



**UNIVERSITATEA MARITIMĂ DIN CONSTANȚA
ȘCOALA DOCTORALĂ INGINERIE MECANICĂ ȘI MECATRONICĂ**

**Rezumat
Teză de doctorat**

**Cercetări privind proiectarea și operarea navelor container în
vederea îmbunătățirii eficienței energetice**

Doctorand: Cpt. Ing. Mihail-Vlad VASILESCU

Conducător științific: Prof. Univ. Dr. Ing. Dumitru DINU

**Constanța
2020**

Cuprinsul Rezumatului tezei de doctorat

I.	Cuprinsul tezei de doctorat	5
II.	Gratitudine	9
III.	Introducere	11
IV.	Obiectivele lucrării	15
V.	Prezentarea sintetică a capitolelor și anexelor tezei de doctorat	17
VI.	Bibliografie	47

I. Cuprinsul tezei de doctorat

1. Introducere	7
1.1 Importanța, oportunitatea și obiectivele lucrării	9
1.1.1. Importanța lucrării	9
1.1.2. Oportunitatea lucrării	10
1.1.3. Obiectivele lucrării	13
1.2 Structura tezei	14
1.3 Gratitudine	16
2. Poluarea atmosferică produsă de transportul maritim	17
2.1 Categorii de emisii de gaze poluante	17
2.2 Categorii de gaze cu efect de seră	18
2.3 Impactul gazelor poluante asupra mediului	19
2.4 Impactul gazelor cu efect de seră asupra mediului	19
2.5 Emisiile de noxe în porturi	21
2.6 Efectul gazelor poluante și a celor de seră asupra mediului	23
2.6.1 Durata de viață a navelor	27
2.6.2 Traficul de nave	27
2.6.3 Monitorizarea emisiilor	28
2.7 Metode de reducere a poluării mediului	29
3. Metode neconvenționale pentru generarea energiei electrice cu posibilă aplicabilitate pe nave	31
3.1 Introducere	31
3.2 Sisteme de captare a energiei eoliene	31
3.2.1 Introducere	31
3.2.2 Principiul de captare al energiei eoliene	34
3.2.3 Tipuri de sisteme de captare a energiei eoliene	37
3.2.4 Concluzii	46
3.3 Generator solar și lunar de energie	47
3.3.1 Introducere	47
3.3.2 Schema generatorului solar și lunar de energie	48
3.3.3 Bilanțul energetic al generatorului solar și lunar de energie	48
3.3.4 Comparatii între diferite tipuri de sisteme de captare și focalizare a celulelor fotovoltaice	49
3.3.5 Concluzii	51
3.4 Metode neconvenționale folosite în propulsia navală	52
3.4.1 Considerații generale privind metodele neconvenționale de propulsie	52
3.4.2 Principalele metode și sisteme de propulsie neconvenționale	53
3.4.3 Concluzii	60
4. Componentele unui sistem hibrid utilizat pentru generarea de energie, folosind surse neconvenționale	63
4.1 Turbina eolină verticală	63

4.1.1	Introducere	63
4.1.2	Configurația sistemului	64
4.1.3	Bilanțul energetic al sistemului, în urma aplicării diverselor condiții	65
4.1.4	Concluzii	68
4.2	Balonul Flettner	71
4.2.1	Introducere	71
4.2.2	Componentele sistemului	71
4.2.3	Principiul de funcționare	76
4.2.4	Bilanțul energetic	77
4.2.5	Concluzii	77
4.3	Supercondensatorii de stocare	77
4.3.1	Introducere	77
4.3.2	Caracteristicile modulelor cu supercondensatori	78
4.3.3	Concluzii	78
4.4	Sistemul de propulsie cu un motor diesel și unul electric	78
4.4.1	Introducere	78
4.4.2	Motorul diesel	80
4.4.3	Motorul electric	82
4.4.4	Concluzii	83
5.	Bilanțul energetic al sistemului de energie hibrid și schema de legare pentru o navă tip container	85
5.1	Caracteristici tehnice ale navei port-container	85
5.2	Elementele sistemului de energie hibrid, ce utilizează energia neconvențională	85
5.2.1	Amplasarea balonului Flettner pe o nava tip port-container ca sursă alternativă de curent	85
5.2.2	Amplasarea a patru turbine eoline verticale de mari dimensiuni pe o navă tip port-container ca sursă alternativă de curent	90
5.3	Bilanțul energetic al sistemelor generatoare de energie electrică, provenite din surse neconvenționale	93
5.4	Conectarea surselor de energie convenționale și neconvenționale la bara principală de curent a navei	94
5.5	Sarcina electrică a consumatorilor navei	95
6.	Efectul utilizării sistemelor neconvenționale de producere a energiei asupra siguranței navigației	99
6.1	Introducere	99
6.2	Manevrabilitatea	99
6.2.1	Influența vântului de suprafață asupra navei	99
6.2.2	Influența balonului Flettner cu helium asupra manevrabilității și stabilității de drum a navei	100
6.2.3	Influența turbinelor eoline verticale de mari dimensiuni instalate pe puntea navei port-container asupra manevrabilității și stabilității de drum a navei	102
6.3	Stabilitatea	104

6.3.1	Criteriile de stabilitate conform Codului Internațional de Stabilitate	104
6.3.2	Caracteristicile constructive inițiale ale navei	107
6.3.3	Calculul stabilității navei cu balonului Flettner cu helium cuplat și cu cele 4 turbine eoline moderne instalate pe puntea navei	108
6.4	Concluzii	117
7.	Utilizarea programului Ansys - Fluent în vederea determinării forțelor din balonul Flettner și din turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni	119
7.1	Geometria și discretizarea turbinelor eoliene verticale de mari dimensiuni și a balonului Flettner	120
7.2	Reprezentarea și determinarea pe cale grafică a diverșilor parametri ce caracterizează turbulența	121
7.3	Concluzii	137
8.	Considerente privind implementarea și folosirea unui sistem neconvențional de energie pe ruta Busan (Corea de Sud) Tacoma (SUA)	139
8.1	Introducere	139
8.2	Ruta Busan - Tacoma	139
8.2.1	Calcul economic necesar efectuării rutei Busan–Tacoma din punct de vedere al consumului de combustibil, utilizând surse de energie convenționale	140
8.2.2	Situația meteorologică pe ruta Busan – Tacoma	140
8.2.3	Calculul costurilor de implementare al sistemului hibrid	140
8.2.4	Calculul emisiilor de CO_2 și SO_x pe ruta Busan – Tacoma	141
8.2.5	Calculul emisiilor totale de NO_x pe ruta Busan – Tacoma	144
8.3	Concluzii	145
9.	Concluzii și contribuții personale	147
9.1	Concluzii	147
9.2	Contribuții personale	148
10.	 direcții de continuare a cercetărilor	155
	Bibliografie	157
	Anexe:	
	Anexa I: Schema electrică de conectare a generatoarelor convenționale și neconvenționale;	163
	Anexa II: Surse alternative și convenționale generatoare de energie și sarcini	173
	Anexa III: Emisii	181
	Anexa IV: Cazuri studiate în Ansys-Fluent	183
	IV.1 Balonul Flettner	183
	IV.2 Turbina eoliană verticală de mari dimensiuni	204

II. Gratiitudine

Doresc să exprim întreaga recunoștință și gratitudine conducătorului științific, Prof. Univ. Dr. Ing. Dumitru DINU, care m-a îndrumat și m-a sfătuit pe întreaga perioadă a elaborării prezentei lucrări, dând dovadă de un înalt grad de profesionalism și înțelegere.

De asemenea îmi exprim recunoștința față de doamna Prof. Univ. Dr. Ing. Mariana PANAITESCU, din cadrul Universității Maritime din Constanța, pentru sprijinul acordat în realizarea lucrării și a publicării articolelor în diverse reviste.

Îmi exprim recunoștința față de domnul Șef de lucrări Dr. Ing. Andrei – Alexandru SCUPI, din cadrul Universității Maritime din Constanța, pentru informațiile acordate.

Mulțumesc totodată cadrelor didactice din cadrul Universității Maritime din Constanța pentru observațiile pertinente și recomandările făcute pe parcursul elaborării tezei, la susținerea referatelor de cercetare științifică cât și în timpul susținerii ei în Catedra de Inginerie Mecanică.

Nu în ultimul rând îi mulțumesc domnului Șef de lucrări Dr. Ing. Voicu Nicolae GROȘAN de la Catedra de Navigație și Transport Maritim din cadrul Universității Maritime din Constanța pentru suportul acordat și în special susținerea morală pe durata elaborării prezentei teze de doctorat.

Și bineînțeles familiei care a dat dovadă de multă înțelegere în această perioadă în care timpul liber petrecut alături de ei a fost limitat.

III. Introducere

Lucrarea de față se încadrează într-un sistem mai larg privind cercetările referitoare la poluarea atmosferică și la metodele de reducere ale emisiilor poluante produse de motoarele navale. În ultimii 30 de ani, gradul de poluare a fost în continuă creștere și structura chimică a atmosferei s-a schimbat datorită cantităților mari de emisii poluante precum NO_x , SO_x , CO_2 și alte particule rezultate din arderi, care duc la distrugerea stratului de ozon, schimbări climatice, efectul de seră sau ploii acide.

Motoarele navale au crescut în capacitate odată cu cererea tot mai mare de mărfuri transportate.

În condițiile în care prețul petrolului este în continuă creștere, atmosfera se degradează datorită emisiilor de gaze evacuate și gradul general de poluare al Terrei crește pe zi ce trece, astfel soluțiile pentru energiile neconvenționale au început să trezească interesul părților implicate în transportul maritim.

Sistemele de propulsie neconvenționale, care folosesc energia eoliană sau energia solară, au revenit în actualitate după ce o lungă perioadă de timp au fost ignorate.

Pe parcursul lucrării sunt tratate o serie de aspecte privind propulsia clasică, cu surse de energie provenind din arderea combustibililor fosili, cu motoare navale cu ardere internă, contribuția acestora la poluarea atmosferică datorită gazelor de evacuare.

După această prezentare se face referire la sistemele neconvenționale generatoare de energie electrică, acele sisteme care utilizează alte surse decât combustibilii fosili și m-am oprit asupra sistemelor generatoare de electricitate cu ajutorul energiei eoliene, mai exact balonului Flettner dar și a unor turbine eoliene verticale de mari dimensiuni.

Pentru a avea o imagine cât mai apropiată de realitate, în cadrul tezei voi studia următoarele aspecte:

- Stadiul actual al cunoașterii în domeniul captării energiilor neconvenționale;
- Contextul strategic internațional privind interesul comunitar asupra captării energiilor neconvenționale;
- Cercetări privind energiile neconvenționale ce pot fi captate și utilizate eficient la bordul navelor maritime de transport mărfuri;
- Stabilirea energiilor potrivite pentru a fi captate la bordul navelor de transport maritime tip container;
- Elaborarea de soluții tehnice și efectuarea de încercări experimentale pentru punerea în evidență a eficacității acestora și respectiv a avantajelor aduse instalației generatoare de energie electrică a navelor maritime tip container;
- Instalarea și cuplarea balonului Flettner și a turbinelor eoliene de mari dimensiuni la bara principală de curent a navei;
- Studiul comparativ de umplere al balonului Flettner cu helium sau hidrogen, avantaje și dezavantaje;
- Calculul forțelor ce apar în balonul Flettner, respectiv în turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni;
- Calculul minim al volumului de gaz necesar ținerii balonului în stare de plutire;
- Calculul parâmelor de ancoraj a balonului Flettner de navă;
- Calculul caracteristicilor cablurilor necesare transmiterii curentului electric generat de balonul Flettner;
- Influența balonului Flettner și a turbinelor eoliene verticale de mari dimensiuni asupra manevrabilității și stabilității de drum a navei;
- Reducerea consumului de combustibil utilizând sistemul hibrid;
- Reducerea poluării mediului;
- Meteorologia aeronautică;
- Costurile de instalare a sistemului hibrid.

Pe parcursul tezei mi-am canalizat atenția preponderent pe captarea și utilizarea energiei eoliene, care este mult mai potrivită pentru modernizarea navelor existente, echipamentele utilizate fiind fiabile, ieftine și nu necesită instalarea de noi mașini de propulsie, dar în viitor, pe baza accesibilității și scăderii prețului noilor tehnologii, avem convingerea că este posibil a fi utilizate eficient și alte tipuri de energii neconvenționale.

Soluția de captare a energiei eoliene tratată și studiată în cuprinsul tezei de doctorat deschide calea pentru o combinație hibridă a instalației de propulsie, după caz, în funcție de viteza și direcția vântului, timpul destinat voiajului pe o rută prestabilită, siguranța navigației, având ca scop promovarea utilizării energiei eoliene, cu reducerea semnificativă a costurilor de transport prin economisirea combustibilului și a lubrifianților. Astfel, utilizarea energiei eoliene, ca surplus energetic global și descărcarea de putere a unei instalații de propulsie clasice, duce la o serie de avantaje certe, după cum vom demonstra în cele ce urmează, deschizând astfel calea unor cercetări în domeniul *Inginerie navală și navigație*:

- Reducerea poluării ca urmare a înlocuirii energiei convenționale, produsă în mod clasic, cu energie neconvențională captată din mediul marin, energie verde.

Constructorii de nave sunt conștienți de faptul că motoarele navelor emit gaze de ardere nocive și anumiți compuși chimici periculoși, pentru sănătatea umană, cât și pentru mediul înconjurător.

În acest sens, există o preocupare firească și continuă de reducere a poluării marine și de implementare a cerințelor stipulate prin Anexa VI a *Convenției Internaționale de prevenire a poluării mediului marin - MARPOL*;

- Energiile neconvenționale captate din mediul marin exterior navei, solară sau eoliană, duc la salvarea unei părți din combustibilii fosili și lubrifianți consumați la bordul navelor. Indirect astfel se pot păstra și rezervele de combustibil fosil ale Terrei.

- Stimularea cercetării și dezvoltarea tehnologiilor destinate captării energiilor regenerabile, verzi, ecologice, atât pentru mare, cât și pentru uscat.

Se fac eforturi continue pentru reducerea costurilor, zgomotului și poluării, creând astfel o piață dinamică pentru surse alternative neconvenționale de alimentare cu energie electrică, verde, ecologică, făcând astfel un mediu mai curat, mai ecologic.

- Siguranță crescută în exploatare prin existența a două sisteme generatoare de energie electrică relativ independente, unul în raport cu celălalt.

Existența la bord a două sisteme, cel reactiv, clasic și cel activ, provenind din energia eoliană, dă posibilitatea ca în condițiile defectării unuia dintre ele, să fie folosit celălalt.

De asemenea, existența celor două sisteme independente generatoare de energie electrică dă posibilitatea executării unor lucrări de revizii și reparații fără ca nava să staționeze sau stea în derivă pe timpul acestora;

- Reducerea poluării, zgomotului și vibrațiilor produse de motorul diesel.

Prin reducerea sau diminuarea timpului de folosire a mașinilor principale clasice existente la bord, vor fi reduse semnificativ și nivelurile de zgomot și de vibrații, cu beneficii certe asupra stării de confort a echipajului și a mediului înconjurător. Astfel crește și gradul de fiabilitate a surselor de energie clasice, prin utilizarea mai restrânsă a generatoarelor clasice și implicit obținerea unor costuri de întreținere mai reduse.

Există avantaje certe, ca urmare a dublării fiabilității surselor de energie, prin reducerea perioadei de timp necesară reparațiilor și reviziilor executate la bord.

- Respectarea cu ușurință a cerințelor normelor legislative internaționale, introduse în ultima perioadă, referitoare la cantitatea emisiilor de gaze de ardere exhaustate în atmosferă, în acord cu obiectivele strategice energetice formulate la nivel mondial.

Deoarece domeniul de aplicabilitate al energiei vântului este foarte vast, în prezenta lucrare m-am oprit la efectul pe care balonul Flettner ridicat la o anumită înălțime, legat de nava tip container și turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni instalate pe puntea navei tip container îl au asupra manevrabilității și stabilității de drum. Sistemul l-am numit *hibrid*, deoarece, se poate trece de la o sursă generatoare de energie convențională la una generatoare

de energie neconvențională, verde. În lucrare a fost studiat, efectul care îl are sistemul hibrid asupra capacității de manevră a navei, în special asupra capacității navei de a-și menține drumul ordonat dar și economia de combustibil și reducerea poluării mediului.

Consider că lucrarea este importantă prin faptul că abordează problematica reducerii poluării mediului, prin utilizarea unui sistem hibrid generator de energie electrică, utilizând surse convenționale (combustibili fosili) și neconvenționale (energia eoliană).

IV. Obiectivele lucrării

În prezenta lucrare mi-am propus pentru studiu șapte obiective principale.

- Posibilitatea navigației cu ajutorul surselor de energie neconvenționale. Stabilirea energiilor potrivite, necesare pentru a fi captate la bordul navelor de transport maritim tip port-container.
- Formarea sistemului hibrid realizat prin conectarea surselor neconvenționale de energie (balonul Flettner și turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni) și a surselor de energie convenționale, la bara principală de curent a navei. Studiul alegerii gazului ideal pentru umplerea balonului Flettner.
- Calculul forțelor ce apar în balonul Flettner, respectiv a turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni și calculul minim al volumului de gaz necesar ținerii balonului în stare de plutire.
- Ancorarea balonului Flettner de navă și alegerea tipului de cabluri necesare transmiterii curentului electric de la balon către navă.
- Modul în care balonul Flettner și turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni instalate pe puntea navei, influențează stabilitatea și manevrabilitatea de drum a navei, asietă și bandarea. Influența forței ascensionale, exercitată de balonul Flettner, asupra navei și influența forțelor noi apărute pe puntea navei în urma amplasării turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni.
- Calculul costurilor legate de instalarea sistemului hibrid, timpul de atenuare al investiției, reducerea consumului de combustibil și reducerea poluării mediului pe o rută stabilită.
- Utilizarea softului CFD pentru determinarea distribuției vitezei și a presiunii din jurul balonului Flettner și a turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni.

Balonul Flettner are un profil aerodinamic, cu două stabilizatoare, cu rol de păstrare a poziției acestuia în aer. El este poziționat într-un curent de aer la o anumită altitudine, la care direcția și viteza vântului sunt aproximativ constante. Balonul rămâne într-o poziție fixă față de navă de care este atașat, indiferent de unghiurile diferite din care bate vântul dar și de direcția de mișcare a navei. În tot acest timp el va genera curent electric. Cu cât vântul va fi mai puternic, balonul se va roti mai rapid și va genera mai multă energie electrică. În cadrul lucrării am studiat cât curent poate genera balonul Flettner la diverse viteze ale vântului, pe diverse altitudini.

În urma prelucrării rezultatelor obținute am concluzionat că cele șapte obiective propuse au fost realizate și lucrarea de față poate constitui un punct de plecare în vederea continuării cercetărilor privind utilizarea energiei eoliene pentru propulsia navelor maritime comerciale.

V. Prezentarea sintetică a capitolelor și anexelor tezei de doctorat

Teza a fost fundamentată pe baza a zece capitole, bibliografie și anexe.

Capitolul 1 reprezintă o introducere explicativă în care sunt cuprinse argumentarea temei prin explicarea importanței acestei lucrări, oportunitatea și obiectivele tezei.

El cuprinde și un subcapitol, numit *Gratitudine*, în care îmi exprim mulțumirile pentru toate cadrele didactice din cadrul Universității Maritime din Constanța, care m-au ajutat să finalizez această lucrare și care au fost alături de mine necondiționat pe tot parcursul cercetărilor.

Capitolul 2 trage un semnal de alarmă asupra poluării atmosferice produsă de transportul maritim. Aici sunt descrise categoriile de gaze poluante și gaze cu efect de seră produse de nave și impactul lor asupra mediului, în lume și în Uniunea Europeană. Totodată a fost realizat și un studiu asupra emisiilor de noxe cauzate de nave în porturi.

Categorii de emisii de gaze poluante:

- Emisiile de particule în suspensie PM ;
- Emisiile de oxizi de sulf SO_x ;
- Emisiile de oxizi de azot NO_x .

Categorii de gaze cu efect de seră:

- Emisiile de dioxid de carbon CO_2 ;
- Emisiile de metan CH_4 ;

Impactul gazelor poluante asupra mediului:

- SO_x are atât impact local cât și regional. Sunt cunoscuți ca precursori pentru formarea particulelor în suspensie.
- SO_2 contribuie la depunerea de acid, care afectează calitatea solurilor și a apei.
- NO_x reacționează cu amoniacul pentru a forma vapori de acid azotic și particule care pot pătrunde adânc în țesutul pulmonar, deteriorându-l, provocând moarte prematură în cazuri extreme. Din reacția cu compuși organici volatili, în prezența luminii solare, ozonul poate provoca efecte adverse, cum ar fi deteriorarea țesutului pulmonar și reducerea funcției pulmonare. Ozonul poate fi transportat de vânt și poate avea impacturi negative asupra sănătății umane, departe de locația surselor care l-au produs.

Impactul gazelor cu efect de seră asupra mediului:

- CO_2 - rezultat din procesele de ardere în care are loc oxidarea carbonului. Dioxidul de carbon și apă sunt rezultatele de arderea completă a combustibililor fosili unde moleculele de carbon suferă un proces de oxidare.
- CO_2 - creșterea acestuia în atmosferă contribuie la dezvoltarea gazelor cu efect de seră, ceea ce duce la schimbări climatice radicale, majoritatea cu efect direct asupra creșterii temperaturii globale.
- CH_4 este un alt gaz cu efect de seră. El are aceleași efecte ca cele ale CO_2 , dar cu un potențial impact negativ de 25 de ori mai mare decât CO_2 în următorii 100 de ani.

Emisiile de CO_2 produse de transportul maritim reprezintă o cincime din emisiile de transport rutier. Emisiile de NO_x și de MP sunt aproape la egalitate, iar emisiile de SO_x din transportul maritim sunt substanțial mai mari decât cele ale transportului rutier cu un factor de 1,6 până la 2,7.

Transportul maritim produce aproximativ de 9,2 ori mai multe emisii de NO_x , de aproximativ 80 de ori mai multe emisii de SO_x și aproximativ de 1200 de ori mai multe particule decât aviația, datorită conținutului ridicat de sulf din combustibilul naval.

Emisiile au crescut într-un ritm alarmant de mare în ultimele decenii și se așteaptă să crească și în viitor.

Organizația Maritimă Internațională - IMO preconizează o creștere a emisiilor de CO_2 de două trei ori mai mare până în 2050.

Majoritatea acestor emisii au loc pe mare, dar cea mai vizibilă parte a lor se concentrează în jurul zonelor portuare și a orașelor-port.

Aici se poate vedea impactul direct al emisiilor de CO_2 , SO_x , NO_x asupra sănătății, bronșite, probleme respiratorii, astm, nașteri premature și altele. În unele cazuri emisiile de CO_2 , SO_x , NO_x au provocat moartea prematură.

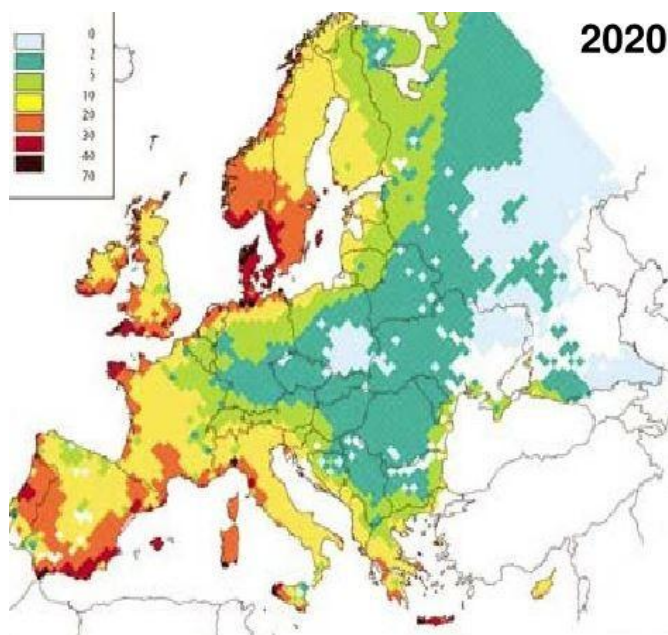


Figura R V.1: Depozitele de sulf datorate industriei maritime în anul 2020 în UE

În acest capitol s-a realizat și o fundamentare legislativă a actualității și necesității cercetării bazată pe contextul actual al strategiilor naționale și internaționale în vigoare, referitoare la captarea și utilizarea energiilor neconvenționale pentru prevenirea poluării mediului și reducerea consumurilor specifice de combustibil fosil.

Este de remarcat, de asemenea, contextul și interesul organizațiilor la nivel mondial și al marilor puteri, în ceea ce privește creșterea ponderii energiilor neconvenționale în raport cu energiile provenite din combustibili fosili, clasice.

În finalul capitolului sunt prezentate câteva metode de reducere a poluării mediului:

- Surse alternative de combustibil;
- Surse de energie alternative, neconvenționale, nepoluante:
 - Utilizarea energiei eoliene;
 - Utilizarea energiei solare;
- Măsurile operaționale:
 - Menținerea navei făcută la timp, conform constructorului;
 - Planificarea, executarea și monitorizarea voiajului, realizate corect, pe drumul cel mai scurt, evitând zonele cu condiții meteorologice nefavorabile;
 - Optimizarea pescajelor și a asietei navei.
- Măsurile tehnice:
 - Menținerea motorului principal și a generatoarelor;
- Modificări structurale:

- Reducerea vitezei navelor;
- Creșterea eficienței porturilor.

Capitolul 3 prezintă metode neconvenționale generatoare de energie electrică cu posibilă aplicabilitate pe nave.

Prin *energii neconvenționale* (regenerabile) se înțeleg acele surse de energie ce pot fi considerate inepuizabile. Sursele de energie regenerabilă sunt larg răspândite și nepoluante.

Aici sunt descrise diverse sisteme de captare atât a energiei eoliene cât și a energiei solare și lunare precum:

- Avionul Makani Power;
- Avionul Ampyx Power;
- Altaeros Energies;
- Kite Gen;
- Joby Energy;
- Generatorul solar și lunar de energie;

În cadrul acestui capitol putem regăsi și un subcapitol despre meteorologia aeronautică. Consider că are o importanță aparte acest subcapitol, dat fiind faptul că folosim balonul Flettner, ce plutește în aer deasupra navei, pentru producerea energiei electrice. În acest subcapitol regăsim detalii despre puterea vântului, la diverse altitudini și locații.

În vederea utilizării surselor de energie neconvenționale, bazate pe energia eoliană, este importantă cunoașterea meteorologiei zonei prin care nava va naviga, astfel putem anticipa, timpul de folosire și randamentul surselor de energie neconvenționale pe ruta stabilită. Prin cunoașterea situației meteorologice, putem de asemenea anticipa dificultățile pe care vremea le poate crea pe parcursul voiajului.

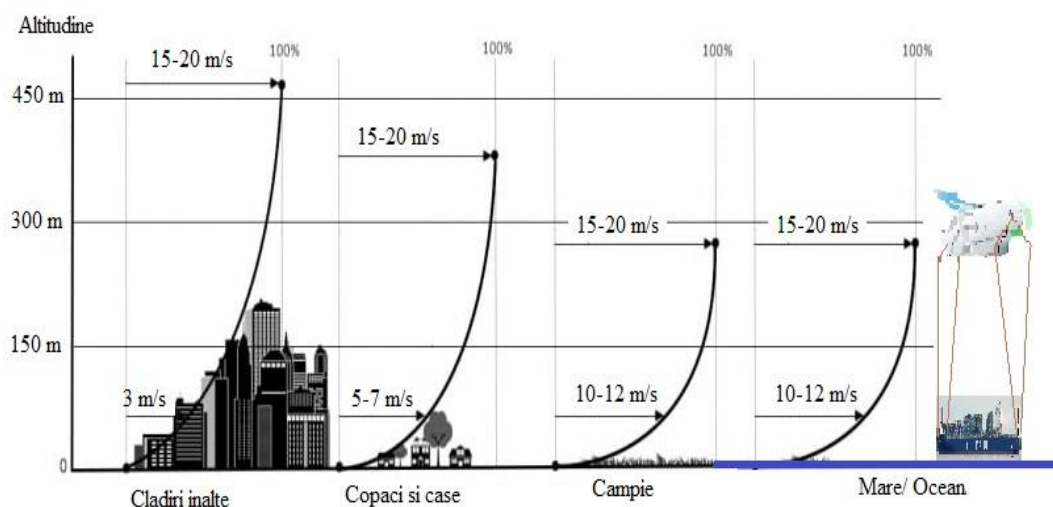


Figura R V.2: Media vitezei vântului

La finalul capitolului regăsim o comparare a diferitelor tipuri de sisteme de captare și focalizare în PV.

Tot aici găsim câteva metode neconvenționale folosite în propulsia navală. În începutul subcapitolului sunt prezentate principalele considerente generale privind aceste metode, avantajele și dezavantajele lor.

Avantajele sistemelor neconvenționale:

- Nu poluează atmosfera și mediul marin;
- Sunt ușor de instalat la bordul navelor deja existente și nu necesită modificări notabile ale structurii navei;
- Se mărește spațiul pentru marfă sau pasageri prin reducerea spațiului ocupat de compartimentul mașină (în cazul navelor propulsate electric);
- Cilindrii pe care sunt amplasate celulele fotovoltaice sunt rabatabili și nu încurcă operarea navei în porturi;
- În cazul navelor propulsate mixt motor-velă, consumul de combustibil scade iar pierderea de viteză este parțial acoperită de forța de tracțiune a velei ridicată la o anumită înălțime.

Dezavantajele sistemelor neconvenționale:

- Unele sisteme nu pot fi utilizate în zonele aglomerate, cu trafic intens,
- Neîncrederea armatorilor în aceste sisteme;
- Utilizarea unor sisteme neconvenționale numai în anumite zone de navigație, cu vânturi permanente și constante în direcție și viteză;
- Nu există încă o legislație stabilită care să permită intrarea în porturi a navelor pe baza sistemelor neconvenționale.

În finalul capitolului sunt subliniate câteva concluzii succinte legate de folosirea metodelor neconvenționale de propulsie navală.

Cele trei surse naturale: vântul, soarele și valurile au dovedit până în momentul de față, cel puțin experimental, chiar și practic în cazul vântului, că viitorul propulsiei navale va fi asigurat de metodele mixte în care se va utiliza și motorul de propulsie într-o anumită proporție, urmând ca dezvoltarea tehnologică viitoare să ne permită numai utilizarea surselor naturale.

Capitolul 4 ne prezintă componentele principale ale sistemului hibrid propus de mine, compatibile pe o navă tip container, utilizat pentru generarea de energie provenind din surse neconvenționale.

Aici sunt descrise, configurate și subliniate principalele specificații ale turbinelor eoliene verticale de mari dimensiuni, balonul Flettner, supercondensatorii necesari și componenta secundară a sistemului de propulsie hibrid, propulsia diesel.

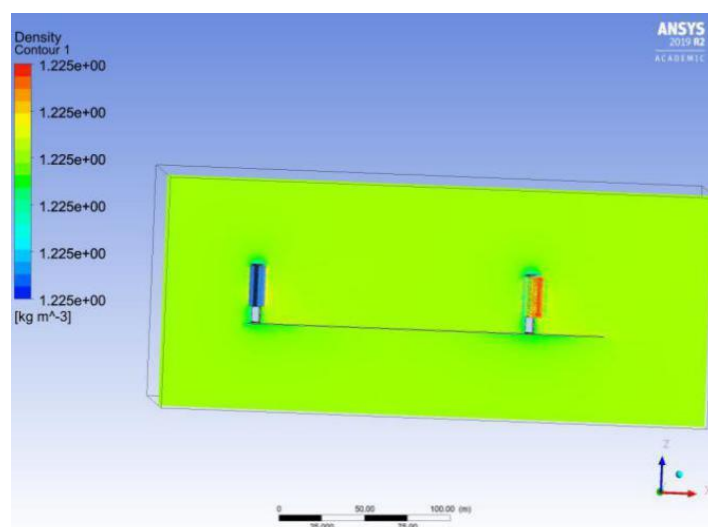


Figura R V.3: Turbina eolină verticală poziționată pe putea principală a navei, imagine proiectată în Ansys Fluids

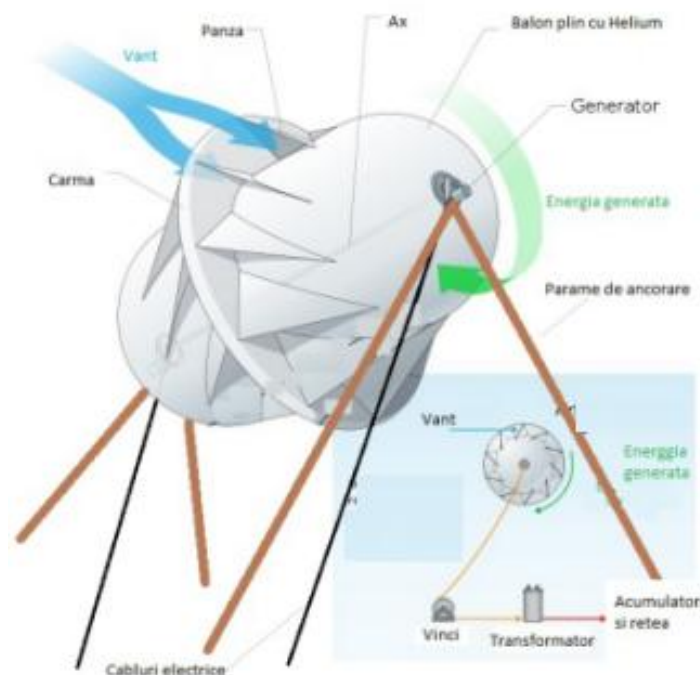


Figura R V.4: Componentele balonului Flettner
[VASILESCU M.V., 2019]



Figura R V.5: Supercondensatori
[<http://www.greenstart.it>, accesat 4 Iulie 2019]

Sistemul de generatoare diesel, turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni, balonul Flettner, vor fi controlate printr-un sistem computerizat automat. În timpul traversadelor când sursele de energie neconvenționale sunt pornite, vom utiliza motorul electric. Principalele generatoare de energie electrică vor fi turbinele eoliene de mari dimensiuni și balonul Flettner, dar în caz că energia produsă de acestea din urmă nu este suficientă, vor intra pe rând, la putere minimă, generatoarele diesel, cu rolul de a acoperi deficitul de energie existent. Prin utilizarea în caz de nevoie a generatoarelor diesel la putere minimă, reducem consumul de combustibil la minimum, astfel reducem poluarea și costurile. În figura R V.6 am notat cu G1, G2, G3, G4 generatoarele diesel, cu B- balonul Flettner și cu RF1, RF2, RF3, RF4 turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni.

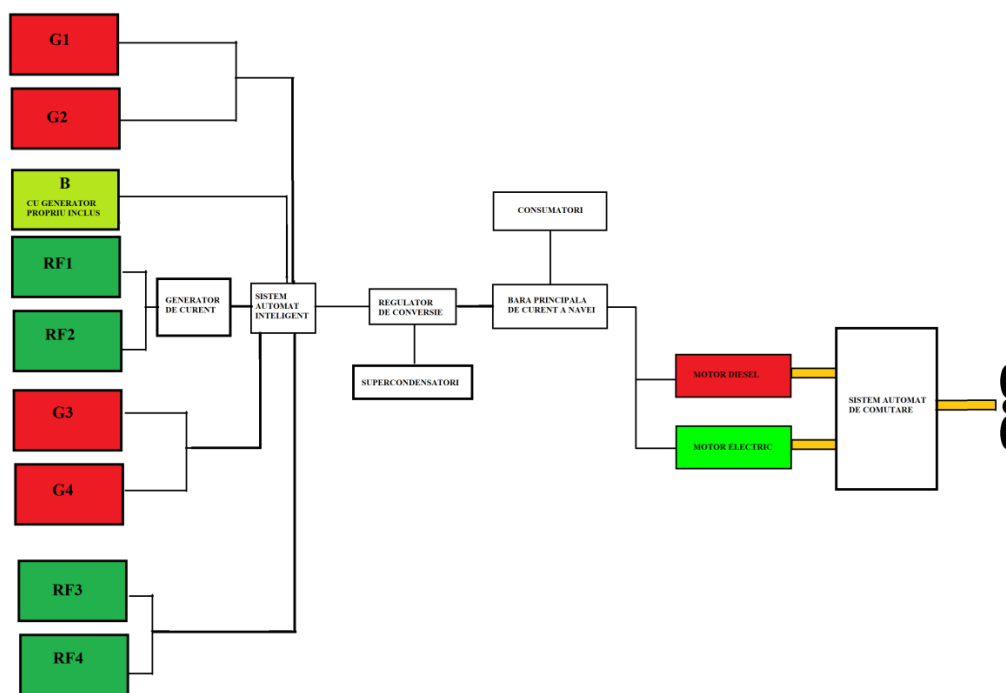


Figura R V.6: Sistemul de propulsie cu un motor diesel și unul electric și schema de conectare la un sistem automat computerizat de control a generatoarelor
[VASILESCU M.V. ș.a., 2020]

În cadrul capitolului, pentru fiecare sursă de energie neconvențională propusă este realizat un bilanț energetic.

Tabelul R V.1: Puterea generată de turbina eolină verticală de mari dimensiuni la o viteză a navei de 19 Nd

Viteză navă : 19 Nd		
Puterea vântului adevărat (m/s)	Direcția vântului adevărat	Puterea generată (kWh)
10	60-130 și 230-300	500
22	105-135 și 225-255	2000

Din cercetările efectuate s-a constatat ca balonul Flettner, poziționat la 300 m altitudine poate să genereze aproximativ 1000 kWh. El poate genera electricitate atât la viteze mici ale vântului de 3 m/s dar și la viteze mari 28 m/s.

În cadrul subcapitolului legat de balonul Flettner, se face și o comparație dintre helium și hidrogen, în vederea alegerii celui mai convenabil gaz cu care să fie umplut.

Capitolul 5 prezintă bilanțul energetic general al sistemului hibrid și schema de legare pe o navă tip container. În începutul capitolului ne sunt prezentate principalele caracteristici constructive ale navei.

Apoi ne sunt subliniate elementele sistemului hibrid, ce utilizează energia neconvențională:

- Un rotor Flettner cu Helium;
- 4 turbine eoline verticale de mari dimensiuni pe puntea principală a navei;

Subcapitolul *Amplasarea balonului Flettner pe o nava tip port-container ca sursă alternativă de curent* cuprinde:

- Caracteristicile constructive ale balonului Flettner;
Pentru construcția sa, balonul a fost asemuit un dirijabil.
Volumul balonului a fost ales ca fiind de $200\,000\text{ m}^3$.
Lungimea balonului: 245 m .
 - Calculele de ancorare ale balonului;
Din urma calculelor efectuate și din condiții de siguranță, pentru ancorarea balonului voi folosi 4 parâme, din fibră de polipropilenă și poliester. Forța de rezistență a celor 4 parâme a reieșit ca fiind de 4900 kN .
 - Calculul grosimii cablului pentru transmiterea energiei electrice generate;
Din tabelele producătorilor de cabluri electrice, rezultă că pentru un curent de intensitate, de 838 A , avem nevoie de două sisteme de cabluri trifazate, cu o secțiune minimă de 300 mm^2 . Pentru siguranță voi lua în calcul 6 cabluri monofazate de tip CYY(-F) cu o secțiune de $1 \times 400\text{ mm}^2$.
 - Calculul masei parâmelor de ancorare și al grosimii cablului și influența lor asupra balonului;
Din calculele efectuate a rezultat ca:
 - Masa celor 4 parâme este de $0,372\text{ t}$.
 - Masa totală a cablurilor electrice este de $7,254\text{ t}$.
- În urma comparării forței de ascensiune F_a cu forța de rezistență totală a parâmelor F_{RT} , $F_a = 2528,4\text{ kN}$, $F_{RT} = 4900\text{ kN}$ a reieșit că parâmele rezistă în procesul de ancorare al balonului.
- Conform calculelor efectuate balonul Flettner plin cu helium trebuie să susțină o masă de $12,626\text{ t}$.
- Calculul forței minime de ascensiune F_a necesară balonului să stea în aer, când este plin cu Helium;

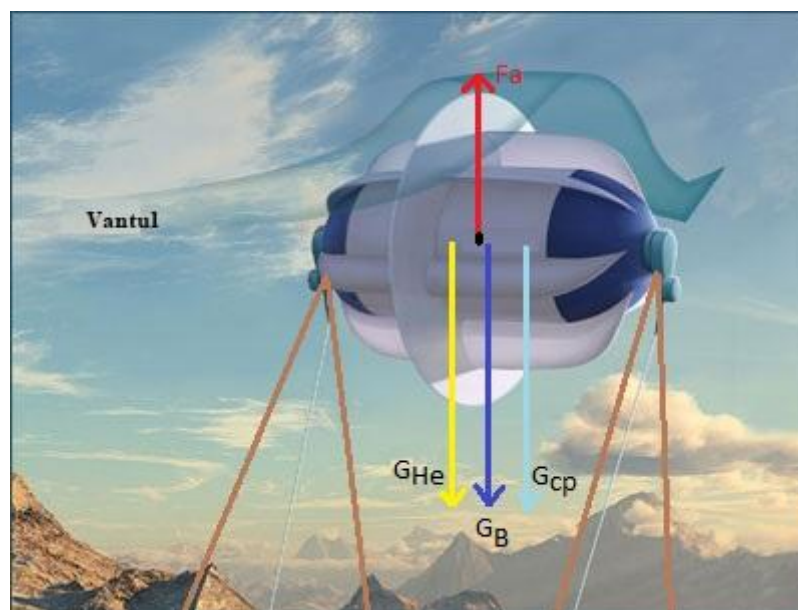


Figura R V.7: Forțele care apar și influențează ascensiunea rotorului
[VASILESCU M.V., 2019]

Din calculele făcute a rezultat că forța de ascensiune minim necesară $F_a' = 474,5748 \text{ kN}$, este cu mult inferioară forței de ascensiune $F_a = 2528,4 \text{ kN}$ pe care balonul o poate ridica.

- Calculul volumului minim al balonului Flettner – dacă este plin cu helium;

În urma calculelor a reieșit că volumul minim al balonului plin cu helium este de 37540 m^3 pentru ca balonul Flettner sa fie in stare de flotabilitate.

- Calculul forței minime de ascensiune F_a'' necesară balonului să stea în aer, când este plin cu hidrogen;

Din calculele efectuate a rezultat că forța de ascensiune minim necesară balonului plin cu hidrogen F_a'' este de $299,9388 \text{ kN}$, care este cu mult inferioară forței de ascensiune $F_a = 2528,4 \text{ kN}$, pe care balonul o poate ridica.

- Calculul volumului minim al balonului Flettner – dacă este plin cu hidrogen;

În urma calculelor a reieșit că volumul minim al balonului plin cu hidrogen este de 23726 m^3 pentru ca balonul Flettner sa fie in stare de flotabilitate.

Subcapitolul *Amplasarea a patru eoliene verticale de mari dimensiuni pe o navă tip port-container ca sursă alternativă de curent* cuprinde:

- Schema de poziționare și aria necesară poziționării celor 4 turbine eoliene verticale de mari dimensiuni instalate în prova navei port-container;

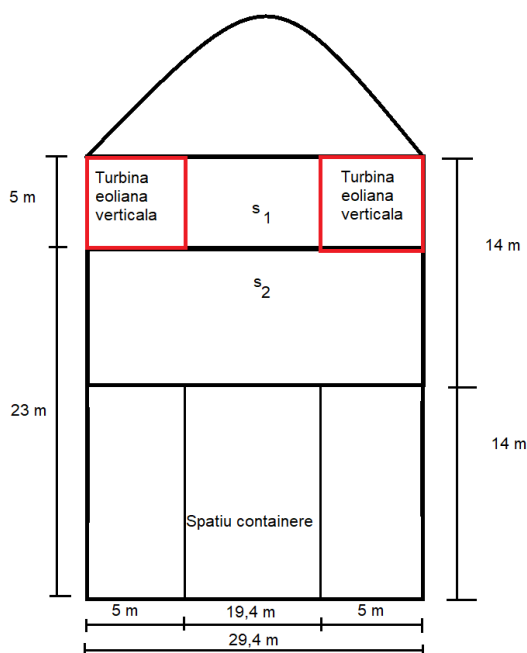


Figura R V.8: Schema de poziționare a 2 din cele 4 turbine eoliene verticale de mari dimensiuni instalate în prova navei port-container
[VASILESCU M.V., 2019]

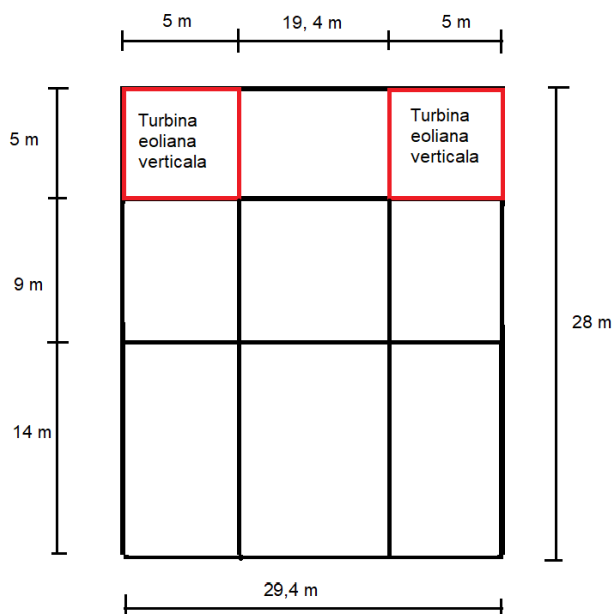


Figura R V.9: Schema de poziționare a 2 din cele 4 turbine eolice verticale de mari dimensiuni în pupa navei port-container [VASILESCU M.V., 2019]

➤ Fișa tehnică a turbinei eolice verticale de mari dimensiuni modificată pentru o navă port-container.

Tabelul R V.2: Fișa tehnică a turbinei eolice verticale de mari dimensiuni adaptată pentru o navă port-container:

Model	24 x 4
Turbină	
Înălțime x diametru (m)	24 x 4
Material	plastic armat cu fibră de sticlă/ polimer armat cu fibră de carbon
Viteză rotor (rpm)	0-225, variabil
Structură	
Turn	Cilindric- din oțel
Înălțime fundație (m)	10
Greutate rotor și fundație (t)	40
Componente	
Motor electric	90kW, 50/60 Hz IE4,IP55
Condiții ambientale	
Temperatura de operare	+50- -30 C
Viteza vântului necesară pentru operare	0-25 m/s
Rezistență la forța vântului	70 m/s

În cadrul capitolului 5 regăsim și bilanțul energetic al sistemelor generatoare de energie electrică, provenite din sursele neconvenționale propuse.

Tabelul R V.3: Bilanțul energetic al sistemelor generatoare de energie electrică, provenite din surse neconvenționale în condiții de vânt ideale

Dispozitiv	Performanțe energetic (kWh)	
	Vânt de 10 m/s	Vânt de 22 m/s
Balonul Flettner cu helium		1000
4 Turbine eoline verticale de mari dimensiuni	2000	8000

Capitolul face referire și la modalitatea de conectare a surselor de energie convenționale și neconvenționale la bara principală de curent a navei, aici regăsindu-se schemele exacte de conectare a sistemului hibrid și legenda acestora, ce se găsesc în anexa I din cadrul tezei.

În finalul capitolului ne sunt prezentate și descrise sarcinile electrice ale consumatorilor navei, defalcate pe fiecare compartiment în parte, anexa II din cadrul tezei.

Capitolul 6 descrie efectul utilizării sistemelor neconvenționale de producere a energiei asupra siguranței navigației. Aici sunt studiate manevrabilitatea și stabilitatea navei cu balonul Flettner și cele patru turbine eoline verticale de mari dimensiuni propuse spre instalare la bordul navei port-container.

În cadrul subcapitolului intitulat *Manevrabilitatea* sunt studiate considerentele teoretice privind influența vântului de suprafață asupra navei și influența balonului Flettner plin cu helium și a turbinelor eoliene verticale de mari dimensiuni.

Forțele care apar în balonul Flettner cu helium:

- Pe verticală avem forța ascensională F_a și forța de greutate G .
- Pe orizontală avem forța vântului/ forța de frecare F_v cu aerul și forța de tractare F_T .

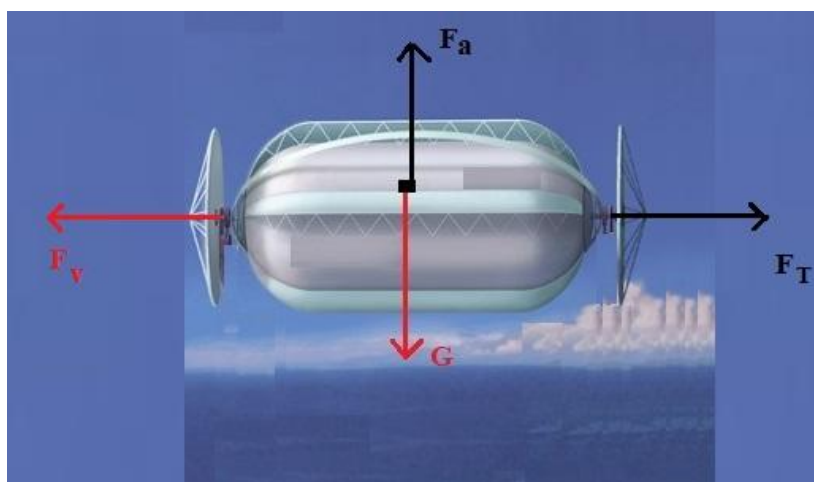


Figura R V.10: Forțele care apar în balonul Flettner cu helium
[VASILESCU M.V., 2019]

Dacă pe navă avem instalat balonul Flettner cu helium și vântul va bate din traversul vaporului, babord sau tribord, acesta va încetini nava cu 0,12% din puterea de tractare a navei. Fiind o valoare atât de mică o putem considera neglijabilă, în raport cu forța de tracțiune a navei.

Viteza vântului și implicit forța de frecare a aerului cu balonul Flettner cu helium cuplat, nu influențează manevra navei.

Dacă vântul bate perpendicular pe lungimea balonului Flettner cu helium, adică din pupa sau prova navei, acesta nu influențează manevrabilitatea navei, deoarece rotorul se va roti mai repede, va genera mai multă electricitate, dar nu va deplasa balonul. Stabilizatoarele vor ajuta balonul să își mențină poziția.

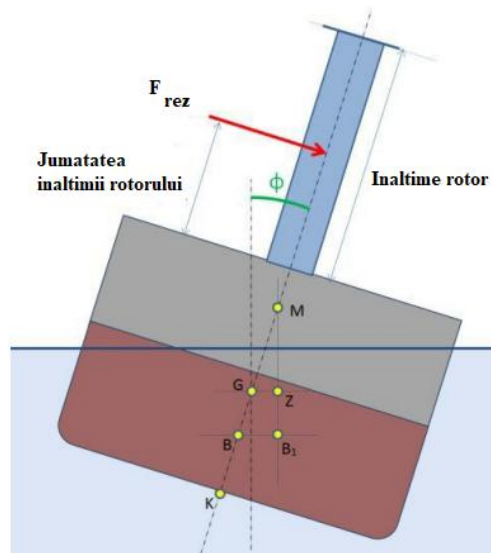


Figura R V.11: Unghiul de înclinare static
[VASILESCU M.V., 2019]

În urma calculelor, s-a dovedit că unghiului de înclinare static al navei port-container cu turbinele eoline verticale de mari dimensiuni instalate pe puntea ei, nu depășește, unghiul de rulu normal al vaporului și poate fi considerat neglijabil fiind mai mic de 1 %. Asta înseamnă că instalarea turbinelor eoline verticale de mari dimensiuni pe puntea unei nave port-container nu va influența manevrabilitatea navei.

În cadrul subcapitolului intitulat *Stabilitatea* sunt relevate criteriile de stabilitate conform *Codului International de Stabilitate*, caracteristicile constructive inițiale ale navei. Aici este calculată stabilitatea navei cu balonul Flettner plin cu helium și cu cele patru turbine eoliene verticale de mari dimensiuni instalate pe puntea navei.

În urma calculelor efectuate, pentru nava hibrid propusă în lucrare, a reieșit că sunt trecute toate criterii referitoare la proprietățile curbei brațului de redresare, dintre care amintesc:

- Aria de sub curba de stabilitate până la unghiul de 30 grade trebuie să nu fie mai mică de 0.055m-rad;
- Aria de sub curba de stabilitate până la unghiul de 40 grade sau unghiul de inundare dacă acest unghi este mai mic de 40 de grade, trebuie să nu fie mai mică de 0.09m-rad;
- Aria de sub curba de stabilitate între 30 și 40 grade sau între 30 de grade și unghiul de inundare să nu fie mai mică de 0,03 m-rad.
- Brațul de redresare să fie cel puțin 0,2 m pentru un unghi de înclinare egal sau mai mare de 30 de grade;
- Brațul maxim de redresare trebuie să apară la un unghi de înclinare nu mai mic de 25 de grade;
- Înălțimea metacentrică inițială să nu fie mai mică de 0,15 m.

Din această lucrare reiese că în urma instalării elementelor sistemului de energie hibrid motor diesel-electric cu energie provenită din surse de energie convenționale (combustibili fosili) cât și neconvenționale (un balon Flettner cu helium și 4 turbine eoliene verticale de mari dimensiuni) amplasate pe o navă tip port-container, atât manevrabilitatea cât și stabilitatea navei, nu se schimbă fundamental.

Nu există diferențe mari în ceea ce privește manevrabilitatea navei, față de navă fără sistemul de energie hibrid instalat.

Din punct de vedere al stabilității, stabilitatea transversală s-a diminuat:

$$GM' < GM$$

$$4,3184 < 4,3200$$

dar valoarea este nesemnificativă.

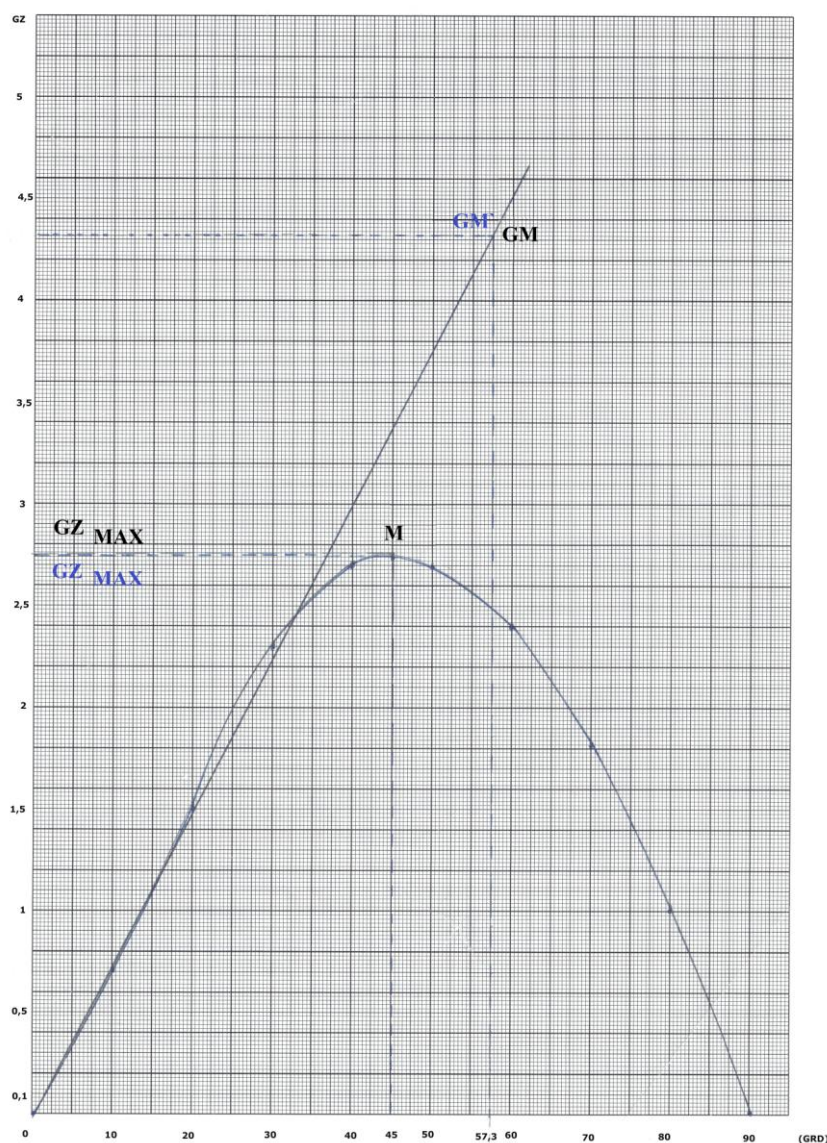


Figura R V.12: Graficul stabilității transversale

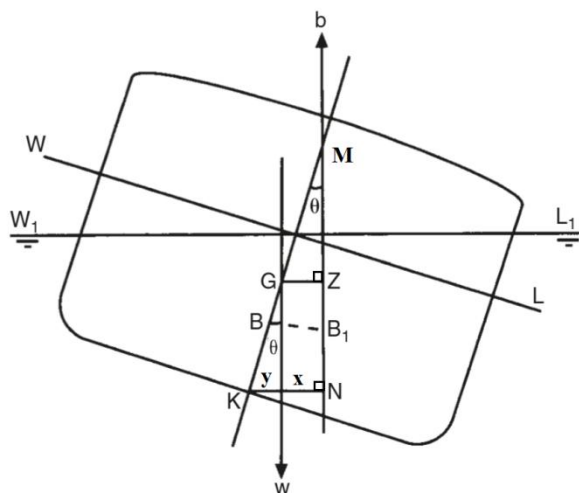


Figura R V.13: Stabilitatea navei, condiție inițială

Unde:

θ = Unghiul de înclinare;

GZ = Brațul cuplului de redresare;

B = Centrul de flotabilitate;

KG = Înălțimea centrului de greutate al navei, peste linia chilei. Distanța pe verticală de la chila navei K , până la centrul de greutate G .

GM = Înălțimea metracentrică. Reprezintă distanța dintre centrul de greutate G și metacentrul M .

WL = Linia apei;

W = Masa;

KM = Distanța de la chila navei K până la metacentrul M .

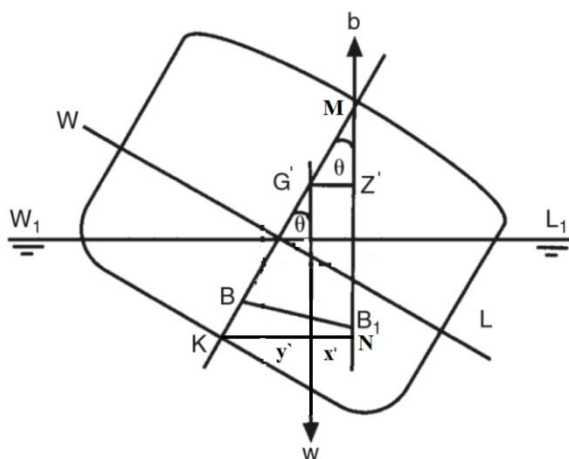


Figura R V.14: Stabilitatea navei după amplasarea generatoarelor de energie

Unde:

θ = Unghiul de înclinare;

$G'Z'$ = Brațul cuplului de redresare;

B =Centrul de flotabilitate;

KG = Înălțimea centrului de greutate al navei, peste lunia chilei. Distanța pe verticală de la chila navei K , până la centrul de greutate G .

G^*M = Înălțimea metracentrică. Reprezintă distanța dintre centrul de greutate G și metacentrul M .

WL = Linia apei;

W = Masa;

KM = Distanța de la chila navei K până la metacentrul M .

Stabilitatea longitudinală a navei, în urma amplasării surselor de energie neconvenționale, s-a îmbunătățit:

$$GM_L < GM_L^*$$

$$227,281 < 227,518$$

În urma instalării sistemului hibrid observăm că a crescut frecvența perioadei de rulu:

$$T < T^*$$

$$10,4956 < 10,4975$$

În finalul capitolului sunt trasate câteva concluzii pertinente legate de efectul utilizării sistemelor neconvenționale de producere a energiei asupra siguranței navigației.

Consider că instalarea acestui sistem de energie hibrid, pe o navă tip port-container, este benefică din punct de vedere al reducerii consumului de combustibil fosil, al reducerii emisiilor cu gaze de seră și este sigură din punct de vedere al siguranței navigației.

Capitolul 7 Descrie utilizarea programului Ansys-Fluent în vederea determinării forțelor din balonul Flettner și din turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni aflate sub diferite unghiuri de incidență.

Programul este format din cinci părți individuale interconectate între ele: Geometry, Mesh, Setup, Solution, Results (Figura R V.15).

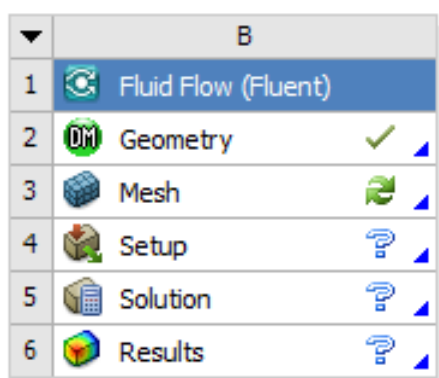


Figura R V.15: Structura programului ANSYS-Fluent

În primul subcapitolul am explicat procesul de realizare al geometriei și discretizării surselor de energie neconvenționale (balonul Flettner și turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni).

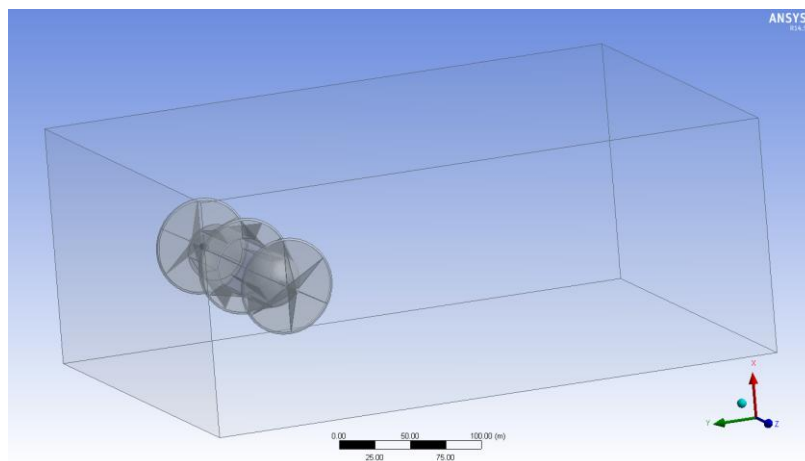


Figura R V.16: Geometria balonului Flettner

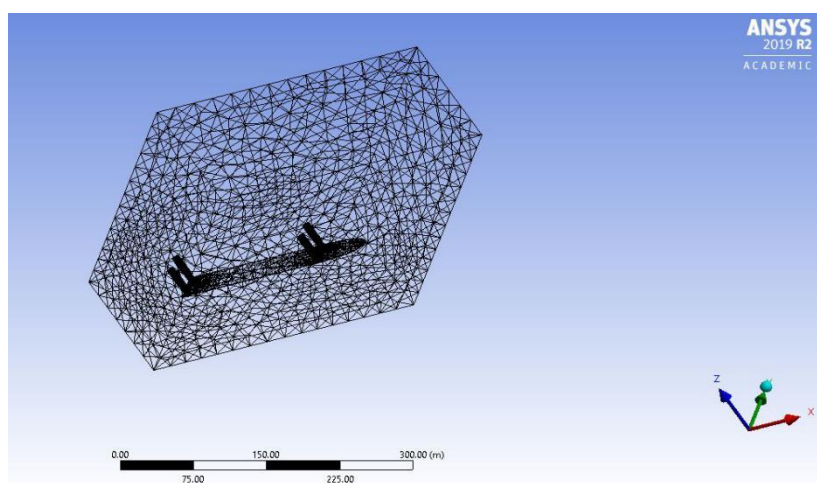


Figura R V.17: Discretizarea domeniului pentru turbinele eoline verticale de mari dimensiuni

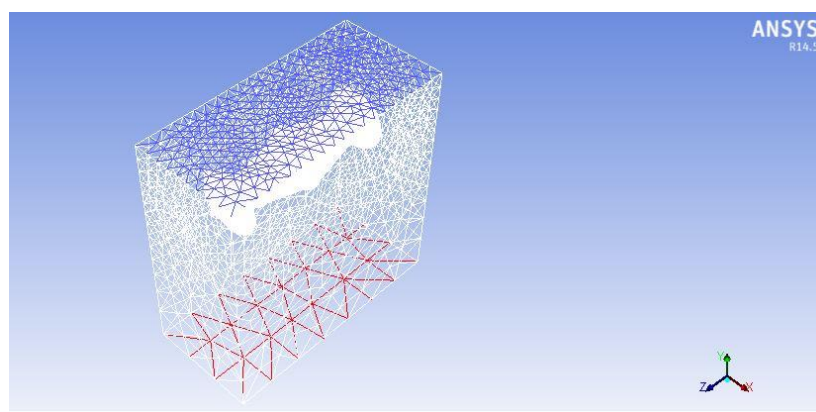


Figura R V.18: Discretizarea domeniului pentru balonul Flettner

În subcapitolul doi au fost reprezentați și determinați pe cale grafică diverși parametrii ce caracterizează turbulența, atât pentru balonul Flettner cât și pentru turbinele eoliene verticale de mari dimensiuni precum:

- Forța;

- Densitatea;
- Presiunea;
- Energia cinetică turbionară;
- Velocitatea;

Parametri pentru balonul Flettner au fost reprezentați în planul XOY și XOZ atât pe plan cât și pe balon, la viteza vântului de 10 m/s respectiv 20 m/s, sub diferite unghiuri de incidență de 0° , 30° , 60° , 90° .

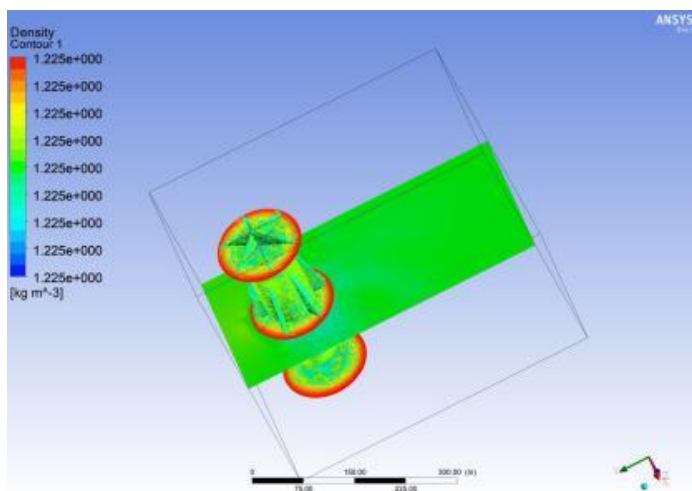


Figura R V.19: Distribuția densității pe balon, în planul XOY - la o viteză a vântului de 10 m/s și o direcție a vântului de 0°

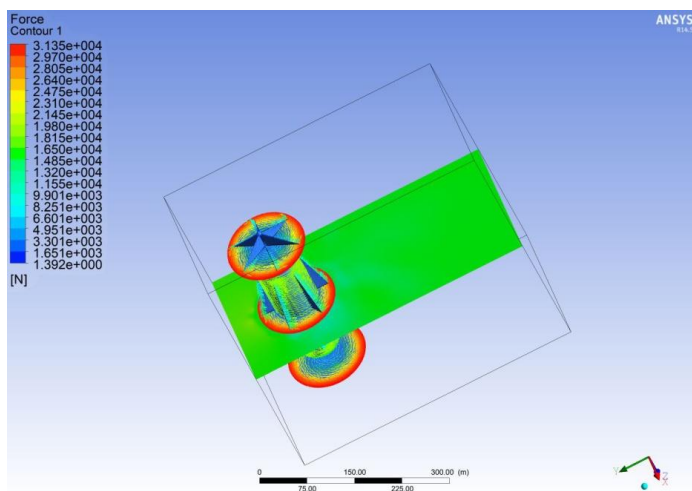


Figura R V.20: Distribuția forței vântului pe balon, în planul XOY - la o viteză a vântului de 10 m/s și o direcție a vântului de 0°

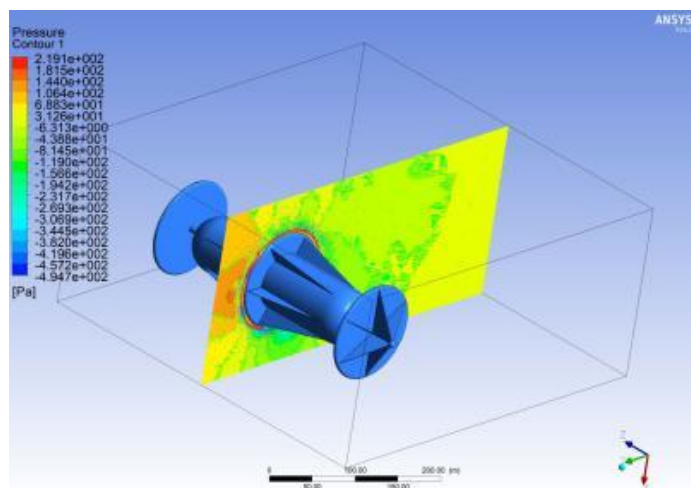


Figura R V.21: Distribuția presiunii pe plan, în planul XOY- la o viteză a vântului de 10 m/s și o direcție a vântului de 0°

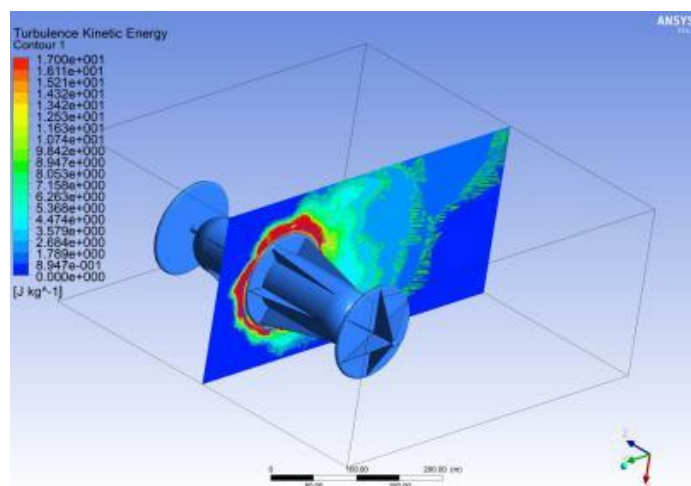


Figura R V.22: Distribuția energiei cinetice turbionare pe plan, în planul XOY- la o viteză a vântului de 10 m/s și o direcție a vântului de 0°

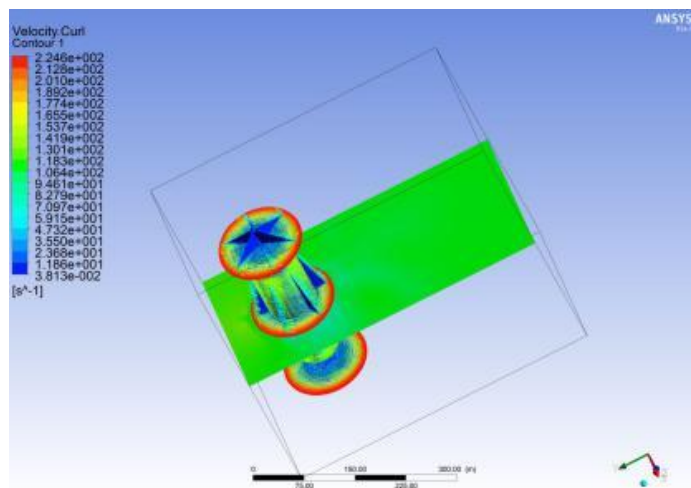


Figura R V.23: Distribuția vitezei pe balon, în planul XOZ - la o viteză a vântului de 10 m/s și o direcție a vântului de 0°

Parametri pentru turbinele eoliene de mari dimensiuni au fost reprezentați în planul XOY și XOZ atât pe plan cât și pe fiecare turbină, la viteza vântului de 10 m/s respectiv 20 m/s.

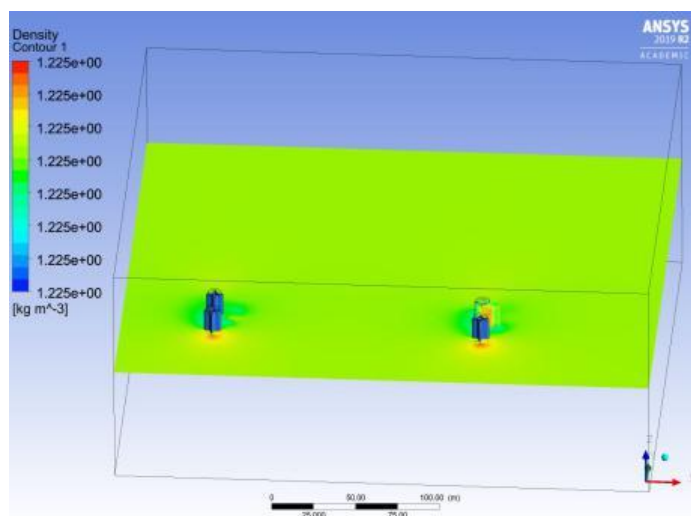


Figura R V.24: Distribuția densității pe turbina eoliană verticală situată în prova babord, în planul XOY - la o viteză a vântului de 10 m/s

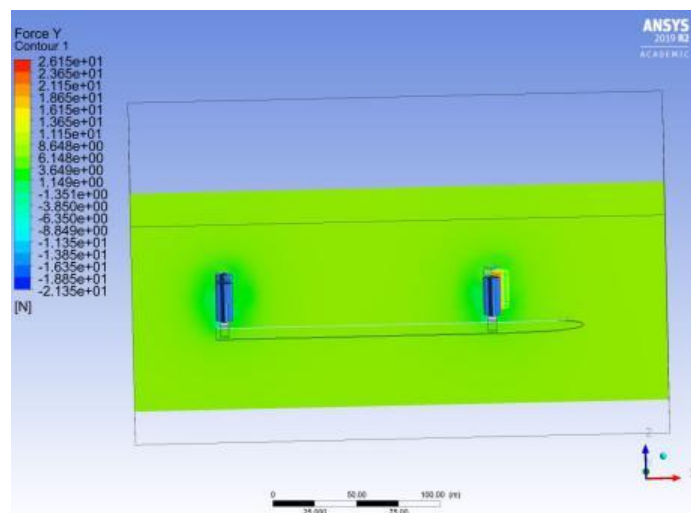


Figura R V.25: Distribuția forței pe turbina eoliană verticală situată în prova babord, în planul XOZ - la o viteză a vântului de 10 m/s

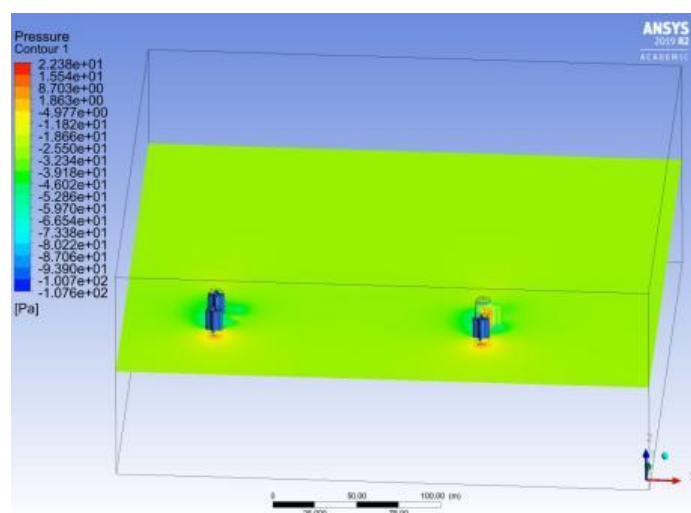


Figura R V.26: Distribuția presiunii pe turbina eoliană verticală situată în prova babord, în planul XOY - la o viteză a vântului de 10 m/s

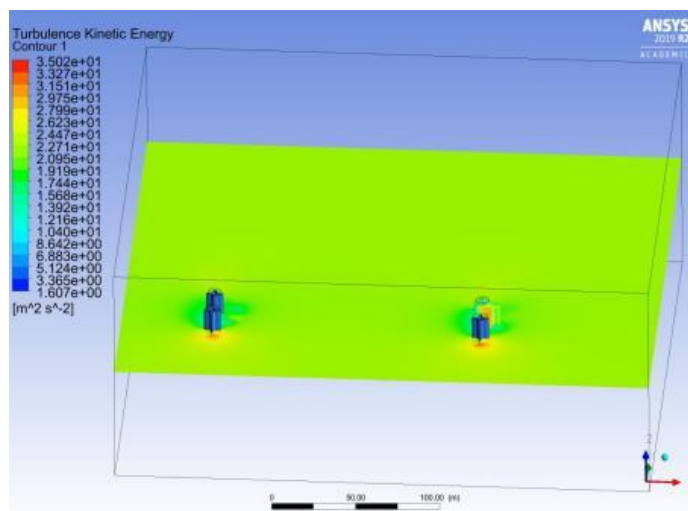


Figura R V.27: Distribuția energiei cinetice turbionare pe turbina eoliană verticală situată în prova babord, în planul XOY - la o viteză a vântului de 10 m/s

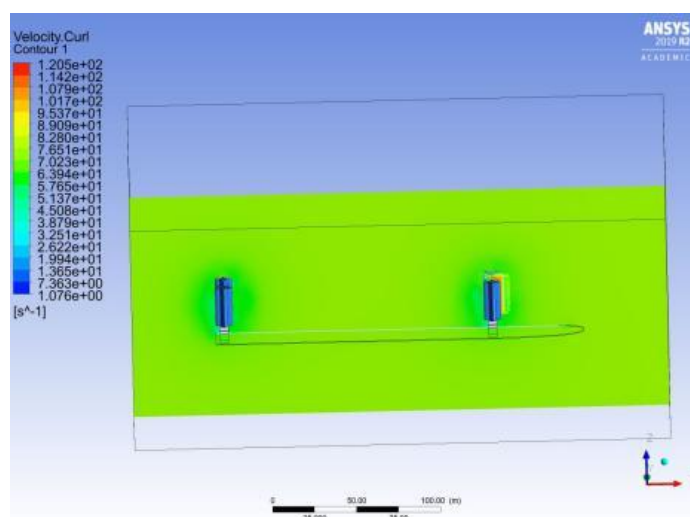


Figura R V.28: Distribuția vitezei pe turbina eoliană verticală situată în prova babord, în planul XOZ - la o viteză a vântului de 10 m/s

O parte din cazurile studiate se află și în anexa IV.

În subcapitolul trei sunt subliniate câteva concluzii legate de importanța utilizării programului Ansys – Fluent în cadrul tezei.

Capitolul 8 cuprinde considerente privind implementarea și folosirea unui sistem neconvențional pe o rută.

Am ales ruta Busan - Coreea de Sud cu Tacoma - SUA. În cadrul acestui capitol ne sunt prezentate:

➤ Calculul economic necesar efectuării rutei din perspectiva consumului de combustibil, utilizând surse de energie neconvenționale;

Dacă am utiliza sistemul hibrid propus în lucrare, din punct de vedere al consumului de combustibil ruta Busan-Tacoma, ne-ar costa doar 9705 \$, economisind astfel 278027 \$.

Sistemul hibrid în acest caz ar reduce costurile consumului de combustibil cu 96.62 %.

- Situația meteorologică pe ruta Busan-Tacoma;

Pentru determinarea situației meteorologice pe ruta Busan-Tacoma am utilizat programul SPOS.

În general în Oceanul Pacific de Nord avem vânturi destul de puternice în cursul anului, mai ales în timpul lunilor de iarnă. În medie sunt vânturi de aproximativ 20 – 30 Nd.

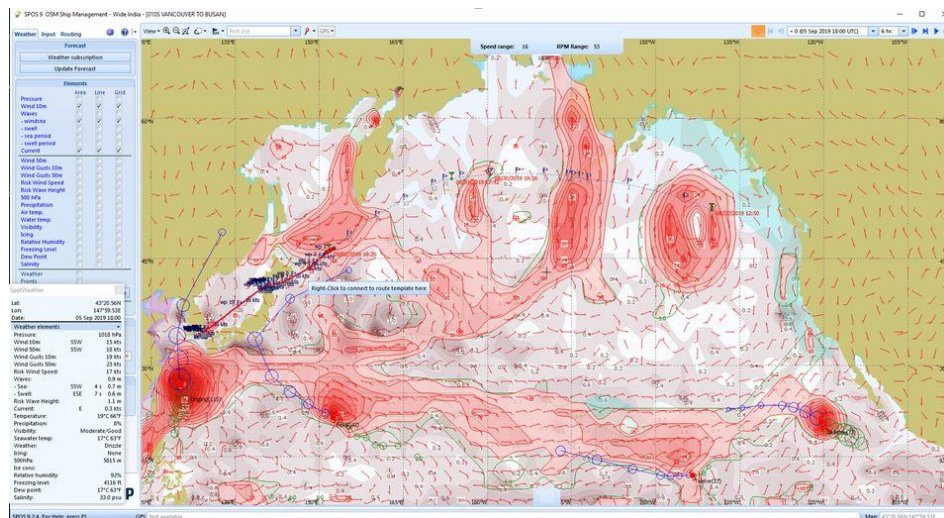


Figura R V.29: Monitorizarea situației meteorologice pe ruta Busan – Tacoma cu ajutorul programului SPOS

- Calculul costurilor de implementare a sistemului hibrid pe nava port-container și timpul de atenuare al investiției pentru implementarea sistemului hibrid format din patru turbine eoline verticale de mari dimensiuni și un balon Flettner cu helium: 700000\$.

Amortizarea investiției- în mile marine cu sistemul hibrid în stare de funcționare, la o viteză a navei de 18 Nd este de 9206.

- Calculul emisiilor de CO_2 și SO_x ;

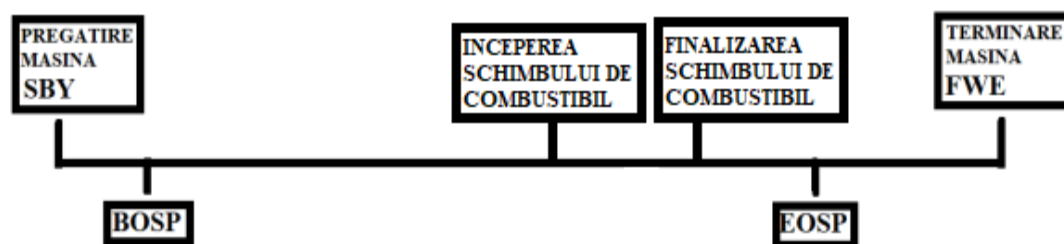


Figura R V.30: Planificarea voiajului Busan-Tacoma

Dacă am utiliza un sistem de propulsie convențional pe tot timpul voiajului Busan - Tacoma, emisiile de CO_2 ar fi $2472,344 \times 10^6$, iar cele de SO_x de $4535,92 \times 10^4$. Utilizând sistemul hibrid, emisiile de CO_2 vor fi de doar 2,53%, iar cele de SO_x vor fi doar 0.87% față de un sistem convențional.

➤ Calculul emisiilor de NO_x .

Dacă vom utiliza un sistem cu propulsie convențional pe tot timpul voiajului Busan-Tacoma, emisiile de NO_x , ar fi 53932237,99 g/KWh. Utilizând un sistem hibrid, emisiile de NO_x vor fi doar de 2,66% față de un sistem convențional.

Capitolul se finalizează cu câteva concluzii legate de importanța sistemului hibrid, reducerea poluării mediului și reducerea cheltuielilor pentru armatori sau navlositori în cazul implementării sistemului.

Utilizarea sistemului hibrid în timpul unei traversade, ajută la economia de combustibili fosili, indirect salvând veniturile armatorilor. În același timp sistemul hibrid ajută la diminuarea poluării mediului prin reducerea gazelor de ardere, mai ales oxizii de azot NO_x , dioxidul de carbon CO_2 și dioxidul de sulf SO_2 , astfel protejând și mediul înconjurător. Indirect, prin utilizarea mai redusă a generatoarelor convenționale ale navei, pe combustibili fosili, se prelungește și durata de viață a acestora și crește perioada de timp între reviziile periodice necesare (Anexa III).

Capitolul 9 reprezintă concluziile și contribuțiile personale

Teza cu titlul *Cercetări privind proiectarea și operarea navelor container în vederea îmbunătățirii eficienței energetice* constituie o cercetare asupra instalării unui sistem hibrid alimentat cu energie provenind din surse de energie convenționale și neconvenționale, pe nave tip port-container.

Din punctul de vedere al surselor de energie neconvenționale în cadrul tezei au fost selectate cele mai performante dispozitive, care se pretează unei nave tip port-container.

Scopul acestei teze îl reprezintă:

- Un semnal de alarmă asupra poluării mediului de către navele de transport maritim echipate cu sisteme de propulsie clasice;
- Prezentarea unor soluții viabile de reducere a poluării mediului de către navele tip port-container;
- Reducerea costurilor cu combustibili fosili pentru armatori sau navlositorii folosind un sistem hibrid de energie;
- Prelungirea duratei de viață a sistemelor de propulsie clasice prin folosirea surselor de energie neconvenționale împreună cu cele clasice.

Utilizarea energiei eoliene, verzi provenind din surse de energie neconvenționale are mai multe beneficii:

- Reducerea gazelor de ardere, mai ales oxizii de azot NO_x , dioxidul de carbon CO_2 și dioxidul de sulf SO_2 , realizându-se astfel un mediu mai curat.
- Reducerea cantităților de combustibili fosili utilizați la producerea energiei de propulsie de către mașinile principale cu ardere internă (păcură, motorină);
- Reducerea costurilor pentru armatori sau navlositori, cu cantitatea de combustibili fosili consumați de către navă;
- Prelungirea duratei de viață a generatoarelor diesel, o dată cu creșterea perioadei de timp între reviziile periodice sau reparațiile curente.

Cele trei surse naturale: vântul, soarele și valurile au dovedit că sunt surse de energie sustenabile pentru a fi folosite în propulsia navelor. Din studiu reiese că cea mai eficientă sursă neconvențională de energie este cea eoliană.

În zonele în care vânturile nu au aceeași viteză, sunt slabe, în porturi sau în zone în care condițiile meteorologice nu sunt favorabile, se va folosi propulsia clasică, parte a sistemului hibrid.

Sistemul hibrid propus în cadrul tezei spre instalare pe o nava tip port-container cuprinde:

- Dispozitive de energie neconvenționale ce captează energia eoliană (patru turbine eoline verticale de mari dimensiuni și un balonul Flettner);
- Dispozitive convenționale de propulsie (un motor diesel și unul electric);

Trecerea de la un sistem la altul se face automat. Utilizarea dispozitivelor generatoare de energie electrică convenționale va fi folosită numai în caz de forță majoră pentru completarea necesarului de energie electrică și în cazul intrării/ieșirii navei din port.

Am utilizat programul de modelare a curgerii fluidelor (CFD), Ansys Fluent pentru studiul instalării a două tipuri de dispozitive de energie neconvenționale adaptate pentru o navă tip port-container și programul AutoCAD pentru proiectarea schemei de conectare a surselor de energie, la schema electrică a navei.

Prezenta teză de doctorat încearcă să evidențieze faptul că se poate aduce o contribuție calitativă în dezvoltarea cercetării navale prin folosirea programelor numerice de calcul (Ansys Fluent).

Cu toate ca metoda numerică, a luat amploare în ultimii ani, ea nu înlocuiește metodele de cercetare deja existente.

Ea îmbunătățește și optimizează metodele clasice de cercetare prin avantajele cu care vine:

- Cost redus pentru o gamă largă de experimente similare;
- Obținere de rezultate într-un timp relativ scurt;
- În cazul în care metoda analitică nu este încă finalizată se pot obține rezultate prin simulare computerizată (utilizarea programului Ansys Fluent);
- Vizualizarea tuturor parametrilor dacă se intră în structura fenomenului fizic studiat.

Programele numerice de calcul au apărut datorită necesității rezolvării problemelor ingineresti. La început algoritmi de calcul rezolvau numai anumite proprietăți fizice, cu timpul, prin dezvoltarea programelor, diversitatea acestora a crescut, problemele rezolvate fiind din ce în ce mai complexe.

Într-o primă etapă, existau mai multe limbaje de programare, ce impuneau utilizatorului cunoașterea aprofundată a analizei matematice, simultan cu cunoștințe temeinice de programare.

Programul Ansys Fluent permite accesul utilizatorului la codul sursă. Astfel se poate modifica configurația programului în toate rutinele și subrutinele sale.

Ansys Fluent oferă o interfață prietenoasă, fiind ușor de folosit în comparație cu metodele experimentale anterioare.

Avantajul utilizării programului Ansys Fluent îl constituie faptul că sunt necesare numai cunoștințe specifice domeniului cercetat, nefiind necesare cunoștințe de programare.

Dezavantajul programului îl constituie limitarea modificării programului numeric, utilizatorul având la dispoziție numai soluțiile propuse de firma care a dezvoltat programul. Majoritatea fenomenelor fizice pot fi descrise de ecuații matematice. Pe baza acestora s-au construit algoritmi numerici care calculează parametrii ce descriu fenomenele fizice.

Acestă teză constituie un prim pas spre utilizarea combinată a energiei eoliene împreună cu cea clasică, formând astfel un sistem hibrid de energie.

Contribuții personale

Așa cum rezultă și din cele prezentate în cadrul lucrării, se pot evidenția unele din principalele contribuții personale cu un pronunțat caracter de originalitate, astfel:

1. Realizarea unui studiu amănunțit în vederea determinării și analizării principalelor gaze poluante și gaze cu efect de seră, datorită transportului maritim

Identificarea principalelor gaze poluante și gaze cu efect de seră dar și impactul lor asupra mediului, ne permit să descoperim diverse metode de combatere a poluării.

Prin realizarea unei analize pertinente asupra emisiilor de noxe datorate transportului maritim în porturi, în zona costieră din Uniunea Europeană dar și în lume, putem propune diverse metode sau mijloace cu rol de reducere a poluării mediului. În cadrul lucrării sunt propuse diverse posibile metode de reducere a poluării mediului, ce se datorează industriei maritime.

Comparativ cu celelalte mijloace de transport, emisiile poluante provenite din transportul maritim sunt substanțiale. Emisiile provenite din arderea combustibililor depind de gradul și compoziția lui. Deoarece caracteristicile de ardere ale păcurei și motorinei sunt diferite, combustia lor poate produce emisii semnificativ diferite.

În cadrul studiului au fost descrise și calculate valorile principalelor emisii de gaze poluante:

- Emisiile de particule în suspensie PM ;
- Emisiile de oxizi de sulf SO_x ;
- Emisiile de oxizi de azot NO_x ;

dar și gaze cu efect de seră:

- Emisiile de dioxid de carbon CO_2 ;
- Emisiile de metan CH_4 ;

și impactul lor asupra mediului.

Majoritatea acestor emisii au loc pe mare, dar cea mai vizibilă parte a lor se concentrează în jurul zonelor portuare și a orașelor port.

Peste 85% din emisiile degajate de industria navală, provin de la navele tip port-container și tancuri petroliere.

Emisiile datorate transportului maritim contribuie semnificativ la riscurile de mediu și riscuri pentru sănătate, în principal în regiunile de coastă.

Ele afectează sănătatea, deoarece conțin particule și gaze, substanțe de acidifiere și eutrofiere, precum și gaze cu efect de seră.

Industria maritimă este considerată ca fiind una din cele mai poluante industrii de pe Terra, datorită numărului mare de nave și a utilizării combustibililor fosili.

Multe țări au adoptat deja măsuri severe împotriva poluării datorate transportului maritim, prin instituirea de diverse arii protejate ECA, DECA, NECA, unde vapoarele pot naviga doar utilizând combustibil cu conținut redus de sulf.

2. Identificarea, în contextul tehnologic actual, a principalelor surse de energie neconvenționale și a posibilităților ca acestea să fie utilizate eficient pe navele de transport maritim

Prin energii neconvenționale, regenerabile se înțeleg acele surse de energie ce pot fi considerate inepuizabile. Sursele de energie regenerabilă sunt larg răspândite și nepoluante. Instalațiile construite pentru captarea energiei, au o durată mare de exploatare în funcționare normală. Energia eolină este o sursă de energie gratuită, abundentă și cu un potențial ridicat pe mare. Din aceste cauze ele au o importanță strategică foarte mare în industria maritimă, în contextul respectării cadrului juridic internațional de prevenire a poluării mediului marin.

Prin realizarea unei analize pertinente am identificat principalele echipamente de captare a energiei eoliene și solare și modalitățile de conversie a acestora în energie electrică, caracteristicile principale și bilanțul energetic al lor. În cadrul studiului au fost analizate mai multe tipuri de sisteme de captare și focalizare în PV.

În urma acestei analize am identificat energia eoliană ca fiind cea mai importantă sursă de energie neconvențională, pretabilă a fi utilizată în un sistem generator de energie hibrid, ca

element de modernizare a propulsiei clasice, pe combustibili fosili, pentru navele tip port-container.

Consider că captarea și utilizarea energiei eoliene, este cea mai potrivită pentru modernizarea navelor existente, echipamentele utilizate fiind fiabile și ieftine comparând cu prețul carburanților fosili.

În cadrul lucrării am propus adaptarea, implementarea, modernizarea unor noi dispozitive, cu rol în captarea și conversia energiei eoliene în energie electrică și anume balonul Flettner și turbinele eoline verticale de mari dimensiuni pe o navă tip port-container, care alături de sursele de energie convenționale, pe combustibili fosili, formează un sistem hibrid de generatoare de energie electrică, utilizată la propulsia navală.

3. Descrierea principalelor componente ale sistemului hibrid. Metodă originală de proiectare și dimensionare a sistemului. Calculele de ancorare a balonului, realizarea bilanțului energetic, realizarea calculului cablului necesar transmiterii curentului electric, realizarea schemei electrice de conectare a balonului Flettner și a celor patru turbine eoline verticale situate pe puntea principală a navei tip port-container

Balonul Flettner face parte din un sistem complex, ce conține turbine, generator, stabilizatoare, parâme de ancorare și cabluri de transmisie a energiei electrice.

În urma comparării diverselor tipuri de gaze pretabile pentru balonul Flettner, am ajuns la concluzia ca heliumul este gazul ideal cu care balonul trebuie să fie umplut. Argumentele sunt:

- Siguranță în utilizare față de hidrogen (heliumul este un gaz inert, hidrogenul este un gaz exploziv în amestec cu aerul);
- Densitatea mai mică a helium-ului în raport cu aerul.

Pentru efectuarea calculelor de flotabilitate a balonului Flettner, l-am asemuit cu un dirijabil. Am calculat forța minimă de ascensiune F_a necesară balonului să stea în aer, când este plin cu helium și volumul minim.

Am calculat și forța minimă de ascensiune F_a'' necesară balonului să stea în aer, când este plin cu hidrogen. Cu toate ca utilizarea hidrogenului duce la un volum mai mic al balonului, din considerente de siguranță, am preferat să folosesc helium ca gaz cu care va fi umplut balonul Flettner.

În urma calculelor efectuate, am ajuns la dimensiunile optime ale acestuia:

$$L_B = 245 \text{ m}$$

$$V_b = 200\,000 \text{ m}^3$$

$$m_b = 5000 \text{ kg} = 5 \text{ t}$$

Unde:

L_B = Lungime balon;

V_b = Volum balon;

m_b = Masă balon;

Balonul Flettner cu helium poate capta vânturile de la 183 până la 305 de metri deasupra solului. Vânturile la aceste niveluri superioare sunt semnificativ mai rapide decât vânturile de nivel inferior.

Turbinele eoline verticale de mari dimensiuni sunt realizate cu componente din polimer armat cu fibră de carbon și oțel. Fișa tehnică a acestora s-a modificat conform cerințelor tehnice pentru o navă tip port-container, reieșind ca ele vor avea: 24 m înălțime și o greutate de 40 t fiecare.

În cadrul lucrării am realizat schema de conectare electrică, a balonului Flettner și a turbinelor eoliene verticale la instalația electrică a navei. Schema electrică a fost proiectată în AutoCAD.

Balonul Flettner va fi poziționat deasupra navei, ancorat cu parâme. Pentru a calcula numărul și tipul de parâme, am determinat forța minimă de rezistență necesară parâmelor ce leagă nava. În urma calculului am concluzionat că sunt necesare minim trei parâme, pentru siguranță am ancorat balonul cu patru parâme.

Turbinele eoliene verticale se vor instala pe puntea principală a navei, în prova și pupa acesteia.

În urma calculului bilanțului energetic, al celor două tipuri de sisteme de captare a energiei eoliene, am concluzionat că, în funcție de viteza navei, în condiții ideale de vânt și în funcție de numărul de turbine eoliene verticale pornite, ce folosesc energia eoliană, sistemul balon-turbină poate genera între 500 kWh și 9000 kWh. Bineînțeles nu va fi niciodată necesară pornirea tuturor echipamentelor de captare a energiei eoliene la capacitate maximă.

Balonul Flettner poate genera până la 1000 kWh. Din această cauză am fost nevoit să calculez numărul și diametrul cablurilor necesare transmiterii curentului electric.

4. Considerente teoretice originale privind influența turbinelor eoliene verticale de mari dimensiuni instalate pe puntea navei port-container și a balonului Flettner asupra manevrabilității și stabilității de drum a navei

În urma calculelor, s-a dovedit că unghiului de înclinare static al navei port-container cu turbinele eoliene verticale instalate pe puntea ei, nu depășește, unghiul de ruliu normal al vaporului și poate fi considerat neglijabil fiind mai mic de 1 %. Asta înseamnă că instalarea turbinelor eoliene verticale de mari dimensiuni pe puntea unei nave port-container nu va influența manevrabilitatea navei.

Dacă vântul bate perpendicular pe lungimea balonului Flettner cu helium, adică din pupa sau prova navei, acesta nu influențează manevrabilitatea navei. Rotorul cu cât are o viteză mai mare de rotație, cu atât va genera mai multă electricitate, dar nu va deplasa balonul. Balonul are două stabilizatoare ce îl ajută să își mențină poziția.

În vederea realizării calculului de stabilitate, am determinat forța ascensională, masa balonului Flettner, masa parâmelor necesare ancorării balonului de navă, masa cablurilor necesare transmiterii curentului electric de la balon la navă și masa gazului.

Ca o concluzie în urma tuturor calculelor, realizate după instalarea elementelor sistemului de energie hibrid, atât manevrabilitatea cât și stabilitatea navei, nu se schimbă fundamental.

Nu există diferențe mari în ceea ce privește manevrabilitatea navei, față de navă fără sistemul de energie hibrid instalat.

Din punct de vedere al stabilității, stabilitatea transversală s-a diminuat:
 $GM^* < GM$ 4,3184 < 4,3200, dar valoarea este nesemnificativă. Stabilitatea longitudinală a navei, în urma amplasării surselor de energie neconvenționale, s-a îmbunătățit: $GM_L < GM_L^*$
227,281 < 227,518.

În urma instalării sistemului hibrid, a crescut foarte puțin frecvența perioadei de ruliu:
 $T < T^*$ 10,4956 < 10,4975.

5. Realizarea unui studiu asupra diverselor tipuri de propulsii navale, ce folosesc metode neconvenționale. Studiu și analiza celui mai bun sistem de supercondensatori pretabil pentru sistemul hibrid. Sistemul de propulsie cu un motor diesel și unul electric, schema de conectare la un sistem automat computerizat de control a generatoarelor

Numim metode neconvenționale de propulsie orice alte metode care diferă de propulsia clasică a navelor comerciale, care nu utilizează motoarele cu ardere internă pentru producerea lucrului mecanic necesar rotirii arborelui port elice și deci deplasării navei.

Sistemele de propulsie neconvenționale au multe avantaje:

- Nu poluează atmosfera și mediul marin;
- Sunt ușor de instalat la bordul navelor deja existente și nu necesită modificări notabile ale structurii navei;
- Se mărește spațiul pentru marfă sau pasageri prin reducerea spațiului ocupat de compartimentul mașină (în cazul navelor propulsate electric);
- În cazul vapoarelor propulsate mixt motor-velă, consumul de combustibil scade iar pierderea de viteză este parțial acoperită de forța de tracțiune a velei ridicată la o anumită înălțime.

Printre cele mai utilizate sisteme neconvenționale, unele puse în practică, altele rămase doar în stadiul de cercetare, se numără:

- Vele rigide și/sau mobile acoperite sau nu cu celule fotovoltaice;
- Motoare electrice;
- Vela ridicată la o anumită înălțime - kite.

Propun spre folosire două motoare unul diesel de la MAN și unul electric.

Motorul diesel de mare putere va putea funcționa în timpul utilizării generatoarelor diesel dar și a surselor de energie neconvenționale. Motorul electric va avea ca sursă principală de alimentare cu energie electrică generatoarele de energie neconvenționale, respectiv turbinelor eoline verticale instalate pe puntea navei și balonul Flettner și ca sursă secundară generatoarele diesel.

Cele două motoare nu vor funcționa concomitent, funcționarea lor va fi făcută pe rând. Comutarea de pe un motor pe altul se va face printr-un sistem de reglare automat.

Sistemul de generatoare diesel, turbinele eoline verticale și balonul Flettner, vor fi controlate prin un sistem computerizat automat. În timpul traversadelor când sursele de energie neconvenționale sunt pornite, vom utiliza motorul electric. Principalele generatoare de energie electrică vor fi turbinele eoline verticale și balonul Flettner, dar în cazul în care energia produsă de acestea din urmă nu este suficientă, vor intra pe rând, la putere minimă, generatoarele diesel, cu rolul de a acoperi deficitul de energie existent. Prin utilizarea în caz de nevoie a generatoarelor diesel la putere minimă, reducem consumul de combustibil la minimum, astfel reducem poluarea și costurile.

6. Cercetarea emisiilor de CO_2 , SO_x și NO_x pe ruta Busan - Tacoma. Realizarea și analizarea situației meteorologice, calcularea costurilor privind implementarea și folosirea sistemului neconvențional de energie pe rută. Calcularea timpului de atenuare al investiției în urma instalării sistemului hibrid.

Folosind sistemul hibrid generator de energie neconvențională propus în această lucrare, armatorii navelor pot economisi o mare cantitate de combustibil, făcând astfel economii substanțiale și nu în ultimul rând, reducând poluarea.

Din păcate legislația în vigoare nu permite intrarea navelor în porturi cu surse de energie neconvenționale. Din această cauză sursele de energie neconvenționale din lucrare vor fi utilizate doar în timpul traversadelor transoceanice sau în timpul voiajelor lungi.

Utilizarea acestui sistem hibrid nu doar ajută la economisirea de combustibil, dar protejează și mediul înconjurător.

Utilizând sistemul hibrid, emisiile vor fi reduse la următoarele valori: CO_2 2,53%, SO_x 0,87%, NO_x 2,66% față de un sistem convențional.

Sistemul hibrid în acest caz ar reduce costurile consumului de combustibil cu 96,62 %, în condiții de vânt ideale.

Situația meteorologică în Oceanul Pacific de Nord este favorabilă, cu vânturi puternice în cursul anului, mai ales în timpul lunilor de iarnă, sistemul hibrid dovedindu-se eficient.

Costurile totale aproximative pentru implementarea sistemului hibrid format din patru turbine eoline verticale de mari dimensiuni și un balon Flettner cu helium: 700000\$.

Tabelul R V.4: Amortizarea investiției la o viteză a navei de 18 Nd

Viteza navei 18 Nd	Sistemul hibrid
Cost \$	700000
Cantitate de păcură (<i>HFO</i>) în tone, cumpărată la prețul de 350\$/t	2000
Amortizarea investiției- în Mm cu sistemul hibrid în stare de funcționare	11111
Cantitate de motorină cu conținut redus de sulf (<i>MGO</i>) în tone, cumpărată la prețul de 507\$/t	1381
Amortizarea investiției- în Mm cu sistemul hibrid în stare de funcționare	9206

7. Metodă originală de cercetare științifică prin utilizarea simulatorului Ansys Fluent

Prin utilizarea programului Ansys Fluent am studiat forțele exercitate de balonul Flettner, acționat de vântul de înălțime la diferite unghiuri de înclinare, în două planuri, pe suprafață dar și pe balon. Tot cu ajutorul programului Ansys Fluent am studiat forțele care apar în jurul navei datorită amplasării celor patru turbine eoliene verticale de mari dimensiuni pe puntea principală.

În urma aplicării forțelor s-a studiat comportarea navei în diferite condiții ale mării (calm, vânt slab, vânt puternic la suprafața mării dar și la înălțime).

Valorile forțelor sunt cele calculate numeric pe Ansys Fluent.

Datele meteorologice utilizate în Ansys Fluent sunt variabile în funcție de perioada și zona de navigație. Ele au fost colectate din programul meteo *SPOS*.

S-a putut studia astfel modificarea calităților nautice și manevriere ale navei în cazul propulsiei cu balonul Flettner instalat deasupra navei și cu cele 4 turbine eoline verticale de mari dimensiuni amplasate pe puntea principală.

Valorile vitezei vântului de la suprafața mării și ale vântului de altitudine au fost considerate pe baza datelor obținute din statisticile anuale și în conformitate cu scara Beaufort, utilizând programul *SPOS*.

Am folosit programul Ansys Fluent și pentru calculul distribuției vitezei și a presiunii ce se formează datorită vântului în jurul turbinelor eoline verticale de mari dimensiuni și a balonului Flettner.

Prin toate cele de mai sus, consider că toate obiectivele tezei au fost îndeplinite.

Capitolul 10 prezintă direcții de continuare a cercetărilor.

Consider că rezultatele obținute prin realizarea acestei lucrări sunt remarcabile, prin faptul că balonul Flettner și turbinele eoline verticale de mari dimensiuni sunt relevante ca dispozitive în captarea energiei eoliene și modelarea curgerii curentului indiferent de direcția vântului, pe o nava tip port-container.

Această lucrare de cercetare deschide calea unor viitoare perspective de cercetare și dezvoltare a domeniului conex, al surselor de energie verzi, a sistemelor hibride de alimentare cu energie electrică, provenind din surse neconvenționale (energia eoliană) și convenționale (combustibili fosili).

Consider că cercetările pot fi continuate în ceea ce privește mărirea capacității de înmagazinare a energiei electrice produse de balonul Flettner și turbinele eoline verticale.

Extinderea cercetărilor se poate face și în ceea ce privește producerea energiei electrice cu ajutorul balonului Flettner la altitudini mai mari de 300 de metri.

Studiile pot fi extinse și în ceea ce privește proiectarea și construcția navelor special echipate cu un sistem mixt de propulsie, în special a formei corpului, formei bulbului navei și a sistemelor de reducere a frecării navei cu apa.

O altă posibilitate de cercetare poate fi instalarea unor rotoare Flettner ce folosesc efectul Magnus pe puntea principală a navei, în locul turbinelor eoline verticale de mari dimensiuni.

Operarea dispozitivelor de captare a energiei eoliene amplasate la bordul navelor maritime implică cercetarea și găsirea de soluții optime în vederea aplicării practice a rezultatelor obținute în scopul reducerii consumurilor de combustibil, a cantităților de gaze emanate de motoarele navale și în final la reducerea gradului de poluare atmosferică.

Forma balonului Flettner, dar și a navei, reprezintă un subiect de cercetare interesant, studiile CFD urmând a fi validate pe modele (cu trecerea rezultatelor în natură prin similitudine) sau pe prototipuri.

Fiind o teză de doctorat ce tratează cercetările privind proiectarea și operarea navelor container în vederea îmbunătățirii eficienței energetice, a surselor de energie hibride – cea clasică combinată cu utilizarea energiei verzi, autorul vă mulțumește pentru orice sugestie sau recomandare ce poate duce la îmbunătățirea, perfecționarea sau continuarea cercetărilor realizate.

Anexe:

➤ Anexa I - Găsim schemele de legare a generatoarelor convenționale și neconvenționale la bara principală de curent a navei, desenate în programul AutoCAD și legenda acestora;

➤ Anexa II - Regăsim un tabel cu sursele alternative și convenționale generatoare de energie parte a sistemului hibrid propus și tabele cu consumatorii electrici ai navei, împărțiți pe diverse segmente;

➤ Anexa III - Conține tabele cu calculul emisiilor de NO_x clasificate pe diverși consumatori, cu diverși combustibili, calculate pentru ruta Busan-Tacoma;

➤ Anexa IV - Conține rezultatele simulărilor efectuate în programul Ansys Fluent.

VI. Bibliografie

- [1] ADARAMOLO M., **Wind turbine technology-Principle and design**, Editura: Apple Academic Press, Toronto- New Jersey, 2014.
- [2] BERGESON L., KENT G., **Sail Assist Developments 1979- 1985**, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 19, pag. 45-114, 1985.
- [3] BIRIS I., DEAC C. , MARINA M. A. A., **Valorificarea resurselor eoliene in România**, Sebeș, 2011.
- [4] BOSTAN I., DULGHERU V., SĂBOR I., BOSTAN V., SOCHIREAN A., **Sisteme de conversie a energiilor regenerabile**, Tehnica-Info, Chișinău, 2007.
- [5] CRAFT T. J., IACOVIDES H., JOHNSON N., LAUDER B. E., **Back to the future: Flettner-Thom rotors for maritime propulsion**, Begell House, , Londra, pag. 1–10 2012.
- [6] DARTE F., GONCALO G., NUNO F., TIAGO F., **The Hidrocat Project – An all electric ship with photovoltaic panels and hydrogen fuel cells**; World Electric Vehicle Journal Vol. 3; Norvegia, 2009.
- [7] DEMADI A., GAO Y., EHSANI M., **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles – Fundamentals, Theory, and Design**, CRC Press Taylor & Francis Group, Second Edition, Boca Raton, 2010.
- [8] DINU D., **Mecanica fluidelor pentru navigatori**, Nautica, Constanța, România, 2010.
- [9] DOTY S., TURNER C. W., **Energy management handbook**, The Fairmont Press, Seventh edition, Lilburn, 2009.
- [10] FAGIANO L., MILANESE M., PIGA D., **High Altitude Wind Generation: renewable energy cheaper than oil**, EU Conference *Sustainable development: a challenge for European research*, Brussels, Belgium, 2009.
- [11] FAGIANO L., MILANESE M., RAZZA V., GERLERO I., **Control of Power Kites for Naval Propulsion** - American Control Conference Marriott Waterfront, Baltimore, MD, USA, 2010.
- [12] GROȘAN V. N., **Cercetări privind propulsia cu vele a navelor comerciale - influența sistemelor neconvenționale de propulsie asupra calităților nautice**, Teza de doctorat, Universitatea Maritimă Constanța, Constanța, România, 2011.
- [13] HANTULA R., **Science in the real world - How do solar panels work?**, Chelsea Club House, New York, 2010.
- [14] HERMENEAN I., SÂNZIANA I., **Optimizarea eficienței sistemelor fotovoltaice prin orientarea biaxială și concentrare a radiației folosind oglinzi plane**, Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 2011.
- [15] HOUSKA B., DIEHL M., **Optimal Control for Power Generating Kites**, Conference on Control and Decision, San Diego, USA, 2006.
- [16] HOUSKA B., **Robustness and Stability Optimization of Open-Loop Controlled Power Generating Kites**, Lucrare de masterat, University of Heidelberg, Heidelberg, Germania, 2007.
- [17] HOUSKA B., DIEHL M., **Optimal control for power generating kites**. Proceedings of the European Control Conference. European Control Conference. Kos, Greece, 2007.
- [18] HOUSKA B., DIEHL M., **Optimal Control of Towing Kites**, Conference on Control and Decision, San Diego, USA, 2006.
- [19] JOHNSON N. D., **High-Reynolds Number Flow Past a Rotating Cylinder with and Without Thom Disc**, M.S. Thesis, School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Manchester, 2011.
- [20] LUCIAN V., **Instalații Eoliene- Îndrumator de inginerie, execuție, montare și exploatare a instalațiilor energetice eoliene**, Universitara, București, 2014
- [21] LUCIAN V., **Turbine eoliene- Manual de documentare, proiectare, dimensionare și montajul turbinelor eoliene**, Univeristara, București, 2015.

- [22] MOLLER H., **Ten times better than a conventional cloth sails**, University of Flensburg, 2006.
- [23] Naaijen P., Koster V., **Performance of auxiliary wind propulsion for merchant ships using a kite**, 2nd International Conference on Maritime Research and Transportation, ICMRT, Napoli, Italy, 2007.
- [24] NITĂ I., **Tehnologii de conversie a energiei neconvenționale**, Ovidius University Press, Constanța, 2008.
- [25] NUTTAL P., KAITU J., **The Magnus Effect and the Flettner Rotor: Potential Application for Future Oceanic Shipping**, *The Journal of Pacific Studies*, Vol. 36 Issue 2, 2016.
- [26] PARKER J., **Future Ships Powering Options- Exploring alternative methods of ship propulsion**, Royal Academy of Engineering, Marea Britanie, 2013.
- [27] PEARSON D. R., **The Use of Flettner Rotors in Efficient Ship Design**, The Royal Institution of Naval Architects, London, 2014.
- [28] PEATERSON G., **Spin Sail harness misterious Magnus Effect for ship propulsion**, *The What's New Magazine- Popular Science*, 1984.
- [29] RAGHEB M., **Nuclear Marine Propulsion**, India, 2018.
- [30] RAGHEB M., **Airborne wind turbine concepts**, 2010.
- [31] RUTKOWSKI G., **Study of Green Shipping Technologies - Harnessing Wind, Waves and Solar Power in New Generation Marine Propulsion Systems**, Gdynia Maritime University, Vol. 10, Nr 4, Gdynia, Poland, 2016.
- [32] SCUPI A. A., **Studiul dinamicii curgerii fluidelor pe suprafețe aerodinamice cu aplicații în propulsie neconvențională a navelor**, Teza de doctorat, Universitatea Maritimă Constanța, Constanța, România, 2013.
- [33] SHARMAL V., GIDWANIL L., **A Comprehensive Review: Energy Storage System for Hybrid System Including Wind Energy Generation System and Solar Energy Generation System for Utility Grid**, Department of Electrical Engineering, Rajasthan Technical University, Kota, India, 2017.
- [34] SILVANIUS M., **Wind assisted propulsion for pure car and truck carriers**, KTH Centre for Naval Architecture, 2009.
- [35] STOIAN (TICU) R. I., **Cercetări privind utilizarea surselor de energie neconvențională la propulsia navelor**, Teza de doctorat, Universitatea Maritimă Constanța, Constanța, România, 2014.
- [36] THOM A., **The Effect of Discs on the Air Forces on a Rotating Cylinder**, Aeronautical Research Committee Reports and Memoranda No. 1623, His Majesty Stationery Office, London, 1935.
- [37] TRAUT M., BOWS A., GILBERT S., MANDER P., STANSBY P., WALSH C., WOOD R., **Low C for the High Seas Flettner rotor power contribution on a route Brazil to UK**, Second International Workshop on Successful Strategies in Supply Chain Management Template, 2012.
- [38] TSICHLIS P. T., **Ship Energy Efficiency Management**, Naval Architect & Marine Engineer, Marea Britanie, 2017.
- [39] TSVETKOV P., **Nuclear Power - Deployment, Operation and Sustainability**, In Tech, Rusia, 2011.
- [40] VASILESCU M. V., **Advantages and disadvantages of different types of modern marine propulsions**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. II, 2018.
- [41] VASILESCU M. V., **Cavitation around propellers equipped with energy saving devices**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. II, 2016.
- [42] VASILESCU M. V., DINU D., **Influence of Flettner balloon, used as wind energy capturing system, on container ship stability**, *Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development Romania*, 2020.

- [43] **VASILESCU M. V., DINU D., Wind energy capturing devices with possible implementation on container ships**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. II, 2020.
- [44] **VASILESCU M. V., Flettner rotor with helium**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. II, 2019.
- [45] **VASILESCU M. V., Flettner rotors**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. II, 2019.
- [46] **VASILESCU M. V., PANAIT C., CIUCUR V. V., VOICU I., Influence of four modern Flettner Rotors, Used as Wind Energy Capturing System, on Container Ship Stability**, *Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development, Romania*, 2020.
- [47] **VASILESCU M. V., PANAITESCU M., PANAITESCU F. V., Ballast water treatment system with UV filter and advanced oxidation technology**, *Hidraulica (Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics)*, Romania, Vol. 3, 2019.
- [48] **VASILESCU M. V., PANAITESCU M., PANAITESCU F. V., DINU D., PANAIT C., Efficiency of using a hybrid marine propulsion system vs. conventional system**, *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies, Romania*, 2020.
- [49] **VASILESCU M. V., PANAITESCU M., PANAITESCU F. V., DINU D., PANAIT C., Choose the best electricity sources for a container ship, by using a hybrid optimization model for electric renewable**, *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies, Romania*, 2020.
- [50] **VASILESCU M. V., PANAITESCU M., PANAITESCU F. V., Marine Impressed Current Cathodic Protection system**, *Hidraulica (Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics)*, Romania, Vol. 4, 2019.
- [51] **VASILESCU M. V., PANAITESCU M., PANAITESCU F. V., Reducing polluting emissions generated by ships with the help of renewable energy devices. Connecting renewable energy devices to the main switchboard of a ship**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. I, 2020.
- [52] **VASILESCU M. V., Photovoltaic Cells-Project of using them on Cargo Ships**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. II, 2015.
- [53] **VASILESCU M. V., Safe mooring using improved shore tension system-economy of energy and costs**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. I, 2017.
- [54] **VASILESCU M. V., Wind energy and Container Ships**, *Journal of Marine Technology and Environment, Romania*, Vol. I, 2016.
- [55] **WELLICOME J. F., Some Comments on the Relative Merits of Various Wind Propulsion Devices**, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 20, pag. 111-142, 1985.
- [56] **Williams P., Lansdorp B., Ockels W., Optimal cross wind towing and power generation of tethered kites**, *AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit*, Hilton Head, South Carolina, 2007.
- [57]*** **ANSYS Fluent 12.0- Theory Guide**, 2009
- [58]*** **Hybrid Propulsion**, MAN Diesel & Turbo, Germania, 2017.
- [59]*** **Renewable energy technologies: cost analysis series- Solar Photovoltaics**, IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY), Vol. 1: Power Sector, Iunie, 2012.
- [60]*** **Man B&W G95ME-C9.5**, MAN B&W, Germania, 2014.
- [61]*** **Motors-Medium/High Voltage and High Speed**, GE power conversion, USA, 2014.
- [62]*** **N 3 Series Model N37 MV Induction Motor 4 Pole 50 Hz**, GE power conversion, USA, 2015.
- [63]*** **Ship Energy Efficiency Measures- Status and Guidance**; ABS, Marea Britanie, 2018.

[64]*** **The Sulzer RT-fl ex Common-Rail System Described**, Wärtsilä Switzerland Ltd, Elveția, 2004.

Internet

[65] http://www.armonianaturii.ro/Sursele-deenergieneconvențională.html*article_ID_1193-articol, accesat la 11 Septembrie 2019.

[66] <http://www.thiink.com/advantages-rfr-technology>, accesat la 2 Iunie 2019.

[67] <http://www.ultracondensatoare.ro/supercondensatori>, accesat la 5 Iunie 2019.

[68] <http://www.greencarcongress.com/2016/03/20160319-flettner.html>, accesat 13 Mai 2019.

[69] <http://www.thiink.com/advantages-rfr-technology>, accesat la 2 Iunie 2019.

[70] <http://www.ultracondensatoare.ro/supercondensatori>, accesat la 5 Iunie 2019.

[71] <http://www.ltawind.com/Downloads/HAWT%20requirements%20whitepaper%20v1.pdf>, accesat la 2 Iunie 2019.

[72] <http://aweia.org/new/index.php/publication/49-high-altitude-wind-energy>, accesat la 5 Iunie 2019.

[73] <http://www.nature.com/nclimate/journal/v3/n2/full/nclimate1683.html> accesat la 5 Iunie 2019.

[74] <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/2948/air-rotor-system-produces-energy-from-wind>, accesat la 12 Iunie 2019.

[75] http://www.termo.utcluj.ro/regenerabile/6_3.pdf, accesat la 10 Septembrie 2019.

[76] <http://www.785.ro/wp-content/uploads/energie-eoliana-studiu-de-vant-teren.pdf>, accesat la 10 Septembrie 2019.

[77] <http://www.ecomagazin.ro/energia-eoliana-si-alte-surse-regenerabile-de-energie-in-romania/>, accesat la 10 Septembrie 2019.

[78] http://www.mircea-gogu.ro/pdf/Curs_Conversia_neconvențională_a_energiei_electrice, accesat la 10 Septembrie 2019.

[79] <http://www.ecosolutions.gr/files/content/docs/Gual/Gual%20Texn%20Parousiasi.pdf>, accesat la 11 Septembrie 2019.

[80] <http://www.magicland.ro/index.php/Sistemul-Solar/soarele.html>, accesat la 10 Septembrie 2019.

[81] http://www.energy-consultancy.eu/energy_consultancy/_rosolar.htm, accesat la 12 Septembrie 2019.

[82] <http://www.ziare.com/mediu/energie-regenerabilă/10-surse-de-energie-regenerabilă-1131743>, accesat la 12 Septembrie 2019.

[83] <http://www.elewatt.ro/energia-solara/celule-solare>, accesat la 16 Septembrie 2019.

[84] http://ro.wikipedia.org/wiki/Celul%C4%83_solar%C4%83#Celule_cu_contrator, accesat la 16 Septembrie 2019.

[85] <http://www.solecs.eu/p-29/module-solare-fotovoltaice/>, accesat la 16 Septembrie 2019.

[86] <http://www.global-greenhouse-warming.com>, accesat la 17 Septembrie 2019.

[87] http://ro.wikipedia.org/wiki/Energie_solar%C4%83, accesat la 21 Septembrie 2019.

[88] http://www.rets-project.eu/UserFiles/File/pdf/respedia/07%20Solar%20energy%20Photovoltaics/Solar-energy---Part-I--Photovoltaics_RO.pdf, accesat la 21 Septembrie 2019.

[89] <http://e-panouri.eu/product/panouri-fotovoltaice/sistem-solar-tracker/>, accesat la 20 Septembrie 2019.

[90] <http://www.cheso.ro/sisteme-urmărire-soare-solar-tracker.php>, accesat la 20 Septembrie 2019.

[91] <http://www.solar-magazin.ro/solare/energia-solară-avantaje-și-dezavantaje.html>, accesat la 17 Octombrie 2019.

[92] http://www.termo.utcluj.ro/regenerabile/5_3.pdf, accesat la 17 Octombrie 2019.

[93] http://ro.wikipedia.org/wiki/Celul%C4%83_solar%C4%83, accesat la 20 Octombrie 2019.

- [94] <http://www.sismecenergetic.ro/pdf/1.%20Energia%20solara.pdf>, accesat la 20 Octombrie 2019.
- [95] <http://www.sismecenergetic.ro/pdf/1.%20Energia%20solara.pdf>, accesat la 20 Octombrie 2019.
- [96] <http://www.fast-wolf.ro/energie-regenerabila/metode-de-utilizare-pentru-energia-solara.html>, accesat la 20 Octombrie 2019.
- [97] <http://greenupgrader.com/3376/toyota-nippon-solar-hybrid-cargo-ship/>, accesat la 20 Octombrie 2019.
- [98] <http://www.bbc.com/news/technology-22636565>, accesat la 22 Octombrie 2019.
- [99] http://www.science20.com/mark_halper/kite_energy_leveraging_jet_stream_renewable_power-93059, accesat la 23 Octombrie 2019.
- [100] <http://www.newdesign002.quarbz.com/marine-testing/>, accesat la 24 Octombrie 2019.
- [101] <http://www.sciencedirect.com/topics/engineering/drag-coefficient>, accesat la 23 Octombrie 2019.
- [102] <http://niblick.wordpress.com/2010/12/28/auriga-leader-spotted/>, accesat la 20 Octombrie 2019.
- [103] <http://www.wired.com/2011/06/solar-car-carrier-sees-the-light-of-day-with-hybrid-power/>, accesat la 20 Octombrie 2019.
- [104] <http://naturefan.wordpress.com/2012/05/18/planet-solar/>, accesat la 21 Octombrie 2019.
- [105] <http://greenspotter.ro/2012/08/generator-solar-si-lunar-de-energie/>, accesat la 17 Octombrie 2019.
- [106] <http://www.greenspotter.ro/2012/08/generator-solar-si-lunar-de-energie/>, accesat la 17 Octombrie 2019.
- [107] <http://www.archive.datacenterdynamics.com/focus/archive/2013/05/google-acquires-kite-power-generation-company> accesat la 5 Iunie 2019.
- [108] <http://dantalmaciu.wordpress.com/2014/08/20/sfera-fotovoltaica-care-urmareste-soarele/>, accesat la 17 Octombrie 2019.
- [109] <http://www.ames.ro>, accesat 24 Ianuarie 2015.
- [110] <http://www.dantalmaciu.wordpress.com>, accesat 24 Ianuarie 2015.
- [111] <http://www.greenspotter.ro>, accesat 24 Ianuarie 2015.
- [112] <http://www.norwegiancreations.com/2019/02/the-magnus-effect/>, accesat la 22 Octombrie 2019.
- [113] <http://www.norsepower.com>, accesat 13 Mai 2019.
- [114] <http://marine.man-es.com>, accesat 13 Mai 2019.
- [115] <http://www.greatlakes-seaway.com>, accesat 15 Mai 2019.
- [116] <http://www.semanticscholar.org>, accesat 15 Mai 2019.
- [117] <http://www.ecomarinepower.com>, accesat 15 Mai 2019.
- [118] <http://www.lshipdesign.blogspot.in>, accesat 15 Mai 2019.
- [119] <http://www.greatlakes-seaway.com>, accesat 15 Mai 2019.
- [120] <http://www.ecomarinepower.com>, accesat 15 Mai 2019.
- [121] <http://www.lshipdesign.blogspot.in>, accesat 15 Mai 2019.
- [122] <http://www.inerjy.com/>, accesat 19 Mai 2019.
- [123] <http://www.inerjy.com/>, accesat 19 Mai 2019.
- [124] <http://www.renewablesinternational.net>, accesat 20 Mai 2019.
- [125] <http://www.renewablesinternational.net>, accesat 20 Mai 2019.
- [126] <http://www.skysails.info/english/>, accesat la 23 Mai 2019.
- [127] <http://www.skysails.info/english/>, accesat la 23 Mai 2019.
- [128] <http://www.ship-efficiency.org>, accesat la 1 Iunie 2019.
- [129] <http://www.ship-efficiency.org>, accesat la 1 Iunie 2019.
- [130] <http://segelenergie.de>, accesat la 2 Iunie 2019.
- [131] <http://segelenergie.de>, accesat la 2 Iunie 2019.
- [132] <http://www.walleniuslines.com/>, accesat la 5 Iunie 2019.

- [133] <http://www.walleniuslines.com/>, accesat la 5 Iunie 2019.
- [134] <http://www.textroad.com/pdf/> accesat la 5 Iunie 2019.
- [135] <http://www.google.com/makani/technology/> accesat la 5 Iunie 2019.
- [136] <http://www.rawlemon.com>, accesat 6 Iunie 2019.
- [137] http://en.wikipedia.org/wiki/Rotor_ship, accesat la 6 Iunie 2019.
- [138] <http://www.rawlemon.com>, accesat 6 Iunie 2019.
- [139] http://en.wikipedia.org/wiki/Rotor_ship, accesat la 6 Iunie 2019.
- [140] <http://www.semanticscholar.org>, accesat la 10 iunie 2019.
- [141] <http://www.slashgear.com> accesat la 10 Iunie 2019.
- [142] <http://www.jobyenergy.com/tech/visit>, accesat la 12 Iunie 2019.
- [143] <http://www.sunair.ro>, accesat la 12 Iunie 2019.
- [144] <http://www.wall-street.ro>, accesat la 15 Iunie 2019.
- [145] <http://www.regio.adrcentru.ro/>, accesat la 15 Iunie 2019.
- [146] <http://www.polarpower.org/static/doc>, accesat la 15 Iunie 2019.
- [147] <http://www.greenstart.it>, accesat 4 Iulie 2019.
- [148] <http://www.altaaerosenergies.com>, accesat la 10 Septembrie 2019.
- [149] <http://www.fastcoexist.com>, accesat la 10 Septembrie 2019.
- [150] <http://ro.wikipedia.org/wiki/Soare>, accesat la 11 Septembrie 2019.
- [151] <http://www.ecoplay.ro/blog/?p=165>, accesat la 20 Septembrie 2019.
- [152] <http://www.globalsources.com/>, accesat la 21 Octombrie 2019.
- [153] <http://www.kitegen.com>, accesat la 23 Octombrie 2019.
- [154] <http://www.sdtb.de/Flettner-Rotor.1623.0.html>, accesat la 20 Mai 2019.
- [155] <http://www.sdtb.de/Flettner-Rotor.1623.0.html>, accesat la 20 Mai 2019.
- [156] <http://www.renewables-made-in-germany.com>, accesat la 15 Iunie 2019.
- [157] <http://www.agir.ro/buletine/1863.pdf>, accesat la 10 Septembrie 2019.
- [158] <http://www.science.howstuffworks.com>, accesat la 10 Septembrie 2019.
- [159] <http://www.lucros-group.eu/ampyx-power/>, accesat la 23 Octombrie 2019.