expresia:

$$\dot{Q}_{ut} = \dot{M} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.75)$$

unde: $\dot{M}$ – debitul masic, în kg/s;

c_p – căldura specifică a lichidului caloportor, apă, în kJ/kg · °C;

T_2 – temperatura lichidului în conducta de refulare, în °C;

T_1 – temperatura lichidului în conducta de admisie, în °C.

Conform rezultatelor simulării, variația fluxului termic util pentru toate modele constructive, pentru toate cazurile a temperaturii cămășilor, la conectarea cămășilor atât în serie cât și în paralel, are aceeași formă a curbei, care poate fi caracterizată astfel: odată cu creșterea debitului lichidului prin termogenerator, crește și valoarea fluxului termic util, figurile 3.55 - 3.57.

Aceasta are loc datorită faptului că la un debit mai mare, este mai mare și debitul masic, respectiv, într-o unitate de timp, prin cămășile termogeneratorului trece un volum mai mare de lichid și respectiv este absorbită o cantitate de căldură mai mare.

S-au constatat următoarele:

- În modelele constructive cu cămășile conectate în serie, fluxul termic util are o valoare mai mare față de aceleași modele dar cu cămășile conectate în paralel, figurile 3.55 - 3.57. Aceasta se explică prin faptul că la conectarea în serie, diferența de temperatură ($T_2 - T_1$), este mai mare față de cazul în care conectarea este în paralel, descrisă în 3.5.3;
- Conform rezultatelor simulării, se observă că la modelul constructiv 3 (cu admisie direcționată), la conectarea cămășilor în serie, fluxul termic util prezintă cele mai mari valori, urmat de același model, doar cu cămășile conectate în paralel. Aceasta se datorează faptului că la aceste modele constructive, aria suprafeței totale a canalului de curgere este mai mare comparativ cu celelalte modele. Aria suprafeței de contact a lichidului cu suprafața canalului de curgere este mai mare datorită faptului că în interiorul cămășilor sunt montate spirale din foaie de metal pentru direcționarea fluxului de lichid caloportor.

Tabelul 3.8. Variația fluxului termic util în funcție de debit $\dot{Q}_{ut}(Q)$, $T_0=40\text{ }^\circ\text{C}$

Fluxul termic în funcție de debit, la $T_a=20\text{ }^\circ\text{C}$; $T_0=40\text{ }^\circ\text{C}$; $T_i=11\text{ }^\circ\text{C}$ și $P_{th}=0$						
Debit, l/h	Fluxul termic $\dot{Q}_{ut}$, kW					
	Model cu cămășile conectate în serie			Model cu cămășile conectate în paralel		
	cu admisie directă	cu admisie directă prin țevă internă	cu admisie direcționată	cu admisie directă	cu admisie directă prin țevă internă	cu admisie direcționată
10	0,33	0,33	0,34	0,33	0,33	0,33
50	1,37	1,33	1,67	1,21	1,17	1,65
100	2,30	2,24	3,20	1,96	1,86	3,13
500	6,87	6,54	12,60	4,74	4,61	8,16
1000	11,45	11,16	23,42	8,12	7,21	14,61
1500	14,92	16,11	33,79	11,39	10,10	20,04
2000	19,27	21,00	43,75	14,70	12,53	25,18
2500	22,95	25,82	53,68	17,98	15,45	30,22
3000	26,84	30,58	63,43	21,81	18,32	35,08
3500	30,76	35,55	73,10	24,90	20,69	39,78

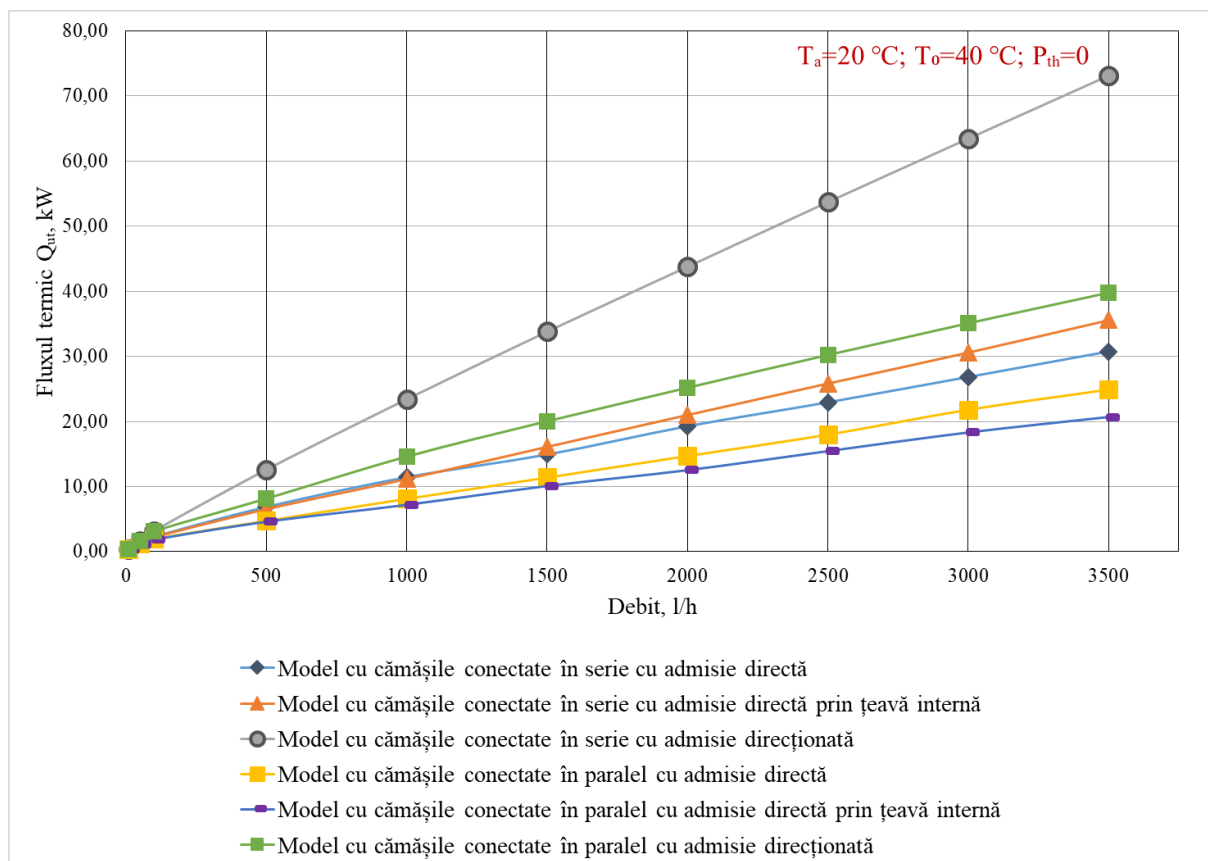


Figura 3.55. Variația fluxului termic util în funcție de debit $\dot{Q}_{ut}(Q)$, $T_o=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabelul 3.9. Variația fluxului termic util în funcție de debit $\dot{Q}_{ut}(Q)$, $T_o=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fluxul termic în funcție de debit, la $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}; T_o=60\text{ }^{\circ}\text{C}; T_i=11\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $P_{th}=0$						
Debit, l/h	Fluxul termic $\dot{Q}_{ut}$, kW					
	Model cu cămășile conectate în serie			Model cu cămășile conectate în paralel		
	cu admisie directă	cu admisie directă prin țeavă internă	cu admisie direcționată	cu admisie directă	cu admisie directă prin țeavă internă	cu admisie direcționată
10	0,55	0,55	0,57	0,55	0,55	0,57
50	2,33	2,28	2,82	2,05	1,99	2,80
100	4,00	3,84	5,46	3,36	3,19	5,32
500	11,98	11,18	21,44	8,28	7,99	14,76
1000	19,17	19,17	39,32	14,00	12,38	26,09
1500	25,59	27,48	56,34	18,87	16,63	35,82
2000	32,76	35,83	72,76	24,89	21,32	45,04
2500	38,71	44,05	88,76	31,23	25,84	53,97
3000	45,24	52,02	104,48	36,24	30,09	62,62
3500	52,49	60,12	120,07	41,72	34,88	71,01

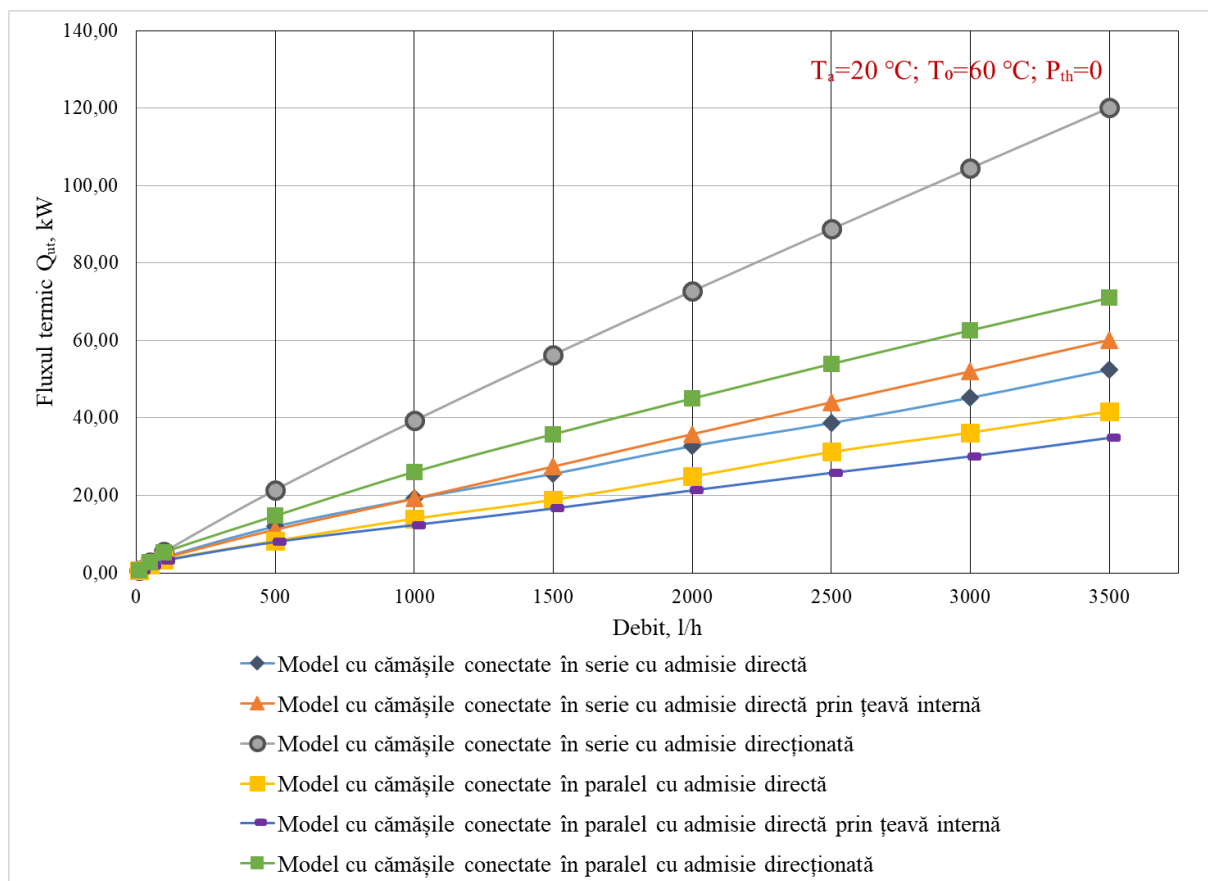


Figura 3.56. Variația fluxului termic util în funcție de debit $\dot{Q}_{ut}(Q)$, $T_o=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabelul 3.10. Variația fluxului termic util în funcție de debit $\dot{Q}_{ut}(Q)$, $T_o=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fluxul termic în funcție de debit, la $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_o=80\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_i=11\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $P_{th}=0$						
Debit, l/h	Fluxul termic $\dot{Q}_{ut}$, kW					
	Model cu cămășile conectate în serie			Model cu cămășile conectate în paralel		
	cu admisie directă	cu admisie directă prin țeavă internă	cu admisie direcționată	cu admisie directă	cu admisie directă prin țeavă internă	cu admisie direcționată
10	0,78	0,78	0,80	0,78	0,78	0,80
50	3,32	3,25	3,98	2,91	2,83	3,94
100	5,73	5,49	7,69	4,79	4,57	7,53
500	16,67	16,02	30,81	11,91	11,50	22,13
1000	28,03	28,50	56,45	20,37	17,32	38,64
1500	37,11	40,63	80,63	27,82	23,88	53,14
2000	47,47	52,78	103,92	36,57	31,03	66,69
2500	57,15	64,91	126,81	45,03	36,98	79,82
3000	67,84	77,13	148,97	52,76	44,76	92,42
3500	76,78	88,34	170,83	60,92	49,97	104,73

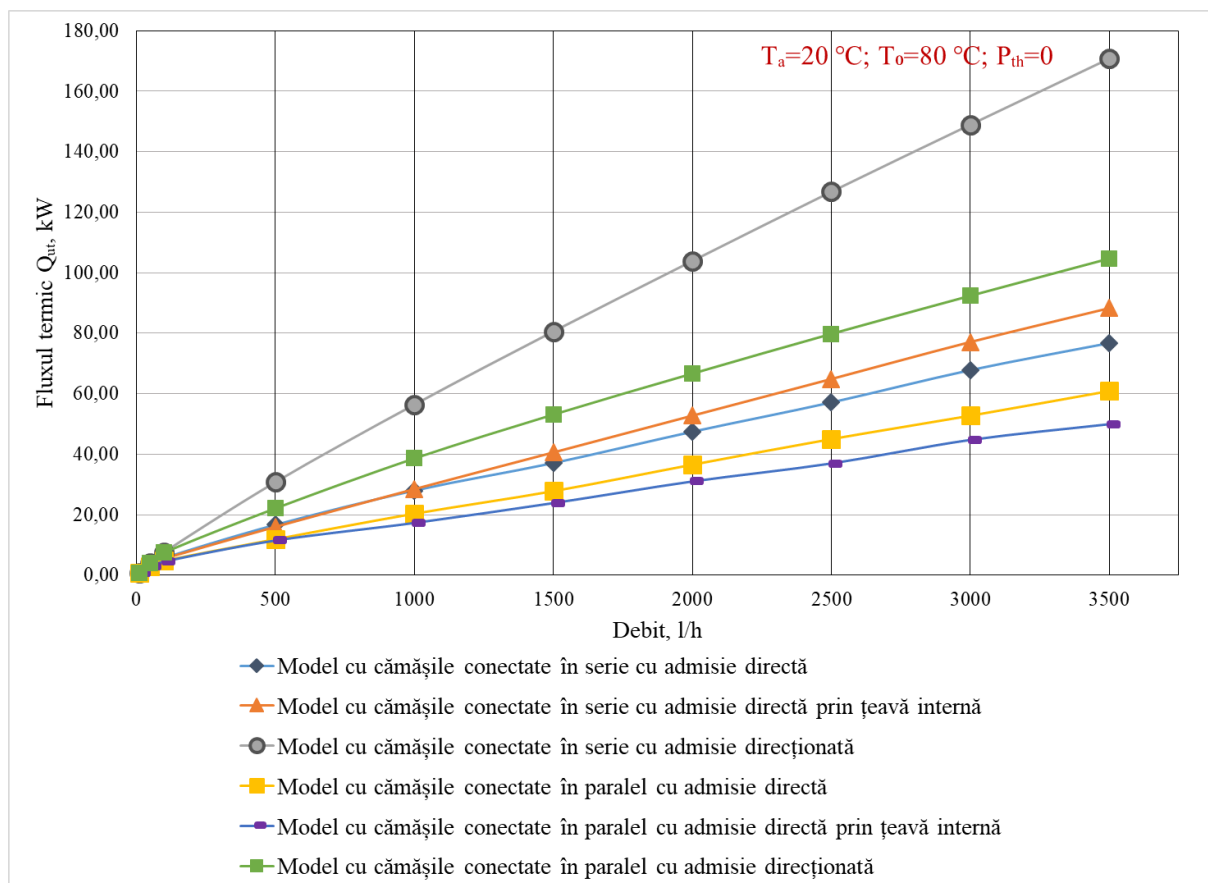


Figura 3.57. Variația fluxului termic util în funcție de debit $\dot{Q}_{ut}(Q)$, $T_o=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Concluzii la capitolul 3

Pentru studiul câmpului magnetic al termogeneratorului cu magneți permanenți și determinarea temperaturilor cilindrului indusului s-au realizat simulări pentru determinarea caracteristicilor câmpului magnetic în regim dinamic, la diferite viteze de rotații și în consecință determinarea temperaturilor materialului indusului în funcție de viteza de rotație a rotorului.

În baza analizei rezultatelor simulărilor s-au determinat valorile inducției magnetice în cele două cilindre ale indusului și în ambele întrefieruri. Astfel, valoarea inducției în întrefier nu depășește $0,95\text{ T}$. În același timp, se observă că valoarea inducției în întrefierul exterior este mai mică decât în cel interior (figura 3.30), ceea ce influențează valorile inducției magnetice în cilindrele indusului. Respectiv, valorile maxime ale inducției magnetice în materialul indusului, observate în regim dinamic, sunt de $1,62 - 1,72\text{ T}$. Trebuie de menționat faptul că valorile maxime ale inducției în cilindrul exterior sunt mai mari (figura 3.45) decât în cilindrul interior (figura 3.46). Astfel, valoarea maximă a inducției în cilindrul exterior, în regim dinamic, este de $1,72\text{ T}$, iar în cel interior de $1,58\text{ T}$, ceea ce influențează procesul de încălzire a materialului.

În procesul de încălzire prin inducție în termogenerator, temperatura materialului indusului variază în funcție de viteza de rotație a rotorului termogeneratorului, caracteristica este direct proporțională. Conform rezultatelor simulării, s-a obținut temperatura maximă a materialului de $97,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, evident la cea mai mare viteză a rotorului din simulare de 600 rot/min . Aceasta are loc datorită pierderilor magnetice în indus, utile în cazul dat, sau altfel spus, care cresc odată cu frecvența curenților turbionari induși. Datorită faptului că valorile inducției în cilindrele indusului sunt diferite, respectiv s-a observat faptul că temperatura cilindrului interior al indusului este mai mică decât temperatura cilindrului exterior (tabelul 3.3).

Pentru studiul circulației lichidului caloportor prin cămășile termogeneratorului, în contextul studiului, s-au elaborat trei modele constructive ale termogeneratorului cu magneți permanenți: (1) cu admisie directă, cu cămășile conectate în serie/paralel; (2) cu admisie directă prin țevă internă, cu cămășile conectate în serie/paralel și (3) cu admisie direcționată, cu cămășile conectate în serie/paralel. S-au realizat simulări pentru determinarea variației temperaturii în conducta de refulare a termogeneratorului în funcție de debit, la diferite temperaturi impuse a cămășilor: $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$, și pentru determinarea variației presiunii lichidului în conducta de admisie în funcție de debit.

În baza analizei rezultatelor simulărilor pentru determinarea variației temperaturii lichidului în conducta de refulare în funcție de debit, s-a constatat că modelul constructiv al termogeneratorului cu admisie direcționată și cămășile conectate în serie, prezintă cele mai bune

rezultate, în comparație cu celelalte. Astfel, fluxul lichidului caloportor prin cămășile termogeneratorului este mai uniform, respectiv și încălzirea lichidului este mai uniformă, ceea ce determină că suprafața activă de lucru în termogenerator este optimală. În același timp, din punct de vedere al eficienței transferului de căldură, conform rezultatelor prezentate în tabelele 3.4 – 3.6 și a caracteristicii termice, figurile 3.48 – 3.50, modelul dat are o eficiență mai sporită a transferului de căldură, temperatura în conducta de refulare este semnificativ mai mare.

Din punct de vedere al menținerii unui debit constant prin cămășile termogeneratorului, valorile obținute în rezultatul simulărilor pentru determinarea variației presiunii lichidului în conducta de admisie, vor servi pentru calculul caracteristicilor necesare a pompei de circulație, pentru funcționarea acesteia în zona de randament maxim, și pentru asigurarea unui debit constant prestabilit al lichidului prin cămășile termogeneratorului.

În același timp, conform rezultatelor simulării, la modelul constructiv al termogeneratorului cu admisie direcționată și cămășile conectate în serie, fluxul termic util prezintă cele mai mari valori, tabelele 3.8 – 3.10, datorită faptului că la acest model constructiv aria suprafeței totale a canalului de curgere este mai mare comparativ cu celelalte modele.

Trebuie menționat faptul că se atestă un efect pozitiv asupra caracteristicilor termice ale termogeneratorului în urma montării spiralelor din foaie de metal în cămășile termogeneratorului pentru direcționarea fluxului de lichid caloportor, datorate cărora atât valorile temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare, cât și valorile fluxurilor termice utile sunt semnificativ mai mari față de celelalte cazuri.

4. STUDII PRIVIND PERSPECTIVELE UTILIZĂRII ENERGIEI TERMICE EOLIENE

4.1. Conversia termică a energiei eoliene și utilizarea potențialul disponibil

Există mai multe motive de ce sistemele de conversie a energiei eoliene ar trebui să fie folosite mai larg pentru producerea energiei termice în scopul obținerii apei calde sau încălzirii spațiilor rezidențiale. Argumentele principale sunt următoarele [69, 70]:

1. Structura consumului de energie a Republicii Moldova: din consumul total de resurse energetice în anul 2021, echivalent cu 2853 mii t.e.p., doar 12% s-a consumat în formă de energie electrică [71], celelalte resurse care constituie 88% s-au consumat sub alte forme de energie, utilizate inclusiv pentru încălzirea spațiilor locative, în procese tehnologice, prepararea hranei și încălzirea apei.
2. Echipamentul eolian pentru producerea energiei termice este mai simplu și mai ieftin decât în cazul producerii energiei electrice.
3. Problema acumulării și folosirii energiei termice în perioadele fără vânt se rezolvă simplu. Raportul dintre costul unui acumulator electric și a unui termic de aceeași capacitate este mai mare de 10, iar durata de exploatare a acumulatorului termic este mai mare.
4. Cel mai important argument constă în utilizarea eficientă a potențialului energetic eolian. Puterea unui flux de aer este proporțională cu cubul vitezei vântului. Sistemul de conversie a energiei eoliene trebuie să funcționeze eficient în întreaga gamă de variație a vitezei vântului, de exemplu, de la 3 până la 20 m/s. Totodată, puterea nominală a sistemelor eoliene de putere mică corespunde vitezei de calcul a vântului de 11-12 m/s. Altfel spus, la viteza vântului de 20 m/s un sistem de conversie a energiei eoliene în energie electrică ar trebui să aibă un factor de suprasarcină de 5-6. În realitate, acest factor este egal cu 1,2-1,3 [72], fiind limitat, în primul rând, de generatorului electric cu magneți permanenți (GMP). La rândul său factorul de suprasarcină a GMP este limitat de proprietățile materialelor izolatoare și conductoare utilizate și a magneților permanenți.

Rezultă, că pentru viteze ale vântului mai mari decât cea nominală trebuie limitată puterea eoliană convertită în energie electrică, în consecință, scade brusc eficiența conversiei energiei mecanice în energie electrică. Este rațional de utilizat un alt tip de generator – din energie mecanică direct în energie termică cu un factor mai mare de suprasarcină. Un astfel de generator poate fi generatorul termic cu curenți turbionari.

4.2. Caracteristicile unei turbine eoliene moderne

Turbina eoliană ideală. Puterea disponibilă a vântului se determină cu formula [73-77]:

$$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (4.1)$$

unde ρ – densitatea aerului, kg/m^3 ; A – suprafața baleiată de rotorul turbinei, m^2 ; V – viteza vântului, m/s .

Puterea extrasă din vânt de către o turbină ideală este limitată de, așa numitul, factorul Betz, C_P . Valoarea maximală a factorului C_P nu depășește 0,593 și arată că o turbină eoliană ideală poate extrage dintr-un flux de aer neperturbat nu mai mult de 59,3 % [73-77]. În figura 4.1 sunt prezentate puterea unui flux de aer P_W în conformitate cu (4.1) și puterea unei turbine eoliene ideale în conformitate cu (4.2), linia verde punctată:

$$P = C_P \cdot P_W = 0,5 \cdot C_P \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (4.2)$$

Turbina eoliană reală. De obicei, performanța unei turbine eoliene se prezintă cu caracteristica adimensională C_P ca funcție de rapiditatea λ egală cu raportul dintre viteza liniară a vârfului palei turbinei și viteza vântului [80-86]:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \quad (4.3)$$

unde R este raza maximală a palei rotorului, m ; ω – viteza unghiulară de rotație, s^{-1} .

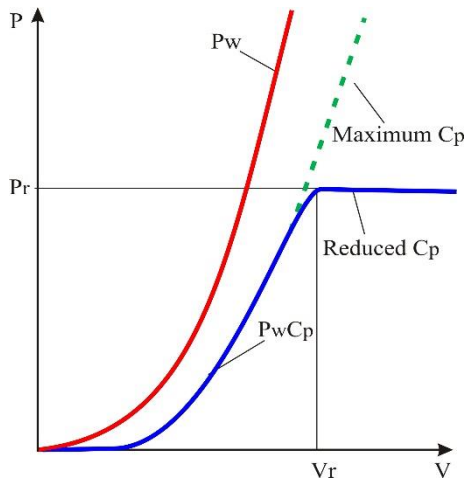


Figura 4.1. Puterea disponibilă a unui flux de aer și puterea extrasă din vânt de o turbină ideală [80-86]

Viteza de rotație a rotorului turbinei se determină din (4.3):

$$n = \frac{30}{\pi} \cdot \lambda \cdot \frac{V}{R} \quad (4.4)$$

iar puterea mecanică dezvoltată de turbină:

$$P = 0,5 \cdot C_P(\lambda) \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3 \quad (4.5)$$

Conform caracteristicii de performanță a unei turbine moderne cu trei pale $C_P(\lambda)$ (figura 4.2), s-a constatat că valoarea maximală a C_P este 0,47, mult mai mică decât limita lui Betz [85]. Respectiv, conform figurii 4.1, în cazul unei turbine eoliene pentru producerea energiei electrice,

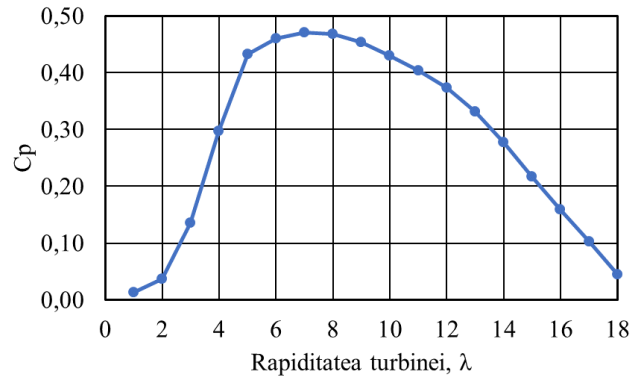


Figura 4.2. Caracteristica de performanță a unei turbine moderne cu trei pale [80-86]

puterea turbinei este redusă dacă viteza vântului este mai mare decât cea nominală V_r . Limitarea puterii are ca scop evitarea suprasolicitării generatorului electric. Altfel spus, pentru viteze ale vântului mai mari decât V_r (figura 4.1), factorul de performanță se micșorează până la valori de 0,1. În acest scop se utilizează diferite metode: reglarea unghiului de atac, frânarea aerodinamică, scoaterea rotorului din direcția vântului sau utilizarea frânei mecanice.

În continuare sunt determinate caracteristicile unei turbine eoliene moderne cu trei pale $P(n, V)$, în care viteza vântului este parametru și curba de putere $P(V)$ pentru cazul producerii energiei termice cu un generator termic cu curenți turbionari. Se admite că factorul de performanță variază conform figurii 4.2. Datele tehnice sunt pentru turbina de mică putere AeroCraft 1002H: raza rotorului $R = 1,2 \text{ m}$, puterea nominală $P_r = 1 \text{ kW}$, viteza de calcul a vântului $V_r = 9 \text{ m/s}$ [78]. Calculul s-a realizat după următorul algoritm [79]:

1. Cu relația (4.4) s-a calculat viteza de rotație n a rotorului în funcție de λ . Viteza vântului V se consideră parametru. Caracteristicile $n(\lambda, V)$ sunt prezentate în figura 4.3.
2. Pentru valori constante ale λ s-au determinat valorile vitezei de rotație n a turbinei pentru întreaga gamă de variație a vitezei vântului V .
3. Pentru aceleași valori ale λ din caracteristica $C_p(\lambda)$ s-au determinat valorile factorului de eficiență.
4. Cu valorile C_p și relația (4.5) s-a calculat puterea turbinei ca funcție de viteza vântului. Rapiditatea λ este parametru, caracteristicile $P(V, \lambda)$ sunt prezentate în figura 4.4.

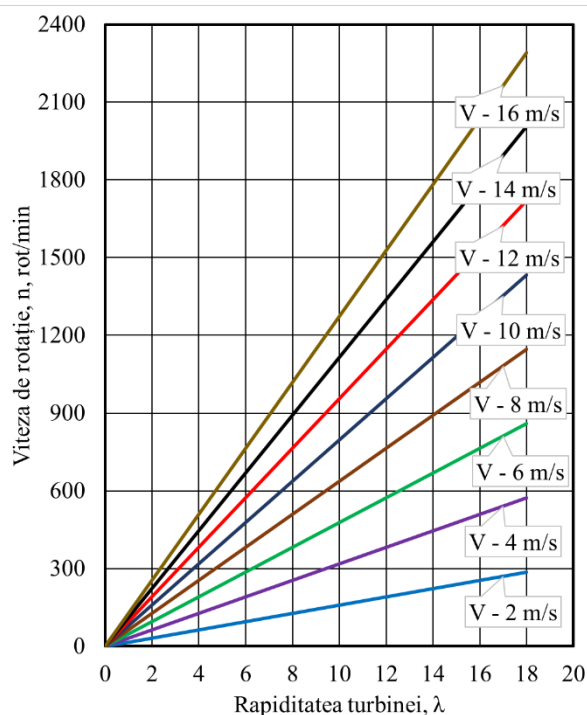


Figura 4.3. Caracteristicile $n(\lambda, V)$

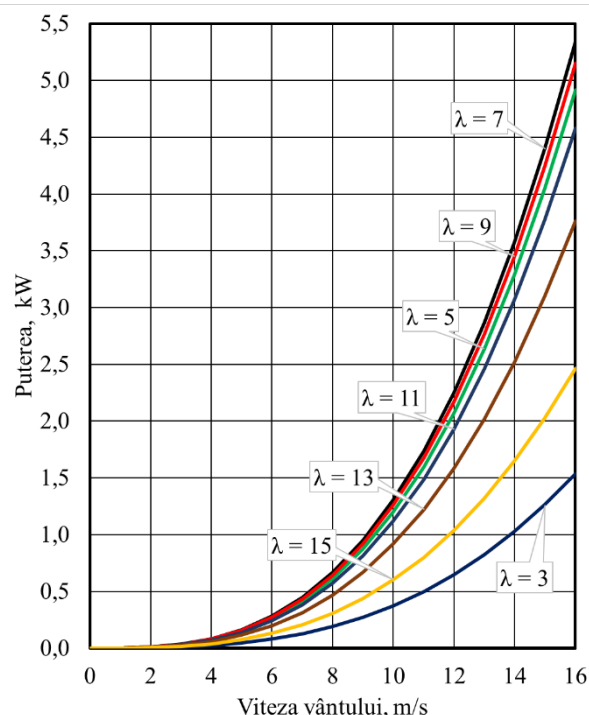


Figura 4.4. Caracteristicile $P(V, \lambda)$

5. Pentru întreaga gamă de variație a rapidității λ , cu datele obținute mai sus, s-au determinat caracteristicile $P(n, V)$ în care viteza vântului se consideră parametru (figura 4.5).
6. Curba de putere $P(V)$ s-a calculat în modul următor: pentru o valoare oarecare λ_i din figura 4.2, s-a determinat $C_p(\lambda_i)$. Cu relația (4.5), pentru viteza vântului V_i , s-a calculat puterea $P(V_i)$ sau se determină din figura 4.4 pentru valorile V_i, λ_i .

În figura 4.6 este prezentată curba de putere $P(V)$ a turbinei AeroCraft 1002H care s-a calculat în conformitate cu algoritmul prezentat mai sus. Pentru comparație se prezintă aceeași curbă de putere pentru cazul producerii energiei electrice [78].

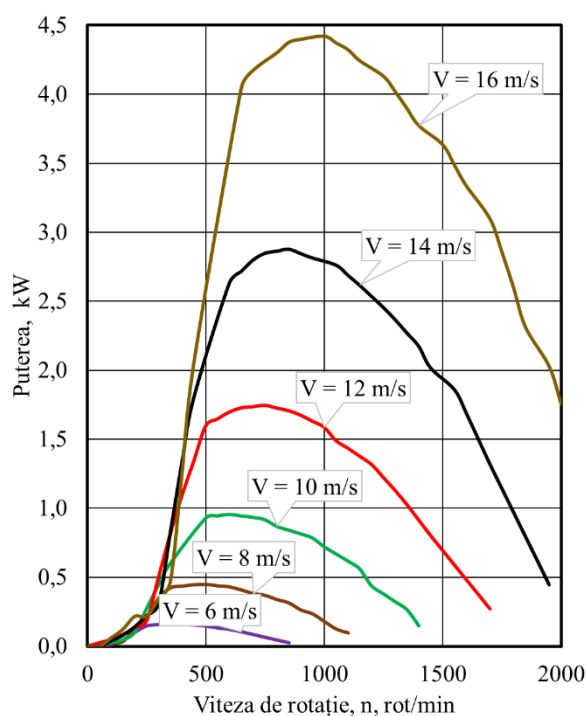


Figura 4.5. Caracteristicile turbinei $P(n, V)$

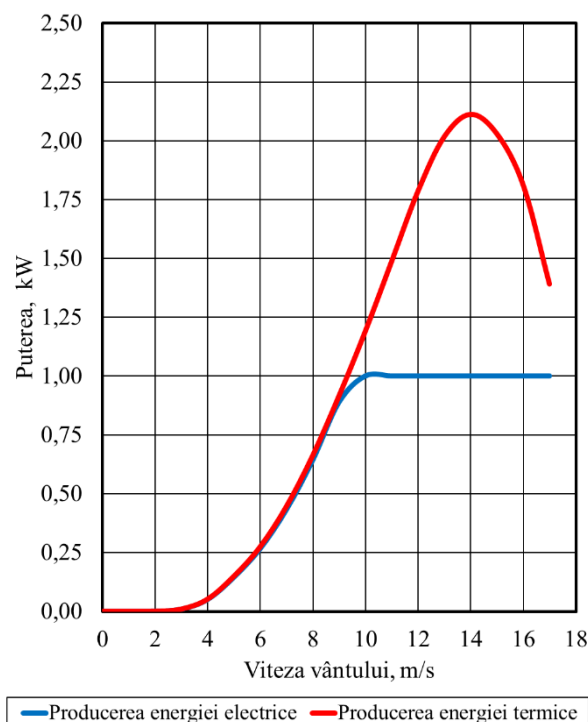


Figura 4.6. Caracteristica de putere

S-a constatat că pentru viteze ale vântului mai mari de 10 m/s, în cazul folosirii generatorului termic cu curenți turbionari pentru producerea energiei termice, crește eficiența utilizării potențialului disponibil din energia eoliană. În acest caz, generatorul termic trebuie să aibă un coeficient de suprasarcină egal cu minimum 2. Pentru producerea unui astfel de generator termic nu apar dificultăți tehnice sau economice. Acesta nu conține izolație electrică, cupru, oțel electrotehnic sau alte materiale scumpe [87, 88] și care ar limita sarcina. În figura 4.14 sunt prezentate caracteristicile $P(n, V)$ ale turbinei eoliene și caracteristica $P(n)$ a generatorului termic cu curenți turbionari. Se constată o funcționare optimală a turbinei eoliene pentru diferite viteze ale vântului.

4.3. Caracteristica de putere a termogeneratorului cu magneți permanenți

În conformitate cu literatura de specialitate în domeniul mașinilor electrice, se cunoaște faptul că în miezurile feromagnetice ale mașinii electrice, inducția magnetică este variabilă în timp și respectiv apar pierderi de energie activă, care determină încălzirea acestora, datorită curenților turbionari și fenomenului de histerezis. Aceste pierderi depind de frecvența f a curentului ce determină inducția magnetică B , de valoarea acestei inducții, de grosimea tolelor și pe proprietățile materialului feromagnetic. Dacă în cazul mașinilor electrice aceste pierderi sunt neutile, în cazul termogeneratorului cu magneți permanenți dimpotrivă, aceste pierderi magnetice, care se transformă în căldură, sunt utile. Respectiv, conform principiului de funcționare a termogeneratorului dat, s-a admis că suma pierderilor magnetice care apar în indus, poate fi considerată ca fiind puterea disipată în indusul termogeneratorului, altfel spus puterea termogeneratorului. În această ordine de idei, s-a realizat un calcul pentru determinarea pierderilor magnetice utile.

Pierderile magnetice în indus se calculează după formula [50]:

$$P_m = p_{1,0/50} \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^\beta \cdot K_{Da} \cdot B_a^2 \cdot m_a \quad (4.6)$$

unde: $p_{1,0/50}$ – sunt pierderile specifice approximate în indus;

$\beta = 1,5$ – este exponentul puterii, [50];

f – valoarea frecvenței curenților turbionari induși;

$K_{Da} = 1,6$ – este factorul ce consideră influența asupra pierderilor magnetice ale neuniformității repartizării fluxului magnetic în secțiunile sectoarelor circuitului magnetic și factorilor tehnologici [50];

B_a – valoarea medie a inducției în indus;

m_a – masa indusului.

Conform schemei constructive și principiului de funcționare a termogeneratorului dat, frecvența curenților induși variază în funcție de viteza de rotație a rotorului și se determină după expresia:

$$f = \frac{n \cdot p}{60} \quad (4.7)$$

unde: n – viteza de rotație a rotorului, *tur/min*;

$p = 9$ – numărul de perechi de poli.

Cunoscând dimensiunile geometrice ale termogeneratorului, masa totală a indusului poate fi determinată cu formula:

$$\begin{aligned} m_a &= \pi \cdot L_a \cdot 2h_i \cdot [(D_e - 3h_c - 2h_{cc}) + (D_i + 3h_c + 2h_{cc})]/2 \cdot \gamma_{Fe} = \\ &= \pi \cdot L_a \cdot 2h_i \cdot (D_e + D_i)/2 \cdot \gamma_{Fe} = \pi \cdot L_a \cdot 2h_i \cdot D_m \cdot \gamma_{Fe} = \\ &= \pi \cdot 0,283 \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot 0,2405 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 16,68 \text{ kg} \end{aligned} \quad (4.8)$$

unde: L_a – lungimea indusului, m ;

h_i – grosimea jugului indusului, m ;

D_m – diametrul mediu al inductorului, m ;

$\gamma_{Fe} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ – masa specifică a oțelului.

În tabelul 4.1 sunt prezentate, rezultatele calculului pierderilor magnetice în indus conform (4.6), și valorile puterii disipate în indus conform rezultatelor simulărilor realizate în 3.4.

Tabelul 4.1. Caracteristicile termogeneratorului: valori numerice

Viteza de rotație, $n, \text{rot/min}$	Frecvența, f, Hz	Pierderi magnetice, P_m, W	Puterea disipată, P, W
0	0	0,00	0,00
34	5	9,28	4,86
67	10	26,25	18,13
134	20	74,26	82,74
200	30	136,42	145,73
267	40	210,04	236,17
334	50	293,53	307,18
400	60	385,86	407,27
467	70	486,24	481,20
534	80	594,07	558,25
600	90	708,87	649,41

La viteza de rotație egală cu 334 rot/min , numită convențional nominală (frecvența curentului indus este egală cu 50 Hz), se generează o putere termică de $\approx 300 \text{ W}$, iar la viteza de 600 rot/min (frecvența curentului indus este egală cu 90 Hz) $\sim 700 \text{ W}$.

În figura 4.7 este prezentată în formă grafică curba pierderilor magnetice în indus și variația puterii disipate în indus. Se constată faptul că valorile sunt apropiate.

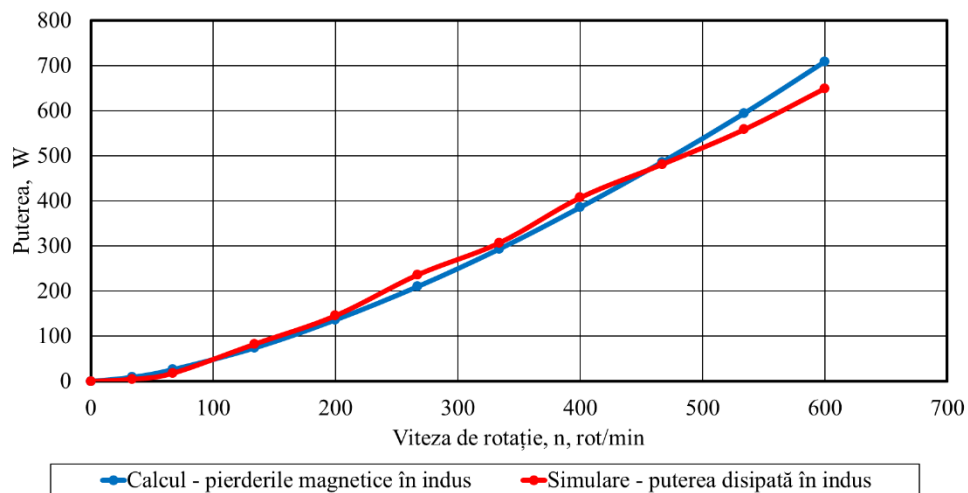


Figura 4.7. Caracteristica termogeneratorului $P(n)$.

Randamentul acestor tipuri de generatoare este aproximativ 95 %, conform rezultatelor studiilor descrise în [69, 70, 89 și 90], valori care au fost obținute pe cale experimentală. Din cauza că la această etapă a studiului, randamentul termogeneratorului nu poate fi determinat pe cale analitică, se acceptă aceeași valoare de 95 %.

4.4. Estimarea producerii energiei termice

4.4.1. Determinarea caracteristicilor vântului

Punctul de interes, pentru instalarea turbinei eoliene, a fost ales în apropiere de localitatea Măgdăcești, raionul Criuleni (figura 4.8). Coordonatele: Latitudinea: 47.135217° și Longitudinea: 28.825287° .

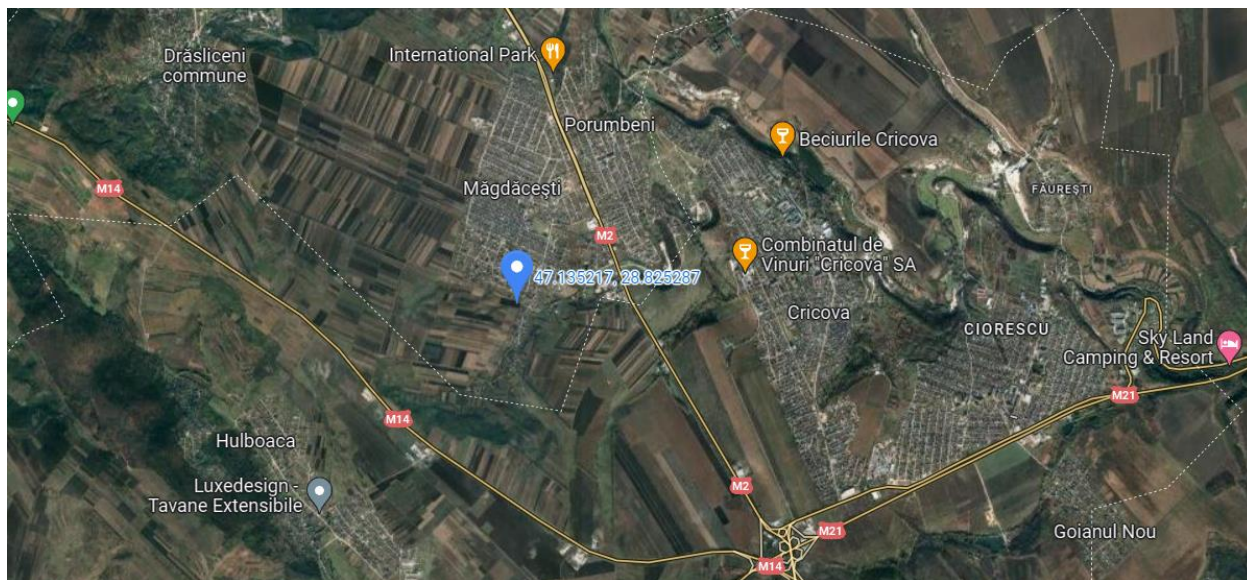


Figura 4.8. Poziționarea turbinei eoliene

Pentru determinarea caracteristicilor vântului în punctul de interes, s-au utilizat hărțile potențialului energetic eolian din capitolul 2 (Anexa 2, figurile A2.9 – A2.12). În figurile 4.9 – 4.12 sunt prezentate hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Criuleni la înălțimea de 100 și 50 m deasupra nivelului solului, în care este evidențiată zona punctului de interes [91].

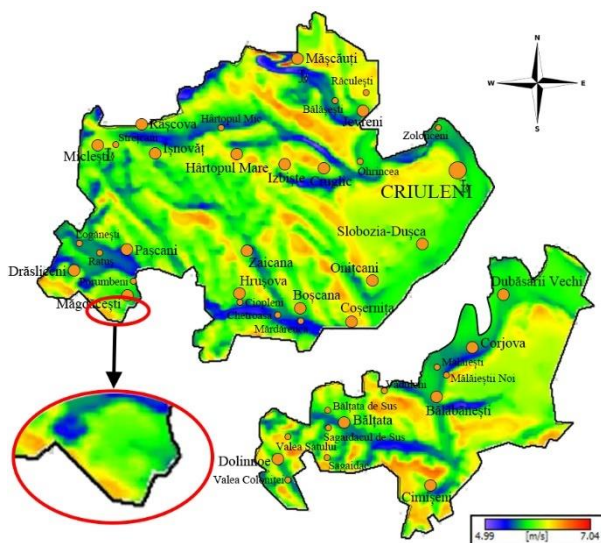


Figura 4.9. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Criuleni.

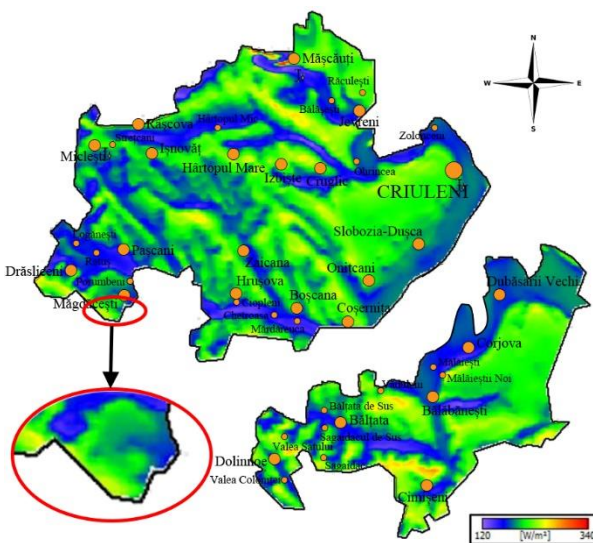


Figura 4.10. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Criuleni.

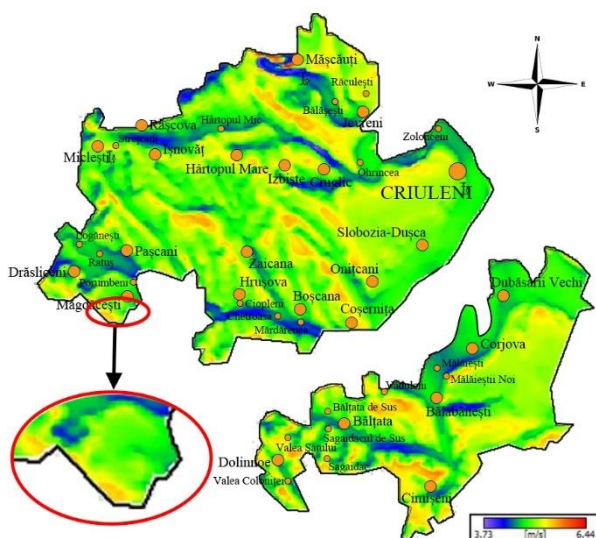


Figura 4.11. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Criuleni.

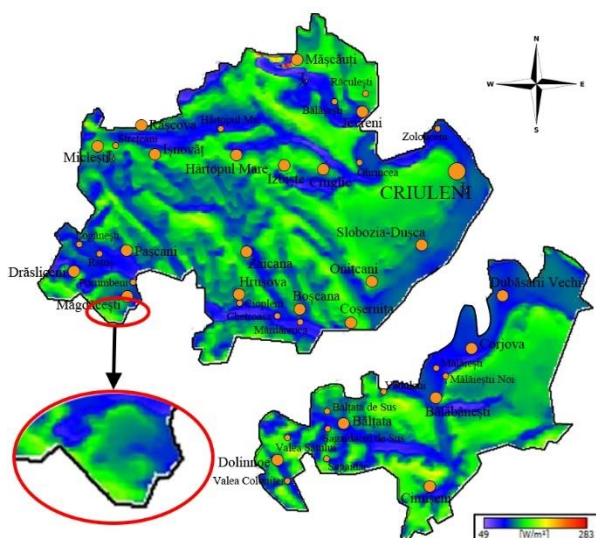


Figura 4.12. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Criuleni.

Conform hărților prezentate mai sus, pentru coordonatele turbinei, s-au determinat următoarele caracteristici ale vântului [91]:

1. Pentru înălțimea $H = 100 \text{ m}$ deasupra solului:
 - Viteza medie a vântului: $\bar{V} = 6,01 \text{ m/s}$;
 - Densitatea de putere eoliană: $p = 201,51 \text{ W/m}^2$.
2. Pentru înălțimea $H = 50 \text{ m}$ deasupra solului:
 - Viteza medie a vântului: $\bar{V} = 5,06 \text{ m/s}$;
 - Densitatea de putere eoliană: $p = 126,91 \text{ W/m}^2$.

Calculul pentru estimarea producerii energiei termice de o turbină eoliană s-a decis a fi realizat la înălțimea de 10 și 20 m deasupra nivelului solului, respectiv trebuie determinate valorile vitezei medie a vântului $\bar{V}$ și densității de putere eoliană p la înălțimea de 10 și 20 m. Mai mult decât atât, pentru realizarea calculului cantității de energie produsă de o turbine eoliană, trebuie cunoscută funcția distribuției de probabilitate a vitezei vântului $f(V_i)$ în punctul de interes. În acest caz, sunt necesari de determinat și coeficienții aproximației analitice Weibull A și k , la înălțimea respectivă.

Datele despre caracteristicile vântului determinate din hărțile potențialului energetic eolian sunt suficiente pentru a calcula toți parametrii necesari (viteza medie a vântului $\bar{V}$, densitatea de putere eoliană p și coeficienții aproximației analitice Weibull, A și k) pentru orice înălțime cuprinsă între 10 și 150 m [91].

În continuare este prezentată metoda de calcul pentru determinarea caracteristicilor vântului pentru înălțimea de 10 și 20 m în punctul de interes [91].

Mai întâi se determină viteza medie a vântului la înălțimea de 10 și 20 m. Viteza vântului depinde mult de caracterul reliefului localității date și de înălțimea de la suprafața solului. Pentru determinarea vitezei vântului la o înălțime oarecare, cel mai des se utilizează două funcții: logaritmică (4.9) [21] sau exponențială (4.10) [21, 92 – 94]:

$$V(z) = V_{z_r} \cdot \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \quad (4.9)$$

unde: $V(z)$ – viteza vântului la înălțimea z ;

z – înălțimea deasupra nivelului solului;

z_r – înălțimea de referință la care s-au efectuat măsurări;

z_0 – rugozitatea terenului.

Modelul logaritmic este determinat de valoarea lungimii rugozității suprafeței terenului z_0 . În cazul în care valoarea rugozității nu se cunoaște poate fi utilizat modelul exponențial, numit și „legea puterii profilului vântului”:

$$V(z) = V_{z_r} \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^{\alpha_v} \quad (4.10)$$

unde: α_v – exponentul de variabilitate a vitezei vântului cu înălțimea.

În cazul modelului exponențial apare problema determinării exponentului α . Conform literaturii de specialitate, s-au ales următoarele modalități pentru determinarea valorii exponentului, conform [92] relația (4.11) și conform [93] relația (4.12):

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \quad (4.11)$$

În acest caz iarăși apare necesitatea determinării valorii lungimii rugozității suprafeței terenului z_0 . O altă relație este dată în [93]:

$$\alpha = \frac{\ln(V) - \ln(V_0)}{\ln(H) - \ln(H_0)} \quad (4.12)$$

unde: V este viteza vântului la înălțimea H și V_0 este viteza vântului la înălțimea H_0 .

Pentru cazul dat este relevant de a utiliza modelul exponențial (4.10), unde valoarea exponentului este determinată cu relația (4.12):

$$\alpha_v = \frac{\ln(V_{50}) - \ln(V_{100})}{\ln(H_{50}) - \ln(H_{100})} = \frac{\ln(5,06) - \ln(6,01)}{\ln(50) - \ln(100)} = 0,2482 \quad (4.13)$$

Respectiv viteza medie a vântului la înălțimea de 10 m:

$$V(z_{10}) = u_{z_{50}} \cdot \left(\frac{z_{10}}{z_{50}}\right)^{\alpha_v} = 5,06 \cdot \left(\frac{10}{50}\right)^{0,2482} = 3,39 \text{ m/s} \quad (4.14)$$

Viteza medie a vântului la înălțimea de 20 m:

$$V(z_{20}) = V_{z_{50}} \cdot \left(\frac{z_{20}}{z_{50}}\right)^{\alpha_v} = 5,06 \cdot \left(\frac{20}{50}\right)^{0,2482} = 4,03 \text{ m/s} \quad (4.15)$$

Exponentul α depinde de caracteristica geofizică a locației respective și de valoarea vitezei medii a vântului, nu se schimbă odată cu înălțimea.

Ulterior trebuie determinate valorile densității de putere eoliană la înălțimile de 10 și 20 m.

Modelele descrise mai sus (logaritmică și exponențială) nu sunt altceva decât o metodă de extrapolare pentru determinarea profilului vântului. În acest sens, s-a acceptat aceeași formulă de calcul pentru determinarea densității de putere eoliană la diferite înălțimi (4.16) și (4.17).

$$p(z) = p_{z_r} \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^{\alpha_p} \quad (4.16)$$

unde: $p(z)$ – densitatea de putere eoliană la înălțimea z ;

z – înălțimea deasupra nivelului solului;

z_r – înălțimea de referință;

α_p – exponentul de variabilitate a densității de putere eoliană cu înălțimea.

$$\alpha_p = \frac{\ln(p) - \ln(p_0)}{\ln(H) - \ln(H_0)} \quad (4.17)$$

unde: p este densitatea de putere eoliană la înălțimea H și p_0 este densitatea de putere eoliană la înălțimea H_0 .

Respectiv:

$$\alpha_p = \frac{\ln(p_{50}) - \ln(p_{100})}{\ln(H_{50}) - \ln(H_{100})} = \frac{\ln(126,91) - \ln(201,51)}{\ln(50) - \ln(100)} = 0,6671 \quad (4.18)$$

Densitatea de putere eoliană la înălțimea 10 m:

$$p(z_{10}) = p_{z_{50}} \cdot \left(\frac{z_{10}}{z_{50}}\right)^{\alpha_p} = 126,91 \cdot \left(\frac{10}{50}\right)^{0,6672} = 43,38 \text{ W/m}^2 \quad (4.19)$$

Densitatea de putere eoliană la înălțimea 20 m:

$$p(z_{20}) = p_{z_{50}} \cdot \left(\frac{z_{20}}{z_{50}}\right)^{\alpha_p} = 126,91 \cdot \left(\frac{20}{50}\right)^{0,6672} = 68,87 \text{ W/m}^2 \quad (4.20)$$

După ce s-au calculat valorile vitezelor vântului și densității de putere eoliană la înălțimile respective, ulterior pot fi determinați și coeficienții Weibull A și k .

Cu ajutorul distribuției Weibull (4.21) poate fi determinată distribuția de probabilitate a vitezei vântului $f(V_i)$ în punctul de interes:

$$f(V) = \frac{k}{A} \cdot \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^k\right) \quad (4.21)$$

Folosind aproximarea (4.21), se poate demonstra că viteza medie a vântului $\bar{V}$ și viteza medie cubică $\bar{V}^3$, poate fi exprimă cu relațiile [94]:

$$\begin{aligned} \bar{V} &= A \cdot \Gamma\left[1 + \frac{1}{k}\right]; \\ \bar{V}^3 &= A^3 \cdot \Gamma\left[1 + \frac{3}{k}\right]; \end{aligned} \quad (4.22)$$

unde: $\Gamma[1 + 1/k]$ și $\Gamma[1 + 3/k]$ reprezintă funcțiile gama ale parametrilor respectivi.

Utilizând valorile vitezelor medii ale vântului $\bar{V}$ și $\bar{V}^3$, sistemul de ecuații (4.22) se rezolvă prin metoda grafic-analitică și se determină valorile coeficienților A și k .

Valoarea vitezei medii a vântului se determină cu formula:

$$\bar{V} = \sum_{i=0}^{\infty} \bar{V}_i \cdot f(V_i) \quad (4.23)$$

unde: $f(V_i)$ – funcția de probabilitate a vitezei vântului pentru viteza vântului V_i ;

$\bar{V}_i$ – viteza medie a vântului V_i .

Valoarea vitezei medii cubice a vântului se determină cu formula:

$$\bar{V}^3 = \sum_{i=0}^{\infty} \bar{V}_i^3 \cdot f(V_i) \quad (4.24)$$

unde: $\bar{V}_i^3$ – viteza medie cubică a vântului V_i .

Valorile vitezei medii pentru înălțimile respective s-au determinat în (4.14) și (4.15), ulterior apare necesitatea determinării valorilor vitezelor medii cubice pentru înălțimile respective.

Astfel, densitatea de putere eoliană p se determină cu formula:

$$p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \bar{V}_i^3 \cdot f(U_i) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{V}^3 \quad (4.25)$$

unde: ρ – densitatea aerului, $1,225 \text{ kg/m}^3$.

Cunoscând valorile densității de putere eoliană (4.19) și (4.20), din expresia (4.25) ușor se calculează viteza medie cubică:

$$\bar{V}^3 = \frac{p}{0,5 \cdot 1,225} \quad (4.26)$$

Respectiv, viteza medie cubică la înălțimea de 10 m:

$$\bar{V}^3(z_{10}) = \frac{p(z_{10})}{0,5 \cdot 1,225} = \frac{43,38}{0,5 \cdot 1,225} = 70,83 \text{ m}^3/\text{s}^3 \quad (4.27)$$

Viteza medie a vântului la înălțimea de 20 m:

$$\bar{V}^3(z_{20}) = \frac{p(z_{20})}{0,5 \cdot 1,225} = \frac{68,87}{0,5 \cdot 1,225} = 112,44 \text{ m}^3/\text{s}^3 \quad (4.28)$$

Sistemul de ecuații (4.22) poate fi transformat în (4.29), din care ulterior se determină valorile coeficienților A și k :

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\bar{V}}{\Gamma \left[1 + \frac{1}{k} \right]}; \\ A &= \sqrt[3]{\frac{\bar{V}^3}{\Gamma \left[1 + \frac{3}{k} \right]}}; \end{aligned} \right\} \quad (4.29)$$

Sistemul de ecuații (4.29) se rezolvă astfel: mai întâi se efectuează calculul funcției $A = f(k)$ pentru fiecare ecuație și apoi se determină soluția sistemului de ecuații. Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 4.2 și în figura 4.13 sunt prezentate graficele funcției $A = f(k)$.

Tabelul 4.2. Rezultatele calculelor funcției $A = f(k)$

$H = 10 \text{ m}$			$H = 20 \text{ m}$		
k	$\frac{\bar{V}_{10}}{r \left[1 + \frac{1}{k} \right]}$	$\sqrt[3]{\frac{\bar{V}_{10}^3}{r \left[1 + \frac{3}{k} \right]}}$	k	$\frac{\bar{V}_{20}}{r \left[1 + \frac{1}{k} \right]}$	$\sqrt[3]{\frac{\bar{V}_{20}^3}{r \left[1 + \frac{3}{k} \right]}}$
2,5185	3,8200	4,0119	2,5185	4,5412	4,6806
2,4496	3,8225	3,9874	2,4496	4,5442	4,6520
2,3808	3,8247	3,9608	2,3808	4,5467	4,6209
2,3119	3,8263	3,9317	2,3119	4,5487	4,5870
2,2431	3,8274	3,9001	2,2431	4,5500	4,5500
2,1742	3,8279	3,8654	2,1742	4,5506	4,5097
2,1054	3,8276	3,8276	2,1054	4,5502	4,4656
2,0365	3,8263	3,7862	2,0365	4,5487	4,4172
1,9677	3,8239	3,7408	1,9677	4,5459	4,3642
1,8988	3,8202	3,6909	1,8988	4,5415	4,3060

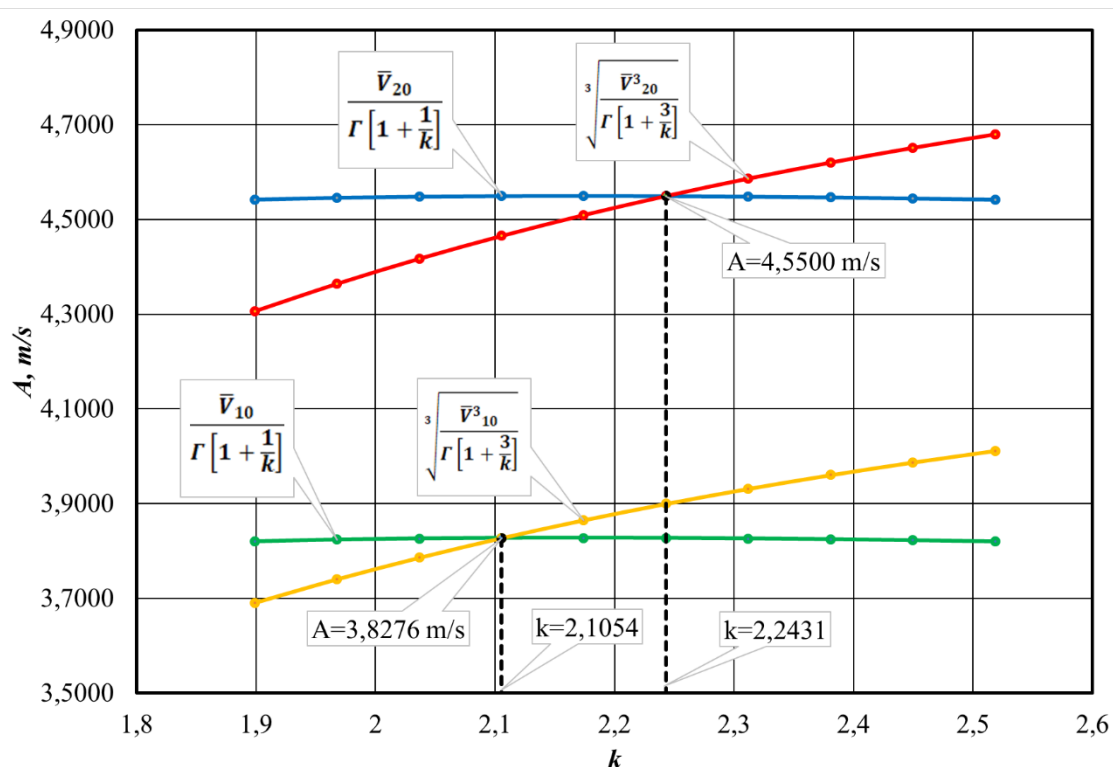


Figura 4.13. Calculul grafic-analitic al coeficienților A și k .

În tabelul 4.3 sunt prezentate caracteristicile vântului determinate pentru punctul de interes la înălțimea de 10 și 20 m.

Tabelul 4.3. Valorile vitezei medii $\bar{V}$, densității de putere p și coeficienților Weibull A și k

Denumirea	$H = 10 \text{ m}$	$H = 20 \text{ m}$
Viteza medie a vântului $\bar{V}$	$\bar{V} = 3,39 \text{ m/s}$	$\bar{V} = 4,03 \text{ m/s}$
Densitatea de putere eoliană p	$p = 43,37 \text{ W/m}^2$	$p = 68,87 \text{ W/m}^2$
Coeficientul Weibull A	$A = 3,83 \text{ m/s}$	$A = 4,55 \text{ m/s}$
Coeficientul Weibull k	$k = 2,1054$	$k = 2,2431$

4.4.2. Calculul producției de energie termică

Pentru calculul producerii cantității anuale de energie termică sunt necesare următoarele date de intrare: caracteristica de putere a turbinei eoliene $P(V)$ și funcția distribuției de probabilitate a vitezei vântului, $f(V)$. Ultima poate fi calculată cu funcția Weibull pentru care s-au determinat coeficienții A și k pentru înălțimile 10 și 20 m. În figura 4.14 sunt prezentate caracteristicile $P(n, V)$ ale turbinei eoliene și caracteristica $P_m(n)$ a generatorului termic cu curenți turbionari și în figura 4.15 este prezentată caracteristica $P(V)$ a turbinei eoliene de mică putere AeroCraft 1002H: diametrul rotorului $D = 2,4 \text{ m}$, puterea nominală $P = 1 \text{ kW}$, viteza vântului $V = 9 \text{ m/s}$ [78] pentru cazul în care turbina este dotată cu un generator termic.

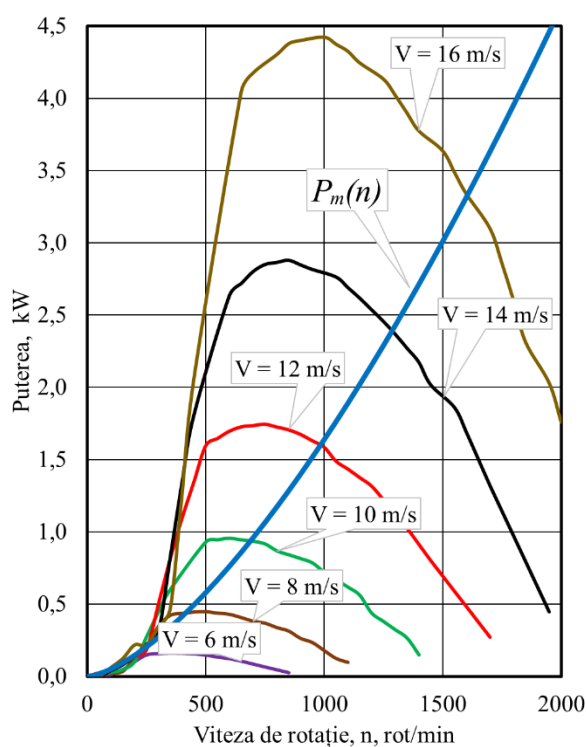


Figura 4.14. Caracteristicile turbinei $P(n, V)$ și a termogeneratorului $P_m(n)$

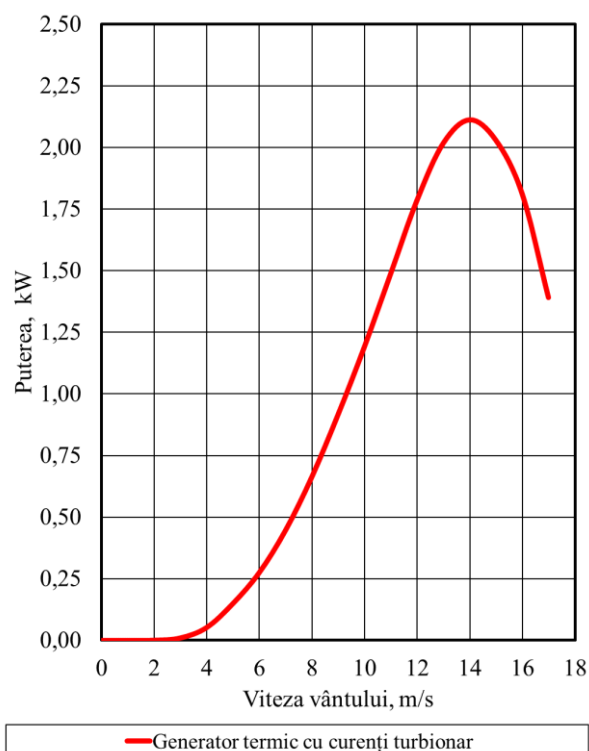


Figura 4.15. Caracteristica de putere $P(V)$ a turbinei eoliene

În tabelul 4.4 este prezentată caracteristica de putere a turbinei eoliene pentru cazul în care turbina este dotată cu un generator termic.

Tabelul 4.4. Caracteristica de putere $P(V)$ a turbinei eoliene

V	m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P(V)$	W	0,04	0,81	10,11	52,67	149,97	275,43	447,26	663,66	917,07
V	m/s	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$P(V)$	W	1191,48	1488,50	1785,96	2017,44	2112,20	2029,33	1811,39	1391,29	723,96

Cu ajutorul distribuției Weibull (4.21), cunoscând valorile coeficienților A și k , determinați pentru punctul de interes la înălțimile respective, s-a calculat distribuția de probabilitate a vitezei vântului $f(V_i)$ în punctul de interes pentru înălțimea 10 și 20 m. În tabelele 4.5 – 4.6 sunt prezentate valorile numerice ale funcției densitate de probabilitate a vitezei vântului. Pentru valori mai mari de 14 m/s, $f(V_i)$ este foarte mică și se neglijează. Din punctul de vedere a climatologiei vântului aceasta semnifică că în punctul de interes, la înălțimile respective, vânturile cu viteze mai mari de 14 m/s se atestă extrem de rar. În figurile 4.16 – 4.17 sunt prezentate distribuțiile Weibull.

Tabelul 4.5. Rezultatele calculului funcției $f(V_i)$, $H = 10$ m

V_i	m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(V_i)$	%	11,74	20,78	23,08	19,28	12,79	6,89	3,05	1,11	0,34
V_i	m/s	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$f(V_i)$	%	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00				

Tabelul 4.6. Rezultatele calculului funcției $f(V_i)$, $H = 20$ m

V_i	m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(V_i)$	%	7,25	15,15	19,83	19,86	16,11	10,83	6,08	2,87	1,14
V_i	m/s	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$f(V_i)$	%	0,38	0,11	0,02	0,00	0,00				

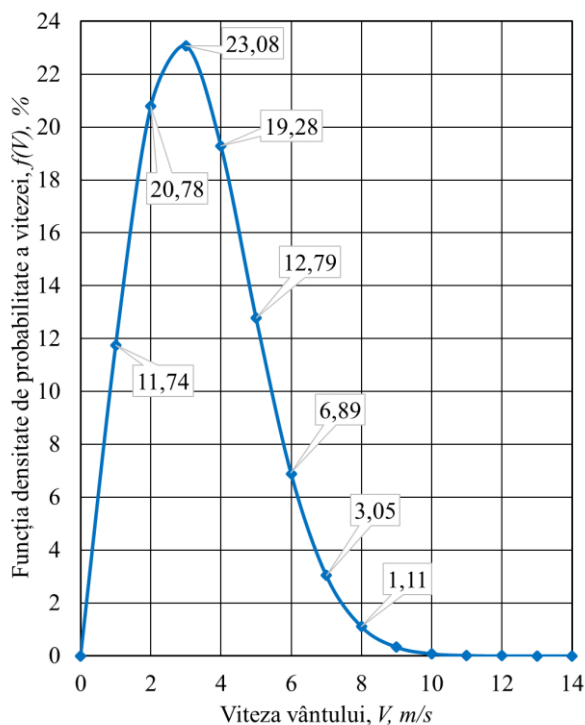


Figura 4.16. Distribuția Weibull a funcției de probabilitate a vitezei vântului, $H = 10$ m

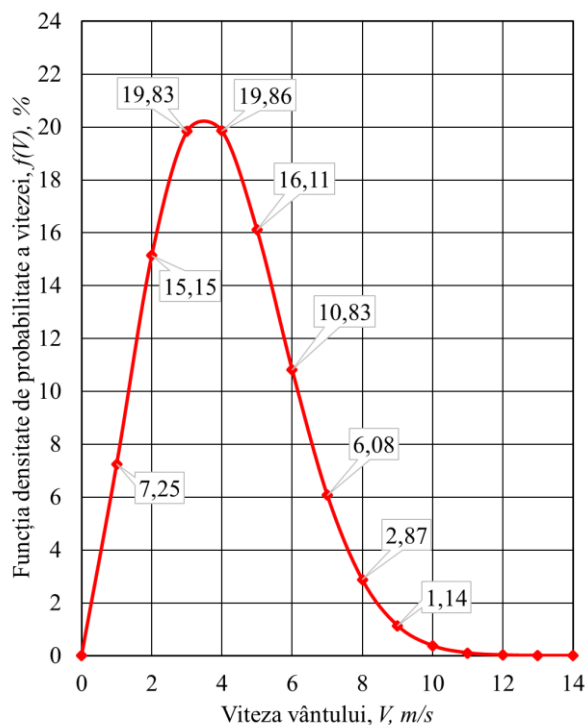


Figura 4.17. Distribuția Weibull a funcției de probabilitate a vitezei vântului, $H = 20$ m

Producția anuală de energie termică se calculează cu formula:

$$ET = T_{an} \cdot \eta \cdot \sum_{i=1}^{V_{max}} f(V_i) \cdot P(V_i) \quad (4.30)$$

unde: $T_{an} = 8760 \text{ h}$ – numărul de ore într-un an;

$\eta = 95 \%$ – randamentul termogeneratorului;

$f(V_i)$ – probabilitatea vitezei vântului V_i ;

$P(V_i)$ – puterea mecanică a turbinei la viteza vântului V_i .

La înălțimea $H = 10 \text{ m}$, cu distribuția $f(V)$ din tabelul 4.5 și caracteristica de putere $P(V)$ pentru turbina eoliană din tabelul 4.4, substituind valorile în (4.30), se obține producția anuală de energie termică:

$$ET_{an} = 8760 \cdot 0,95 \cdot 76,23 = 634354,24 \text{ Wh} = 634,35 \text{ kWh} \quad (4.31)$$

La înălțimea $H = 20 \text{ m}$, cu distribuția $f(V)$ din tabelul 4.6 și caracteristica de putere $P(V)$ pentru turbina eoliană din tabelul 4.4, substituind valorile în (4.30), se obține:

$$ET_{an} = 8760 \cdot 0,95 \cdot 129,85 = 1080630,69 \text{ Wh} = 1080,63 \text{ kWh} \quad (4.32)$$

Evident, la o înălțime mai mare deasupra nivelului solului caracteristicile vântului sunt mai bune și respectiv cantitatea de energie produsă de turbină este mai mare. Pentru punctul de interes ales, producția de energie termică a crescut cu 70 % la înălțimea de 20 m în comparație cu producția la înălțimea de 10 m.

Analizând datele din capitolul 1 cu privire la necesarul de energie pentru prepararea apei caldă menajeră în funcție de dotări (tabelul 1.6), în condițiile punctului de interes ales, în apropiere de localitatea Măgdăcești, raionul Criuleni, conform calculelor producerii de energie termică pentru turbina eoliană de mică putere, s-au constatat următoarele:

- Cantitatea de energie termică produsă de o turbină eoliană instalată la înălțimea de 10 m, ar asigura necesarul anual de energie a unei gospodării dotate cu sistem de alimentare cu apă potabilă, fără sistem de canalizare, fără closet, fără cadă de baie sau duș pentru o persoană (660,65 kWh) practic integral sau parțial pentru două persoane;
- În același timp, dacă turbina ar fi instalată la înălțimea de 20 m, în acest caz cantitatea de energie termică produsă, ar asigura necesarul de energie a unei gospodării dotate deja cu sistem de alimentare cu apă potabilă, fără sistem de canalizare, dotate cu closet, lavoare, cu cadă de baie mică sau duș pentru o persoană (828,55 kWh) integral sau parțial pentru două persoane.

Concluzii la capitolul 4

În baza studiului realizat s-au constatat următoarele:

3. Consumul de resurse energetice a Republicii Moldova este favorabil pentru producerea energiei termice, inclusiv prin conversia directă a energiei eoliene în energie termică, fapt care duce la utilizarea eficientă a potențialului energetic eolian.
4. În punctul de interes ales, în apropiere de localitatea Măgdăcești, raionul Criuleni, conform hărților potențialului energetic eolian la înălțimea de 50 m, viteza medie a vântului este de 5,06 m/s, iar la înălțimea de 100 m – 6,01 m/s. În baza datelor hărților potențialului energetic eolian s-au calculat caracteristicile vântului la înălțimea de 10 și 20 m. Astfel, la înălțimea de 10 m, viteza medie a vântului este de 3,39 m/s, iar la înălțimea de 20 m – 4,03 m/s.
5. În baza caracteristicilor vântului, determinate la înălțimile respective, s-a realizat calculul de producere de energie termică de o turbină eoliană cu termogenerator cu magneți permanenți. Respectiv, la înălțimea de 10 m, cantitatea anuală de energie termică produsă ar fi de 634,35 kWh și la înălțimea de 20 m – 1080,63 kWh. S-a constatat faptul că producerea anuală de energie termică a crescut cu 70 % la înălțimea de 20 m în comparație cu producția la înălțimea de 10 m.
6. În locația de amplasare aleasă, o turbină eoliană de mică putere dotată cu un termogenerator cu magneți permanenți, ar asigura 100 % din necesarul de energie pentru prepararea apei calde menajere a unei gospodării individuale pentru o persoană sau 50 % din necesar pentru două persoane, în dependență de dotarea gospodăriei și înălțimea de instalare a turbinei.
7. În conformitate cu rezultatele calculului caracteristicii de putere a termogeneratorului elaborat, s-a constatat că la viteza de rotație a rotorului egală cu 334 rot/min, numită convențional nominală (frecvența curentului indus este egală cu 50 Hz), se generează o putere termică de $\approx 300\text{ W}$, iar la viteza de 600 rot/min (frecvența curentului indus este egală cu 90 Hz) $\sim 700\text{ W}$. În același timp, din cauza că la această etapă a studiului, randamentul termogeneratorului nu poate fi determinat pe cale analitică, în acest caz se acceptă randamentul egal cu 95 %, conform rezultatelor studiilor [69, 70, 89 și 90] în care s-a obținut randamentul la așa tip de generatoare pe cale experimentală.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. Capacitățile totale instalate de SRE la nivel național prezintă o dinamică pozitivă pe parcursul ultimilor ani, însă până când insuficientă, având în vedere faptul că producția de e-SRE pentru anul 2022 a constituit 196,237 GWh sau 4,8 % din consumul total de energie electrică, subcapitolul 1.3. Totodată, în baza studiului, s-a constatat faptul că în sectorul rural circa 77,6 % din locuințe nu dispun de sisteme de încălzire a apei menajere, fapt care impune gospodăriile rurale de a utiliza alte surse, fosile cel mai des, pentru asigurarea cu energie termică inclusiv pentru prepararea apei calde menajere, paragraful 1.4.3. În acest context, este actual dezvoltarea unui nou domeniu – conversia directă a energiei eoliene în energie termică și respectiv utilizarea generatoarelor termice cu magneți permanenți acționate de turbine eoliene care ar contribui la rezolvarea unei problemei sociale importante-asigurarea cu apă caldă a populației din sectorul rural și va contribui la sporirea valorificării potențialului eolian.
2. Astfel, devine necesar realizarea studiului pentru determinarea potențialului energetic eolian disponibil la nivel local, pentru aprecierea capacităților teoretice posibile de instalat, pentru producerea energiei termice, cât și pentru producerea energiei electrice. Studiul este realizat pentru unitățile administrativ – teritoriale de nivelul doi (raioane), pentru care s-au elaborat hărțile potențialului energetic eolian ale vitezei medii a vântului și densității de putere eoliană la înălțimile de 50 și 100 m, capitolul 2. Respectiv s-a efectuat clasificarea teritoriului fiecărui raion în funcție de valoarea densității de putere în limitele de la 150 W/m^2 până la 400 W/m^2 la înălțimea de 100 m și s-a calculat puterea eoliană teoretică posibil de instalat, anexele 1 – 3. Astfel, conform rezultatelor obținute, s-au constatat următoarele:
 - în ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 W/m^2 și 400 W/m^2 a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, cea mai mare putere în RDN ar putea fi instalată în raionul Sângerei – 144 MW, anexa A1.10; în RDC în raionul Nisporeni – 76 MW, anexa A2.7, și în RDS în raionul Cimișlia – 172 MW, anexa A3.5. De menționat faptul că puterea totală teoretică este în dependență de suprafața raionului respectiv – cu cât suprafața este mai mare cu atât puterea instalată va fi mai mare;
 - pentru raioanele din nordul și sudul țării densitatea de putere eoliană posibil de instalat este 5 MW/km^2 , anexele 1 – 2, iar pentru raioanele din centru aceasta diferă și este cuprinsă între 3,2 (Strășeni) și $4,9 \text{ MW/km}^2$ (Anenii Noi), anexa 3;

- cele mai mari viteze medii anuale ale vântului la înălțimea de 100 m deasupra nivelului solului sunt cuprinse între 7,4 la nord și centru și 7,1 m/s la sud, anexele 1-3.
3. În scopul valorificării potențialului eolian dar și pentru îmbunătățirea situației în sectorul rural în ceea ce privește alimentarea cu apă caldă s-a propus o soluție tehnică nouă - conversia directă a energiei eoliene în energie termică. În acest scop s-a propus o soluție tehnică brevetată – *Generator termic eolian cu curenți turbionari*, anexa 7. Trăsăturile distinctive ale soluției tehnice propuse este randamentul mai mare de 95 %, construcție simplă și fiabilă, nu sunt necesare materiale scumpe, cu excepția magneților permanenți necesari pentru generatorul termic, care sunt încă costisitori, subcapitolul 3.1.
 4. S-au elaborat diferite modele constructive ale termogeneratorului cu magneți permanenți și s-au efectuat un șir de calcule și simulări în software specializat SOLIDWORKS Electromagnetic Simulation pentru determinarea caracteristicilor unui termogenerator de mică putere, capitolul 3. Astfel, s-au efectuat studii pentru determinarea caracteristicilor câmpului magnetic generat de magneții permanenți cu scopul final de determinare a temperaturilor cilindrelor indusului în funcție de viteza de rotație a rotorului. S-a constatat faptul că temperatura crește odată cu creșterea turațiilor și s-a obținut temperatura indusului de 97,1 °C la viteza rotorului de 600 *rot/min*, paragraful 3.4.6.
 5. Totodată, s-au realizat simulări și în SOLIDWORKS Flow Simulation, pentru diferite variante constructive ale termogeneratorului cu privire la studiul circulației fluxului de lichid caloportor prin cămășile termogeneratorului pentru determinarea unei construcții optime în care circulația lichidului este mai uniformă și în care suprafața activă de lucru pe suprafața cămășilor ar fi cea mai mare. Astfel, s-a determinat o variantă optimală - modelul constructiv cu admisie direcționată la conectarea cămășilor atât în serie cât și în paralel. În acest caz circulația lichidului caloportor este mai uniformă, respectiv și încălzirea lichidului este mai uniformă, suprafața activă de lucru în termogenerator este maximă. În baza acestor rezultate s-a determinat și temperaturile lichidului caloportor în conducta de refulare în funcție de debitul lichidului, concluzia fiind aceeași, temperaturile sunt cele mai mari, datorită faptului că suprafața activă de lucru este de circa două ori mai mare, subcapitolul 3.5.
 6. În cadrul simulărilor s-a analizat și variația presiunii necesare în conducta de admisie în scopul menținerii debitului necesar al lichidului pentru fiecare model constructiv. Aceste date vor servi pentru calculul caracteristicilor necesare a pompei de circulație, care va asigura un debit constant prestabilit al lichidului prin cămășile termogeneratorului, paragraful 3.5.4.

7. S-a constatat că modelul constructiv al termogeneratorului cu admisie direcționată generează un flux termic util de două – trei ori mai mare comparativ cu celelalte modele, subcapitolul 3.6.
8. Menționăm faptul că se atestă un efect pozitiv asupra caracteristicilor termice ale termogeneratorului în rezultatul montării spiralelor din foaie de metal în cămășile termogeneratorului pentru direcționarea fluxului de lichid caloportor – valorile temperaturii lichidului caloportor în conducta de refulare sunt cu peste 70 % mai mari față de celelalte cazuri, paragraful 3.5.3.
9. Rezultatele științifice obținute în teză și care se referă la studiul potențialului energetic eolian și caracteristicilor termogeneratorului cu magneți permanenți precum și la estimarea producerii de energie termică sunt valabile pentru orice punct și înălțime deasupra nivelului solului și vor servi ca suport pentru autoritățile publice locale în luarea deciziilor privind politica energetică la nivel local. Ca exemplu, prezentăm rezultatele obținute pentru punctul de interes din apropierea de localitatea Măgdăcești, raionul Criuleni. S-au obținut următoarele rezultate:
 - în baza datelor hărților potențialului energetic eolian s-au calculat caracteristicile vântului la înălțimea de 10 și 20 m. Astfel, la înălțimea de 10 m, viteza medie a vântului este de 3,39 m/s, iar la înălțimea de 20 m – 4,03 m/s, paragraful 4.4.1;
 - conform metodei de calcul al caracteristicilor vântului propuse, s-au determinat și coeficienții distribuției Weibull, necesari pentru realizarea calculului și estimarea producerii de energie de o turbină eoliană. Astfel, pentru înălțimea de 10 m – coeficientul Weibull A este de 3,83 m/s și k egal cu 2,1054; pentru înălțimea de 20 m coeficientul Weibull A este de 4,55 m/s și k egal cu 2,2431, paragraful 4.4.1;
 - în baza caracteristicilor vântului, determinate la înălțimile respective, s-a realizat calculul producerii de energie termică de o turbină eoliană cu termogenerator cu magneți permanenți. Respectiv, la înălțimea de 10 m, cantitatea anuală de energie termică produsă ar fi de 634,35 kWh și la înălțimea de 20 m – 1080,63 kWh. S-a constatat faptul că producerea de energie termică a crescut cu 70 % la înălțimea de 20 m în comparație cu producția la înălțimea de 10 m, paragraful 4.4.2;
 - termogeneratorul studiat, conform calculelor, are o putere convențional nominală de $\approx 300\text{ W}$ (frecvența curentului indus este egală cu 50 Hz), iar la o viteză de 600 rot/min (frecvența curentului indus este egală cu 90 Hz) $\sim 700\text{ W}$, subcapitolul 4.3.

Recomandări – subiecte de cercetare pe viitor.

1. În baza hărților potențialului energetic eolian prezentate în lucrare pentru unitățile administrativ-teritoriale de nivelul doi (raioane) și metodei de calcul propuse pentru determinarea caracteristicilor vântului pentru înălțimi cuprinse între 10 și 150 m, poate fi elaborată o platformă interactivă online despre potențialul energetic eolian al Republicii Moldova.
2. Elaborarea și confecționarea unui sistem compus dintr-o turbină eoliană de mică putere cu ax orizontal sau vertical și termogeneratorul cu magneți permanenți pentru încercări experimentale de laborator și în condiții reale de lucru.

BIBLIOGRAFIE

1. *Atmospheric CO₂ concentration*, [online], 2023, [accesat 20.03.2023]. Disponibil: <https://www.co2.earth/daily-co2>.
2. *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, [online], 2023, [accesat 20.03.2023]. Disponibil: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>.
3. *FUTURE OF WIND*, [online], 2019, [accesat 27.05.2020]. Disponibil: <https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>.
4. *GLOBAL WIND REPORT 2023*, [online], 2023, [accesat 30.03.2023]. Disponibil: <https://gwec.net/globalwindreport2023/>.
5. *Global landscape of renewable energy finance 2023*, [online], 2023, [accesat 30.03.2023]. Disponibil: <https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-landscape-of-renewable-energy-finance-2023>.
6. *Raport privind activitatea ANRE în anul 2022*, [online], 2023, [accesat 30.09.2023]. Disponibil: <https://anre.md/raport-de-activitate-3-10>.
7. *Consumul de energie în gospodăriile casnice*, [online], 2016, [accesat 21.03.2019]. Disponibil: https://statistica.gov.md/public/files/publicatii_electronice/Consum_energie_gospoda/Consum_energie.pdf.
8. **MANGOS, Octavian.** *Perspectiva utilizării energiei electrice și termice eoliene la nivel național*. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, aprilie 2020/ Universitatea Tehnică a Moldovei - Chișinău: Tehnica-UTM, 2020 – ISBN 978-9975-45-633-3, Vol. I, pp.53-56. Disponibil <https://utm.md/wp-content/uploads/2020/05/UTM-CTS-SMD-2020-Volumul-I.pdf>.
9. *Regulament Igienic „Cerințe privind proiectarea, construcția și exploatarea apeductelor de apă potabilă”*, Chișinău, [online], 1995, [accesat 17.06.2021]. Disponibil: <http://amac.md/Biblioteca/data/30/03/01.02.1.pdf>.
10. *Regulamentul de organizare și funcționare a serviciilor publice de alimentare cu apă și de canalizare din municipiul, Chișinău*, [online], 2008, [accesat 17.06.2021]. Disponibil: <https://www.chisinau.md/download.php?file=cHVibGljL3B1YmxpY2F0aW9ucy85Njc0MDhfbWRfcmVndWxhbWVudHVsX2FjLnBkZg%3D%3D>.
11. Dzintars Grasmanis, Normunds Talcis, Aldis Grekis, *Heat consumption assessment of the domestic hot water systems in the apartment buildings*, Proceedings of REHVA Annual Conference 2015 “Advanced HVAC and Natural Gas Technologies” Riga, Latvia, May 6 – 9, [online], 2015, [accesat 16.06.2021]. Disponibil: <https://www.researchgate.net/>

- [publication/270175216 Heat Consumption Assessment of the Domestic Hot Water Systems in the Apartment Buildings.](#)
12. Wa'el A., Hussiena, Fayyaz, A., Memon, Dragan, A., Savic. *An integrated model to evaluate water-energy-food nexus at a household scale*, Environmental Modelling & Software, vol. 93, p. 366-380, [online], 2017, [accesat 15.06.2021]. Disponibil: <https://www.science direct.com/science/article/pii/S1364815216306594?via%3Dihub>.
 13. Banca de date statistice Moldova „Dotarea locuințelor pe Regiuni statistice, Comodități și Ani”, [online], 2019, [accesat 20.06.2021]. Disponibil: http://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/60%20Statistica%20regionala/60%20Statistica%20regionala_04%20NIV/NIV041400reg.px/table/tableViewLayout1/?rxid=2345d98a-890b-4459-bb1f-9b565f99b3b9.
 14. Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova „Aspecte privind nivelul de trai al populației în 2019”, Chișinău, [online], 2019, [accesat 20.06.2021]. Disponibil: https://statistica.gov.md/public/files/publicatii_electronice/aspecte_nivelul_trai/Aspecte_nivelul_trai_2019.pdf.
 15. Banca de date statistice Moldova „Dotarea locuințelor pe Comodități, Ani și Medii”, [online], 2019, [accesat 20.06.2021]. Disponibil: http://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/30%20Statistica%20sociala/30%20Statistica%20sociala_04%20NIV_04%20NIV%202019_NIV040/NIV041300.px/table/tableViewLayout1/?rxid=2345d98a-890b-4459-bb1f-9b565f99b3b9.
 16. Cod practic în construcții, CP G.04.11:2017, „Instalații termice, de ventilare și condiționare a aerului. Metodologia de calcul a pierderilor de căldură, a consumului neînregistrat de apă caldă, a pierderilor de apă caldă în sistemele comunale de alimentare cu apă caldă menajeră. Partea 2. Calculul pierderilor de căldură în sistemele comunale de alimentare cu apă caldă menajeră”, Chișinău, [online], 2017, [accesat 20.06.2021]. Disponibil: http://www.particip.gov.md/public/documente/130/ro_4545_CP-G.04.11.2017.pdf.
 17. Normativ în construcții, NCM M.01.02:2016, „Performanța energetică a clădirilor. Metodologia de calcul al performanței energetice a clădirilor”, Chișinău, [online], 2016 [accesat 18.06.2021]. Disponibil: <http://old.mdrc.gov.md/public/files/vmdrc2015/croitoru/16012017/NCMMETODOLOGIACALCULPERFORMANTAENERGETICAPN.pdf>.
 18. Normativ în construcții, NCM G.03.03:2015 „Instalații interioare de alimentare cu apă și canalizare”, Chișinău, [online], 2015 [accesat 18.06.2021]. Disponibil: <http://amac.md/Biblioteca/data/05/disk/Norme/1.NGM.pdf>.

19. *Standard moldovean, SM EN 12831-3:2018, „Performanta energetica a clădirilor. Metodă de calcul al sarcinii termice de dimensionare. Partea 3: Necesarul de căldură pentru prepararea apei calde de consum și caracterizarea necesarului, Modulele M8-2, M8-3”*, 2018.
20. **MANGOS, Octavian.** „Evaluarea consumului de energie în gospodării pentru încălzirea apei calde menajere”. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 23 – 25 martie 2021/ Universitatea Tehnică a Moldovei - Chișinău: Tehnica-UTM, 2021 – ISBN 978-9975-45-700-2, Vol. I, pp.146-149, Disponibil: <https://utm.md/wp-content/uploads/2021/06/Culegere-Vol-I-Conf-tinerilor-UTM 2021.pdf>.
21. SOBOR, Ion. *Atlasul Resurselor Energetice Eoliene al Republicii Moldova* / Ion Sobor, Andrei Chiciuc, Vasile Rachier, Univ. Tehn. a Moldovei, AWS Truepower SL (Spania), Wind Power Energy SRL (România). – Chișinău:-176 p. Bibliogr.: p.175-176 (32 tit.). – ISBN 978-9975-87-215-7.
22. *Studiul potențialului energetic eolian și solar al Republicii Moldova și elaborarea sistemelor de conversie pentru consumatori dispersați*. Program de stat nr. 20.80009.7007.10. Disponibil: <http://cris.utm.md/cris/project/pj00064>.
23. **MANGOS, Octavian**, RACHIER, Vasile, SOBOR, Ion, CAZAC, Vadim. *Regarding the characteristics of the wind in northern region districts of the Republic of Moldova*. Journal of Engineering Science. TUM. ISSN 2587-3474. e-ISSN 2587-3482. CZU 551.55:504.3(478). Vol. XXIX, no. 1 (2022), pp. 121 – 129. Disponibil: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(1\).11](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(1).11).
24. TODOS, Petru, SOBOR, Ion, UNGUREANU, Dumitru, CHICIUC, Andrei, PLEȘCA, Mihai. *Energia Regenerabilă. Studiu de fezabilitate*. Ministerul Ecologiei, Construcțiilor și Dezvoltării Teritoriului. PNUD Moldova. Chișinău – 2002. 158 p. ISBN-997-9581-3-3.
25. **MANGOS, Octavian**, RACHIER, Vasile, SOBOR, Ion, CAZAC, Vadim. *Wind energy potential and wind characteristics for the districts of the central development region of the Republic of Moldova*. Journal of Social Sciences. TUM. ISSN 2587-3490. E-ISSN 2587-3504. Vol. VI, no. 4 (2022), pp. 100 – 118.
Disponibil: [https://doi.org/10.52326/jss.utm.2022.5\(4\).08](https://doi.org/10.52326/jss.utm.2022.5(4).08).
26. *Regiunea de Dezvoltare Nord (Republica Moldova)*, [online], 2023 [accesat 03.04.2023].
Disponibil: https://ro.wikipedia.org/wiki/Regiunea_de_Dezvoltare_Nord.
27. RACHIER, Vasile, **MANGOS, Octavian**, SOBOR, Ion, CHICIUC, Andrei. „*Potențialul Energetic Eolian al Republicii Moldova*”, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea

- Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică. – Chișinău: S.n., 2023 (Bons Offices). – 275 p. ISBN 978-5-36241-124-4.
28. *Regiunea de Dezvoltare Centru (Republica Moldova)*, [online], 2023 [accesat 03.04.2023]. Disponibil: https://ro.wikipedia.org/wiki/Regiunea_de_Dezvoltare_Centru.
 29. *Regiunea de Dezvoltare Sud (Republica Moldova)*, [online], 2023 [accesat 03.04.2023]. Disponibil: https://ro.wikipedia.org/wiki/Regiunea_de_Dezvoltare_Sud.
 30. RACHIER, Vasile, **MANGOS, Octavian**, SOBOR, Ion. *The Southern Development Region of the Republic of Moldova in context of the wind energy potential*. 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Craiova, Romania, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290830.
 31. CARBON ZERO LIMITED. *Heat Generator*. Inventor: NANGLE, Douglas. 22 December 2011. Appl: 15 June 2011. Int.Cl: H05B 6/108. WIPO 2011158030.
 32. Nippon Steel Corporation. *Eddy current type heating device*. Inventor: YAMAGUCHI, Hiroyuki, SETO, Atsushi. 13 September 2017. Appl: 05 November 2015. Int.Cl: H05B6/109. EP 3217521.
 33. Nippon Steel & Sumimoto Metal Corporation. *Eddy current heat generating apparatus*. Inventor: IMANISHI, Kenji, SETO, Atsushi. 01 Feb. 2018. Appl: 23 Feb. 2016. Int.Cl: H05B6/108. US Patent 20180035493.
 34. Nippon Steel & Sumimoto Metal Corporation. *Eddy current heat generating apparatus*. Inventor: YAMAGUCHI, Hiroyuki, SETO, Atsushi. 30 June. 2020. Appl: 11 May. 2015. Int.Cl: H05B6/109. US Patent 10701768.
 35. *Echivalentul mecanic al caloriei*. [online], 2021, [accesat 12.11.2021]. Disponibil: https://ro.wikipedia.org/wiki/Echivalentul_mecanic_al_caloriei.
 36. Horst, Stöcker, Francis, Jundt, Georges, Guillaume. *Toute la physique*. Dunod, Paris.- 1999. ISBN 2 10 003942 3.
 37. Curenți Foucault. [online], 2021, [accesat 12.11.2021]. Disponibil: https://ro.wikipedia.org/wiki/Curen%C8%9Bi_Foucault.
 38. John, E., Knecht. *Wind driven heating system*. Int. Cl. F22B 3/06, Jan. 4, 1983. US Patent nr. 4366779.
 39. Roustiam, Chakirov, Yuriy, Vagapov, *Direct Conversion of Wind Energy into Heat Using Joule Machine*, 4th Int. Conference on Environmental and Computer Science (ICECS 2011), vol.19 (2011) IACSIT Press, Singapore, [online], 2011, [accesat 14.11.2021]. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/265796144_Direct_conversion_of_wind_energy_into_heat_using_Joule_machine.

40. Mohammad, O.A., Othman, Mansour, I., Abbadi. *Wind-driven eddy current water heater*. Int. Cl. F24H 1/20, Feb. 8, 1989. UK Patent Application GB nr. 2 207739 A.
41. **MANGOS, Octavian**, CIUPERCĂ, Rodion, SOBOR, Ion. *Generator termic eolian cu curenți turbionari*. Brevet de invenție 4815 (13) B1, F03D 9/00; H05B 6/02; F24H 1/10. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit A2020 0068. Data depozit 26.08.2020. Publicat 31.07.2022.
42. **MANGOS, Octavian**, CIUPERCĂ, Rodion, SOBOR, Ion. *Generator termic eolian cu curenți turbionari*. Book of abstracts of the VIth International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV), July, 10 – 12, 2022, Suceava, Romania. ISSN 2821 – 7543, ISSN-L 2821 – 7543. No. 6/2022, pp. 27 – 29. Disponibil: <https://ice-usv44.webnode.ro/copie-a-current-edition/>.
43. GOLOVANOV, N., ȘORA, I., CANTEMIR, L., MOGOREANU, N. *Electrotermie și Electrotehnologii*. Vol. I. Editura Tehnică, București, 1997. IBSN: 973-31-1144-9.
44. TIMOTIN, A., HORTIPAN, V., MASTERO, S. *Lecții de bazele electrotehnicii*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964, 487 p.
45. ORFEUIL, M. *Electrothermie industrielle. Four et équipements electrothermiques industrielle*. Editure Dunod, Paris, 1987.
46. TUTOVAN, Vasile. *Electricitate și magnetism*. Vol. 1. Editura Tehnică, București, 1984. 396 p.
47. COMȘA, D. *Instalații electrotermice industriale*. Editura Tehnică, București, 1986.
48. UNDUREANU, M. *L'analyse de chauffage par induction électrique des pieces cylindriques*. Conference Internationale d'Electrothermie, Sibiu, Roumanie, 1991.
49. TOURAINE, A. *Electrothermie. Chauffage par induction electromagnetique. Technique de l'ingénieur*. Fasc. D828 și D829, EdF.
50. AMBROS, T. *Proiectarea mașinilor electrice*. Editura „Tehnica-UTM”, Chișinău 2017.
51. AMBROS, T. *Mașini Electrice. Volumul I. Transformatoare și Mașini Asincrone*. Editura „Tehnica-UTM”, Chișinău 2016. IBSN: 978-9975-45-452-0. 528 p.
52. AMBROS, T. *Mașini Electrice. Volumul II. Mașini Sincrone și de Curent Continuu. Procese Tranzitorii*. Editura „Tehnica-UTM”, Chișinău 2017. IBSN: 978-9975-45-484-1. 387 p.
53. LUPI, S. *Fundamentals of electroheat: Electrical technologies for process heating*. Springer International Publishing Switzerland, 2017. [online], 2022, [accesat 21.10.2022]. ISBN 978-3-319-46014-7, DOI 10.1007/978-3-319-46015-4, Disponibil: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-46015-4.pdf>.

54. *Finite element method*. [online], 2022, [accesat 25.11.2022]. Disponibil: https://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_method.
55. Eugenio, Oñate. *Structural Analysis with the Finite Element Method*. Linear Statics Volume 1: Basis and Solids. Springer Dordrecht. [online], 2009, [accesat 25.11.2022]. ISBN 978-90-481-7971-8, DOI 10.1007/978-1-4020-8733-2, Disponibil: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4020-8733-2.pdf>.
56. Yongtao, Lyu. *Finite Element Method Element Solutions*. Springer Singapore. 2022. [online], 2022, [accesat 25.11.2022]. ISBN 978-981-19-3362-2, DOI 10.1007/978-981-19-3363-9, Disponibil: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-46015-4>.
57. *Caracteristicile magnetului permanent tip N55*. [online], 2022, [accesat 28.11.2022]. Disponibil: <https://www.arnoldmagnetics.com/wp-content/uploads/2017/11/N55-151021>.
58. *What You Can Do in SOLIDWORKS Flow Simulation*. [online], 2021, [accesat 12.11.2021]. Disponibil: https://help.solidworks.com/2020/english/SolidWorks/flopress/r_what_do_flow_simulation.htm.
59. ȚÂRULESCU, Radu, MIHAI, CRĂCIUN, Ovidiu. *Elemente de mecanica fluidelor și unele aplicații practice*. Editura Universității Transilvania din Brașov, [online], 2009, [accesat 14.11.2021]. ISBN:978-973-598-665-0 Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/275582338_Elemente_de_mecanica_fluidelor_si_unele_aplicatii_practice.
60. PĂDUREAN, Ioan. *Mecanica fluidelor mașini și acționari hidraulice fundamente teoretice aplicații*. Editura Eurostampa, Timișoara, 2012.
61. FLORESCU, Iulian. *Mecanica fluidelor. Note de curs*. Editura ALMA MATER, Bacău, 2007.
62. **MANGOS, Octavian**. *Study of the Circulation of Heat Transfer Fluid in the Permanent Magnets Thermogenerator*. Proceedings of the 13-th International Conference on Electromechanical and Energy Systems SIELMEN-2021. 7-8 October 2021 Iași-Chișinău, ISBN 978-1-6654-0078-7, pp. 538-542. DOI: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600357.
63. **MANGOS, Octavian**, SOBOR, Ion, CAZAC, Vadim, BURDUNIUC, Marcel. *Study of the pressure and distribution of heat transfer fluid in the thermogenerator with permanent magnets and eddy currents*. Conferința Națională de Acționări Electrice CNAE-2022. 12-13 mai 2022, Timișoara. ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. ISSN: 1584 - 2665 [print]; ISSN: 1584 - 2673 [online]. Tome XX [2022] Fascicule 3 [2022], pp. 37 – 40. Disponibil: <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2022/ANNALS-2022-3-04.pdf>.

64. *Termodinamica instalațiilor frigorifice și a pompelor de căldură*. [online], 2022, [accesat 12.03.2022]. Disponibil: http://www.termo.utcluj.ro/pdf/08instalatii_frigorifice.pdf.
65. *Transferul de căldură. Forme de transfer de căldură*. [online], 2022, [accesat 12.03.2022]. Disponibil: <http://vlab.unitbv.ro/tt/T11.pdf>.
66. *Convection Heat Coefficient*. [online], 2022, [accesat 12.03.2022]. Disponibil: https://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/cworks/c_Convection.htm?verRedirect=1.
67. **MANGOS, Octavian**. *Analysis of heat flows in the eddy current wind generator*. The 3th International Conference On Electrical Engineering And Systems (ICEES). 21 – 23 September 2022, Reșița, Romania. ISSN-v online: 2734-7680, ISSN-L: 2734-7680 VOL.67, No.1, 2022. pp. 85-92; Disponibil: <https://doi.org/10.24193/subbeng.2022.1.8>.
68. BADEA, Adrian, NECULA, Horia, STAN, Mihaela, IONESCU, Loghin, BLAGA, Petre, DARIE, George. *Echipamente și instalații termice*. Editura Tehnică, București, 2003. ISBN: 973-31-2183-5.
69. SOBOR, Ion, RACHIER, Vasile, CHICIUC, Andrei, CIUPERCĂ, Rodion. „Small wind energy system with permanent magnet eddy current heater”, Bulletin of the polytechnic institute of Iasi, Tome LIX (LXIII), Fasc. 4 2013, [online], 2013, [accesat 10.11.2021]. Disponibil: http://www.bulipi-eee.tuiasi.ro/archive/2013/fasc.4/p12_f4_2013.pdf.
70. SOBOR, Ion, CHICIUC, Andrei, CIUPERCĂ, Rodion, RACHIER, Vasile. „Conversion of the wind energy into heat”, Proceedings of the 9 th International Conference on Electromechanical and Power Systems SIELMEN 2013, October 2013, Chisinau, ISBN 978-606-13-1560-4.
71. *Balanța energetică a Republicii Moldova. Ediția 2022*. Biroul National de Statistică al Republicii Moldova. Chișinău. – 2022. [online], 2023, [accesat 19.03.2023]. Disponibil: https://statistica.gov.md/files/files/publicatii_electronice/balanta_energetica/Balanta_energetica_editia_2022_rom.pdf.
72. *Urban Wind Turbines Technology Review: A Companion Text to the Catalogue of European Urban Wind Turbine Manufacturers*. [online], 2023, [accesat 19.03.2023]. Disponibil: www.urbanwind.net.
73. Tony, Burton et all. *Wind Energy Handbook*. John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
74. Erich, Hau. „Wind Turbines” Springer Berlin, Heidelberg, 2013. ISBN 978-3-642-27151-9 [online], 2005, [accesat 20.03.2023]. Disponibil: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-27151-9>.

75. Thomas, Ackermann. „*Wind Power in Power Systems*”. John Wiley & Sons, Ltd. 2005. ISBN: 978-0-470-012-680. [online], 2005, [accesat 20.03.2023]. Disponibil: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0470012684>.
76. SOBOR, Ion, CARAGHIAUR, Diana, NOSADZE, Șota. *Surse Regenerabile de Energie. Curs de prelegeri*. Ministerul Educației și Tineretului. Universitatea Tehnică a Moldovei. Chișinău – 2006. 380 p. ISBN – 978-9975-45-020-1.
77. BOSTAN, Ion, DULGHERU, Valeriu, SOBOR, Ion, BOSTAN, Viorel, SOCHIREAN, Anatolie. *Sistem de conversie a energiilor regenerabile*. Universitatea Tehnică a Moldovei. „Tehnica-Info” Chișinău – 2006. 592 p. ISBN – 978-995-63-076-4.
78. *Wind Turbine AeroCraft 1002H*. Technical Data. [online], 2023, [accesat 15.03.2023]. Disponibil: http://www.aerocraft.de/downloads/AeroCraft-Systems_gb.pdf.
79. SOBOR, I., CHICIUC, A., CIUPERCĂ, Rodion, RACHIER, Vasile. „*Concerning the Conversion Efficiency Increase of the Available Wind Potential*”. Annals of the university of Craiova - Electrical Engineering Series, 2011. 35(35). ISSN: 1842-4805. pp. 122-127.
80. Francisco, M., Gonzalez-Longatt, Omar, Amaya, Marco, Cooz, Luis, Duran. *Dynamic Behavior of Constant Speed WT based on Induction Generator Directly connect to Grid*. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional, VENEZUELA. [online], 2007, [accesat 14.03.2023]. Disponibil: <https://www.fglongatt.org/OLD/Articulos/A2007-03.pdf>.
81. Anish, John Paul. *A Comparative Analysis of the Two-Bladed and the Three-Bladed Wind Turbine for Offshore Wind Farms*. Technical University of Delft Faculty of Aerospace Engineering – Section Wind Energy. [online], 2010, [accesat 16.03.2023]. Disponibil: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:89a04724-2a02-4f43-8c0d-e42afcb989d1/datastream/OBJ/download>.
82. Nwosu, C.M., Ogbuka, C.U., Odeh, C.I., Oti, S.E. „*Available Power versus Harvested Power in Wind and Solar Energy Systems*”. Proceedings of 3rd African Conference 15th - 21st July 2018 at the University of Nigeria, Nsukka. pp. 1-11. [online], 2018, [accesat 18.03.2023]. Disponibil: <https://www.researchgate.net/publication/327803132>.
83. Miguel, Carpintero-Renteria, David, Santos-Martin, Andrew, Lent, Carlos, Ramos. „*Wind turbine power coefficient models based on neural networks and polynomial fitting*” IET Renew. Power Gener., 2020, Vol. 14 Iss. 11, pp. 1841-1849. [online], 2020, [accesat 18.03.2023]. Disponibil: <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2019.1162>.

84. Slah, H., Mehdi, D., Lassaad, S. *Advanced Control of a PMSG Wind Turbine*. International Journal of Modern Nonlinear Theory and Application, 5, 1-10. [online], 2016, [accesat 15.03.2023]. Disponibil: <http://dx.doi.org/10.4236/ijmnta.2016.51001>.
85. González-Hernández, José, Genaro, Rubén, Salas-Cabrera. „Representation and estimation of the power coefficient in wind energy conversion systems” Revista Facultad de Ingeniería vol. 28 (50), pp. 77-90. [online], 2019, [accesat 15.03.2023]. Disponibil: <https://doi.org/10.19053/01211129.V28.N50.2019.8816>.
86. Muhando, E. B., Senjyu, T., Uehara, A., Funabashi, T., Kim, C.H. „LQG Design for Megawatt-Class WECS With DFIG Based on Functional Models' Fidelity Prerequisites” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 24, no. 4, pp. 893-904. [online], 2009, [accesat 15.03.2023]. Disponibil: <http://dx.doi.org/10.1109/TEC.2009.2025338>.
87. Xiaohong, Liu et all. *The Study of The Heat Device in Wind-Magnetic Water Heater*, Advanced Materials Research. Vol. 201-203, 2011, pp. 460-464.
88. Dirba1, I., Kleperis, J. *Practical Application of Eddy Currents Generated by Wind*. Annual Conference on Functional Materials and Nanotechnologies – FM&NT, 2011, Series: Materials Science and Engineering 23, pp. 1-5.
89. Khanjari, A., Kang, S., Lee, D., Jung, D.-Y., Lee, J.-H. „Studying Four Different Permanent Magnet Eddy Currents Heaters with Different Magnet Areas and Numbers to Produce Heat Directly from a Vertical Axis Wind Turbine”. Energies 2022, 15, 275. [online], 2022, [accesat 10.03.2023]. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/en15010275>.
90. Khanjari, A., Kang, S., Lee, S-I., Lee, J-H., Kim, Y-S. „Direct heat energy harvesting from wind by a permanent magnet eddy currents heater with different magnet arrangements”. Energy Sci Eng. 2022; 1-23. [online], 2022, [accesat 10.03.2023]. Disponibil: <https://doi:10.1002/ese3.1324>.
91. **MANGOS, Octavian**, RACHIER, Vasile, SOBOR, Ion. *Determination of Wind Characteristics for Different Heights Based on Digital Maps of the Wind Potential of the Republic of Moldova*. 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Craiova, Romania, 2023, pp. 1-4 doi: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290830.
92. *Wind shear exponents*. [online], 2023, [accesat 25.03.2023]. Disponibil: https://www.wasp.dk/support/faq#weng_wind-shear-exponents.
93. F. Baelos-Ruedas, C. Angeles-Camacho, and Sebastin, “Methodologies Used in the Extrapolation of Wind Speed Data at Different Heights and Its Impact in the Wind Energy

- Resource Assessment in a Region*” Wind Farm - Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment, Jun. 2011, doi: 10.5772/20669.
94. AMBROS, Tudor, ARION, Valentin, GUȚU, Aurel, SOBOR, Ion, TODOS, Petru, UNGUREANU, Dumitru. *Surse Regenerabile de Energie*. Editura „Tehnica-Info” Chișinău – 1999. 434 p. ISBN – 9975-910-79-3.
95. Efstathios, E., (Stathis) Michaelides, *Alternative Energy Sources*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012 - ISBN 978-3-642-20950-5.
96. Matos, C., Briga-Sá, A., , Bentes, I., Faria, D., Pereira, S. *In situ evaluation of water and energy consumptions at the end use level: The influence of flow reducers and temperature in baths*, Science of the Total Environment, vol. 586, p.536–541, [online], 2017, [accesat 15.06.2021]. Disponibil: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717302504?via%3Dihub>.

ANEXE

Anexa 1. Regiunea de Dezvoltare Nord. Identificarea amplasamentelor cu potențial favorabil [27]

A1.1. Potențialul energetic eolian al raionului Briceni

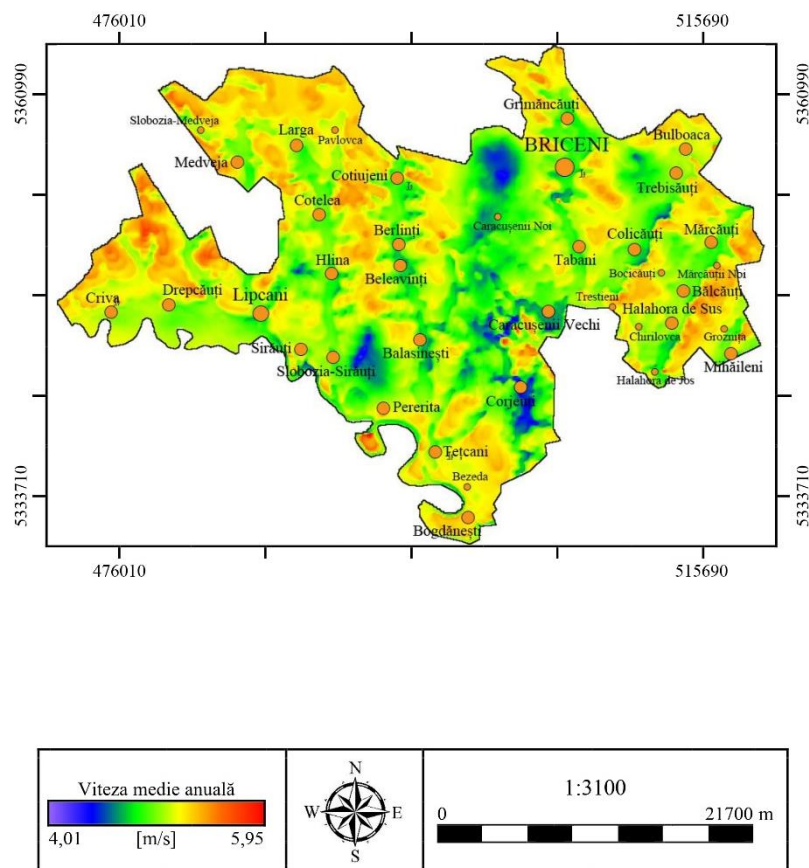
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Briceni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.1 – A1.4. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt locațiile situate la nord de localitatea Drepcăuți lângă hotarul cu Ucraina și dealurile la sud-est de localitatea Bălcăuți. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 5,95 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 186 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 6,61 m/s și densitatea de putere eoliană de 305 W/m². În tabelul A1.1 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.1. Clasificarea teritoriului raionului Briceni
în funcție de valoarea densității de putere**

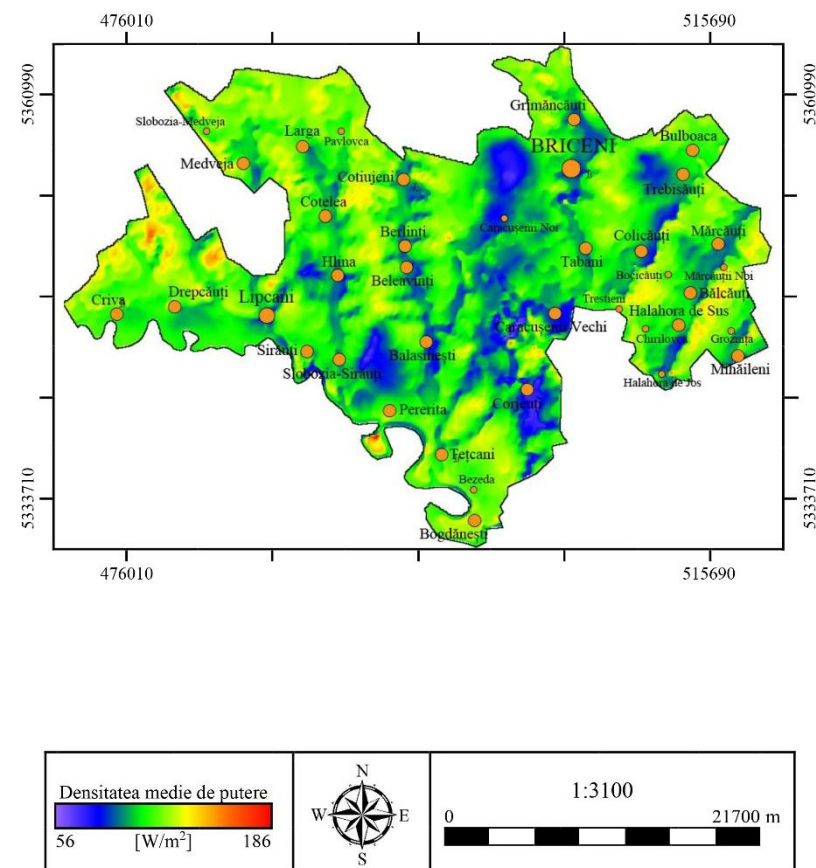
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	8802	64857	4813	2	0	78474	99,97%
Aria, km ²	88,02	648,57	48,13	0,02	0	784,74	99,97%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	440,1	3242,85	240,65	0,1	0	3923	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Practic toată suprafața raionului sau 784,74 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m², (tabelul A1.1);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 3924 MW.



**Figura A1.1. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Briceni**



**Figura A1.2. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Briceni**

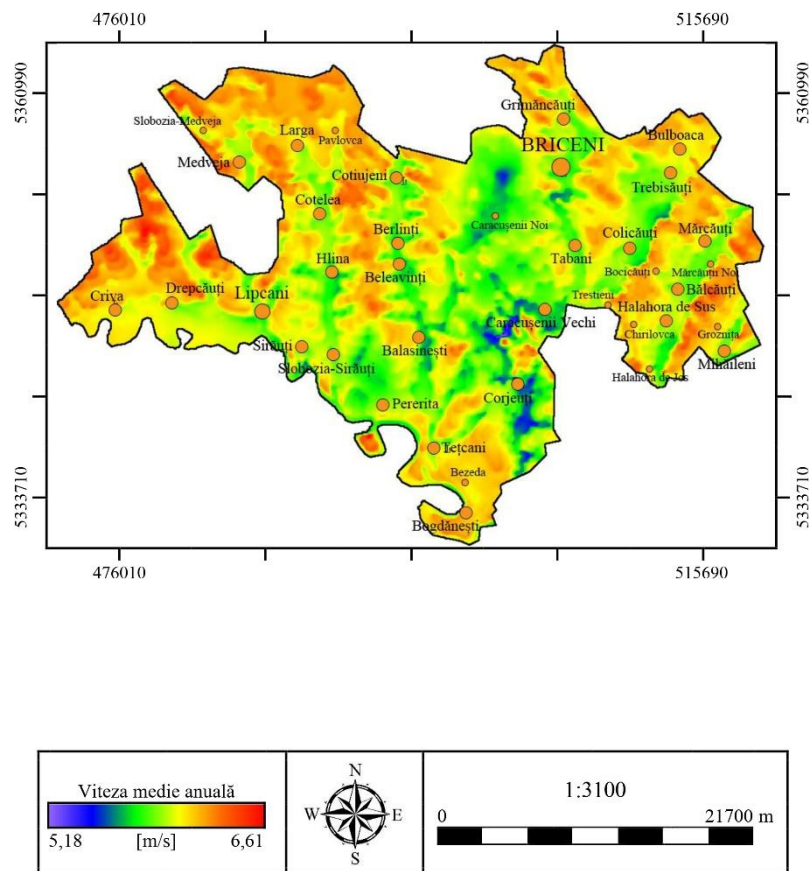


Figura A1.3. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Briceni

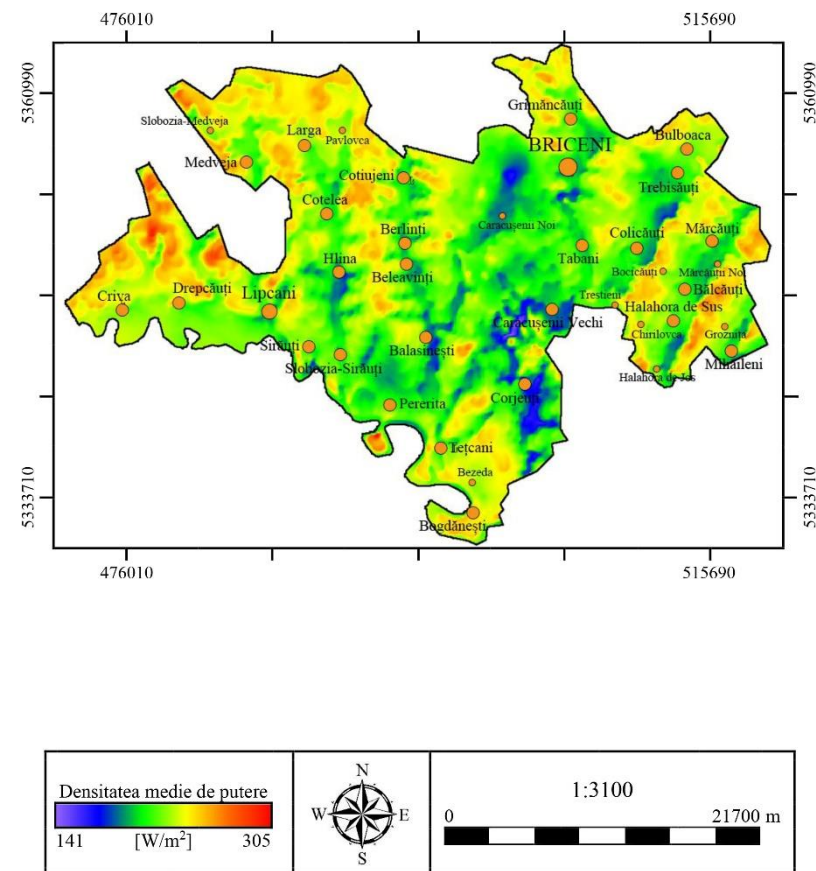


Figura A1.4. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Briceni

A1.2. Potențialul energetic eolian al raionului Edineț

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Edineț la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.5 – A1.8. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt locațiile situate în centrul raionului, la est de localitatea Bleșteni, și la sud-vest lângă localitățile Hâncăuți și Corpaci. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 5,79 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 165 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 6,57 m/s și densitatea de putere eoliană de 289 W/m². În tabelul A1.2 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.2. Clasificarea teritoriului raionului Edineț
în funcție de valoarea densității de putere**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	7963	75323	10043	0	0	93329	99,92%
Aria, km ²	79,63	753,23	100,43	0	0	933,29	99,92%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	398,15	3765,15	502,15	0	0	4665,45	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Practic toată suprafața raionului sau 933,29 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 300 W/m² (tabelul A1.2);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 4665 MW.

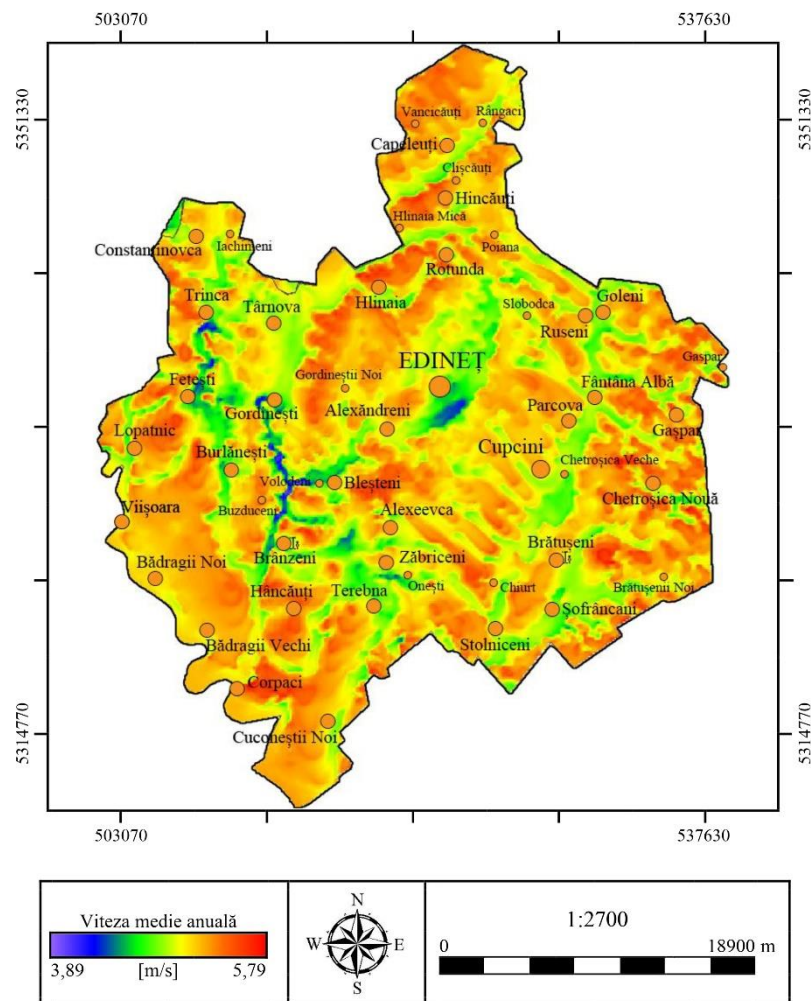


Figura A1.5. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Edineț

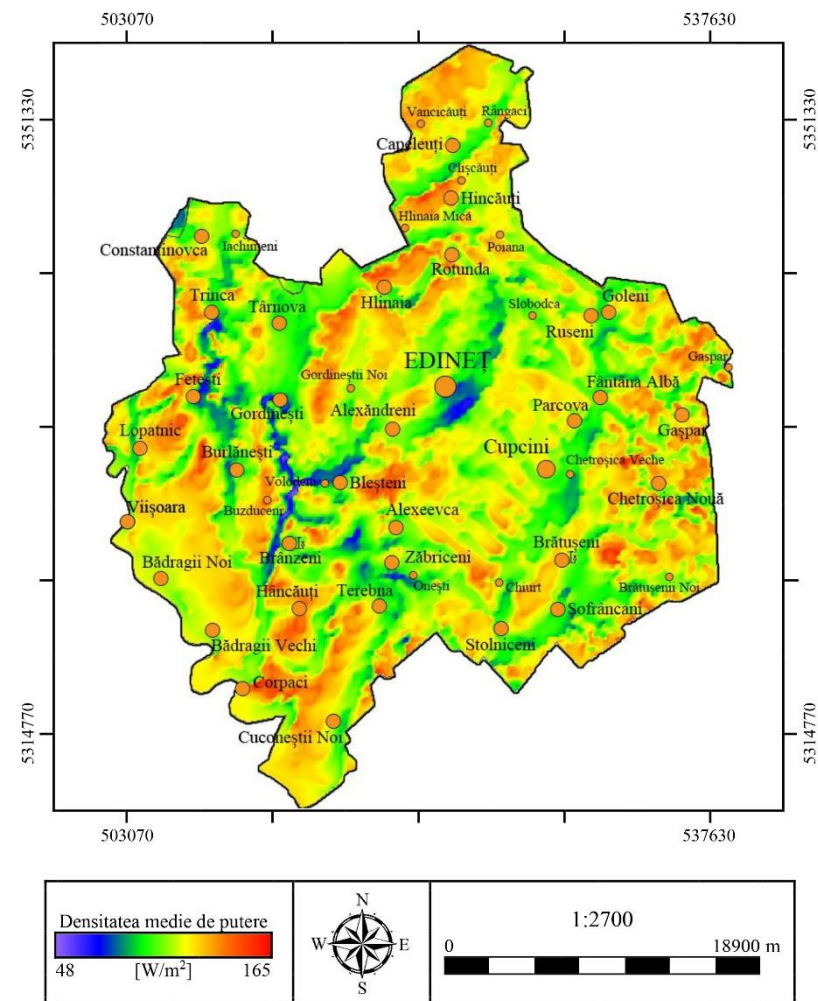


Figura A1.6. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Edineț

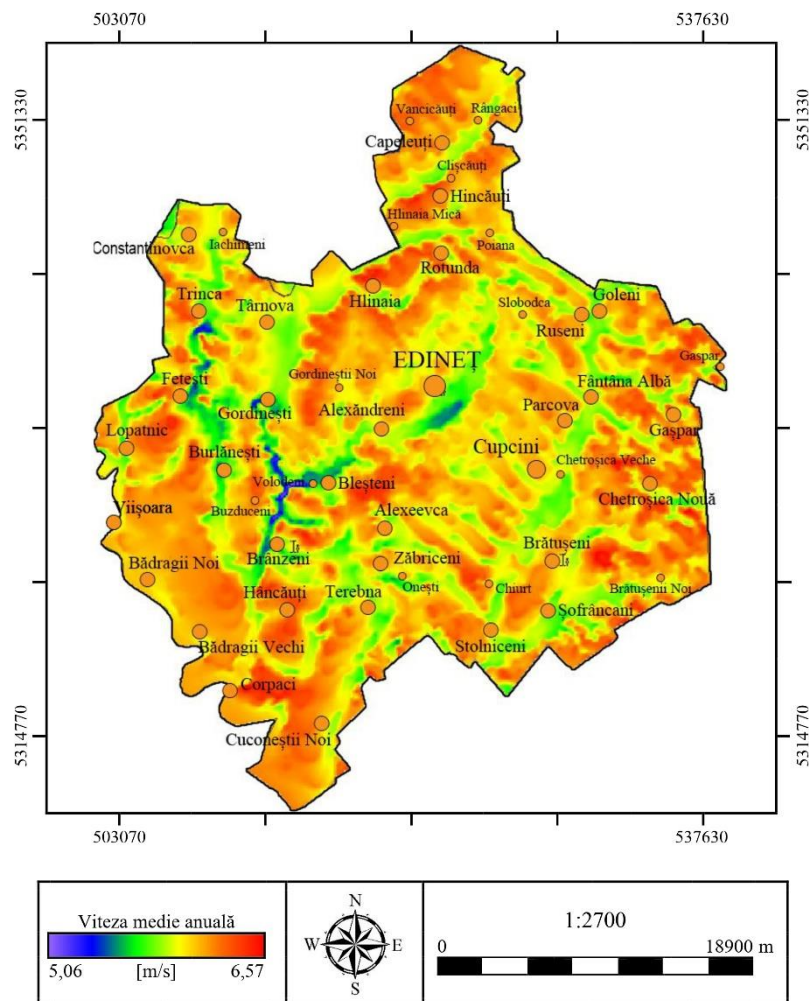


Figura A1.7. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Edineț

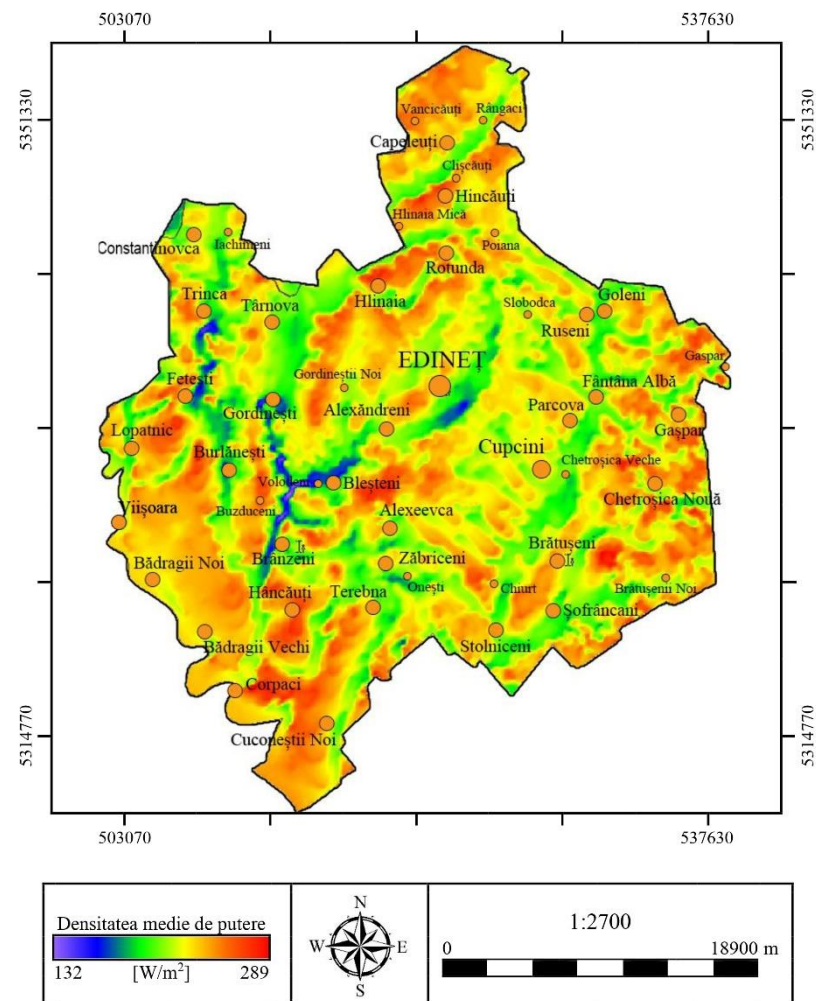


Figura A1.8. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Edineț

A1.3. Potențialul energetic eolian al raionului Dondușeni

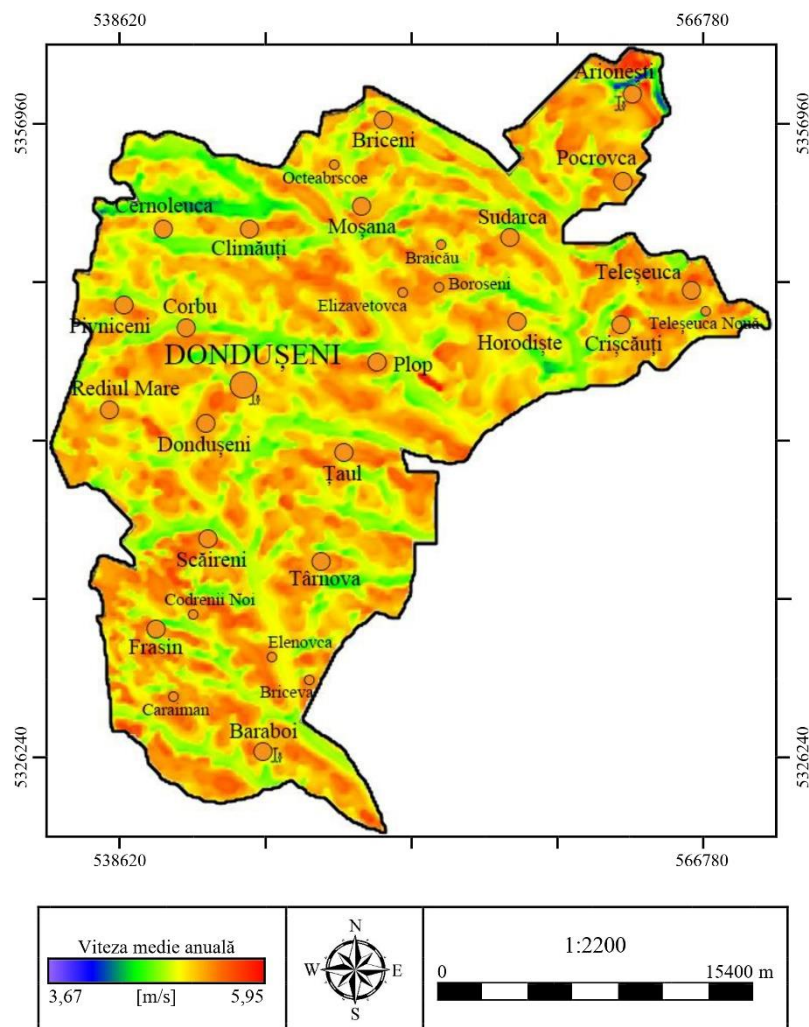
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Dondușeni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.9 – A1.12. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt locațiile situate în partea de nord-est a raionului, în apropiere de localitatea Arionești, și la sud-vest lângă localitatea Scăireni. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 5,95 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 188 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 6,68 m/s și densitatea de putere eoliană de 299 W/m². În tabelul A1.3 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.3. Clasificarea teritoriului raionului Dondușeni
în funcție de valoarea densității de putere**

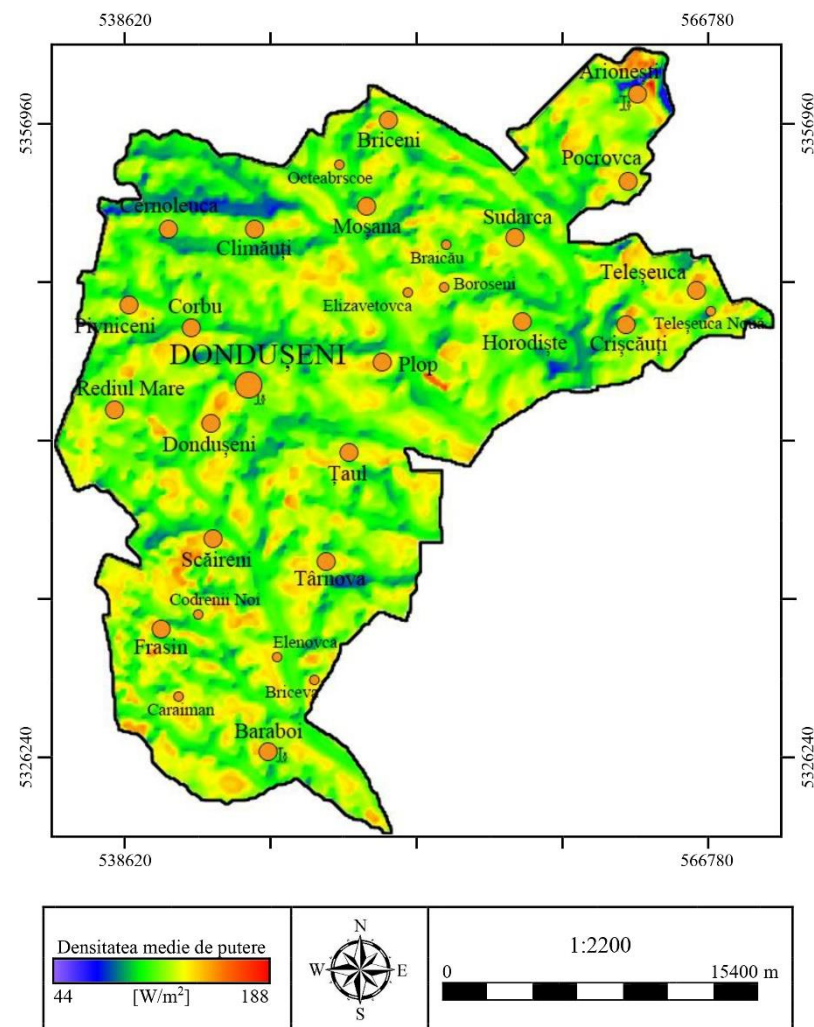
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	4638	52293	8346	0	0	65277	99,99%
Aria, km ²	46,38	522,93	83,46	0	0	652,77	99,99%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	231,9	2614,65	417,3	0	0	3263,85	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

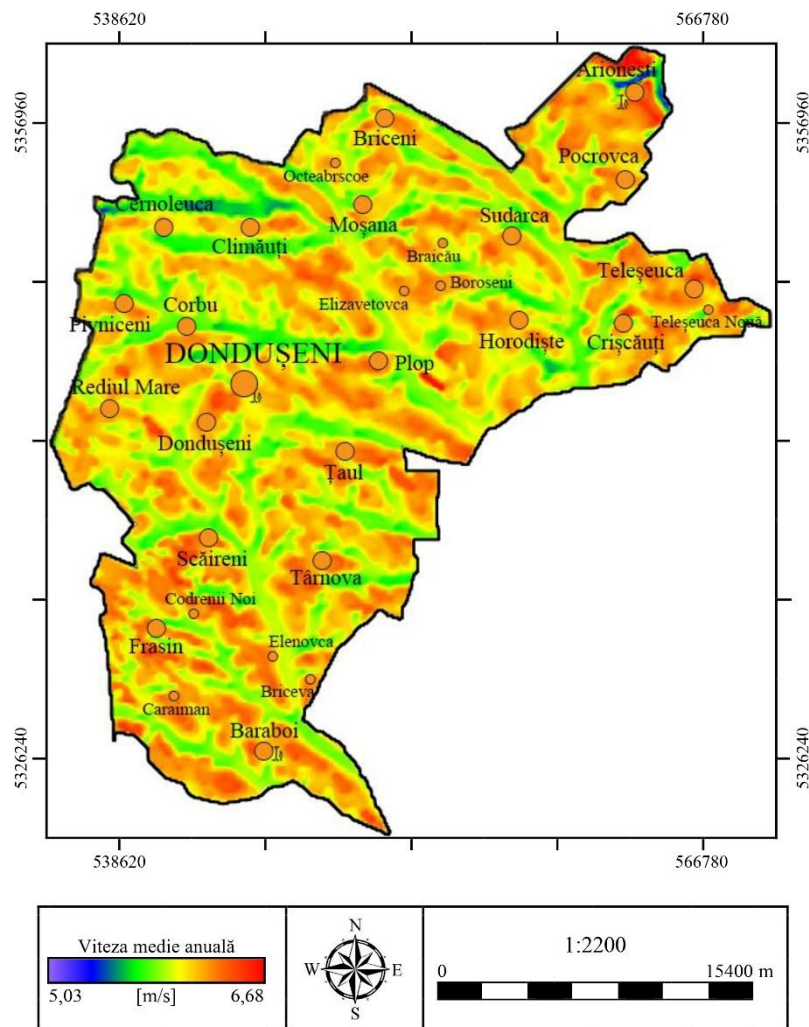
- Toată suprafața raionului sau 652,77 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 300 W/m² (tabelul A1.3);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 3264 MW.



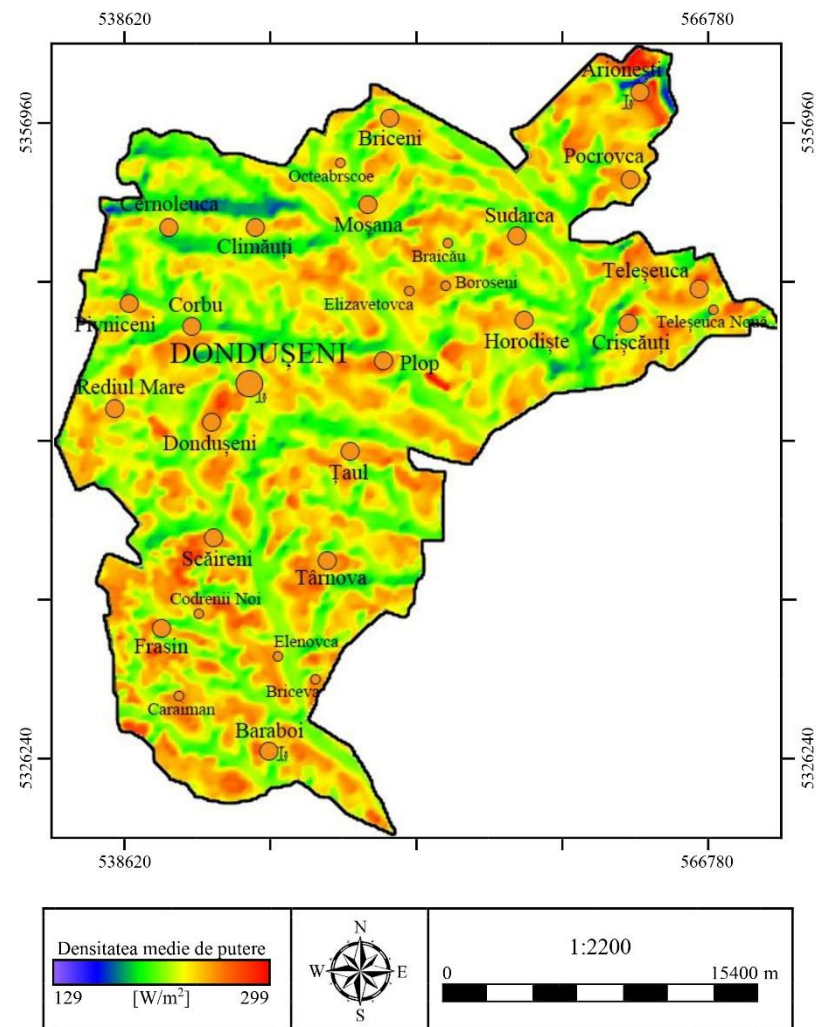
**Figura A1.9. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Dondușeni**



**Figura A1.10. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Dondușeni**



**Figura A1.11. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Dondușeni**



**Figura A1.12. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Dondușeni**

A1.4. Potențialul energetic eolian al raionului Drochia

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Drochia la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.13 – A1.16. Una dintre zonele cu potențial eolian pronunțat este locația în partea de est a raionului, dealurile la est de localitățile Popeștii de Sus și Popeștii de Jos. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,03 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 185 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 6,85 m/s și densitatea de putere eoliană de 332 W/m². În tabelul A1.4 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.4. Clasificarea teritoriului raionului Drochia
în funcție de valoarea densității de putere**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	4002	83233	14305	134	0	101674	100,00%
Aria, km ²	40,02	832,33	143,05	1,34	0	1016,74	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	200,1	4161,65	715,25	6,7	0	5083,7	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 1016,74 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A1.4);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 5084 MW.

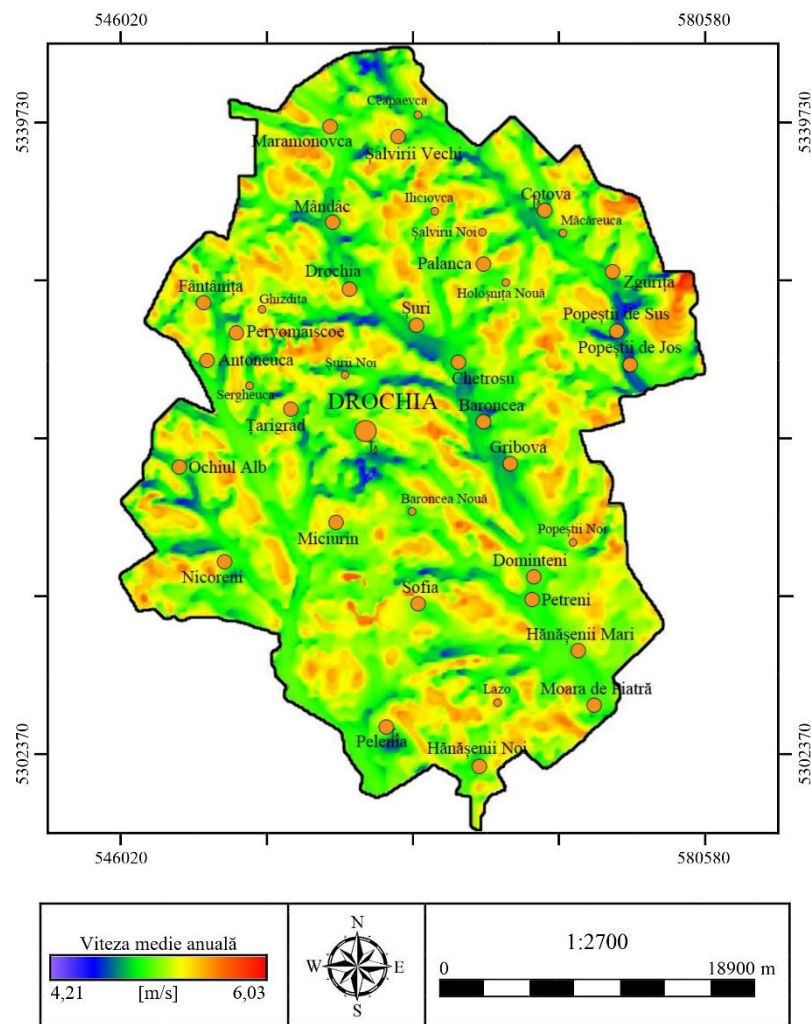


Figura A1.13. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Drochia

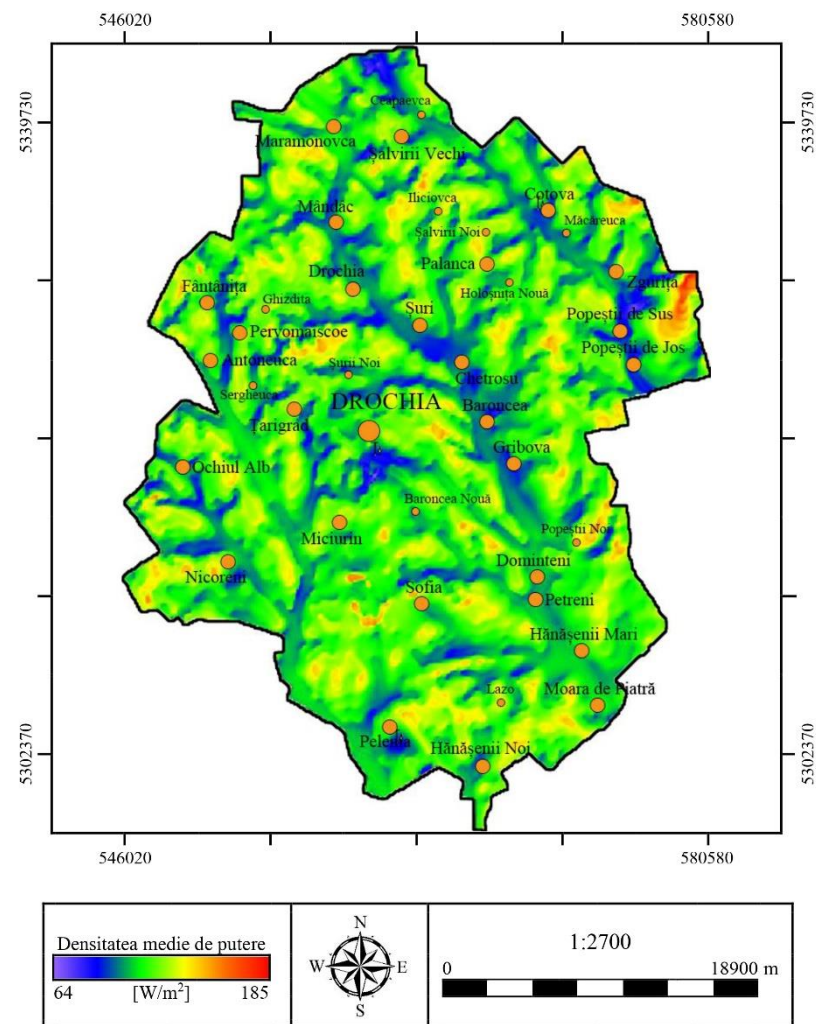


Figura A1.14. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Drochia

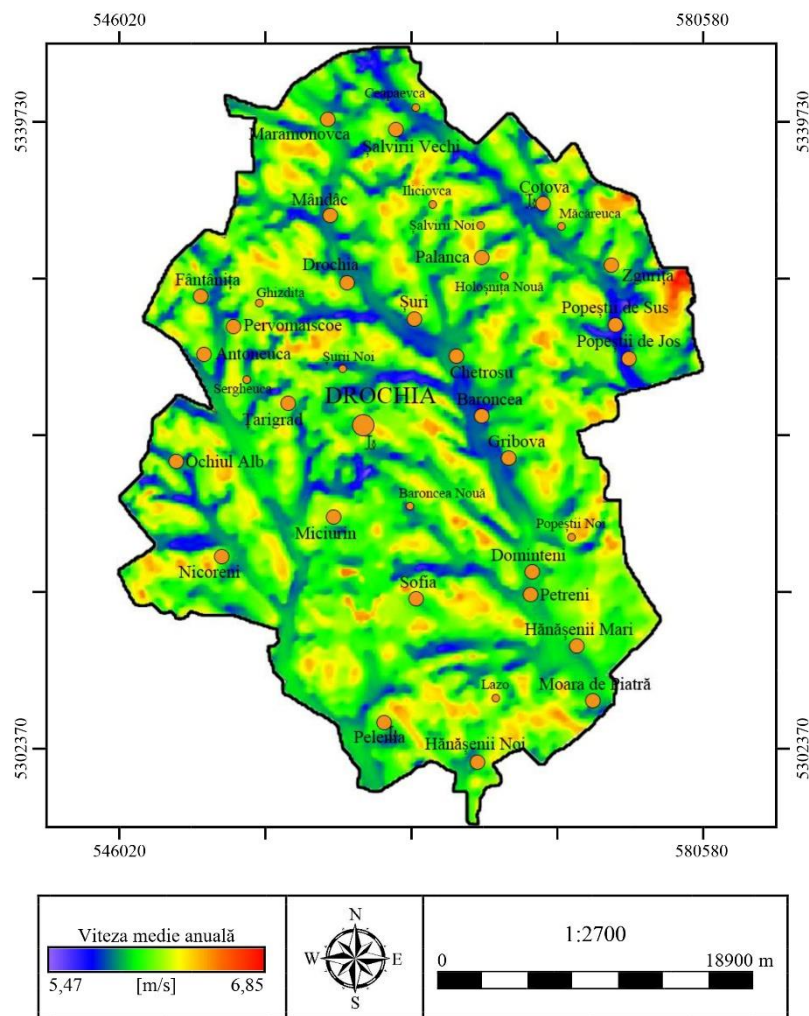


Figura A1.15. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Drochia

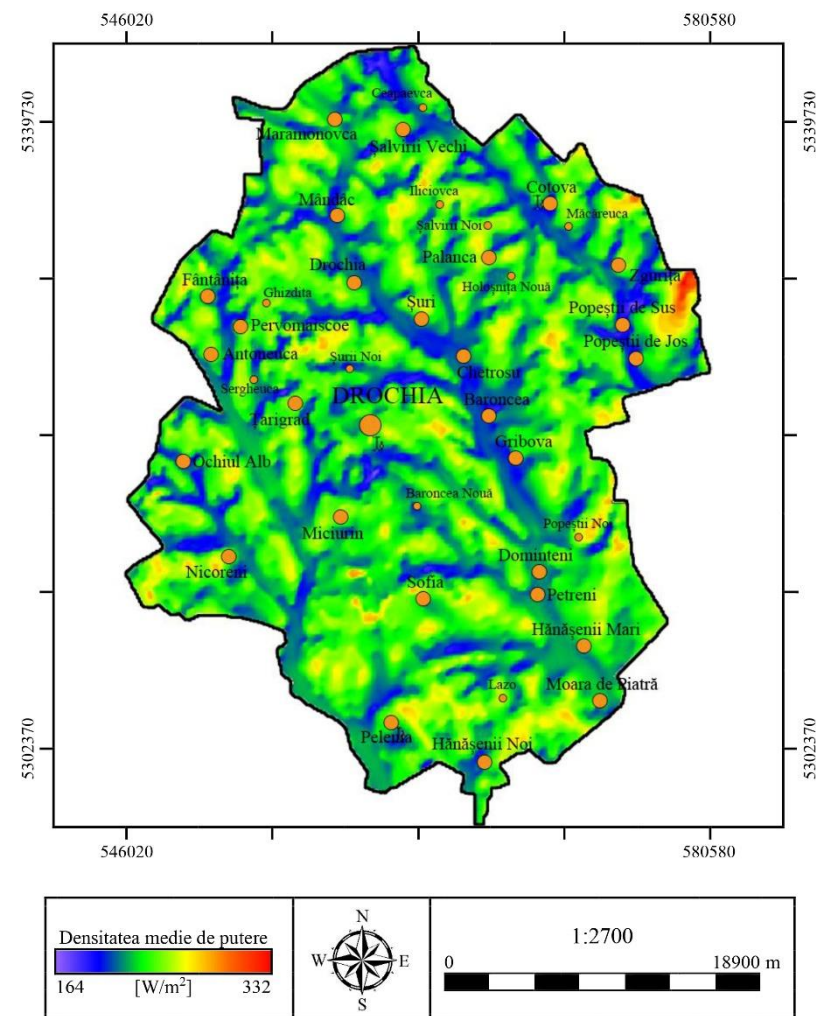


Figura A1.16. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Drochia

A1.5. Potențialul energetic eolian al raionului Făleşti

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Făleşti la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.17 – A1.20. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt locațiile situate în partea de sud-est a raionului, în apropiere de localitatea Pietrosu, și la vest lângă localitatea Rediul de Jos. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,65 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană poate atinge valori până la 243 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 7,44 m/s și densitatea de putere eoliană cu valori până la 404 W/m². În tabelul A1.5 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.5. Clasificarea teritoriului raionului Făleşti
în funcție de valoarea densității de putere**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	13307	69889	23066	877	139	107278	99,90%
Aria, km ²	133,07	698,89	230,66	8,77	1,39	1072,78	99,90%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	665,35	3494,45	1153,3	43,85	6,95	5363,9	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 1072,78 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m², din care 1,39 km² (tabelul A1.5) din suprafața raionului are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m²;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 5364 MW, iar în zonele cu un potențial mai mare de 350 W/m², puterea teoretică ar fi de 7 MW.

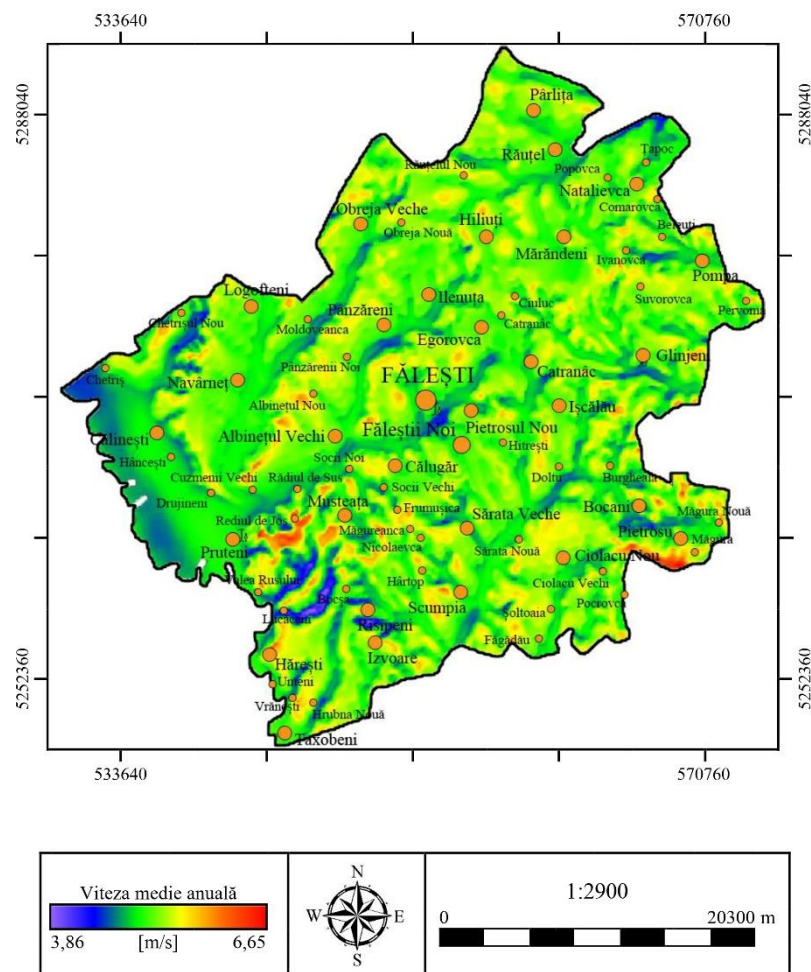


Figura A1.17. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Făleşti

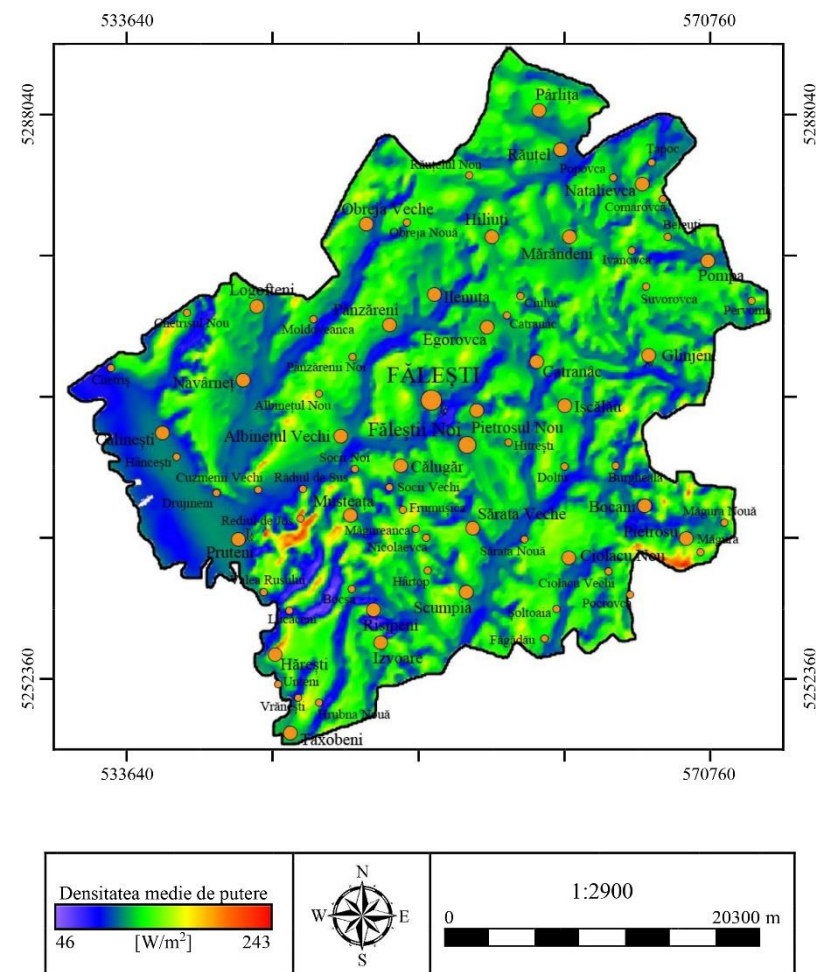


Figura A1.18. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Făleşti

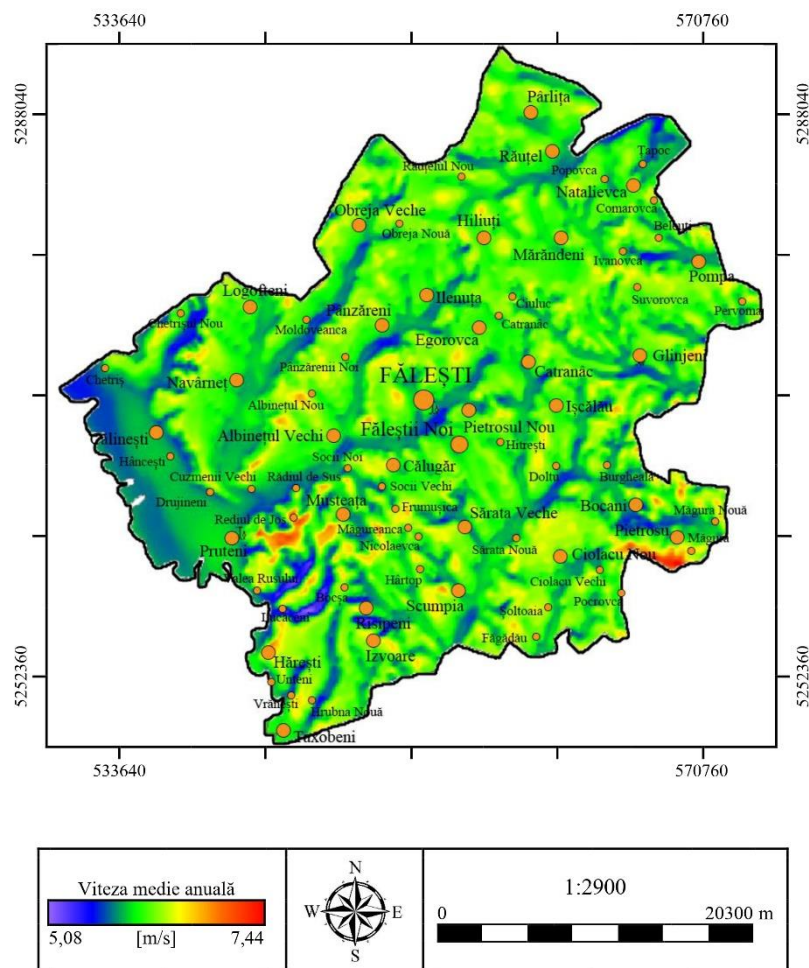


Figura A1.19. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Făleşti

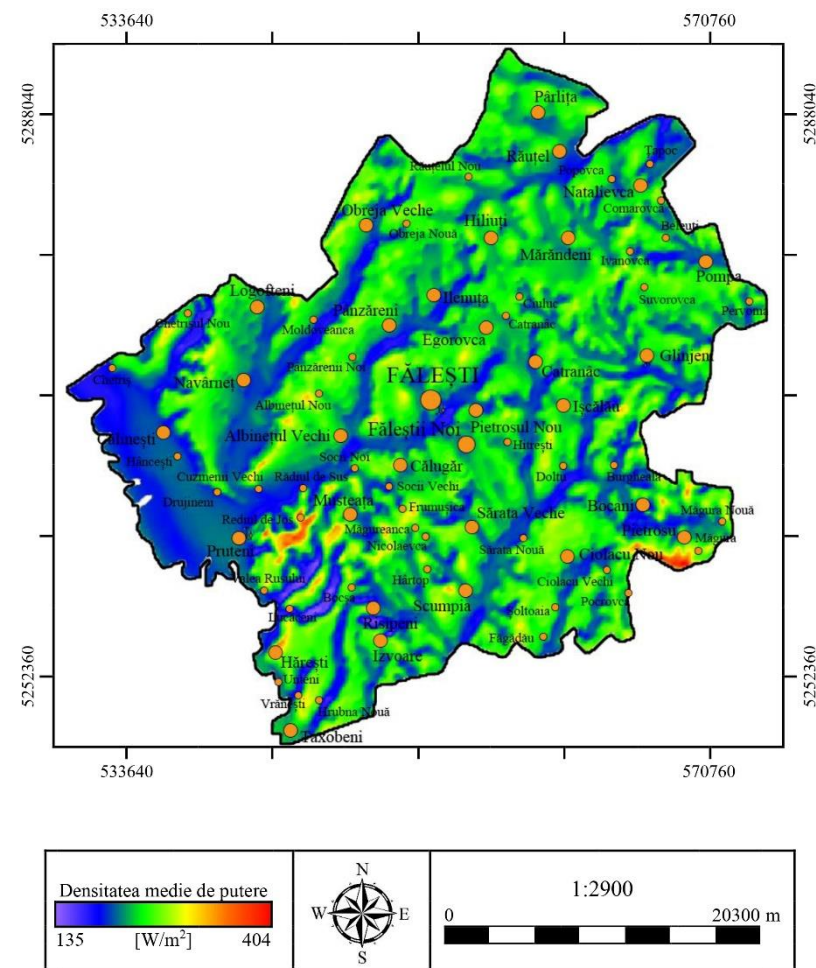


Figura A1.20. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Făleşti

A1.6. Potențialul energetic eolian al raionului Florești

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Florești la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.21 – A1.24. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt locațiile situate în nordul raionului, dealurile la vest de localitatea Rădulenii Vechi, și zona în sud, lângă localitatea Mărinești. De asemenea potențial pronunțat prezintă zona de nord-est a raionului, dealurile pe linia Temeleuți – Târgul Vertiujeni – Zăluceni. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,17 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 206 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 6,97 m/s și densitatea de putere eoliană de 349 W/m². În tabelul A1.6 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.6. Clasificarea teritoriului raionului Florești
în funcție de valoarea densității de putere**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	13946	71183	22683	1809	0	109621	99,95%
Aria, km ²	139,46	711,83	226,83	18,09	0	1096,21	99,95%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	697,3	3559,15	1134,15	90,45	0	5481,05	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 1096,21 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A1.6);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 5481 MW.

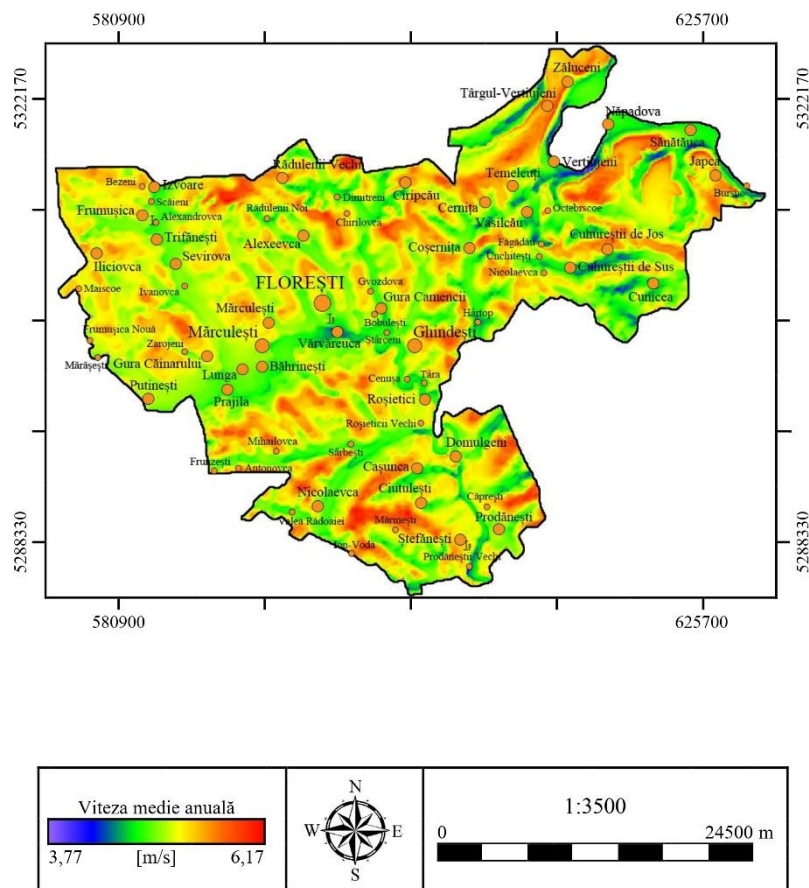


Figura A1.21. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Florești

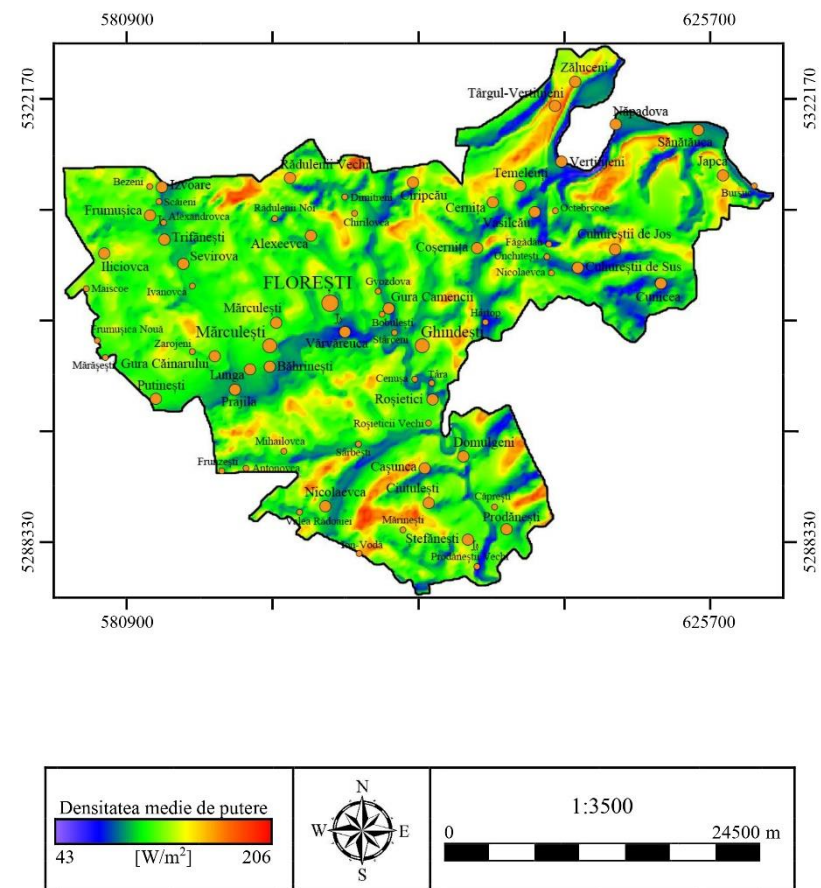


Figura A1.22. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Florești

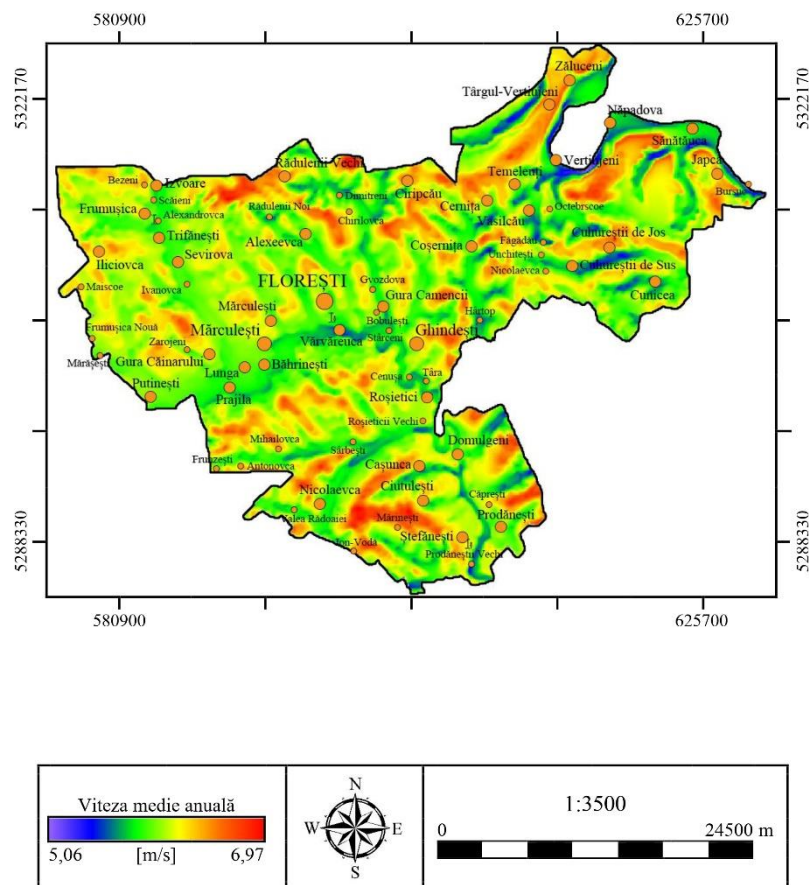


Figura A1.23. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Florești

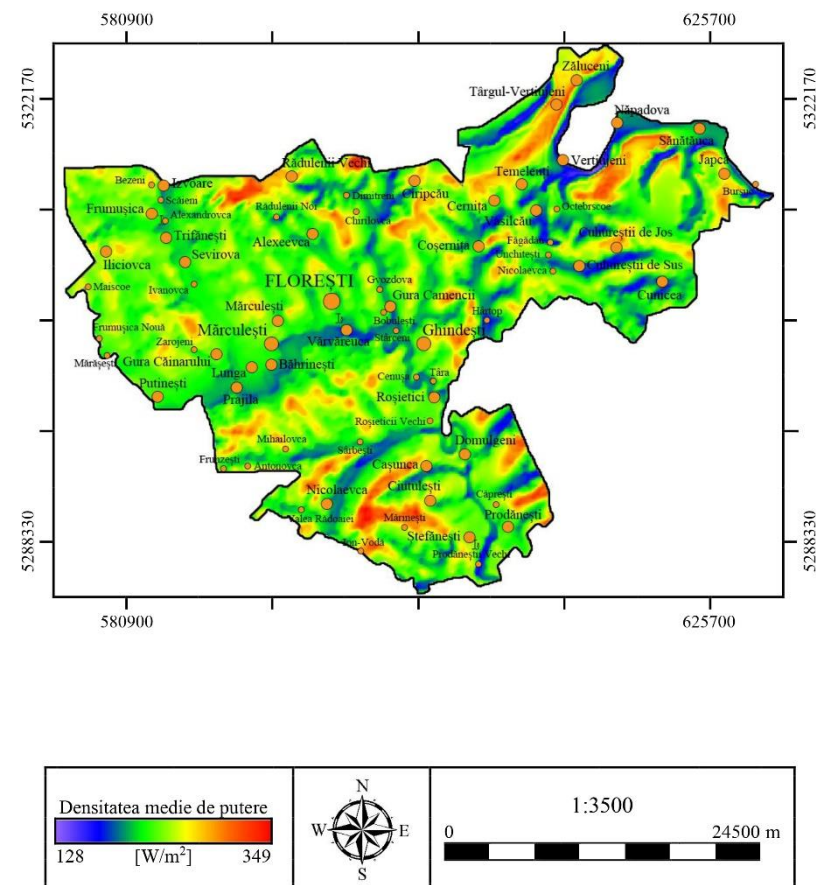


Figura A1.24. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Florești

A1.7. Potențialul energetic eolian al raionului Glodeni

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Glodeni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.25 – A1.28. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt locațiile în sudul raionului, dealurile la sud de localitatea Ustia, și locația la sud-est de localitatea Ciuciulea. De asemenea potențial pronunțat prezintă dealurile direcționate pe linia Viișoara – Ciuciulea. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,30 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 211 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 6,96 m/s și densitatea de putere eoliană de 347 W/m². În tabelul A1.7 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.7. Clasificarea teritoriului raionului Glodeni
în funcție de valoarea densității de putere**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	9237	54185	11795	161	0	75378	100,00%
Aria, km ²	92,37	541,85	117,95	1,61	0	753,78	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	461,85	2709,25	589,75	8,05	0	3768,9	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 753,78 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A1.7);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 3769 MW.

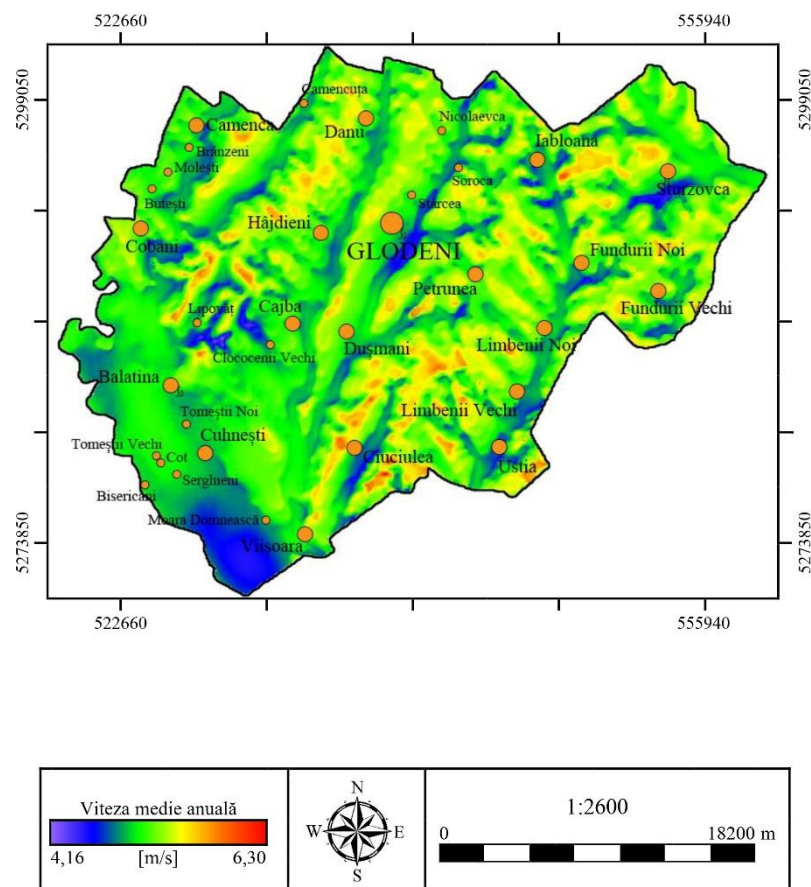


Figura A1.25. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Glodeni

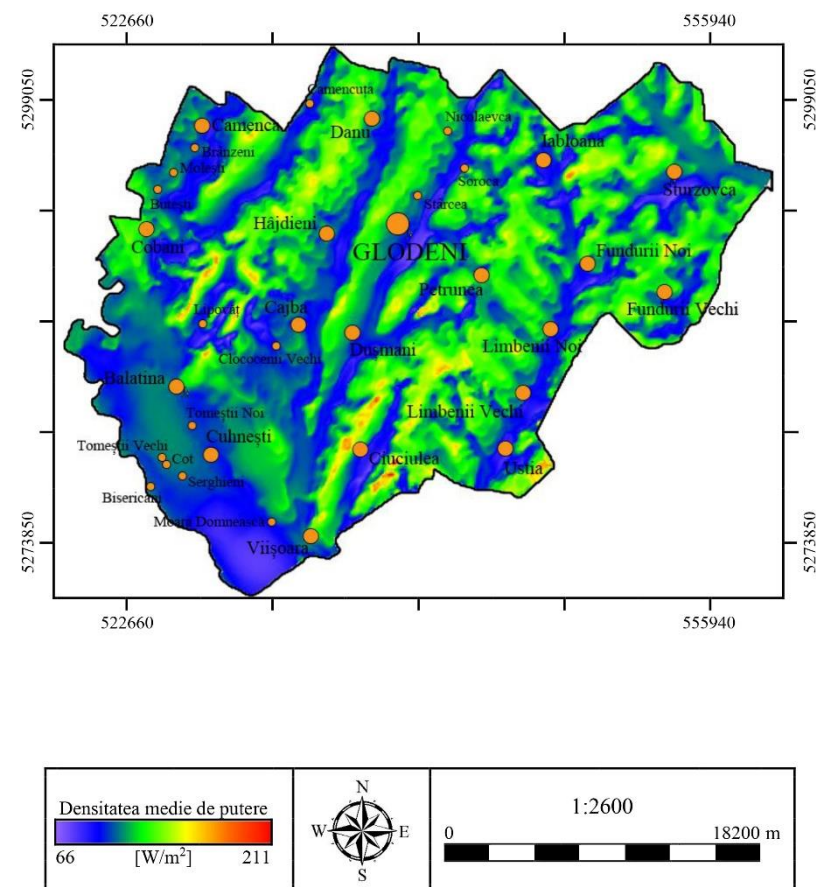


Figura A1.26. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Glodeni

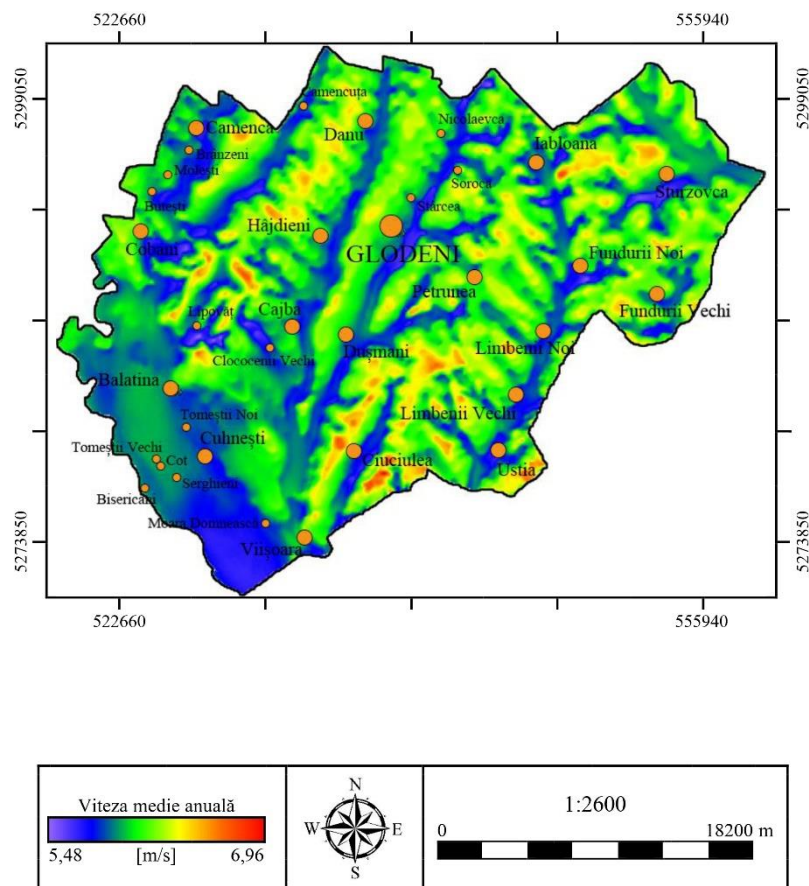


Figura A1.27. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Glodeni

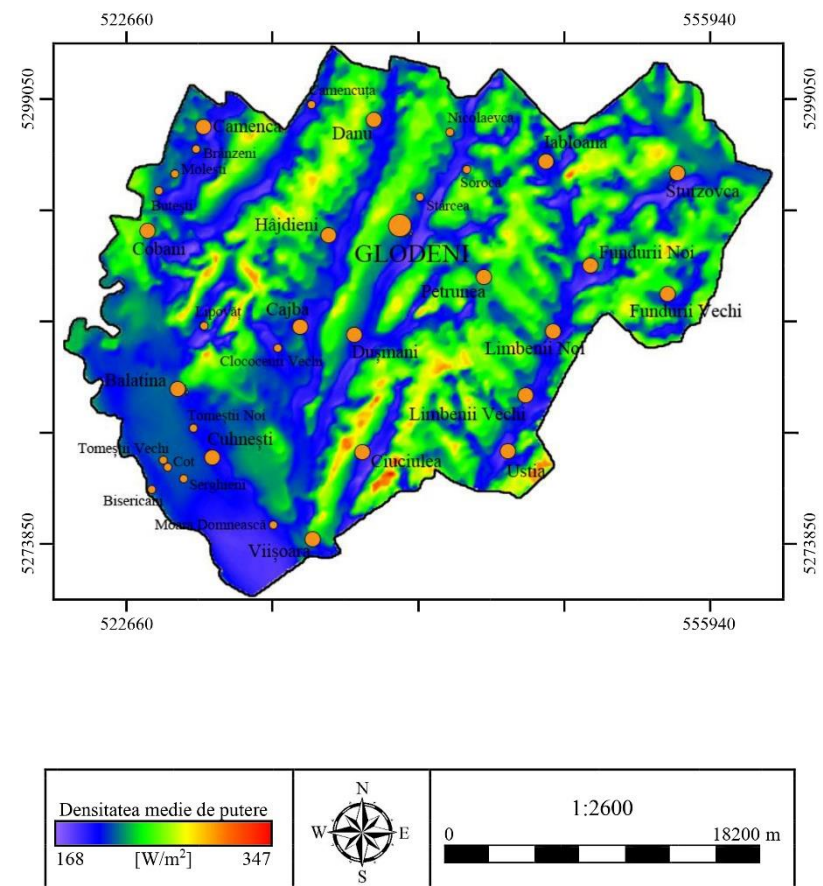


Figura A1.28. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Glodeni

A1.8. Potențialul energetic eolian al raionului Ocnița

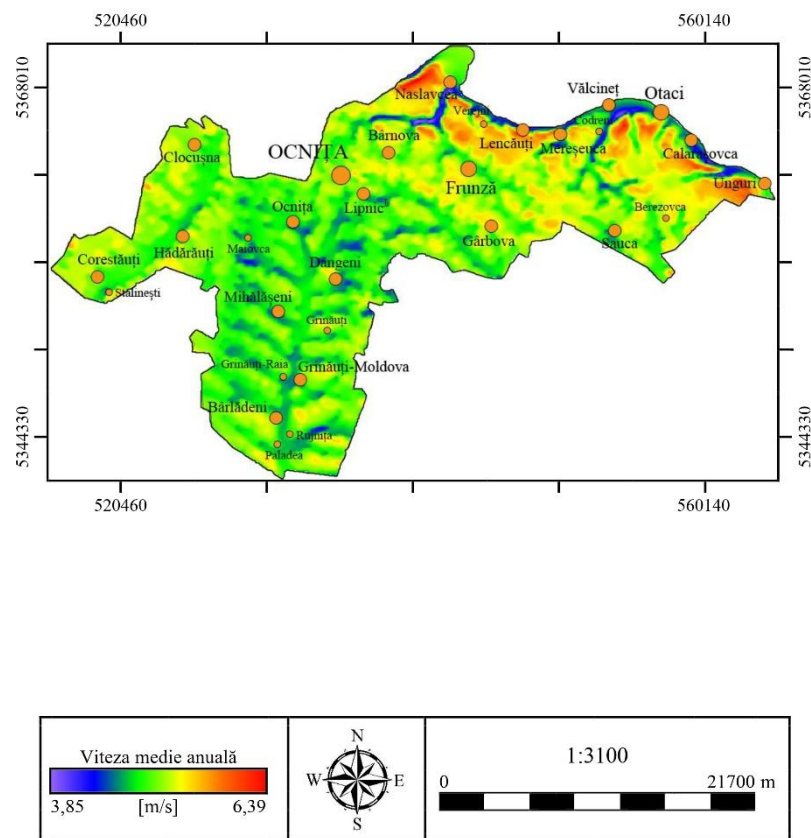
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Ocnița la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.29 – A1.32. Una dintre zonele cu potențial eolian pronunțat este locația în nordul raionului, la nord de localitatea Naslavcea lângă hotarul cu Ucraina, și la est lângă localitatea Unguri. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,39 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană poate atinge valori până la 239 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 7,06 m/s și densitatea de putere eoliană cu valori până la 381 W/m². În tabelul A1.8 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.8. Clasificarea teritoriului raionului Ocnița
în funcție de valoarea densității de putere**

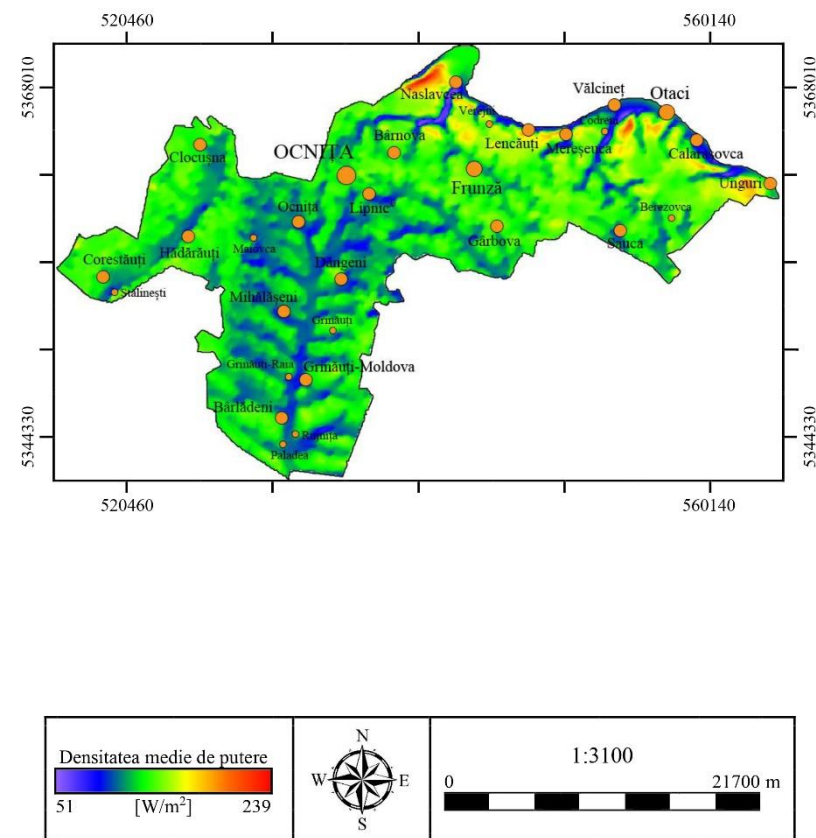
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	4187	41585	8539	368	34	54713	99,92%
Aria, km ²	41,87	415,85	85,39	3,68	0,34	547,13	99,92%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	209,35	2079,25	426,95	18,4	1,7	2735,65	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

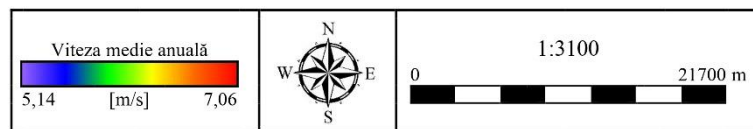
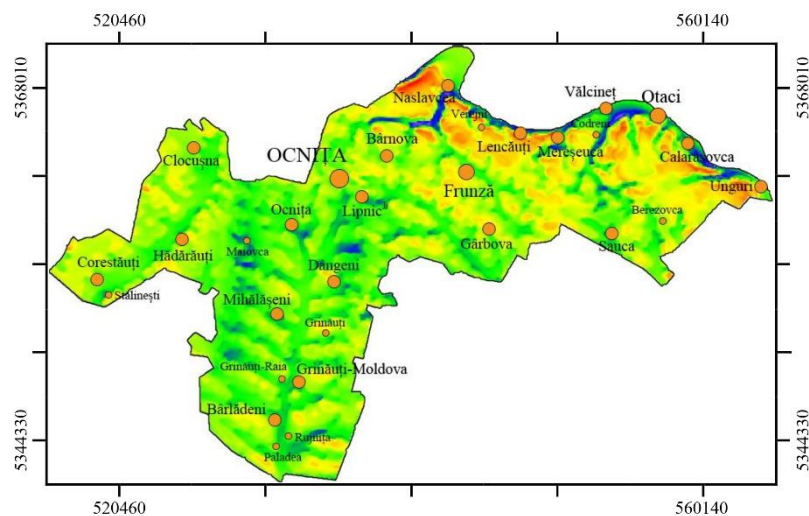
- Practic toată suprafața raionului sau 547,13 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m², din care 0,34 km² (tabelul A1.8) din suprafața raionului are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m²;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 2736 MW, iar în zonele cu un potențial mai mare de 350 W/m², puterea teoretică ar fi de 1,7 MW.



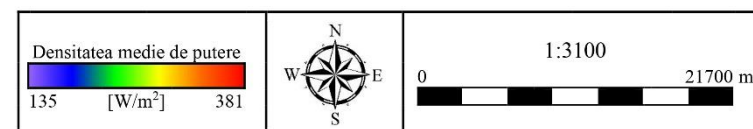
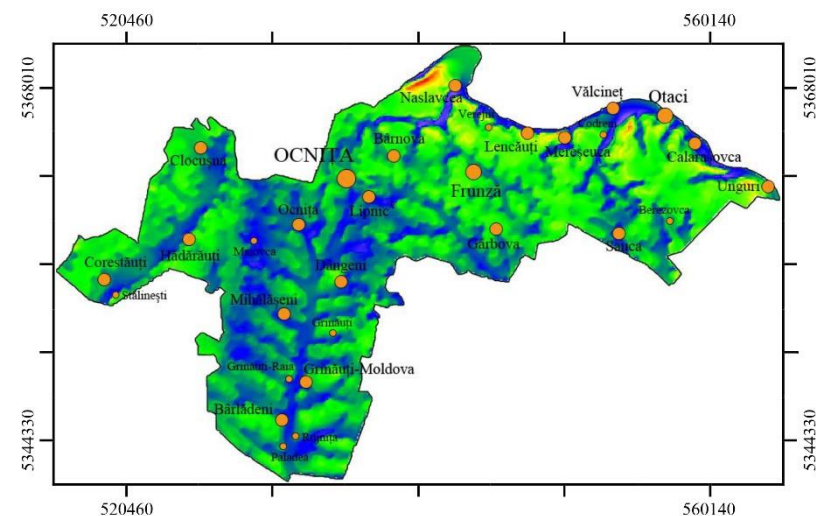
**Figura A1.29. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Ocnița**



**Figura A1.30. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Ocnița**



**Figura A1.31. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Ocnița**



**Figura A1.32. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Ocnița**

A1.9. Potențialul energetic eolian al raionului Râșcani

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Râșcani la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.33 – A1.36. Una dintre zonele cu potențial eolian pronunțat este locația în vestul raionului, lângă localitatea Costești. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,19 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană poate atinge valori până la 203 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 6,93 m/s și densitatea de putere eoliană cu valori până la 356 W/m². În tabelul A1.9 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.9. Clasificarea teritoriului raionului Râșcani
în funcție de valoarea densității de putere**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	5365	68375	18688	243	6	92677	100,00%
Aria, km ²	53,65	683,75	186,88	2,43	0,06	926,77	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	268,25	3418,75	934,4	12,15	0,3	4633,85	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 926,77 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m² (tabelul A1.9);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 4634 MW.

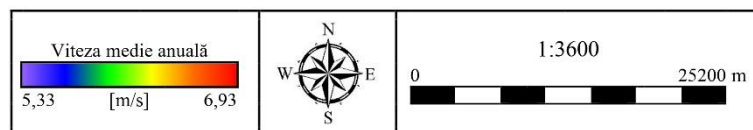
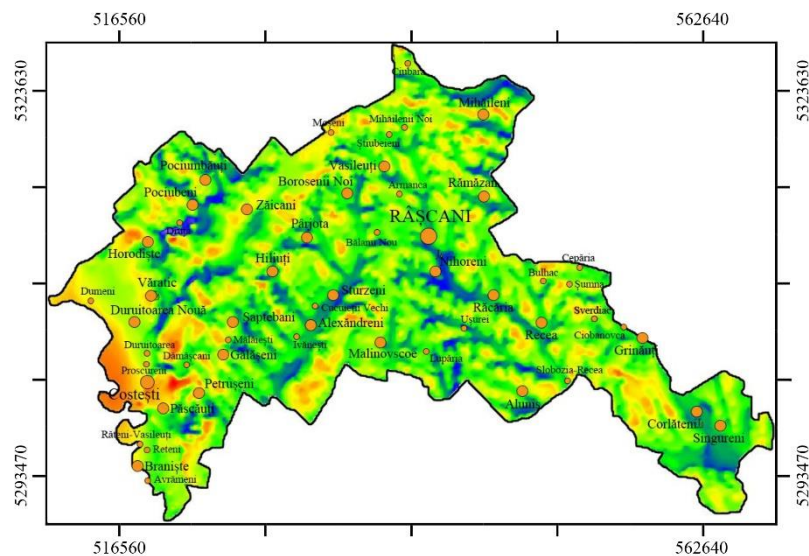


Figura A1.35. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Râșcani

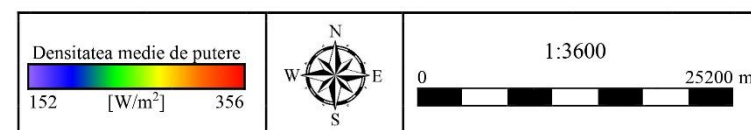
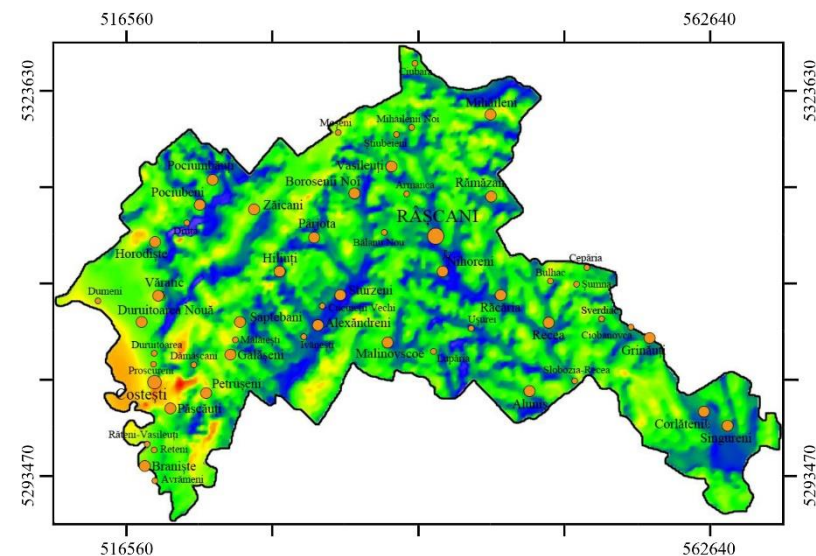


Figura A1.36. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Râșcani

A1.10. Potențialul energetic eolian al raionului Sângerei

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Sângerei la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1. 37 – A1.40. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt locațiile în estul raionului, dealurile la nord de localitatea Bălășești și zona situată la sud de localitatea Pepeni. De asemenea potențial pronunțat se observă la sudul raionului, dealurile la est de localitatea Tăura Veche. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,65 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană poate atinge valori până la 249 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 7,39 m/s și densitatea de putere eoliană cu valori până la 419 W/m². În tabelul A1.10 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

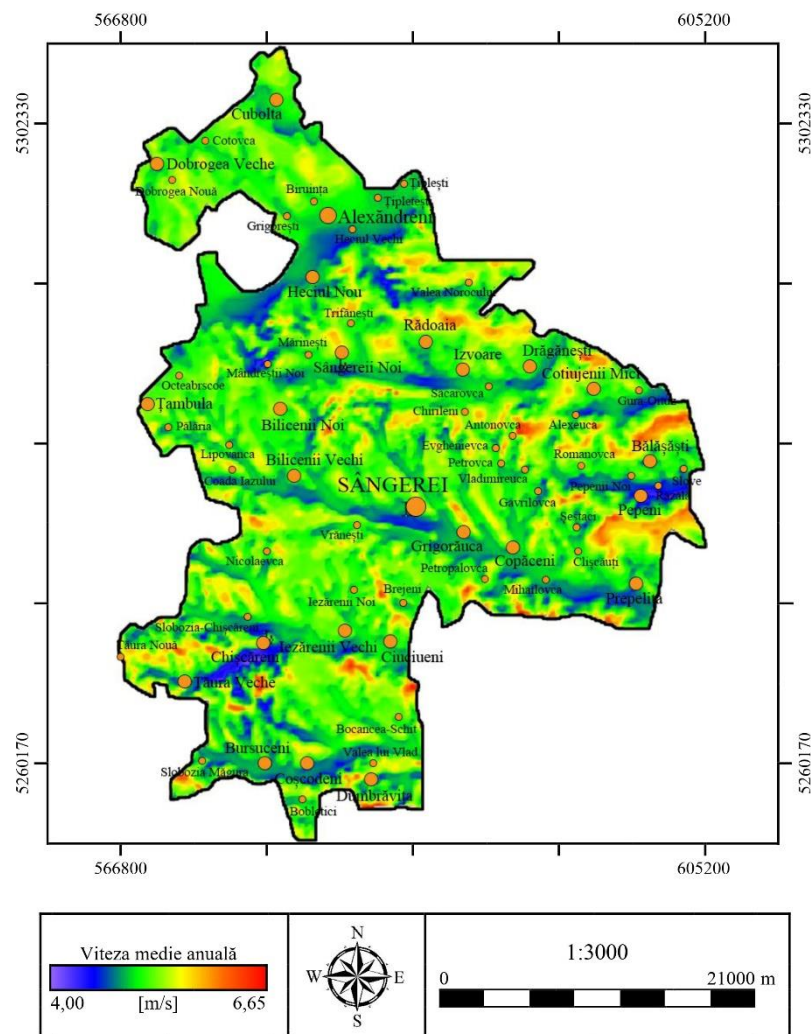
**Tabelul A1.10. Clasificarea teritoriului raionului Sângerei
în funcție de valoarea densității de putere**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	9851	67981	22443	2612	275	103162	100,00%
Aria, km ²	98,51	679,81	224,43	26,12	2,75	1031,62	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	492,55	3399,05	1122,15	130,6	13,75	5158,1	

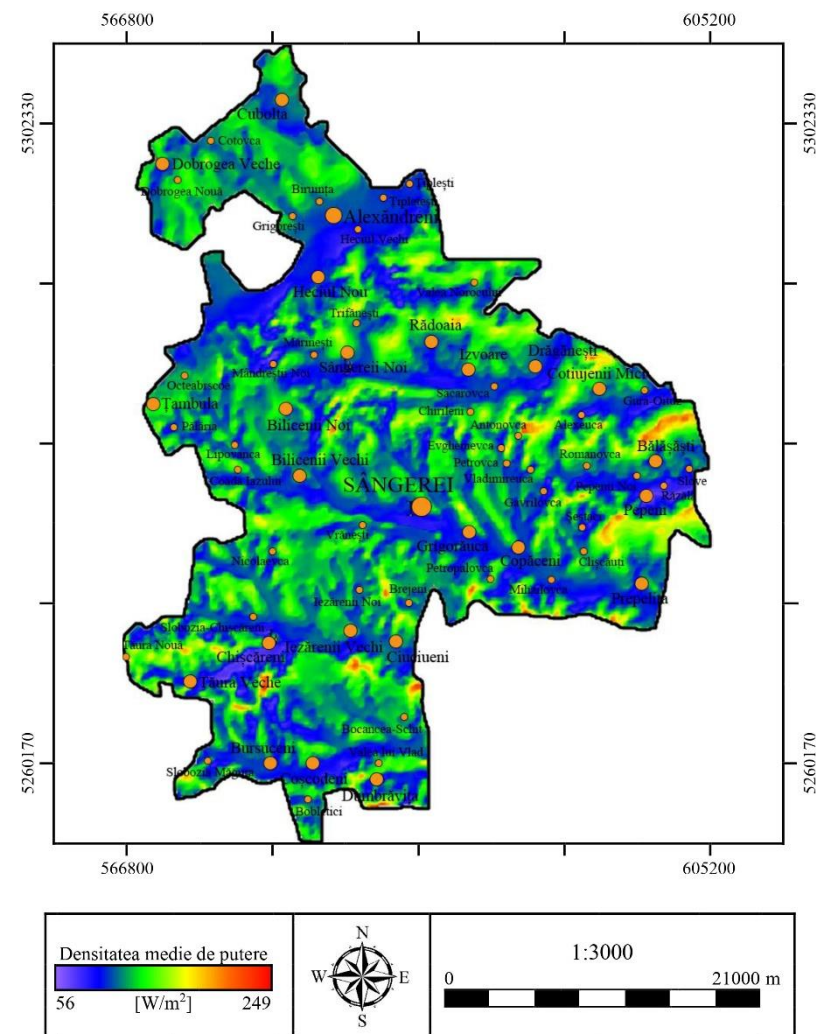
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m²

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 1031,62 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m², din care 2,75 km² (tabelul A1.10) din suprafața raionului are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m²;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 5158 MW, iar în zonele cu un potențial mai mare de 350 W/m², puterea teoretică ar fi de 14 MW.



**Figura A1. 37. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Sângerei**



**Figura A1.38. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Sângerei**

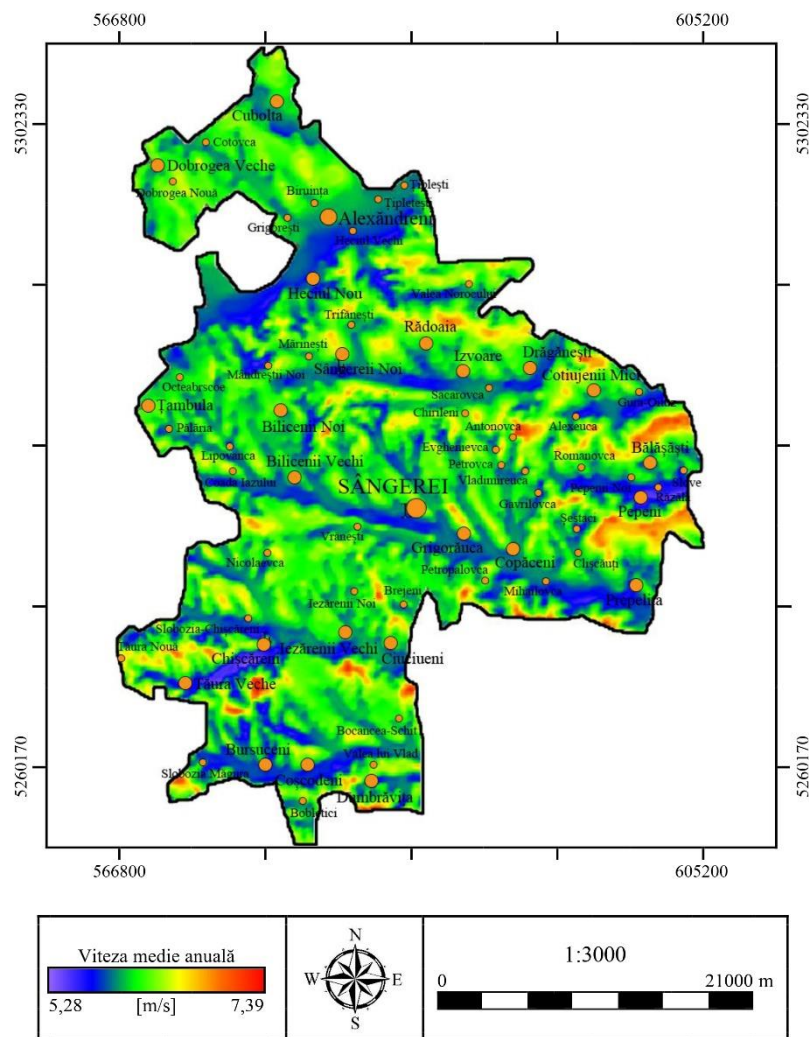


Figura A1.39. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Sângerei

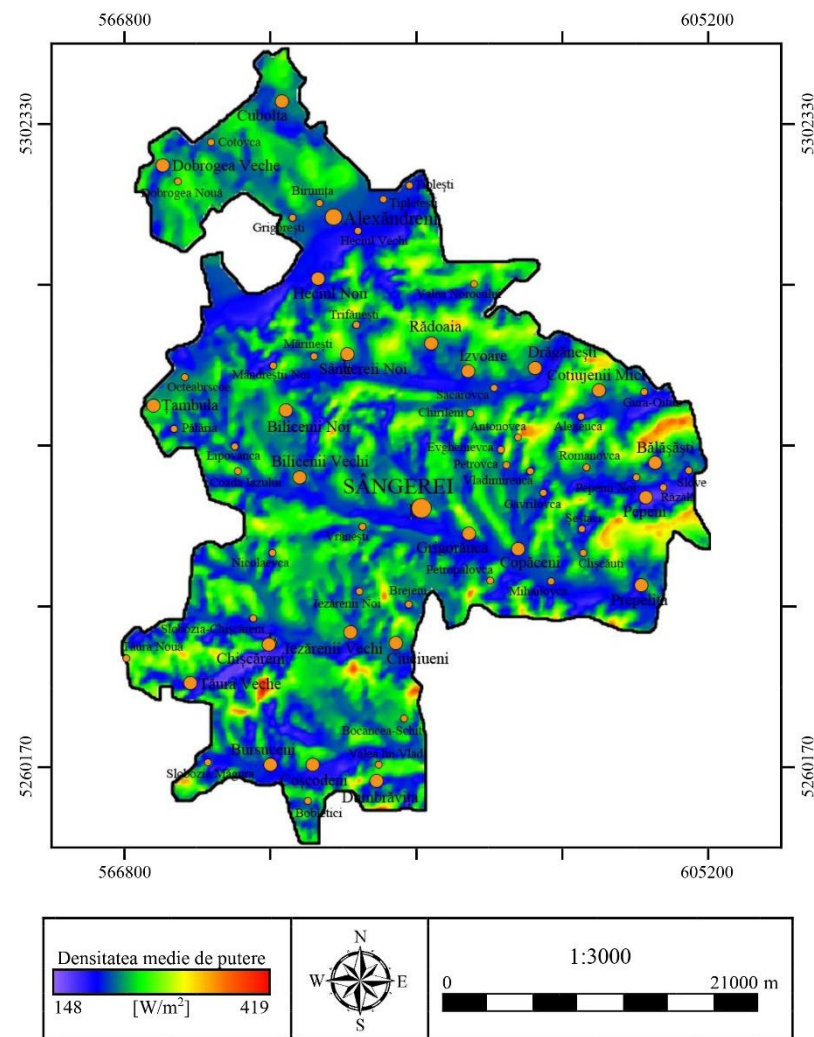


Figura A1.40. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Sângerei

A1.11. Potențialul energetic eolian al raionului Soroca

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Soroca la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A1.41 – A1.44. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt locațiile amplasate în centrul raionului, în apropiere localitatea Hristici și Vanțina Mică, dealurile direcționate pe linia Grigorăuca-Curețnița-Holoșnița și la sud de localitatea Cosăuți. Aici valoarea maximă a vitezei medii anuale la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,37 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană poate atinge valori până la 237 W/m². La înălțimea de 100 m, viteza medie anuală atinge valori de 7,04 m/s și densitatea de putere eoliană cu valori până la 362 W/m². În tabelul A1.11 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană.

**Tabelul A1.11. Clasificarea teritoriului raionului Soroca
în funcție de valoarea densității de putere**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	12909	63974	23436	636	7	100962	99,74%
Aria, km ²	129,09	639,74	234,36	6,36	0,07	1009,62	99,74%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	645,45	3198,7	1171,8	31,8	0,35	5048,1	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Practic toată suprafața raionului sau 1009,62 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m² (tabelul A1.11);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 5048 MW.

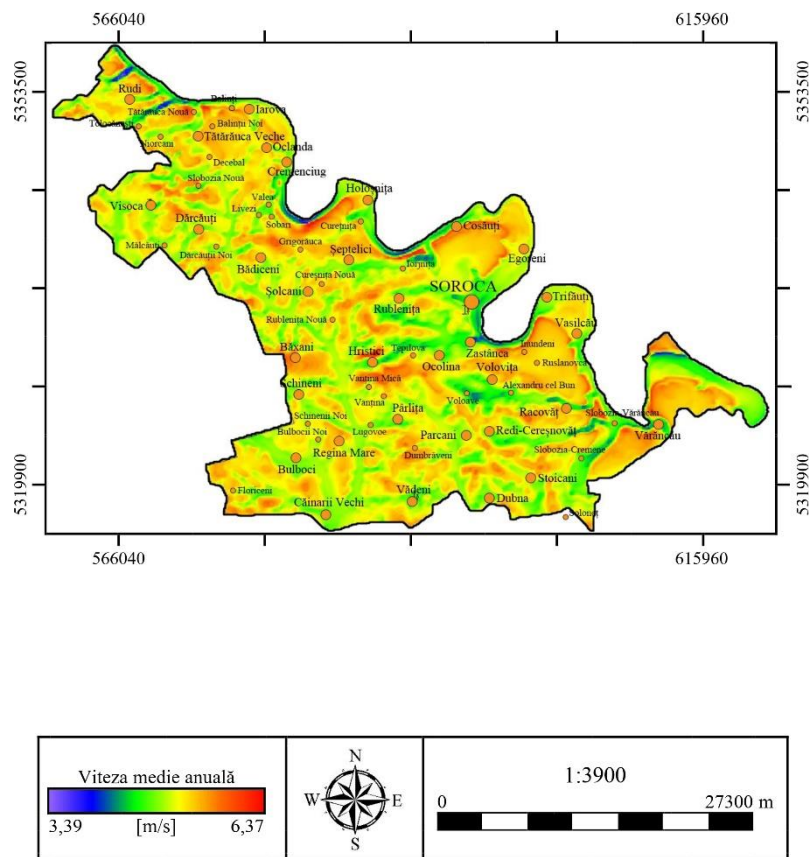


Figura A1.41. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Soroca

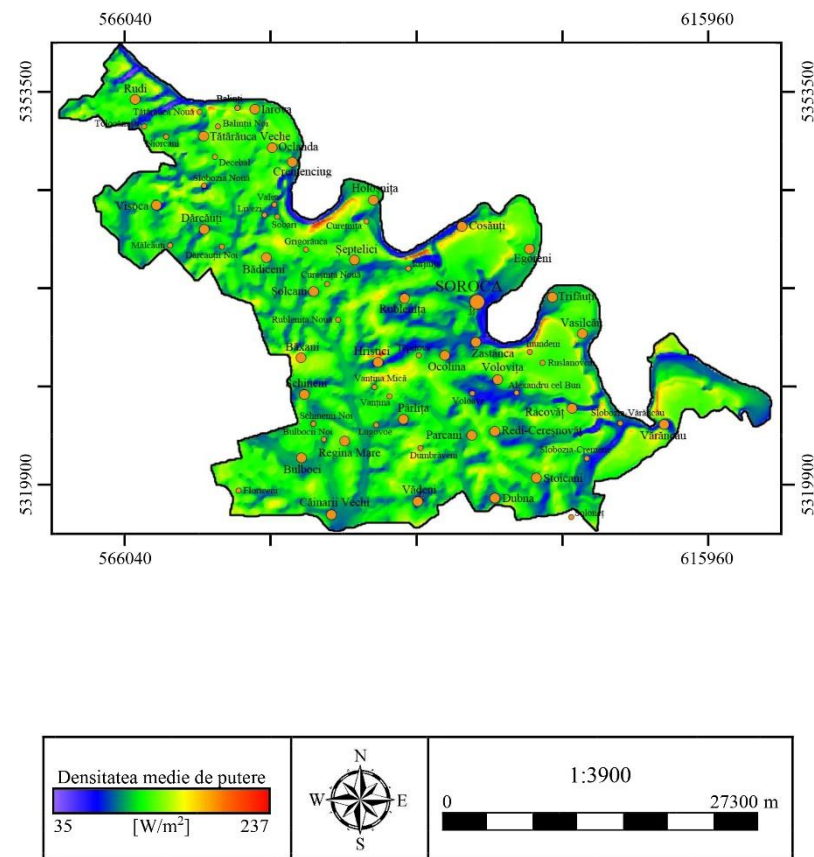


Figura A1.42. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Soroca

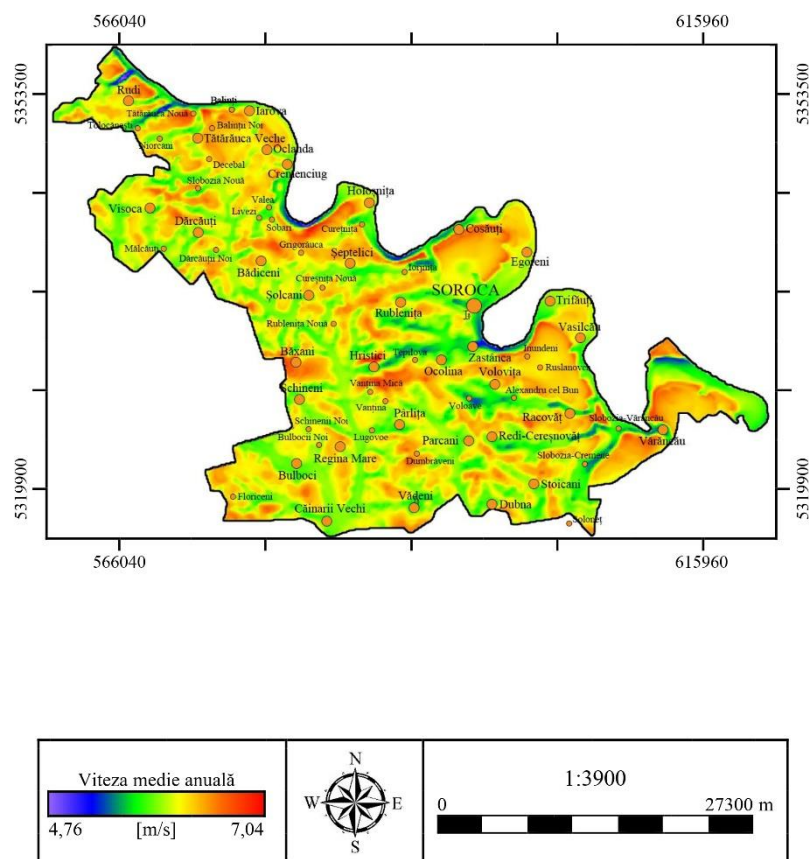


Figura A1.43. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Soroca

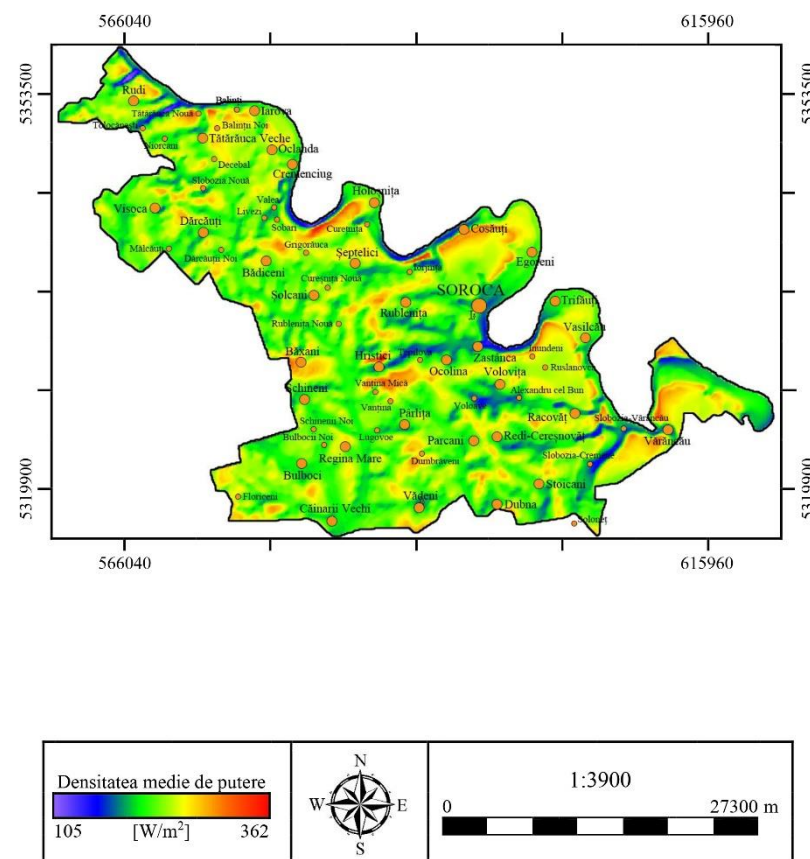


Figura A1.44. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Soroca

În figura A1.45 este prezentată în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele analizate din RDN, în ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între **150 și 400 W/m²** a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW.

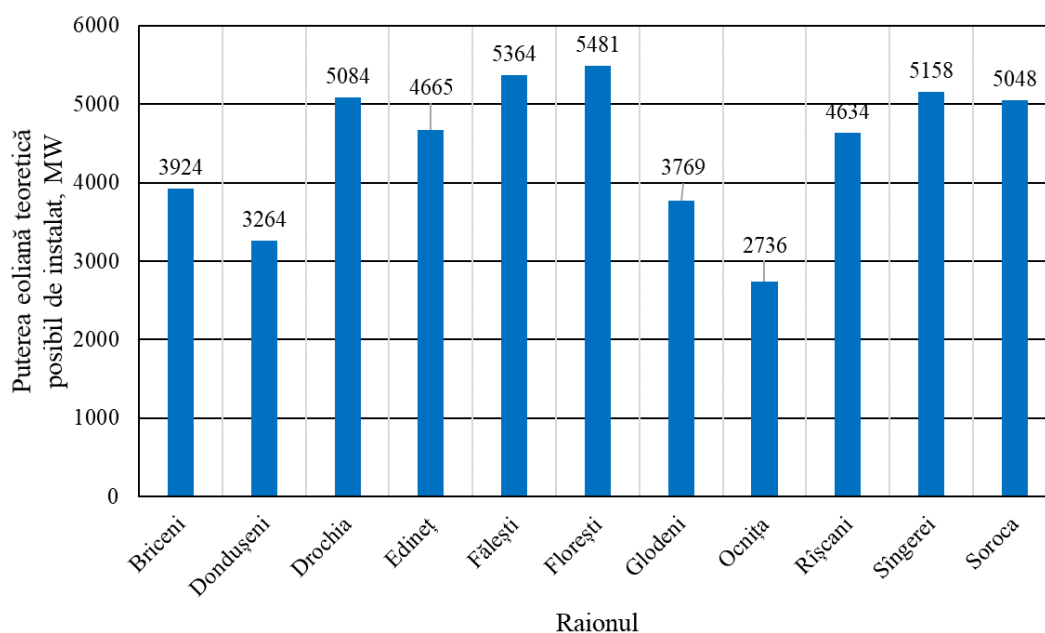


Figura A1.45. Puterea eoliană teoretică posibil de instalat în raioanele din RDN, în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m²

În figura A1.46 este prezentată în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele analizate din RDN, în ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între **300 și 400 W/m²** a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW.

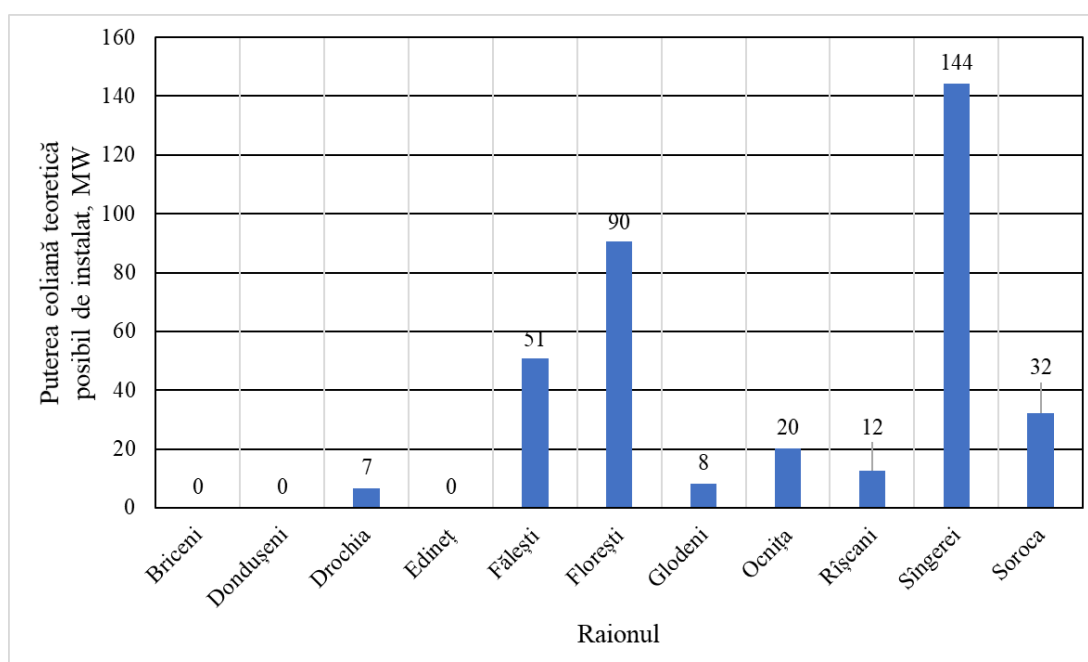


Figura A1.46. Puterea eoliană teoretică posibil de instalat în raioanele din RDN, în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m²

Anexa 2. Regiunea de Dezvoltare Centru. Identificarea amplasamentelor cu potențial favorabil [27]

A2.1. Potențialul energetic eolian al raionului Anenii Noi

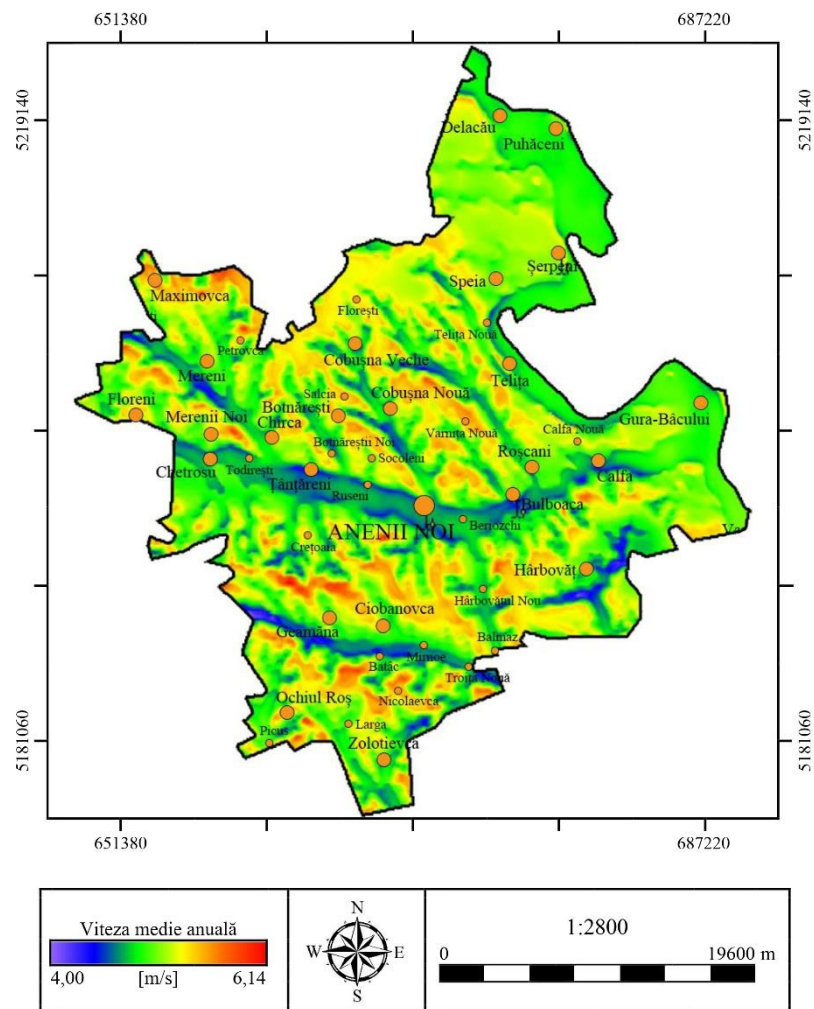
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Anenii Noi la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.1 – A2.4. Principalele zone cu potențial eolian sunt amplasamentele situate în partea de sud-vest a raionului în apropiere de localitățile Crețoaia și Geamăna. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,14 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 229 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală este de 6,90 m/s și densitatea de putere eoliană de 310 W/m². În tabelul A2.1 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.1. Clasificarea teritoriului raionului Anenii Noi
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

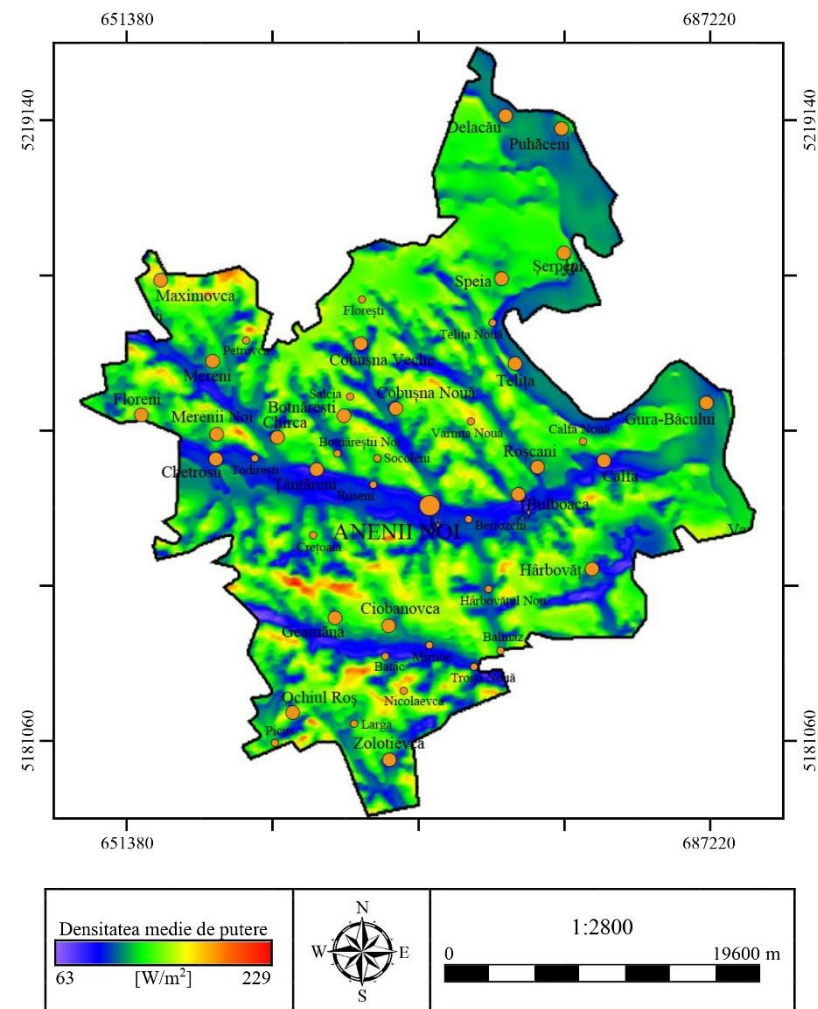
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	44076	43217	1377	4	0	88674	99,72 %
Aria, km ²	440,76	432,17	13,77	0,04	0	886,74	99,72 %
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	2203,8	2160,85	68,85	0,2	0	4433,7	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Practic toată suprafața raionului sau 886,74 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A2.1);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 4434 MW [25].



**Figura A2.1. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Anenii Noi**



**Figura A2.2. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Anenii Noi**

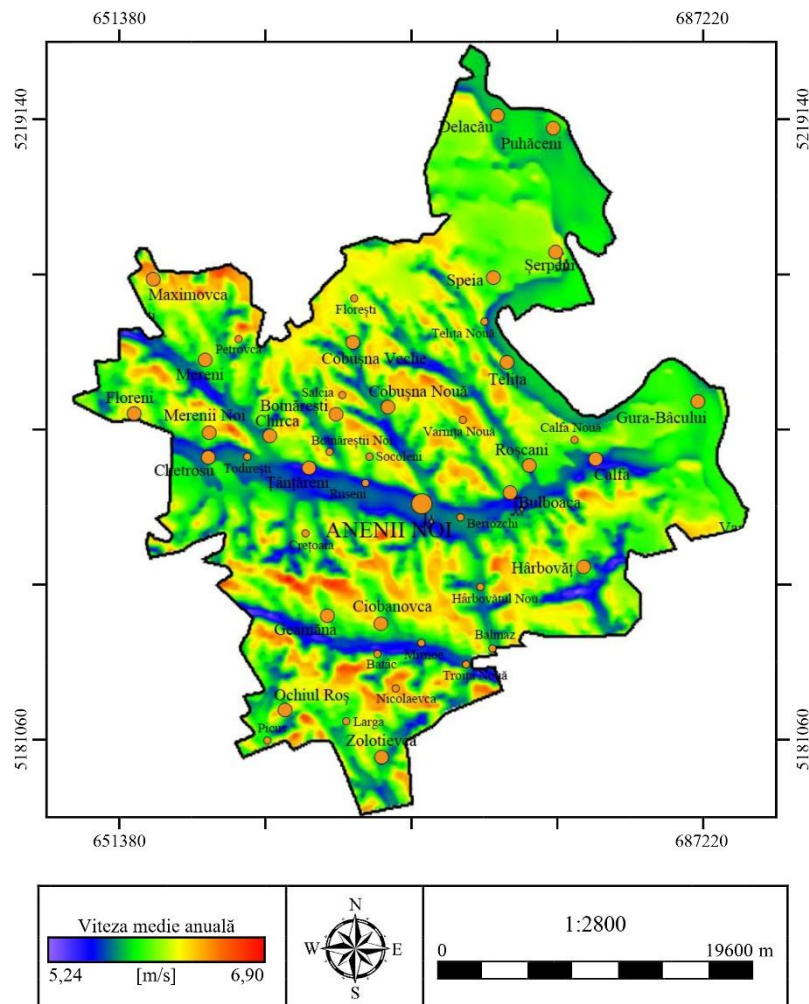
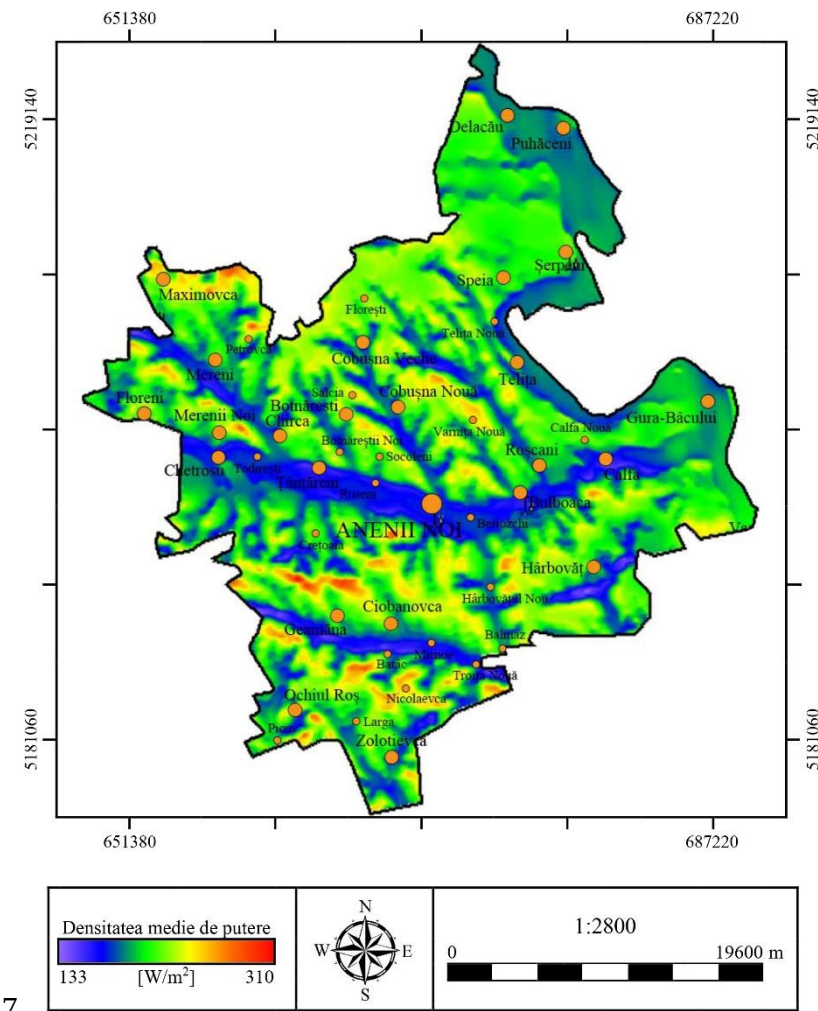


Figura A2.3. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Anenii Noi



7

Figura A2.4. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Anenii Noi

A2.2. Potențialul energetic eolian al raionului Călărași

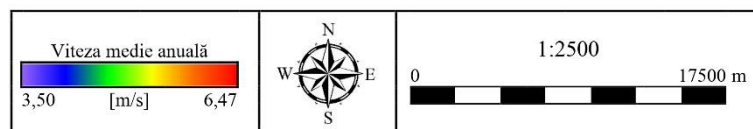
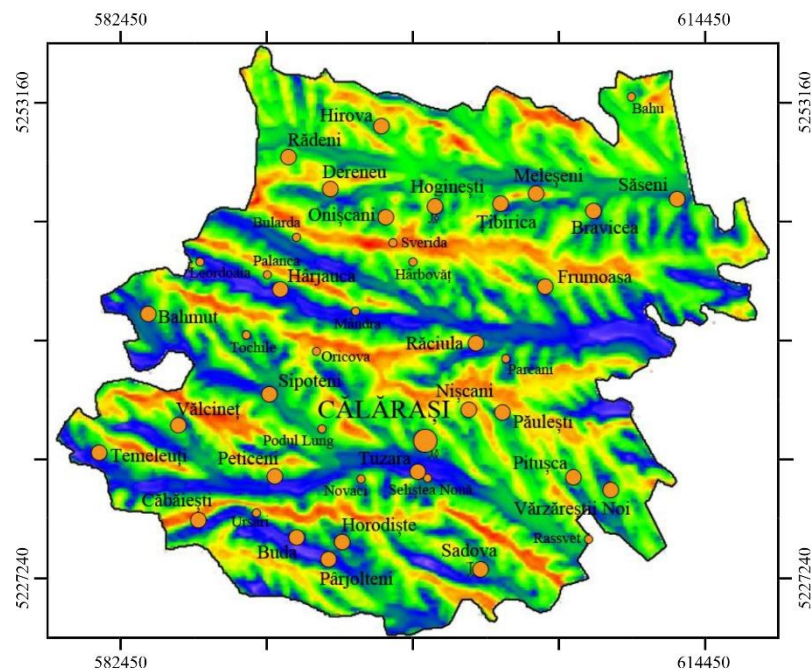
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Călărași la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.5 – A2.8. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt amplasamentele situate în apropiere de localitatea Vălcineț, dealurile direcționate pe liniile Bularda-Sverida-Frumoasa; Oricova-Nișcani și Găbăiești-Horodiște. Caracteristic pentru aceste dealuri este perpendicularitatea pe direcția nord-sud și sud-nord a vântului. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,47 m/s și densitatea de putere eoliană de 278 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,19 m/s și densitatea de putere eoliană de 357 W/m². În tabelul A2.2 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.2. Clasificarea teritoriului raionului Călărași
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

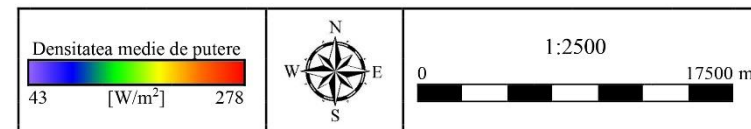
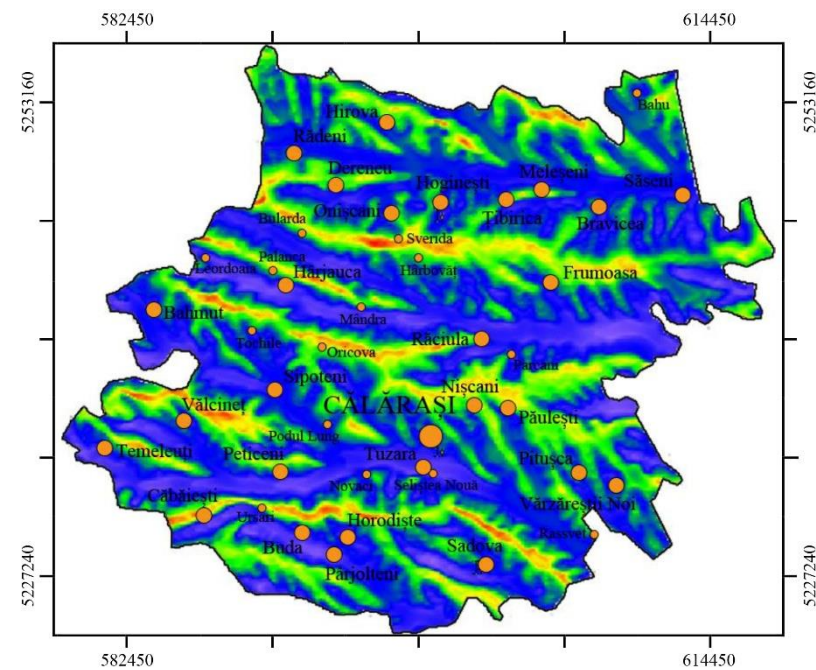
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	35097	15301	5592	345	3	56338	74,80%
Aria, km ²	350,97	153,01	55,92	3,45	0,03	563,38	74,80%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	1755	765,05	279,6	17,25	0,15	2816,9	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Doar 74,8 % din teritoriu sau 563,38 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² (tabelul A2.2);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 2817 MW [25].



**Figura A2.5. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Călărași**



**Figura A2.6. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Călărași**

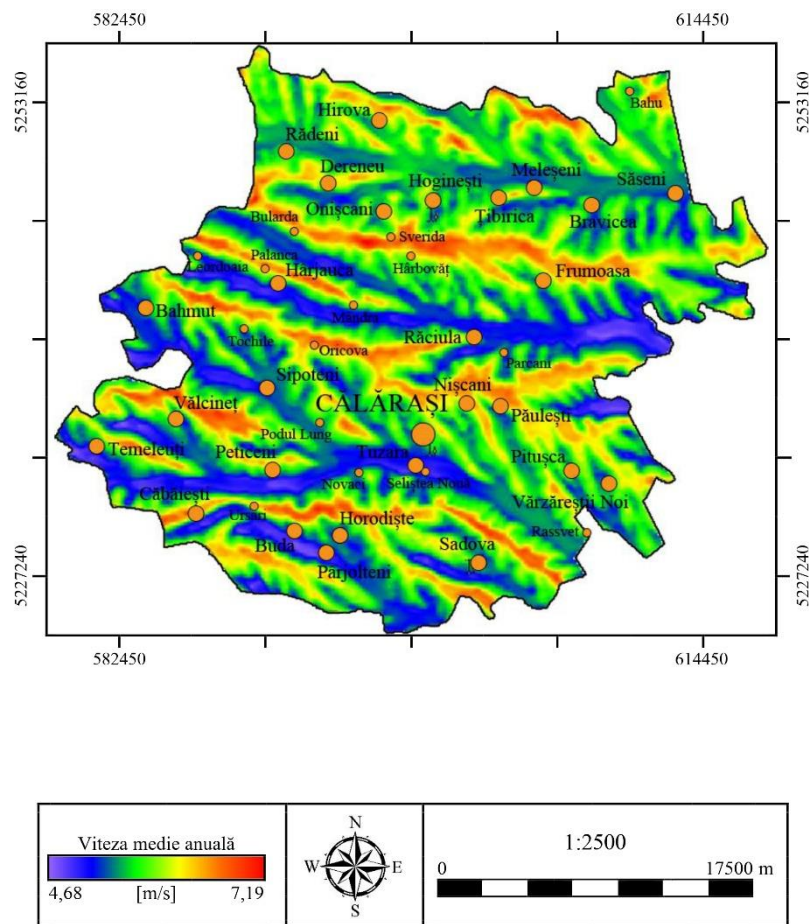


Figura A2.7. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Călărași

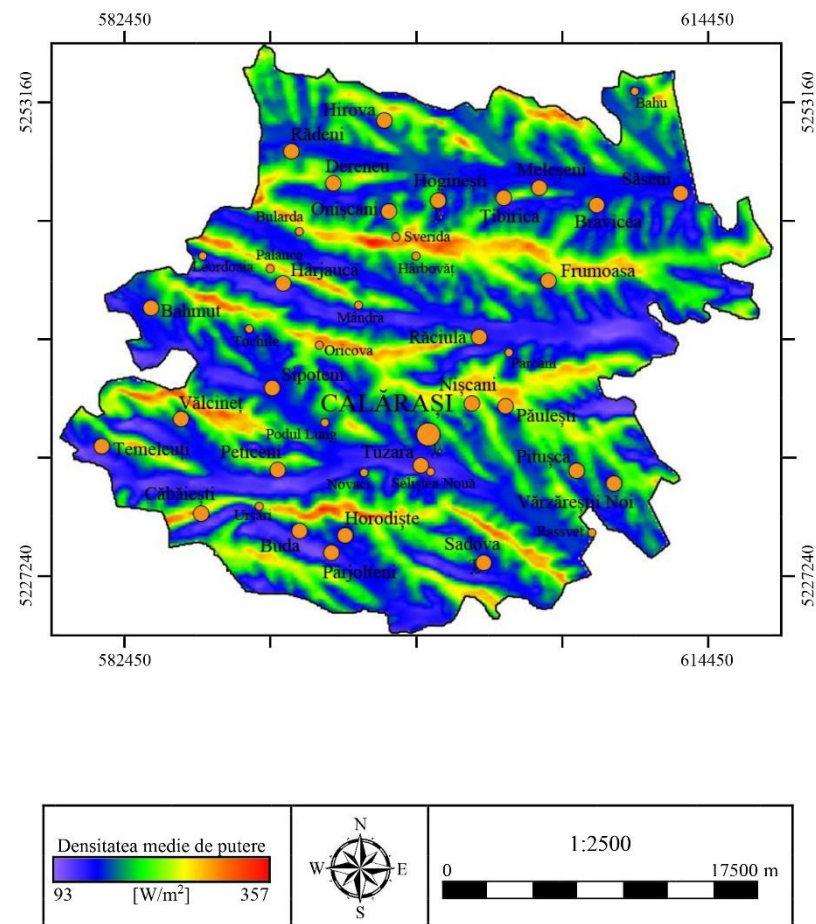


Figura A2.8. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Călărași

A2.3. Potențialul energetic eolian al raionului Criuleni

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Criuleni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.9 – A2.12. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat, sunt situate în apropiere de localitatea Mașcăuți. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,44 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 283 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,04 m/s și densitatea de putere eoliană de 340 W/m². În tabelul A2.3 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.3. Clasificarea teritoriului raionului Criuleni
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	35722	30299	686	20	0	66727	96,77%
Aria, km ²	357,22	302,99	6,86	0,2	0	667,27	96,77%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	1786,1	1514,95	34,3	1	0	3336,35	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Circa 97 % din teritoriu sau 667,27 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A2.3);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 3336 MW [25].

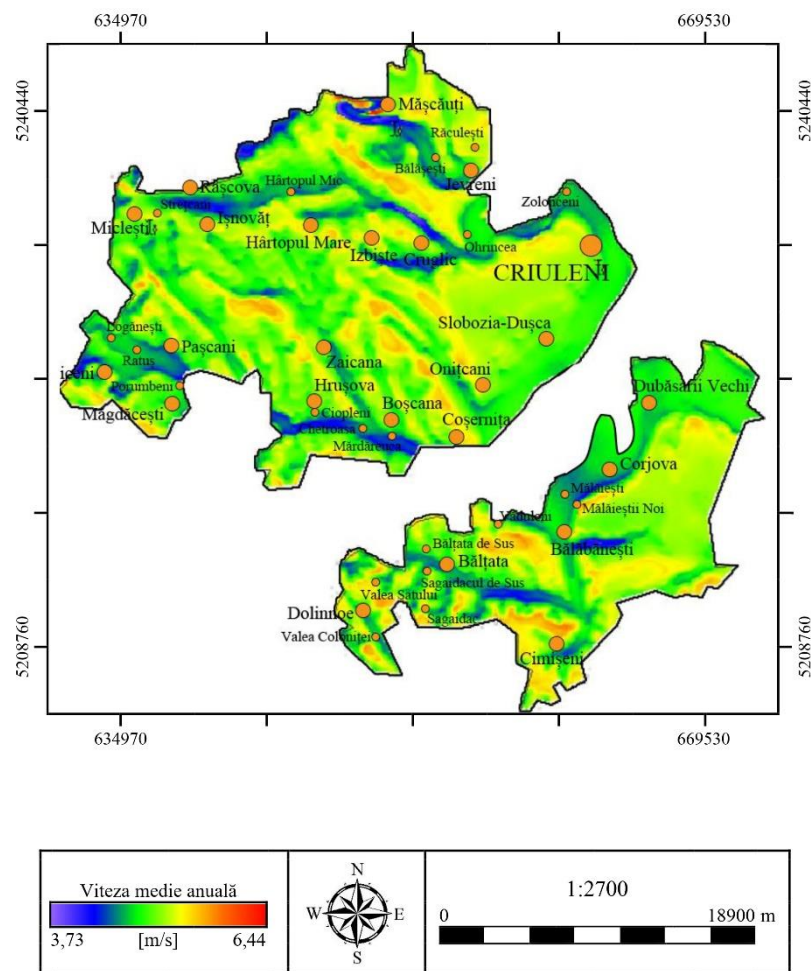


Figura A2.9. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Criuleni

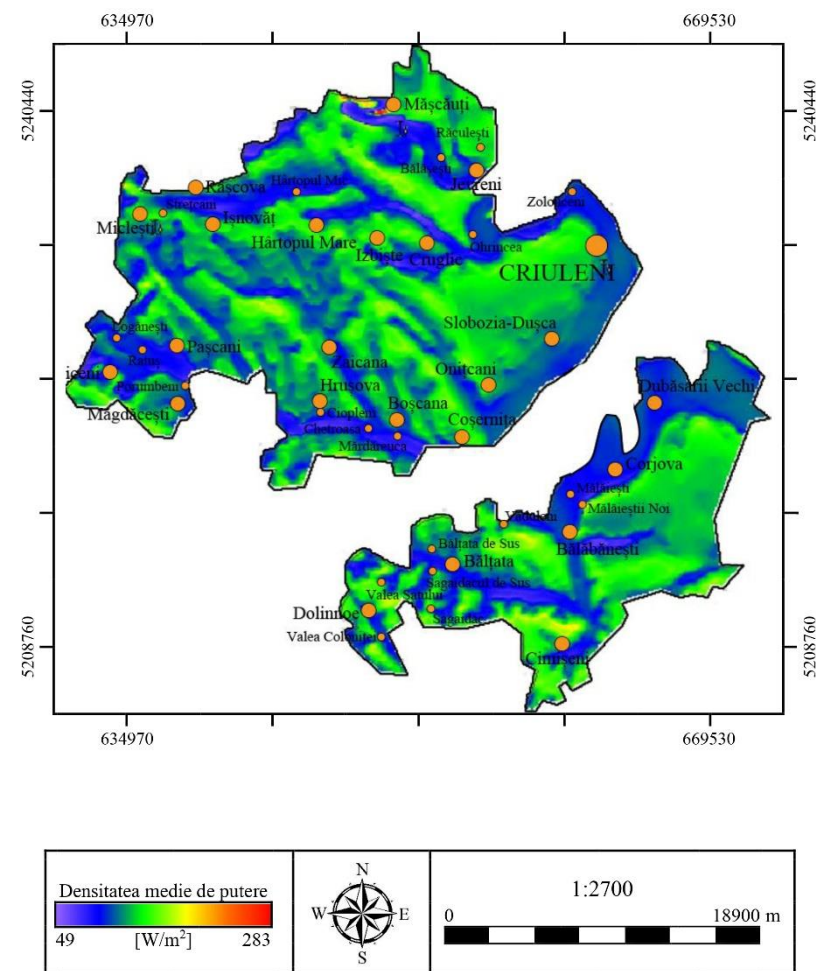


Figura A2.10. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Criuleni

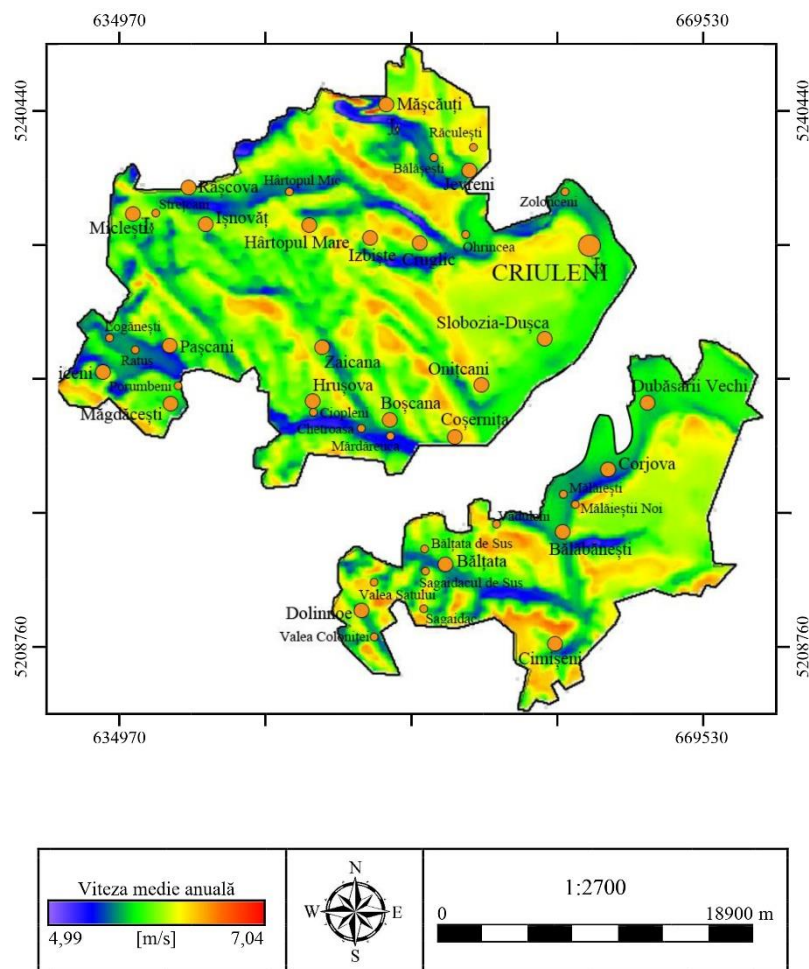


Figura A2.11. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Criuleni

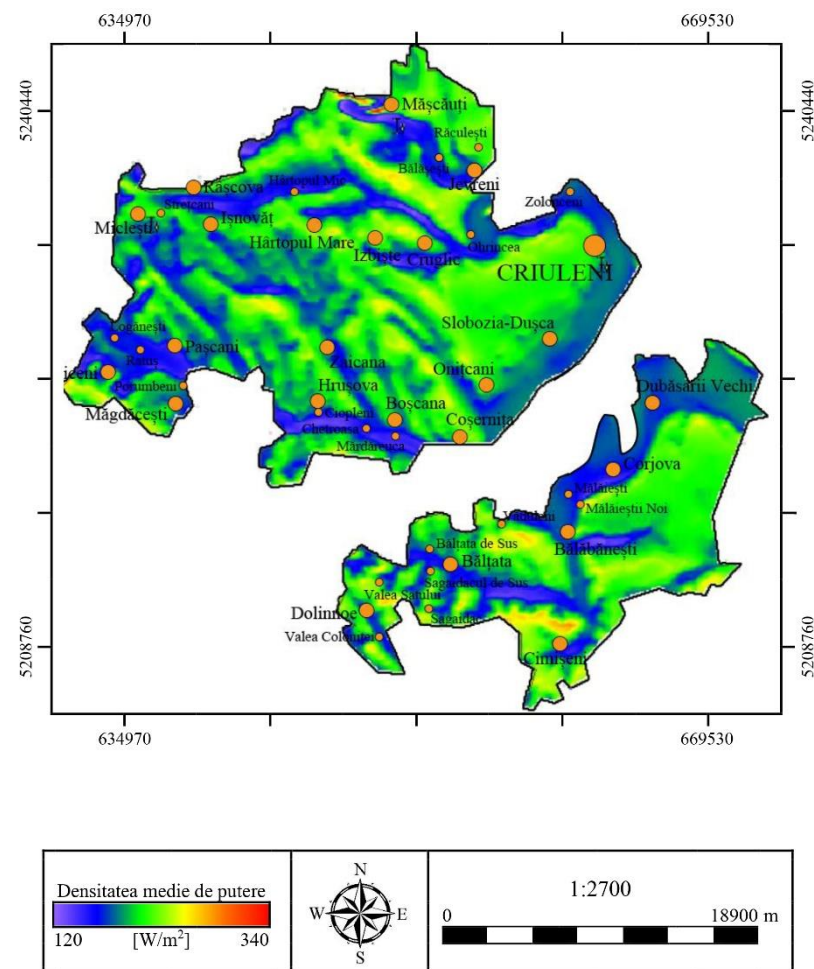


Figura A2.12. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Criuleni

A2.4. Potențialul energetic eolian al raionului Dubăsari

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Dubăsari la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.13 – A2.16. Raionul Dubăsari, în comparație cu celelalte raioane, are un potențial energetic eolian mult mai mic. Aici nu sunt zone cu densitatea de putere eoliană egală sau mai mare de 300 W/m². Doar circa 1,1 % din suprafața totală a raionului posedă un potențial de 250-300 W/m². Pentru producerea energiei electrice la scară mică ar putea fi recomandate extravilanele satelor Malovata și Cocieri. În tabelul A2.4 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.4. Clasificarea teritoriului raionului Dubăsari
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	9773	18525	364	0	0	28662	99,78%
Aria, km ²	97,73	185,25	3,64	0	0	286,62	99,78%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	488,65	926,25	18,2	0	0	1433,1	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Circa 99,78 % are un potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² (tabelul A2.4);
- Poate fi recomandat factorilor de decizie ale raionului să pună accentul pe valorificarea potențialului hidraulic și cel al biomasei [25].

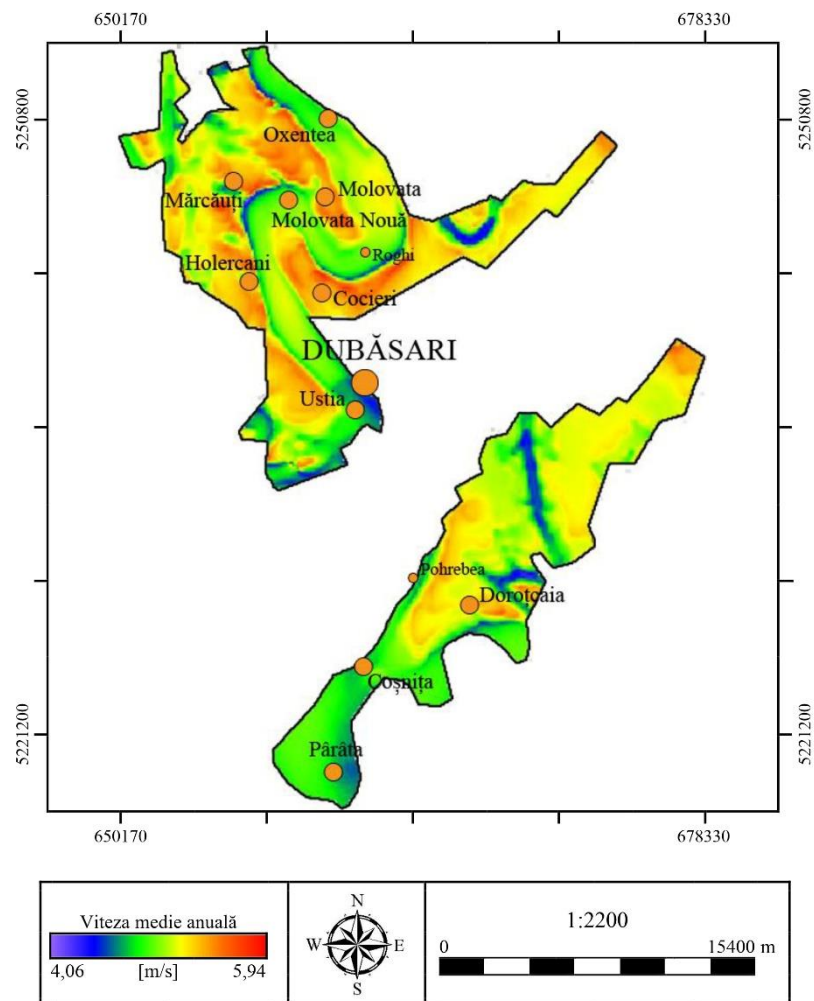


Figura A2.13. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Dubăsari

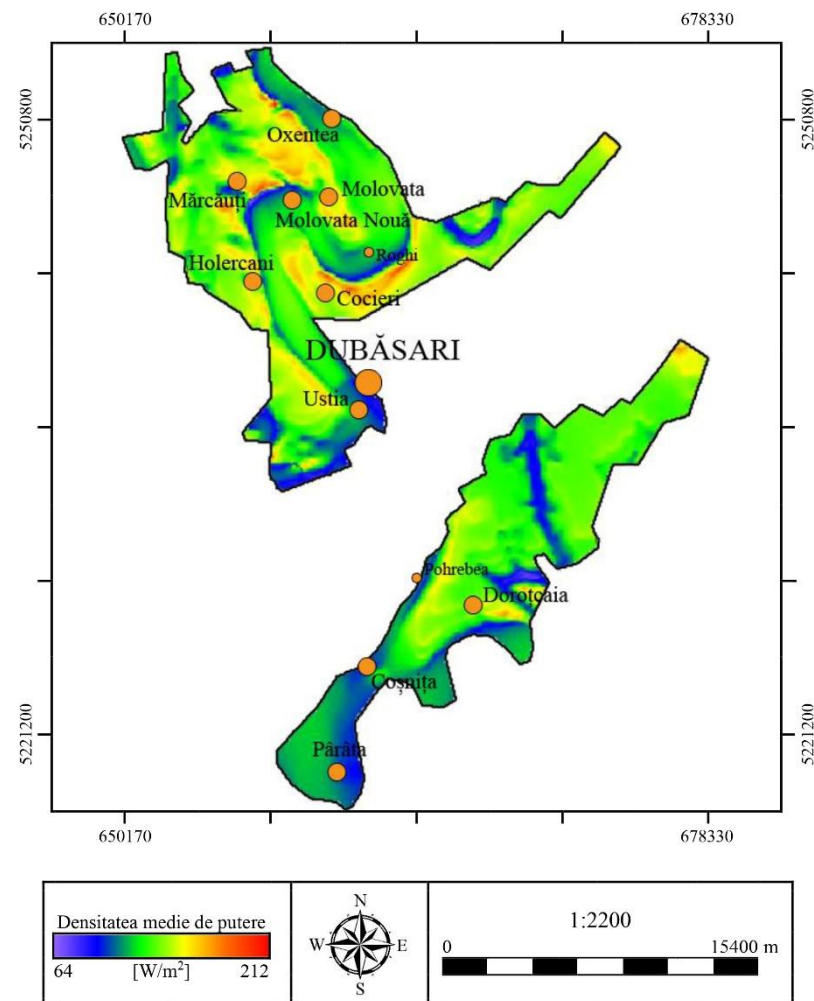


Figura A2.14. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Dubăsari

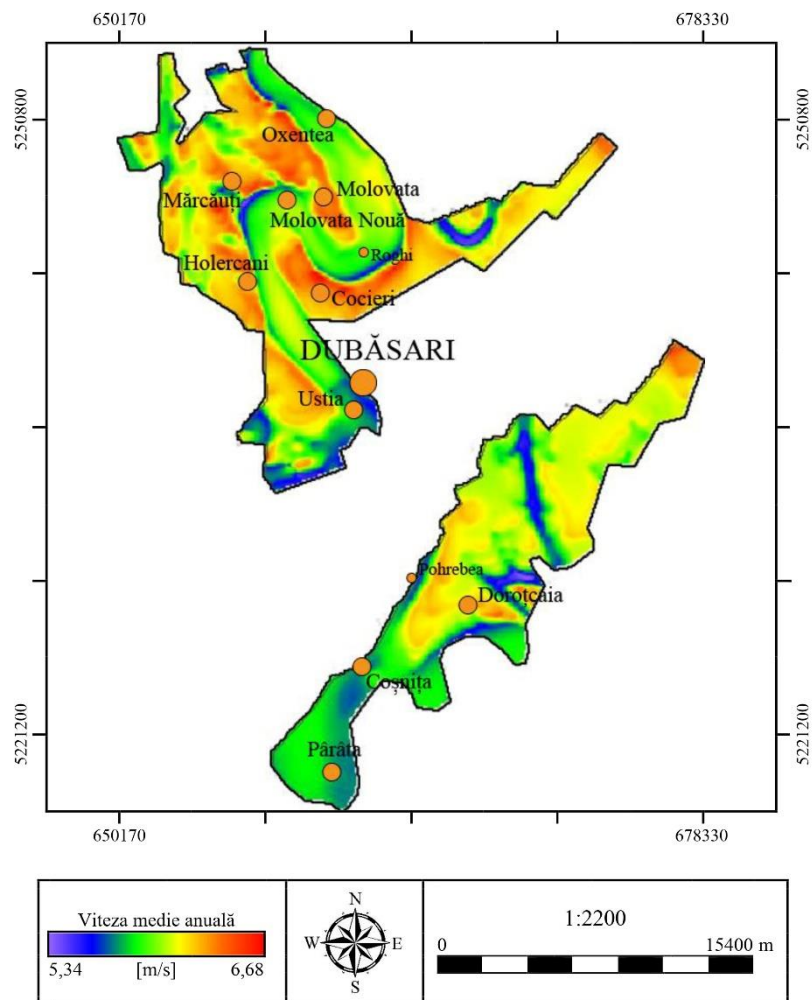


Figura A2.15. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Dubăsari

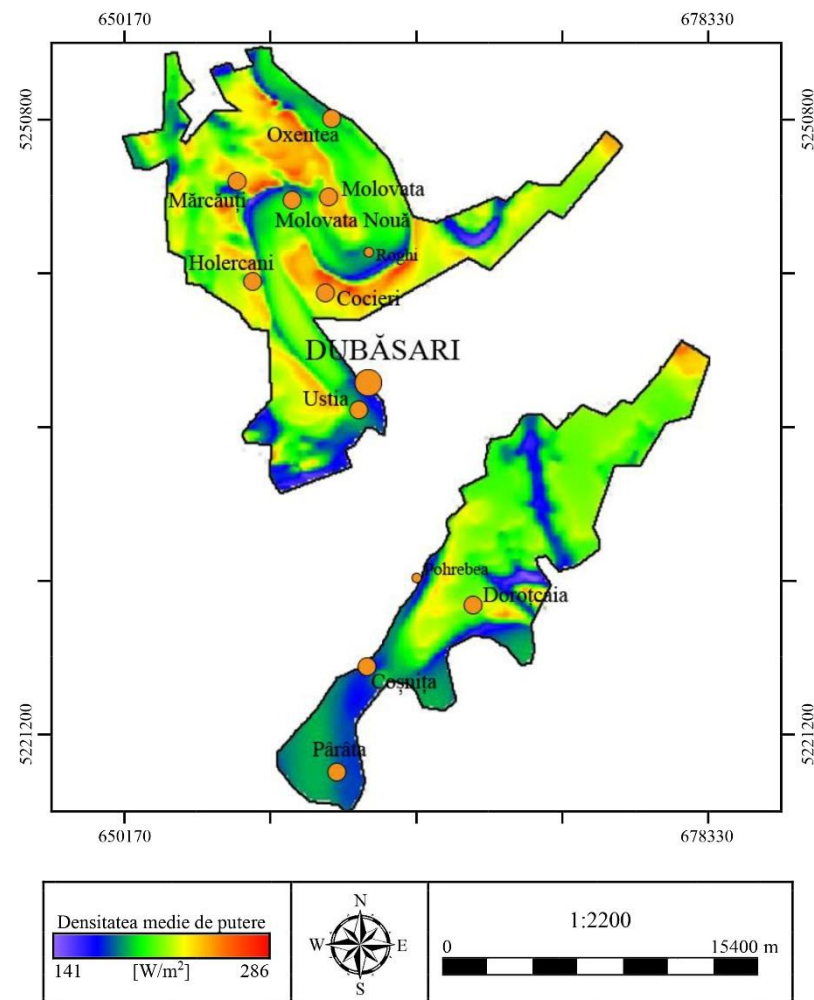


Figura A2.16. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Dubăsari

A2.5. Potențialul energetic eolian al raionului Hâncești

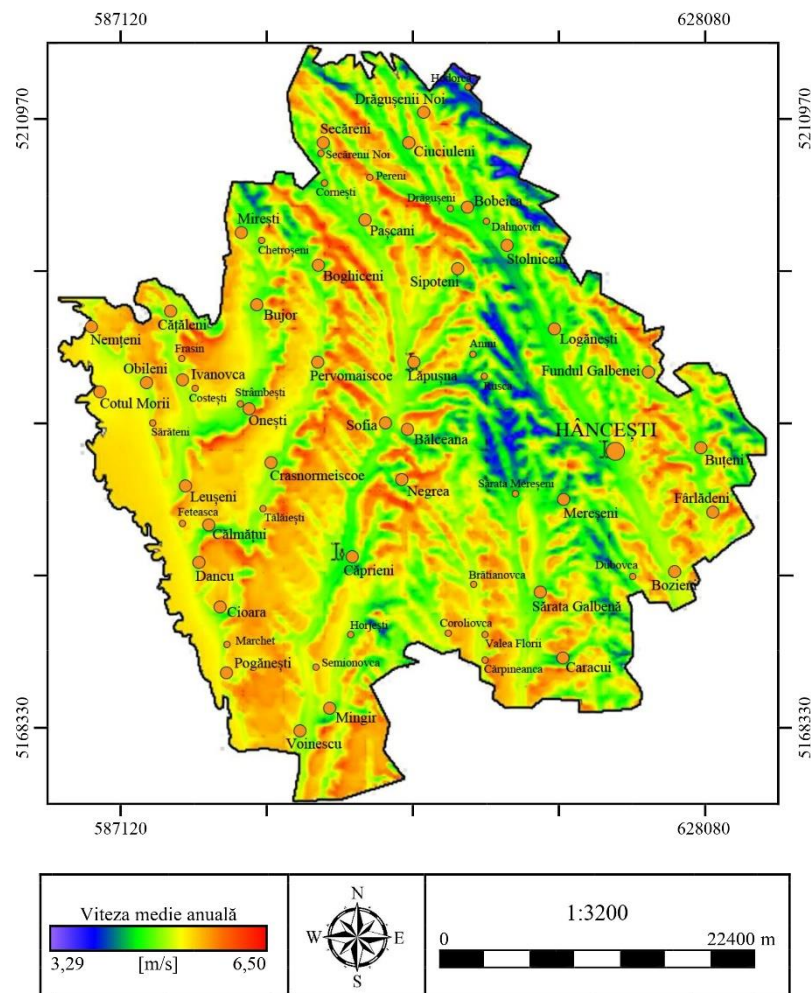
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Hâncești la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.17 – A2.20. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt dealurile situate în partea de nord a raionului în apropiere de localitatea Boghicieni. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,50 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 284 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,15 m/s și densitatea de putere eoliană de 351 W/m². În tabelul A2.5 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.5. Clasificarea teritoriului raionului Hâncești
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

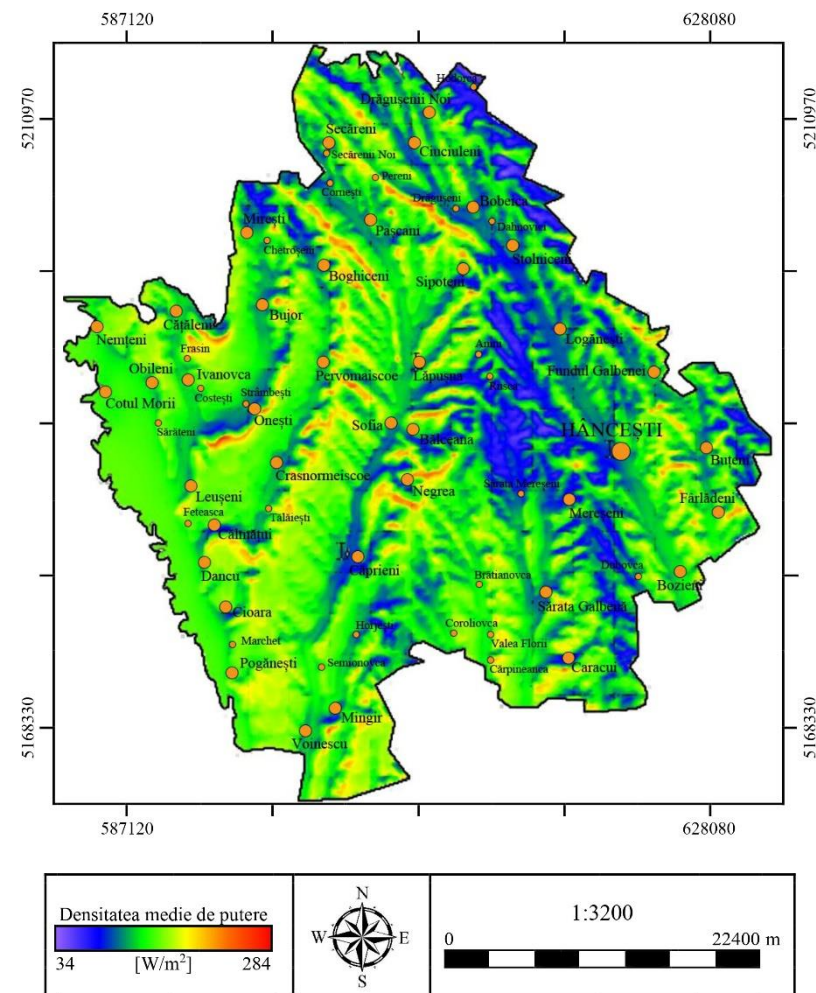
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	40931	78692	23869	723	1	144216	97,09%
Aria, km ²	409,31	786,92	238,69	7,23	0,01	1442,16	97,09%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	2046,55	3934,6	1193,45	36,15	0,05	7210,8	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

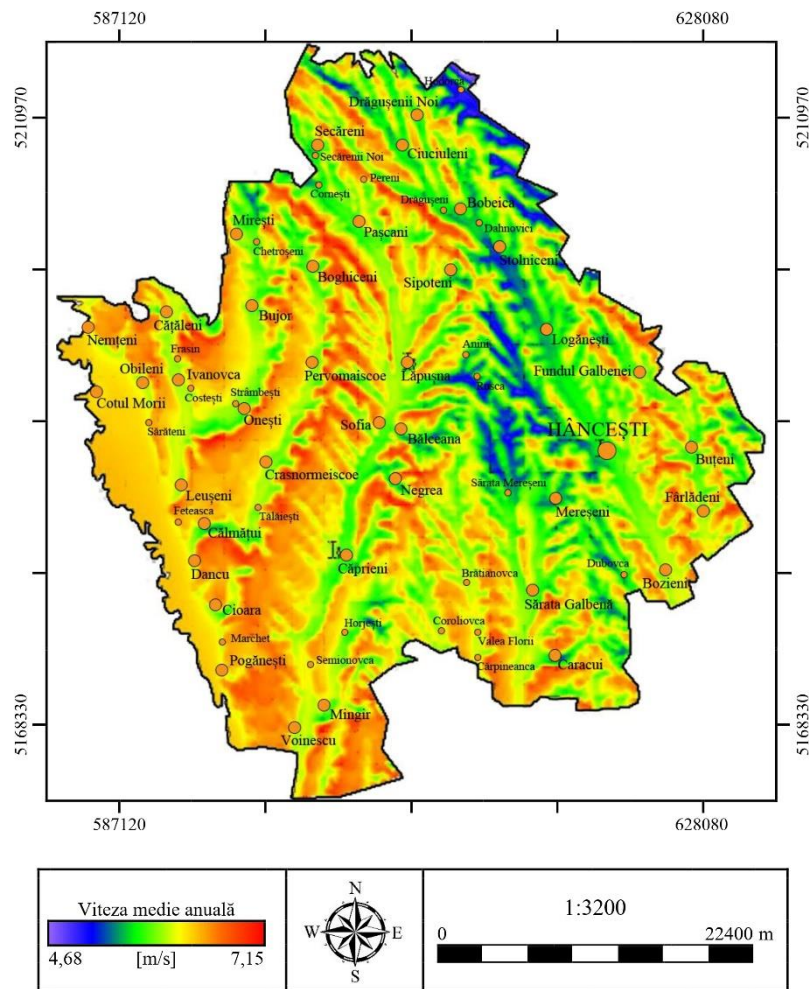
- Circa 97 % din teritoriu sau 1442,2 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m², (tabelul A2.5);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 7211 MW [25].



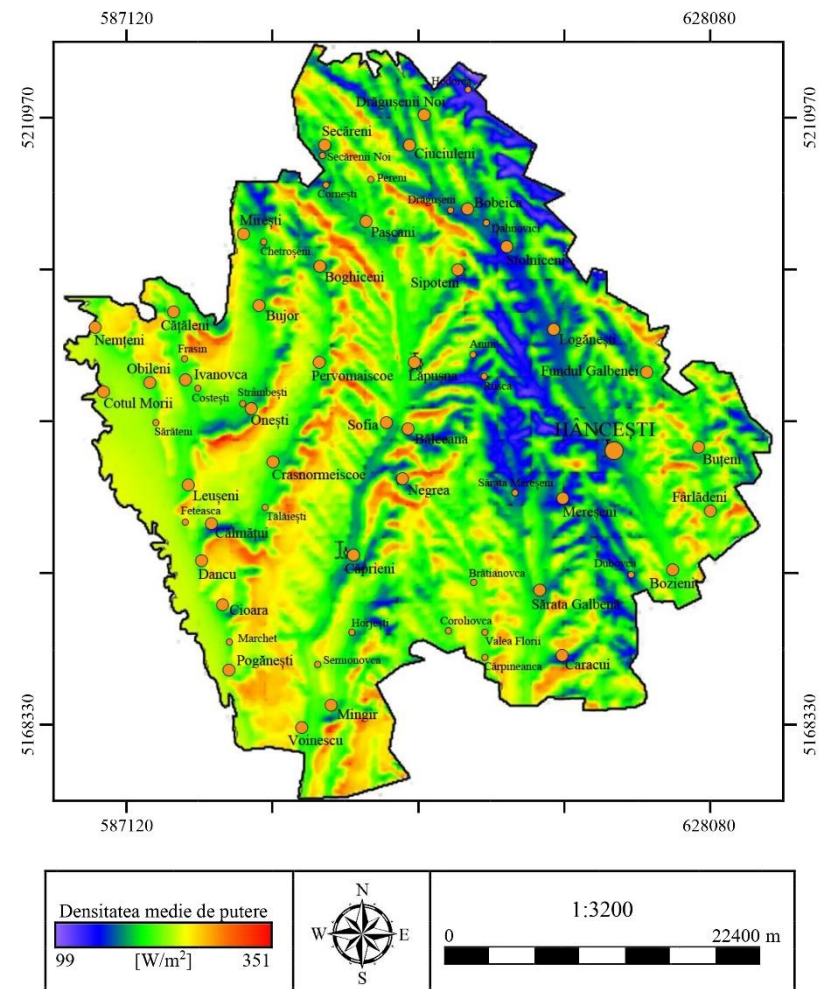
**Figura A2.17. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Hâncești**



**Figura A2.18. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Hâncești**



**Figura A2.19. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Hâncești**



**Figura A2.20. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Hâncești**

A2.6. Potențialul energetic eolian al raionului Ialoveni

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Ialoveni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.21 – A2.24. Principalele zone cu potențial eolian semnificativ sunt dealurile direcționate pe linia Sociteni-Bălțați, la nord de comunele Homuteanovca și Garbuna. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,2 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 240 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,7 m/s și densitatea de putere eoliană de 287 W/m². În tabelul A2.6 este prezintă clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.6. Clasificarea teritoriului raionului Ialoveni
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	41146	24597	433	0	0	66176	89,16%
Aria, km ²	411,46	245,97	4,33	0	0	661,76	89,16%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	2057,3	1229,85	21,65	0	0	3308,8	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Circa 89 % din teritoriu sau 661,76 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² (tabelul A2.6), în același timp, zone cu densitate de putere eoliană de 300-400 W/m² nu sunt;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 3309 MW [25].

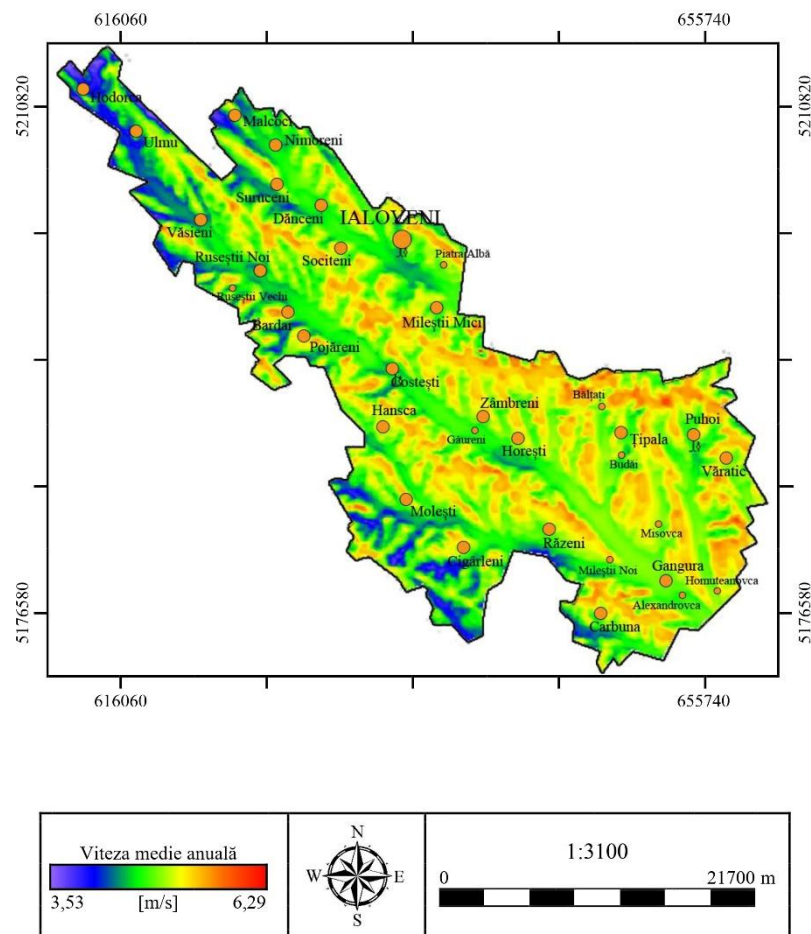


Figura A2.21. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Ialoveni

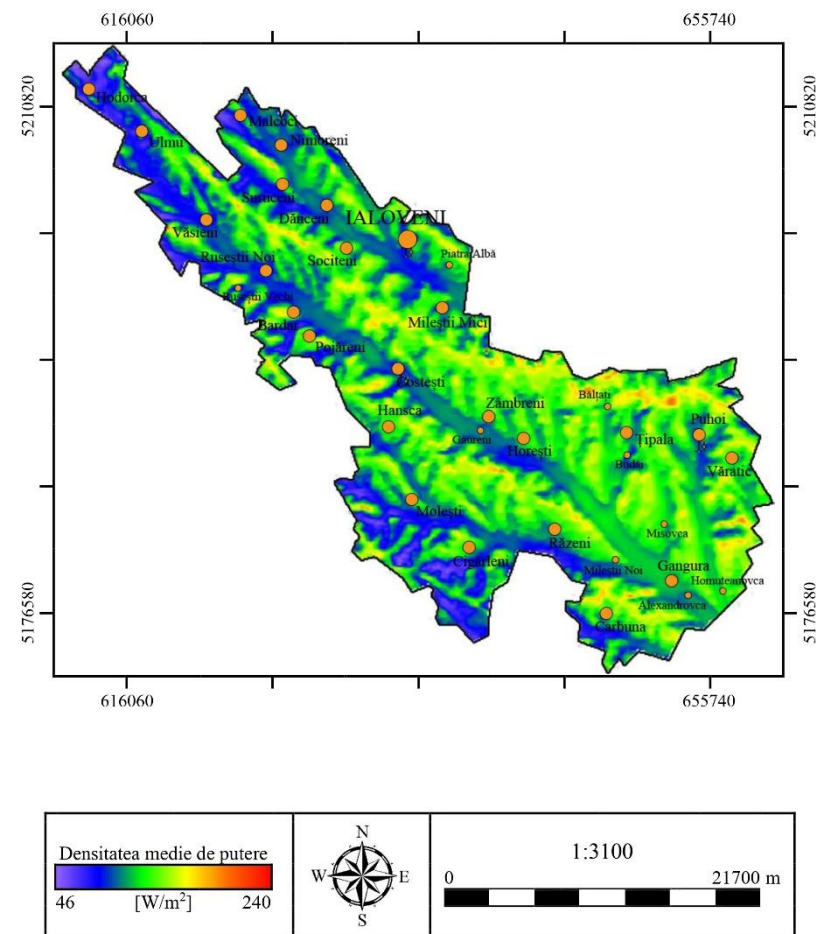


Figura A2.22. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Ialoveni

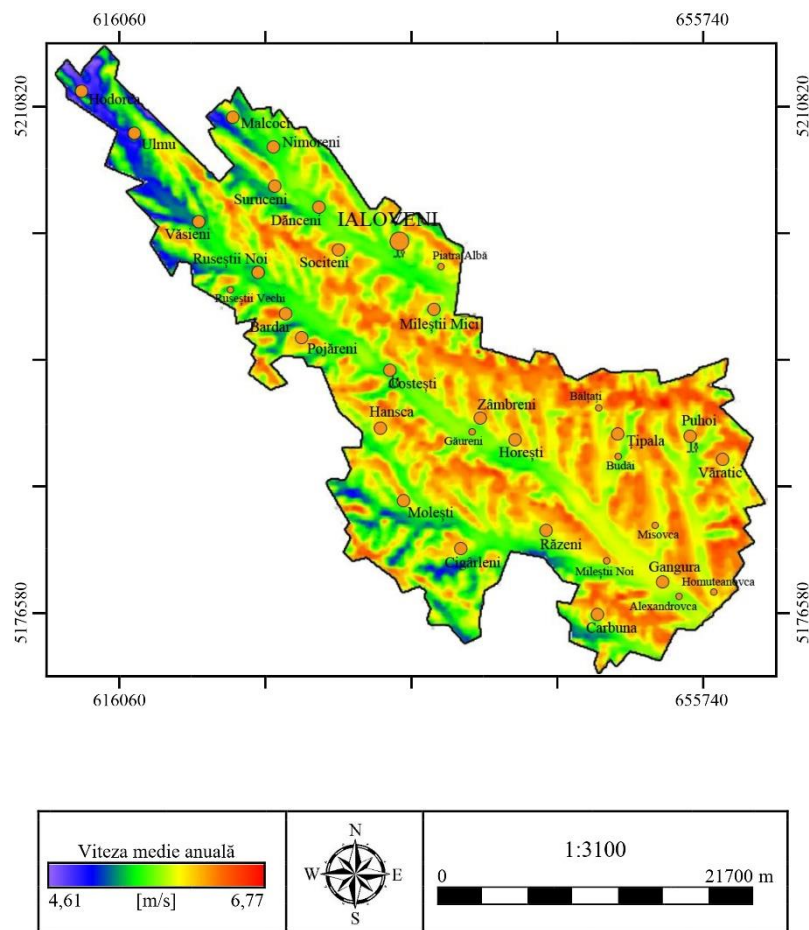


Figura A2.23. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Ialoveni

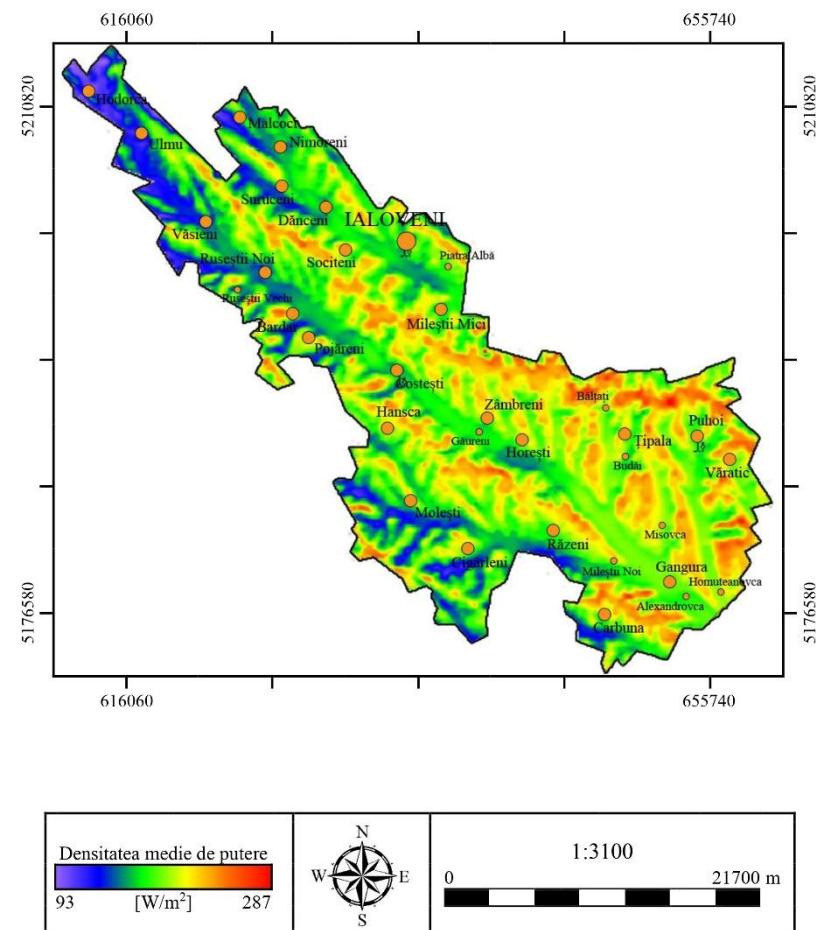


Figura A2.24. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Ialoveni

A2.7. Potențialul energetic eolian al raionului Nisporeni

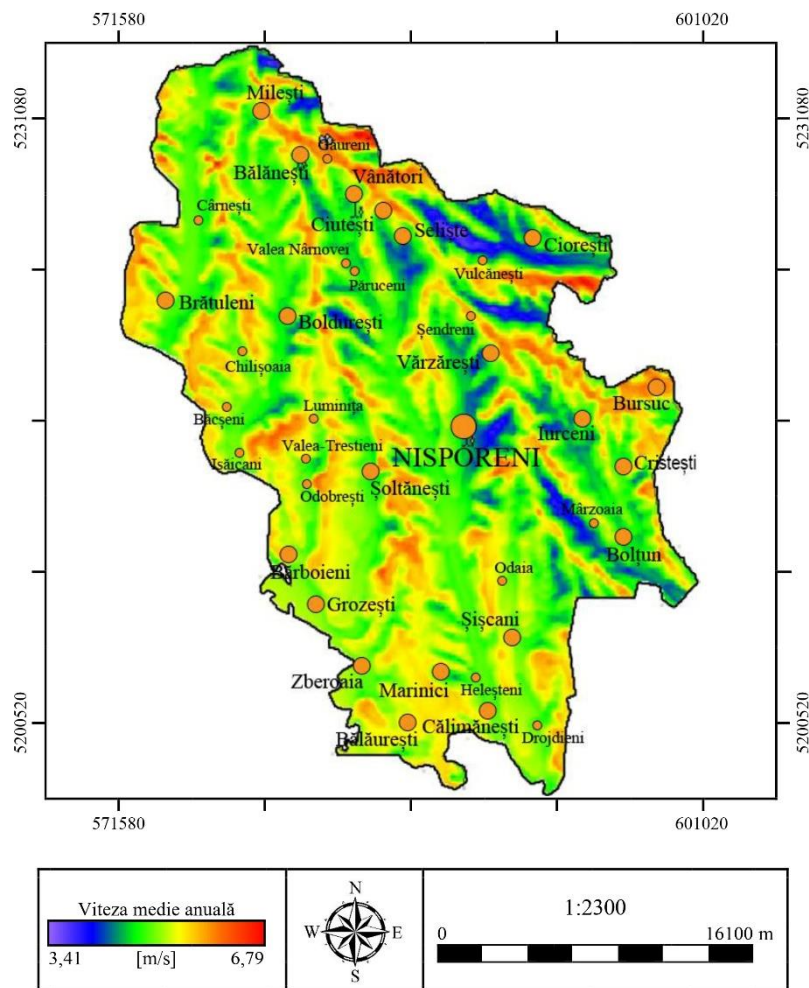
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Nisporeni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.25 – A2.28. Principalele zone cu potențial eolian sunt amplasamentele situate în partea de nord a raionului pe linia Milești-Găureni-Seliște. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,8 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 323 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,4 m/s și densitatea de putere eoliană de 398 W/m². În tabelul A2.7 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.7. Clasificarea teritoriului raionului Nisporeni
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

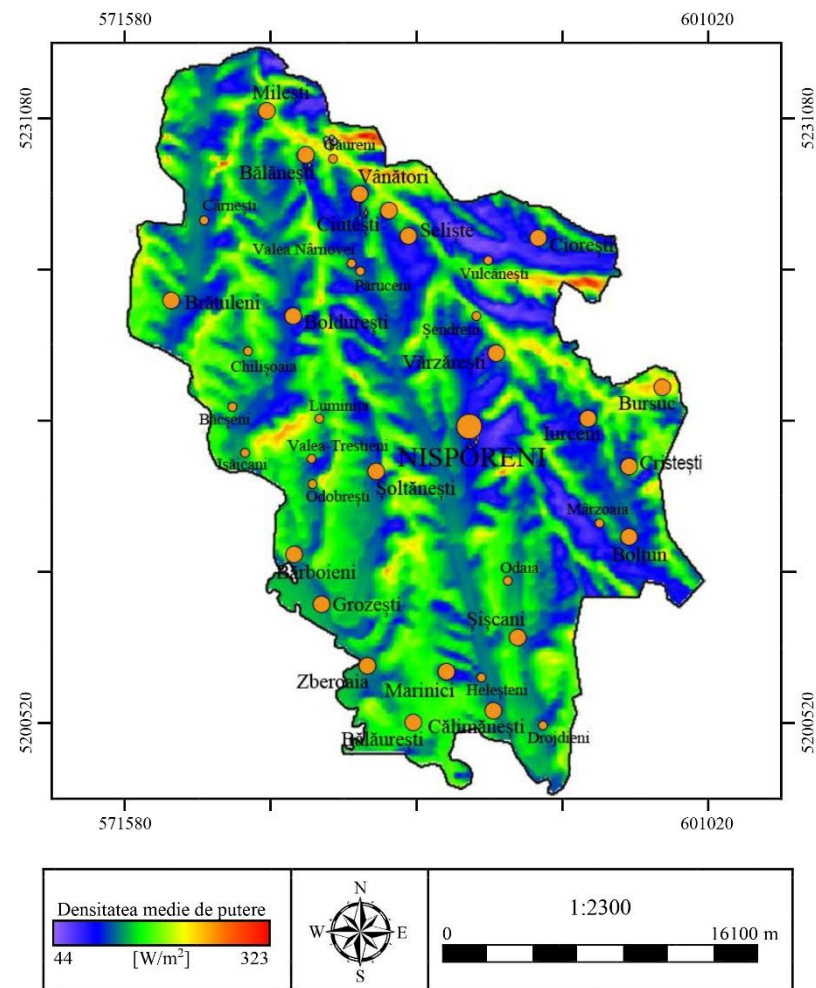
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	16468	30401	12083	1446	73	60471	97,04%
Aria, km ²	164,68	304,01	120,83	14,46	0,73	604,71	97,04%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	823,4	1520,05	604,15	72,3	3,65	3023,55	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

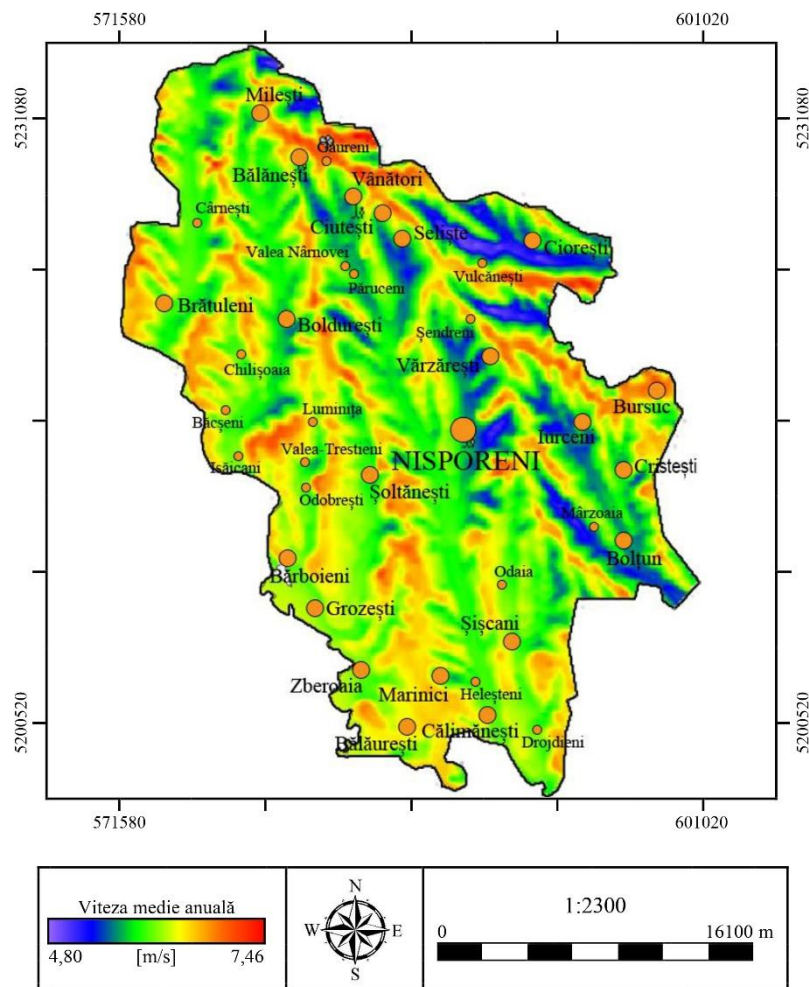
- Circa 97 % din teritoriu sau 604,71 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m², din care 0,73 km² (tabelul A2.7) din suprafața raionului are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m²;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 3024 MW, iar în zonele cu un potențial mai mare de 350 W/m², puterea teoretică ar fi de 4 MW [25].



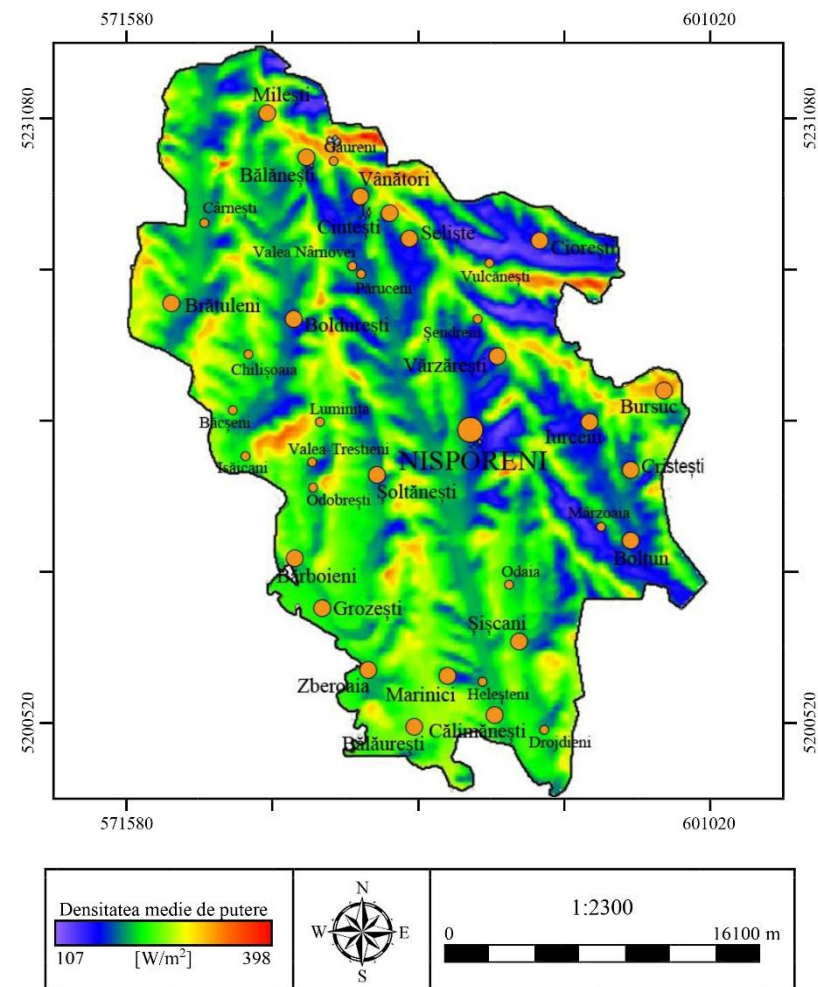
**Figura A2.25. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Nisporeni**



**Figura A2.26. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Nisporeni**



**Figura A2.27. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Nisporeni**



**Figura A2.28. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Nisporeni**

A2.8. Potențialul energetic eolian al raionului Orhei

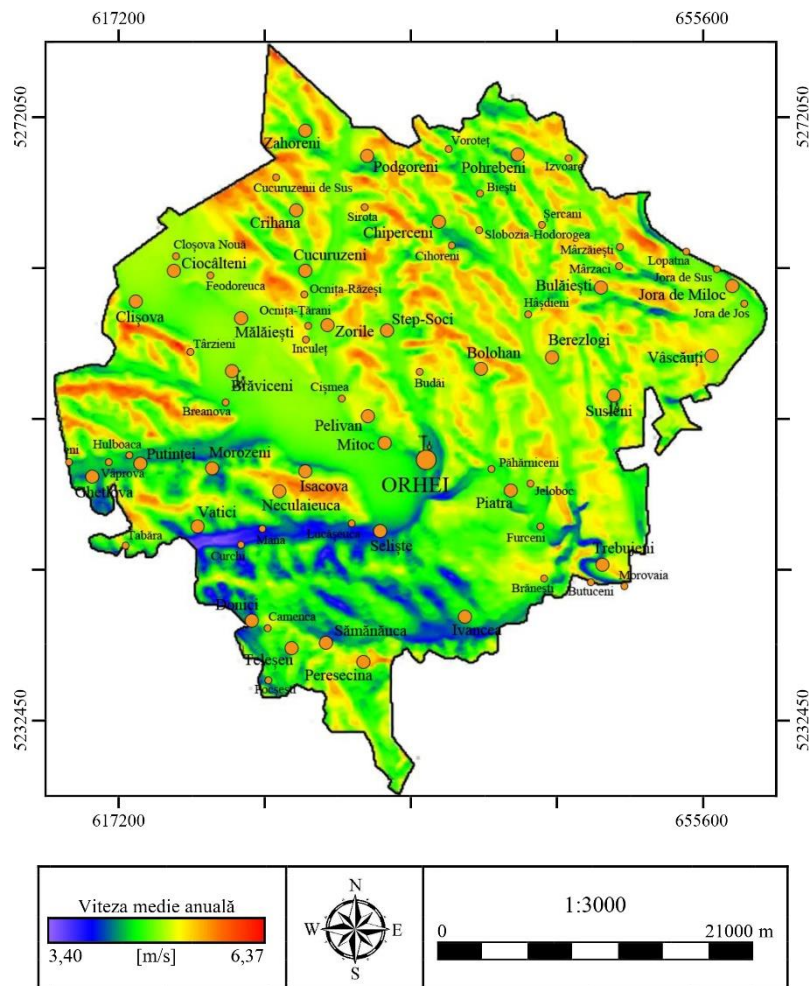
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Orhei la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.29 – A2.32. Principalele zone sunt amplasamentele situate în partea de nord-vest a raionului, la sud de localitatea Clișova. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,3 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 252 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,0 m/s și densitatea de putere eoliană de 314 W/m². În tabelul A2.8 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.8. Clasificarea teritoriului raionului Orhei
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

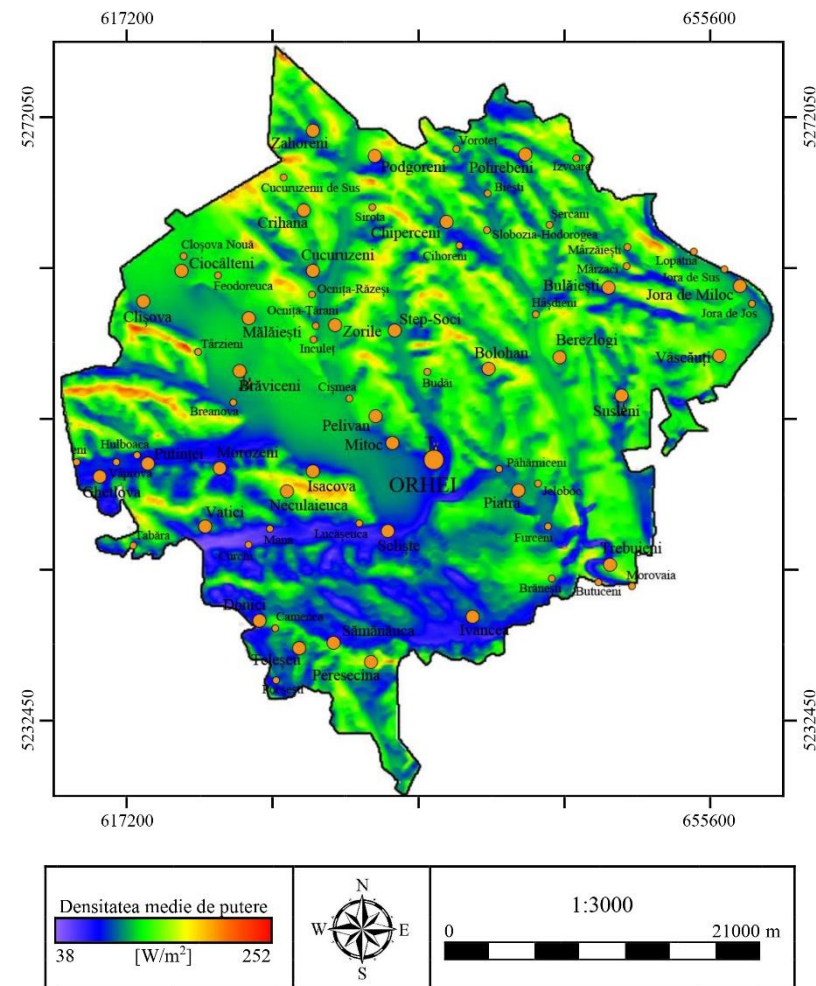
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	74097	33785	2434	16	0	110332	89,86%
Aria, km ²	740,97	337,85	24,34	0,16	0	1103,32	89,86%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	3704,85	1689,25	121,7	0,8	0	5516,6	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Circa 89 % din teritoriu sau 1103,32 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A2.8);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 5517 MW [25].



**Figura A2.29. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Orhei**



**Figura A2.30. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Orhei**

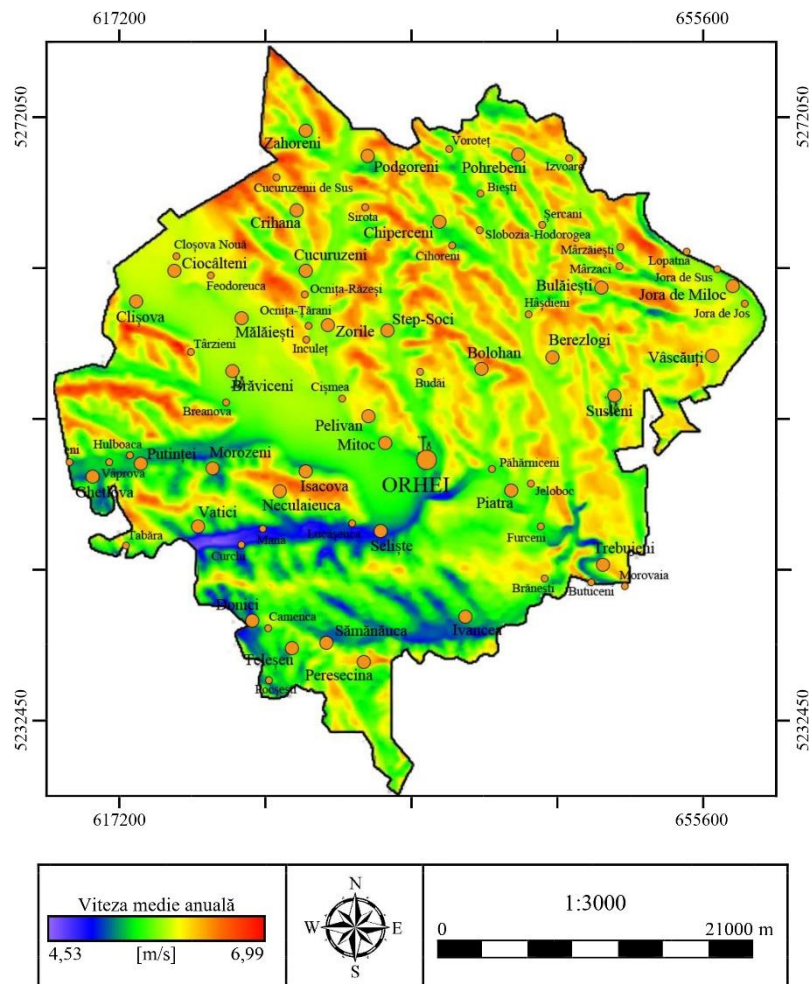


Figura A2.31. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Orhei

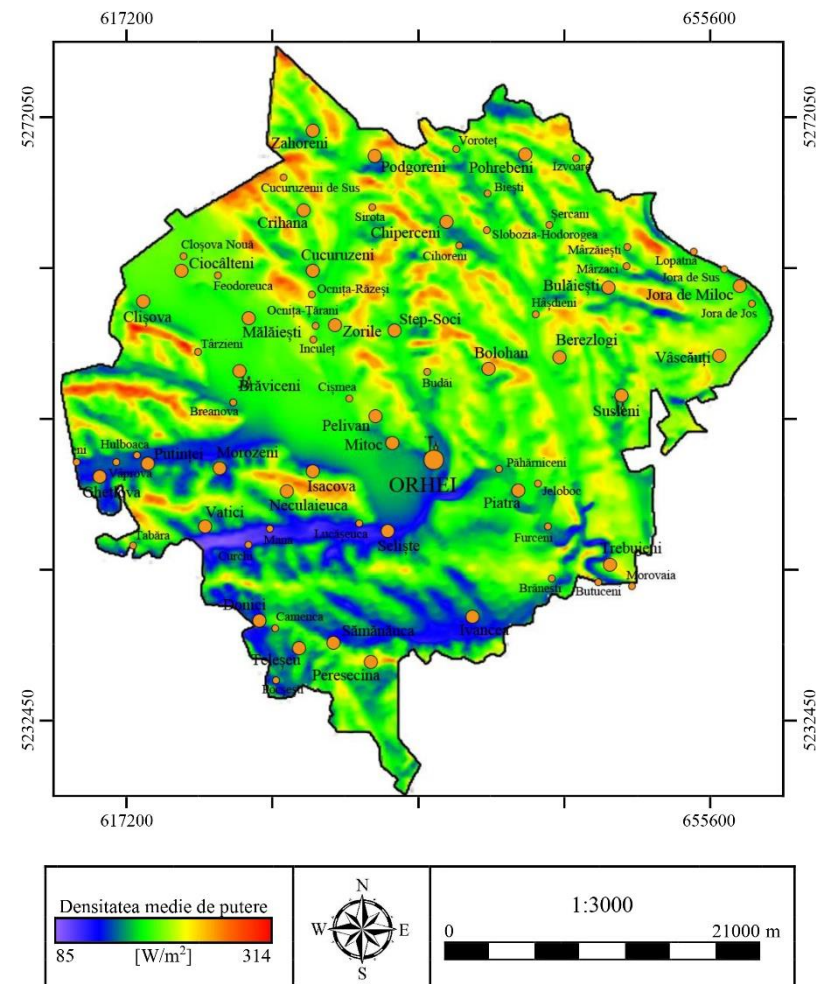


Figura A2.32. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Orhei

A2.9. Potențialul energetic eolian al raionului Rezina

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Rezina la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.33 – A2.36. Principalele zone cu potențial sunt amplasamentele situate în partea de vest a raionului în apropiere de localitatea Ignăței. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,03 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 213 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,75 m/s și densitatea de putere eoliană de 287 W/m². În tabelul A2.9 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.9. Clasificarea teritoriului raionului Rezina
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	34409	23426	560	0	0	58395	93,41%
Aria, km ²	344,09	234,26	5,6	0	0	583,95	93,41%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	1720,45	1171,3	28	0	0	2919,75	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Circa 93 % din teritoriu sau 583,95 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² (tabelul A2.9), în același timp, zone cu densitate de putere eoliană de 300-400 W/m² nu sunt;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 2920 MW [25].

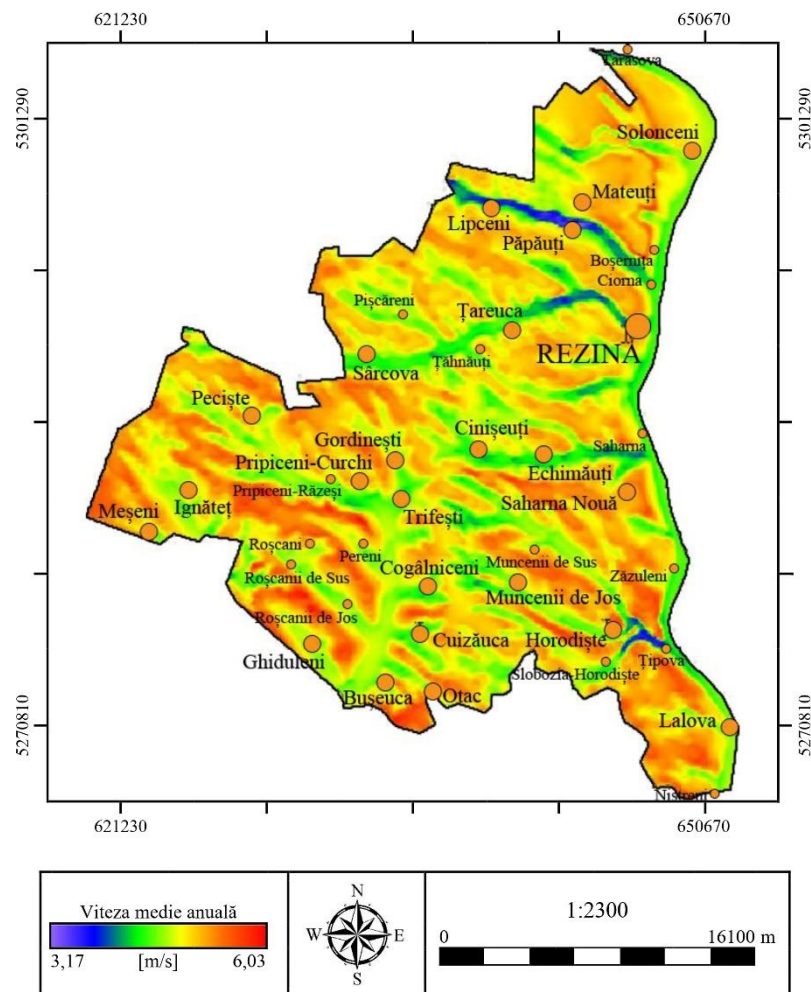


Figura A2.33. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Rezina

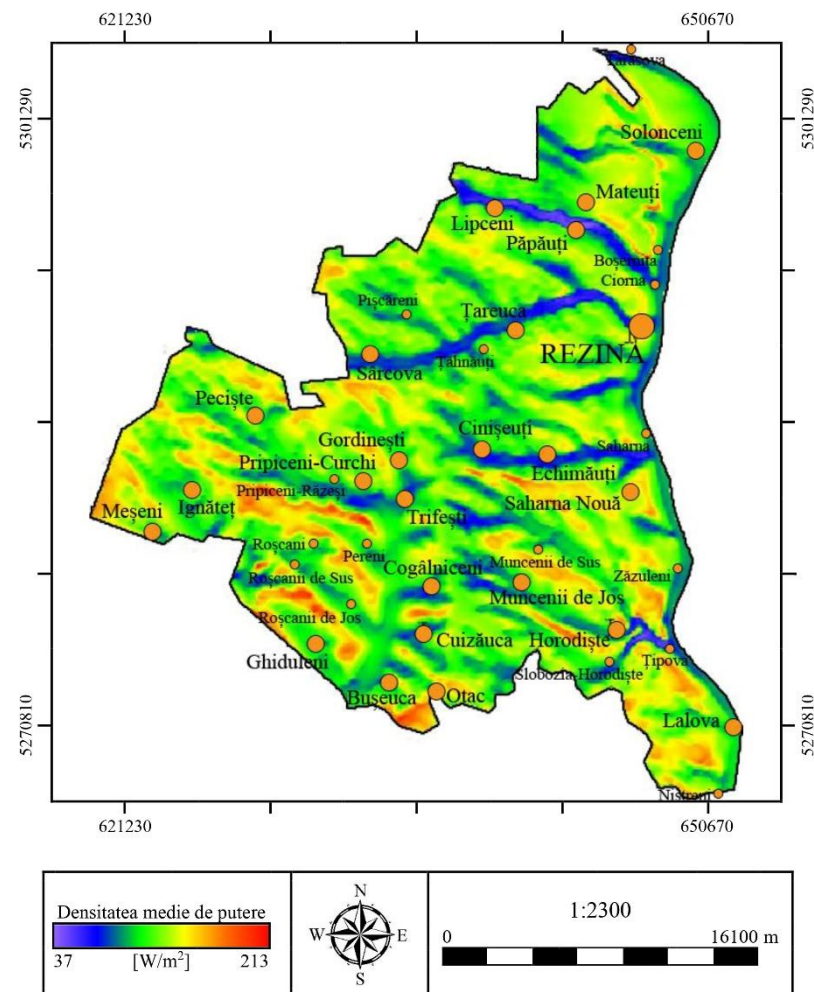


Figura A2.34. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Rezina

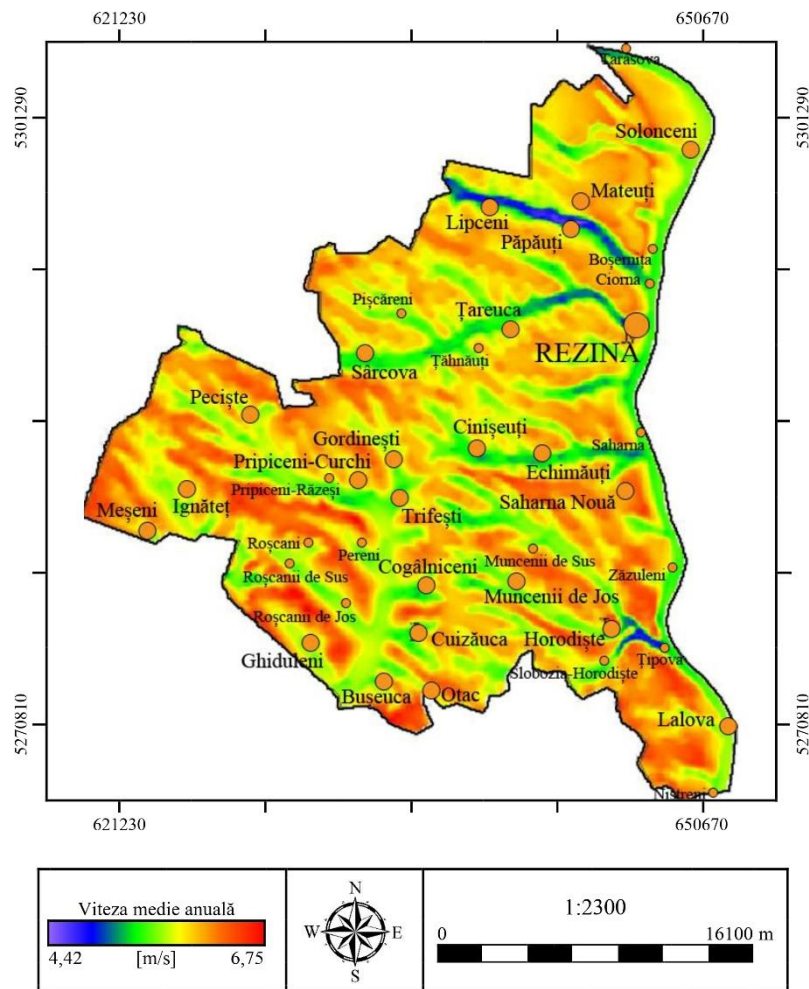


Figura A2.35. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Rezina

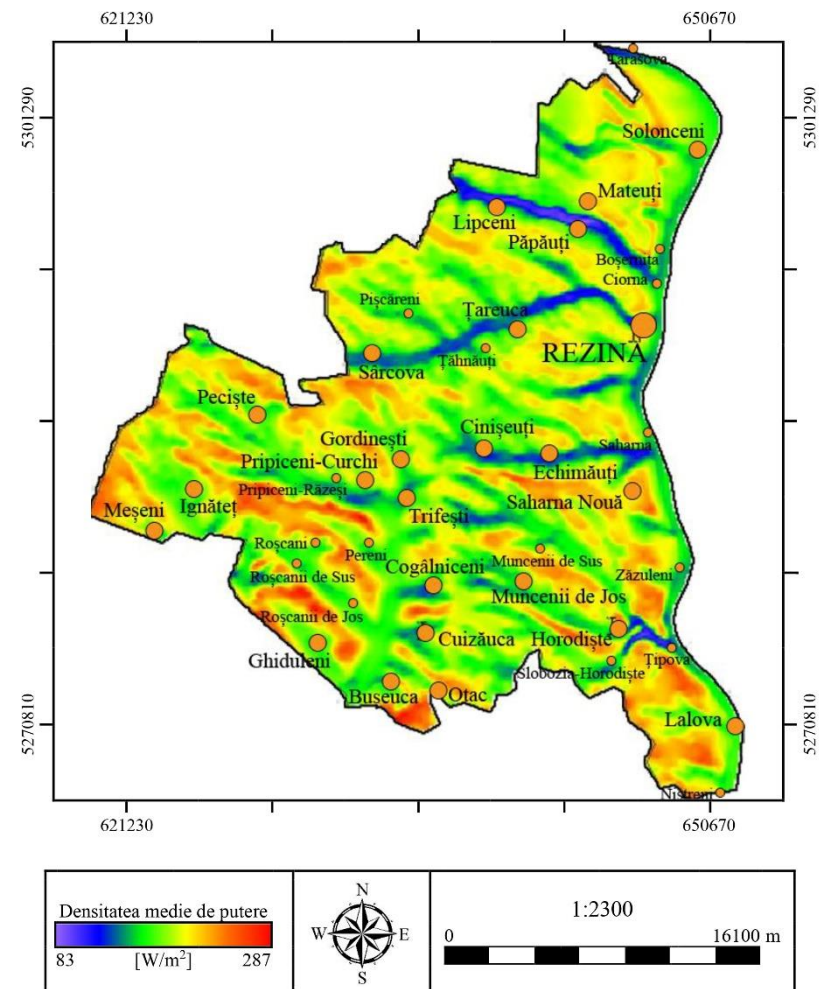


Figura A2.36. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Rezina

A2.10. Potențialul energetic eolian al raionului Strășeni

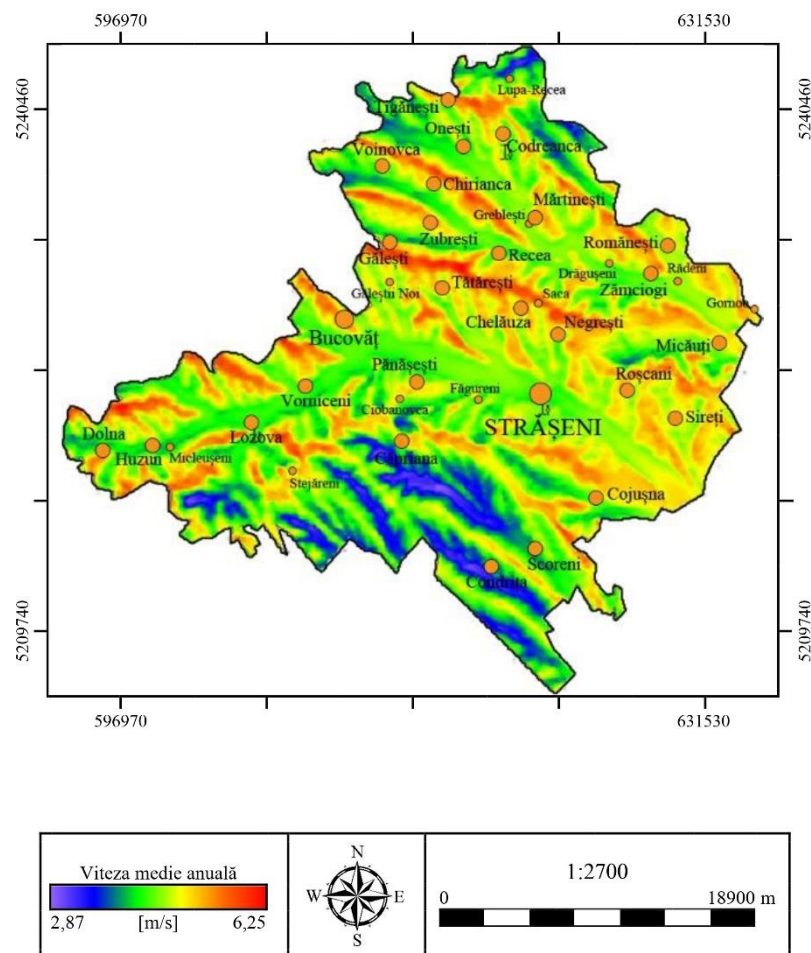
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Strășeni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.37 – A2.40. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt situate în partea de nord a raionului. Acestea sunt dealurile direcționate pe linia Voinovca-Chirianca-Greblești și Gălești-Negrești. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,25 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 250 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,98 m/s și densitatea de putere eoliană de 316 W/m². În tabelul A2.10 este prezintată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.10. Clasificarea teritoriului raionului Strășeni
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

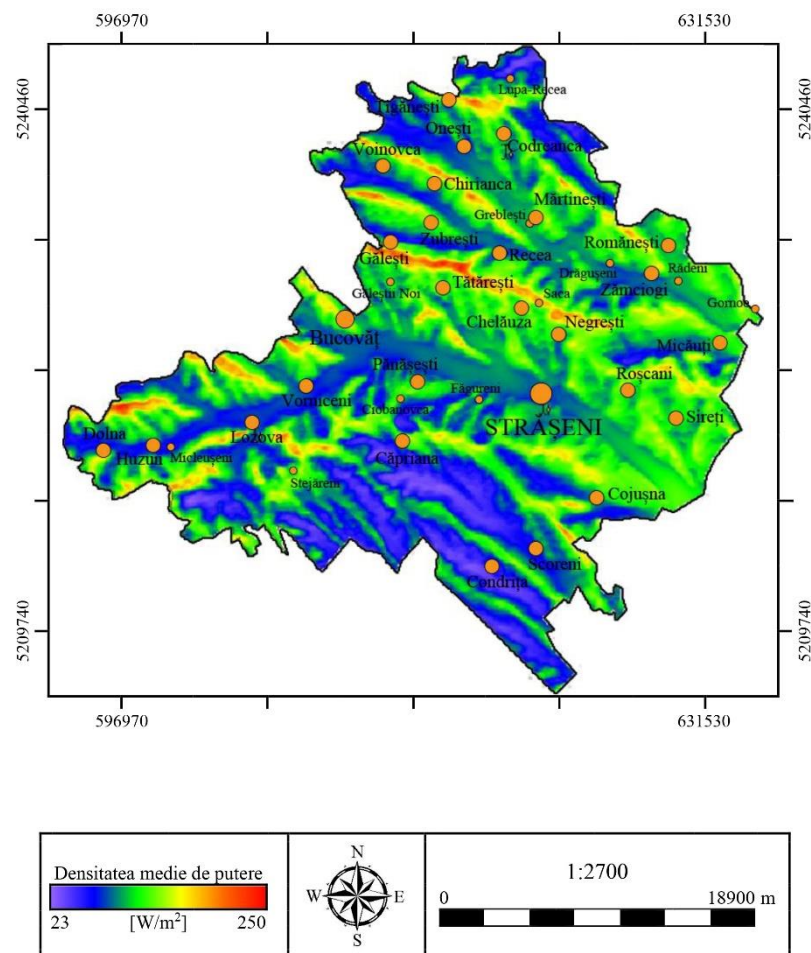
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	35244	11076	1194	29	0	47543	64,06%
Aria, km ²	352,44	110,76	11,94	0,29	0	475,43	64,06%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	1762,2	553,8	59,7	1,45	0	2377,15	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Doar 64 % din teritoriu sau 475,43 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A2.10);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 2377 MW [25].



**Figura A2.37. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Strășeni**



**Figura A2.38. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Strășeni**

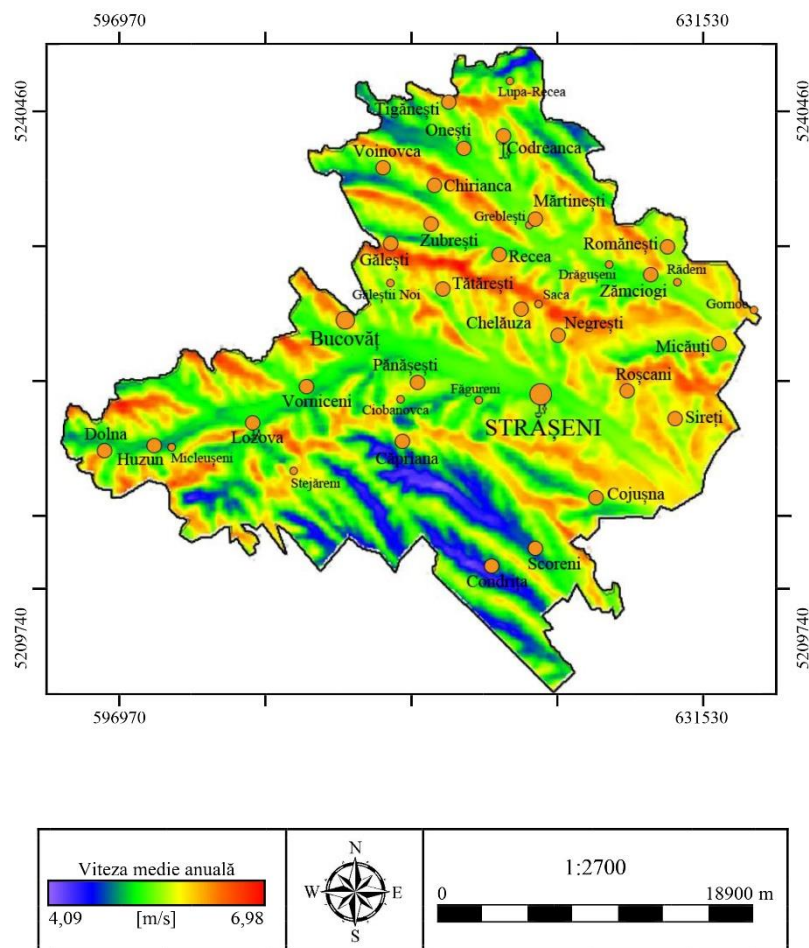


Figura A2.39. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Strășeni

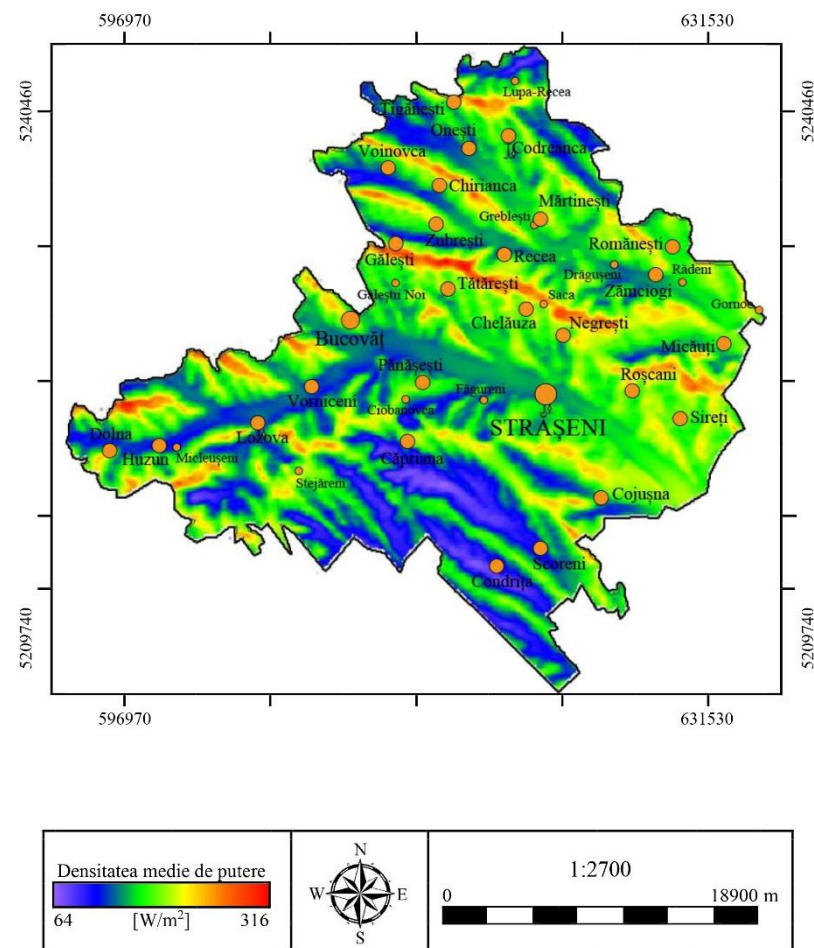


Figura A2.40. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Strășeni

A2.11. Potențialul energetic eolian al raionului Șoldănești

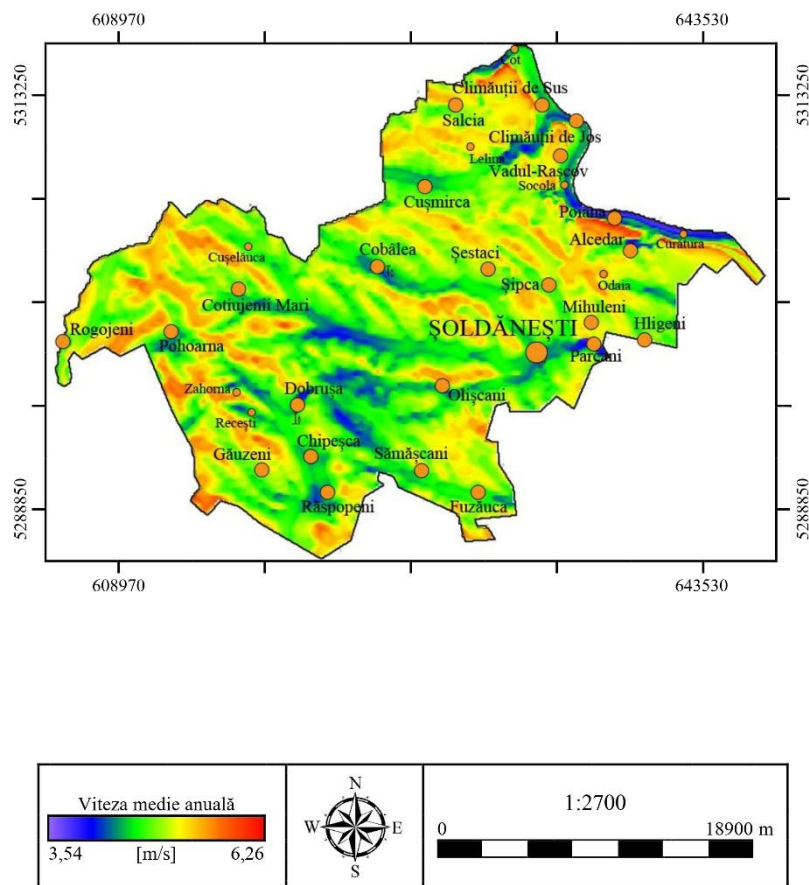
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Șoldănești la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.41 – A2.44. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt amplasamentele situate în partea de vest a raionului în apropiere de localitățile Rogojeni și Pohoarna. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,26 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 250 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,73 m/s și densitatea de putere eoliană de 290 W/m². În tabelul A2.11 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.11. Clasificarea teritoriului raionului Șoldănești
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

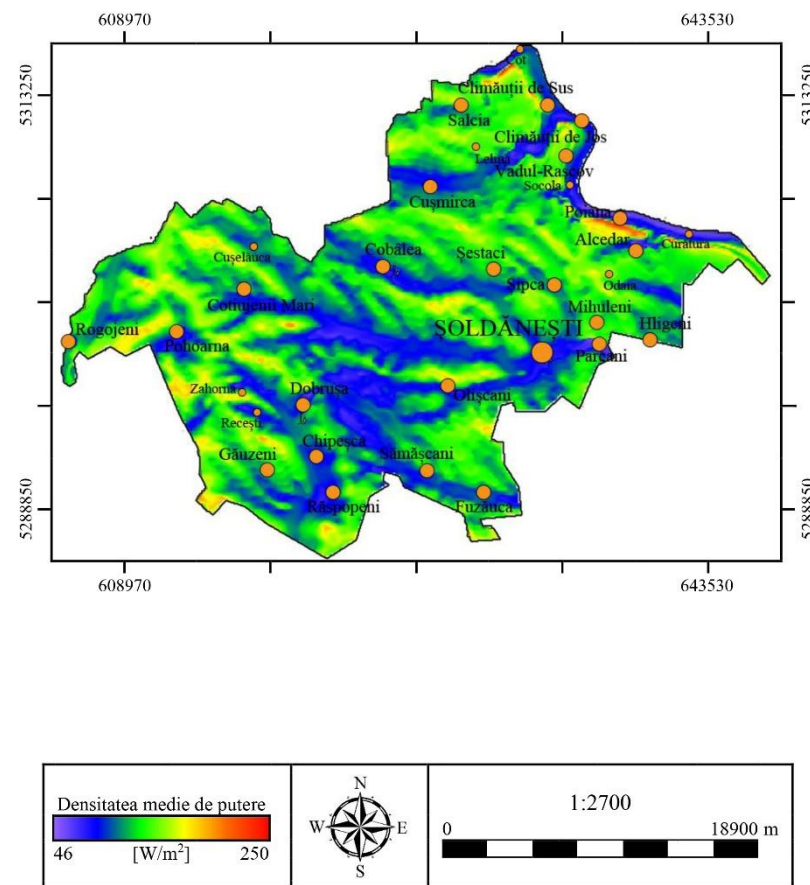
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	31539	22169	1057	0	0	54765	93,27%
Aria, km ²	315,39	221,69	10,57	0	0	547,65	93,27%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	1576,95	1108,45	52,85	0	0	2738,25	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

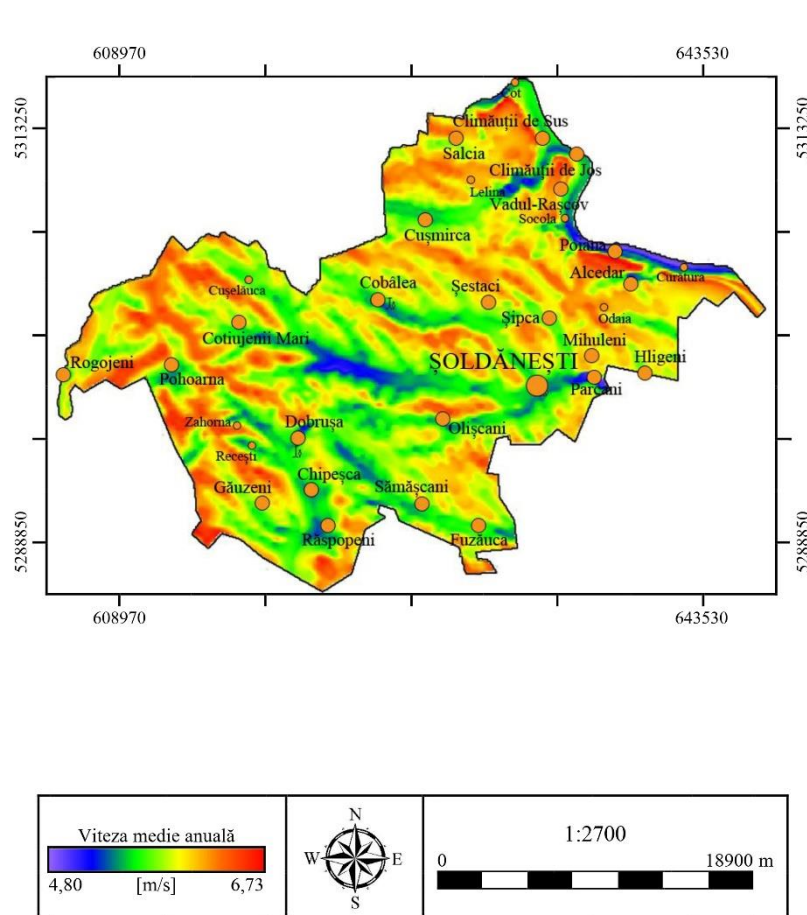
- Circa 93 % din teritoriu sau 547,65 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² (tabelul A2.11), în același timp, zone cu densitate de putere eoliană de 300-400 W/m² nu sunt;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 300 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 2738 MW [25].



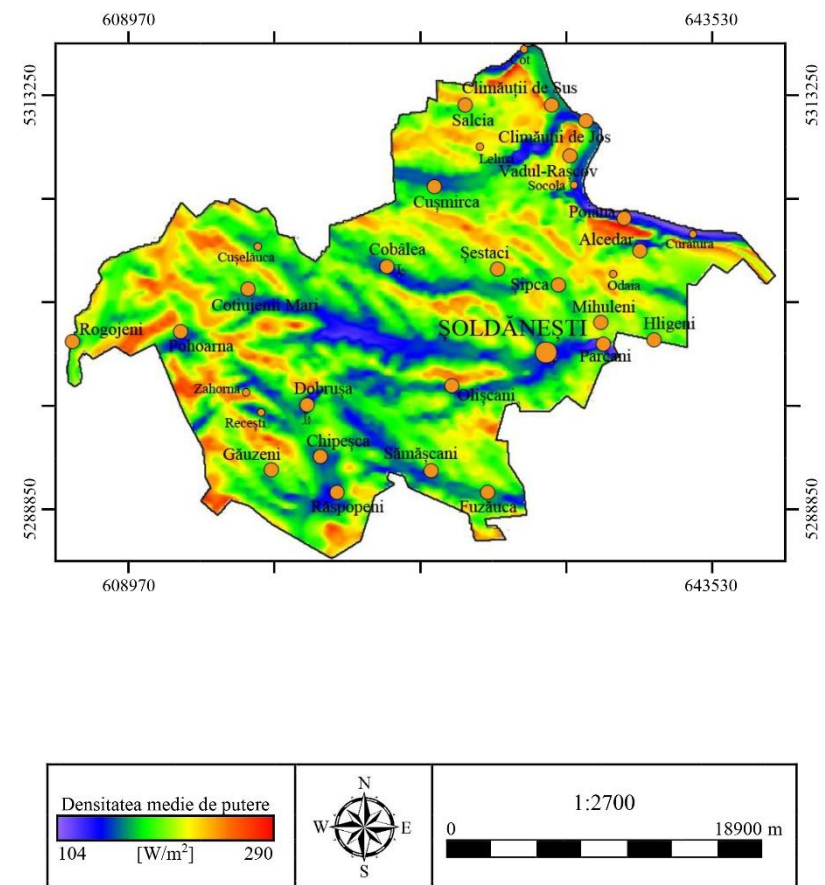
**Figura A2.41. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Șoldănești**



**Figura A2.42. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Șoldănești**



**Figura A2.43. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Șoldănești**



**Figura A2.44. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Șoldănești**

A2.12. Potențialul energetic eolian al raionului Telenеști

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Telenеști la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.45 – A2.48. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt amplasate la est de comuna Ciofu, dealurile de la vest și est de comuna Sărătenii Noi și pe linia Cucioaia-Codru-Văsieni- Suhuluceni. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,56 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 290 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,24 m/s și densitatea de putere eoliană de 362 W/m². În tabelul A2.12 este prezintată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.12. Clasificarea teritoriului raionului Telenеști
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	50427	26722	4644	812	8	82613	95,97%
Aria, km ²	504,27	267,22	46,44	8,12	0,08	826,13	95,97%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	2521,35	1336,1	232,2	40,6	0,4	4130,65	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Circa 96 % din teritoriu sau 826,13 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m², din care doar 0,08 km² (tabelul A2.12) din suprafața raionului are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m²;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 4131 MW [25].

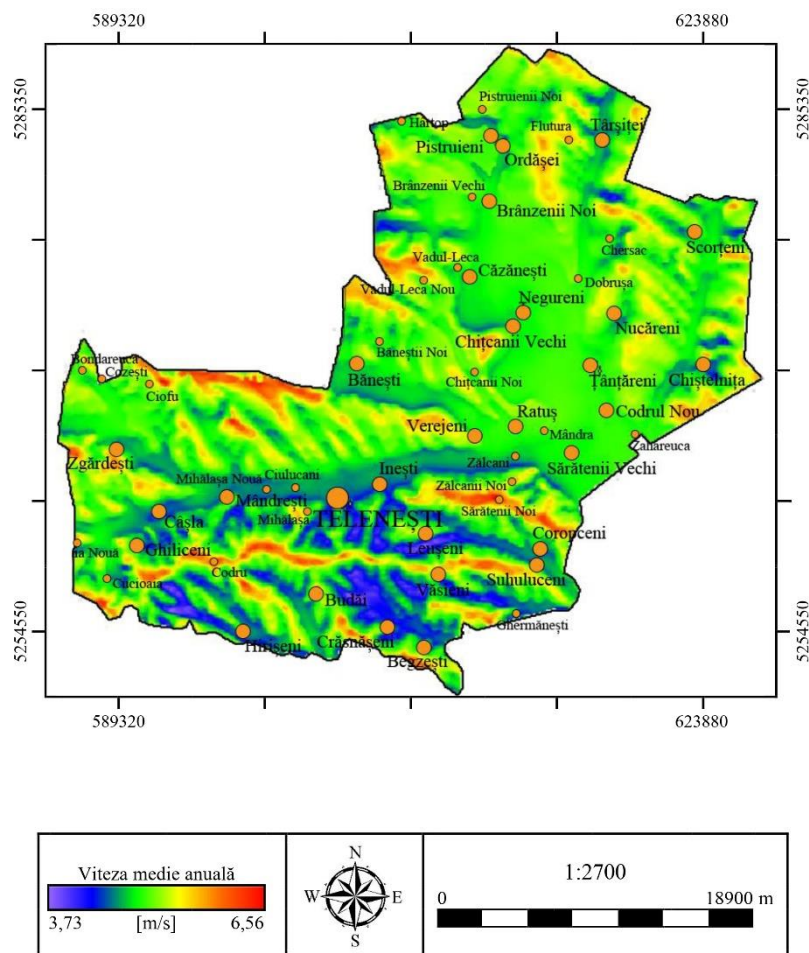


Figura A2.45. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Telenești

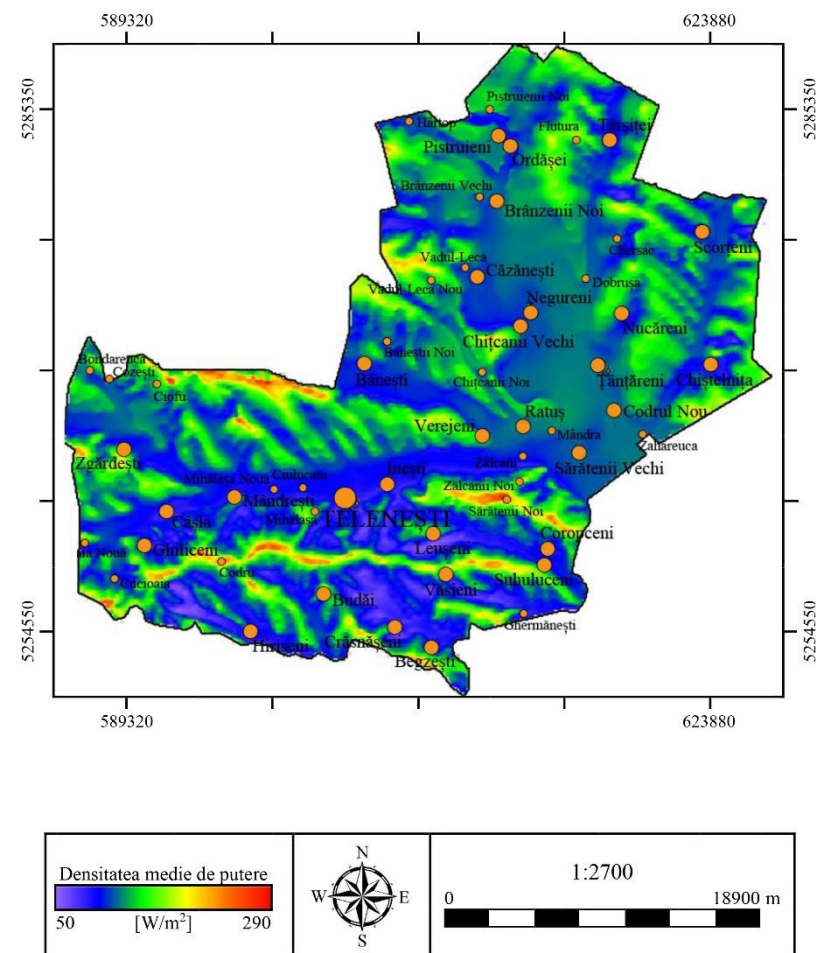


Figura A2.46. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Telenești

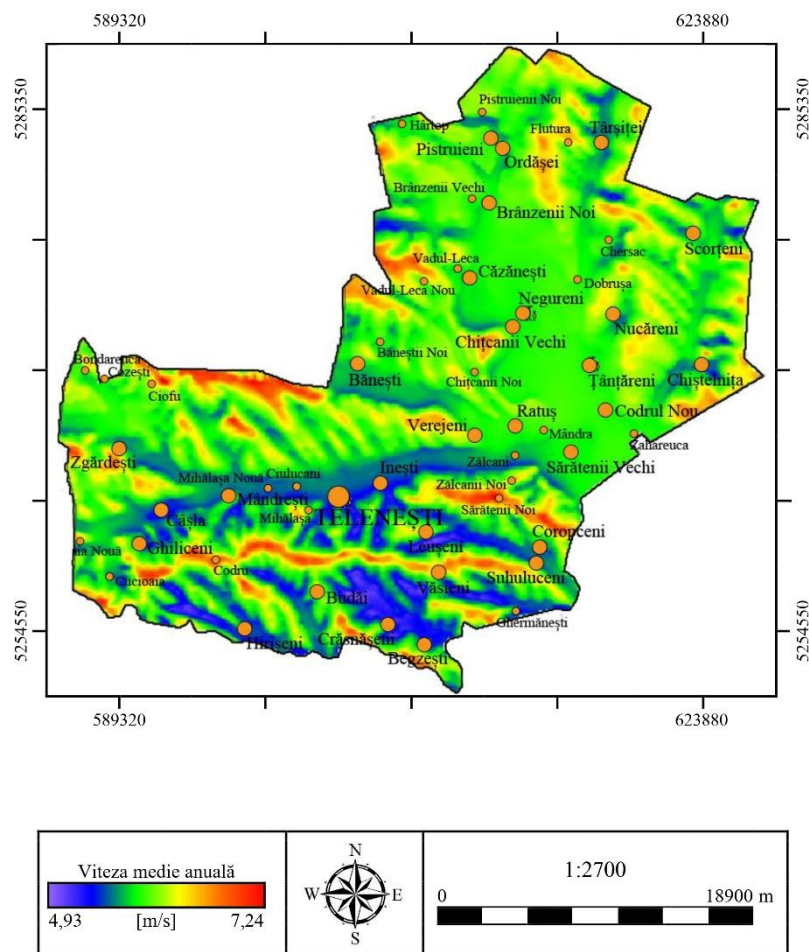


Figura A2.47. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Telenești

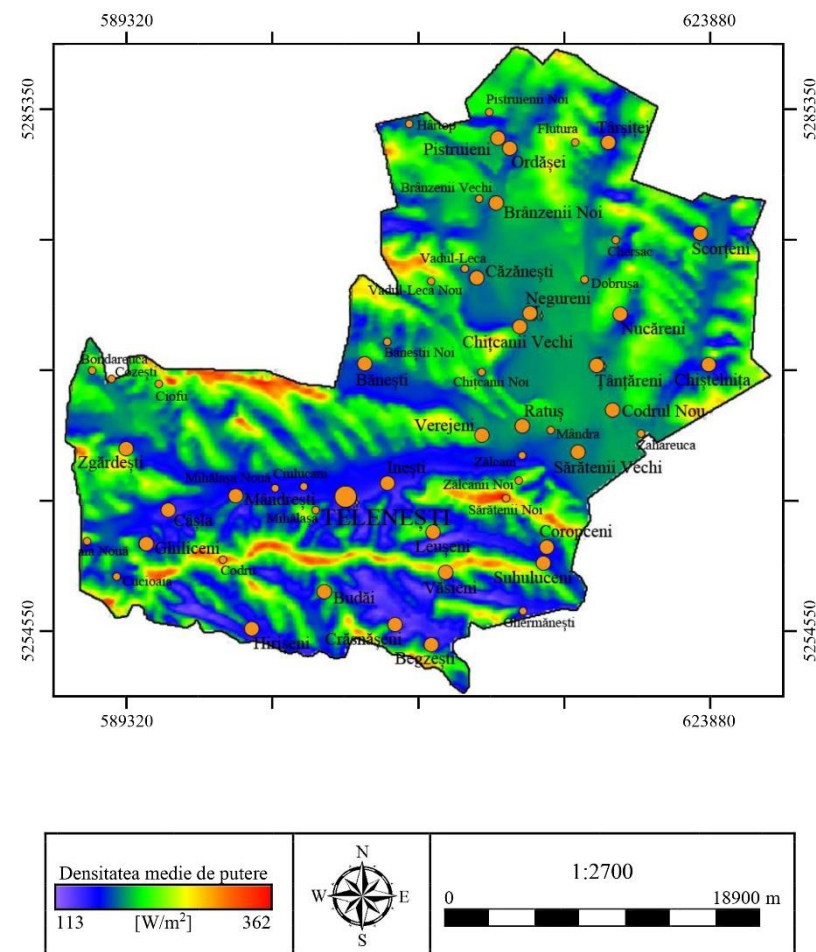


Figura A2.48. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Telenești

A2.13. Potențialul energetic eolian al raionului Ungheni

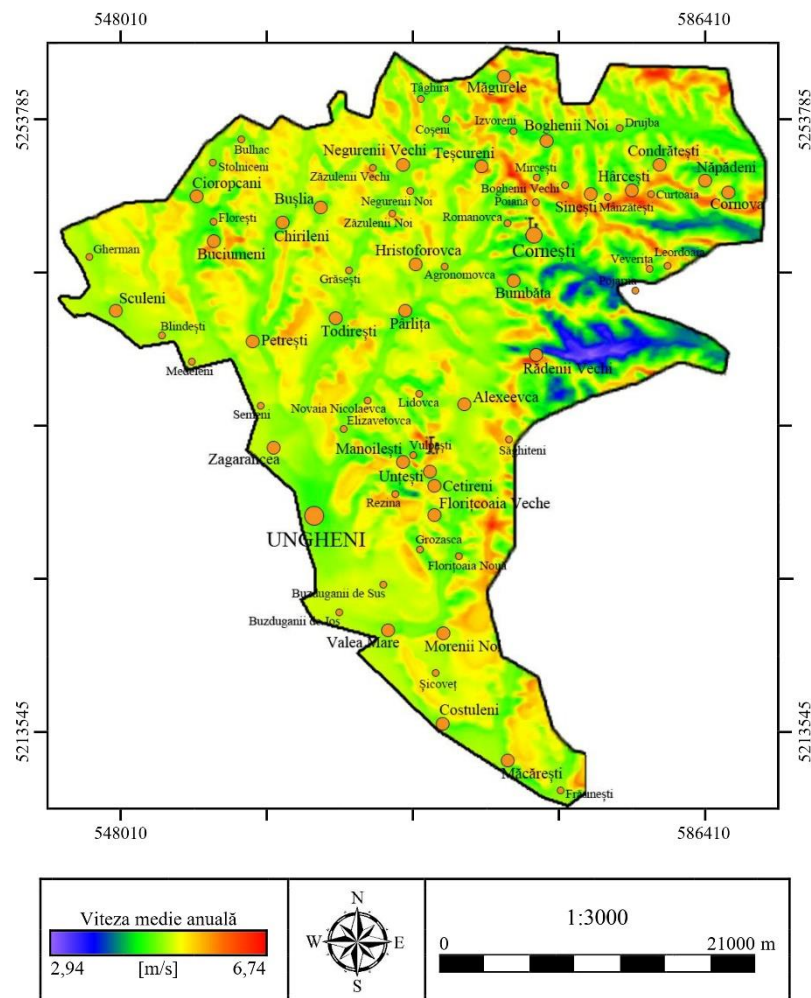
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Ungheni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A2.49 – A2.52. Principalele zone cu potențial eolian sunt amplasamentele situate în partea de nord a raionului pe linia Teșcureni-Sinești-Cornova. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,74 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 294 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv avem viteza medie anuală de 7,33 m/s și densitatea de putere eoliană de 370 W/m². În tabelul A2.13 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [25].

**Tabelul A2.13. Clasificarea teritoriului raionului Ungheni
în funcție de valoarea densității de putere [25]**

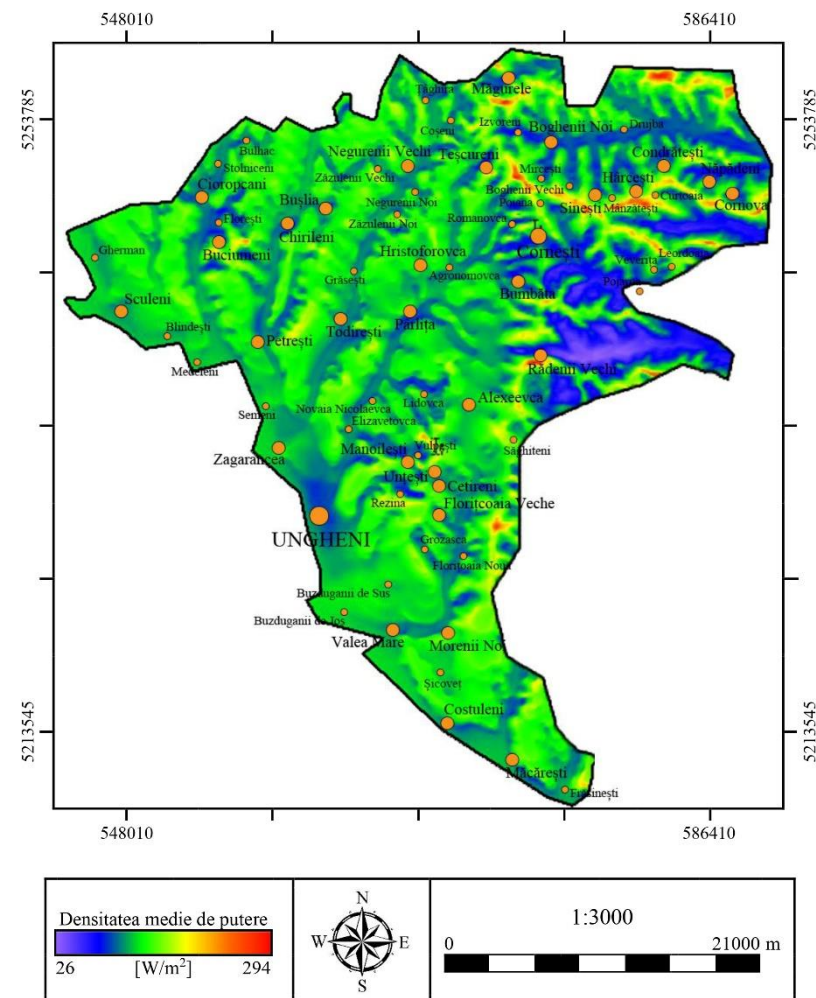
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	52595	47538	3692	411	34	104270	94,47%
Aria, km ²	525,95	475,38	36,92	4,11	0,34	1042,7	94,47%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	2629,75	2376,9	184,6	20,55	1,7	5213,5	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Circa 94 % din teritoriu sau 1042,7 km² are un potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m², din care 0,34 km² (tabelul A2.13) din suprafața raionului are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m²;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 5214 MW, iar în zonele cu un potențial mai mare de 350 W/m², puterea teoretică ar fi de 2 MW [25].



**Figura A2.49. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Ungheni**



**Figura A2.50. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Ungheni**

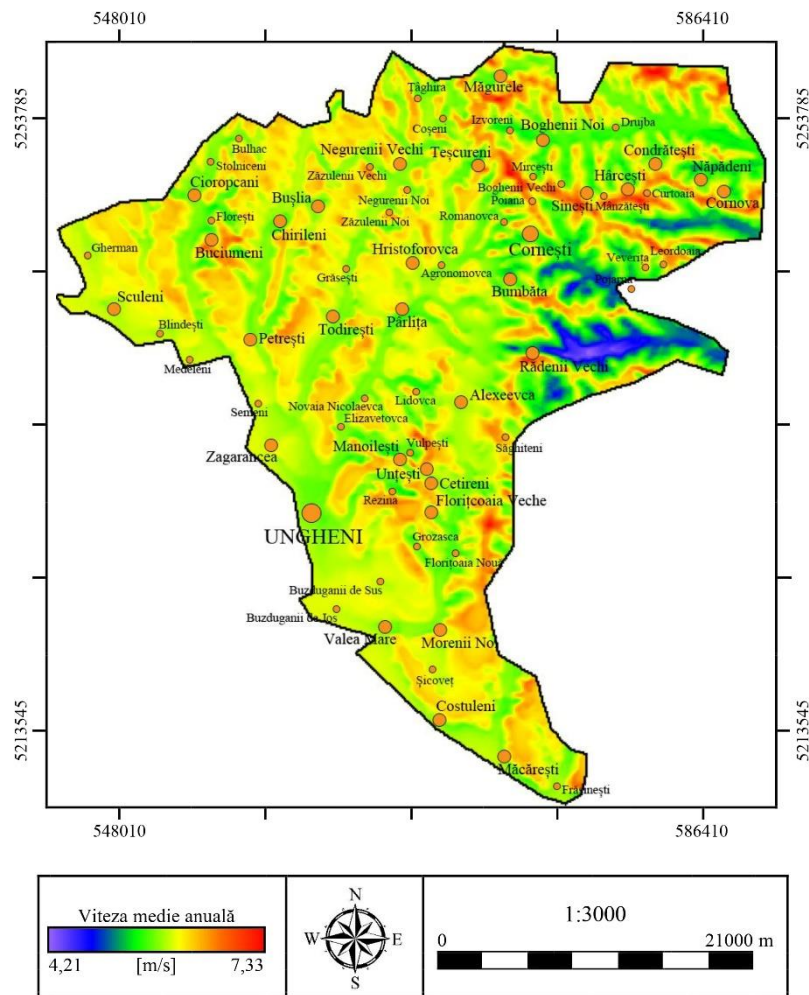


Figura A2.51. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Ungheni

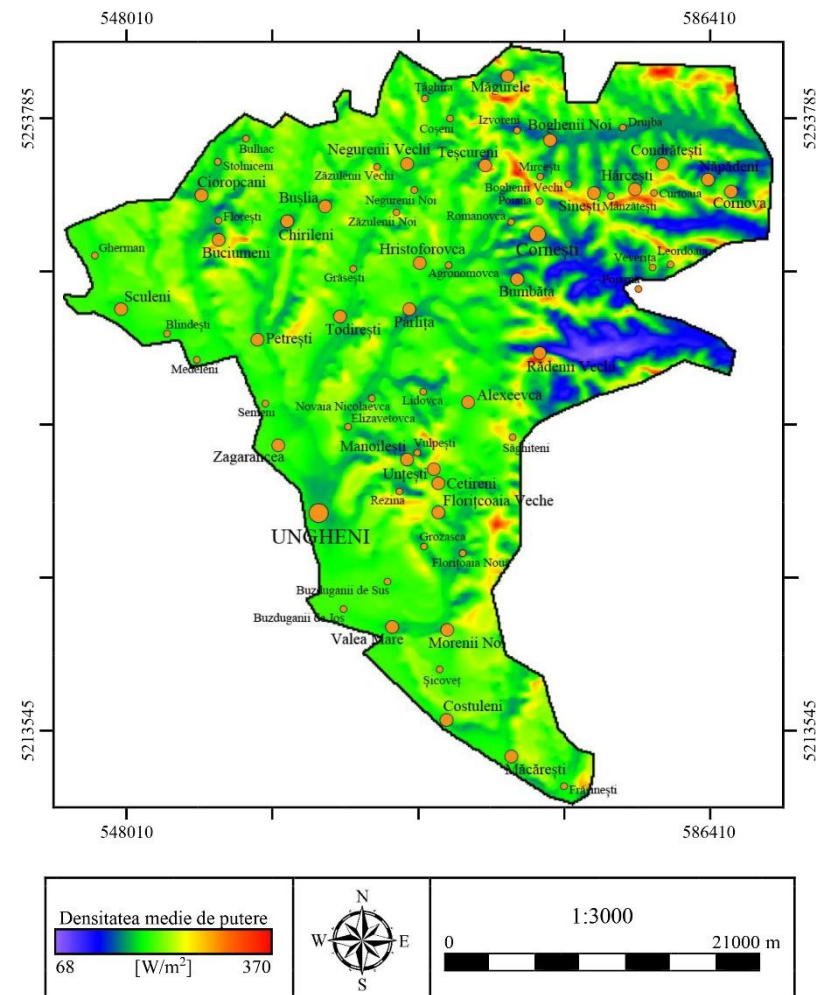


Figura A2.52. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Ungheni

În figura A2.53 este prezentată în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele analizate din RDC, în ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între **150 și 400 W/m²** a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW.

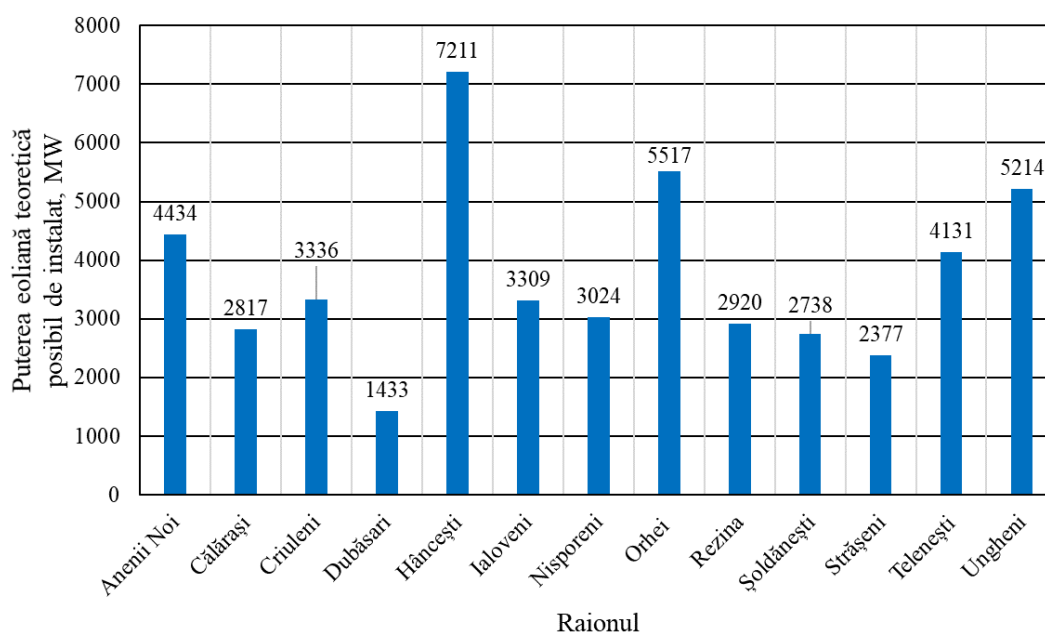


Figura A2.53. Puterea eoliană teoretică posibil de instalat în raioanele din RDC, în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m²

În figura A2.54 este prezentată în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele analizate din RDC, în ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între **300 și 400 W/m²** a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW.

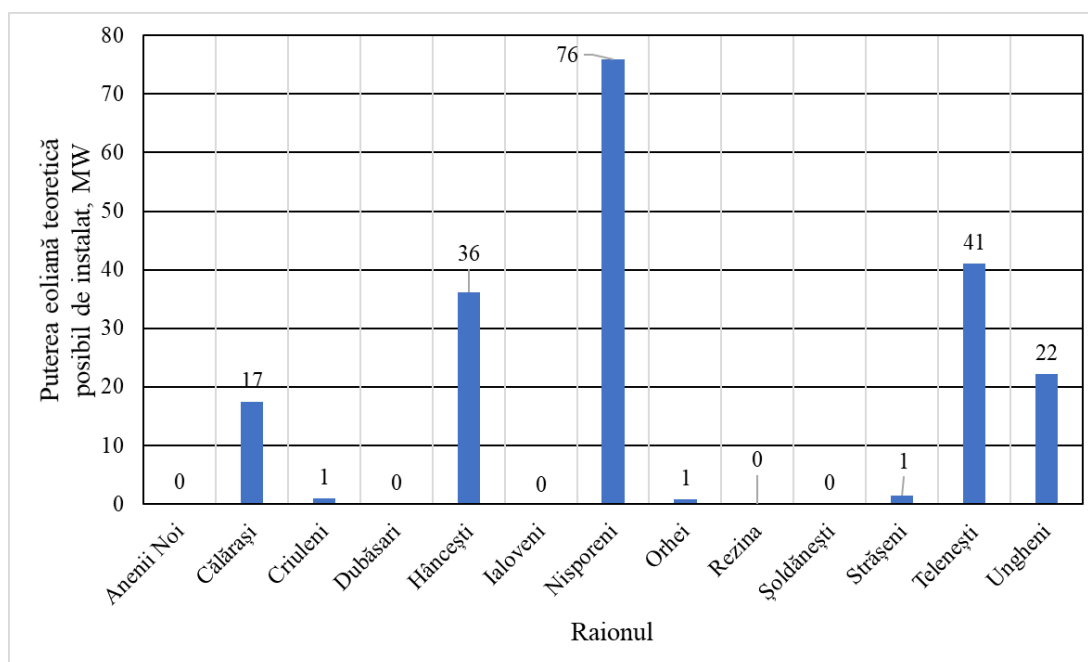


Figura A2.54. Puterea eoliană teoretică posibil de instalat în raioanele din RDC, în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m²

Anexa 3. Regiunea de Dezvoltare Sud, inclusiv UTA-Găgăuzia. Identificarea amplasamentelor cu potențial favorabil [27]

A3.1. Potențialul energetic eolian al raionului Basarabeasca

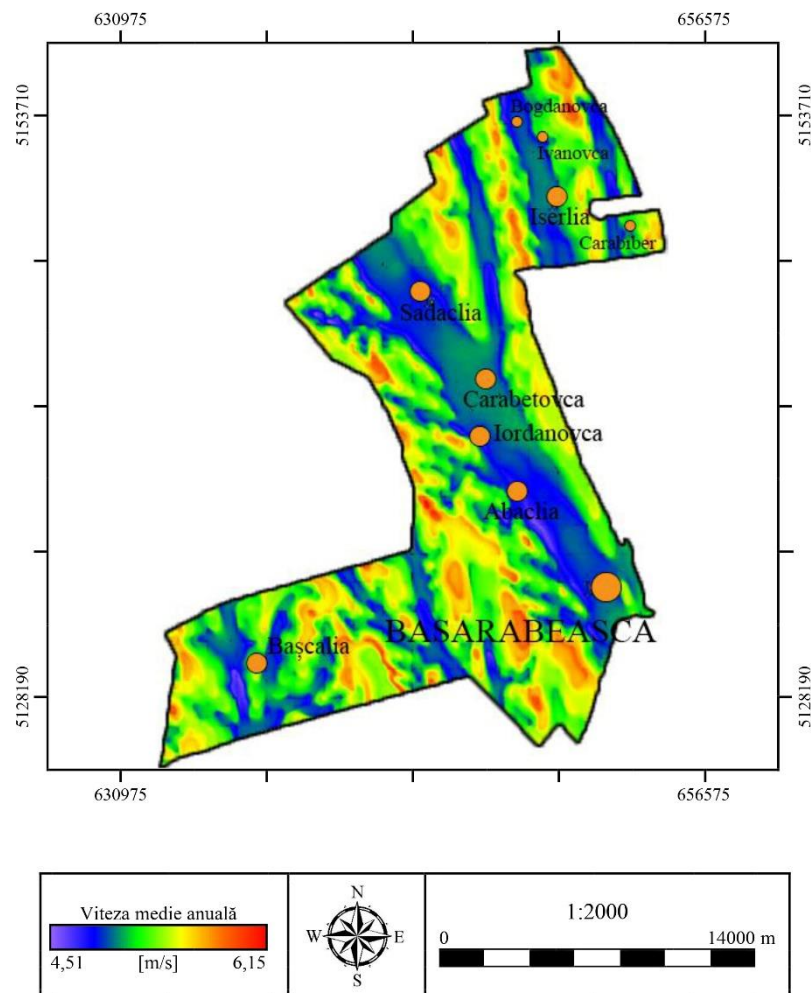
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Basarabeasca la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.1 – A3.4. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt situate în partea de sud a raionului. Acestea sunt dealurile direcționate la vest de linia Abaclia-Basarabeasca. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,15 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 206 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,91 m/s și densitatea de putere eoliană de 349 W/m². În tabelul A3.1 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.1. Clasificarea teritoriului raionului Basarabeasca
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

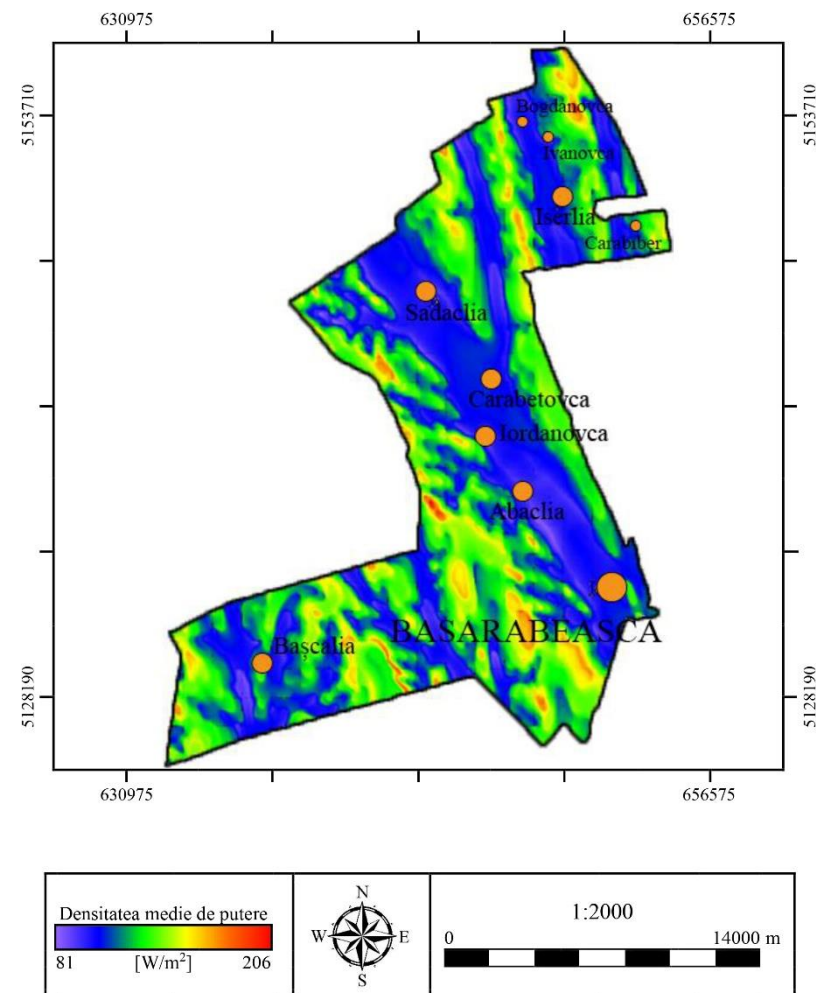
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	269	17908	12555	1014	0	31746	100,00%
Aria, km ²	2,69	179,1	125,55	10,14	0	317,46	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	13,44	895,39	627,76	50,69	0	1587,28	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 317,46 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A3.1);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 1587 MW [30].



**Figura A3.1. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Basarabeasca**



**Figura A3.2. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Basarabeasca**

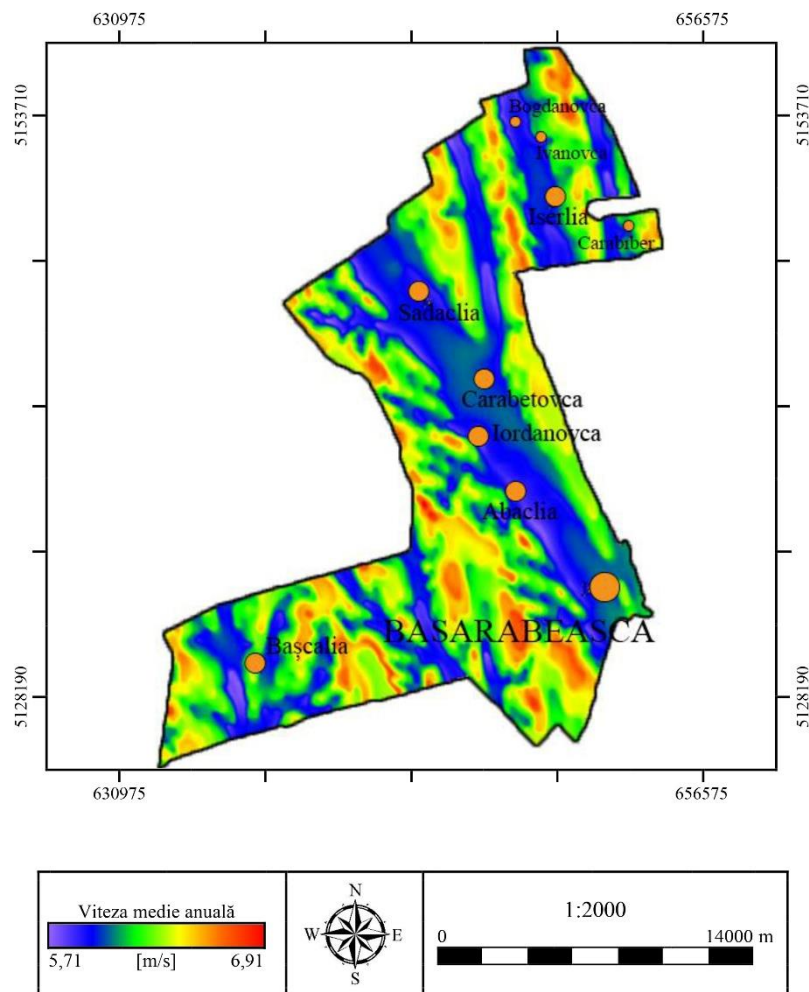


Figura A3.3. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Basarabeasca

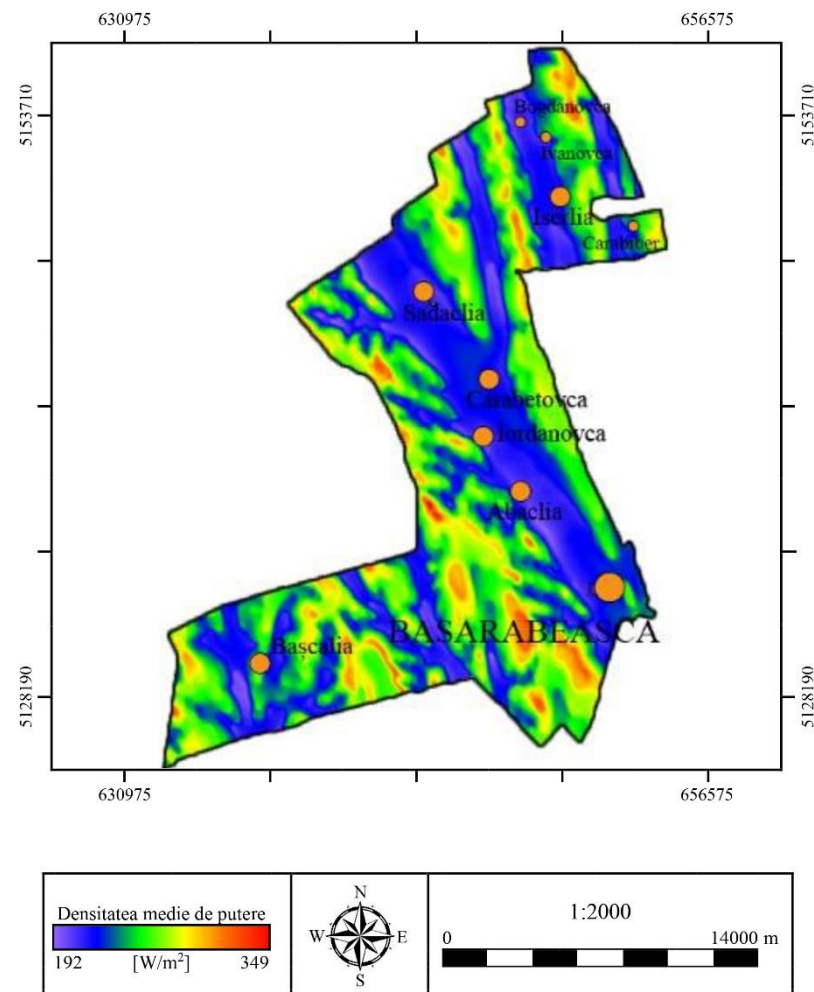


Figura A3.4. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Basarabeasca

A3.2. Potențialul energetic eolian al raionului Cahul

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Cahul la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.5 – A3.8. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt situate în partea de sud a raionului. Acestea sunt dealurile direcționate pe linia Manta-Vadul lui Isac-Colibași-Brânza-Văleni. De asemenea, în zona de nord-vest a raionului, în apropiere de localitățile Cucoara și Zărnești, se observă o locație cu un potențial eolian pronunțat. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 5,93 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 186 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,90 m/s și densitatea de putere eoliană de 340 W/m². În tabelul A3.2 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.2. Clasificarea teritoriului raionului Cahul
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	3720	67549	79358	870	0	151497	100,00%
Aria, km ²	37,2	675,49	793,58	8,7	0	1514,97	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	186	3377,45	3967,9	43,5	0	7574,85	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 1514,97 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A3.2);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 7578 MW [30].

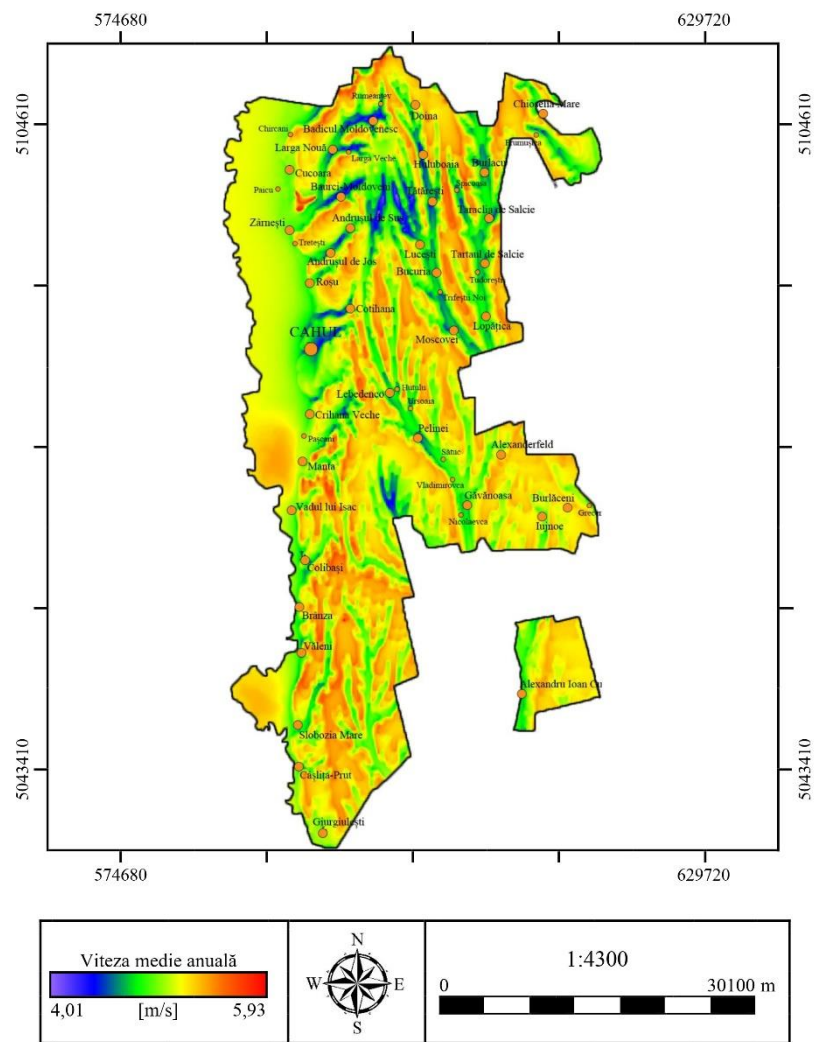


Figura A3.5. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Cahul

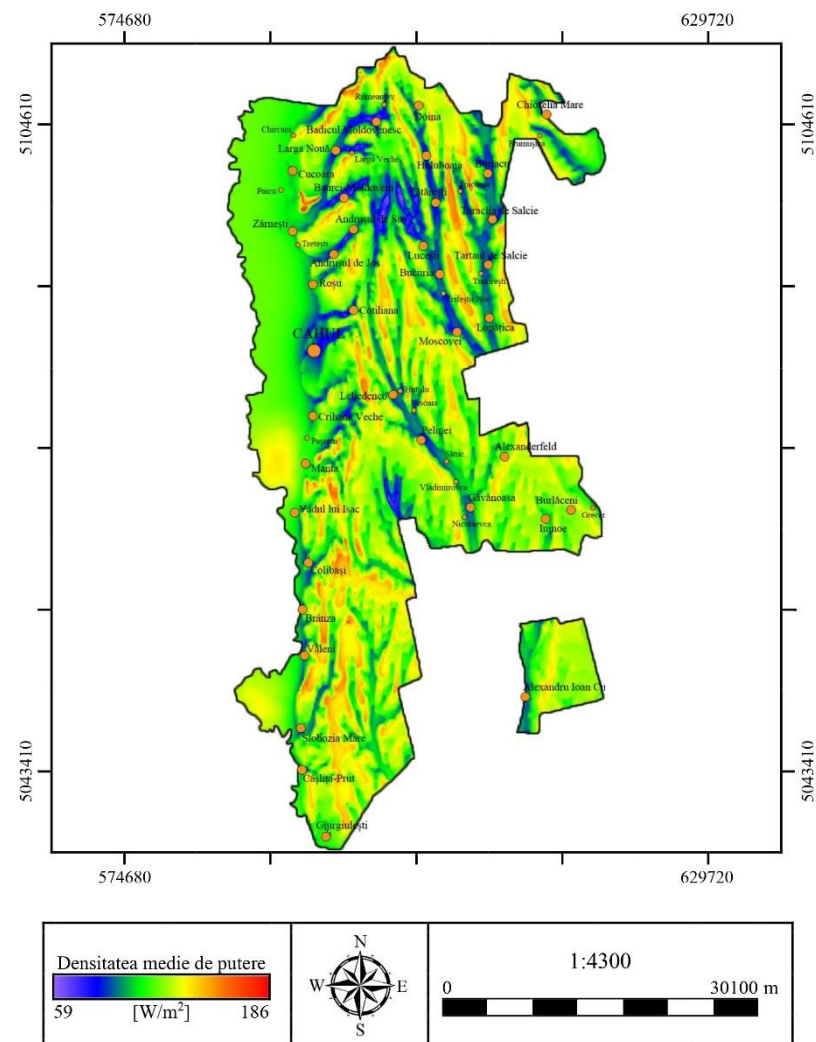


Figura A3.6. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Cahul

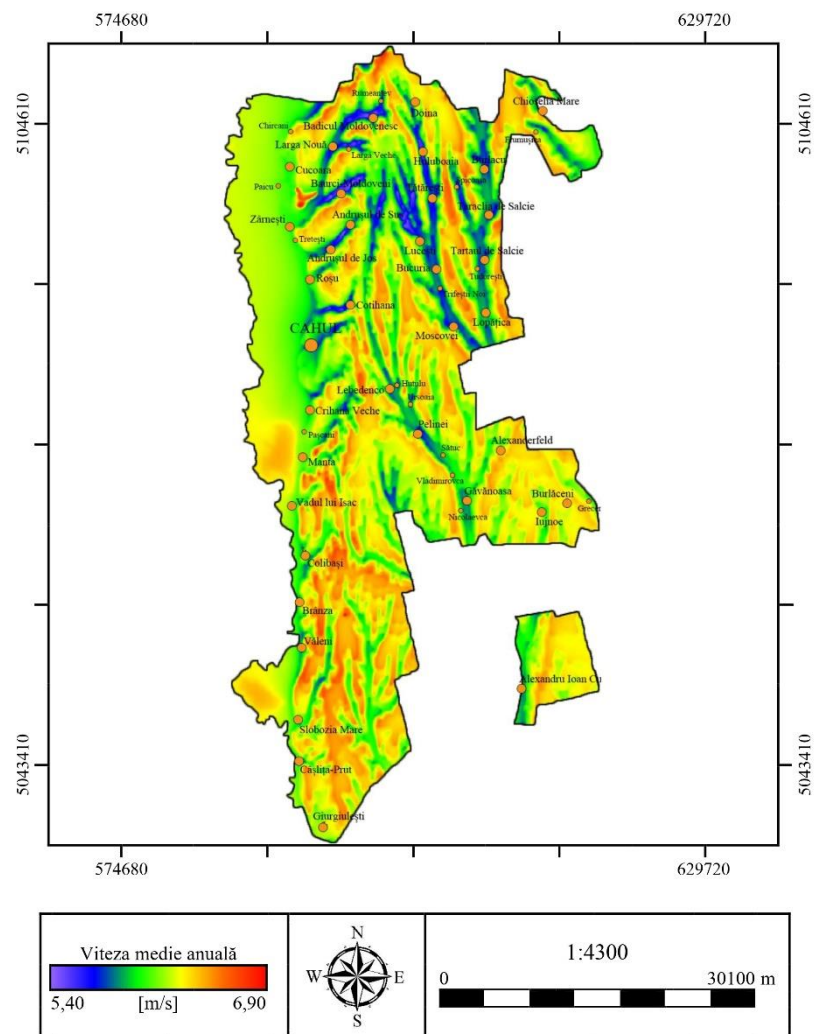


Figura A3.7. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Cahul

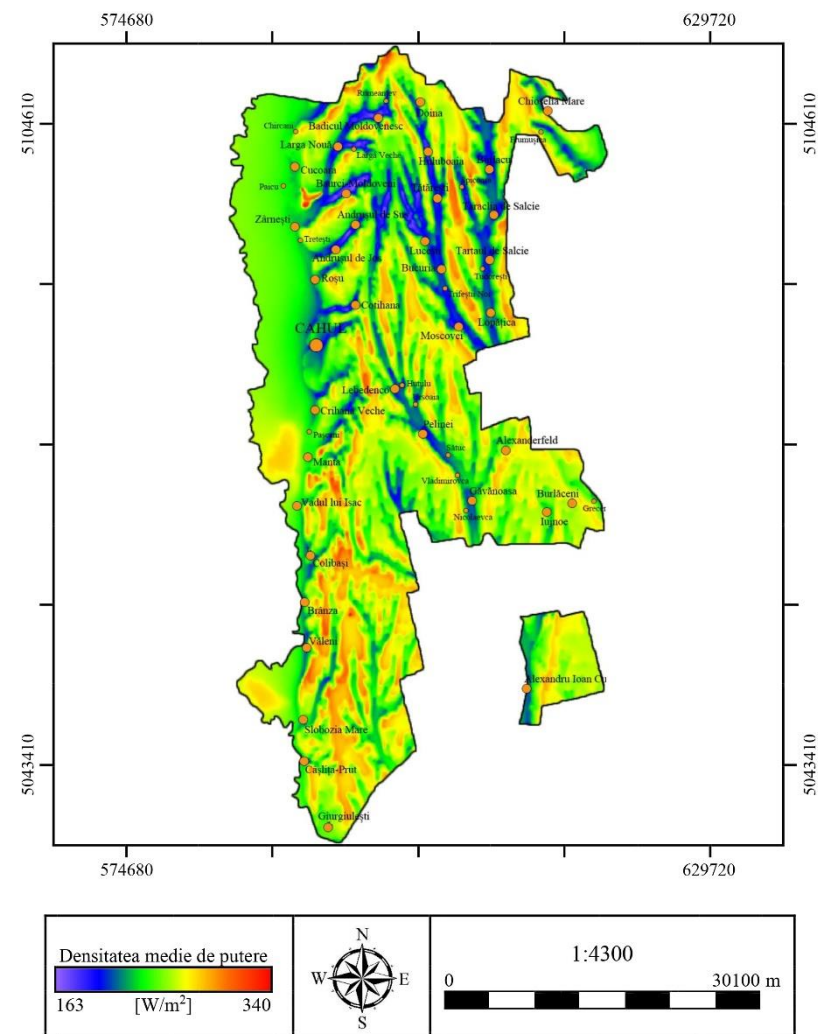


Figura A3.8. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Cahul

A3.3. Potențialul energetic eolian al raionului Cantemir

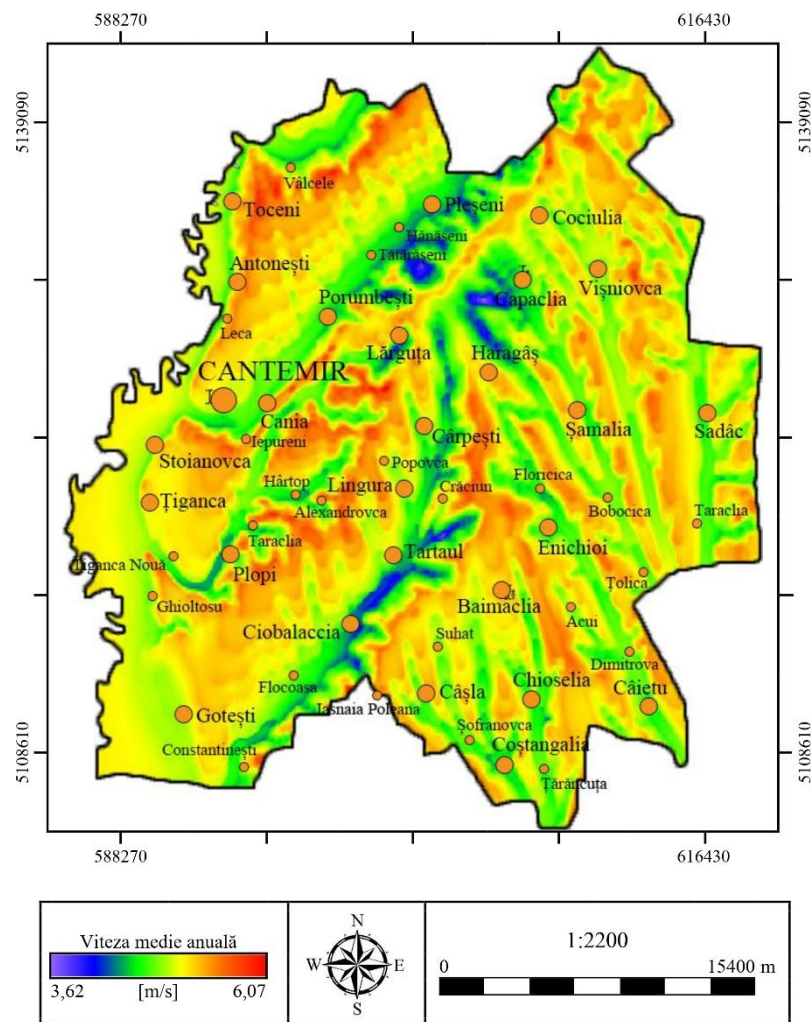
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Cantemir la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.9 – A3.12. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt amplasamentele situate în partea de nord-vest a raionului – colinele paralele cu linia ce leagă localitățile Vâlcele – Toceni - Antonești și dealurile direcționate pe linia Lărguța – Alexandrovca - Plopi. De menționat, că în centrul raionului, dealurile de lângă localitatea Crăciun, de asemenea au un potențial eolian pronunțat. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,07 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 200 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,98 m/s și densitatea de putere eoliană de 353 W/m². În tabelul A3.3 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.3. Clasificarea teritoriului raionului Cantemir
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

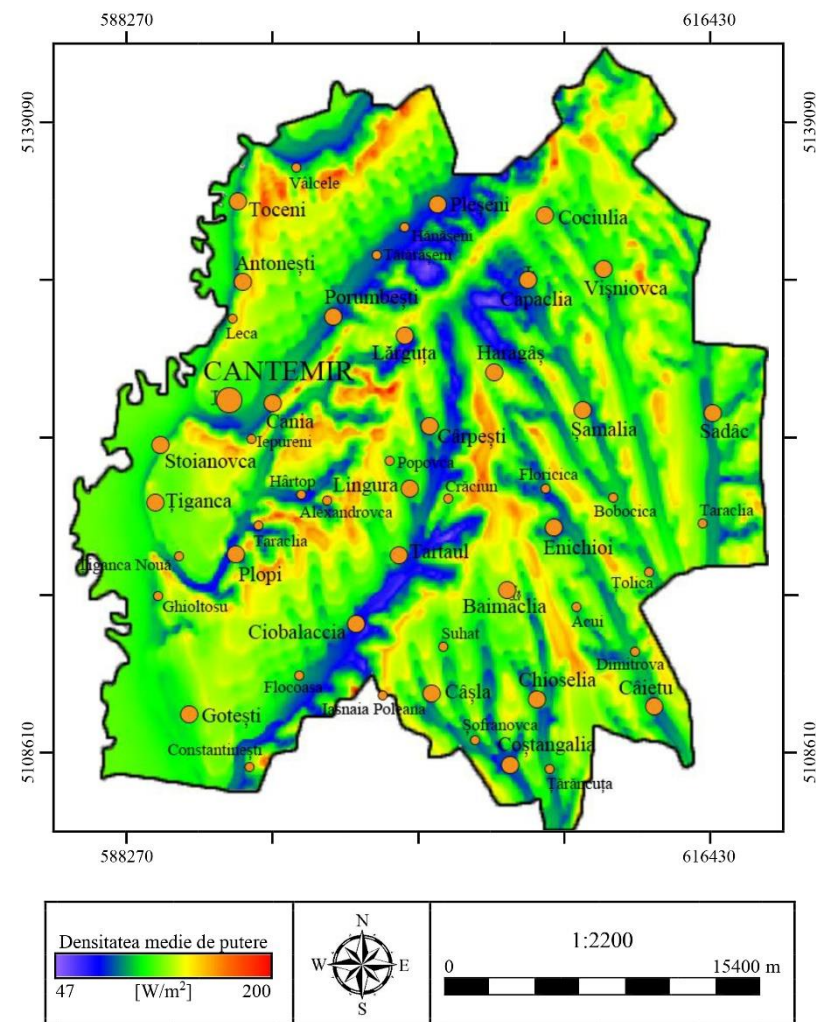
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	7312	45185	31835	1434	2	85768	99,97%
Aria, km ²	73,12	451,85	318,35	14,34	0,02	857,68	99,97%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	365,6	2259,25	1591,75	71,7	0,1	4288,4	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

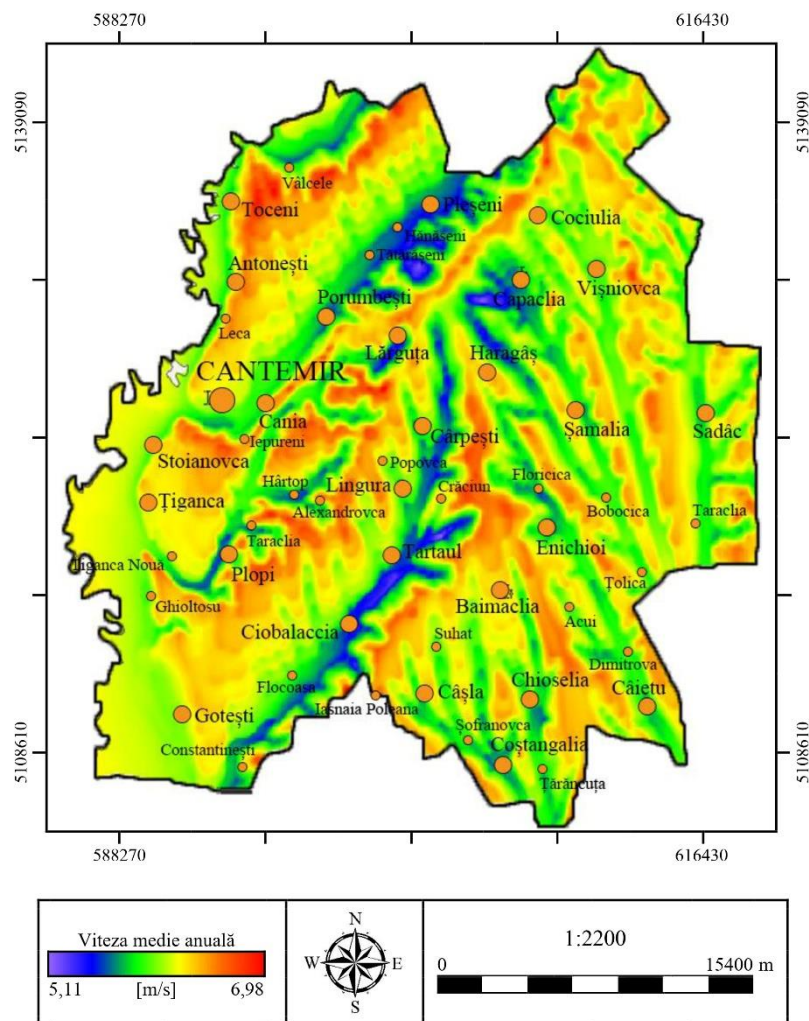
- Toată suprafața raionului sau 857,68 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m² (tabelul A3.3);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 4288 MW [30].



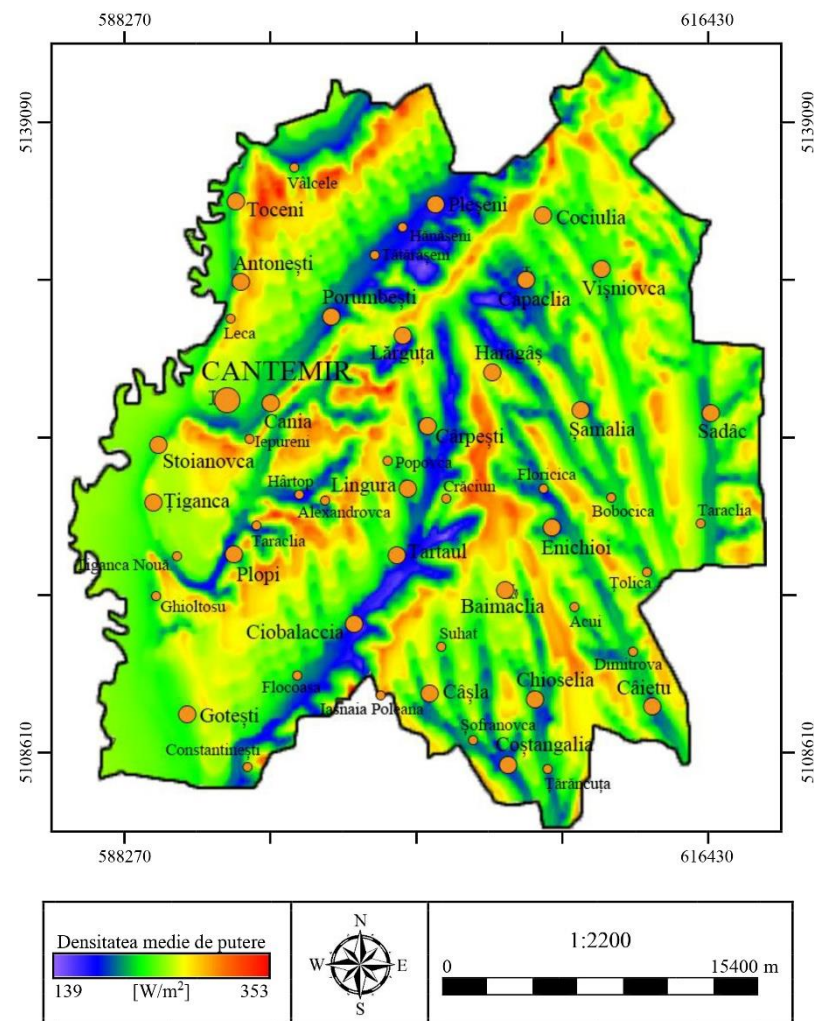
**Figura A3.9. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Cantemir**



**Figura A3.10. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Cantemir**



**Figura A3.11. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Cantemir**



**Figura A3.12. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Cantemir**

A3.4. Potențialul energetic eolian al raionului Căușeni

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Căușeni la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.13 – A3.16. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt situate în partea de vest a raionului. Acestea sunt dealurile direcționate pe linia Chircăieștii Noi-Surchiceni-Baimaclia-Taraclia, dealurile la nord de comuna Pervomaisc și la est de comuna Coșcalia. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,14 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 201 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,96 m/s și densitatea de putere eoliană de 350 W/m². În tabelul A3.4 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.4. Clasificarea teritoriului raionului Căușeni
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	10269	70027	54634	2140	1	137071	100,00%
Aria, km ²	102,69	700,27	546,34	21,4	0,01	1370,71	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	513,45	3501,35	2731,7	107	0,05	6853,55	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 1370,7 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m² (tabelul A3.4);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 6854 MW [30].

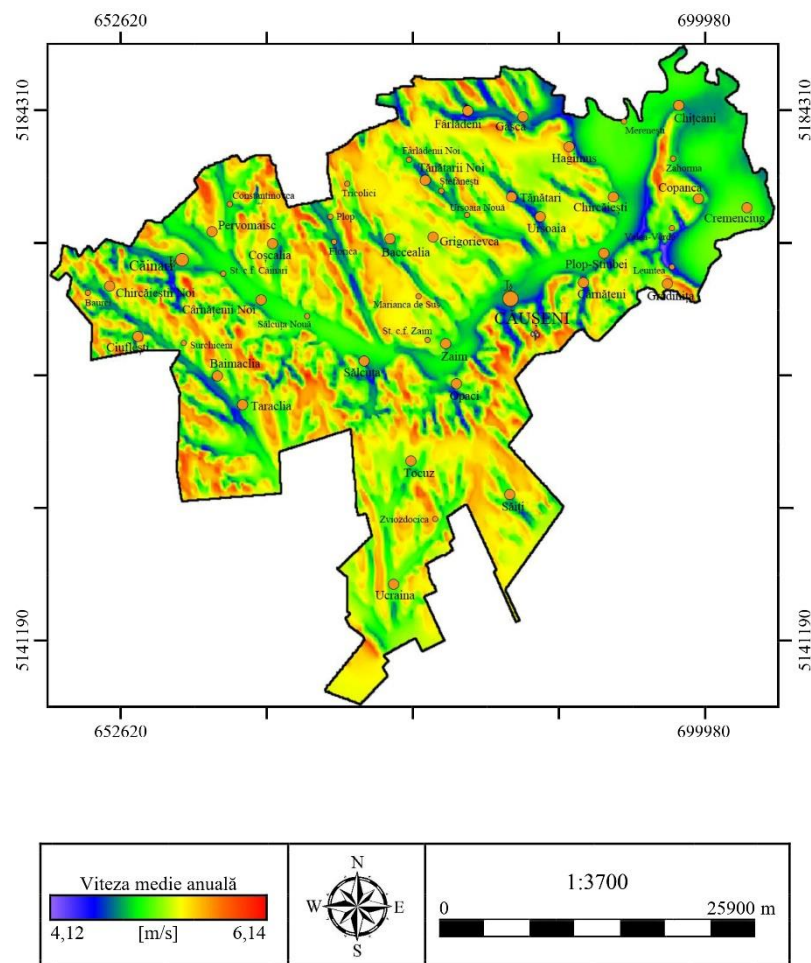


Figura A3.13. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Căușeni

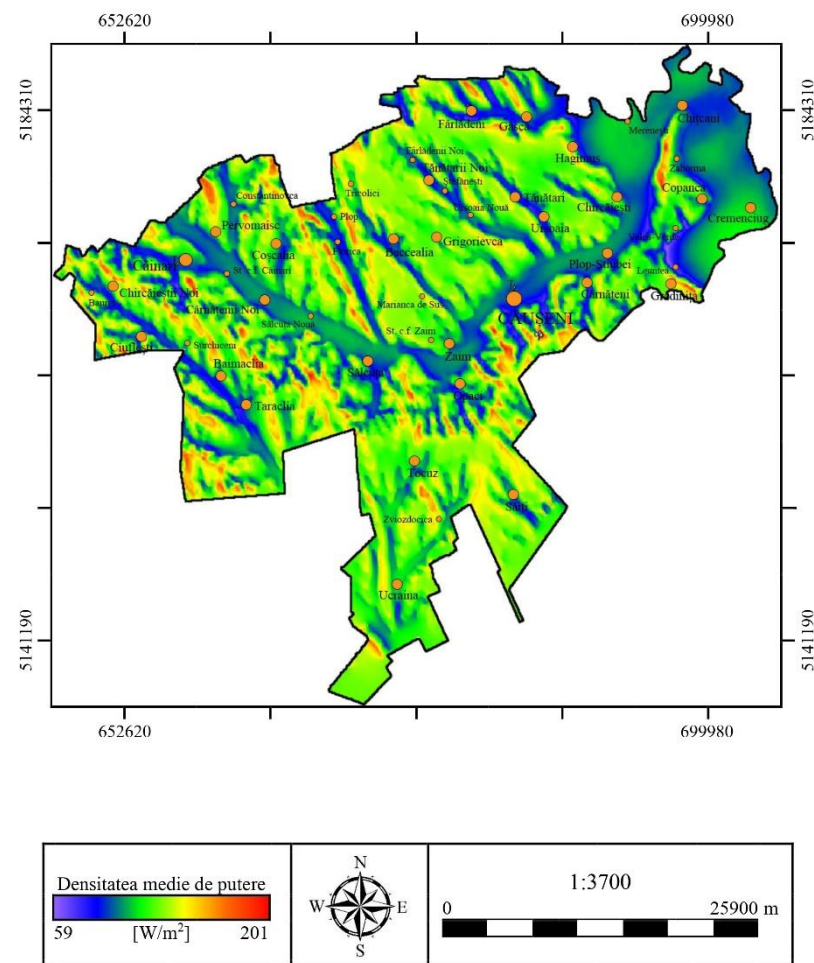


Figura A3.14. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Căușeni

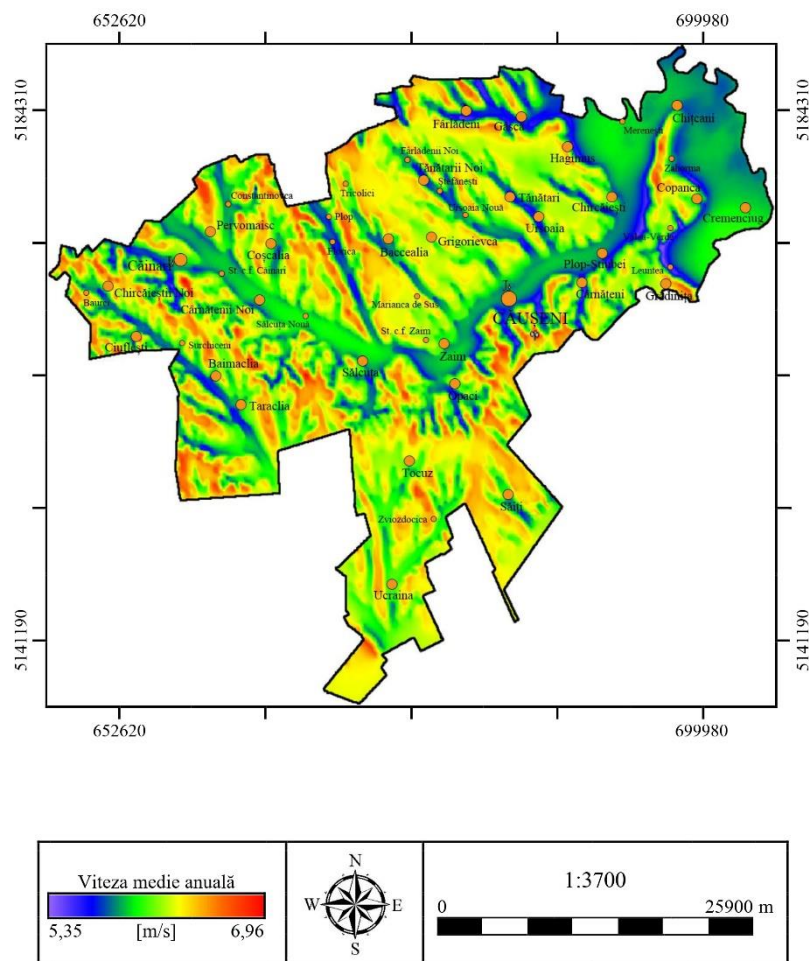


Figura A3.15. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Căușeni

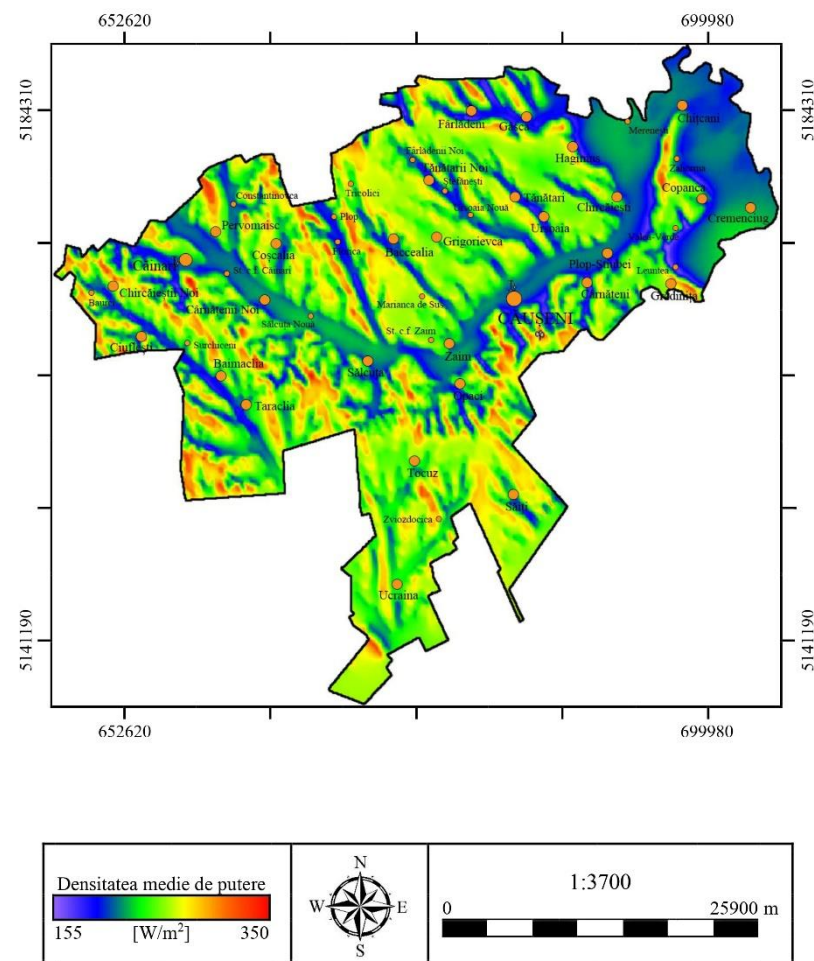


Figura A3.16. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Căușeni

A3.5. Potențialul energetic eolian al raionului Cimișlia

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Cimișlia la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.17 – A3.20. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt situate în partea de nord-est a raionului. Acestea sunt dealurile direcționate pe linia Porumbeni-Sagaidac-Suric. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,33 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 225 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,11 m/s și densitatea de putere eoliană de 380 W/m². În tabelul A3.5 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.5. Clasificarea teritoriului raionului Cimișlia
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	6364	48083	36478	3401	43	94369	100,00%
Aria, km ²	63,64	480,83	364,78	34,01	0,43	943,69	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	318,2	2404,15	1823,9	170,05	2,15	4718,45	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 943,69 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m², din care 0,43 km² (tabelul A3.5) din suprafața raionului are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m²;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 4718 MW, iar în zonele cu un potențial mai mare de 350 W/m², puterea teoretică ar fi de 2 MW [30].

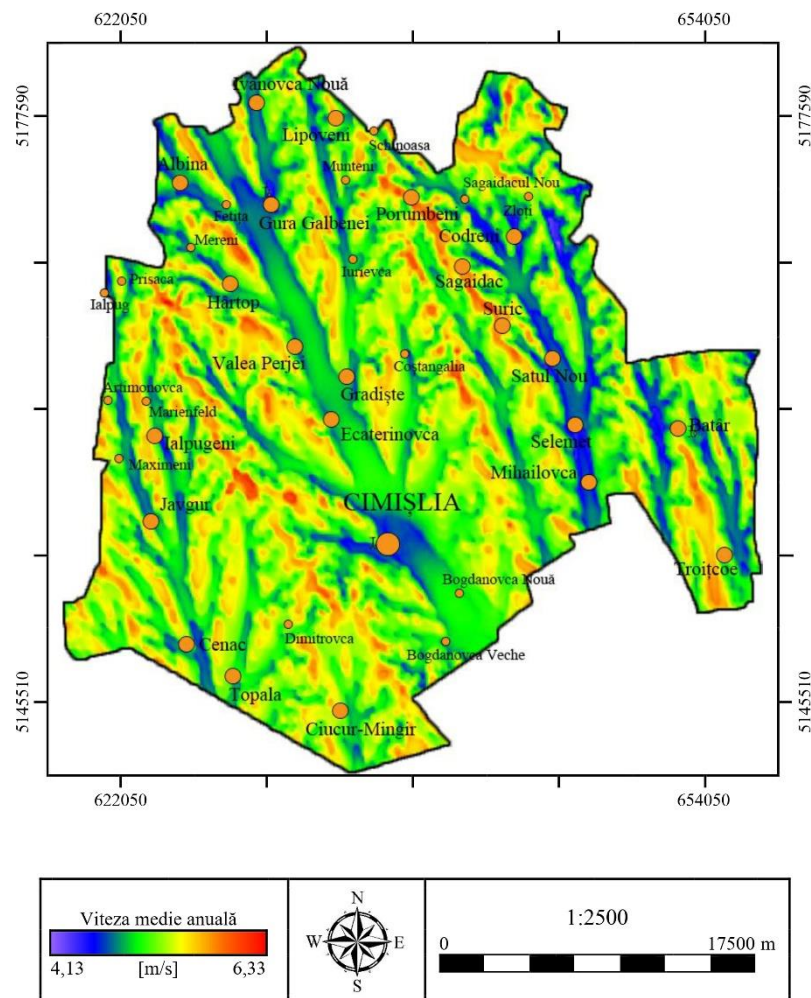


Figura A3.17. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Cimișlia

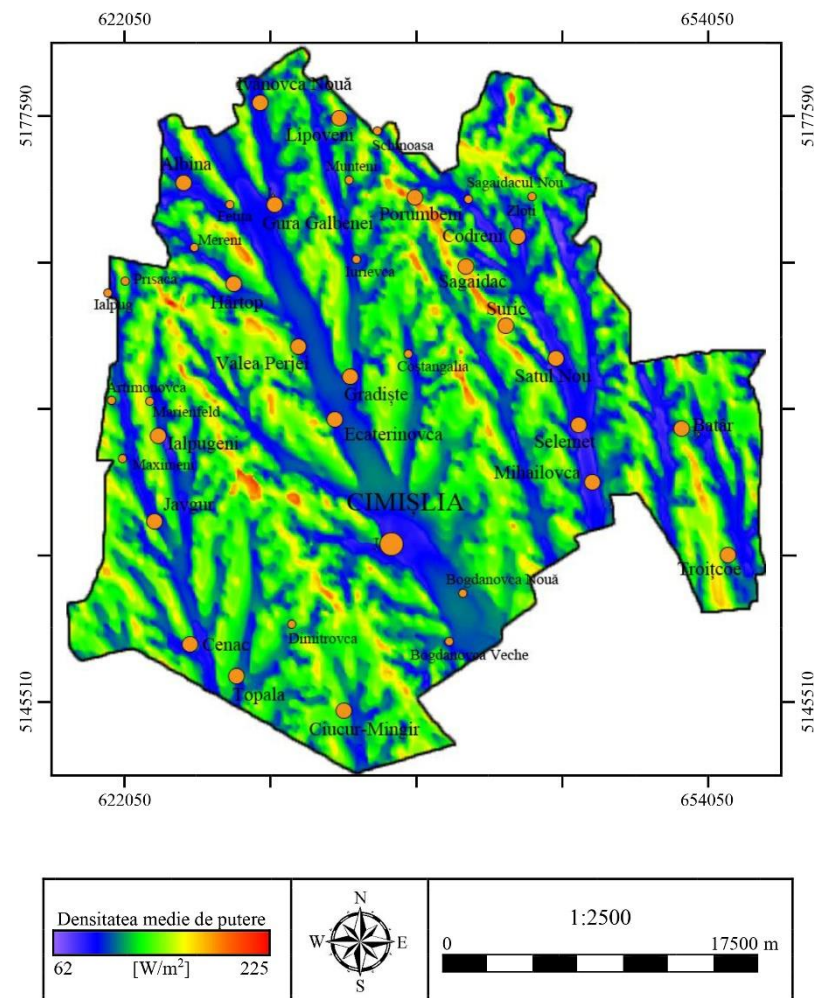


Figura A3.18. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Cimișlia

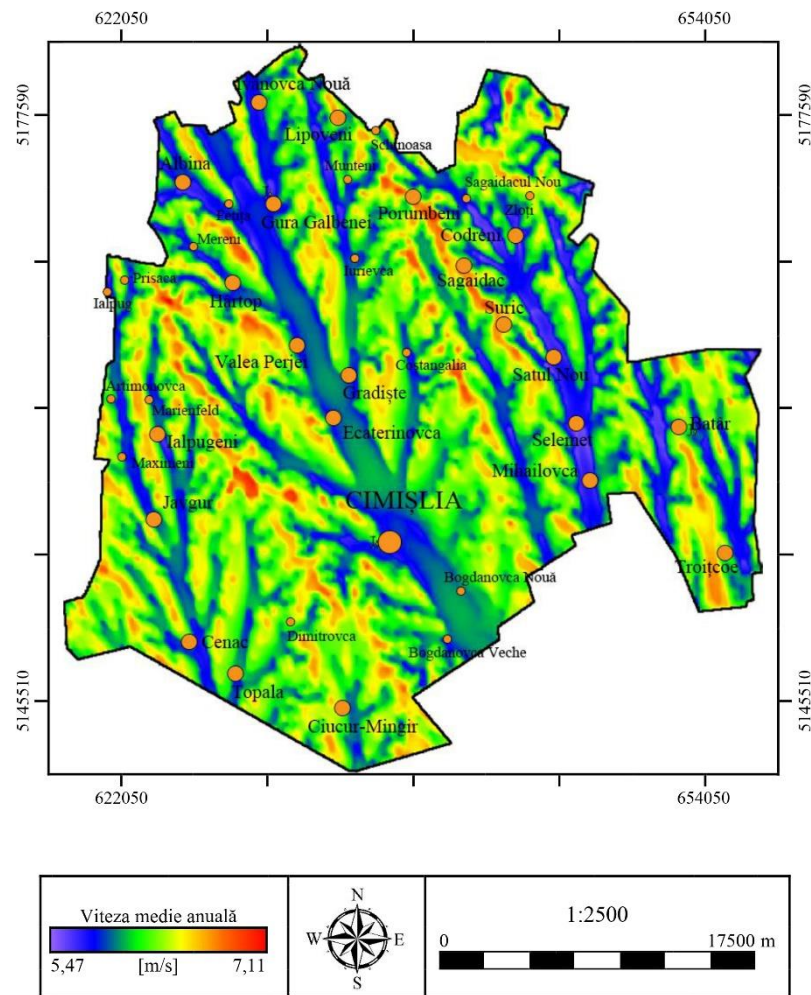


Figura A3.19. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Cimișlia

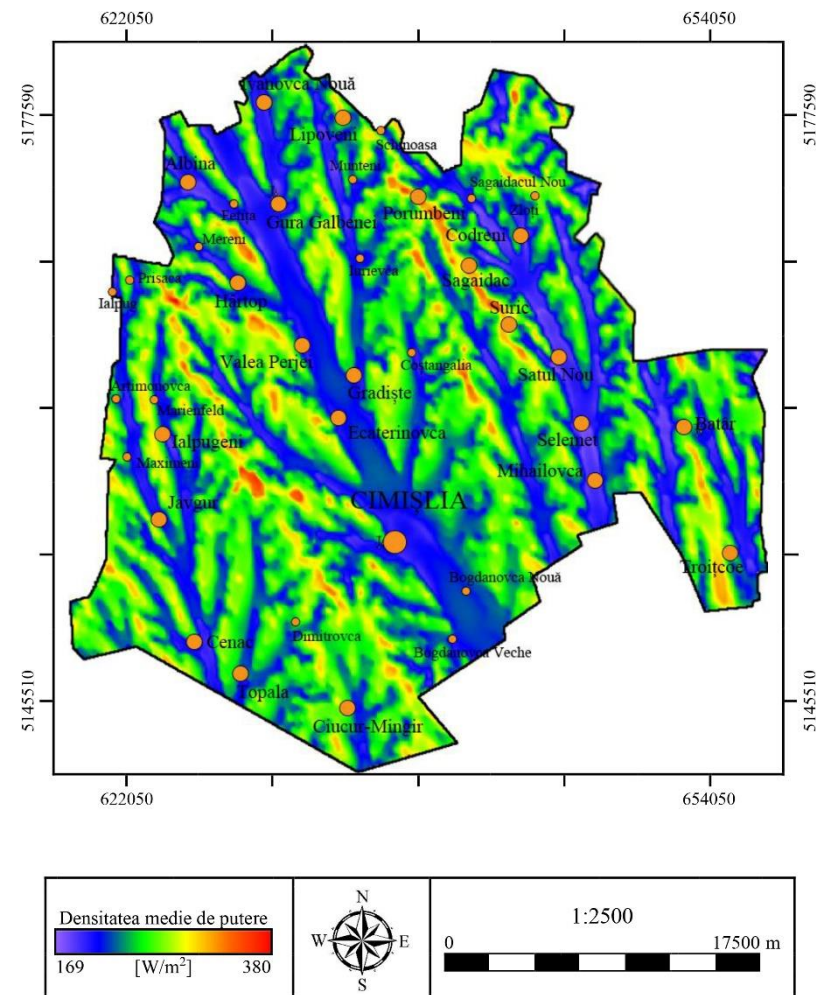


Figura A3.20. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Cimișlia

A3.6. Potențialul energetic eolian al raionului Ștefan Vodă

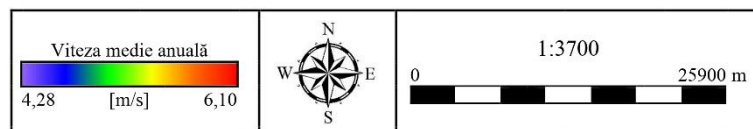
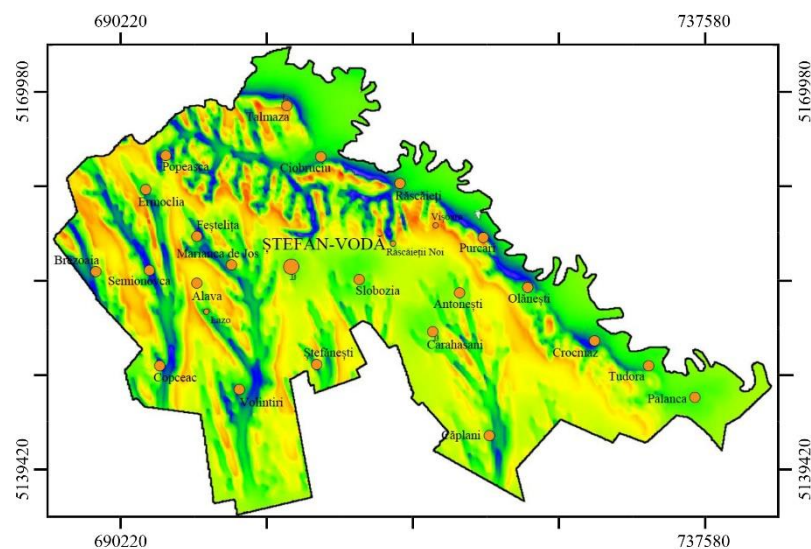
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Ștefan Vodă la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.21 – A3.24. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt situate în partea de nord-vest și colinele din imediata apropiere de râul Nistru. În partea de nord-vest sunt zonele lângă localitățile Brezoaia, Ermoclia și Talmaza. În partea de est sunt dealurile direcționate pe linia Vișoara-Purcari-Olănești-Crocmaș. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,10 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 202 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,90 m/s și densitatea de putere eoliană de 347 W/m². În tabelul A3.6 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.6. Clasificarea teritoriului raionului Ștefan Vodă
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

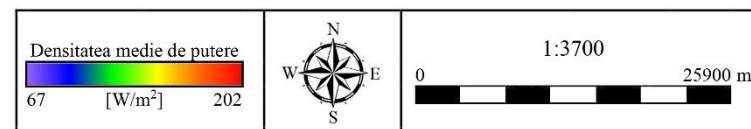
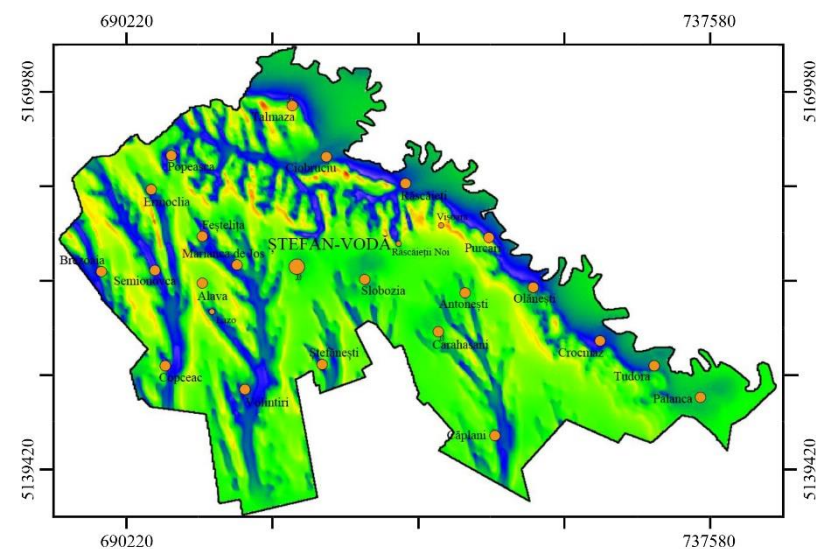
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	3353	50985	47197	227	0	101762	100,00%
Aria, km ²	33,53	509,85	471,97	2,27	0	1017,62	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	167,65	2549,25	2359,85	11,35	0	5088,1	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 1017,62 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A3.6);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 5088 MW [30].



**Figura A3.21. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Ștefan Vodă**



**Figura A3.22. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Ștefan Vodă**

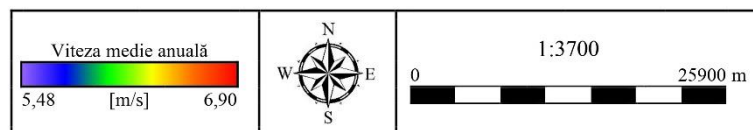
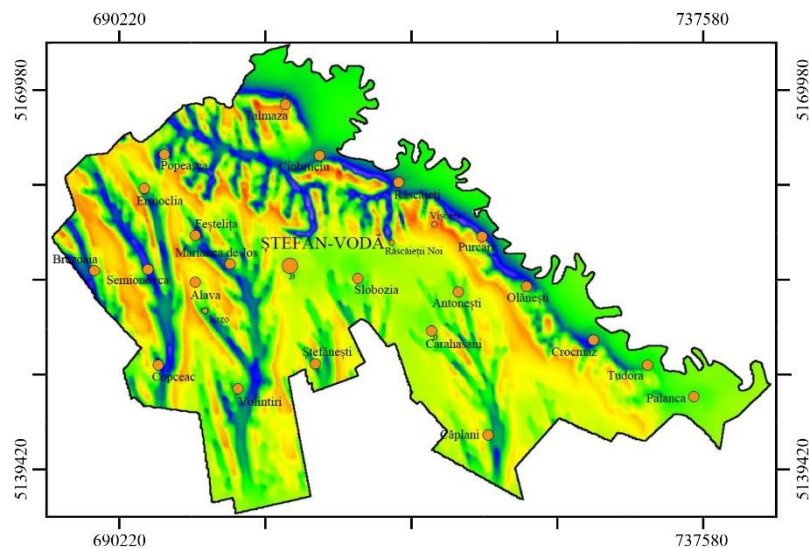


Figura A3.23. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Ștefan Vodă

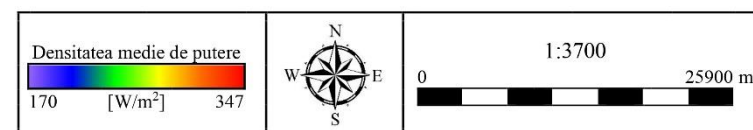
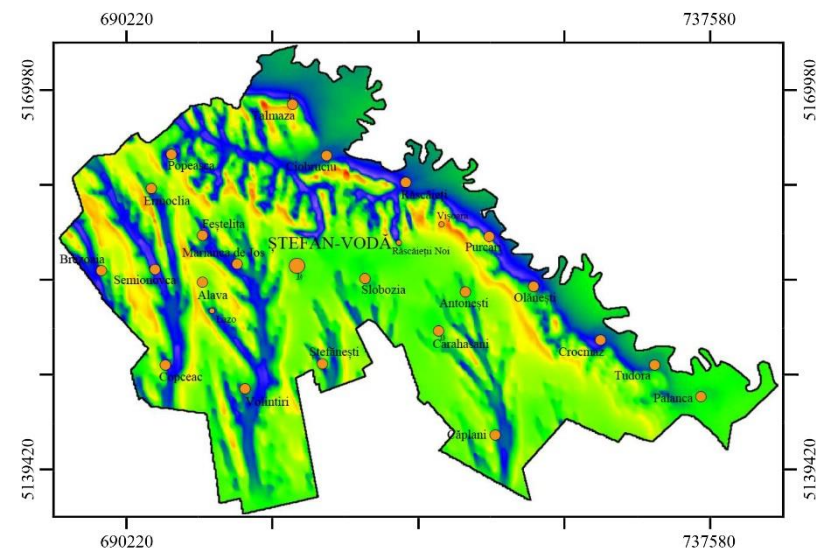


Figura A3.24. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Ștefan Vodă

A3.7. Potențialul energetic eolian al raionului Leova

Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Leova la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.25 – A3.28. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt amplasamentele situate în partea de nord-vest a raionului – colinele paralele cu linia ce leagă localitățile Ceadâr-Colibabovca-Sărăteni și dealurile direcționate pe linia Victoria – Covurlui – Tomai – Leova. De menționat, că direcția colinelor respective coincid cu una din direcțiile preponderente ale vântului, direcția nord-vest – sud-est. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,34 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 227 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 7,02 m/s și densitatea de putere eoliană de 366 W/m². În tabelul A3.7 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.7. Clasificarea teritoriului raionului Leova
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	4822	40736	30220	2058	12	77848	99,98%
Aria, km ²	48,22	407,36	302,2	20,58	0,12	778,48	99,98%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	241,1	2036,8	1511	102,9	0,6	3892,4	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 778,48 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 400 W/m², din care 0,12 km² (tabelul A3.7) din suprafața raionului are un potențial pronunțat cu densitatea de putere eoliană mai mare de 350 W/m²;
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 3892 MW, iar în zonele cu un potențial mai mare de 350 W/m², puterea teoretică ar fi de 0,6 MW [30].

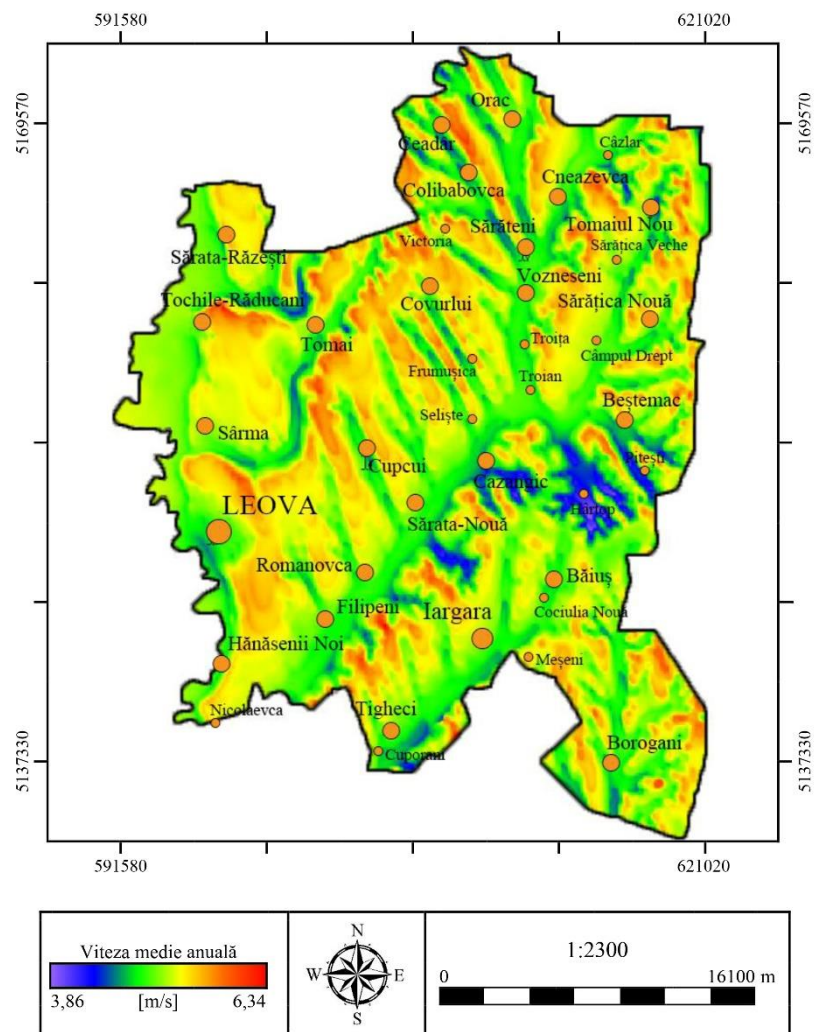


Figura A3.25. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Leova

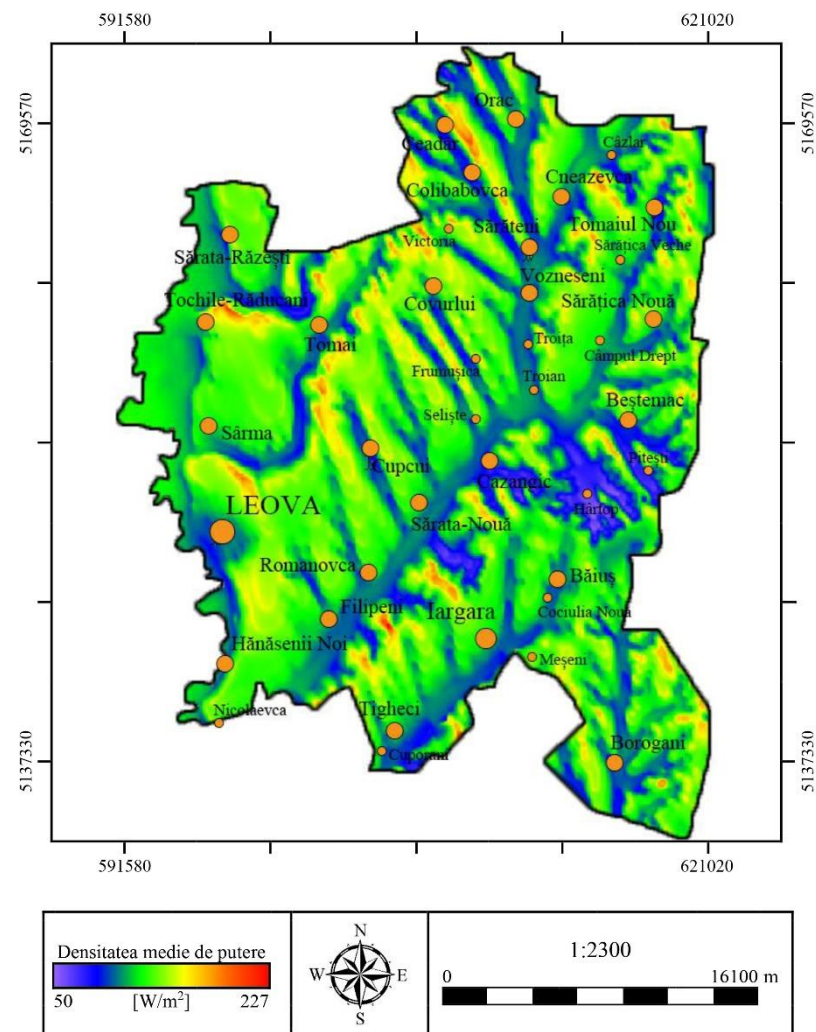
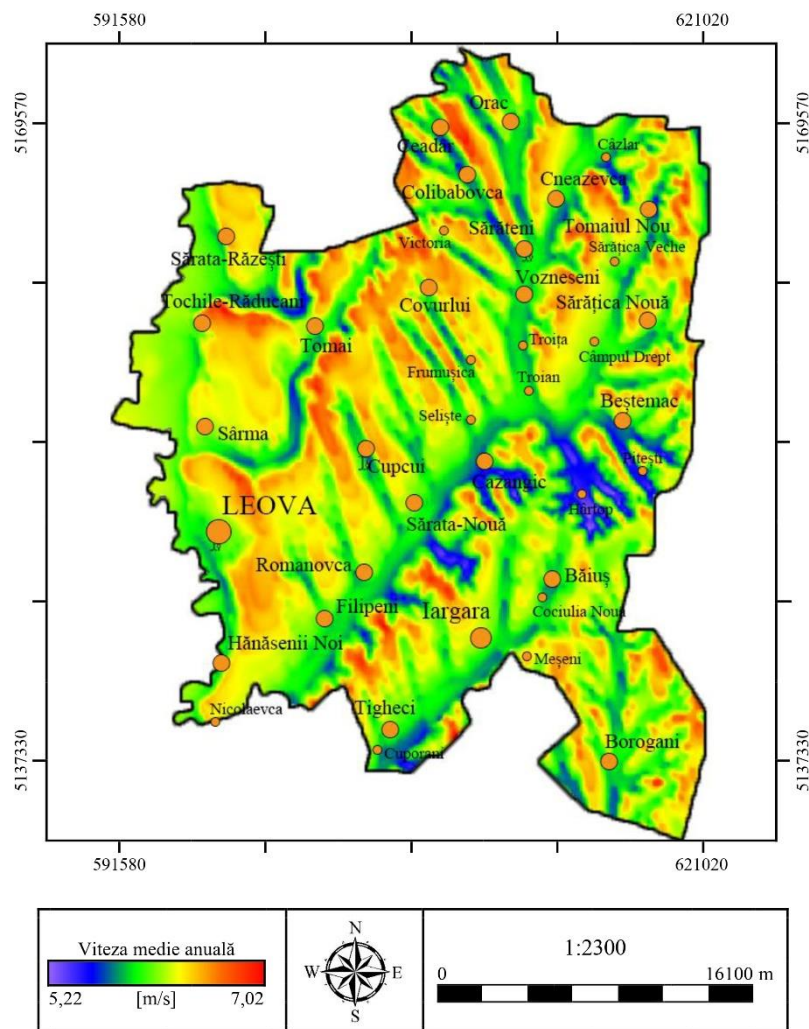
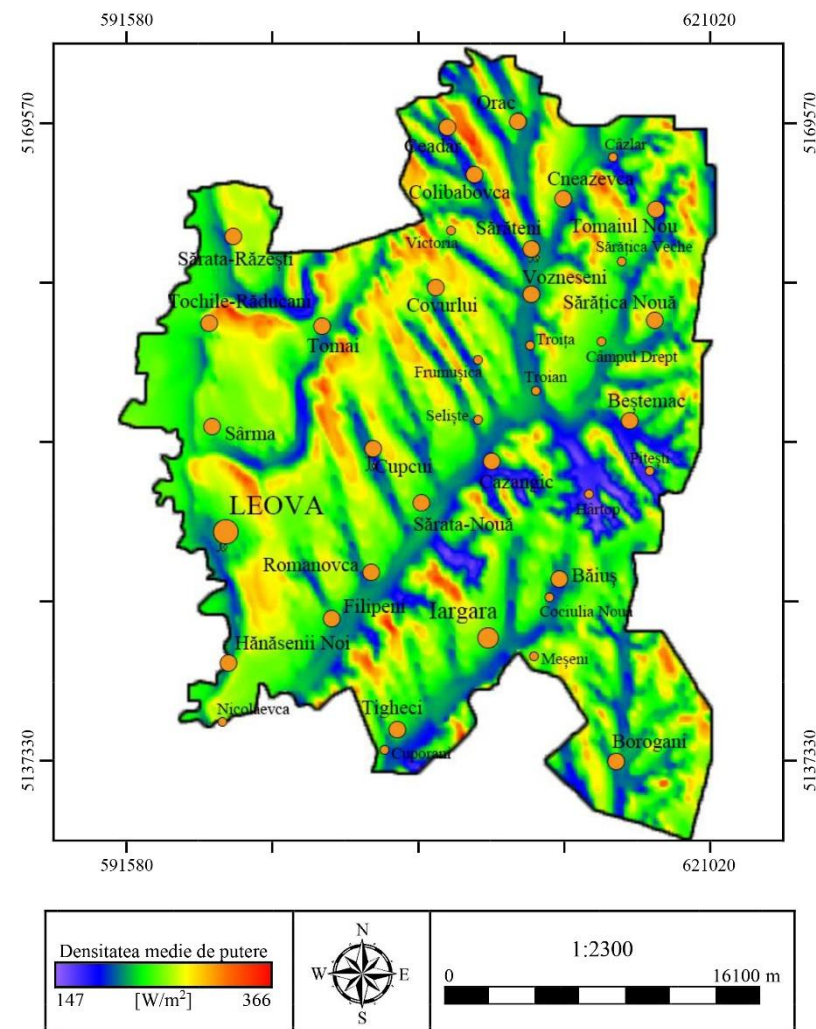


Figura A3.26. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului. Raionul Leova



**Figura A3.27. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Leova**



**Figura A3.28. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului.
Raionul Leova**

A3.8. Potențialul energetic eolian al raionului Taraclia

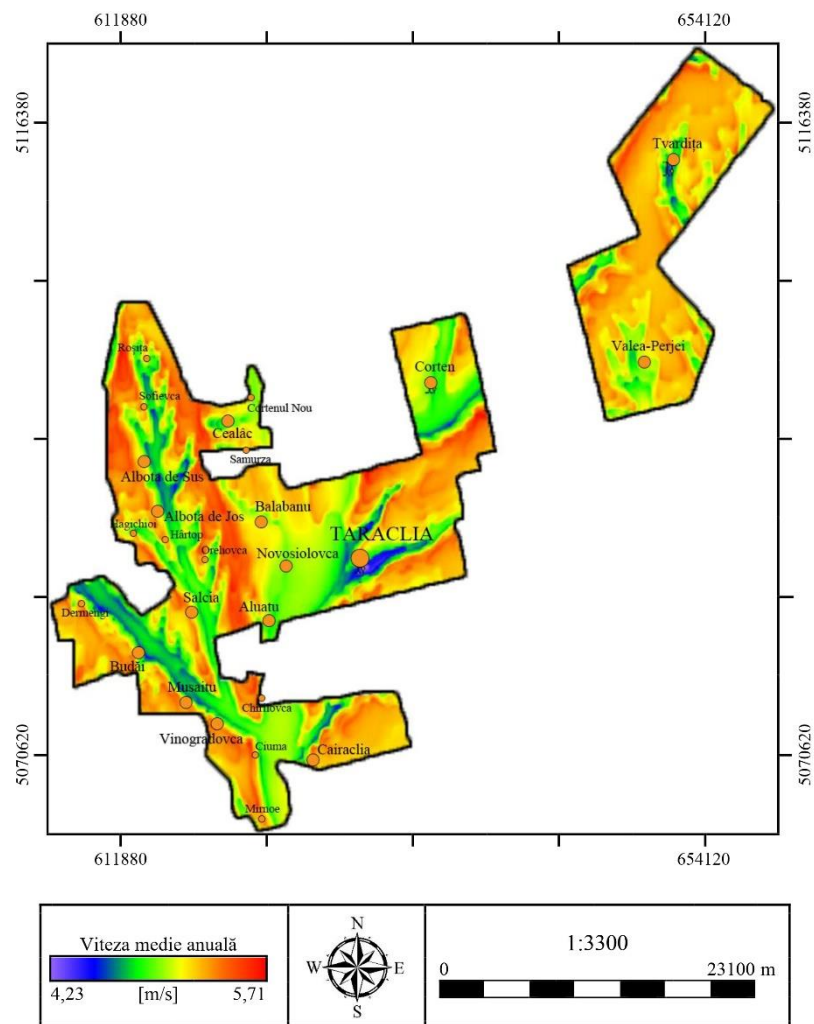
Hărțile potențialului energetic eolian ale raionului Taraclia la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.29 – A3.32. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt situate în partea de vest a raionului. Acestea sunt dealurile direcționate pe linia de la nord-vest spre sud-est, pe linia localităților Roșița-Sofievca-Albota de Sus-Albota de Jos-Orehovca-Aluatu. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 5,71 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 164 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,72 m/s și densitatea de putere eoliană de 315 W/m². În tabelul A3.8 este prezentată clasificarea teritoriului raionului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.8. Clasificarea teritoriului raionului Taraclia
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

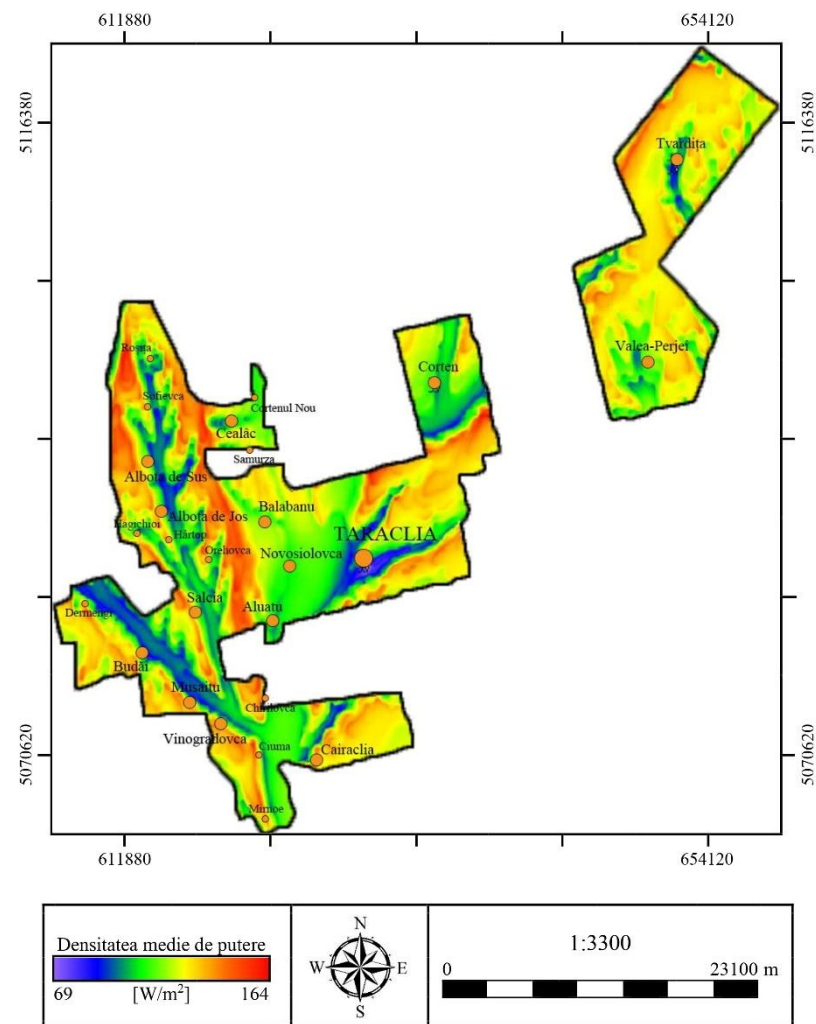
Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	0	25787	40740	304	0	66830,59	100,00%
Aria, km ²	0	257,87	407,4	3,04	0	668,31	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	0	1289,33	2037	15,2	0	3341,53	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața raionului sau 668,31 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 200 și 350 W/m² (tabelul A3.8);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 200 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 3342 MW [30].



**Figura A3.29. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Taraclia**



**Figura A3.30. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Raionul Taraclia**

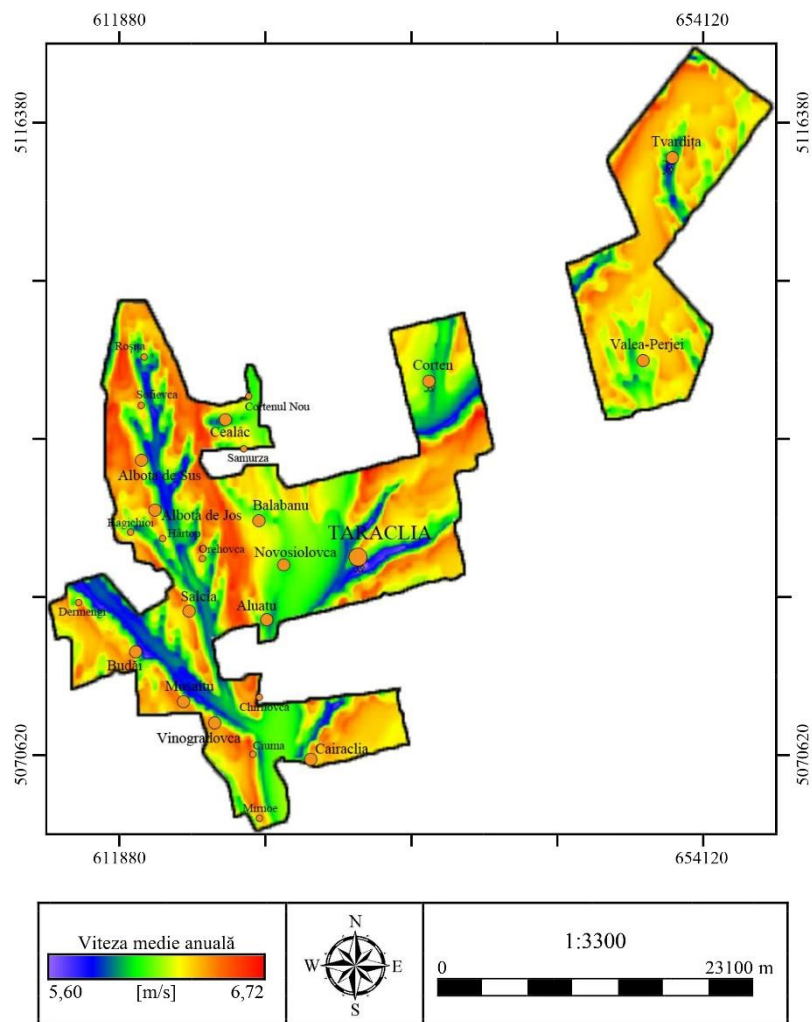


Figura A3.31. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Taraclia

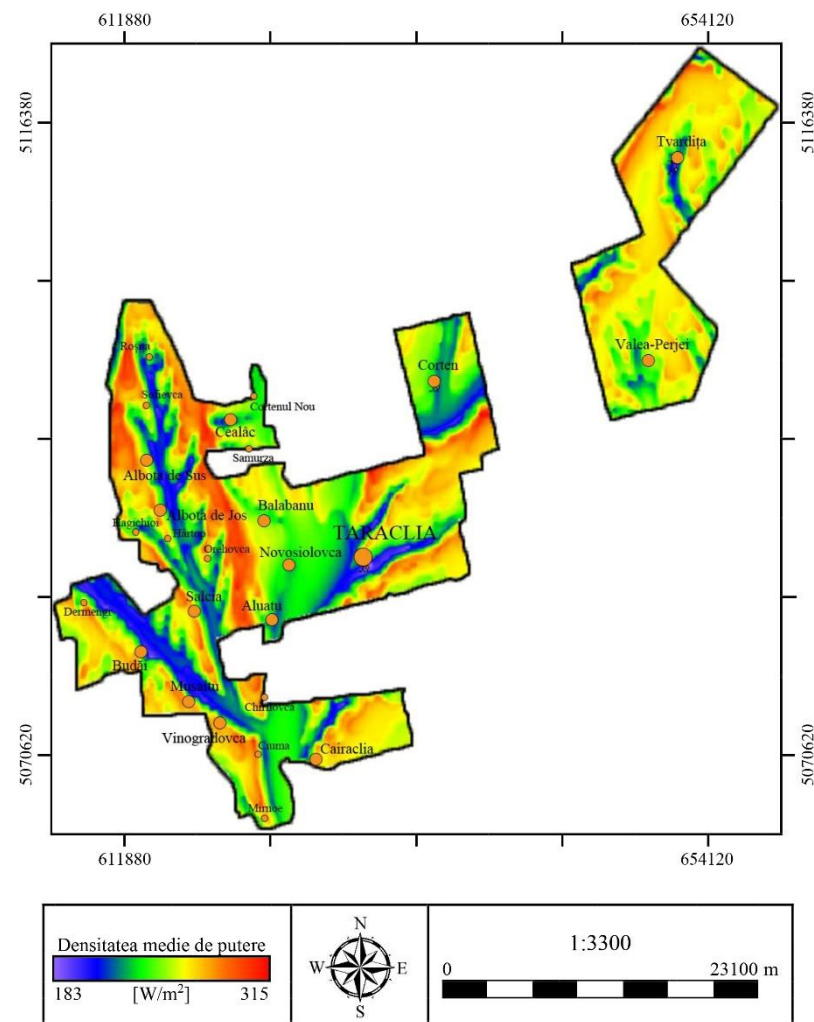


Figura A3.32. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Raionul Taraclia

A3.9. Potențialul energetic eolian al regiunii autonome UTA-Găgăuzia

Hărțile potențialului energetic eolian ale regiunii autonome UTA-Găgăuzia la înălțimea de 50 și 100 m deasupra solului sunt prezentate în figurile A3.33 – A3.36. Principalele zone cu potențial eolian pronunțat sunt situate în partea de est a regiunii. Acestea sunt dealurile la est de comunele Tomai și Gaidar. Aici viteza medie anuală la înălțimea de 50 m deasupra solului este egală cu 6,06 m/s și respectiv densitatea de putere eoliană de 198 W/m². La înălțimea de 100 m, respectiv viteza medie anuală de 6,89 m/s și densitatea de putere eoliană de 339 W/m². În tabelul A3.9 este prezentată clasificarea teritoriului în funcție de valoarea densității de putere eoliană [30].

**Tabelul A3.9. Clasificarea teritoriului regiunii autonome UTA-Găgăuzia
în funcție de valoarea densității de putere [30]**

Densitate de putere, W/m ²	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	Total	Pondere
Nr. celule 100x100 m	551	87713	94821	812	0	183897	100,00%
Aria, km ²	5,51	877,13	948,21	8,12	0	1838,97	100,00%
Puterea eoliană teoretică posibil de instalat, MW	27,55	4385,65	4741,05	40,6	0	9194,85	
*nu includ celulele cu potențial mai mic de 150 W/m ²							

În baza rezultatelor calculelor s-au constatat următoarele:

- Toată suprafața regiunii sau 1838,97 km² are un potențial energetic eolian cuprins între 150 și 350 W/m² (tabelul A3.9);
- În ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 350 W/m² a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW, puterea teoretică totală posibil de instalat ar putea atinge circa 9195 MW [30].

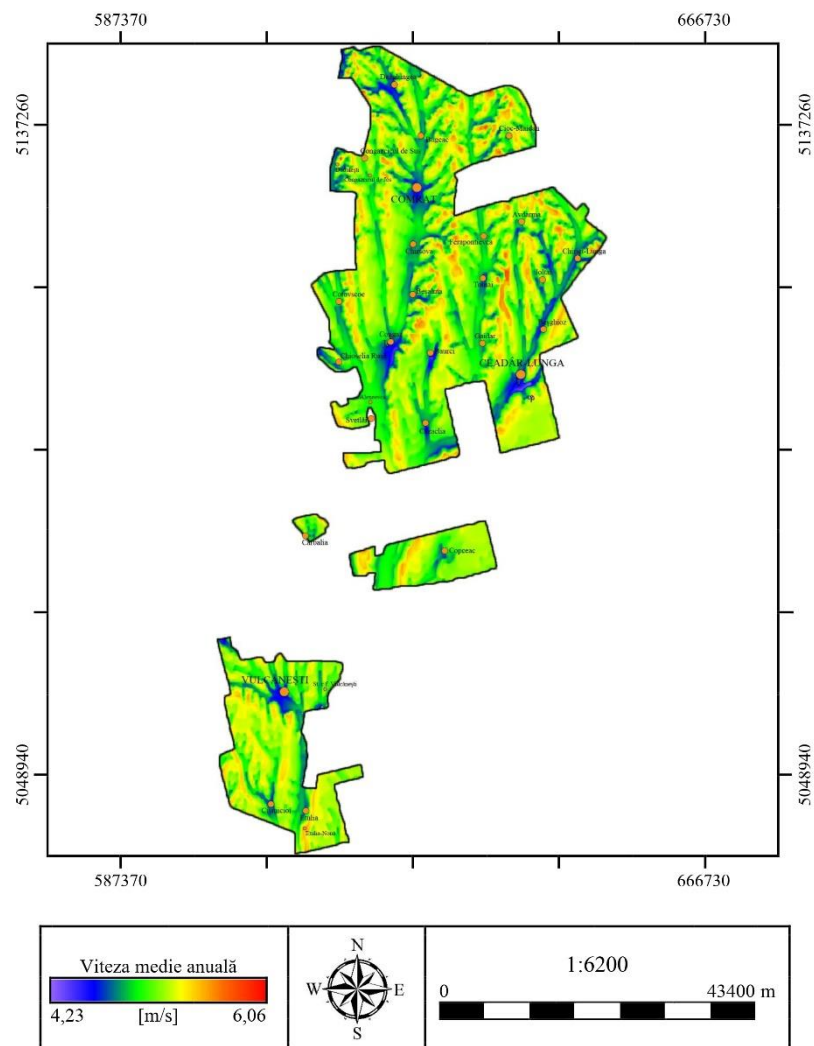


Figura A3.33. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Regiunea autonomă UTA-Găgăuzia

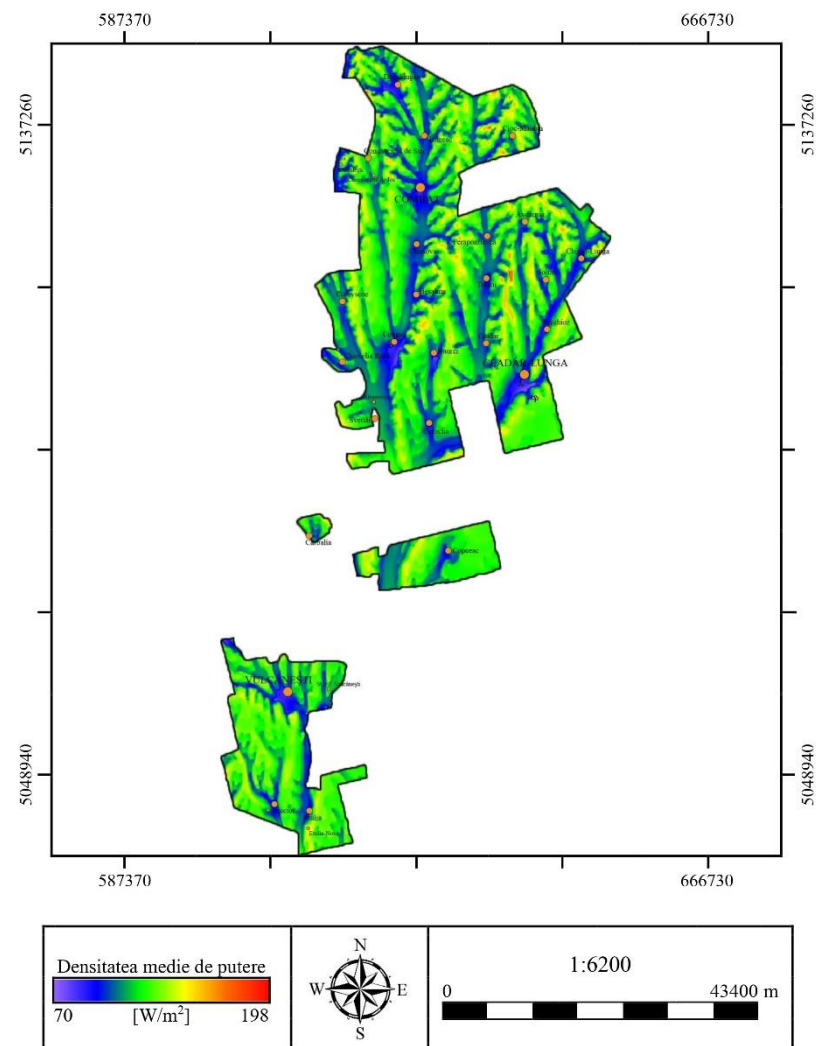


Figura A3.34. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 50 m deasupra nivelului solului.
Regiunea autonomă UTA-Găgăuzia

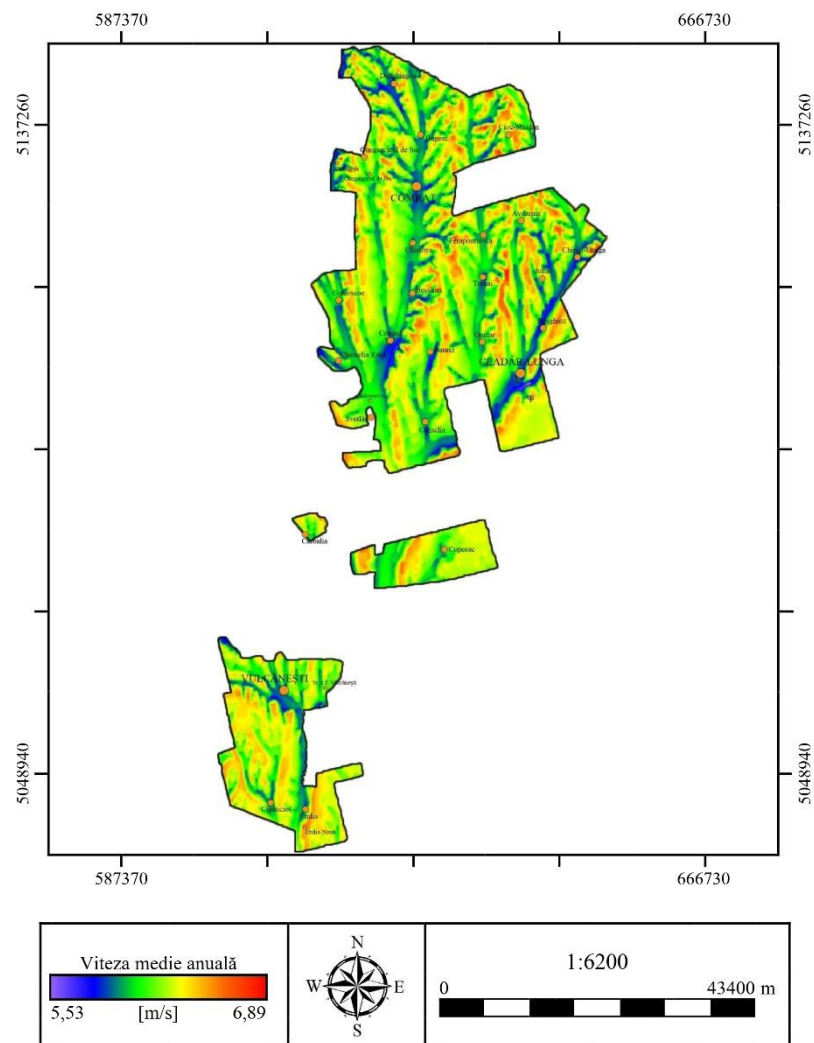


Figura A3.35. Viteza medie anuală a vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Regiunea autonomă UTA-Găgăuzia

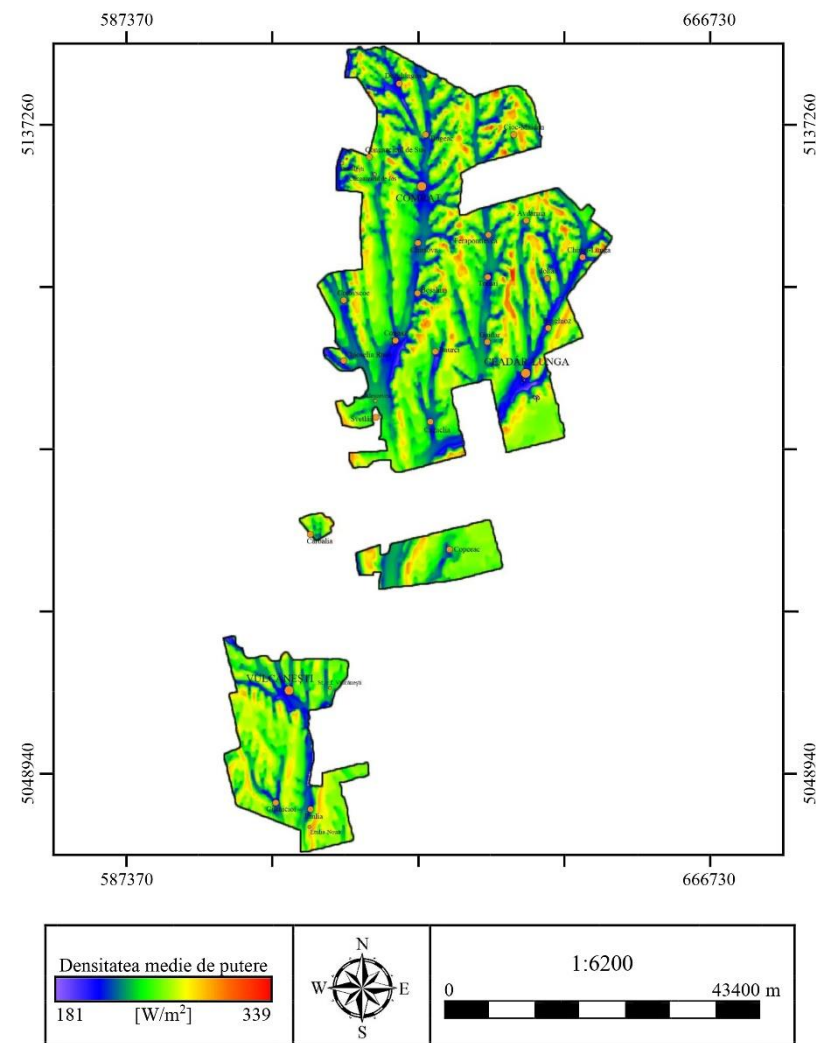


Figura A3.36. Densitatea medie anuală a puterii vântului la înălțimea 100 m deasupra nivelului solului. Regiunea autonomă UTA-Găgăuzia

În figura A3.37 este prezentată în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele analizate din RDS, în ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între **150 și 400 W/m²** a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW.

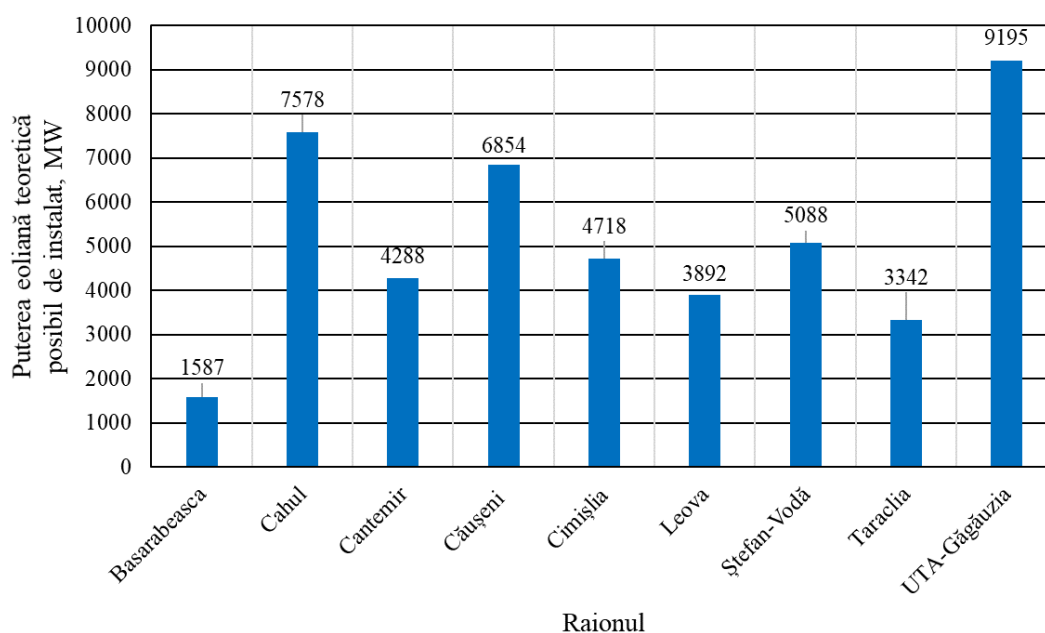


Figura A3.37. Puterea eoliană teoretică posibil de instalat în raioanele din RDS, inclusiv UTA-Găgăuzia, în zonele cu potențial energetic cuprins între 150 și 400 W/m²

În figura A3.38 este prezentată în formă grafică puterea eoliană teoretică posibil de instalat pentru toate raioanele analizate din RDS, în ipoteza utilizării în zonele cu potențial energetic cuprins între **300 și 400 W/m²** a turbinelor eoliene cu puterea unitară egală cu 3,0 MW.

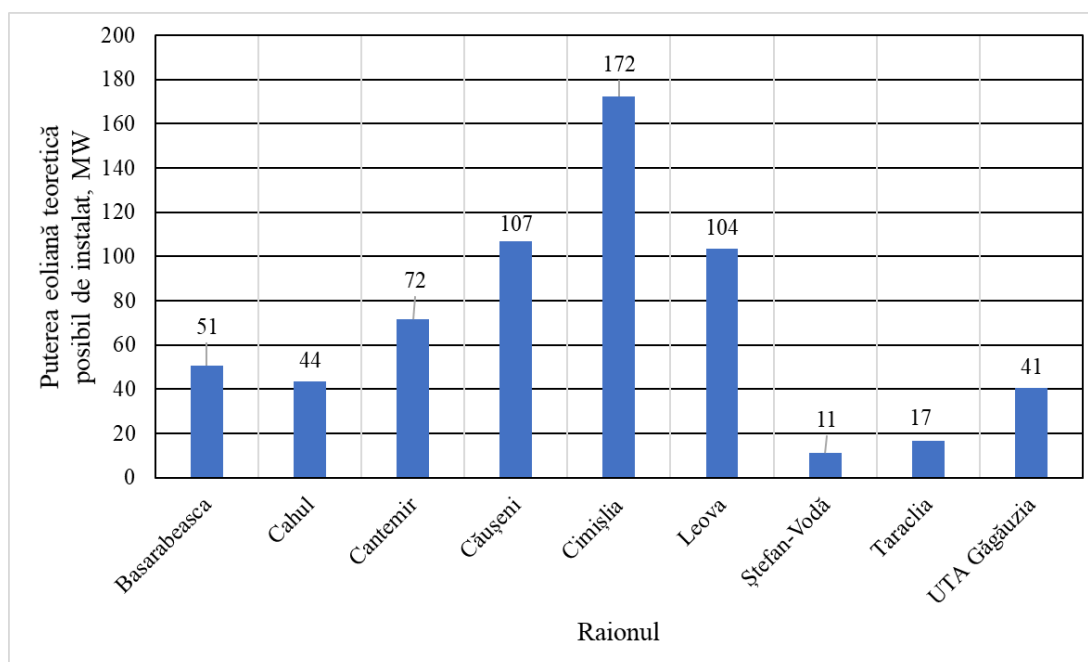


Figura A3.38. Puterea eoliană teoretică posibil de instalat în raioanele din RDS, inclusiv UTA-Găgăuzia, în zonele cu potențial energetic cuprins între 300 și 400 W/m²

Anexa 4. Rezultatele simulării circulației fluxului de lichid caloportor – variația temperaturii

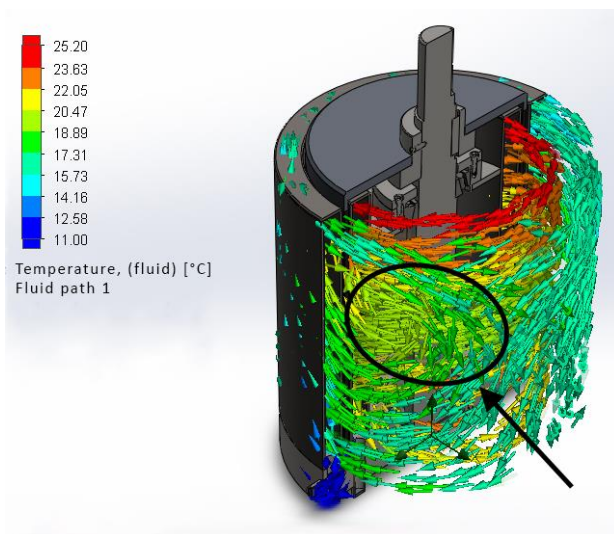


Figura A4.1. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **serie**, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

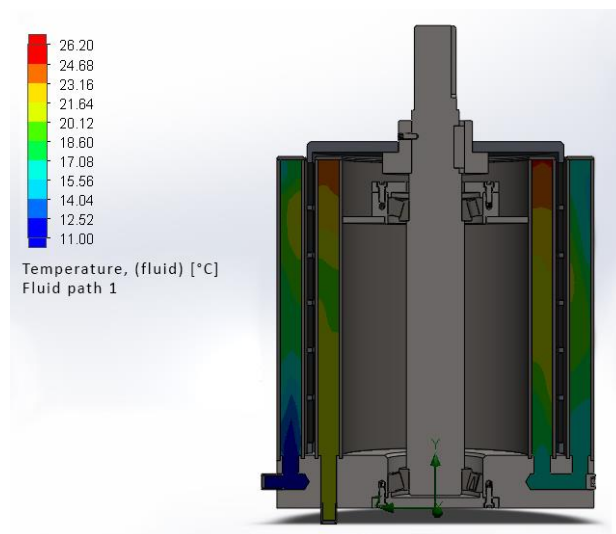


Figura A4.2. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **serie**, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

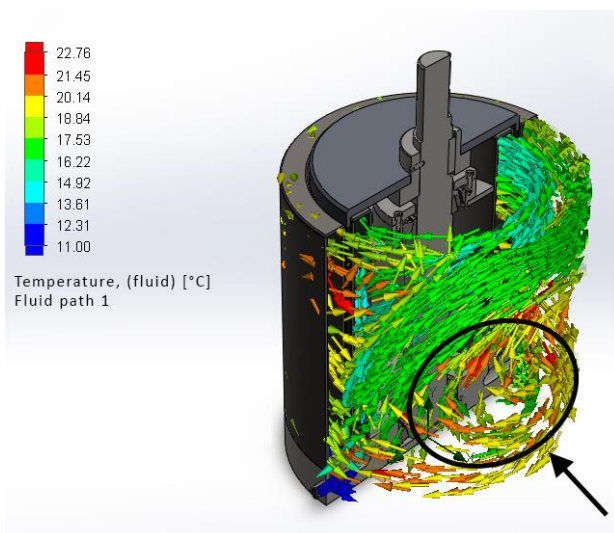


Figura A4.3. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

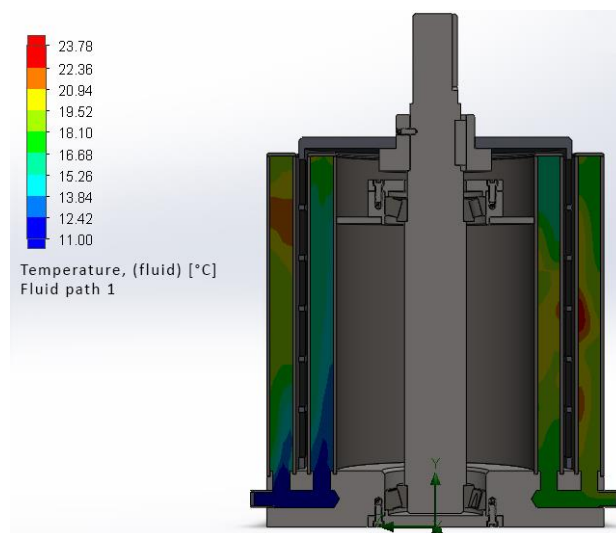


Figura A4.4. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

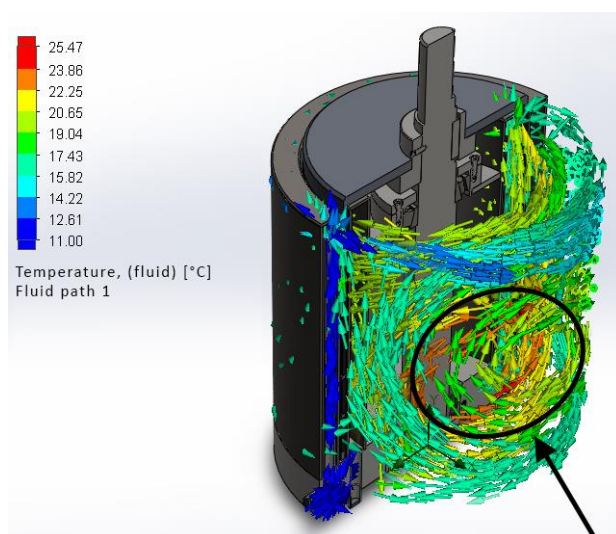


Figura A4.5. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în serie, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

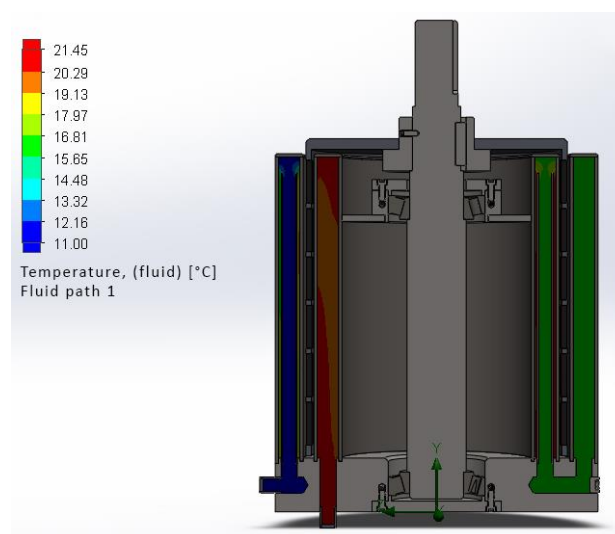


Figura A4.6. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în serie, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

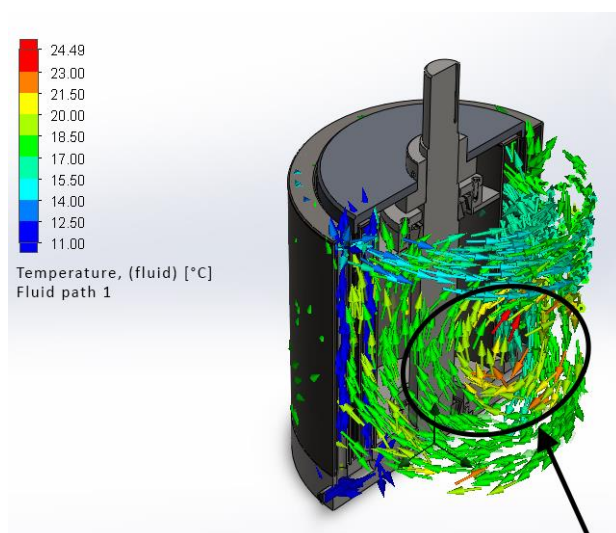


Figura A4.7. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în paralel, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

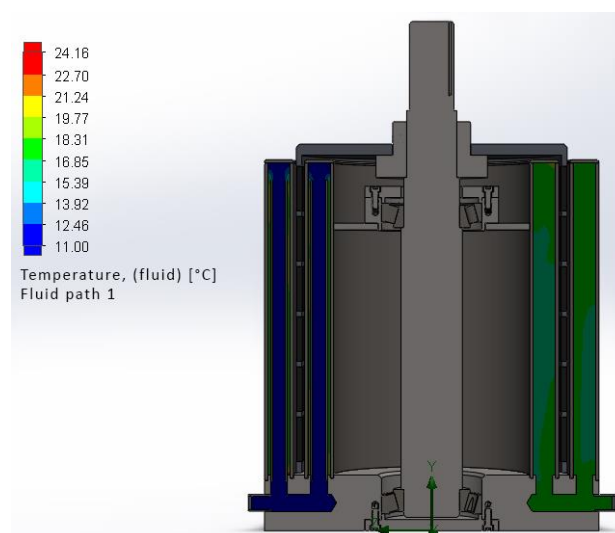


Figura A4.8. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în paralel, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

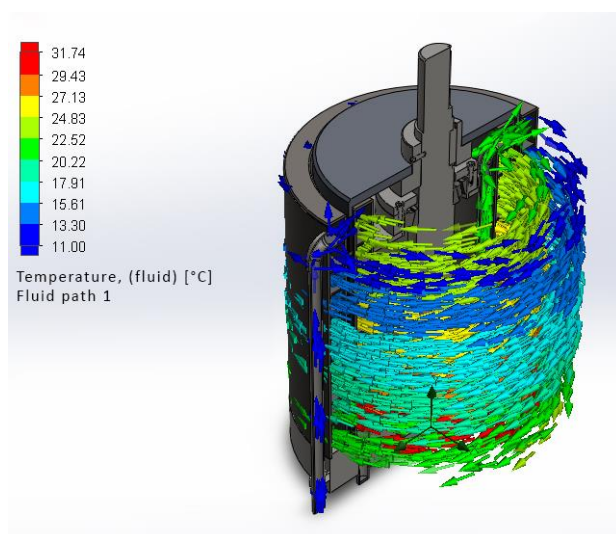


Figura A4.9. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **serie**, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

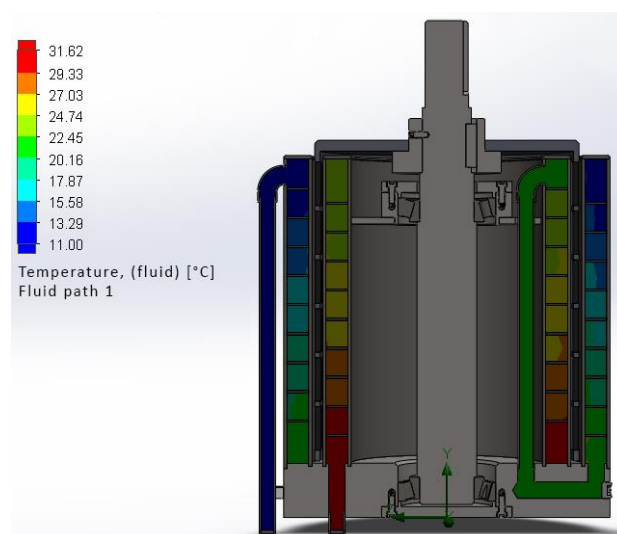


Figura A4.10. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **serie**, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

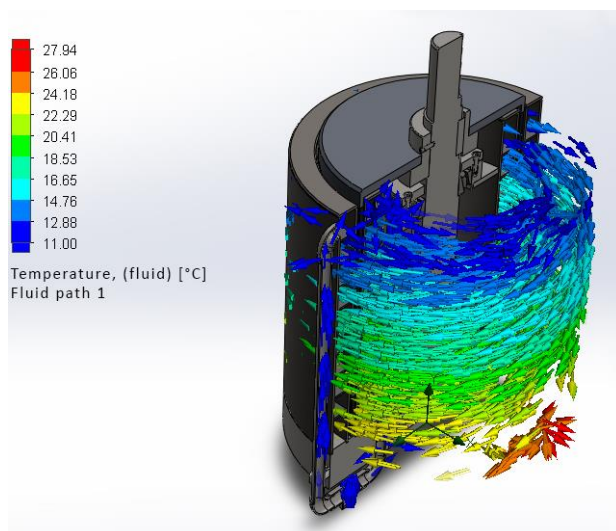


Figura A4.11. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

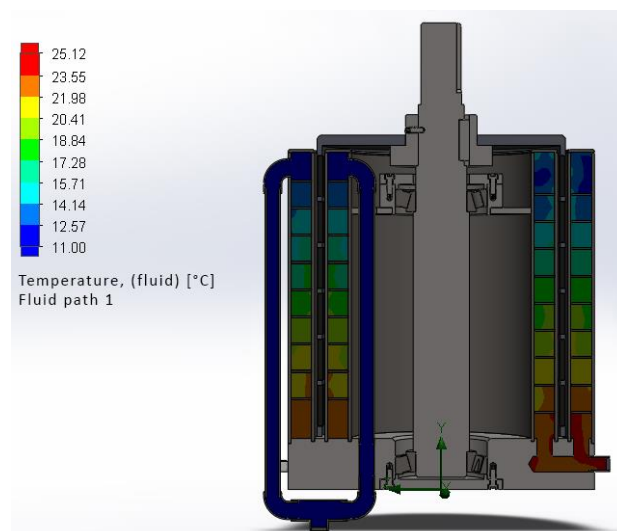


Figura A4.12. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

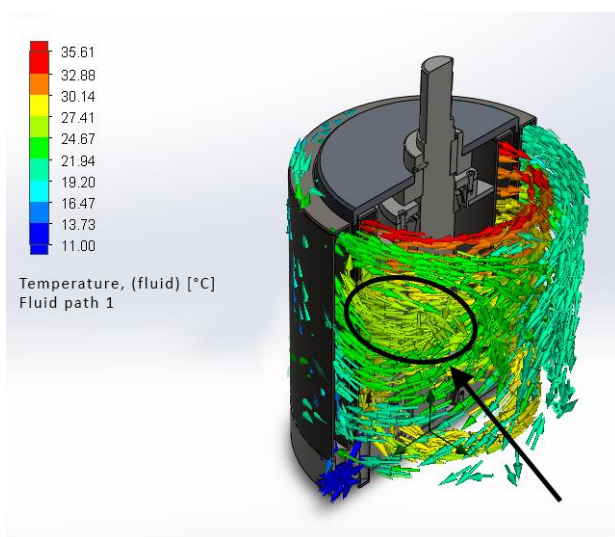


Figura A4.13. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **serie**, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

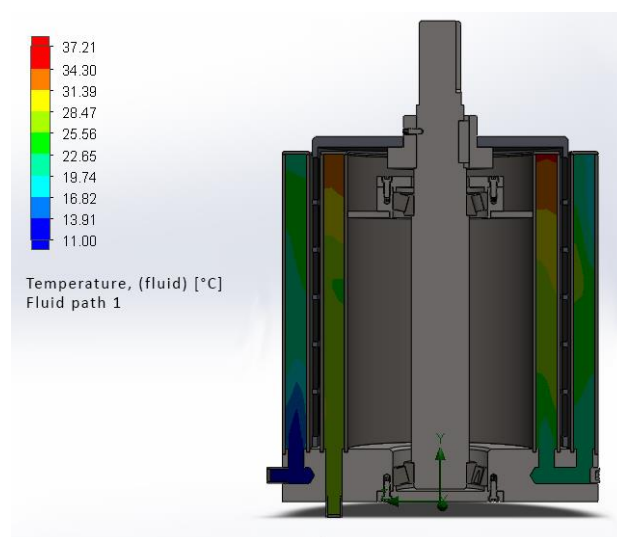


Figura A4.14. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **serie**, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

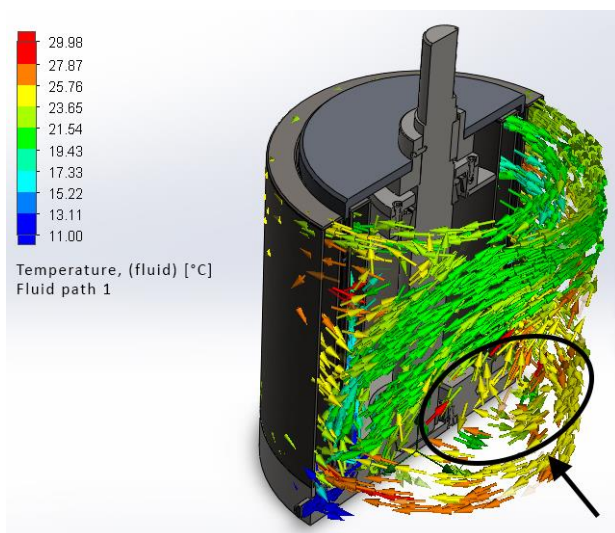


Figura A4.15. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

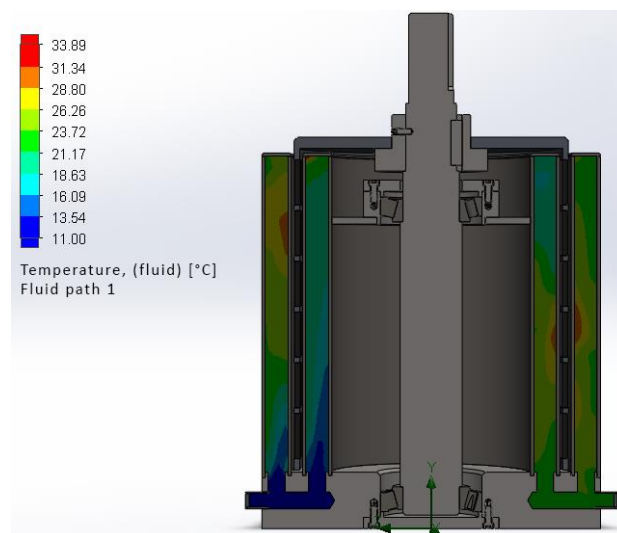


Figura A4.16. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

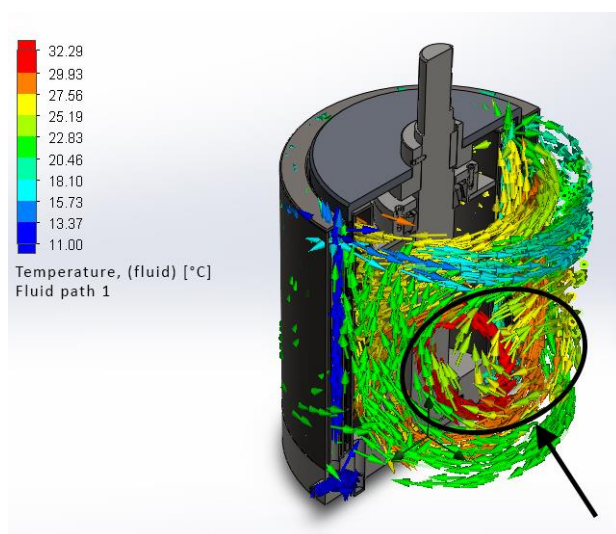


Figura A4.17. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în serie, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

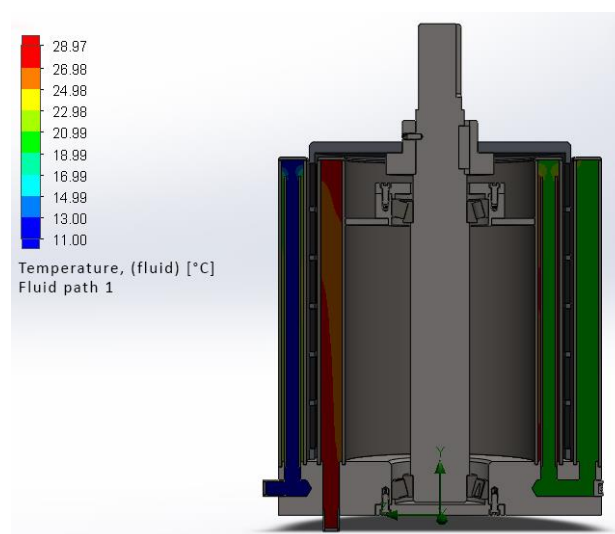


Figura A4.18. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în serie, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

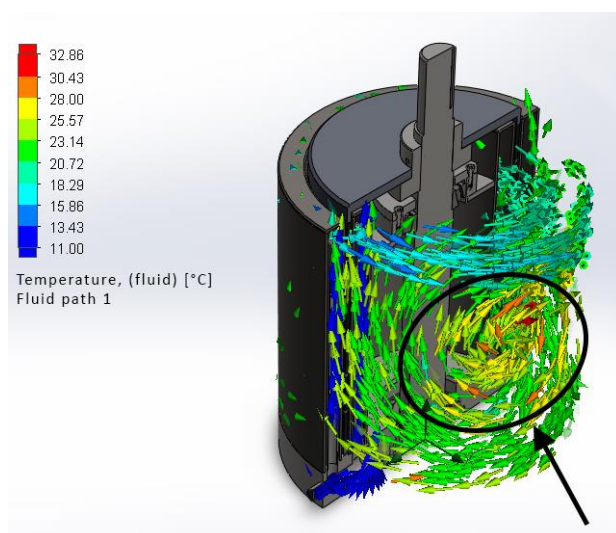


Figura A4.19. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în paralel, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

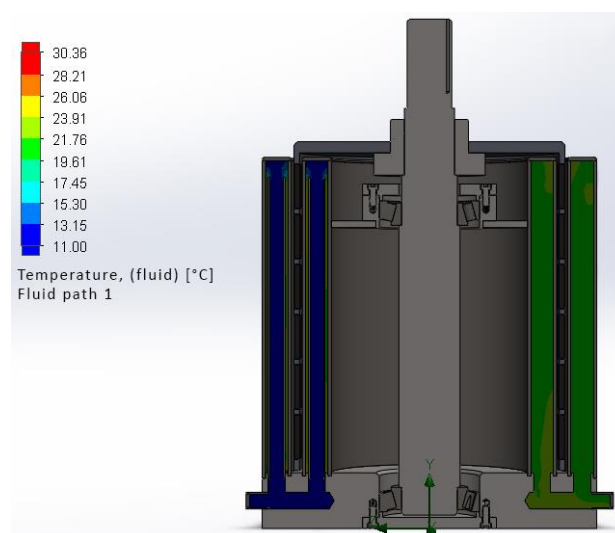


Figura A4.20. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în paralel, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

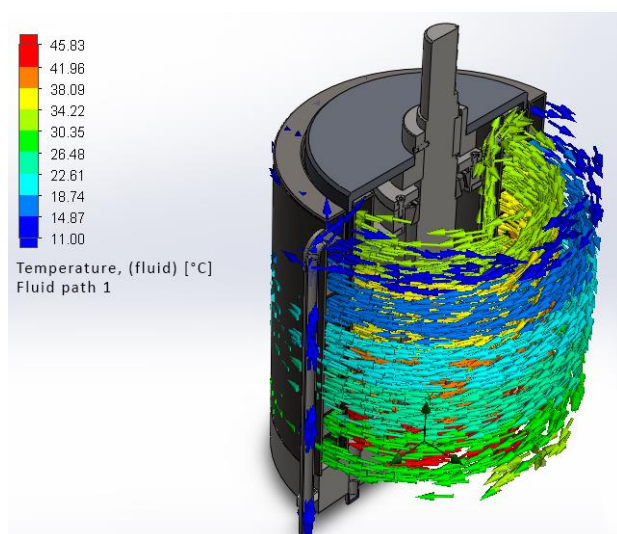


Figura A4.21. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **serie**, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

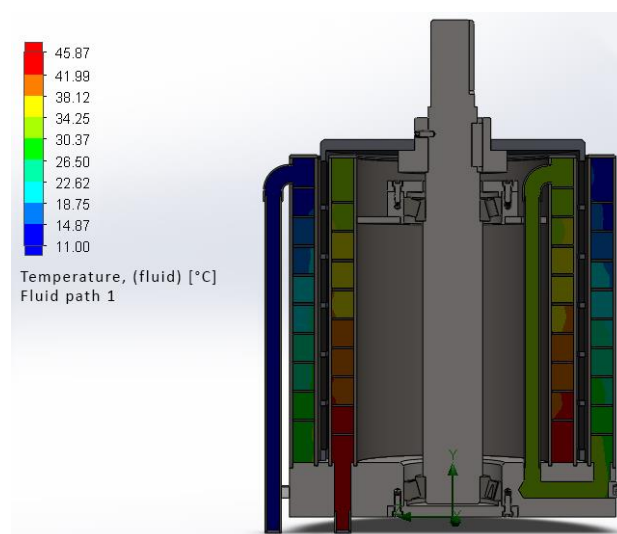


Figura A4.22. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **serie**, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

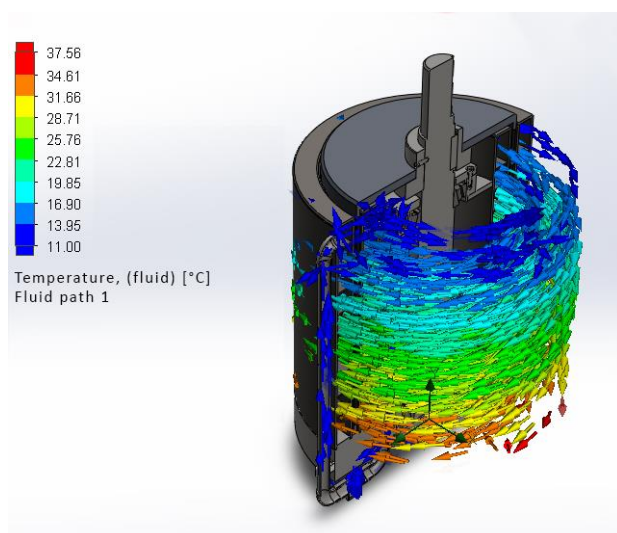


Figura A4.23. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

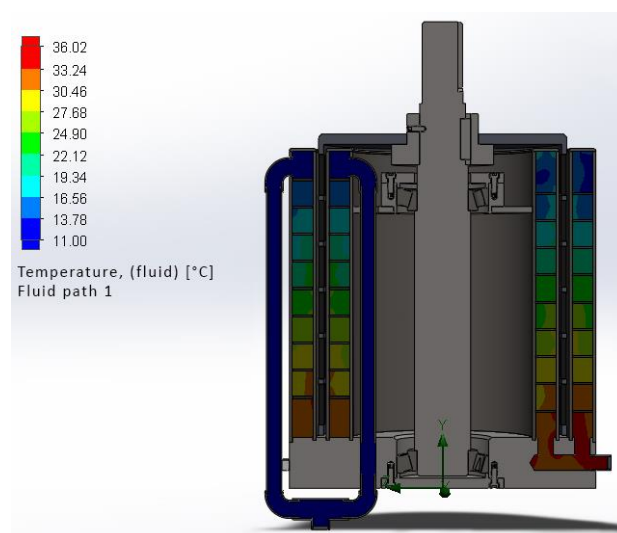


Figura A4.24. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

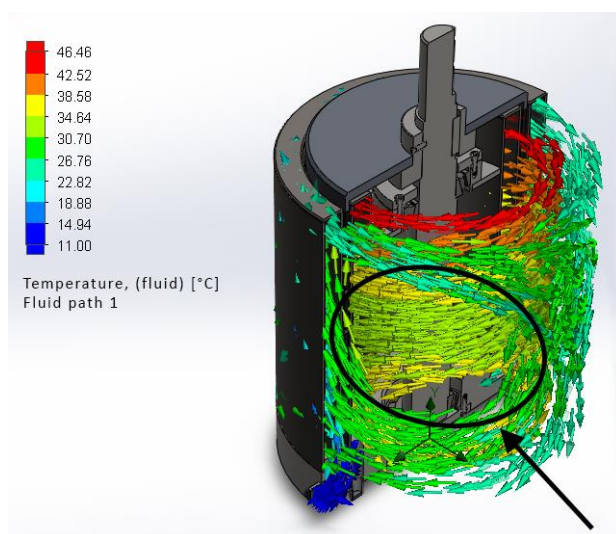


Figura A4.25. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **serie**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

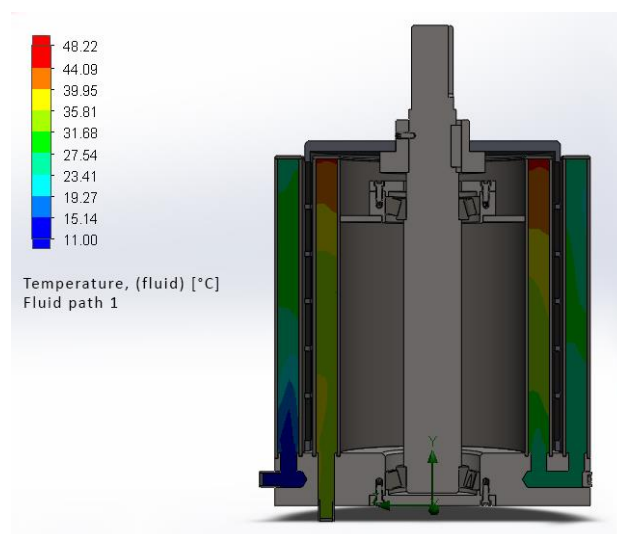


Figura A4.26. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **serie**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

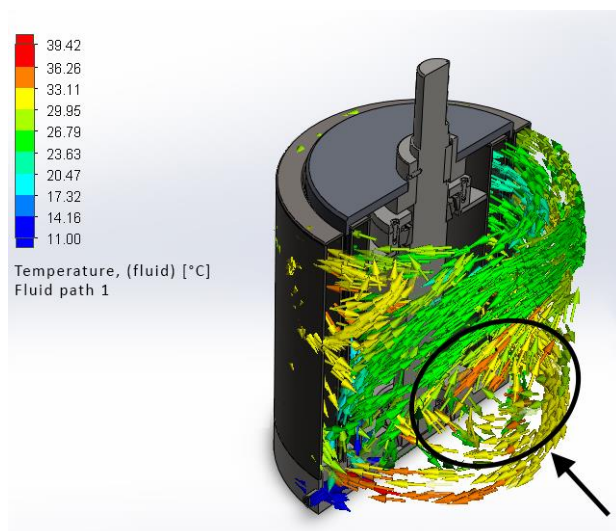


Figura A4.27. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

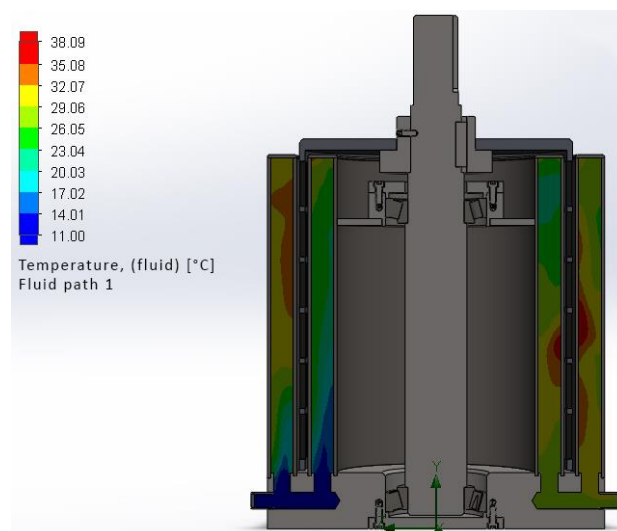


Figura A4.28. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

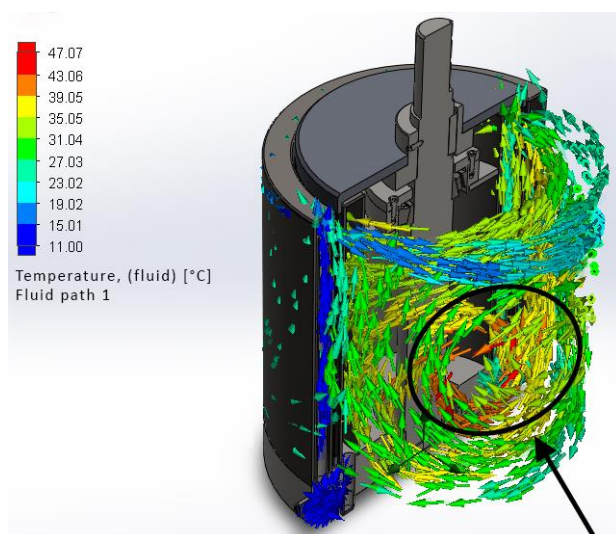


Figura A4.29. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în **serie**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

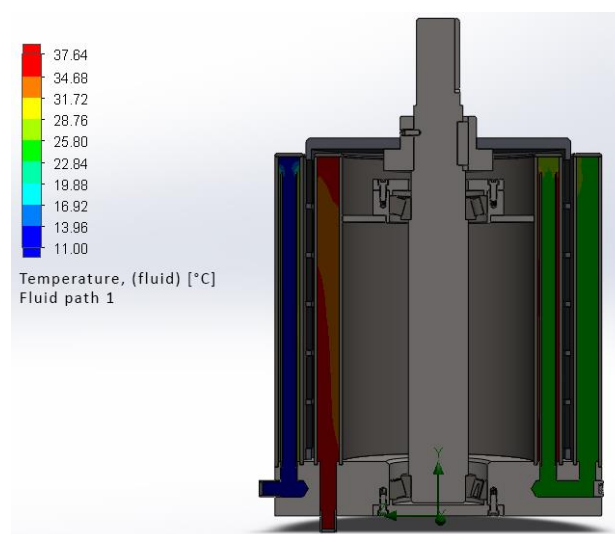


Figura A4.30. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în **serie**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

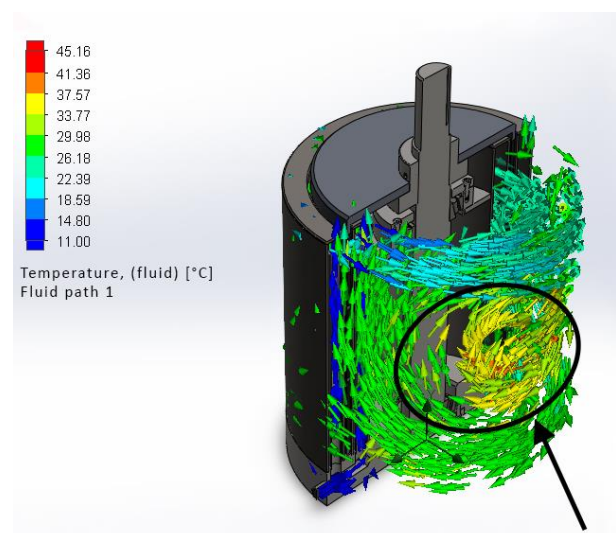


Figura A4.31. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în **paralel**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

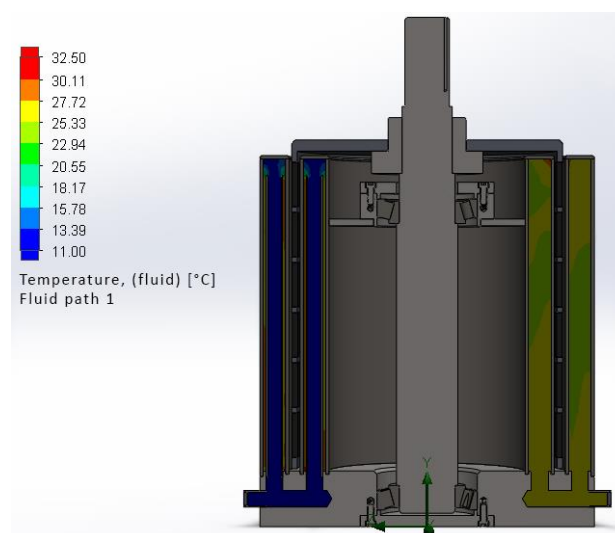


Figura A4.32. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în **paralel**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

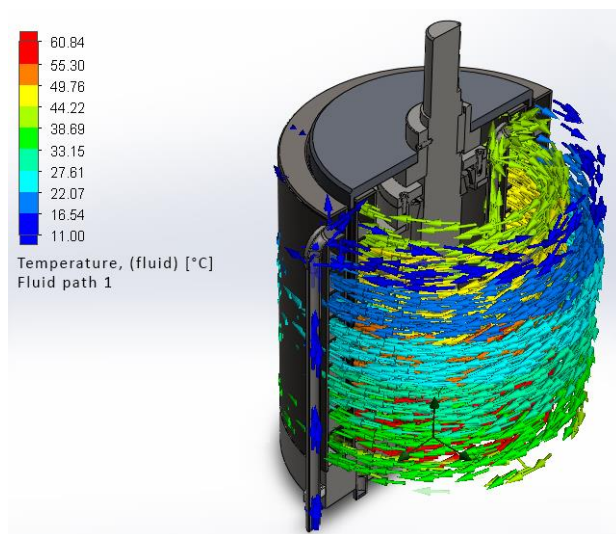


Figura A4.33. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **serie**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

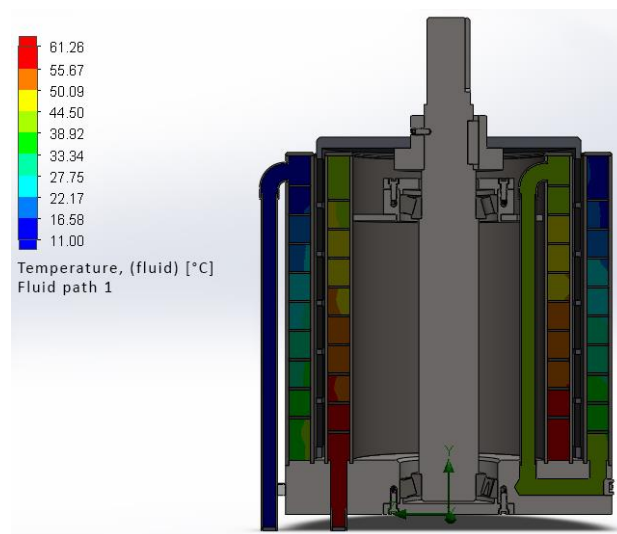


Figura A4.34. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **serie**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

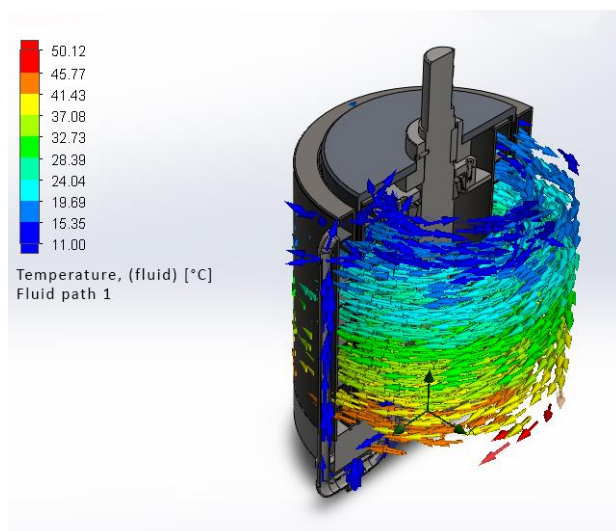


Figura A4.35. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

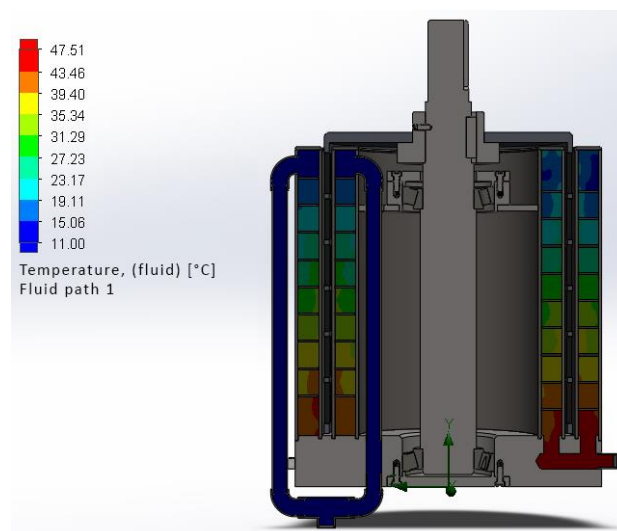


Figura A4.36. Temperatura lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

Anexa 5. Rezultatele simulării circulației fluxului de lichid caloportor – variația presiunii

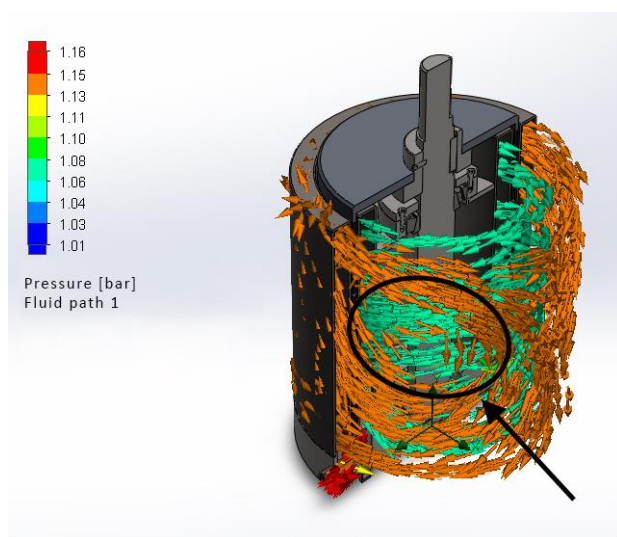


Figura A5.1. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **serie**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

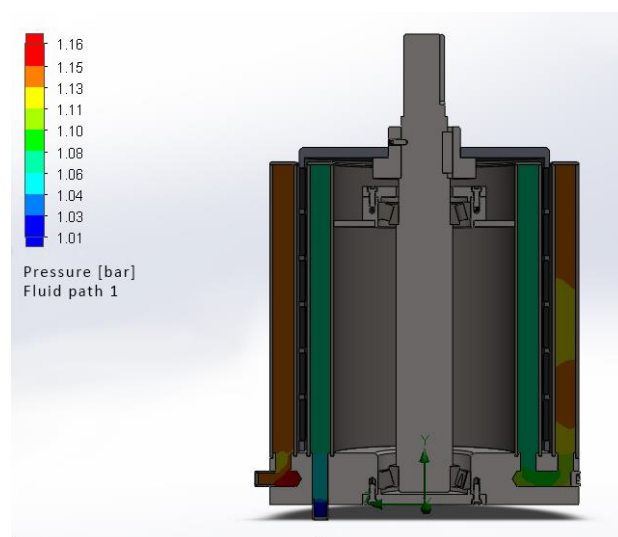


Figura A5.2. Presiunea lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **serie**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

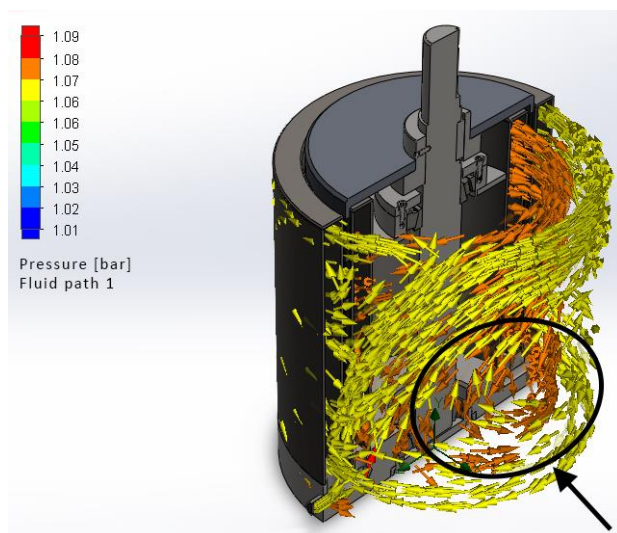


Figura A5.3. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

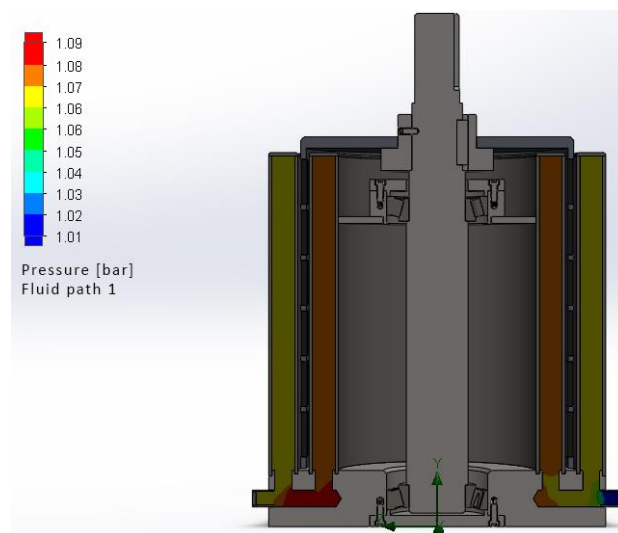


Figura A5.4. Presiunea lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

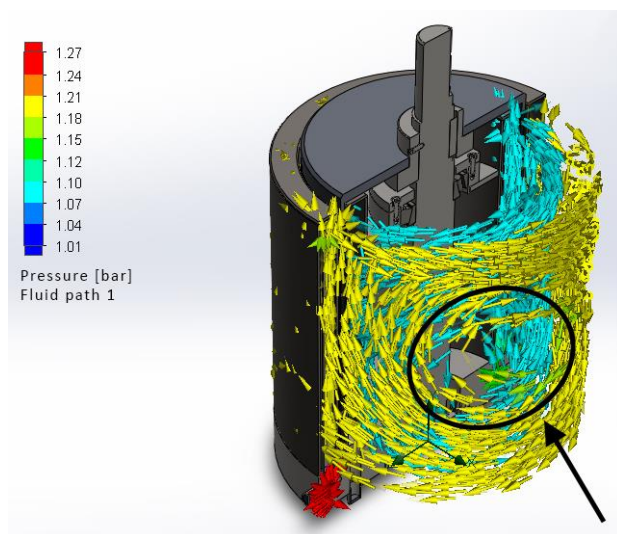


Figura A5.5. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țevă internă cu cămășile conectate în **serie**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

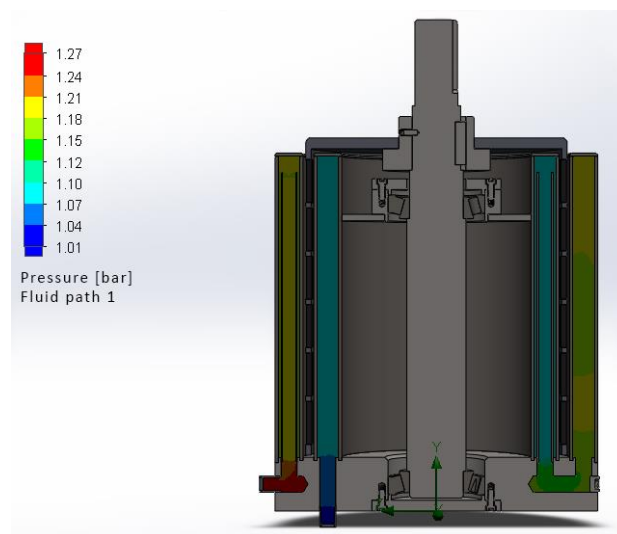


Figura A5.6. Presiunea lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țevă internă cu cămășile conectate în **serie**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

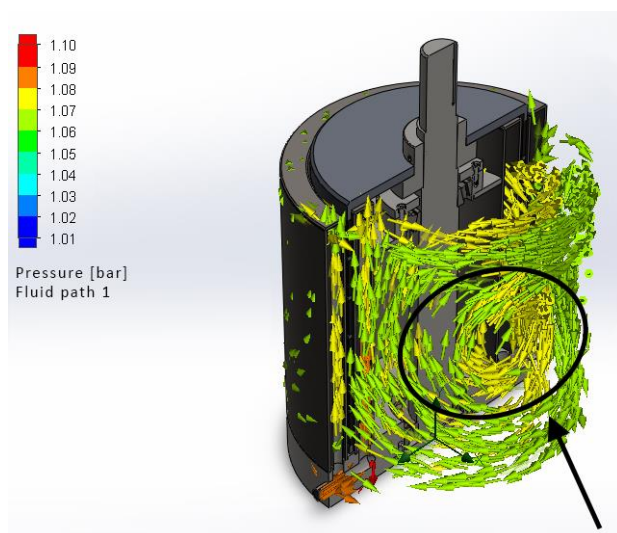


Figura A5.7. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țevă internă cu cămășile conectate în **paralel**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

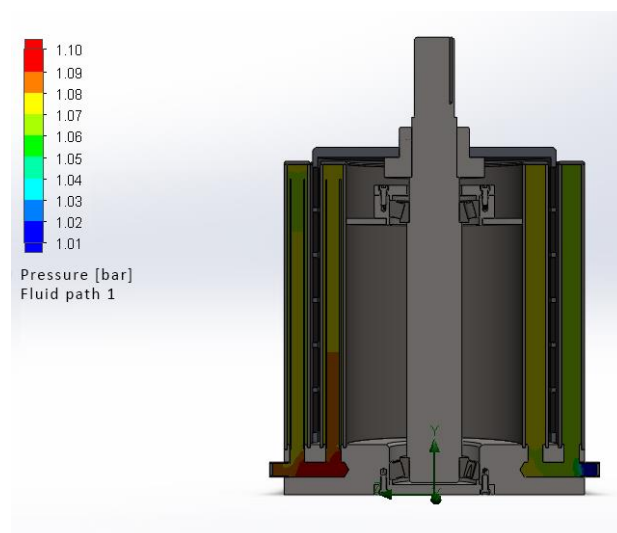


Figura A5.8. Presiunea lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țevă internă cu cămășile conectate în **paralel**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

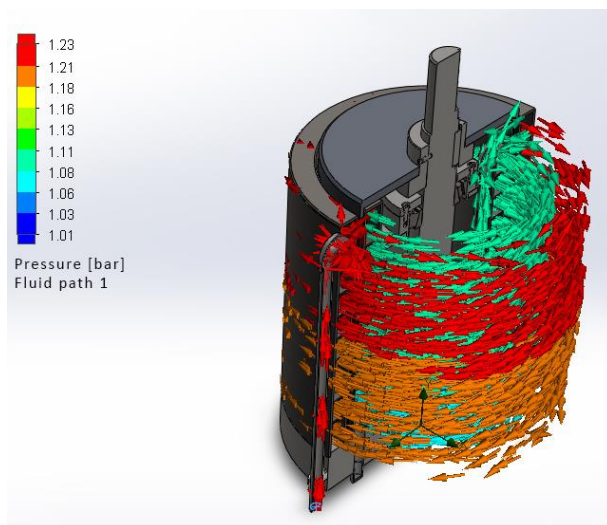


Figura A5.9. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **serie**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

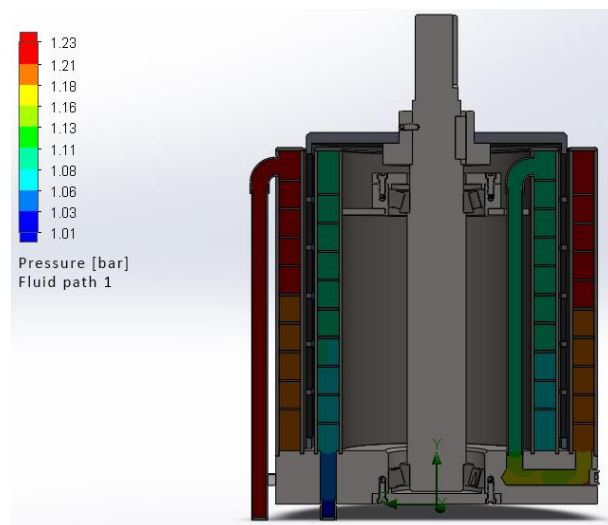


Figura A5.10. Presiunea lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **serie**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

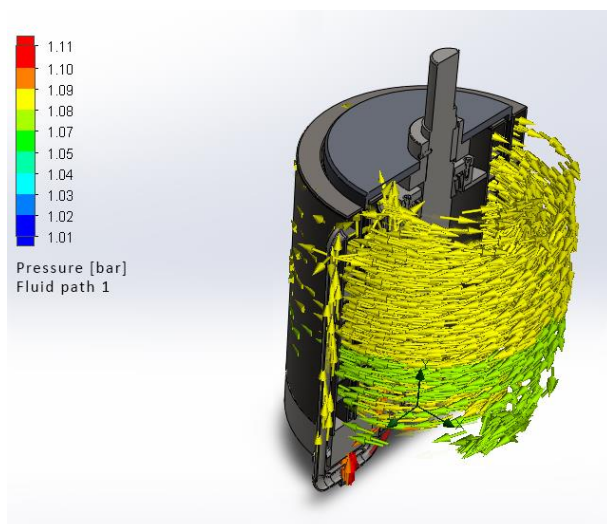


Figura A5.11. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

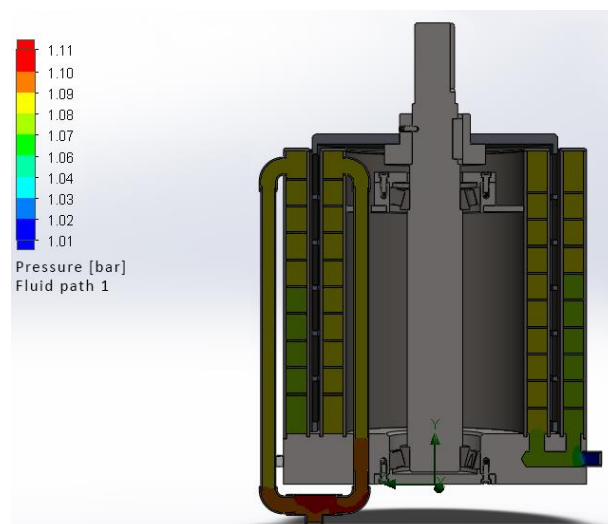


Figura A5.12. Presiunea lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în **paralel**, $T_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (secțiune)

Anexa 6. Rezultatele simulării fluxului termic în generatorul termic

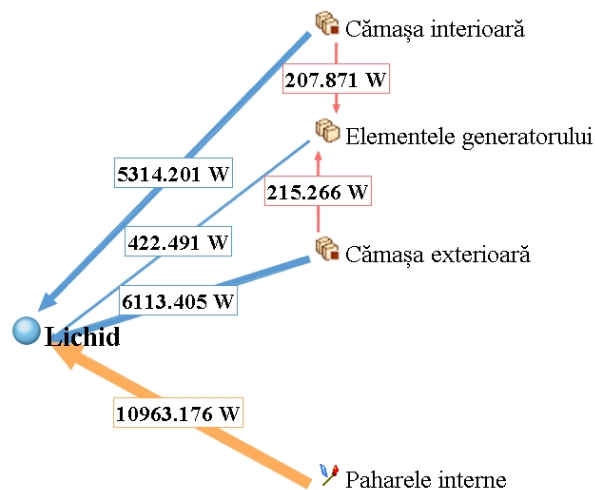


Figura A6.1. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în serie, $T_0 = 40^\circ\text{C}$

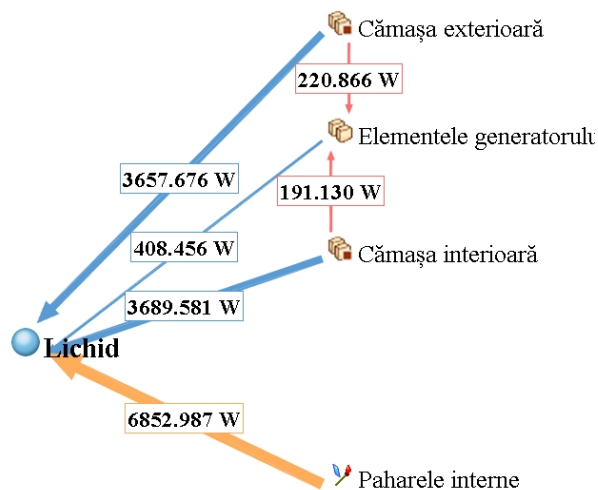


Figura A6.2. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în paralel, $T_0 = 40^\circ\text{C}$

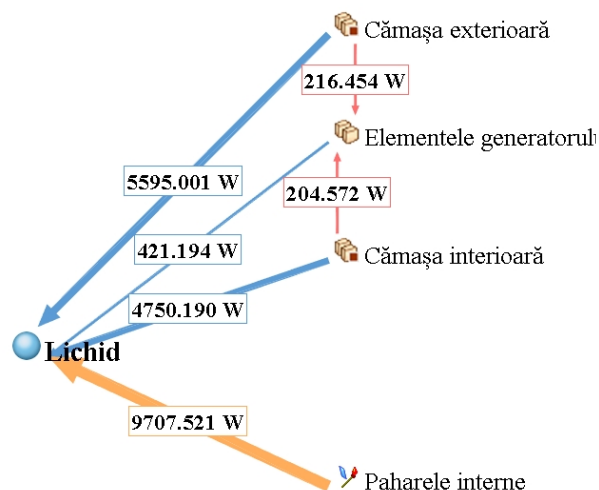


Figura A6.3. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țevă internă cu cămășile conectate în serie, $T_0 = 40^\circ\text{C}$

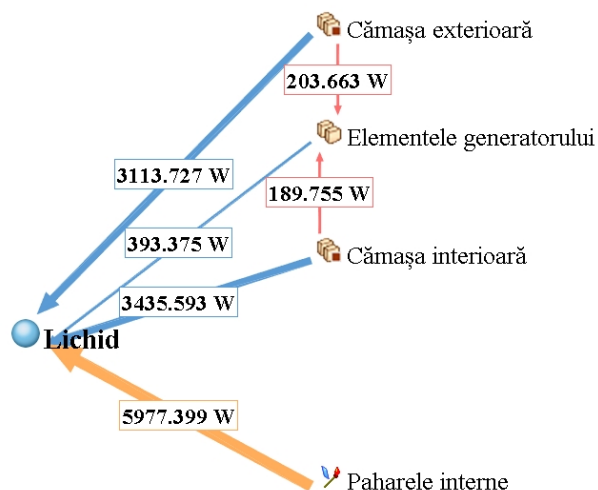


Figura A6.4. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie directă prin țevă internă cu cămășile conectate în paralel, $T_0 = 40^\circ\text{C}$

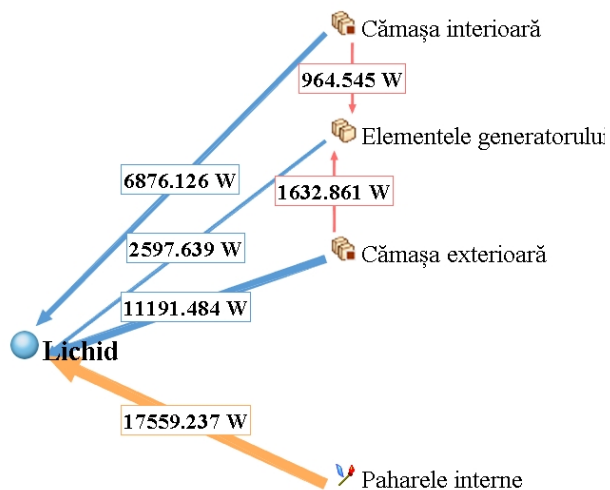


Figura A6.5. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în serie, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

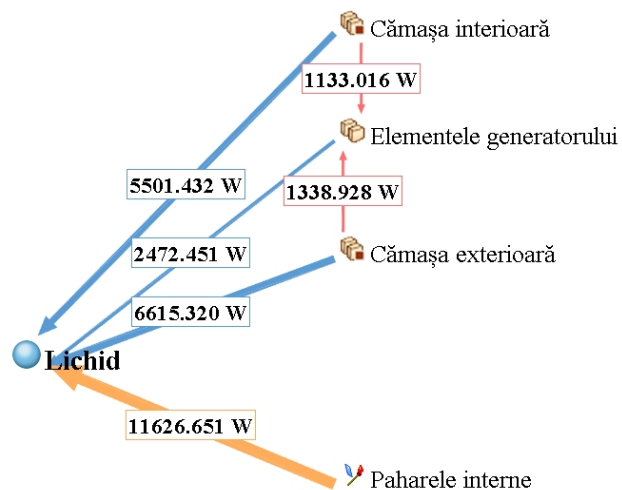


Figura A6.6. Fluxul lichidului prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în paralel, $T_0=40\text{ }^{\circ}\text{C}$

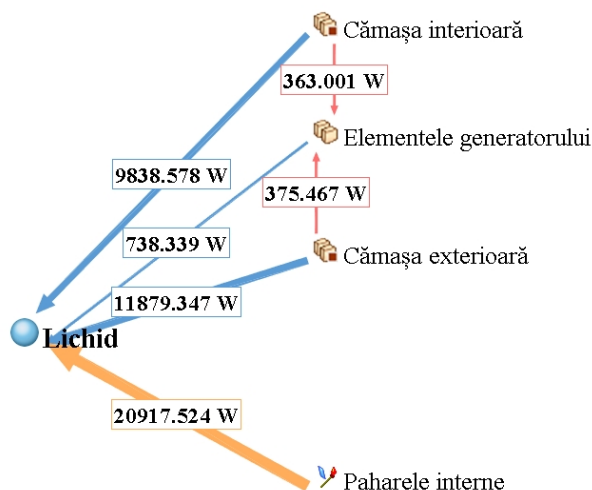


Figura A6.7. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în serie, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

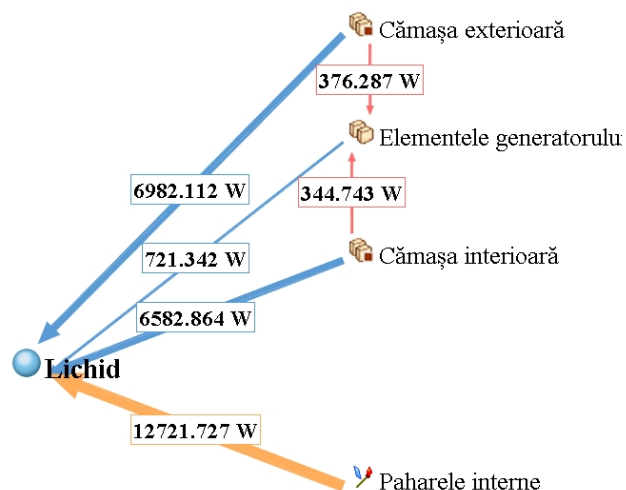


Figura A6.8. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în paralel, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

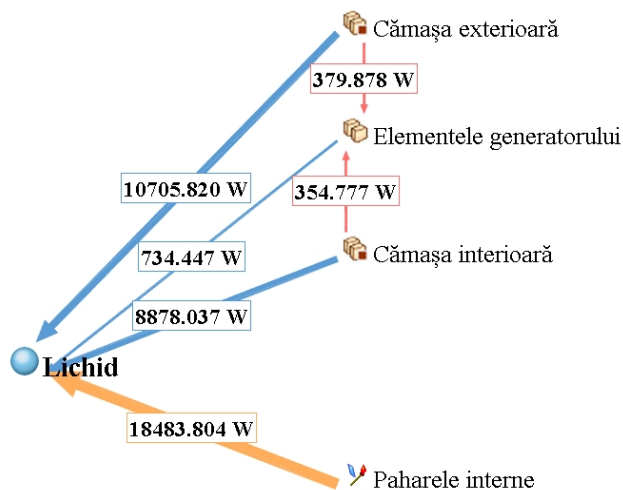


Figura A6.9. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în serie, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

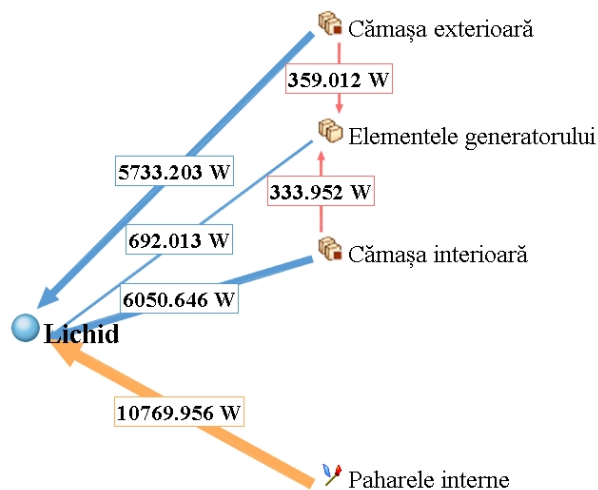


Figura A6.10. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în paralel, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

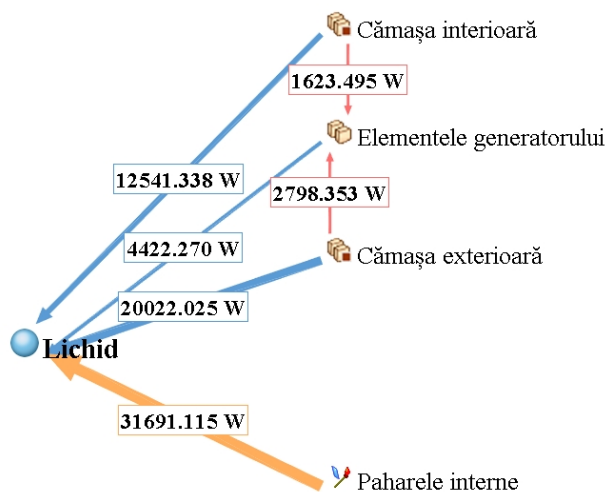


Figura A6.11. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în serie, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

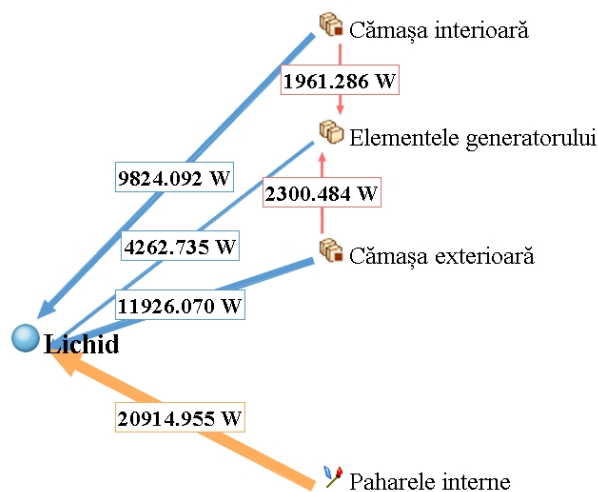


Figura A6.12. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în paralel, $T_0=60\text{ }^{\circ}\text{C}$

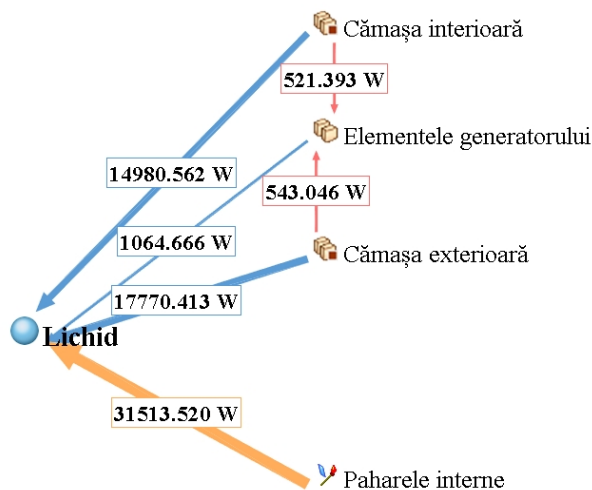


Figura A6.13. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în serie, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

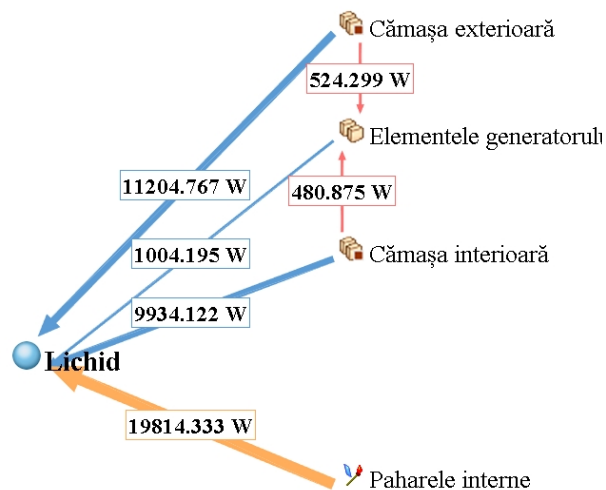


Figura A6.14. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă și cămășile conectate în paralel, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

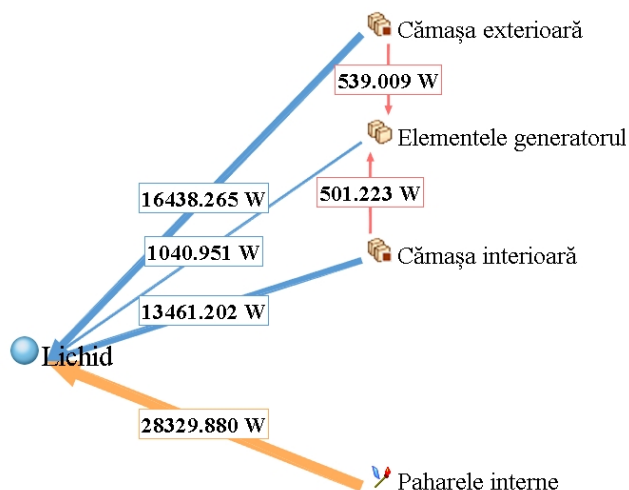


Figura A6.15. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în serie, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

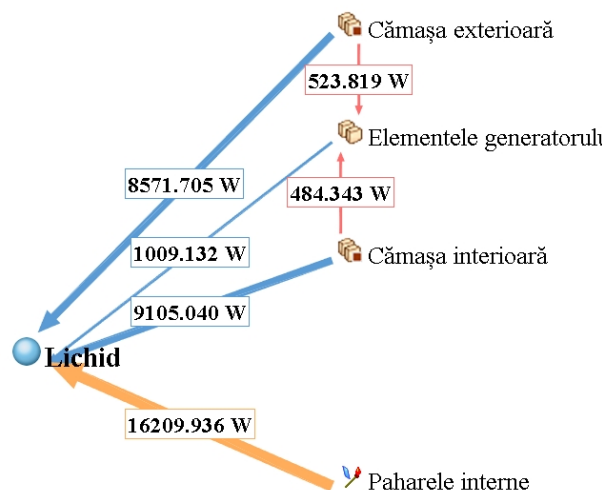


Figura A6.16. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie directă prin țeavă internă cu cămășile conectate în paralel, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

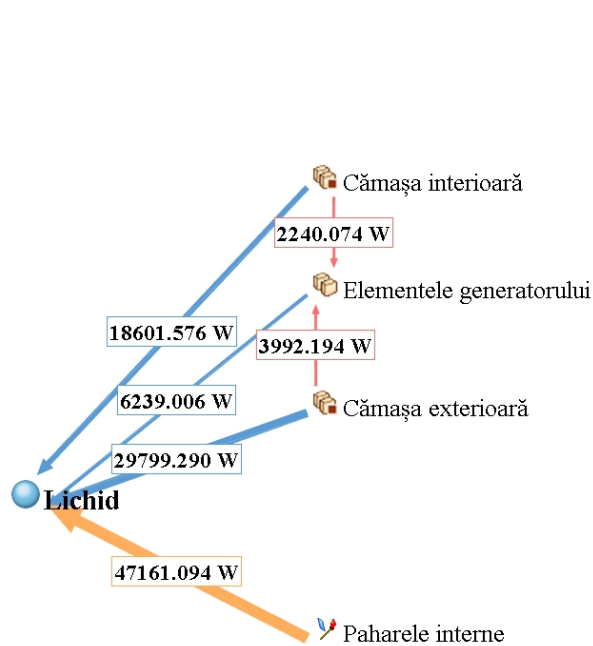


Figura A6.17. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în serie, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

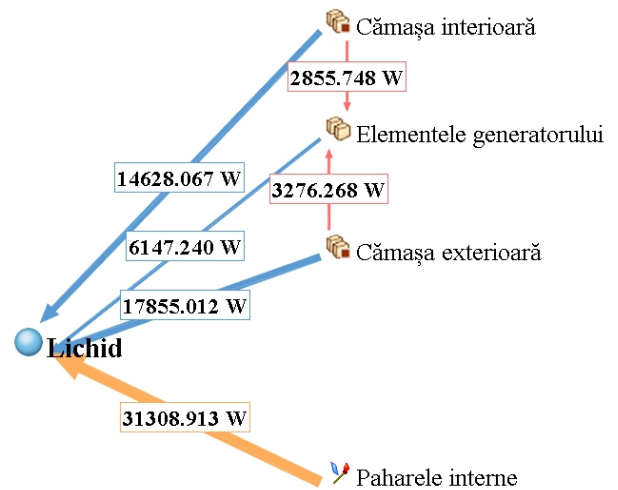


Figura A6.18. Fluxul termic prin termogeneratorul cu admisie direcționată și cămășile conectate în paralel, $T_0=80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Anexa 7. Mențiuni



REPUBLICA MOLDOVA

Agencia de Stat pentru
Proprietatea Intelectuală

**BREVET
DE INVENȚIE**

Nr. **4815**

eliberat în temeiul Legii nr. 50/2008 privind protecția invențiilor

Titlul: **Generator termic eolian cu curenți turbionari**

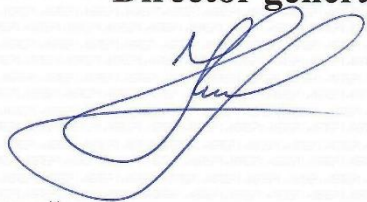
Titular: **UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI, MD**

Data depozit: **2020.08.26**

Descrierea invenției, revendicările și desenele constituie parte
integrantă a prezentului brevet de invenție



Director general



CHIȘINĂU



FORUMUL INVENTATORILOR ROMANI
ROMANIAN INVENTORS FORUM

IAȘI - ROMÂNIA



DIPLOMA



MEDALIA DE AUR
EUROINVENT

Octavian Mangos, Rodion Ciupercă, Ion Sobor

GENERATOR TERMIC EOLIAN CU CURENȚI TURBIONARI

Președinte,
Conf.dr.ing. Andrei Victor SANDU



The VI-th International Fair of Innovation and Creative
Education for Youth (ICE-USV)
Suceava, ROMANIA
July, 10 - 12, 2022



"Ștefan cel Mare"
University
of Suceava





Universitatea
Ștefan cel Mare
Suceava



PRO
BIOM



MINISTERUL EDUCAȚIEI

Nr. 1807.20/11.07.2022

Innovation and Creative Education Fair for Youth ICE-USV – VIth Edition

SPECIAL PRIZE

For the project:

GENERATOR TERMIC EOLIAN CU CURENȚI TURBIONARI

authors: MANGOS Octavian, CIUPERCĂ Rodion, SOBOR Ion

from: Universitatea Tehnică a Moldovei

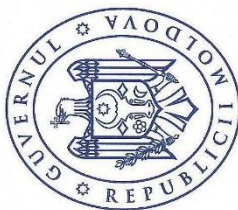
Committee Chairman,
prof. dr. Mihai DIMIAN

Suceava, July 2022

On behalf of Scientific Committee

prof. dr. ing. L. Dan MILICI





MINISTERUL ENERGIEI AL REPUBLICII MOLDOVA

DIPLOMĂ DE ONOARE

SE CONFERĂ

Domnului Octavian MANGOS

Lector universitar, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Pentru contribuție substanțială în dezvoltarea domeniului
energetic național, dedicație și înalt profesionalism,
precum și cu prilejul sărbătorii profesionale
"Ziua energeticianului"


Victor PARLICOV,
Ministrul Energiei

Chișinău, 2023



Certificate of Attendance

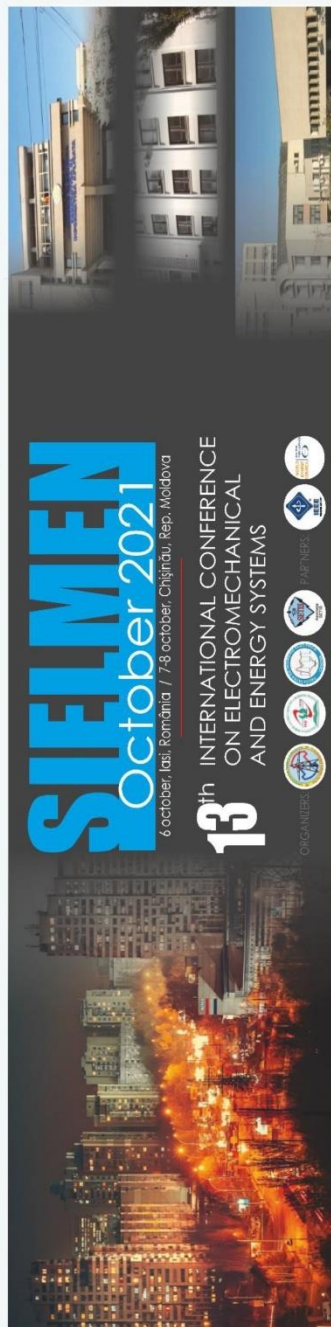
This is to certify that

Octavian Mangos – Technical University of Moldova, R. Moldova

has attended the **14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND ENERGY SYSTEMS (SIELMEN 2023)**, held in Chişinău Republic of Moldova, on October 12 - 13, 2023.

Prof. Mihaela Popescu, SIELMEN 2023 - Chair

**14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND ENERGY SYSTEMS
(SIELMEN 2023)**



Certificate of Participation

This is to certify that

Octavian Mangos

presented at SIELMEN 2021 the paper

„Study of the Circulation of Heat Transfer Fluid in the Permanent Magnets Thermogenerator”

Prof. Dorin Lucache, Ph.D.
Conference co-chair

Prof. Ilie Nucă, Ph.D.
Conference co-chair

Ministerul Educației, Culturii și Cercetării a Republicii Moldova



DIPLOMĂ

de mențiune

se decernează

MANGOS Octavian

pentru lucrarea

STUDIUL CARACTERISTICILOR EXPERIMENTALE ALE
COLECTOARELOR SOLARE TERMICE

prezentată în cadrul Conferinței tehnico-științifice a studenților,
masteranzilor și doctoranzilor

Chișinău,
26-29 martie 2019


prof. univ. dr. hab. Viorel BOSTAN,
Rector, Universitatea Tehnică a Moldovei



TECHNICAL SCIENTIFIC CONFERENCE
OF UNDERGRADUATE, MASTER AND PHD STUDENTS
23-25 March, 2021

Technical University of Moldova

2nd DEGREE CERTIFICATE

This certificate is presented to

MANGOS Octavian

in recognition of contributing with the outstanding paper entitled
EVALUAREA CONSUMULUI DE ENERGIE ÎN GOSPODĂRII
PENTRU ÎNCĂLZIREA APEI CALDE MENAJERE.



Prof. Viorel BUCUR
Rector of TUM
Chisinau, Republic of Moldova, 2021



TECHNICAL SCIENTIFIC CONFERENCE
OF UNDERGRADUATE, MASTER AND PHD STUDENTS
March 29-31, 2022

Technical University of Moldova

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

This certificate is presented to

Octavian MANGOS

for the successful participation in the Conference with the paper entitled
STUDIUL PRESIUNII ȘI DISTRIBUȚIEI FLUXULUI DE LICHID CALOPOTOR
ÎN TERMOGENERATORUL CU MAGNEȚI PERMANENȚI



Prof. Viorel BOSTAN
Rector of TUM

Chisinau, Republic of Moldova, 2022



POTENȚIALUL ENERGETIC EOLIAN AL REPUBLICII MOLDOVA



**Vasile RACHIER
Octavian MANGOS
Ion SOBOR
Andrei CHICIUC**

Chișinău 2023



FACULTATEA
ENERGETICĂ
ȘI INGINERIE ELECTRICĂ



2022

DIPLOMĂ

acordată pentru reușită deosebită la studii de doctorat în a.u. 2021/22
doctorandului Facultății Energetică și Inginerie Electrică

Octavian MANGOS



E E E
ENERGCOM



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.

Mangos Octavian

Semnătura

Data:

CV-ul AUTORULUI



Curriculum Vitae

MANGOS Octavian

INFORMAȚII PERSONALE

MANGOS Octavian



📍 str. Alexandru Plămădeală 52, or. Florești, MD - 5002, Republica Moldova
📍 str. 31 August 1989, nr. 78, bir. 2-121, or. Chișinău, MD-2012, Republica Moldova
📞 (+373) 68 112 150
✉ octavianmangos@gmail.com / octavian.mangos@ie.utm.md
💬 Facebook Messenger /octavian.mangos

Sexul: Masculin | Data nașterii: 03/09/1993 | Naționalitatea: MDA

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

Septembrie 2022 - Prezent

Lector universitar

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică

31 August 1989, 78, MD-2004, Chișinău, Republica Moldova

- organizarea activității didactice conform standardelor de stat în învățământ;
- formarea la studenți a deprinderilor profesionale, pregătirea acestora pentru aplicarea cunoștințelor acumulate în activitatea practică.

Educație și formare profesională, activitate didactică

Septembrie 2017 - 2022

Asistent universitar

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică

31 August 1989, 78, MD-2004, Chișinău, Republica Moldova

- organizarea activității didactice conform standardelor de stat în învățământ;
- formarea la studenți a deprinderilor profesionale, pregătirea acestora pentru aplicarea cunoștințelor acumulate în activitatea practică.

Educație și formare profesională, activitate didactică

Octombrie 2016 - 2019

Șef laborator / Inginer - coordonator

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică

31 August 1989, 78, MD-2004, Chișinău, Republica Moldova

- asigurarea efectuării lucrărilor practice în laboratoarele Departamentului Inginerie Electrică;
- responsabil materiale în cadrul Departamentului Inginerie Electrică;
- coordonarea activității personalului auxiliar.

Coordonare activitate non-didactică

Septembrie 2014 – Octombrie 2016

Profesor de specialitate

Colegiul Politehnic din mun. Bălți

Ivan Franco, 11, MD-3100, Bălți, Republica Moldova

- proiectarea activității-elemente de competență;
- realizarea activităților didactice curriculare;
- evaluarea rezultatelor învățării.

Activitate didactică

Septembrie 2013 – Octombrie 2016

Laborant

Colegiul Politehnic din mun. Bălți

Ivan Franco, 11, MD-3100, Bălți, Republica Moldova

- proiectarea activității;
- realizarea activităților didactice curriculare;
- realizarea activităților didactice extra-curriculare.

Personal didactic auxiliar

EDUCAȚIE ȘI FORMARE

2019 - Prezent	Doctorand Tehnologii de conversie a energiei și resurse regenerabile Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Școala doctorală Știința Calculatoarelor, Electronică și Energetică Tema de cercetare: Contribuții la valorificarea potențialului eolian de producere a energiei electrice și termice - Conversia energiei eoliene în energie electrică sau termică - Studii privind perspectivele utilizării energiei termice eoliene în sectorul rezidențial - Achiziția, prelucrarea și interpretarea datelor experimentale	Studii superioare de doctorat, nivelul 8/ISCED/ 8 EQF
2017 - 2019	Magistru Tehnici avansate în mașini și acționări electrice Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, România Tema de cercetare: Conversia termică a energiei solare: studii experimentale - Traductoare specializate în acționări electrice - Tehnici CAD în inginerie electrică - Dispozitive inteligente utilizate în electronica de putere - Modelarea și comanda roboților	Studii superioare de master, nivelul 7/ISCED/ 7 EQF
2017 - 2019	Magistru Inginerie electrică Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică Tema de cercetare: Conversia termică a energiei solare: studii experimentale - Ingineria energiei regenerabile - Acționări electrice avansate - Convertoare electromecanice avansate - Sisteme distribuite de măsurare	Studii superioare de licență, nivelul 6/ISCED/ 6 EQF
2012 - 2017	Inginer licențiat Inginerie și managementul calității Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică Tema proiectului de licență: Monitorizarea și eficientizarea consumului de energie electrică în căminul nr. 2 al UTM - Surse regenerabile de energie - Managementul calității - Măsurări electrice și electronice - Senzori și traductoare	Studii superioare de licență, nivelul 6/ISCED/ 6 EQF
2009 - 2013	Tehnician Metrologie, standarde, control și certificarea producției Colegiul Politehnic din mun. Bălți - Metrologia aplicată și mijloace de măsurare - Etalonarea și verificarea mijloacelor de măsurare - Proiectarea în AutoCAD - Toleranțe și măsurări tehnice	Studii medii de specialitate, nivelul 4/ISCED/ 4 EQF

COMPETENȚE PERSONALE

Limba(i) maternă(e)
Alte limbi străine cunoscute

Franceză

Engleză

Rusă

Română

INTELEGERE		VORBIRE		SCRIERE
Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral	
A2	B1	A2	A2	B1
B1	B1	B1	B1	B1
C2	C2	C2	C2	C1

Niveluri: A1/A2: Utilizator elementar - B1/B2: Utilizator independent - C1/C2: Utilizator experimentat
Cadrul european comun de referință pentru limbi străine

Competență digitală

AUTOEVALUARE				
Procesarea informației	Comunicare	Creare de conținut	Securitate	Rezolvarea de probleme
Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat	Utilizator experimentat

Niveluri: Utilizator elementar - Utilizator independent - Utilizator experimentat
Competențele digitale - Grilă de auto-evaluare

INFORMATII SUPLIMENTARE

Publicații

- Ion SOBOR, **Octavian MANGOS**. The Present State of the e-RES Sector in Moldova Republic. CD Proceedings of the 12-th International Conference on Electromechanical and Energy Systems SIELMEN-2019. 10-11 October 2019 Craiova-Iași-Chișinău, ISBN 978-9975-108-99-7, pp. 638-641, DOI: 10.1109/SIELMEN.2019.8905902;
- Ion SOBOR, Vasile RACHIER, **Octavian MANGOS**. Calculul energiei electrice produse de o turbină eoliană. Conferința Internațională Zilele Academiei de Științe Tehnice din România 2019 Ediția a XIV-a, 17 – 18 octombrie 2019 Chișinău, ISSN 2066-6586, pp. 1-5;
- **Octavian MANGOS**. Studiul caracteristicilor experimentale ale colectoarelor solare termice. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 26-29 martie 2019/ Universitatea Tehnică a Moldovei - Chișinău: Tehnica-UTM, 2019 – ISBN 978-9975-45-588-6, Vol. I, pp.138-142;
- **Octavian MANGOS**. Perspectiva utilizării energiei electrice și termice eoliene la nivel național. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, aprilie 2020/ Universitatea Tehnică a Moldovei - Chișinău: Tehnica-UTM, 2020 – ISBN 978-9975-45-633-3, Vol. I, pp.53-56;
- **Cerere de brevet nr. 6706 din 26.08.2020**: Generator termic eolian cu curenți turbionari. Autori: **Octavian MANGOS**, Rodion CIUPERCĂ, Ion SOBOR;
- **Octavian MANGOS**. Evaluarea consumului de energie în gospodăria pentru încălzirea apei calde menajere. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 23 – 25 martie 2021/ Universitatea Tehnică a Moldovei - Chișinău: Tehnica-UTM, 2021 – ISBN 978-9975-45-700-2, Vol. I, pp. 146-149;
- **Octavian MANGOS**. Study of the Circulation of Heat Transfer Fluid in the Permanent Magnets Thermogenerator. Proceedings of the 13-th International Conference on Electromechanical and Energy Systems SIELMEN-2021. 7-8 October 2021 Iași-Chișinău, ISBN 978-1-6654-0078-7, pp. 538-542, DOI: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600357;
- **Octavian MANGOS**, Vasile RACHIER, Ion SOBOR, Vadim CAZAC. Regarding the characteristics of the wind in northern region districts of the Republic of Moldova. Journal of Engineering Science. TUM. ISSN 2587-3474. e-ISSN 2587-3482. CZU 551.55:504.3(478). Vol. XXIX, no. 1 (2022), pp. 121 – 129;
- **Octavian MANGOS**. Studiul presiunii și distribuției fluxului de lichid caldopoter în termogeneratorul cu magneti permanenți. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 29 – 31 martie 2022/ Universitatea Tehnică a Moldovei - Chișinău: Tehnica-UTM, 2022 – ISBN 978-9975-45-829-0, Vol. I, pp. 84 – 88;
- **Octavian MANGOS**, Ion SOBOR, Vadim CAZAC, Marcel BURDUNIUC. Study of the pressure and distribution of heat transfer fluid in the thermogenerator with permanent magnets and eddy currents. Conferința Națională de Acționări Electrice CNAE-2022. 12-13 mai 2022, Timișoara. ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. ISSN: 1584 - 2665 [print]; ISSN: 1584 - 2673 [online]. Tome XX [2022] Fascicule 3 [2022], pp. 37 – 40;

- **MANGOS Octavian**, CIUPERCĂ Rodion, SOBOR Ion. Generator termic eolian cu curenți turbionari. Book of abstracts of the Vllth International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV), July, 10 – 12, 2022, Suceava, Romania. ISSN 2821 – 7543, ISSN-L 2821 – 7543. No. 6/2022, pp. 27 – 29;
 - Marcel BURDUNIUC, Ilie NUCA, Vadim CAZAC, Tudor AMBROS, **Octavian MANGOS**. Magnetic Field Analysis in Asynchronous Motors with Six-Phase Windings. Conferința Națională de Acționări Electrice CNAE-2022. 12-13 mai 2022, Timișoara. ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. ISSN: 1584 - 2665 [print]; ISSN: 1584 - 2673 [online]. Tome XX [2022] Fascicule 3 [2022], pp. 55 – 60;
 - **MANGOS Octavian**, CIUPERCĂ Rodion, SOBOR Ion. Generator termic eolian cu curenți turbionari. Brevet de invenție 4815 (13) B1, F03D 9/00; H05B 6/02; F24H 1/10. Universitatea Tehnică a Moldovei. Nr. depozit A2020 0068. Data depozit 26.08.2020. Publicat 31.07.2022;
 - **MANGOS Octavian**. Analysis of heat flows in the eddy current wind generator. The 3th International Conference On Electrical Engineering And Systems (ICEES). 21 – 23 September 2022, Reșița, Romania. ISSN-v online: 2734-7680, ISSN-L: 2734-7680 VOL.67, No.1, 2022. pp. 85-92;
 - **Octavian MANGOS**, Vasile RACHIER, Ion SOBOR, Vadim CAZAC. Wind energy potential and wind characteristics for the districts of the central development region of the Republic of Moldova. Journal of Social Sciences. TUM. ISSN 2587-3490. E-ISSN 2587-3504. Vol. VI, no. 4 (2022), pp. 100 – 118;
 - Vasile RACHIER, Ion SOBOR, **Octavian MANGOS**. Estimarea teoretică a energiei electrice produse de o Centrală Electrică Eoliană și validarea rezultatelor. Revista ENERGETICA. ISSN: 1453-2360. Volumul 71, nr. 5 / 2023, pp.338-347;
 - Vasile RACHIER, **Octavian MANGOS**, Ion SOBOR, "The Southern Development Region of the Republic of Moldova in Context of the Wind Energy Potential". The 14-th International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 12-13 October 2023, Craiova, Romania, pp. 1-6, DOI: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290790;
 - **Octavian MANGOS**, Vasile RACHIER, Ion SOBOR, "Determination of Wind Characteristics for Different Heights Based on Digital Maps of the Wind Potential of the Republic of Moldova". The 14-th International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), 12-13 October 2023, Craiova, Romania, pp. 1-4, DOI: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290830;
 - Vasile RACHIER, **Octavian MANGOS**, Ion SOBOR, Andrei CHICIUC. „Potențialul Energetic Eolian al Republicii Moldova”, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică. – Chișinău: S.n., 2023 (Bons Offices). – 275 p. ISBN 978-5-36241-124-4.
- Proiecte**
- 20.80009.7007.10 PS „Studiul potențialului energetic eolian și solar al Republicii Moldova și elaborarea sistemelor de conversie pentru consumatori dispersați”, cercetător științific, 2020-2024, program finanțat de stat – ANDC, studiul potențialului eolian al Republicii Moldova;
 - 20.80009.5007.29 PS „Sisteme integrate autohtone de tracțiune electrică pentru vehicule urbane de pasageri”, cercetător științific stagiar, 2020-2024, program finanțat de stat – ANDC, contribuții la micșorarea emisiilor de GES;
- Conferințe**
- „International Conference on Electromechanical and Energy Systems” SIELMEN-2019. 10-11 Octombrie 2019, participarea cu articol;
 - Conferința Internațională Zilele Academiei de Științe Tehnice din România 2019 Ediția a XIV-a, octombrie 2019 Chișinău, participarea cu articol;
 - „Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor”, 26 - 29 martie 2019, participarea cu articol;
 - „Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor”, aprilie 2020, participarea cu articol;
 - „Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor”, 23 – 25 martie 2021, participarea cu articol;
 - „International Conference on Electromechanical and Energy Systems” SIELMEN-2021. 7-8 Octombrie 2021, participarea cu articol;
 - „Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor”, 29 - 31 martie 2022, participarea cu articol;
 - „Conferința Națională de Acționări Electrice” (CNAE), ediția XX, Timișoara | 12-13 Mai 2022, participarea cu articol;
 - International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV), July, 10 – 12, 2022, Suceava, Romania, participarea la salonul de invenție și inovație;
 - International Conference On Electrical Engineering And Systems (ICEES). 21 – 23 September 2022, Reșița, Romania, participarea cu articol;
 - International Conference on Electromechanical and Energy Systems” SIELMEN-2023. 12-13 Octombrie 2023, participarea cu articol.