

**MASTER
MODELARE ȘI SIMULARE ÎN INGINERIA MECANICĂ**

LUCRARE DE DISERTAȚIE

**Optimizarea extragerii energiei valurilor cu
sisteme dinamice**

**Autor:
ing. Gherghe Adrian**

**Îndrumător științific
conf.dr..ing Sorin Ciortan**

Galați, 2021

Cuprins

Introducere.....	4
Capitolul 1. Extragerea energiilor regenerabile	5
1. Tipuri de energie regenerabilă	5
1.1. Energia eoliană.....	5
1.1.1 Istoricul turbinelor eoliene.....	5
1.1.2 Importanța turbinelor eoliene	6
1.2. Energia valurilor.....	8
1.2.1. Sistemul de conducte sub presiune	8
1.2.2. Sistemul bazat pe ascensiunea lichidului.....	11
1.2.3. Sistemul pistonului lichid	13
1.3 Energia solară.....	16
1.3.1 Materiale și eficiență.....	17
1.3.2 Evoluția celulelor solare	19
1.3.3 Principiul de funcționare al celulelor solare	20
1.4 Avantaje și dezavantaje în utilizarea energiilor regenerabile	22
1.4.1 Energia valurilor - Wave energy.....	22
1.4.2. Energia vântului - Wind energy.....	22
1.4.3. Energia solară - Solar energy.....	23
Capitolul 2. Elemente teoretice ale sistemelor dinamice	24
Generalități.....	24
2.1. Clasificarea sistemelor	24
2.2 Metode de simulare cu sisteme dinamice	26
2.3 Scopul simulării	28
2.3.1 Avantajele simulării computerizate	29
2.3.2 Dezavantajele simulării computerizate.....	29
2.3.3 Particularități în dezvoltarea unei simulări computerizate	30
2.4 Simularea cu sisteme dinamice în Vensim	30
2.4.1 Interfața-utilizator în Vensim	31

2.4.2 Bazele simulării în VENSIM.....	31
Capitolul 3. Analiza cu sisteme dinamice a eficienței convertoarelor de val	34
3.1 Necesitatea optimizării alegerii convertorului de energie a valurilor în funcție de zona de instalare	34
3.2 Construirea modelului dinamic	36
3.3 Analiza rezultatelor simulării.....	41
Concluzii.....	44

Introducere

Pe parcursul timpului, oamenii au ajuns la concluzia faptului că sănătatea individuală a fiecăruia este influențată în mod direct de starea mediului înconjurător, astfel încercând în permanență să dezvolte și să producă energie, protejându-l.

Ținând cont de faptul că producerea energiei, pana acum un secol, se raporta doar la extragerea de combustibili fosili, cum ar fi gazele naturale, petrolul sau cărbunii, iar pe lângă acest lucru, sursele fiind unele neregenerabile, au forțat implementarea altor soluții și găsirea altor metode de producere a energiei, prin surse regenerabile, care să nu afecteze la fel de mult mediul înconjurător.

Utilizarea excesiva a surselor neregenerabile mai sus menționate deja au început să genereze urmări sesizabile pentru fiecare, cum ar fi încălzirea globală, subțierea stratului de ozon, scăderea calității aerului pe care îl inspirăm și expirăm sau chiar dispariția anumitor specii de viețuitoare de pe Terra. Astfel, pentru oameni soluționarea acestui factor dăunător a devenit o prioritate, iar mijloacele de producere a energiei s-au îndreptat către alte surse.

Scopul lucrării este acela de a detalia și analiza tipurile de energii regenerabile, punând accent pe cea care utilizează apa drept mijloc.

Energia regenerabilă se raportează în principal pe marele reactor de fuziune nucleară, acesta fiind Soarele. Metodele de captare și de prelucrare ale acestei energii este posibilă prin intermediul panourilor fotovoltaice și reprezintă o imensă sursă prin care putem obține energie.

Pe lângă aceasta soluție, energia a mai putut ajunge a fi produsă prin intermediul Lunii, care prin gravitația sa generează marea, sau al vântului provocat de mișcarea de rotație a Pământului.

Aceste surse reduc în mod substanțial nivelul de afectare a mediului înconjurător, au un potențial caloric foarte bun și sunt disponibile aproape oriunde în lume. În plus, dezvoltarea acestei industrii a pus la dispoziție mai multe departamente care au generat locuri de muncă pentru oameni.

În egală măsură, orice soluție vine împreună cu o serie de avantaje și dezavantaje, modul de producere a energiei prin intermediul surselor regenerabile nefăcând excepție de la această regulă, însă dacă ne raportăm la categoria de riscuri utile și riscuri inutile, acesta reprezintă cu siguranță unul care merită să fie asumat. Despre aceste avantaje și dezavantaje voi detalia mai mult pe parcursul lucrării.

Capitolul 1. Extragerea energiilor regenerabile

1. Tipuri de energie regenerabilă

Actualmente persistă o tendință acută de îndreptare spre dobândirea energiei electrice din surse regenerabile, din care cauză sunt puse în practică diferite instalații care convertesc energiile alternative în energie electrică care ulterior poate fi utilizată în diferite scopuri, fiecare metodă având anumite avantaje și dezavantaje în raport cu alte metode de obținere a energiei electrice, pe baza resurselor regenerabile .

Energia eoliană a cunoscut o dezvoltare rapidă având un potențial de generare a energiei electrice imens și competitiv, din punct de vedere economic, cu toate acestea site-urile pentru a construi ferme eoliene inestetice sunt greu de găsit și se confruntă adesea cu opozițiile locale, din cauza zgomotului creat. O soluție poate fi construcția turbinelor eoliene pe mări, unde condițiile sunt perfecte, dar acest lucru este extrem de costisitor.

1.1. Energia eoliană

Energia eoliana reprezintă o sursă de energie generată de puterea vântului, aceasta fiind una regenerabilă. Vânturile, la rândul lor, sunt formate datorită faptului că Pământul nu este acoperit în mod uniform de către Soare din punct de vedere termic, iar acest factor produce mișcări de aer. Energia produsă de vânt este folosită pentru angrenarea turbinelor, acestea fiind capabile să genereze energie electrică. Unele dintre turbine pot produce 5MW, deși viteza vântului este necesar să ajungă la 5m/s sau la 20km/h. Zonele de pe Pământ unde sunt regăsite aceste viteze constante sunt foarte puține, însă viteze mari se ating în zone montane cu vârfuri înalte, dar și în zonele oceanice.

Energia eoliană începe să fie destul de folosită în ziua de astăzi [1], aceasta fiind sursa cu cea mai rapidă ascendență în ultima perioadă. Mare parte din turbinele deja existente produc energie în peste 25% din timp, procentul fiind în creștere pe perioada iernii, deoarece atunci vânturile sunt mai puternice.

Deși încă nu se poate considera că această sursă de energie este una foarte folosită în majoritatea țărilor, numărul centralelor eoliene s-a mărit de 5 ori în ultimii ani, iar în țări precum Danemarca, Germania, Spania, energia produsă de vânt a ajuns la 10-23% din consumul total de energie.

Se preconizează că produsul energetic la nivel mondial generat de turbine eoliene poate asigura de aproape șase ori mai multă energie decât consumul actual, [2]. Pentru ca acest nivel de exploatare să poată fi posibil, este necesar ca pe aproximativ 13 procente din suprafața Terrei să se instaleze ferme eoliene, fiind necesar ca pe o suprafață de un km pătrat să existe un minim de 5 turbine. Acest studiu ține cont doar de tehnologia deja existentă, neluându-se în calcul și o eventuală avansare a tehnologiei și a îmbunătățirii randamentelor turbinelor.

1.1.1 Istoricul turbinelor eoliene

Energia eoliană este o sursă de energie nepoluantă și face parte din primele surse utilizate de mai bine de 10 mii de ani. Se presupune ca în Egipt, oamenii foloseau vântul pentru a se deplasa pe apă cu bărci, prin intermediul pânzelor, încă de acum 5000 de ani. În apropierea secolului I, în Afganistan, morile de vânt erau utilizate în agricultură. Instalațiile eoliene asigurau de asemenea funcționarea sistemelor de irigare în Creta. Morile pentru măcinarea boabelor reprezintă una dintre cele mai mărețe descoperiri; în secolul XV, cei din Țările de Jos au oferit un plus morilor de vânt care erau folosite în zonele apropiate lor, începând astfel să utilizeze pe scară largă energia vântului pentru a ușura munca agricolă, iar moara de vânt (figura 1.1) este strămoșul generatoarelor eoliene.



Figura 1.1 - Moara de vânt

În secolul XII, a apărut pentru prima dată moara cu vânt cu pale profilate; chiar dacă nu este considerată o tehnologie complicată, a fost nevoie de cercetări în domeniul aerodinamic pentru realizarea palelor. Acestea se utilizau în principal tot în domeniul agricol, pentru pomparea apei sau pentru măcinarea cerealelor.

Revoluția industrială a reprezentat un nou pas realizat de către tehnologia morilor de vânt, prin apariția a noi materiale și, în consecință, utilizarea metalului a dus la posibilitatea realizării formei turnului și creșterea considerabilă a mașinilor (Figura 1.2).



Figura 1.2 - Turbina eoliană modernă

1.1.2 Importanța turbinelor eoliene

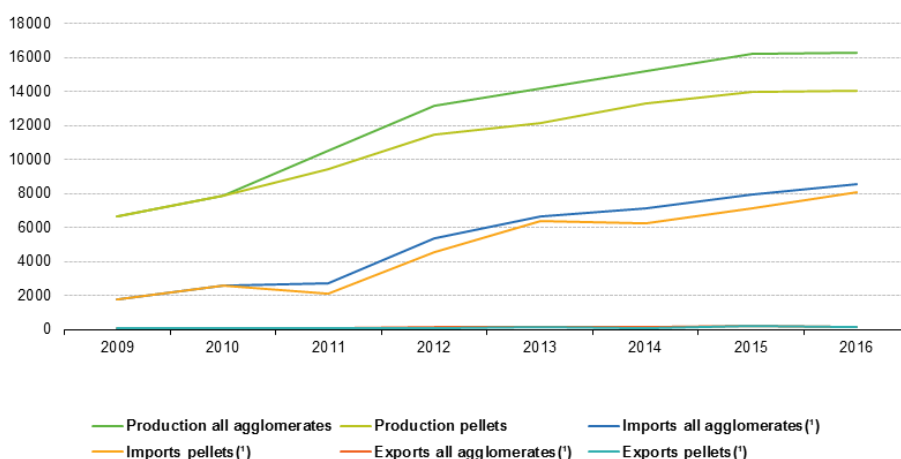
Energia eoliană face parte din categoria celor regenerabile, aceasta folosindu-se de puterea vântului, fiind de asemenea benefică din punct de vedere ecologic, neproducând emisii în atmosfera, neformând deșeuri radioactive, iar pe lângă aceste avantaje, vântul fiind sursa energică, costurile producerii acesteia sunt 0.

Există 3 factori care au determinat ca soluția turbinelor eoliene să devină competitivă:

- ameliorarea performanțelor aerodinamice în conceperea turbinelor eoliene;
- dezvoltarea electronicii de putere;
- finanțarea națională pentru implantarea de noi eoliene

Pe plan mondial, în prezent, ponderea energiilor regenerabile care produc energie electrică este scăzută, însă ameliorările tehnologice favorizează instalarea generatoarelor eoliene într-un ritm constant crescător în ultimii ani, evoluând exponențial

Production and trade in wood pellets and other agglomerates, EU-28, 2009–2016
(1 000 tonnes)



(¹) Extra-EU trade.
Note: EU-27: 2008–2011

Source: Eurostat (online data code: for_basic)

eurostat

Figura 1.3 - Ponderea energiilor utilizate pe plan mondial

Costurile și eficiența în privința unui proiect eolian se reportează atât la prețul de fabricație a eolienei, cât și la întreținerea acesteia, precum și de cel al vânzării energiei. Se estimează că instalarea unui kW eolian poate costa până la 1000 euro. Datorită creșterii producției de eoliene și a progreselor tehnologice din ultimii ani, reducerea prețurilor devine constantă.

În țări precum Germania și Danemarca, investitorii sunt fie grupuri industriale mari, fie agricultori sau particulari. Dezvoltarea tehnologiilor bazate pe energia vântului a permis în egală măsură disponibilitatea a multor locuri de muncă pentru diferite sectoare, cum ar fi producerea componentelor, instalarea și întreținerea acestora, precum și în domeniul cercetării și dezvoltării. În Danemarca se înregistrează peste 15.000 angajați, pe când în Germania numărul acestora ajunge la 30.000, toți direct sau indirect implicați în domeniul eolian.

Datorită faptului că resursele vântului sunt imense, energia eoliană este considerată drept una dintre opțiunile cele mai durabile dintre variantele pentru viitor, estimându-se că aceasta, la nivel mondial, se situează la aproximativ 53.000 TW ,reprezentând de 4 ori mai mult decât consumul actual de electricitate.

Firma nemțescă numită West Wind, specializată în procesul de proiectare și de fabricație a centralelor eoliene deține cu aproximație 20 de mii de astfel de centrale, distribuite pe tot globul, dintre care jumătate sunt amplasate pe teritoriul Olandei. Conform specialiștilor germani, condițiile existente în Munții Călimani sunt foarte avantajoase pentru acest tip de centrale, iar costurile instalării uneia ajung la 300.000 de euro, fiind estimat că amortizarea investiției s-ar realiza în aproximativ doi ani, acest termen variind în funcție de clienții cărora firma le poate vinde energia produsă.

1.2. Energia valurilor

Există peste 40 de tipuri de mecanisme propuse la nivel de proiect [3], dintre care doar unele sunt funcționale. Acestea se diferențiază în funcție de poziția față de coastă, fiind amplasate în țărâm, în larg sau în apropierea coastei. O prima clasificare separă aceste sisteme de valorificare a energiei valurilor în sisteme cu coloană oscilantă de apă, sisteme de acumulare de apă și sisteme de plutitori antrenați de val.

Dispozitivele care sunt amplasate în apropierea țărmurilor sunt fixate pe fundul mărilor și al oceanelor unde adâncimea nu este foarte mare și sunt conectate în imediata apropiere a țărmurilor sau chiar pe suprafața acestora [4]. Unul dintre dispozitive care folosește tehnologia conceptului de Coloană de Apă Oscilatorie (Oscillating Water Column – OWC) de rețele electrice concepute prin energia valurilor a fost Wavegen's Limpet (Tehnologia de exportare pe uscat a energiei marine), instalată pe insula Islay , Scoția. Acestea pot fi de altfel amplasate și în alte structuri, de exemplu digurile. Turbina Wells din interior produce electricitate datorită rotațiilor în aceeași direcție, indiferent de mișcarea aerului.

1.2.1. Sistemul de conducte sub presiune

Astfel presiunea exercitată pe suprafețe mai mari este transmisă prin intermediul unui lichid, prin conducție, către o suprafață mai mică, multiplicându-se astfel forța pe unitate de suprafață. Printr-un sistem mecanic, forța realizează rotirea generatorului electric.

Ansamblul sistem-structură de captare este realizat dintr-un ponton greu prin mijlocul căruia străbate o conductă în care apa oscilează, antrenată de valuri, astfel comprimând și aspirând aerul deasupra acesteia într-o încăpere poziționată pe un plutitor bine ancorat pe o fundație rigidă. Pistonul lichid acționează astfel un volum limitat de aer, care pune în mișcare rotorul unei turbine cuplate la un generator electric.

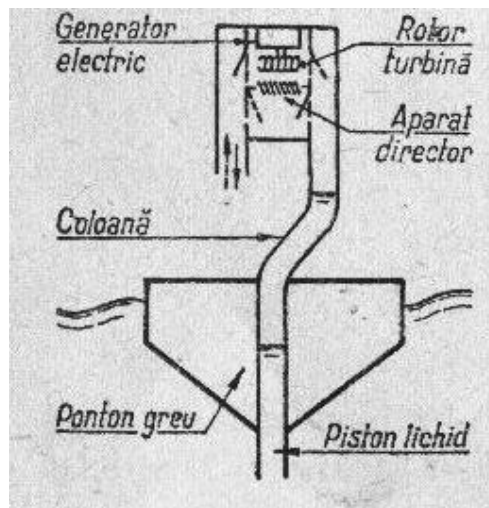


Figura 1.4 - Instalație cu ponton greu și piston lichid

Ansamblul de supape, asemenea aparatului director, impune curentului de aer condiții optime de valorificare. Pontonul este nevoie să fie construit astfel încât să rămână cât mai imobil în masa agitată a valurilor – figura 1.4. Orice oscilație a pontonului epuizează în mod inutil din energia înmagazinată de vânt în apa mării sau a oceanului.

Soluția a fost testată pe mare și s-au obținut rezultatele cele mai bune în amplasamente cu valuri a căror înălțimi medii au variat între 2 și 4 m, cu randament estimat între 30 și 70 %. Pentru o turbină cu diametrul de 200mm realizată dintr-un aliaj de aluminiu, puterea nominală a fost de 60 W, iar durata de funcționare a fost apreciată la mai mult de 3 ani, anul 1960 reprezentând punerea în exploatare a primelor valize și geamanduri luminoase în Marea Japoniei, alimentate cu energie electrică provenită din valuri, iar mai târziu, în 1967, s-au realizat hidrocentrale marine de capacitate redusă.

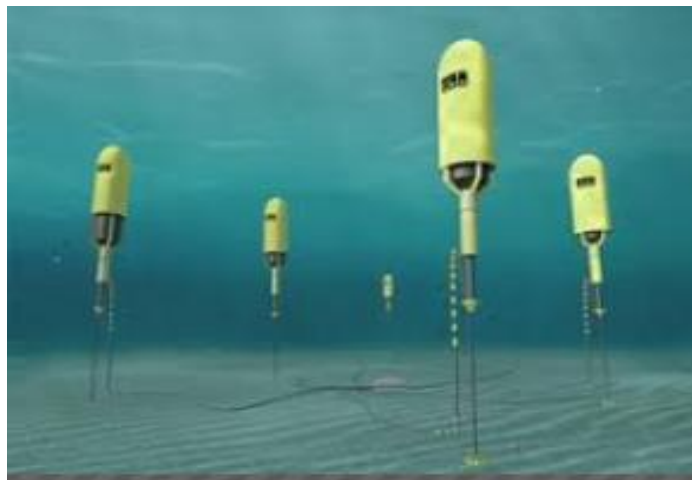


Figura 1.5 - Sistem de conducte sub presiune

Instalația cu piston acționat de valuri. Soluția constă în transmiterea forței mecanice dată de un volum mare de valuri de joasă presiune, printr-un sistem de două pistoane cu diametre diferite, unui volum mic de lichid auxiliar, căruia îi ridică astfel presiunea, determinând stocarea lui în acumulatori hidraulici interioare – figura 1.6.

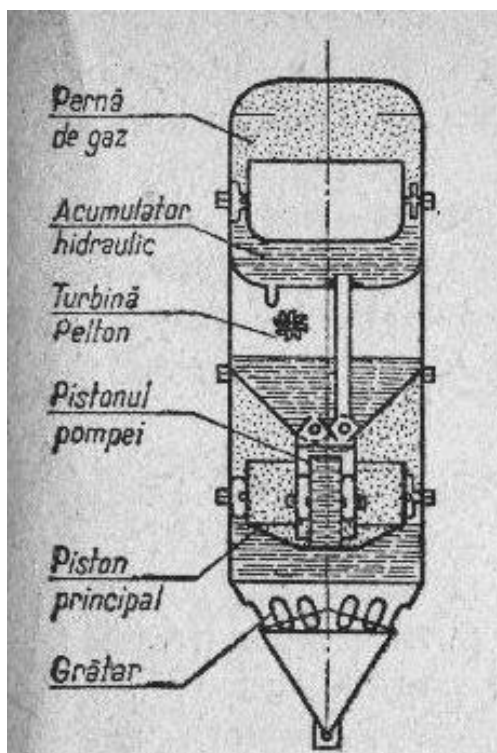


Figura 1.6 - Instalație cu piston acționat de valuri și acumulator hidraulic interior

În diverse zone au fost concepute și alte tipuri de instalații cu scopul valorificării energiei valurilor, acestea fiind studiate de-a lungul timpului în laboratoare și în natură, rezultatele fiind întotdeauna cele mai spectaculoase. Specialiștii preconizează că potențialul energetic brut al valurilor de pe cei 200km de litoral românesc al Mării Negre se ridică la valoarea de cca. $8 \cdot 10^9$ kWh/an, potențialul energetic tehnic utilizabil estimându-se la $4 \cdot 10^9$ kWh/an, iar acest lucru ar conduce la o economie de combustibil convențional de aproximativ 2 milioane de tone pe an. Procedeele de captare proiectate sunt specifice valurilor neregulate și constă în preluarea directă, prin intermediul unui plutitor, a mișcării pe verticală a apei, fără transport de debit – figura 1.5, transmisia mișcării este realizată cu ajutorul unui generator rectiliniu (a cărui flux magnetic este făcut astfel să varieze), această mișcare fiind transformată în curent electric alternativ, cu frecvență neregulată, care poate fi folosit în stare brută ca sursă de căldură.

Echipamentul hidraulic a unui element de captare este format dintr-un plutitor, care preia valurile neregulate (cu înălțimea cuprinsă între 50 mm și 9 m) și din echipamentul electric principal (alcătuit dintr-o parte mobilă legată cu articulații de plutitor și o parte fixă, solidară cu structura imobilă). Soluția prezentată impune realizarea unei structuri plutitoare cât mai stabile în masa agitată a valurilor, capabilă să susțină echipamentul energetic.

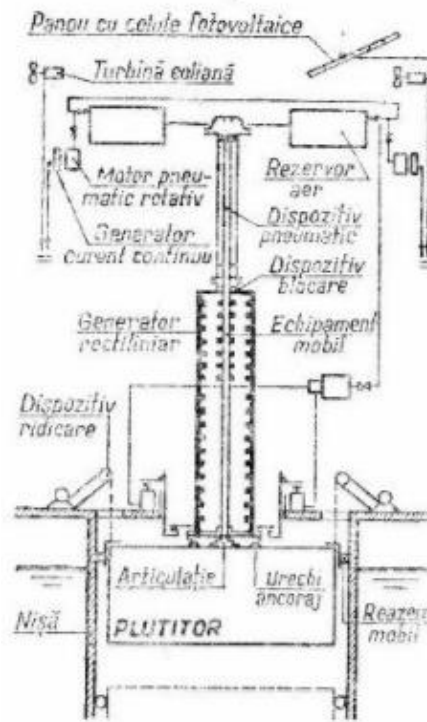


Figura 1.7 - Schița unei instalații românești destinată valorificării în scop energetic a forței mecanice a valurilor din Marea Neagră

O caracteristică deosebită o constituie posibilitatea nelimitată de dezvoltare pe verticală a instalațiilor, precum și capacitatea individuală a elementelor.

1.2.2. Sistemul bazat pe ascensiunea lichidului

În jurul anilor 1940, în apropiere de Alger în Marea Mediterană a fost pusă în funcțiune prima instalație modernă ce consta într-o structură concepută după principiul planului înclinat și un spațiu de acumulare. Soluția se bazează pe faptul că, în contact cu o construcție rigidă și sub acțiunea valurilor, nivelul suprafeței libere al apei crește. Aceasta este recepționată într-o structură cu radier curb înclinat, care se opune direcției de înaintare a frontului de val. Cantitatea de apă care ajunge între doi pereți convergenți atinge o înălțime maximă a valului, deversând mai apoi într-un rezervor conceput pentru a reține apa la o cotă superioară nivelului mediu al mării. Prin căderea efectuată, apa reținută antrenează turbinele care la rândul lor pun în mișcare generatorii electrice. Curburile pereților convergenți sunt ghidate de forme hidraulice optime, care fac ca întreaga construcție să realizeze o diferență cât mai mare între nivelul mediu al mării și cel maxim al apei din bazinul de acumulare – figura 1.8.

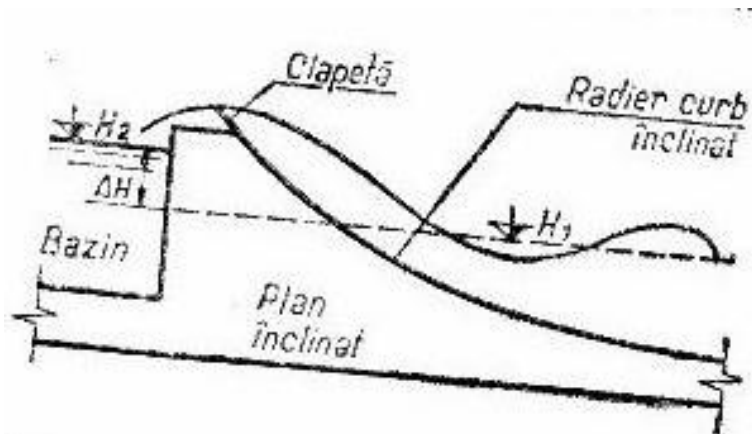


Figura 1.8 - Instalație cu plan înclinat și bazin

Instalația cu plutitor și valvă clapet pe coloană – figura 1.9. Structura este alcătuită dintr-un plutitor ce susține o coloană verticală pe traseul căreia este atașată o valvă clapet. Aceasta este realizată în așa fel încât să se închidă timp de jumătate din durata unui ciclu de val, forțând apa din conductă să urmeze mișcarea plutitorului. La schimbarea direcției de mișcare a flotorului, apa continuă să se ridice în ciuda inerției, la un nivel superior înălțimii valului. Realizarea succesivă a ciclurilor susține înălțimea coloanei de apă până se ajunge la presiunea necesară acționării turbogeneratorului, s-a experimentat o instalație a cărei lungime a măsurat 90 m, cu un diametru al coloanei de 4,5 m. La valuri ce au înălțimea medie de 2,4 m, sistemul de captare și conversie a generat o putere de 300kW.

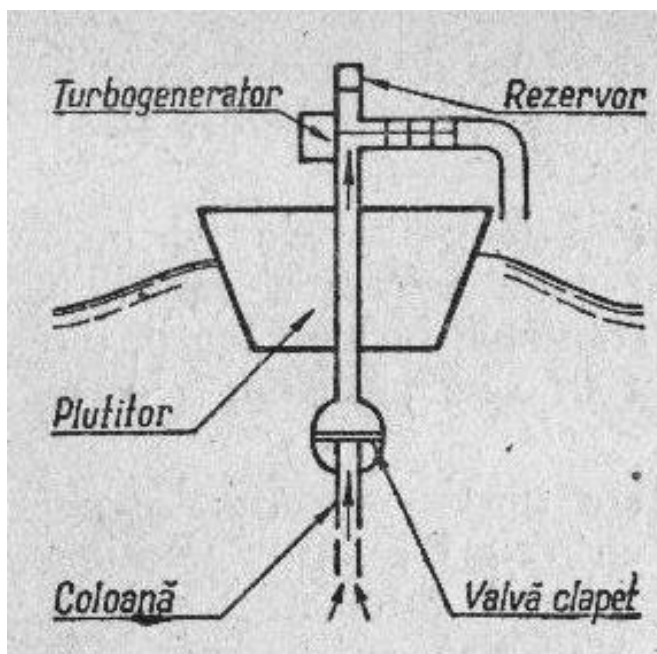


Figura 1.9 - Instalație cu plutitor și valvă clapet pe coloană

Un alt sistem se bazează pe ascensiunea apei sub formă de val pe o pantă artificială și preluată mai apoi prin cădere de paletele unui generator electric (WaveDragon).

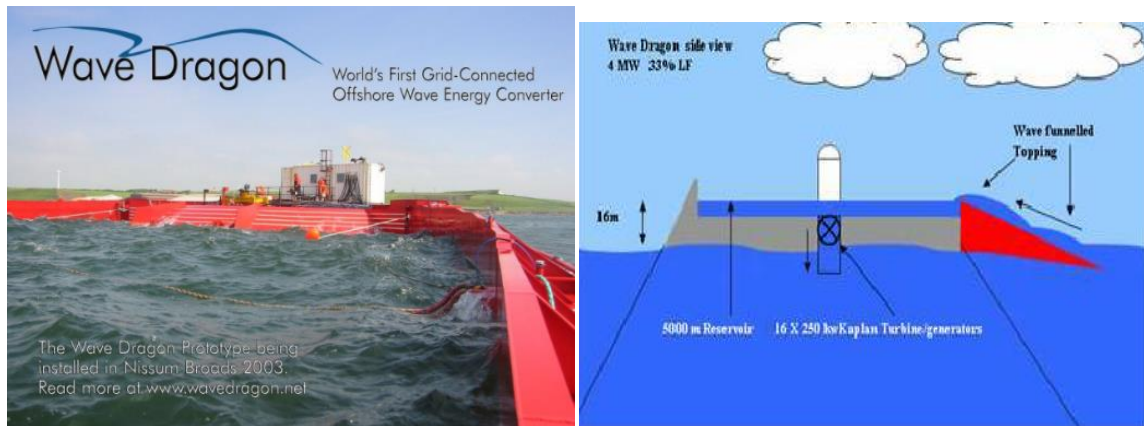


Figura 1.10 - Sistemul bazat pe ascensiunea lichidului

1.2.3. Sistemul pistonului lichid

Într-o incinta, prin oscilația de urcare și coborâre, valul acționează ca și un piston, pompând și aspirând aerul, cu rezultatul direct asupra unei turbine. În multe dintre aplicații se folosește turbina Wells.

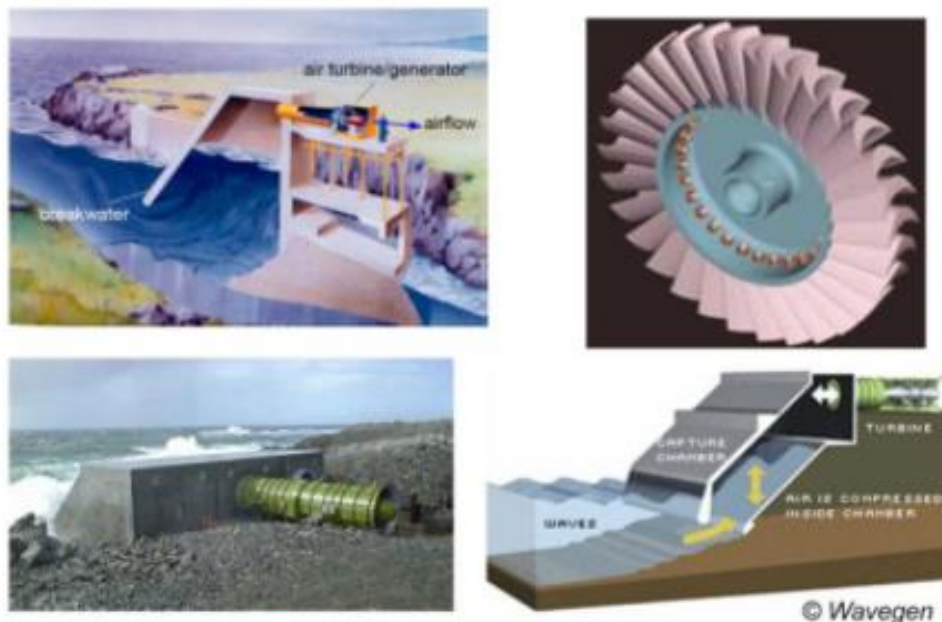


Figura 1.11 - Sistemul pistonului lichid

Într-o schemă simplă, anumite plute numite fictiv răzuște, execută mișcarea de urcare și coborâre odată cu trecerea valurilor. Această mișcare acționează o pompă, care împinge apa dintr-o turbină ce acționează un generator. Scoția deține una dintre cele mai bogate resurse energetice marine din lume, iar în anul 2001, raportul Scotland's Renewable Resource arată că Scoția poate genera o capacitate de până la 21,5 GW, ceea ce înseamnă 79,2 TWh/an, cu ajutorul energiei valurilor și mareelor. Conform raportului Harnessing Scotland's Marine Energy Group, în perioada 2004-2020, în apele scoțiene se pot instala capacități de 1300 MW, adăugând câte 100 MW în fiecare an. Guvernul scoțian finanțează cu peste patru milioane de lire sterline cea mai mare fermă de energie marină din lume, care în 2010 asigura până la 10% din necesarul electric al țării.

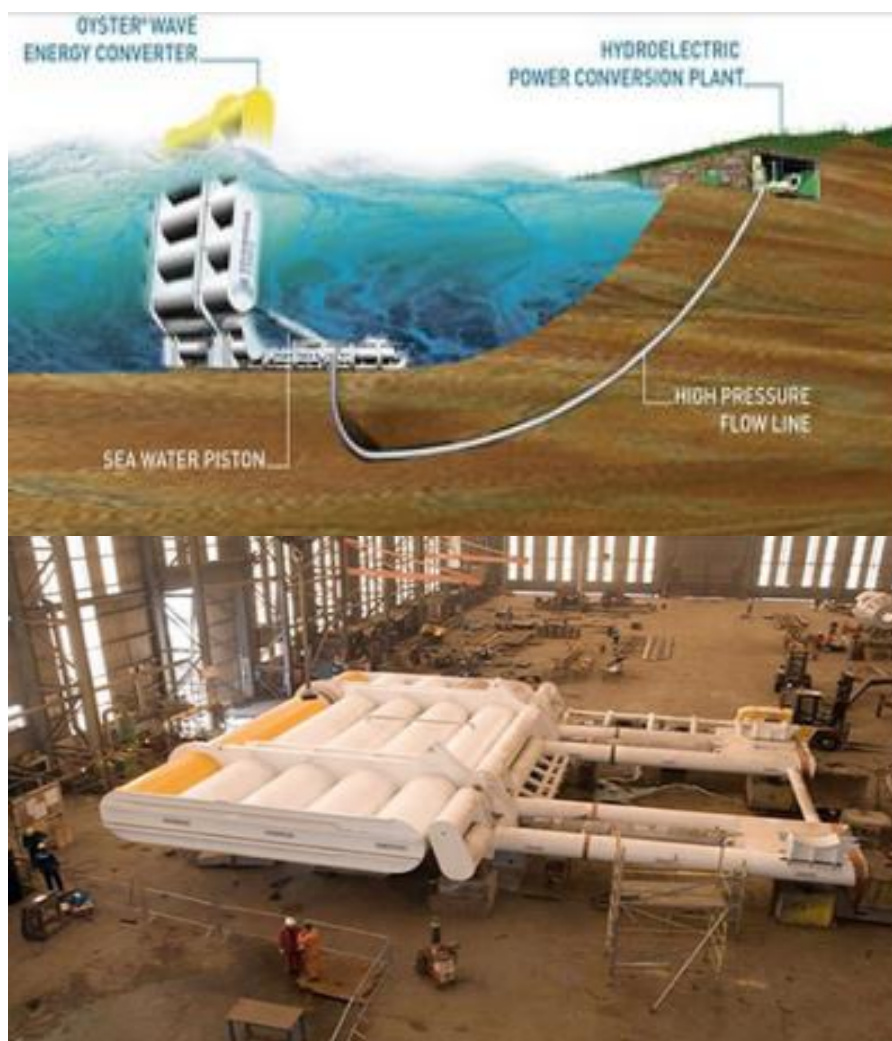


Figura 1.12 - Platforma scoțiană OYSTER care poate genera 300- 600 kW(sus),
Construirea platformei speciale a instalației OYSTER (jos)

Totul diferă prin metoda inovativă de a transporta apa sub presiune. Producătorii spun că Oyster poate genera între 300 și 600W, însă la configurații multiple, se pot obține valori în de ajuns de mari încât să alimenteze orașele din apropiere. Se dorește ca noua industrie să revitalizeze economia scoțiană, mai ales în zonele rurale și să crească peste 7000 noi locuri de muncă în diversele domenii colaterale implicate.

O altă schemă experimentală de utilizare a energiei valurilor este realizată pe Insula Islay, în dreptul coastei de vest a Scoției, fiind concepută pentru a genera 180 kW. Aceasta funcționează pe principiul coloanei de apă oscilantă. O cameră scufundată, deschisă în partea inferioară, conține o coloană de apă cu aer deasupra. Odată cu trecerea valurilor, coloana de apă se ridică și coboară, împingând și scoțând aerul dintr-o turbină conectată la un generator de electricitate. Compania SDE Energy LTD folosește echipamente care prin generarea presiunii hidraulice datorată mișcării valurilor, produc energie electrică. Principiul de funcționare se bazează pe câteva plute care urcă și coboară odată cu trecerea valurilor iar prin această mișcare este acționată o pompă ce împinge apa printr-o turbină ce acționează un generator – figura 1.13.

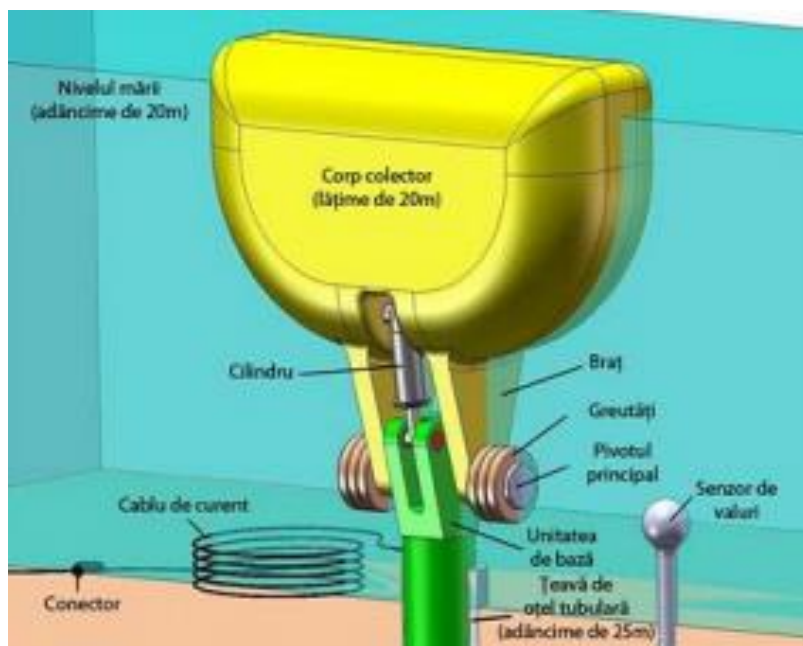


Figura 1.13 - Echipamente de producere a energiei electrice ale companiei SDE Energy Ltd.

Turbina Wells de captare a energiei valurilor a fost inventată în anul 1980 de Alan Wells, profesorul de la Queen University del Belfast. Aceasta – figura 1.14, este utilizată cu precădere în centralele electrice care exploatează energia valurilor, având unele dezavantaje care fac ca tehnologia sa fie greu fezabilă. Randamentul este foarte scăzut iar în condițiile unui curent slab de aer, turbina se blochează. Palele turbinei Wells au un bord de atac foarte voluminos și un unghi de așezare redus, care rezultă din necesitatea utilizării acestor pale în ambele sensuri de acționare a aerului.

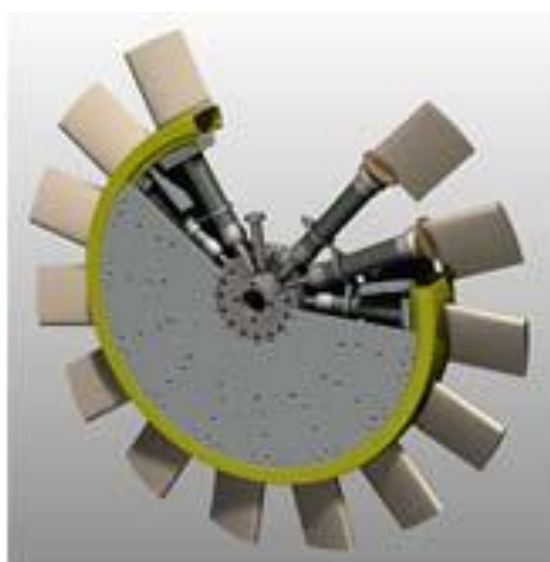


Figura 1.14 - Turbina Wells

În anul 1955, chinezii de la Institutul de Conversie a Energiei Guangzhou, au construit o geamandură de navigație de 60 W folosind turbina Wells. Cele mai impresionante aplicații ale turbinei Wells au fost puse în practică în India, acolo unde energia valurilor aduce în sistemul electric 1,1 MW. O instalație experimentală a fost

construită și în România, în apropierea digului din Mangalia. Instalația este alcătuită dintr-un cilindru fără fund, cu diametrul de 1,5m și înălțimea de 2,5 m.

Portugalia intenționează să instaleze 28 de centrale care să producă 72,5 MW, dând deja în folosință primul generator instalat la 5 km de țărm pentru dispozitivul de tip Pelamis – figura 1.15. Acesta plutește pe valuri și execută o mișcare cu traiectorie eliptică.



Figura 1.15 - Instalații tip Pelamis care recuperează energia valurilor (stânga), platforma maritimă a firmei Orecon (dreapta)

Construcția plutește la suprafața mării, unde captează energia valurilor și trimite curentul produs către plaja Aguacadoura, la nord de Porto. Un singur generator poate asigura curentul electric pentru 5000 de gospodării.

În zonele cu valuri tot timpul anului sau în largul mărilor și oceanelor, energia valurilor este o formă de energie regenerabilă cu foarte mare potențial. Firma Orecon, a investit peste 24 milioane dolari într-un dispozitiv care este o combinație de baliză/platformă maritimă (dotată cu camere de presiune speciale), în care forța valurilor ce lovesc platforma este transformată în electricitate de către o turbină. În perioada 2010-2015 sau instalat primele platforme care furnizează electricitate rețelelor de distribuție a energiei, o platformă producând circa 1,5 MW. Unul din avantajele platformei o constituie mărimea acesteia, fiind mai puțin predispusă distrugerii și având costuri de întreținere mai mici – figura 1.15 (dreapta).

1.3 Energia solară

Dacă analizăm raportul dintre energia solară pe suprafața planetei și populația existentă, acesta ar fi de circa 20 GW pe cap de locuitor.

Cea mai utilizată metodă de conversie a energiei solare se bazează pe utilizarea panourilor fotovoltaice [5]. Acestea sunt compuse din celule semiconductoare, capabile să convertească energia solară direct în curent electric.

O altă metodă presupune convertirea energiei solare prin intermediul unor instalații generatoare care captează energia termică produsă de radiația solară și o transformă în electricitate.

Panourile solare sunt proiectate în funcție de indicele de masă atmosferic ($AM = 1.5$). Se apreciază astfel nivelul de absorbție al energiei solare în funcție de distanța de la Soare la panou (Figura 1.16).

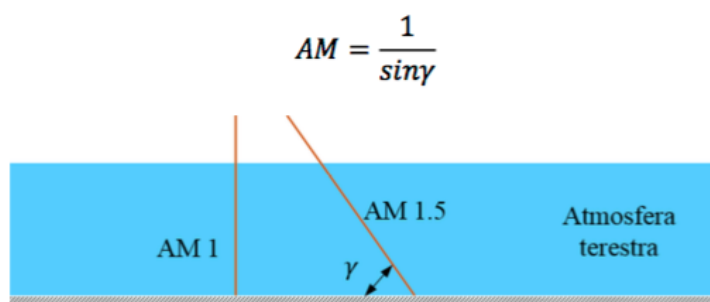


Figura 1.16 - Indicele de masa atmosferic

În afara atmosferei terestre AM are valoarea 0, radiația solară având valoarea constantă de 1367 W/m^2 . Un indice AM=1 se obține în cazul direcției perpendiculare pe suprafața Pământului, iar valoarea AM=1.5 corespunde unui unghi de ~ 42 grade, Figura 1.17.

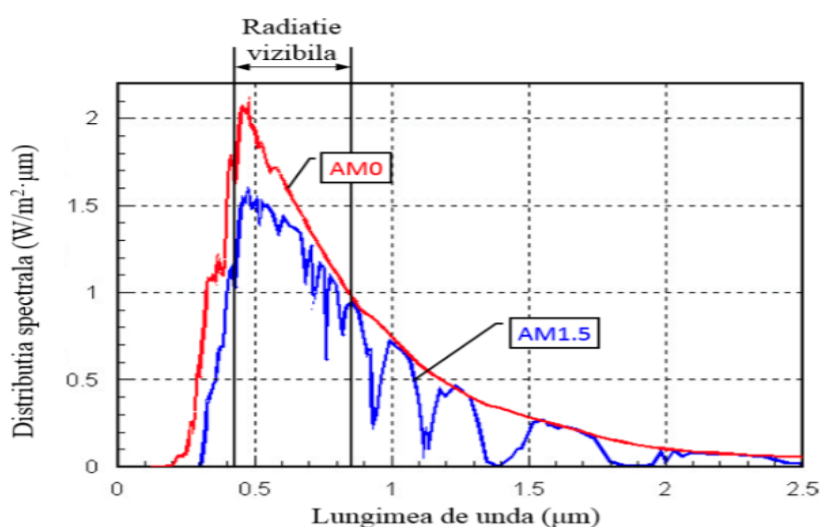


Figura 1.17 - Intensitatea radiației solare pentru indici diferiți

Puterea generată de radiația solară se măsoară în $\text{W}/(\text{m}^2)$ și poate fi determinată pentru orice indice atmosferic (Figura 1.17).

1.3.1 Materiale și eficiență

Materialul folosit pentru celulele panourilor solare (Figura 1.18) este siliciul, un material relativ scump. Randamentul unor astfel de celule poate ajunge la 25% în condiții normale de funcționare, pentru o radiație de 1000 W/m^2 . Utilizând alte materiale, precum cuprul, cadmiul etc., eficiența obținută atinge valori de cca. 20%, la prețuri de producție mai scăzute.

O variantă recentă utilizează celule pe bază de materiale polimerice, mult mai ieftine dar oferind eficiențe doar de cca. 8%.



Figura 1.18 - Celula fotovoltaică

Celulele solare sunt interconectate serie-parallel și montate pe panouri. În funcție de utilizare, panourile pot furniza tensiuni de 12v sau mai mult, la intensități diferite în funcție de numărul acestora, Figura 1.19.



Figura 1.19 - Celule solare amplasate pe panouri

Cele mai des sunt utilizate celule fotovoltaice de tipul *mono-crystalin* și *thin-film*.

Celulele de tip crystalin (Figura 1.20) au o structură bi-stratificată, energia generată fiind preluată de o rețea metalică. Celulele sunt inter-conectate și amplasate într-o structură rigidă, din masă plastică, care are rolul de protecție, asigurând o durată mare de viață a ansamblului, (Figura 1.21).

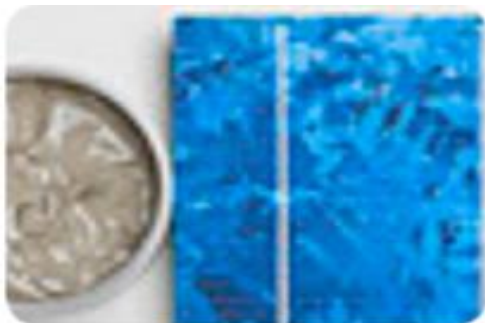


Figura 1.20 - Celulă solară mono-crystalin



Figura 1.21 - Modul de celule mono-crystalin

Celulele de tip thin-film sunt obținute prin depunerea semiconductorului în strat subțire peste un strat suport din sticlă sau material polimeric (Figura 1.22). Acest tip de celule au o eficiență mai scăzută decât cele mono-crystalin, dar oferă un preț de producție mai scăzut.

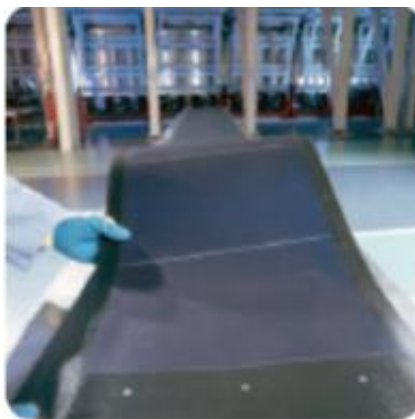


Figura 1.22 - Celula solară thin-film

1.3.2 Evoluția celulelor solare

Tehnologia de obținere a celulelor solare a evoluat, prezentând mai multe etape:

Etapa I

- Celule mono-crystaline cu siliciu cristalin

Etapa II

- Celule mono-crystaline cu siliciu amorf
- Celule poly-crystaline cu aliaje Cupru-Indiu- Galiu-Diselenat

Etapa III

- Celule foto-electro-chimice
- Celule thin-film cu suport polimeric

Etapa IV

- Celule hibride ce conțin cristale anorganice fixate în matrice polimerică

Pentru creșterea radiației solare incidente pe panourile solare se utilizează diferite metode, cum ar fi texturarea suprafeței și aplicarea materialelor anti-reflectorizante - pentru reducerea reflectării radiației înapoi în mediu. Această metodă poate conduce la scăderea reflectării radiației cu până la 10%.

O altă soluție de mărire a eficienței este folosirea unor dispozitive de concentrare a radiației pe celule cu lupe, ajungându-se la randamente de până la 44%.

Datorită complexității constructive această metodă conduce la costuri de producție mai ridicate. Se utilizează două metode de concentrare: cu nivel scăzut (LCPV) și cu nivel ridicat (HCPV). Metodele LCPV pot da rezultate pe celule din orice material fotoelectric, pe când metoda HCPV dă rezultate la celule solare pe bază de siliciu. Metodele bazate pe concentrarea radiației sunt dublate de sisteme de orientare automată a panourilor solare, astfel încât radiația să fie concentrată pe materialul fotoelectric.

1.3.3 Principiul de funcționare al celulelor solare

Materialele folosite pentru celulele fotovoltaice este de tip semiconductor. Acesta este "dopat" cu impurități ceea ce are ca rezultat modificarea proprietăților electrice.

Acțiunea radiației solare are ca efect generarea în materialul dopat a unui curent continuu (Figura 1.24). Intensitatea acestui curent este corelată cu cantitatea de radiație solară (Figura 1.25).

Întimpul perioadelor noroase sau noaptea, celulele solare pot funcționa invers: consumând energie electrică și transformând-o în căldură. Ca urmare a acestui proces celulele unui panou solar aflate pot consuma din energia celor iluminate. Această problemă se rezolvă prin izolarea celulelor cu diode amplasate corespunzător.

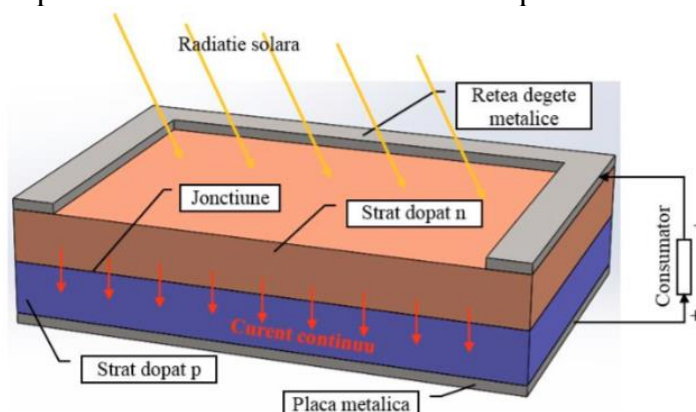


Figura 1.24 -Funcționarea celulei solare

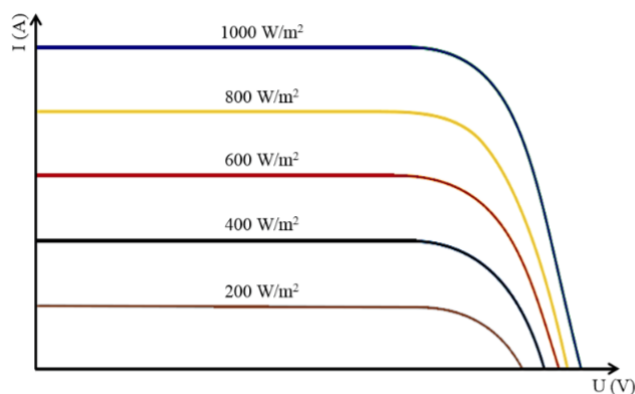


Figura 1.25 - Intensitatea curentului funcție de cantitatea de radiație

Dependența intensitate-tensiune a unei celule solare prezintă valoarea curentului generat față de căderea de tensiune pe consumator (Figura 1.26a). Se definește tensiunea

maximă - când nu există consumatori (valoarea intensității este nulă), și intensitatea maximă debitată de celulă - (când consumatorul are rezistența nulă). Cele două mărimi sunt caracteristice fiecărui tip de celulă solară.

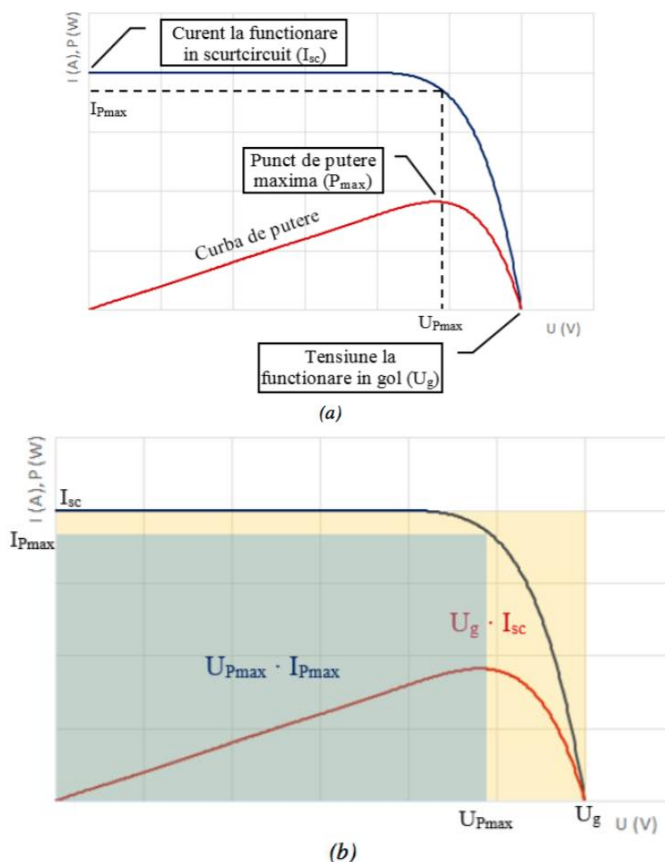


Figura 1.26 - Caracteristicile electrice ale celulelor solare

În mod simplificat, un sistem solar este prezentat în figura 1.27. Dacă se renunță la blocul de acumulare, trebuie prevăzută o sursă alternativă de pentru perioadele lipsite de radiație solară (noapte, vreme înnourată). Deoarece curentului furnizat de panourile solare prezintă variații de tensiune și intensitate ce pot provoca deteriorarea consumatorilor, se montează în sistem un controler care reglează continuu cele două mărimi.

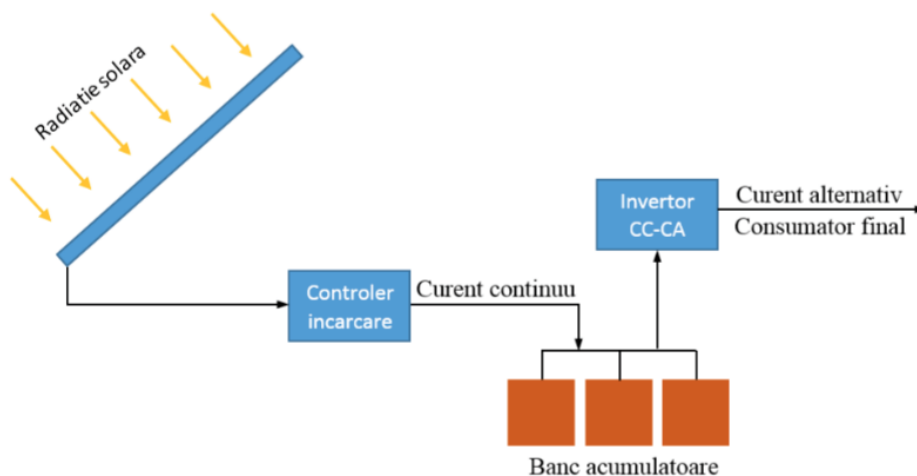


Figura 1.2 - Sistem solar fotovoltaic - reprezentare simplificată

1.4 Avantaje și dezavantaje în utilizarea energiilor regenerabile

Fiecărei energii regenerabile i se atribuie o serie de avantaje și dezavantaje [6,7].

1.4.1 Energia valurilor - Wave energy

În privința energiei valurilor, principalele avantaje sunt: emisii zero, potențial energetic foarte mare, în același timp fiind și foarte fiabilă. Este evident faptul că energia valurilor nu emite gaze cu efect de serra atunci când este generată, așa cum fac sursele ce utilizează combustibili, turbinele generând electricitate prin puterea valurilor, devin o sursă regenerabilă lipsită complet de poluare. Dacă putem obține tehnologia corectă, energia mareelor poate avea un aport substanțial în privința mixului de energie verde. Valurile sunt întotdeauna în mișcare iar acest factor face ca generarea de energie electrică să devină o sursă fiabilă, în comparație cu energia produsă de centralele eoliene, deoarece vântul nu este constant.

În egală măsură, dezavantajul producerii energiei prin intermediul valurilor sunt costurile ridicate în privința realizării unei hidrocentrale de tip Aquabouy sau DragonWave și faptul că acestea sunt greu de scalat.

Puterea valurilor este o tehnologie emergentă în primele etape de dezvoltare, ceea ce face dificilă speculația asupra costurilor utilizării acesteia. Sistemele de energie au potențialul de a fi la fel de ieftine, suma pentru 1 kWh ajungând la un dolar, însă se ține cont de locație și costurile de întreținere. Cu toate acestea, costurile energiei valurilor sunt în general destul de mari pentru momentul actual deoarece se află în faza de cercetare a dezvoltării iar sumele de bani sunt de cele mai multe ori asigurate de fonduri guvernamentale. Se așteaptă ca industria să crească, dar rămâne o provocare să implementăm generatoare de energie pentru valuri la o scară utilizabilă și accesibilă.

1.4.2. Energia vântului - Wind energy

Energia eoliană este una dintre cele mai frecvent utilizate tipuri de energie regenerabilă în SUA de astăzi și, de asemenea, se întâmplă să fie una dintre sursele acestora de energie electrică cu cea mai rapidă creștere. Cu toate acestea, deși există o serie de avantaje de mediu în utilizarea energiei eoliene, există și unele dezavantaje, în figura 1.29 fiind reprezentate cele mai importante dintre acestea.

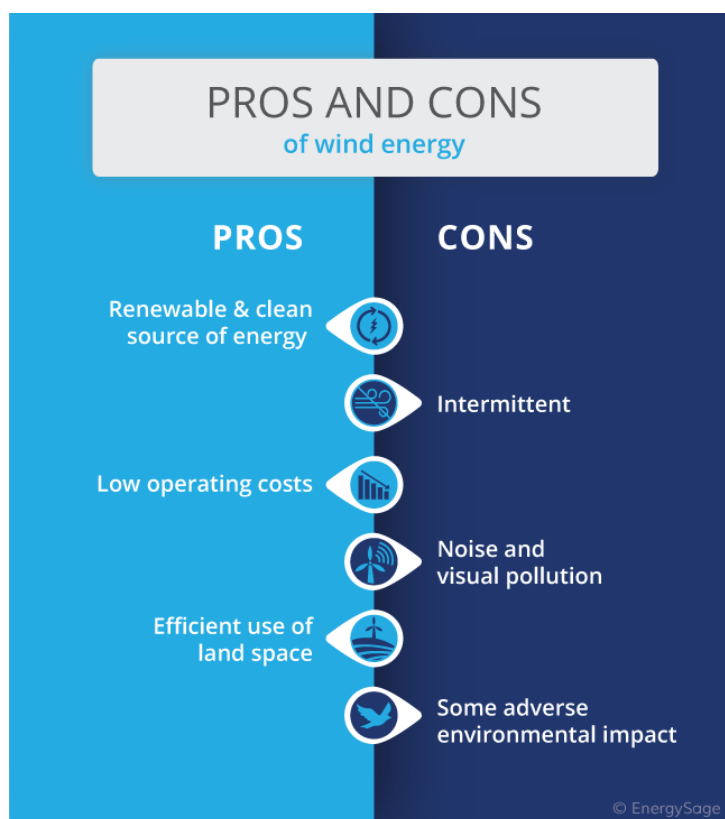


Figura 1.29 – Avantajele și dezavantajele energiei vântului

1.4.3. Energia solară - Solar energy

Fără îndoială, soarele reprezintă o sursă foarte consistentă de energie și chiar dacă la momentul actual nu putem colecta întregul potențial energetic, valorificarea acestuia prin instalarea panourilor solare poate face o diferență semnificativă pentru umanitate dar și pentru mediul înconjurător. Deși la scară largă acest tip de energie a fost criticat speculându-se că este scumpă sau inefficientă, aceasta s-a dovedit a fi extrem de benefică nu numai pentru mediu, dar și din punct de vedere economic.

La fel ca și celelalte tipuri de energie prezentate mai sus, și sursa solara este una regenerabilă, diferența fiind reprezentată de faptul că aceasta poate fi valorificată din toate zonele lumii și este disponibilă în fiecare zi. Nu putem rămâne fără energie solară, spre deosebire de alte surse de energie. În egala măsură, utilizarea acestui tip de energie poate aduce un plus din punct de vedere economic, deoarece deși consumul rămâne același, odată cu mărirea dimensiunilor sistemului fotovoltaic costurile producerii necesarului de energie scad. Pe lângă costurile de întreținere reduse, energia solara poate fi obținută și prin metode inovative ce oferă un design unic, în cazul companiei Sharp, aceștia au realizat clădiri de birouri cu ferestre transparente ce generează curent electric prin intermediul Soarelui.

Dezavantajele acestui tip de energie sunt : costuri ridicate de achiziție pentru panourile fotovoltaice, faptul că vremea influențează pozitiv sau negativ nivelul de energie produs, dar și spațiul ocupat la momentul instalării panourilor.

Capitolul 2. Elemente teoretice ale sistemelor dinamice

Generalități

Noțiunea de sistem poate fi descrisă prin mai multe definiții, funcție de domeniul de utilizare. Una dintre cele mai generale a fost enunțată de biologul austriac Ludwig von Bertalanffy: sistemul este o entitate compusă care își menține existența prin interacțiunea reciprocă a părților componente. Deci ceea ce transformă o colecție de părți într-un sistem sunt tocmai interacțiunile ce se dezvoltă în timp între aceste părți. Aceste interacțiuni trebuie înțelese dincolo de simpla legătură cauza-efect, A generează B dar B influențează pe A (Figura 2.1)

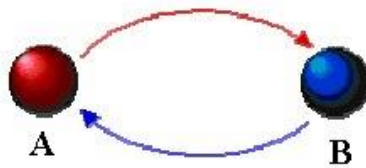


Figura 2.1 - Legături între componentele sistemelor

Exemple de sistem pot fi găsite la orice nivel: atom, celulă, organ, individ, societate, țară, lume etc. Fiecare sistem poate fi privit ca fiind compus din părți, care la rândul lor, pot fi privite ca sisteme.

Caracteristica fundamentală a sistemelor este emergența: un sistem prezintă proprietăți care nu pot fi regăsite la părțile sale componente [8]. Din acest punct de vedere studiul sistemelor se abate de la metodele uzuale bazate pe analiză. În cazul sistemelor analiza, care presupune descompunerea subiectului în elemente cât mai simple și investigarea separată a acestora, poate duce la rezultate eronate prin pierderea din vedere tocmai a proprietăților emergente ale sistemului analizat.

2.1. Clasificarea sistemelor

Sistemele se pot clasifica pornind de la mai multe criterii. Unul dintre ele este gradul de interacțiune al sistemului cu alte sisteme. Din acest punct de vedere se deosebesc sisteme:

- închise;
- deschise.

Un sistem închis este un sistem care nu are nevoie de interacțiuni cu mediul înconjurător pentru a-și menține existența. Exemple din această clasă pot fi atomii, moleculele și sistemele mecanice. În clasa sistemelor deschise pot fi enumerate sistemele organice care, pentru a exista trebuie să interacționeze cu mediul ambiant.

Sistemele deschise trebuie să interacționeze cu mediul astfel încât sistemul să-și continue existența în timp. Deci transferul sistem-mediu-sistem trebuie să fie ori echilibrat ori să ducă la creșterea sistemului. În anumite situații durata de interacțiune dintre sistem și mediu poate fi ori foarte mică ori foarte mare astfel încât, în vederea studierii sistemului, se impune limitarea ei.

În general orice sistem poate fi considerat ca fiind parte într-un sistem mai mare, cu care interacționează, deci un sistem deschis.

Un alt criteriu de clasificare a fost propus de economistul Kenneth Boulding care, pornind de la o ierarhizare evoluționistă a relațiilor, a definit cinci clase în care poate fi inclus orice sistem. După acest criteriu sistemele pot fi:

- *Bazat pe relația tip parazit*

Este sistemul în care o influență pozitivă din partea unei părți asupra altei părți conduce la o influență negativă în sens invers. Ca exemplu pot fi date sistemul lăcuste-plante: (plantele hrănesc lăcustele iar acestea duc la distrugerea plantelor) sau sistemul virus-gazda (gazda hrănește virusul iar acesta se multiplică și distruge gazda).

- *Bazat pe relația tip pradă-prădător*

Este sistemul în care părțile componente depind în mod esențial una alta astfel încât cantitatea uneia determină cantitatea alteia. Ca exemplu poate fi dat sistemul vulpi-iepuri: numărul celor două populații este interdependent

- *Bazat pe relația tip echilibru de forțe*

Este sistemul în care o parte nu acționează asupra alteia atât timp cât aceasta nu acționează asupra ei. Ca exemplu poate fi dat clasicul sistem al echilibrului armelor nucleare dintre ruși și americani.

- *Bazat pe relația tip schimb reciproc*

Este sistemul în care o parte acționează asupra alteia atât timp cât cea din urmă acționează asupra ei. Ca exemplu poate fi dat sistemul economiei de piață: o parte furnizează servicii sau bunuri atât timp cât alte părți furnizează bani.

- *Bazat pe relația de comuniune*

Este sistemul în care părțile se unesc și acționează pentru atingerea unui scop comun. Ca exemplu poate fi dat cazul organizațiilor caritabile, de afaceri etc., în care indivizii se unesc pentru finalizarea unor scopuri sau obținerea de avantaje comune.

În funcție de evoluția lor unele sisteme pot trece dintr-o categorie în alta. De exemplu un sistem bazat pe relația de schimb reciproc (sistemul cumpărare în rate: cumpărătorul dă banii obținuți c împrumut de la bancă în schimbul produsului dorit) se poate transforma într-un sistem bazat pe echilibru de forțe (banca amenință cumpărătorul cu confiscarea produsului în caz de neplată). Un alt exemplu de acest gen este sistemul angajat-angajator: inițial angajatorul oferă salariul în schimbul muncii (relație de schimb reciproc) iar apoi amenință angajatul cu concedierea (relație de echilibru de forțe).

Luând în considerare modul de funcționare, sistemele se pot clasifica în:

- protective - acționează în momentul când alte sisteme acționează asupra lor;
- reglatoare - acționează ca o buclă de control, modificând elementele de ieșire în funcție de o valoare de intrare prestabilită;
- optimizoare - acționează cu două bucle de control, modificând valorile de ieșire în funcție de un set de valori de intrare prestabilite și, în funcție de acestea, reconsiderând valorile de intrare;

- adaptive - acționează cu mai multe bucle de control, modificându-și structura astfel încât să-și mențină funcționarea optimă chiar în condițiile unor modificări majore în mediul ambiant.

Un alt criteriu de clasificare se raportează la generatorul temporal intern al sistemului. Evoluția în timp a sistemului este controlată cu ajutorul unui "ceas" intern, care guvernează trecerea sistemului dintr-o stare în alta. Din acest punct de vedere sistemele pot fi:

- discrete - sisteme la care evenimentele (respectiv modificările) se succed la momente precis diferențiate, între acestea sistemul păstrându-și starea. Ca exemple pot fi date sistemele care conțin ca părți oameni: magazine, service-uri, procese tehnologice, centre de transport etc.

- continue - sisteme care își modifică permanent starea, prin modificarea în orice moment a uneia dintre componentele sale. Ca exemple se pot da sistemele care implică părți fluide sau asemănătoare fluidelor, cum ar fi micro-particule, pulberi etc.. În general în cazul acestor sisteme se utilizează măsurarea greutateii și nu a numărului părților/evenimentelor, acestea fiind modelate ca volume. Astfel de sisteme se pot găsi în industria chimică.

- combinate - sisteme care conțin atât elemente cu o comportare discretă cât și elemente cu o comportare continuă. Ca exemple pot fi date procesele tehnologice de îmbuteliere în cadrul cărora produsul este într-o primă fază fluid (deci continuu), devenind apoi discret, prin îmbuteliere în cutii (elemente discrete).

Alte aspecte al comportării sistemelor care pot genera o clasificare sunt starea inițială a sistemului (la momentul începerii analizei), respectiv finală (la momentul încheierii analizei). Din acest punct de vedere sistemele pot fi:

- fără inițializare - sisteme care la momentul începerii analizei nu sunt influențate de stările anterioare acestui moment. Ca exemplu ar putea fi dat sistemul tip centru de comerț: Clienții nu rămân peste noapte în magazin, fiecare etapă de simulare - zi de lucru - începe cu alți clienți, noi.

- cu inițializare - sisteme care la momentul începerii analizei sunt influențate de stările anterioare acestui moment. Ca exemplu ar putea fi dat sistemul tip depozit, care la începutul fiecărei perioade de lucru conține deja elemente - produse - din etapele anterioare.

- fără finalizare - sisteme în a căror funcționare nu se generează evenimente ce pot duce la oprirea sistemului. În această categorie ar putea fi incluse și sistemele cu inițializare, putând considera că orice nouă pornire este de fapt o continuare a etapei anterioare de funcționare. Ca exemplu poate fi dat sistemul de proces de producție, acesta având o funcționare continuă, exceptând pauzele pentru revizii periodice.

- cu finalizare - sisteme în care se produce, la un moment dat, un eveniment care conduce la încheierea activității sistemului. Ca exemple pot fi date sistemele de tip centru comercial cu program ne-permanent, care se închid la sfârșitul programului de lucru.

2.2 Metode de simulare cu sisteme dinamice

Metoda de modelare bazată pe sisteme dinamice conține mai multe etape:

1. Concretizarea problemei și a scopului modelării
2. Construirea sistemului la nivel conceptual

3. Matematizarea modelului și stabilirea parametrilor variabili
4. Analiza comportării modelului
5. Aprecierea nivelului de valabilitate a modelului
6. Investigarea direcțiilor decizionale
7. Folosirea modelului în practică

Din cele prezentate rezultă scopul simulării cu sisteme dinamice: construirea un model al realității cu ajutorul căruia să fie realizate simulări pentru:

- a) O analiză a structurii și evoluției sistemului;
- b) Stabilirea deciziilor pentru eliminarea deficiențelor din sistem.

Construirea unui model bazat pe sisteme dinamice pornește de la stabilirea problemei de rezolvat și se finalizează cu propunerea unei soluții viabile. Acest proces este un proces de optimizare. Unele etape sunt re-parcurse până când se identifică o soluție optimă pentru arhitectura modelului.

În continuare se prezintă în detaliu etapele de construire a modelelor bazate pe sisteme dinamice.

Concretizarea problemei și a scopului modelării

Modelarea pornește de la un scop concret și de la concentrarea pe rezolvarea acestuia. Aceasta presupune o cunoaștere a efectelor unor evoluții ulterioare a sistemului analizat. Există posibilitatea ca în această etapă să se concretizeze mai multe scopuri.

Primul pas constă în identificarea unei evoluții nedorite al sistemului, ca de exemplu: scăderea calității produselor, creșterea consumului, etc. Aceste evoluții pot fi prezentate sub formă de grafice care definesc “modul de referință al evoluției sistemului” și care pot fi folosite pentru a aprecia în viitor efectele unor politici decizionale. Conceptul de “mod de referință al evoluției sistemului” este coloana vertebrală a construirii modelului. Unele dintre reprezentările grafice vor prezenta problematica ce urmează a fi abordate și rezolvate de modelul construit. La finalizarea modelării, prin simularea pe modelului respectiv vor fi obținute reprezentări grafice cu optimizările decizionale ce vor fi aplicate.

Există uneori situații în care modul de referință al evoluției sistemului nu poate stabilit datorită lipsei datelor necesare, în special la sisteme nerealizate încă sau cu activitate prea recentă astfel încât problemele de evoluție nu sunt încă vizibile.

Elementul fundamental al concretizării problemei este perioada de timp aferentă simulării, aceasta influențând modul în care modelul urmează a fi supus simulării. O perioadă de simulare de 3 ani are semnificație diferită de una de 5 ani, de exemplu la modelarea și simularea consumului de energie electrică a unui comunități.

Construirea sistemului la nivel conceptual

Un element de bază în modelarea cu sisteme dinamice este cel al "limitelor sistemului". Acestea separă elementele componente ale sistemului de ceea ce aparține exteriorului acestuia.

După concretizarea problemei și a scopului urmărit trebuie identificate elementele care pot fi eliminate fără a afecta funcționarea sistemului.

După definirea limitelor sistemului, poate începe construirea sistemului. Aceasta este realizată prin metode vizuale, sub formă de diagramă. Se folosesc două tipuri de diagrame: diagrama buclelor cauzale și diagrama de flux.

Diagramele buclelor cauzale sunt utilizate pentru exprimarea relațiilor cauzale și identificarea proceselor de feedback din sistem. În aceste diagrame, relațiile cauzale dintre variabile se reprezintă cu săgeți orientate, semnul + sau - indicând relațiile pozitive sau negative.

O relație pozitivă dintre două variabile are ca efect schimbarea valorii acestora în același sens. De exemplu: nivelul de fiabilitate - creșterea calității.

O relație negativă dintre două variabile are ca efect schimbarea valorii acestora în sensuri contrare. De exemplu: nivelul de fiabilitate - scăderea ratei de defectare

Evoluția relațiilor cauzale nu depinde de modificarea valorilor variabilelor ci de relația dintre variabile.

Relațiile cauzale pot forma bucle închise cuprinzând mai multe variabile. Una dintre cele mai simple bucle feedback este cea a raportului dintre salarii și prețuri: Salarii – Prețuri

Buclele feedback pot fi atât pozitive cât și negative.

O buclă feedback pozitivă, dacă este parcursă complet, are ca efect modificarea variabilelor în același sens..

O buclă feedback negativă, dacă este parcursă complet, are ca efect creșterea valorii unei variabile în timp ce altă variabilă scade.

2.3 Scopul simulării

Modelarea și simularea sunt aplicate sistemelor cu scopul obținerii unor informații referitoare la:

- legăturile interne din cadrul sistemului și modul lor de funcționare: unele sisteme sunt atât de complexe încât este dificil de identificat interacțiunile dintre părțile sale componente fără ajutorul unui model adecvat. Ca exemplu se pot da sistemele cu funcționare continuă, care nu pot fi oprite pentru a li se examina părțile componente și legăturile dintre acestea.
- stabilirea unor reguli de funcționare și gestionare a resurselor: există situații când părțile componente ale sistemului și legăturile dintre ele pot fi identificate dar se dorește optimizarea funcționării acestora. În principiu există două metode de optimizare: modificarea fie a legăturilor funcționale interne fie a modului de gestionare al resurselor.
- testarea unor configurații sistemice noi: în cazul sistemelor aflate în fază de proiect, o simulare pe bază de model oferă informații prețioase despre viitoarele performanțe în funcționare. Costurile unei simulări fiind mult mai mici decât costurile de implementare ale sistemului real, se pot obține economii importante.
- obținerea de informații fără periclitarea funcționării sistemului: simularea pe bază de model este singura opțiune în cazul sistemelor a căror funcționare este atât de ușor de periclitat încât orice tendință de investigare poate duce la compromiterea sistemului. Ca exemple pot fi menționate sistemele de verificare a calității dintr-o linie tehnologică: tentativa optimizării funcționării lor prin modificări pot anula controlul de calitate.

2.3.1 Avantajele simulării computerizate

Dintre multiplele avantaje oferite de simularea computerizate față de metodele clasice, unele reieșind din cele prezentate la paragraful anterior, se pot evidenția:

- desfășurarea experimentelor în timp scurt: datorită faptului că simularea este rulată pe un calculator electronic, timpul de desfășurare poate fi redus considerabil. Acest fapt conferă avantaje majore în cazul unor procese al căror timp real de derulare poate fi de ordinul lunilor sau al anilor, dar simularea poate fi rulată în câteva secunde. În acest mod se pot executa rulări repetate, aceasta conducând la o fiabilitate statistică sporită a experimentului. Astfel sisteme ale căror procese se extind pe intervale temporale, generând dificultăți serioase pentru simularea prin metode clasice, pot fi analizate în condiții optime.

- cerințe minime impuse operatorului-analist: simularea sistemelor are la bază un aparat matematic probabilistic complex, accesibil doar specialiștilor matematicieni. Din acest motiv un analist de nivel mediu nu poate aborda, folosind metode clasice, decât simularea unor sisteme foarte simple. Pentru sistemele complexe este necesară implicarea analiștilor cu pregătire de specialitate. În lumina simulărilor rulate pe calculator, lucrurile stau cu totul diferit. Programele de simulare computerizate, deși au la baza un aparat matematic complex, prezintă interfețe grafice care ușurează drastic folosirea lor de către utilizatorul ne-specializat. Astfel, sisteme deosebit de complexe pot modelate și simulate fără a fi necesară o pregătire de specialitate în domeniul matematic. Calitatea este mult îmbunătățită prin accesibilizarea simulării către specialiștii din domeniul sistemului simulat, aceștia fiind în măsură să modeleze mult mai eficient un sistem decât un matematician care nu are o legătură directă cu domeniul respectiv. În același timp, spre deosebire de metodele clasice de simulare și analiză care surprind starea sistemului la un moment dat, simularea computerizată permite vizualizarea comportării sistemului într-un interval temporal, făcând rezultatele analizei mult mai precise.

- modele ușor de analizat: majoritatea programelor de simulare computerizată a sistemelor permit animarea modelului. Un model animat este mult mai ușor de depanat sau de optimizat. Legăturile logice și procesele în care sunt implicate părțile componente ale sistemului sunt mai evidente, ceea ce oferă operatorului-analist posibilitatea creării unui model fiabil și funcțional. În cazul necesității prezentării simulării unor ne-specialiști, animația este deosebit de utilă pentru evidențierea accesibilă a comportării sistemului în diferite situații.

2.3.2 Dezavantajele simulării computerizate

Cu toate avantajele prezentate anterior, simularea computerizată prezintă și o serie de aspecte negative:

- precizia rezultatelor este direct proporțională cu precizia datelor inițiale: oricât de corect ar fi un model de simulare, fără un set de date de intrare cu precizie corespunzătoare rezultatele simulării sunt practic inutilizabile. Colectarea datelor inițiale pentru o simulare pe model este o etapă definitorie în efectuarea unei analize de sistem. Din păcate tocmai acestei etape i se alocă cel mai puțin timp în cadrul unei simulări. Majoritatea operatorilor-analiști preferă să lucreze la dezvoltarea modelului de simulare decât să colecteze datele necesare, folosind apoi date de proveniență dubioasă, fără o garanție adecvată a preciziei lor.

- simularea nu poate oferi răspunsuri simple la probleme complexe: în urma simulării unor sisteme de complexitate ridicată rezultatele obținute sunt de asemenea complexe și, ca urmare, dificil de interpretat și utilizat. Ca urmare, este de preferat descompunerea sistemului respectiv în subsisteme și simularea separată acestora, obținându-se astfel rezultate mai simple și mai ușor de utilizat.
- simularea este doar o etapă în rezolvarea problemei reale: rezultatele obținute în urma simulării nu se constituie în soluția finală a problemei care a condus la necesitatea simulării. Aceste rezultate nu fac decât să ofere operatorului-analist un fundament de analiză și un punct de plecare în găsirea soluțiilor de rezolvare sau optimizare dorite.

2.3.3 Particularități în dezvoltarea unei simulări computerizate

În vederea optării pentru o simulare computerizată a unui sistem dinamic, pe lângă avantajele și dezavantajele posibile, trebuie avute în vedere și o serie de particularități cum ar fi:

- construirea modelului de simulare poate necesita pregătire de specialitate: chiar dacă programele de simulare actuale oferă utilizatorului o interfață grafică ușor de utilizat, comparativ cu metodele clasice care foloseau limbaje dedicate de programare, complexitatea modelului construit și a operației de simulare respective pot impune abilități speciale în domenii legate de inginerie, programare, matematici sau cercetare operațională.
- construirea modelului și rularea simulării pot dura foarte mult: chiar și în cazul sistemelor relativ simple construirea modelului, achiziția datelor de intrare, rularea simulării și analiza rezultatelor pot necesita un interval mare de timp. În cazul sistemelor complexe, timpul aferent acestor operații crește proporțional putând atinge valori de la care simularea nu mai este rentabilă. Chiar în situația unui operator-analist experimentat și unui software performant unele etape ale simulării pot fi laborioase. În majoritatea cazurilor, pe măsura dezvoltării modelului de simulare, gradul de complexitate crește simțitor față de estimările inițiale datorită aspectelor noi survenite la investigarea profundă a sistemului. Reducerea timpului se poate face doar prin introducerea unor ipoteze simplificatoare dar acestea trebuie folosite cu discernământ deoarece un model prea simplificat poate conduce la rezultate eronate ale simulării.
- în urma simulării se pot obține rezultate statistice: nu în puține cazuri rezultatele simulării conțin date statistice pentru interpretarea acestora fiind necesare cunoștințe, cel puțin la nivel de bază, în domeniul statisticii matematice.

2.4 Simularea cu sisteme dinamice în Vensim

VENSIM este un program ce permite construirea în mod vizual a modelelor bazate pe sisteme dinamice. Sunt disponibile atât diagrame cauzale cât și diagrame de flux. Programul dispune de o serie de elemente specifice, simbolizate grafic, precum și de un editor de ecuații pentru introducerea relațiilor matematice dintre elemente.

2.4.1 Interfața-utilizator în Vensim

VENSIM este dotat cu o interfață grafică (Figura 2.1), oferind utilizatorului și un sistem dinamic de ajutor, bazat pe etichete dinamice ce apar la fixarea cursorului pe elemente de interfață.

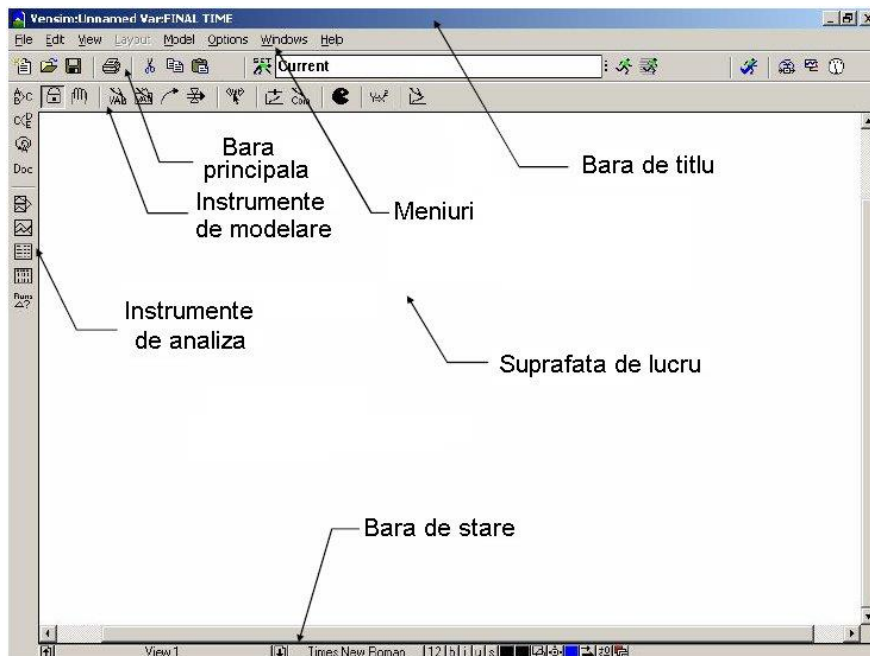


Figura 2.1 - Fereastra principală în VENSIM

2.4.2 Bazele simulării în VENSIM

Modelarea în VENSIM [9] se efectuează utilizând o serie de simboluri grafice (tabelul 2.4). Pentru stabilirea limitelor temporale de simulare este disponibil un modul specializat.

Construirea modelului începe cu stabilirea perioadei de simulare, figura 2.3, existând posibilitatea modificării ulterioare.

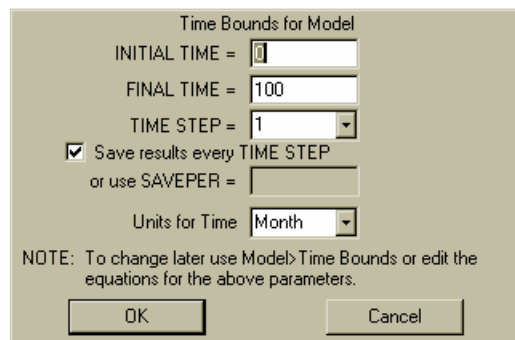
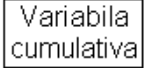
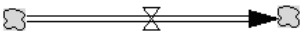





Figura 2.3 -
Stabilirea limitelor temporale ale simulării

Unitățile de timp oferite disponibile în VENSIM încep cu secunde și se încheie cu ani.

Tabelul 2.4

Componente grafice disponibile în VENSIM

Element	Semnificație
 Variabila cumulativa	Componente care își modifică valoarea
Variabila auxiliara	Componente care sunt constante
	Componente prin care circulă fluxuri de date
 Variabila rata	Componente care controlează debitul fluxurilor de date.
	Componente care constituie limitele sistemului modelat
	Reprezintă legăturile cauzale între elementele sistemului.

Pentru efectuarea unei analize asupra unui model în VENSIM se pornește de la construirea diagramei modelului, folosind componentele grafice disponibile. În acest scop trebuie mai întâi stabilite variabilele, clasificate pe categorii, apoi a constantelor și a legăturilor cauzale.

Pasul următor constă în definirea ecuațiilor matematice care guvernează aceste legături. Programul dispune de un modul ce contorizează elementele care necesită ecuații matematice. Acestea sunt afișate pe suprafața de lucru. Cu ajutorul editorului de ecuații inclus în program (figura 2.5) se pot efectua toate operațiile necesare modelării și simulării.

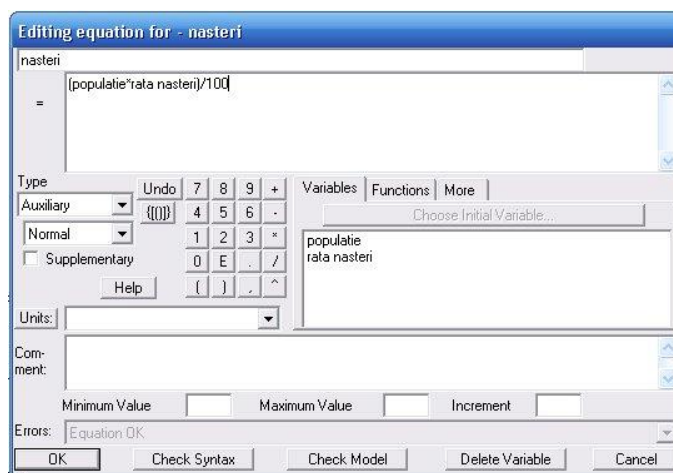


Figura 2.4 -
Editorul de ecuații din VENSIM

După rularea simulării rezultatele obținute sunt accesibile sub forma grafică - ca evoluție a variabilelor în timp, sau sub formă numerică. Programul permite și analiza "online" (cu ajutorul modului SyntheSym), modificarea valorilor de intrare și rezultatele obținute fiind vizibile simultan.

Capitolul 3. Analiza cu sisteme dinamice a eficienței convertoarelor de val

3.1 Necesitatea optimizării alegerii convertorului de energie a valurilor în funcție de zona de instalare

Cea mai mare parte a Pământului fiind acoperită de apă, puterea valurilor reprezintă o sursă promițătoare de energie regenerabilă pentru viitor. Dacă mai multe companii ar încerca să genereze electricitate utilizând energia valurilor, am putea avea parte de mai multe opțiuni de energie regenerabilă din care să alegem.

AquaBuoy

Finavera Renewables, o companie producătoare de energie cu accent pe sursele regenerabile, a lansat recent AquaBuoy, o geamandură de dimensiuni mari pentru a se implica în cursa pentru a genera energie din mare.

AquaBuoy este o geamandură de 3 metri, legată de un arbore lung. Oscilând în sus și în jos, apa este cumulată într-un tub de accelerație, care la randul său determină mișcarea unui piston, acesta determinând la rândul lui întinderea unui furtun din cauciuc armat din oțel, făcându-l să acționeze precum o pompă. Apa este propulsată apoi într-o turbină care alimentează un generator.

WaveDragon

WaveDragon este un mare convertor de energie, un baraj hidroelectric plutitor și reprezintă o tehnologie de ultimă generație în domeniul convertoarelor de energie de undă. Unitatea centrală este reprezentată de un rezervor plutitor mare; două aripi reflectorizante concentrează puterea undelor care se apropie și care trec pe o rampă curbată și ajung în rezervor. Apa revine înapoi la mare printr-o baterie de turbine.(20)

În anul 2003 a fost lansat primul dispozitiv de energie a valurilor conectat la rețea. Această unitate de testare a furnizat electricitate rețelei în mai mult de 20.000 de ore, fiind un record mondial.

Cheia succesului WaveDragon este producția sa ridicată de energie combinată cu o durată lungă de viață, costuri reduse de funcționare și întreținere. Aceasta are o capacitate de 1,5 până la 12 MW, în funcție de clima locală și starea valurilor.(20)

WaveDragon reprezintă o serie de unități individuale conectate la țărm prin cabluri de transmisie submarină, cum ar fi eolienele offshore. Acestea vor fi amplasate de obicei la 5 – 25 km în larg, la mai mult de 20 de metri adâncime, pentru a exploata resursele valurilor de mare putere, având un impact foarte mic asupra mediului, înălțimea sa mai mică de 7 m făcându-l foarte greu vizibil de pe țărm.

După cum s-a prezentat anterior, există o multitudine de convertoare pentru energia valurilor. Fiecare dintre acestea au caracteristici diferite, atât din punct de vedere constructiv cât și din punct de vedere al performanțelor oferite. Pentru a obține o conversie eficientă, pentru fiecare zonă vizată trebuie ales un convertor adecvat, performanțele optime fiind direct influențate de specificul zonei de amplasare [10].

Un alt criteriu ce trebuie luat în considerare este legat de posibilitățile și cheltuielile de instalare și mentenanță, valoarea acestora conducând la eficiență pe termen lung a investiției.

În cadrul acestei lucrări sunt evaluate două convertoare (AquaBuoy și WaveDragon) în vederea posibilității amplasării și funcționării eficiente în zona țărmului Mării Negre, figura 3.1, cu scopul alimentării platformelor de foraj marin.

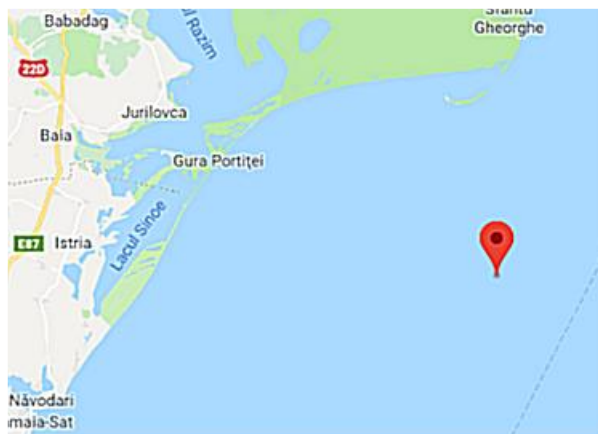


Figura 3.1 - Amplasarea convertoarelor de energie a valurilor

În tabelul 3.2 sunt prezentate principalele caracteristici ale celor două convertoare.

Tabelul 3.2 - Caracteristici convertoare AquaBuoy, WaveDragon

Tip convertor	Puterea maximă [kW]	Mod acționare	Adâncime [m]	Gabarit
AquaBuoy	250	ridicare	>50	redus
WaveDragon	7000	acumulare	30-50	mare

Aceste convertoare, în funcție de înălțimea și perioada valurilor, pot procesa cantități diferite de energie. În tabelele 3.3 și 3.4 [11] sunt prezentate performanțele acestora în funcție de caracteristicile valurilor.

Tabelul 3.3 - Puterea furnizată de AquaBuoy funcție de caracteristicile valurilor

T_p (s) H_s (m)	Power matrix (In kW)												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	0	8	11	12	11	10	8	7	0	0	0	0
1.5	0	13	17	25	27	26	23	19	15	12	12	12	7
2	0	24	30	44	49	47	41	34	28	23	23	23	12
2.5	0	37	47	69	77	73	64	54	43	36	36	36	19
3	0	54	68	99	111	106	92	77	63	51	51	51	27
3.5	0	0	93	135	152	144	126	105	86	70	70	70	38
4	0	0	0	122	176	198	188	164	137	112	91	91	49
4.5	0	0	0	223	250	239	208	173	142	115	115	115	62
5	0	0	0	250	250	250	250	214	175	142	142	142	77
5.5	0	0	0	250	250	250	250	250	211	172	172	172	92

Tabelul 3.4 - Puterea furnizată de WaveDragon funcție de caracteristicile valurilor

T_p (s) H_s (m)	Power matrix (in kW)												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	160	250	360	360	360	360	360	360	320	280	250	220	180
2	640	700	840	900	1190	1190	1190	1190	1070	950	830	710	590
3	0	1450	1610	1750	2000	2620	2620	2620	2360	2100	1840	1570	1310
4	0	0	2840	3220	3710	4200	5320	5320	4430	3930	3440	2950	2460
5	0	0	0	4610	5320	6020	7000	7000	6790	6090	5250	3950	3300
6	0	0	0	0	6720	7000	7000	7000	7000	7000	6860	5110	4200
7	0	0	0	0	0	7000	7000	7000	7000	7000	7000	6650	5740

Pornind de la datele din tabelele anterioare și posibila amplasare, prezentată în figura 3.1, este necesară o analiză a energiei furnizate de valuri pe parcursul unei perioade de timp (de regulă un an) și compararea acesteia cu capacitatea de conversie a celor două sisteme, cu scopul determinării soluției optime.

Eficiența convertoarelor este influențată nu doar de înălțimea și perioada valurilor ci și de variațiile acestora pe durata de timp considerată (1 an). Valorile corespunzătoare sunt disponibile în baze de date internaționale și sunt prezentate în figura 3.5.

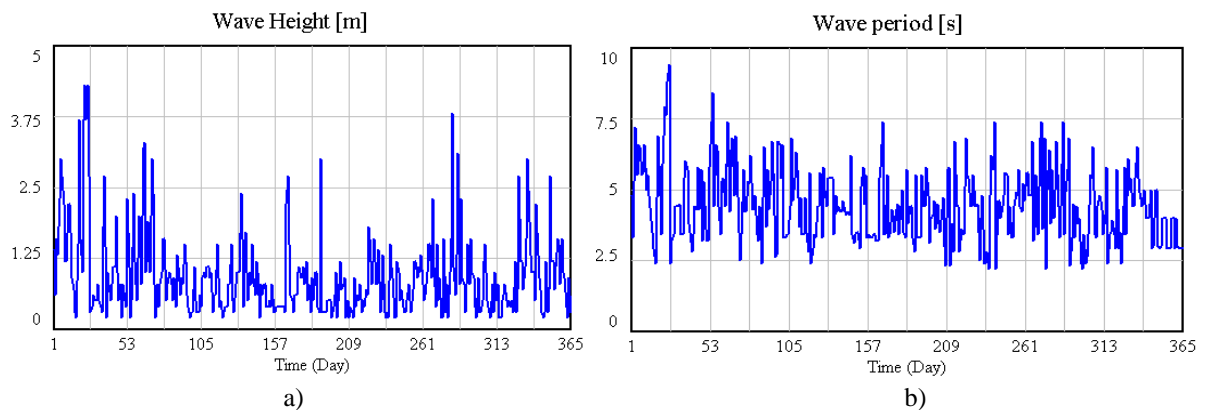


Figura 3.5 - Caracteristicile valurilor în zona analizată
a) înălțimea; b) perioada;

3.2 Construirea modelului dinamic

În vederea efectuării unei analize pentru stabilirea convertorului optim pentru zona aleasă, se va construi un model în Vensim, model care simulează comportarea celor două convertoare pe o durată stabilită de timp.

Pentru construirea modelului, se consideră un sistem dinamic format din convertoarele de energie de val și caracteristicilor de bază ale valurilor. Energia generată de valuri este transferată către convertor și transformată de acesta în energie electrică, conform ecuației următoare:

$$P_n = \rho g^2 H_s^2 T_E / 64\pi \quad (3.1)$$

unde:

P_n - puterea livrată de val pe unitatea de lungime (W/m)

ρ - densitatea apei de mare (1.023 kg/m^3)
 g - accelerație gravitațională (9.8 m/s^2)
 H_S - înălțimea valului (m)
 T_E - perioada valurilor (s)

Prima etapă constă în stabilirea limitelor temporale ale simulării: 365 zile, cu pasul de timp de o zi, figura 3.6.

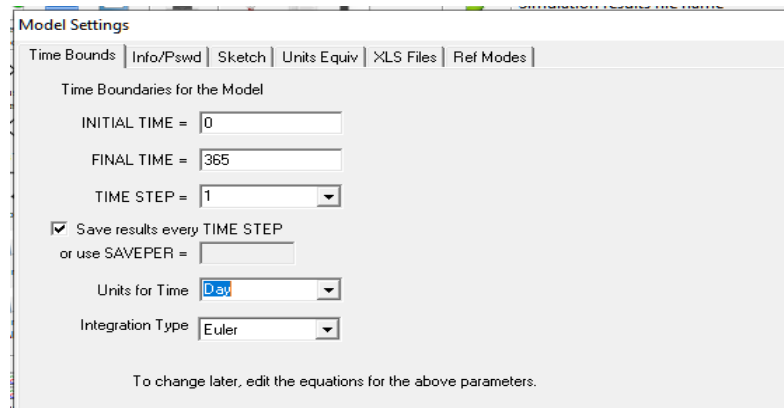


Figura 3.6 - Stabilirea limitelor temporale ale simulării

Analizând rolul funcțional al fiecărei componente a sistemului se poate observa că există două variabile cumulative: energia generată de valuri (Energia Valurilor), alimentată de puterea valurilor (Putere Valuri) și energia convertită (Energie Electrică) - generată de convertor (Conversie). Schema de bază a sistemului este prezentată în figura 3.7.

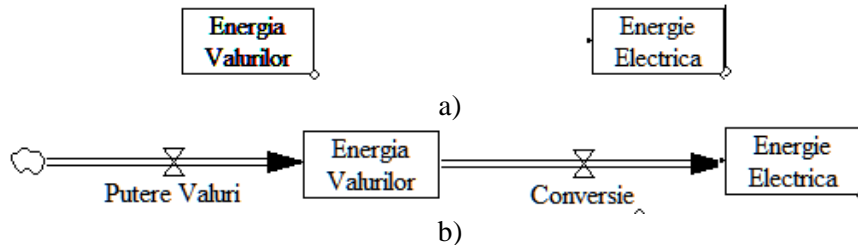


Figura 3.7 - Model sistem de conversie a energiei valurilor
 a) variabile cumulative; b) model de bază

În etapa următoare se introduc în model celelalte variabile care influențează sistemul, corespunzător ecuației 3.1, obținându-se varianta prezentată în figura 3.8.

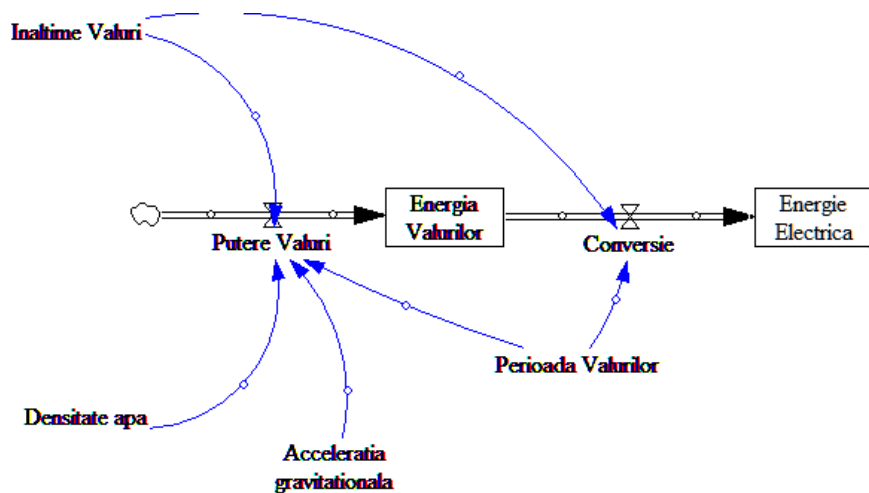


Figura 3.8 - Model sistem de conversie a energiei valurilor cu variabile auxiliare

Se observă, în figura 3.8, că unele variabile auxiliare, cum ar fi "înălțimea valurilor" și "perioada valurilor" influențează mai multe componente ale sistemului, respectiv atât puterea generată de valuri cât și rata de conversie a energiei.

În ultimă etapă se introduc influențele temporale, opțiunea celor două convertoare și restul variabilelor auxiliare. Se obține astfel modelul final, figura 3.9.

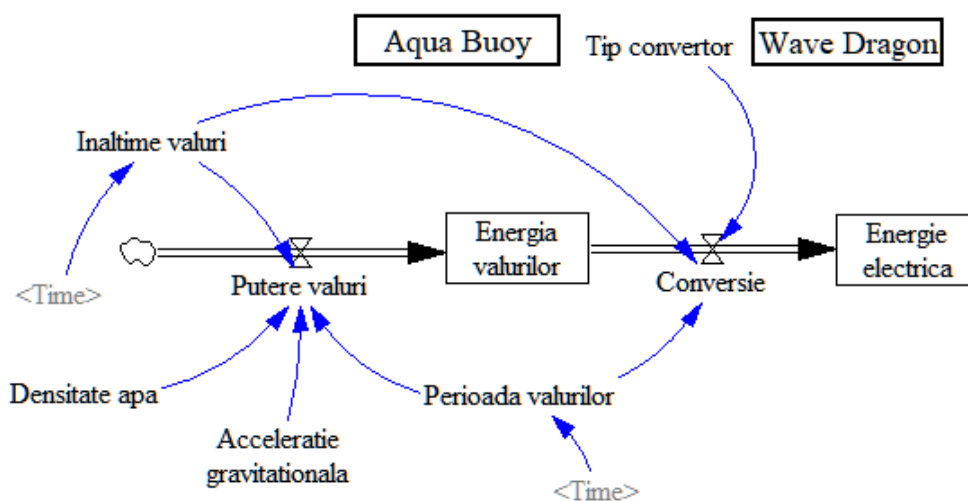


Figura 3.9 - Model sistem de conversie a energiei valurilor complet

Funcționarea sistemului dinamic este următoarea:

- *puterea generată de valuri* se transformă, în timp, în energie care este livrată către convertor. Acesta, prin procesul de conversie, transformă energia valurilor în *energie electrică*;
- *puterea generată de valuri* este influențată de înălțimea valurilor, densitatea apei, accelerația gravitațională și perioada valurilor;
- *perioada valurilor* este influențată de timp
- *procesul de conversie* este influențat de înălțimea valurilor, perioada valurilor și tipul de convertor
- *înălțimea valurilor* este influențată de timp

Etapa următoare presupune introducerea în model a ecuațiilor matematice care guvernează funcționarea acestuia. Ecuațiile respective sunt prezentate în tabelul 3.9.

Tabelul 3.9

Variabilă	Ecuatie
Timp	0...365 zile
Înălțime valuri	tabelar, funcție de timp, conform fig.xx-2
Densitate apă	constantă = 1028 kg/m ³
Accelerație gravitațională	constantă = 9.81 m/s ²
Perioada valurilor	tabelar, funcție de timp, conform fig.xx-2
Conversie	<p>IF THEN ELSE(Tip convertor=0, (IF THEN ELSE((-115.068+32.3477*Inaltime valuri+21.9541*Perioada valurilor-1.0699*(Perioada valurilor^2))>0), (-115.068+32.3477*Inaltime valuri+21.9541*Perioada valurilor-1.0699*(Perioada valurilor^2)), (-1*(-115.068+32.3477*Inaltime valuri+21.9541*Perioada valurilor-1.0699*(Perioada valurilor^2))))), (IF THEN ELSE((-2356.62+602.831*Inaltime valuri-564.989*(Inaltime valuri^2)+336.479*(Inaltime valuri^3)-59.6655*(Inaltime valuri^4)+3.28411*(Inaltime valuri^5)+230.011*(Perioada valurilor^2))>0, (-2356.62+602.831*Inaltime valuri-564.989*(Inaltime valuri^2)+336.479*(Inaltime valuri^3)-59.6655*(Inaltime valuri^4)+3.28411*(Inaltime valuri^5)+230.011*(Perioada valurilor^2)), -1*(-2356.62+602.831*Inaltime valuri-564.989*(Inaltime valuri^2)+336.479*(Inaltime valuri^3)-59.6655*(Inaltime valuri^4)+3.28411*(Inaltime valuri^5)+230.011*(Perioada valurilor^2))))))</p>
Putere valuri	Densitate apa*((Acceleratie gravitacionala)^2)*Perioada valurilor*((Inaltime valuri)^2)/(64*3.14)
Tip convertor	constantă 1 - AquaBuoy / 0 - WaveDragon
Număr convertoare	constantă
Energie valuri	Putere valuri-(Conversie) [W]
Energie electrică	Conversie*număr convertoare

Pentru obținerea ecuației de conversie a energie valurilor în energie electrică s-a aplicat o procedură de regresie matematică, utilizând programul DafaFit, supra valorilor din tabelele 3.3 și 3.4, obținându-se ecuația prezentată în tabelul 3.9 și reprezentările grafice din figura 3.10.

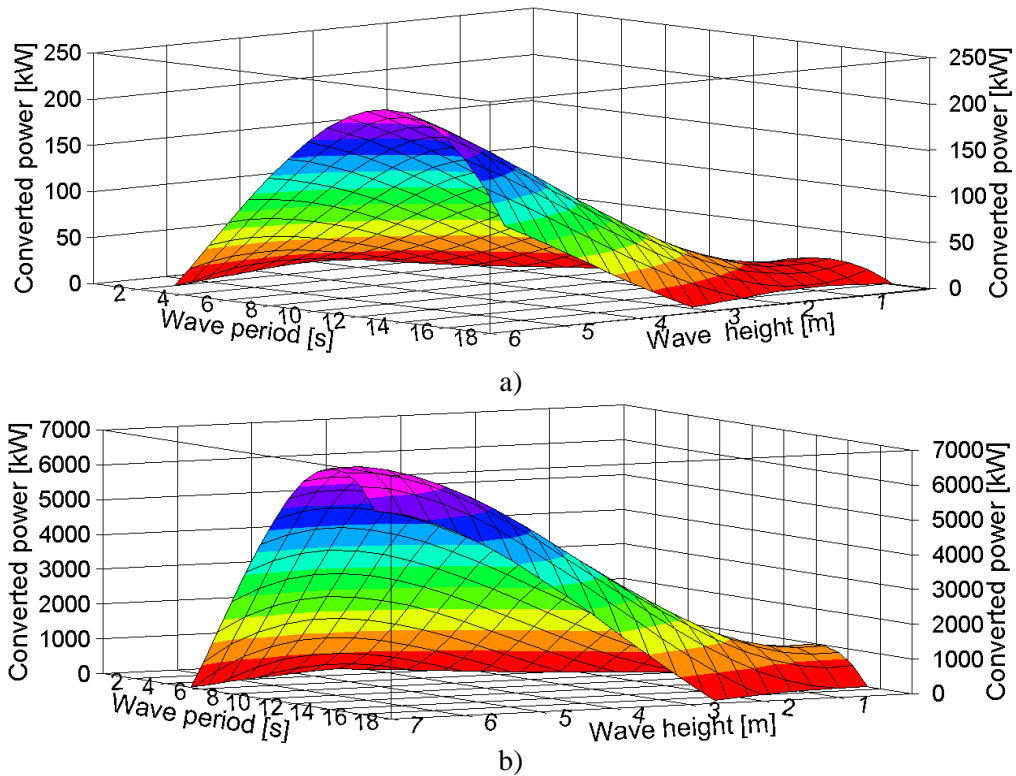


Figura 3.10 - Caracteristici AquaBuoy (a) și WaveDragon (b)

Pentru inserarea ecuațiilor a fost utilizat editorul de ecuații inclus în Vensim, figura 3.11.

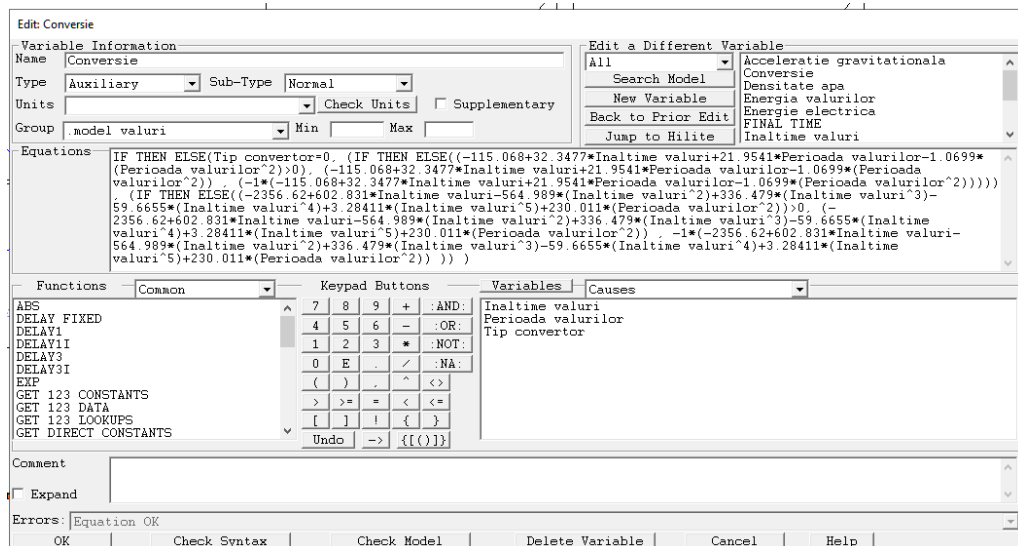


Figura 3.11 - Editor de ecuații Vensim

3.3 Analiza rezultatelor simulării

În urma rulării simulării pe modelul construit se obțin o serie de rezultate, disponibile atât sub formă grafică cât și tabelară. În figura 3.12 se prezintă rezultatele obținute pentru convertorul AquaBuoy iar în figura 3 rezultatul pentru convertorul WaveDragon.

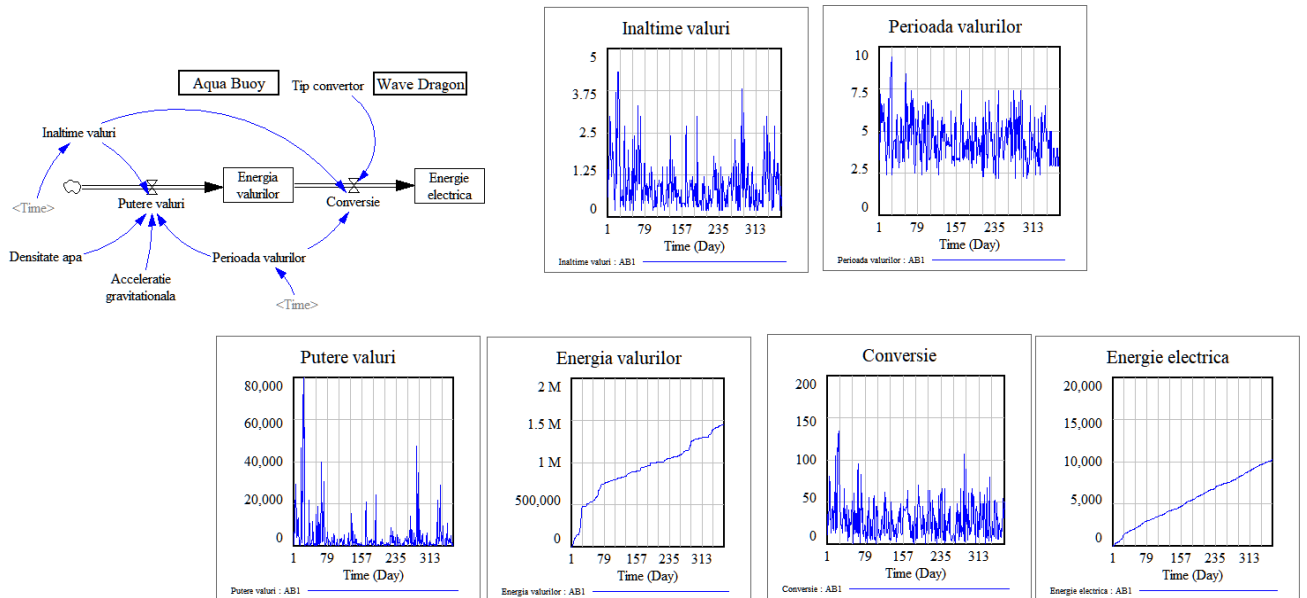


Figura 3.12 - Rezultate simulare pentru AquaBuoy

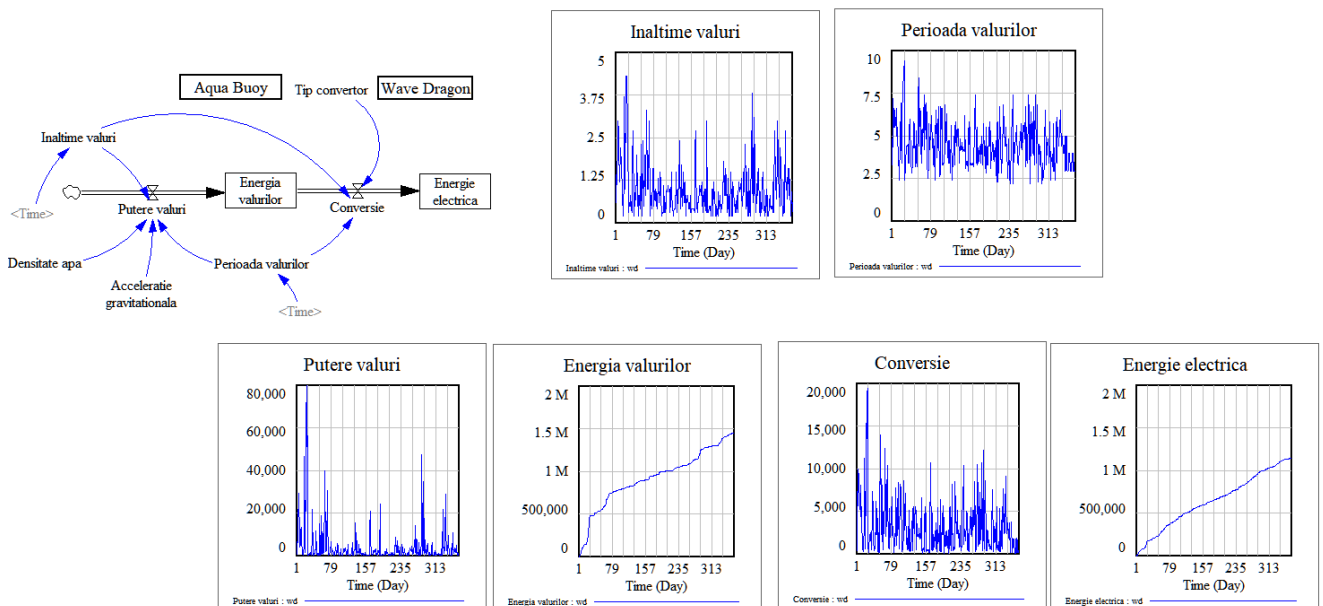


Figura 3.13 - Rezultate simulare pentru WaveDragon

Se poate observa din figurile 3.12 și 3.13 că valorile energiei valurilor sunt identice în ambele cazuri. Diferențe apar doar la procesul de conversie și, respectiv, la cantitatea de energie electrică obținută pe durata a 365 zile.

Se mai observă în figurile 3.12, 3.13 că distribuția temporală a energiei valurilor este mai ridicată în perioadele de iarnă.

Comparația între performanțele oferite de cele două convertoare se poate obține sub formă grafică, figura 3.14. Se observă diferența dintre cantitățile de energie electrică livrate de cele două convertoare, pe durata a 365 zile.

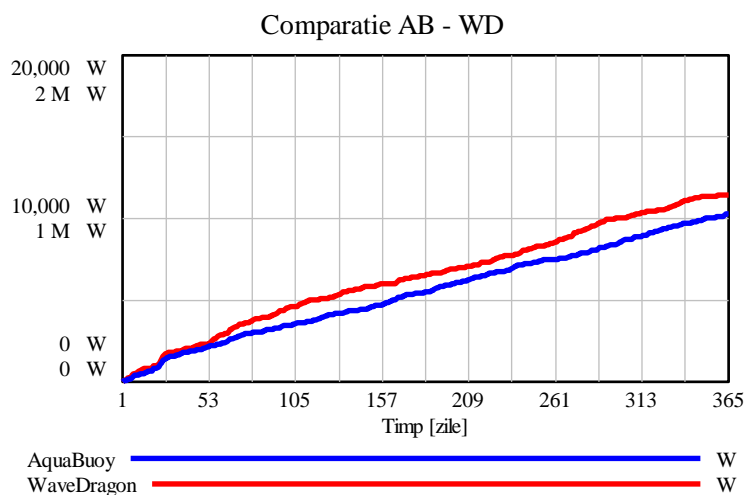


Figura 3.14 - Comparație performanțe AquaBuoy și WaveDragon

Ținând cont de particularitățile constructive și de mentenanță a celor două tipuri de convertoare, se poate simula situația în care se montează mai multe convertoare tip AquaBuoy în paralel, astfel încât să se obțină aceeași (sau mai mare) cantitate de energie electrică. În figura 3.15 se prezintă rezultatul acestei simulări.

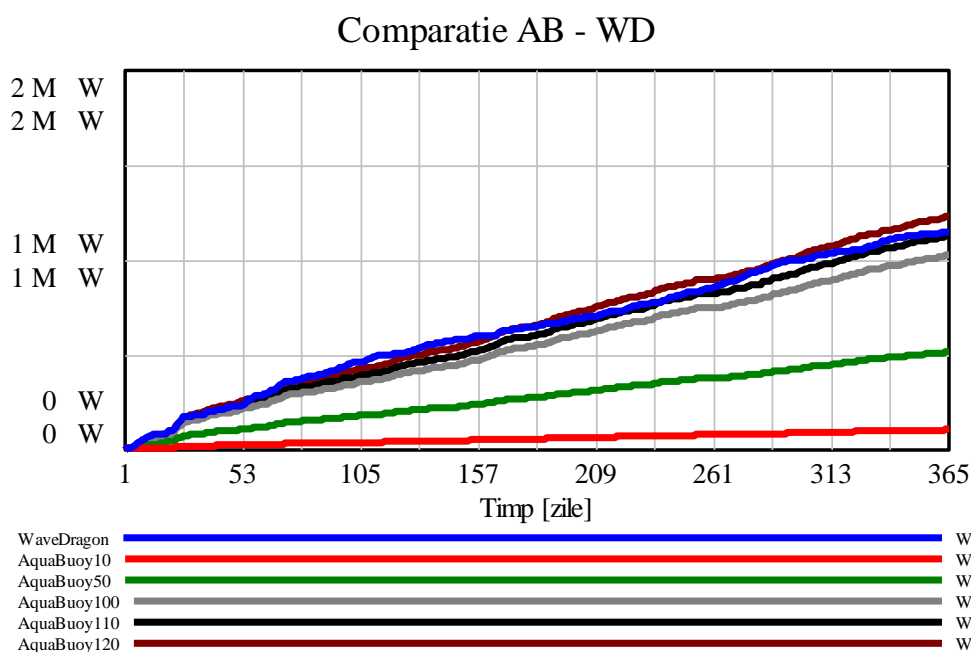


Figura 3.15 - Comparație AquaBuoy și WaveDragon, funcție de numărul de unități

Analizând figura 3.15 se observă că montând 110 unități AquaBuoy se obține aproximativ aceeași energie electrică ca în cazul unei singure unități WaveDragon. Pentru 120 unități AquaBuoy, cantitatea de energie furnizată este mai mare decât în

cazul unei singure unități WaveDragon. Urmarea logică ar fi că energia furnizată este cu atât mai mare cu cât numărul de unități AquaBuoy este mai mare. Dacă se simulează amplasează mai multor unități, se obține rezultatul prezentat în figura 3.16.

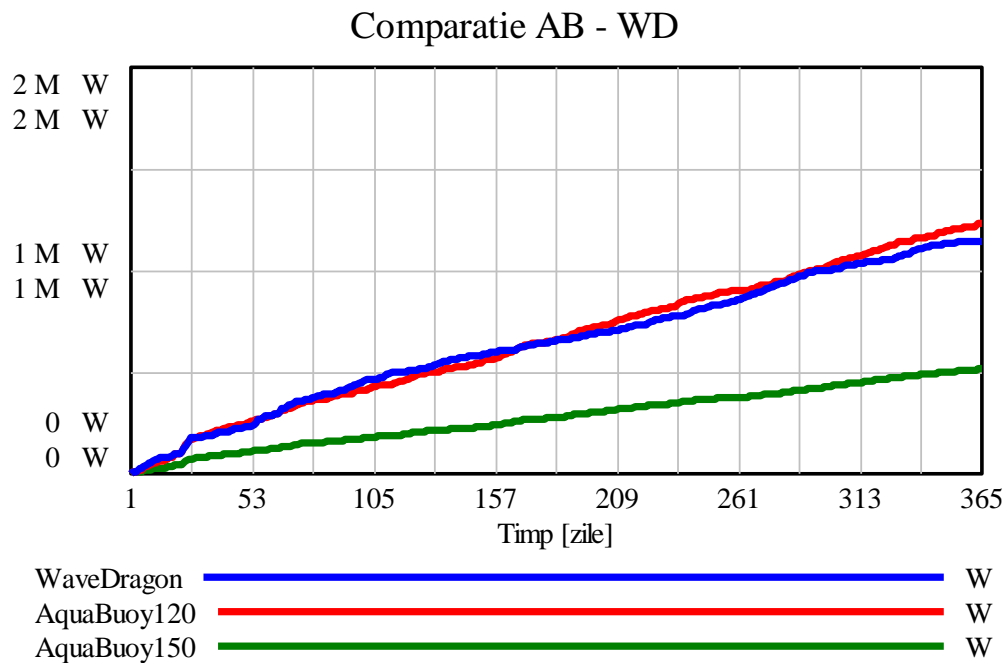


Figura 3.16 - Comparație AquaBuoy și WaveDragon, funcție de numărul de unități

Se poate observa în figura 3.15 că cu cât numărul de unități AquaBuoy crește, cu atât cantitatea de energie electrică livrată scade: dacă 120 unități oferă aceeași cantitate de energie electrică ca și o unitate WaveDragon, 150 de unități oferă mai puțin de jumătate. Cauza acestui fenomen este faptul că energia electrică capabilă să fie produsă de unitățile convertitoare este mai mare decât energia disponibilă a valurilor.

Concluzii

În urma celor prezentate se pot evidenția următoarele concluzii:

- În contextul mondial actual, exploatarea surselor de energie regenerabilă se extinde rapid, generând noi provocări pentru ingineria mecanică și ingineria electrică.
- Există o varietate de sisteme și dispozitive dedicate extragerii și convertirii energiilor regenerabile cum ar fi energia eoliană, energia solară sau energia valurilor în energie electrică.
- Deși există sub o varietate de forme și principii de funcționare, convertoarele de energii regenerabile au prețuri ridicate și unele dintre ele presupun condiții de instalare și exploatare speciale, având și un impact asupra mediului înconjurător (turbinele eoliene, panourile solare, convertoarele de energie maritimă etc.)
- Există o legătură directă între performanțele conversiei energiei regenerabile și condițiile de mediu în care funcționează convertorul. Din acest punct de vedere, o proiectare și o amplasare eficientă presupune rularea unor simulări pe modele adecvate.
- Teoria sistemelor dinamice, alături de programele de simulare aferente, oferă proiectantului posibilitatea analizării și optimizării utilizării convertoarelor energetice, astfel încât performanțele acestora să fie optime, pentru mediul în care funcționează.
- Construirea unui model bazat pe teoria sistemelor dinamice în Vensim, pentru analiza oportunității instalării unor convertoare de energie a valurilor în largul coastelor României la Marea Neagră, a permis identificarea unor situații specifice, oferind posibilitatea alegerii fie a unui singur convertor WaveDragon fie a 120 unități AquaBuoy, ambele opțiuni oferind aceeași cantitate de energie electrică, pe parcursul unui an. Dacă numărul de unități AquaBuoy crește, cantitatea de energie furnizată scade, ca urmare a depășirii cantității de energie disponibilă a valurilor.

Declarație

Această lucrare a fost elaborată în cadrul proiectului de cercetare științifică DREAM (Dynamics of the REsources and technological Advance in harvesting Marine renewable energy), finanțat de Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI) prin grantul PN-III-P4-ID-PCE-2020-0008.

Bibliografie

- 1- Rusu E., Diaconita A., Raileanu A., An assessment of wind power dynamics in the European coastal environment, 5th International Conference on Advances on Clean Energy Research ICACER 2020, Spain, 2020.
- 2 - TPWind Advisory Council, Wind energy: A Vision for Europe in 2030.
- 3 - Edmond MAICAN “ SISTEME DE ENERGII REGENERABILE “ Editura PRINTECH, Bucuresti , 2015
- 4 - J.P. Kofoed, P. Frigaard, M. Kramer, *The Renewable Ocean Energy Utilization*, (2006)
- 5 - FirstSolar, "First Solar Builds the Highest Efficiency Thin Film Pv Cell on Record," First Solar, 5 August 2014. [Online]. Available:
- 6 - M. de Wild-Scholten, "Renewable and Sustainable Energy Reviews," Solar Energy
- 7 - M. Balan, *Energii regenerabile*, Cluj-Napoca: U.T.PRESS, 2007.
- 8 - J.M. Garcia, *System Dynamic - Exercises* (2014)
- 9 - Ventana Systems inc., www.vensim.com
- 10 - S.A.R.M.M Kooshknow, *An Exploratory Model to Investigate the Dynamics of the World Energy System*, (2013)
- 11 - Dina Silva, Eugen Rusu and Carlos Guedes Soares, Evaluation of Various Technologies for Wave Energy Conversion in the Portuguese Nearshore, *Energies* 2013, 6, 1344-1364