

## Studiu privind modelarea transformării valurilor

**NR. DOCUMENT:** 64210030-EBD-ENG-RE-004

**NUME DOCUMENT:** Reducerea eroziunii costiere Faza II (2014-2020) Lot 2 – Zona Mamaia  
**NUMĂR PROIECT:** 64210030

**NUME CLIENT:** Administrația Bazinală de Apă Dobrogea Litoral



## CONTROL DOCUMENTE

Date generale despre documente	
<b>Titlu document:</b>	Studiu privind modelarea transformării valurilor
<b>Nr. document:</b>	64210030-EBD-ENG-RE-004
<b>Nume proiect:</b>	Reducerea eroziunii costiere Faza II (2014-2020) Lot 2 – Zona Mamaia
<b>Nr. proiect:</b>	64210030
<b>Nume client:</b>	Administrația Bazinală de Apă Dobrogea Litoral
<b>Entitatea Boskalis:</b>	Boskalis Srl

Statusul reviziei		
<b>Nr. revizie:</b>	rev. 1.0	
<b>Data reviziei:</b>	28-Feb-2020	
<b>Statusul aprobării:</b>	Emis pentru aprobare	
<b>Elaborat de:</b>	J. Hoek	Rol: Jr. Inginer de specialitate stagiar
<b>Revizuit de:</b>	M. Klein	Rol: Sr. Inginer specialist principal
<b>Verificare interdisciplinară:</b>	J. Henrotte	Rol: Manager proiectare
<b>Aprobat de:</b>	H. van Itallie	Rol: Manager de proiect

Jurnal modificări		
Revizie	Secțiune	Modificare
1.0	Toate	Transmitere initiala

## **CUPRINS**

<b>1. INTRODUCERE</b>	<b>5</b>
1.1. Contextul proiectului	5
1.2. Domeniul de activitate	5
1.3. Domeniul de aplicare al documentului	6
<b>2. METODOLOGIE</b>	<b>7</b>
2.1. Abordare	7
2.1.1. Valuri	7
2.1.2. Nivelurile valurilor	7
2.2. Cerințe contractuale	7
<b>3. ANALIZA DATELOR</b>	<b>8</b>
3.1. Material informativ de specialitate	8
3.2. Batimetrie	8
3.3. Date privind măsurătorile	9
3.4. Set de date Metocean măsurate offshore	10
<b>4. CONDIȚII OPERAȚIONALE METOCEAN OFFSHORE</b>	<b>11</b>
4.1. Vânt	11
4.2. Starea mării	12
4.3. Date spectrale	14
4.4. Valuri	15
4.4.1. Validarea seturilor de date privind valurile în larg	17
4.5. 4Niveluri de apă stătătoare	17
<b>5. CONDIȚII DE PROIECTARE METOCEAN</b>	<b>19</b>
5.1. Condiții de proiectare ale vântului în larg	19
5.2. Condiții de proiectare ale valurilor în larg	20
5.2.1. Variabile asociate	21
5.3. Niveluri proiectate ale apei	22
<b>6. MODEL DE TRANSFORMARE A VALURILOR ÎN APROPIEREA ȚĂRMULUI</b>	<b>25</b>
6.1. Grila de calcul și batimetrie	25
6.2. Locații de ieșire	26
6.3. Performanța modelului	27
6.3.1. Calibrare	27
6.3.2. Validare	29
6.4. Condiții de delimitare	31
6.4.1. Condiții operaționale	31
6.4.2. Condiții extreme	32

<b>7.</b>	<b>REZULTATE</b>	<b>33</b>
7.1.	Condiții operaționale în apropierea țărmului	33
7.2.	Condiții de proiectare în apropierea țărmului	34
<b>8.</b>	<b>CONCLUZIE</b>	<b>37</b>
<b>9.</b>	<b>REFERINȚE ABREVIERI, DEFINIȚII</b>	<b>38</b>
9.1.	Referințe	38
9.2.	Abrevieri	38
9.3.	Definiții	39
<b>10.</b>	<b>ANEXE</b>	<b>40</b>
10.1.	Fișa informativă privind datele offshore	40
10.2.	Analiza valorilor extreme	40
10.3.	Locații de ieșire	40
10.4.	Verificarea formei furtunii	40
10.5.	Performanța modelului	40



## 1. INTRODUCERE

### 1.1. Contextul proiectului

Litoralul românesc de-a lungul Mării Negre este supus eroziunii. Eroziunea costieră contribuie la pierderea unor terenuri deosebit de valoroase, pierderi care pot afecta ecosistemele costiere și produce daune economice și sociale pentru o astfel de zonă. Prin urmare, Administrația Bazinală de Apă Dobrogea Litoral (ABADL), din cadrul Administrației Naționale a Apelor Române (ANAR), definește Masterplanul „Protecția și reabilitarea zonei costiere”. Zona Mamaia (Lot 2) este unul dintre cele 11 loturi identificate ca făcând parte din Etapa II Reducerea eroziunii costiere (2014-2020) în cadrul acestui Masterplan.



Figura 1.1 – Locația proiectului

Obiectivul principal al acestui proiect este protejarea și reabilitarea zonei litoralului românesc și a factorilor de mediu, prin lucrări de inginerie de combatere a fenomenului de eroziune costieră, susținând tendința de reînviere a ecosistemului marin și de dezvoltare a unor specii care, la un moment dat, dispăruseră din ecosistem, protejând biodiversitatea marină și zona litorală, și respectiv dezvoltarea durabilă a zonei de coastă.

Finanțarea Lucrărilor este realizată prin intermediul Fondului de coeziune al Uniunii Europene - Programul Operațional Infrastructură Mare (POIM) 2014-2020.

### 1.2. Domeniul de activitate

The Zona proiectului este situată între porturile Constanța și Midia, delimitată de locația restaurantului Arcadia în nord, iar în sud, de digul perpendicular pe linia țărmului din Mamaia Sud.

Domeniul de activitate constă în proiectarea și construcția următoarelor elemente:

- Îndepărtarea structurilor marine costiere MM5, MM6 și MM7
- Extinderea structurii costiere RJ1 cu 65m
- Îndepărtarea digului pietonal din beton
- Lărgirea plajei la nord de structura costieră RJ1, pe o lungime de 6.950 m, pentru a crea o plajă cu o lățime de 100m
- Lucrări temporare

În mod similar, în conformitate cu certificatele de urbanism, documentația necesară va fi pregătită pentru obținerea autorizațiilor relevante.

### **1.3. Domeniul de aplicare al documentului**

O Bază de proiectare trebuie pregătită pentru proiectarea și construcția lucrărilor, ca parte a fazei de Proiectare detaliată a proiectului. Domeniul de aplicare al acestui Studiu privind modelarea transformării valurilor presupune analiza condițiilor Metocean pentru țărmul Mamaia, care va furniza informații pentru Baza de Proiectare. Studiu privind modelarea transformării valurilor este realizat pentru proiectul „Reducerea eroziunii costiere Etapa II (2014-2020) Lot 2 - zona Mamaia”, pentru a determina condițiile operaționale în apropierea țărmului, nivelurile proiectate ale apei și condițiile proiectate ale valurilor.

Raportul rezumă metodologia utilizată pentru a analiza condițiile Metocean în capitolul 2, după care condițiile de valuri și vânt în larg, și nivelurilor de apă sunt discutate în capitolele 3 și 4. Analiza valorilor extreme (AVE) este tratată în capitolul 5. AVE este efectuată pentru variabilele vitezei vântului și înălțimii valurilor. Pentru variabila înălțimii valului, se determină perioada vârfului-undă și viteza vântului asociate. Nivelurile de apă proiectate sunt determinate din literatura de specialitate. Configurarea modelului de transformare a valurilor și transformarea din offshore în nearshore, este descrisă în capitolul 6 și în final, rezultatele sunt prezentate în capitolul 7. Concluziile sunt prezentate în capitolul 8.

## **2. METODOLOGIE**

### **2.1. Abordare**

#### **2.1.1. Valuri**

Condițiile operaționale și proiectate ale valurilor vor fi transformate din condiții offshore (în larg) în condiții nearshore (la țărm). Climatul valurilor în larg este achiziționat de la Infoplaza Marine Weather BV [1] cu locația 44.0°N, 29.5°E, a se vedea figura 3.3. A fost creat un model spectral pentru valuri SWAN (Simularea valurilor la apropierea de țărm) pentru a transforma condițiile valurilor în larg în condiții ale valurilor la apropierea de țărm, utilizând batimetria care constă în hărți marine și date de cercetare digitalizate.

SWAN este un model de valuri de ultimă generație dezvoltat de Universitatea Tehnologică Delft, utilizat pe scară largă în industria de inginerie pentru a determina condițiile proiectate ale valurilor. Modelul include procesele de propagare a valurilor, refracție, formare a bancurilor datorită variațiilor spațiale de pe fundul mării și a curentului, transmitere și reflecție a valurilor față de obstacole, disipare a valurilor prin albirea valurilor (white-capping), spargere indusă la adâncime și frecare de fundul mării. Acesta a fost verificat utilizând rezultate atât din măsurători pe teren, cât și din testări pe modele fizice [2].

Pentru a determina condițiile de proiectare pentru zona Mamaia, se realizează o analiză a valorilor extreme (AVE). AVE este efectuată pe datele valurilor offshore pentru a determina condițiile de proiectare offshore. Condițiile de proiectare offshore sunt apoi transformate către linia țărmului cu modelul ondulatoriu. Structurile costiere vor fi incluse în modelele numerice. Abordarea este în conformitate cu metodologia propusă în Propunerea Contractantului 38[A.1].

#### **2.1.2. Nivelurile valurilor**

Nivelurile locale proiectate ale apei în timpul condițiilor de furtună sunt determinate din literatura de specialitate. Bondar [3] a realizat cercetări ample care sunt utilizate pentru a obține nivelurile de apă și diverse componente. Măsurători locale din Portul Constanța au fost utilizate pentru validarea nivelurilor de apă obținute de Bondar.

### **2.2. Cerințe contractuale**

O prezentare generală a principalelor cerințe ale Angajatorului relevante pentru acest Studiu de modelare a transformării valurilor, este prezentată în acest paragraf [A.1]:

- Setul de date pentru vânt și valuri offshore acoperă cel puțin o perioadă de timp de 33 de ani;
- Setul calibrat de date pentru vânt și valuri offshore include cele mai recente evenimente;
- Datele sunt disponibile la un interval de timp de 1 oră;
- Datele au fost prelucrate în rezervoare de colectare direcționale la cel puțin 30 de grade;
- Toate datele privind sunetul și nivelul apei vor fi reduse la Elevația de geodezie locală de referință, respectiv nivelul mediu al Mării Negre în 1975 (MN75);
- Condiții de proiectare cu o perioadă de revenire între 1 și 100 de ani la dig, ca informație pentru lucrările de protecție costieră;
- În activitățile de proiectare, Contractantul trebuie să ia în considerare valoarea de 3,3 mm / an pentru creșterea nivelului mării, ceea ce duce la o creștere a nivelului mării de 0,165 m pentru o durată de existență de 50 de ani.

### 3. ANALIZA DATELOR

#### 3.1. Material informativ de specialitate

Diverse lucrări și studii Metocean sunt utilizate ca referință și pentru a furniza informații pentru acest Studiu de transformare a valurilor. Se Următoarele materiale informative de specialitate sunt utilizate.

Studii anterioare de modelare a valurilor efectuate în aceeași regiune:

- Studiul de transformare a valurilor al lui Halcrow [4];
- Studiul de fezabilitate realizat de ROMAIR în asociere cu Arcadis [5];

Lucrări despre condițiile Metocean de-a lungul coastei românești:

- Studiu despre variația nivelului apei din Marea Neagră realizată de Bondar [3];
- Partiționare spectrală și hule în Marea Neagră de către Van Vledder [6] utilizate pentru verificarea setărilor utilizate în modelul ondulatoriu.

#### 3.2. Batimetrie

Datele batimetrice sunt o componentă cheie a unui model ondulatoriu, întrucât procesul de transformare a valurilor este dependent de adâncimea apei. Două surse de date batimetrice au fost disponibile. Batimetria modelului constă dintr-o combinație de hărți marine digitalizate și date brute din măsurători [B.1]. Figura 3.1 prezintă datele batimetrice utilizate pentru modelul ondulatoriu.

Toate coordonatele orizontale se referă la zona UTM 35N. Toate nivelurile verticale sunt în raport cu sistemul local MN75.

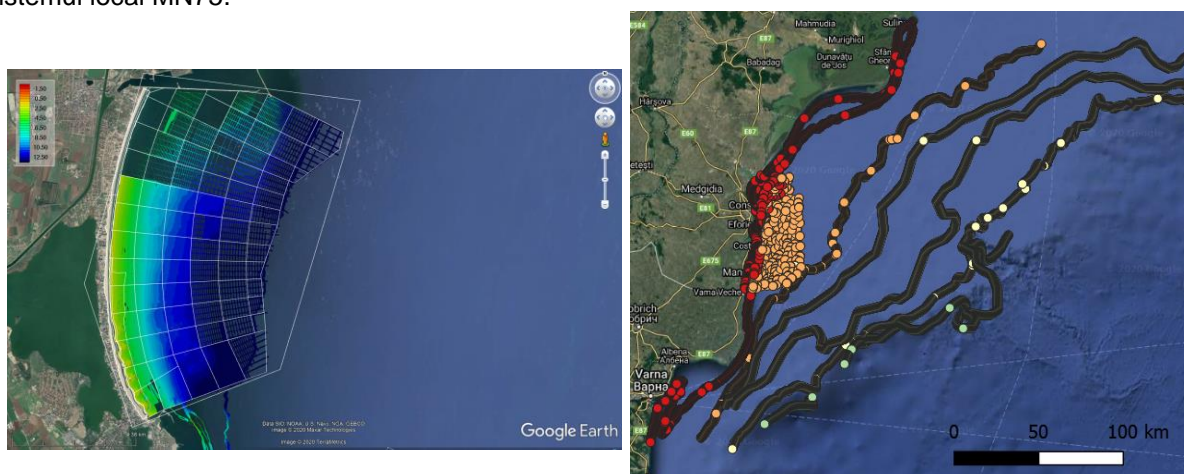


Figura 3.1: Date batimetrice utilizate pentru modelul ondulatoriu. Date de cercetare obținute (stânga) și mostre de la hărțile maritime digitalizate (dreapta)

### 3.3. Date privind măsurătorile

Datele privind valurile la apropierea de țărm (nearshore) au fost măsurate în largul coastei din Mamaia, ca parte a studiului JICA (2007). Datele de măsurare înregistrate de la dispozitivul JICA de măsurare a valurilor au fost furnizate de Client. Amplasarea dispozitivului de măsurare, prezentat, are coordonatele UTM35N 632088m E 4902263m N la o adâncime a apei de aproximativ 11m. Dispozitivul de măsurare a măsurat datele de-a lungul a trei perioade cu durate diferite:

- 17 Martie 2006 - 27 Mai 2006;
- 16 Octombrie 2006 – 9 Ianuarie 2007;
- 2 Aprilie 2007 - 5 Noiembrie 2010.

Intervalele de timp ale înălțimii semnificative măsurate a valului ( $H_s$ ), durata semnificativă a valului ( $T_{1/3}$ ) și direcția medie a valului, sunt prezentate în Figura 3.2.. Pentru comparația între durata valurilor, durata semnificativă observată a valului ( $T_{1/3}$ ) a fost transformată în durată vârf-undă ( $T_p$ ), care este calculată în model folosind relația  $T_p = 1,075 * T_{1/3}$  din [7].

Măsurătorile privind direcția medie a valului de pe site-ul JICA sunt dubioase, deoarece arată că valurile provin în general dintr-o bandă destul de îngustă, acolo unde datele privind valurile / vântul din larg arată altceva. Există perioade în timpul datelor de observație în care direcția valului indică valori clar problematice, în special valurile mari direcționate în larg între septembrie 2008 și martie 2009. Acest lucru este confirmat și de studiul de transformare a valurilor efectuat de Halcrow care observă același lucru [4]. Prin urmare, modelul ondulatoriu va fi calibrat și validat pentru parametrii înălțimii semnificative a valurilor și duratei vârf-undă, în timp ce direcția valului va fi eliminată.

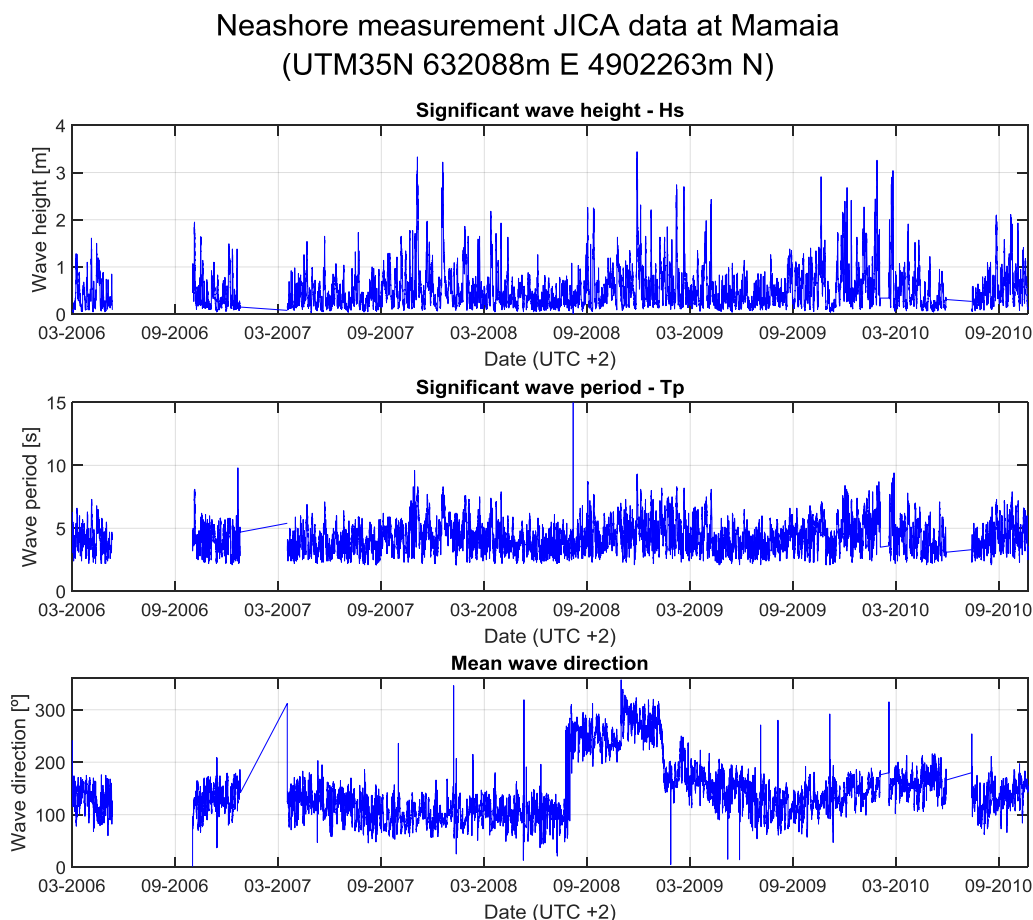


Figura 3.2: Date de măsurare disponibile cu variabile pentru înălțimea semnificativă a valurilor, durata semnificativă a valurilor și direcția medie a valurilor din studiul JICA efectuat în Mamaia



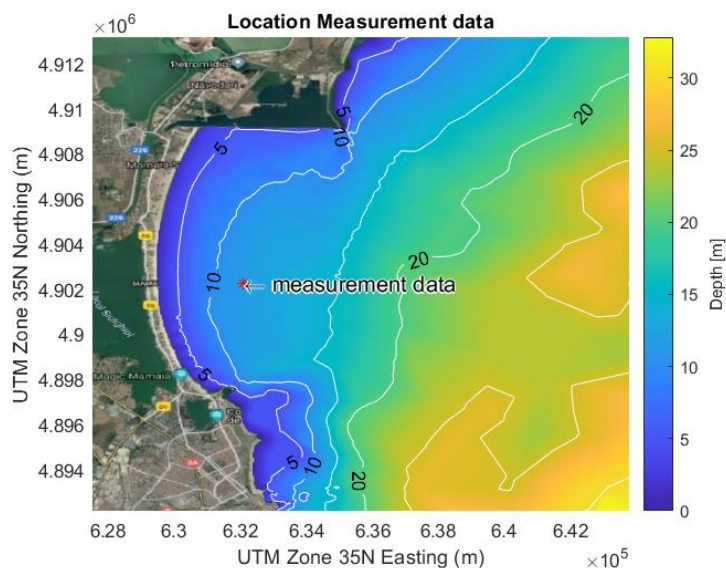


Figura 3.3: Date de măsurare a locației din studiul JICA UTM35N 632088m E 4902263m N

### 3.4 Set de date Metocean măsurate offshore

Datele privind intervalele de vînd și valuri sunt achiziționate de la Infoplaza Marine Weather BV [1], care este o marcă comercială înregistrată a BMT Argoss BV. Datele sunt achiziționate pentru locația 44.0°N 29.5°E (UTM35 700438m E 4874911m Y) la o adîncime de 69 m MSL și la o distanță de 74 km față de locația proiectului, a se vedea figura 3.3. Setul de date constă în serii de timp de 40 de ani modelate (ianuarie 1979 - octombrie 2019), cu un interval de 1 oră. Aceste date privind reconstituirea prin calcul a unor situații (hindcast data) au fost calibrate de Infoplaza pentru datele altimetrului. Datele achiziționate privind valurile și vînturile respectă cerințele contractuale, așa cum este menționat în [A.1]. Serii de timp conțin mai mulți parametri Metocean, inclusiv înălțimea semnificativă a valurilor ( $H_s$ ), durata spectrală vîrf-undă asociată ( $T_p$ ), perioada de traversare la nivel zero ( $T_z$ ) și direcții de intrare pentru starea totală a mării. Viteza și direcția vîntului la 10m înălțime ( $U_{10}$ ) sunt de asemenea incluse. Fișa informativă prezentată în anexa 10.1 conține mai multe informații despre datele calibrate privind valurile și vînturile pentru reconstituirea prin calcul a unor situații.

Parametri suplimentari ai valurilor din același set de date măsurate offshore, sunt disponibili cu un interval de 3 ore. Această informație suplimentară a fost utilizată pentru a analiza mai detaliat clima și caracteristicile valurilor offshore.

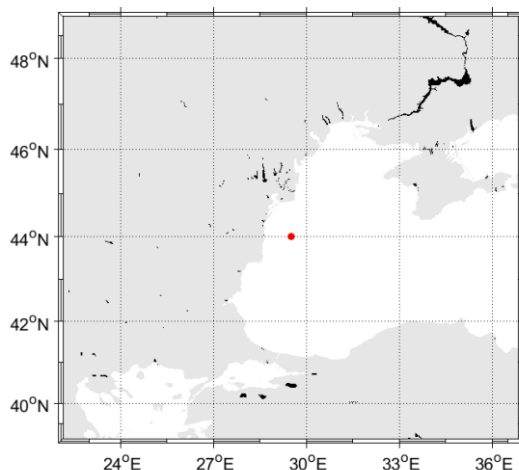


Figura 3.4: Date de locație privind valurile și vînturile offshore



#### 4. CONDIȚII OPERAȚIONALE METEOCEAN OFFSHORE

##### 4.1. Vânt

Direcția vântului indică două direcții dominante de la NNW la ENE și S la SSW, vezi Figura 4.1. Se observă că direcția valului este relativ similară cu direcția vântului, ceea ce indică faptul că zona este una predominant cu climat cu vânturi marine.

Probabilitatea lunară de depășire a vitezei vântului este indicată în Figura 4.2 (stânga). Variația sezonieră este prezentă, cu viteze cele mai scăzute ale vântului în lunile de vară, din aprilie până în septembrie, iar cele mai mari viteze ale vântului apar în lunile de iarnă, din octombrie până în martie. Graficul seriilor de timp este vizibil în Figura 4.2, unde se observă variații sezoniere clare de-a lungul anilor.

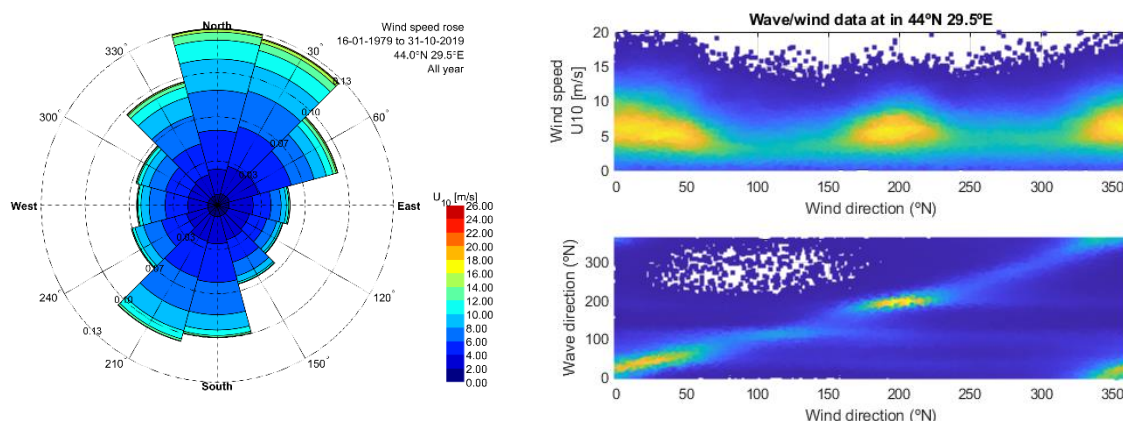


Figura 4.1: Creșterea anuală medie a vântului (stânga) și dispersia densității vitezei vântului versus direcția vântului (dreapta sus) și direcția vântului versus direcția valului (dreapta jos)

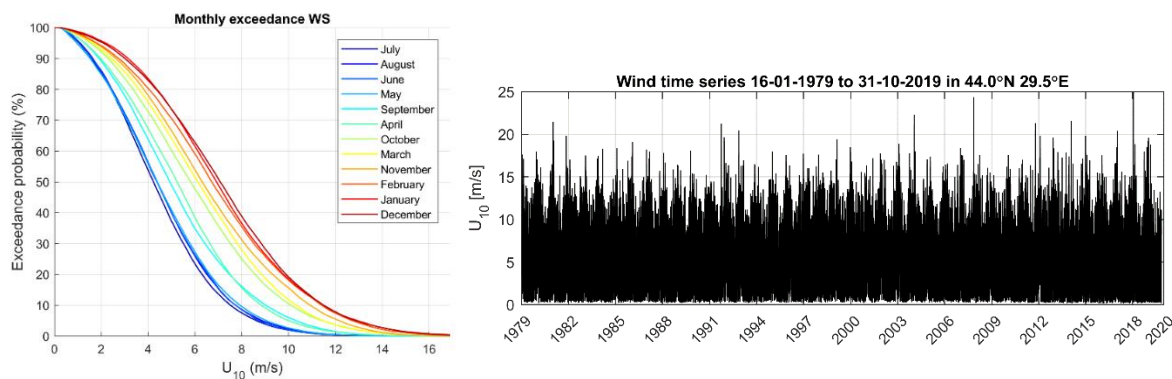


Figura 4.2: Curba de depășire lunară WS (stânga) și seriile de timp ale vitezei vântului (dreapta)

#### 4.2. Starea mării

Setul de date la interval de 3 ore pentru reconstituirea prin calcul a unor situații, este compus din mai multe componente ale valurilor, respectiv valuri maritime, valuri de hulă și valuri totale, ultima fiind combinația dintre valul maritim și hulă. S-a efectuat o evaluare a datelor privind valurile în larg pentru a determina care componentă(e) guvernează climatul valului. Condițiile de vânt pe mare pot fi caracterizate ca valuri relativ abrupte, generate de vânt în zona de interes, motiv pentru care condițiile valurilor maritime sunt puternic corelate cu condițiile vântului. Aceste condiții conduc, în general, la cele mai mari înălțimi ale valurilor. Valurile de hulă sunt valuri generate la distanțe mari și sunt caracterizate ca fiind valuri mai joase, dar mai lungi. În general, valurile de hulă nu au nicio corelație cu condițiile de vânt locale. Întrucât originea valurilor maritime și a valurilor de hulă și corelația acestora cu vântul sunt diferite, acest aspect ar putea afecta și abordarea modelării. Prin urmare, este important să identificăm ce tip de val guvernează pentru această situație specifică.

Un mod de a face diferența între valurile maritime și cele de hulă, este de a evalua curbura valului. Figura 4.3 prezintă înălțimea semnificativă a valului față de durata vârf-undă pentru datele din larg, împreună cu un număr de linii de curbura egală. Diferența dintre valurile maritime și cele de hulă poate fi făcută la linia de curbura de 0,02. Unde curbura valului  $S_0$  este dată de:

$$1) S_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_p^2}$$

Unde  $H_{m0}$  este înălțimea spectrală semnificativă a valului (m), denumită în continuare înălțimea semnificativă a valului și  $T_p$  durata vârf-undă (s).

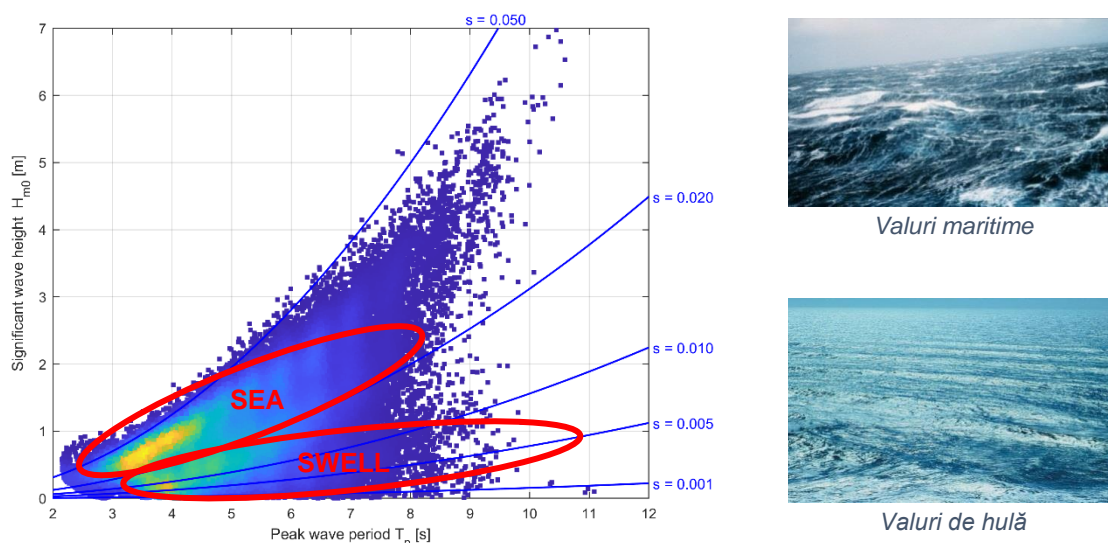


Figura 4.3: Înălțimea semnificativă a valului [m] față de durata vârf-undă [s] la locația din datele offshore. Liniile de curbura a valurilor [-] sunt afișate cu albastru

În Figura 4.4, graficele de dispersie pentru înălțimea semnificativă a valurilor  $H_{m0}$  și durata vârf-undă  $T_p$  pentru starea totală a mării, și condițiile pentru valurile maritime și valuri de hulă sunt prezentate în partea stângă. În plus, sunt oferite rozete ale valurilor pentru înălțimea valului și durata vârf-undă pentru starea totală a mării, valurile maritime și condițiile de hulă pentru direcția medie a valului. Valurile maritime au două direcții dominante, în principal de la ENE și S la SSV. Valurile de hulă au două direcții principale, și anume dinspre ENE și SE. Duratele valurilor sunt similare atât pentru condițiile de valuri maritime cât și pentru cele de valuri de hulă. Doar înălțimea valului pentru valurile maritime este semnificativ mai mare. Faptul că durata valurilor desemnate ca hulă are o magnitudine similară cu cea a valurilor maritime, este



probabil legat de distanța limitată pe care au parcurs-o valurile de hulă. Este nevoie de distanțe mari înainte ca un câmp de undă să înceapă să afișeze valurile tipice bine sortate, cu creastă mare, pe care le afișează valurile de hulă. Distanțele de călătorie pe Marea Neagră nu sunt suficient de mari.

Se poate concluziona că climatul valurilor este dominat de valurile maritime, iar condițiile de valuri pot fi descrise de starea totală a mării.

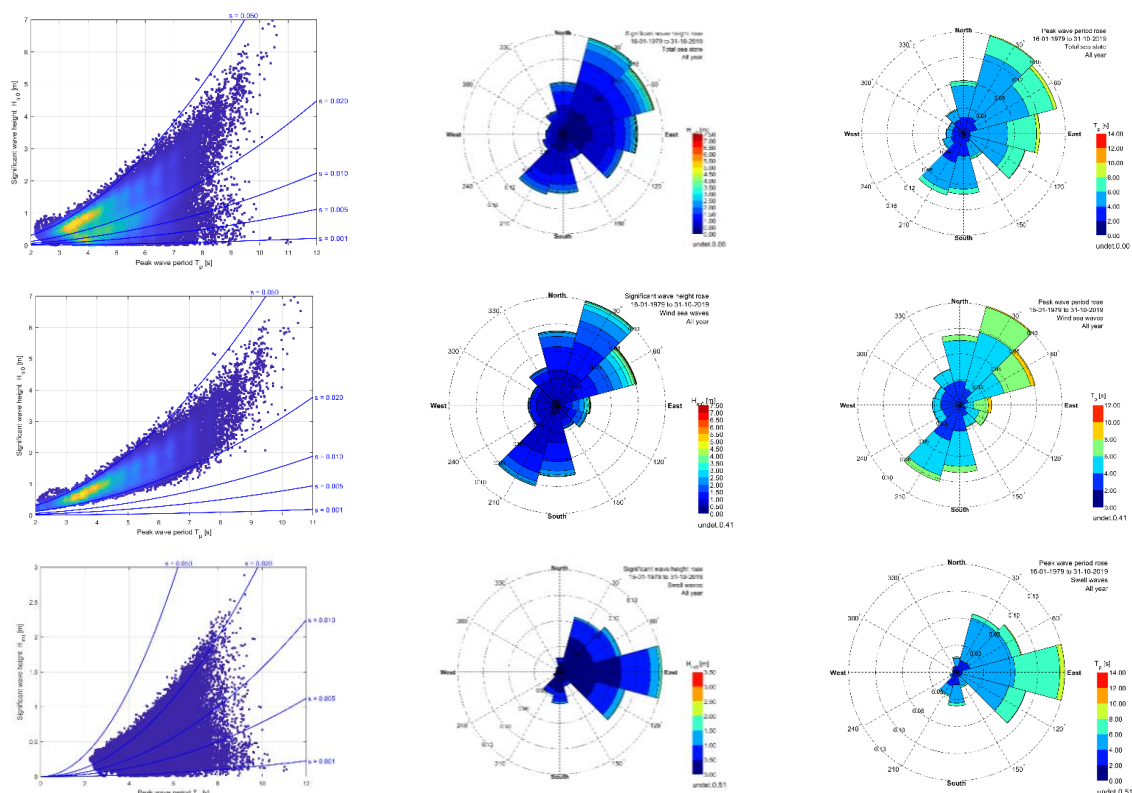


Figura 4.4: Dispersii de densitate  $H_{m0}$  față de  $T_p$  (stânga), rozete pentru valuri (mijloc) și rozete pentru durata valurilor (dreapta) pentru starea totală a mării (sus), condițiile vântului marin (mijloc) și valuri de hulă (stânga) pentru locația offshore 44.0°N 29.5°E

### 4.3. Date spectrale

Datele pentru valurile din larg conțin informații spectrale sub formă de energie spectrală a valurilor și propagare a valurilor. Energia spectrală a valurilor și propagarea direcțională a valurilor sunt prezentate în Figura 4.5 și Figura 4.6. Cea mai mare parte a energiei valurilor este prezentă în jurul frecvenței valurilor de 0,09-0,15 Hertz; corespunzând unei durate a valului de aproximativ 6,5 - 11,0 secunde. Forma spectrală corespunde unui spectru Jonswap cu un factor de 3,3.

Propagarea direcțională a valurilor este indicată în figura 4.6 pentru starea totală a mării, valurile maritime și valurile de hulă. Se indică propagarea valurilor versus direcția valurilor, versus înălțimea valurilor și versus durata valurilor. Propagarea valurilor variază între 10 - 30°. Graficul din figura 4.5 (dreapta) confirmă faptul că propagarea valurilor pentru valuri cu o durată de 10-11s au o propagare de 18-20°.

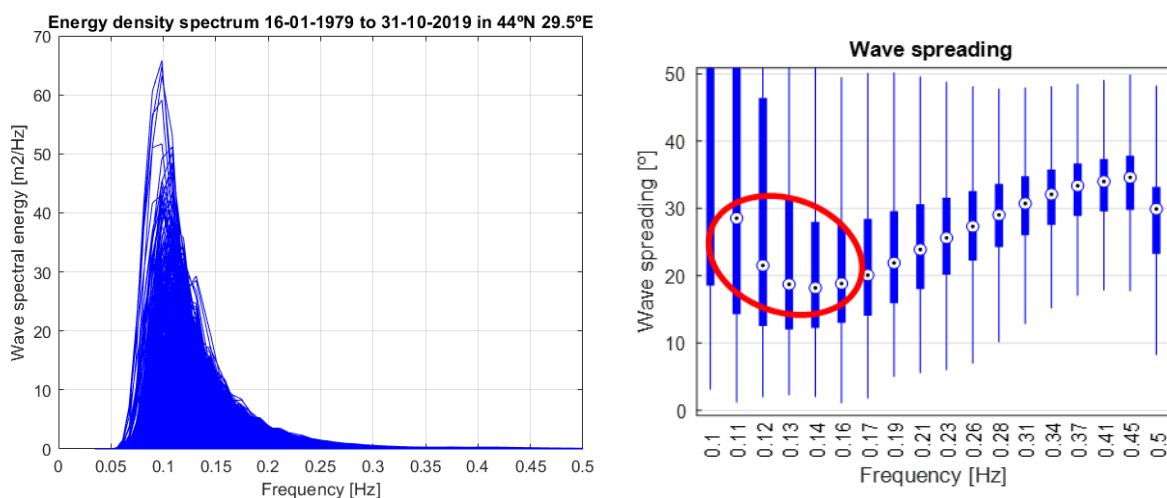


Figura 4.5: Energia spectrală a valurilor din setul de date colectate offshore 44.0°N 29.5°E

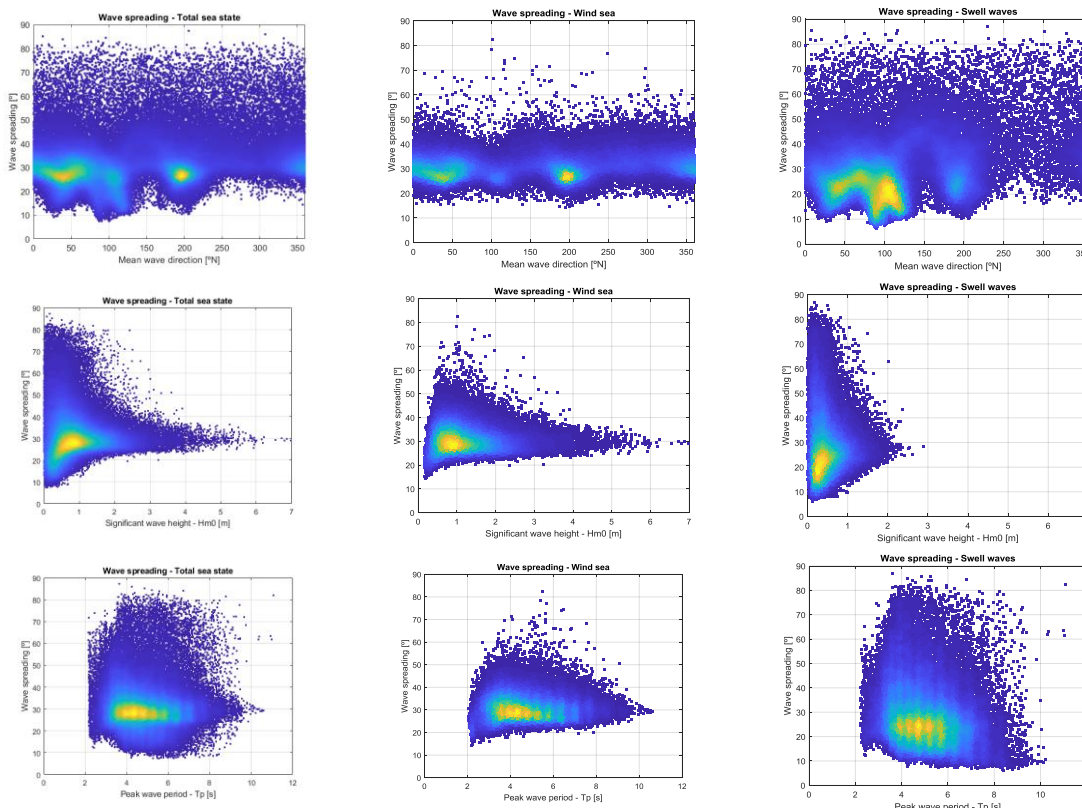


Figura 4.6: Propagarea valurilor din setul de date colectate offshore 44.0°N 29.5°E



#### 4.4. Valuri

Pe baza secțiunii prezentăm valurile descrise de starea totală a mării. Climatul valurilor în locația din larg arată două direcții dominante, vizibile în figura 4.7 (stânga). Direcția de val principală este de la NNE la ESE sau 30-120°N. Direcțiile de val secundare sunt în principal de la S la SSV. Rozete direcționale din durata vârf-undă sunt vizibile în figura 4.7 (dreapta). Direcțiile corespund direcției valului.

Probabilitatea lunară de depășire a înălțimii vântului este indicată în Figura 4.8 (stânga). Variația sezonieră este prezentă, cu cele mai mici valuri în lunile de vară, din aprilie până în septembrie, și cu cele mai mari valuri în lunile de iarnă, din octombrie până în martie. Graficul densității pentru înălțimea valului versus durata valului este indicat în Figura 4.8 (dreapta). Majoritatea valurilor au o curbă între s este egal cu 0,020 până la 0,050. Diferența dintre valurile de hula și cele maritime fi făcută la linia de curbura de 0,02.

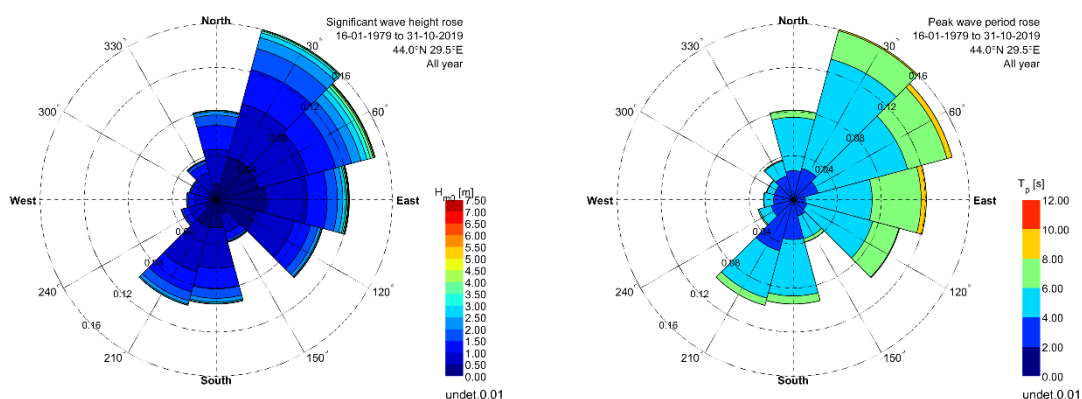


Figura 4.7: Roză pentru valuri (stânga) și roză pentru durata vârf-undă pentru întregul set de date (dreapta)

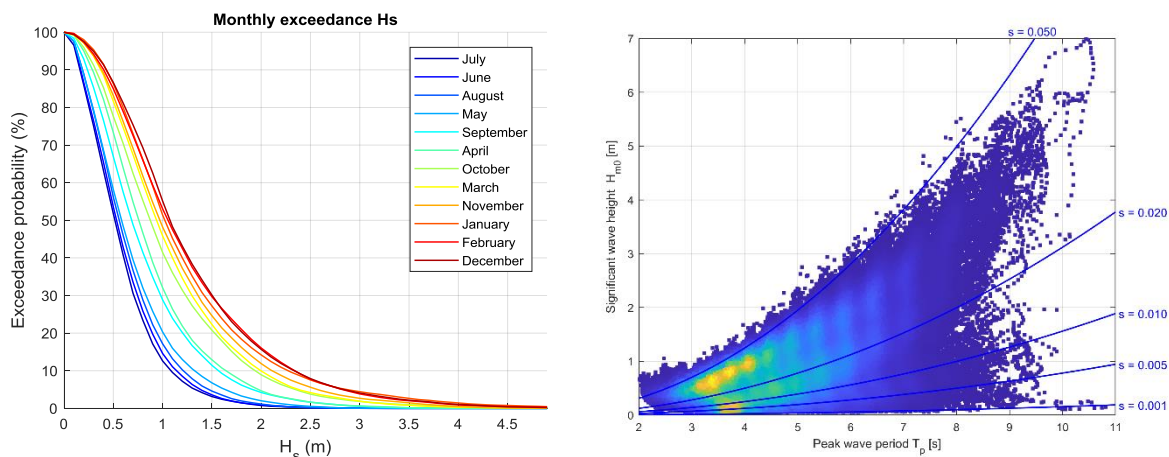


Figura 4.8: Curba de depășire lunară Hs (stânga) și dispersia valului Hs versus Tp, inclusiv curbura valului (dreapta)

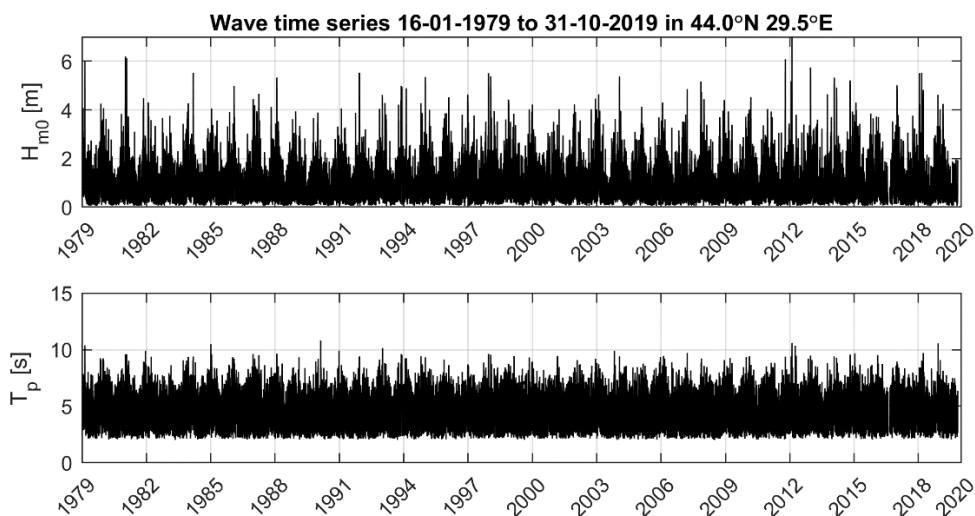


Figura 4.9: Graficul seriilor de timp pentru înălțimea valului  $H_{m0}$  (sus) și durata valului (jos) din 1979 până în 2019 în locația 44N 29.5E

Graficul seriilor de timp pentru înălțimea valului și durata valului este prezentat în Figura 4.9, unde se observă variații sezoniere clare de-a lungul anilor. Graficele de dispersie direcțională pentru durata valului versus înălțimea valului per rezervor direcțional de 30° (345 la 15°N, 15 la 45°N, ..., 315 la 345°N) sunt prezentate în Figura 4.10. Se observă o variație semnificativă a înălțimii valurilor. Cele mai mari valuri sunt de la direcția 15° la 135°N.

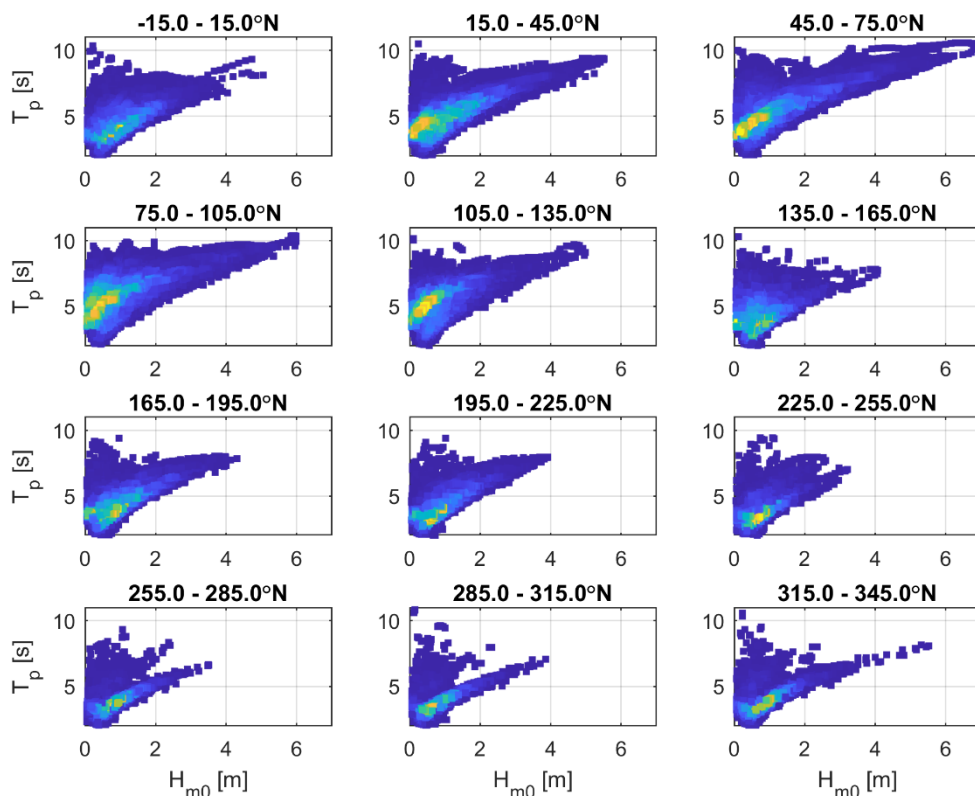


Figura 4.10: Graficele de dispersie direcțională pentru durata valului ( $T_p$ ) versus înălțimea valului ( $H_{m0}$ ) per rezervor direcțional de 30° (345 la 15°N, 15 la 45°N, ..., 315 la 345°N)

Ca element de informație pentru proiectarea detaliată, forma furtunii este de asemenea importantă. Pe baza datelor colectate offshore, forma furtunii este prezentată în Anexa 10.4 pentru cele 10 cele mai mari valuri. În general, furtunile durează aproximativ una până la trei zile. Cele zece valuri cele mai mari au înălțimi între 5,5 până la 7 metri, cu durate ale valurilor care variază între 8 și 10,5 secunde. Condițiile extreme simulate în modelul ondulatoriu SWAN sunt prezentate în tabelul 6-2 de la punctul 6.4.2.

#### 4.4.1. Validarea seturilor de date privind valurile în larg

Datele privind valurile din larg sunt primite de la Angajator. Aceste date nu îndeplinesc cerințele de proiectare, deoarece lungimea setului de date este de 12 ani (1991-2002) cu un interval de 6 ore, cu toate acestea, acesta poate fi utilizat în scopuri de validare. Sursa datelor din seriile de timp sunt datele WAM de la ECMWF la locația 29°E 44°N. Această locație este de 40 de kilometri spre vest, mai aproape de linia țărmului, în comparație cu datele achiziționate de la Infoplaza. Comparația înălțimii valurilor din ambele serii de timp arată un coeficient de corelație de 0,91 și RMSE de 0,29 (valoarea medie pătratică a erorilor) - a se vedea Figura 4.11. Curbele de depășire a înălțimii valurilor arată și o potrivire bună. Deși locația este diferită, înălțimile valurilor sunt încă destul de similare. Deși ambele seturi de date sunt date de tip hindcast (reconstituire prin calcul a unor situații), asemănarea lor oferă încredere în acuratețea datelor.

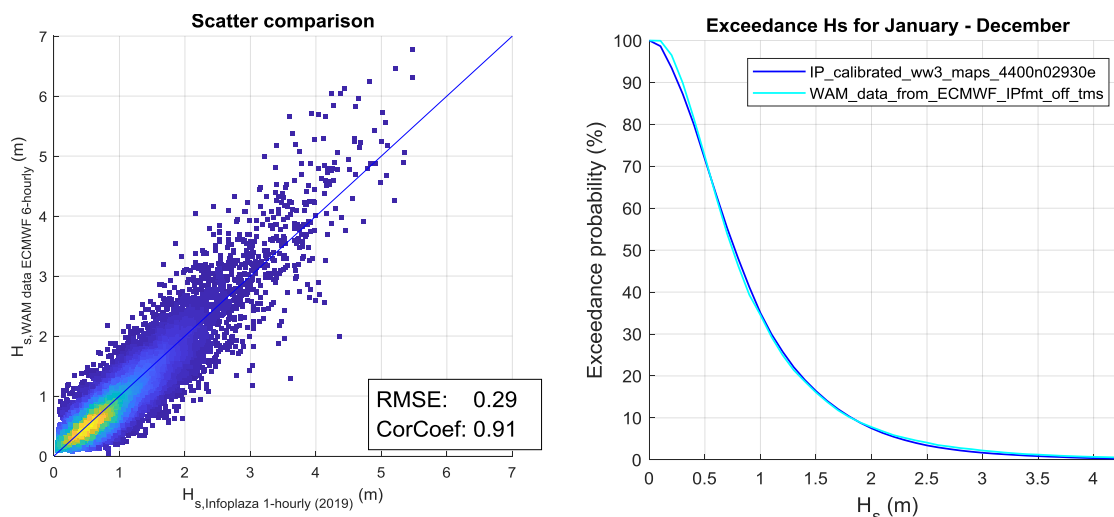


Figura 4.11: Comparația dispersiei înălțimii valurilor din datele offshore de la client și datele interne (stânga) și comparația curbei de depășire a înălțimii valului (dreapta)

#### 4.5. Niveluri de apă stătătoare

Cel mai înalt nivel al apei (media zilnică) înregistrat vreodată a fost de 0,902 m la 19 februarie 1979 [4]. Cele mai ridicate niveluri ale apă sunt observate la Constanța, când vânturile puternice de est suflă spre coastă. Vânturile de vest pot scădea nivelul apei costiere cu o cantitate mai mică (până la 0,6 m).

Datele de maree măsurate sunt disponibile în Portul Constanța. Nivelurile de apă au fost înregistrate de aparatul de înregistrare a nivelului mării OTT în perioada 1993 - 2004. Figura 4.12 prezintă serii de timp a nivelului apei măsurat în Portul Constanța. Nivelul apei variază între o valoare minimă de -0,20 m și una maximă de 0,79 m MN75.

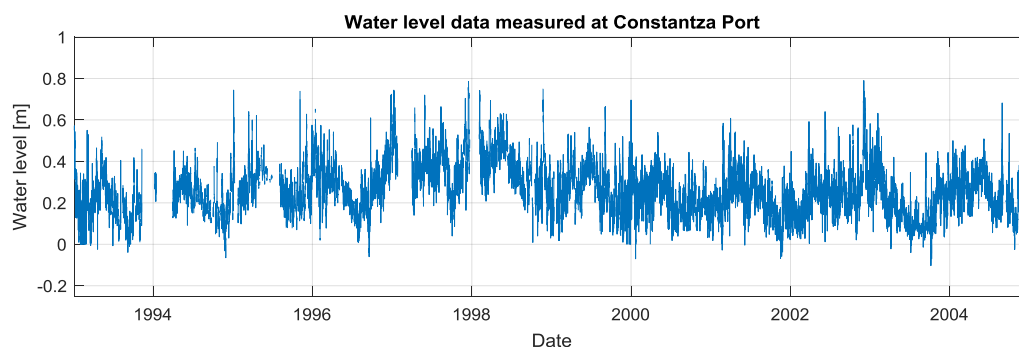


Figura 4.12: Date privind măsurarea nivelului apei înregistrate în portul Constanța în perioada 1993-2004

Conversia nivelului de referință mediu al mării (MSL) în nivelul de referință local MN75 este descrisă în Figura 4.13, diferența dintre MSL și MN75 fiind de 0,11 m [5].

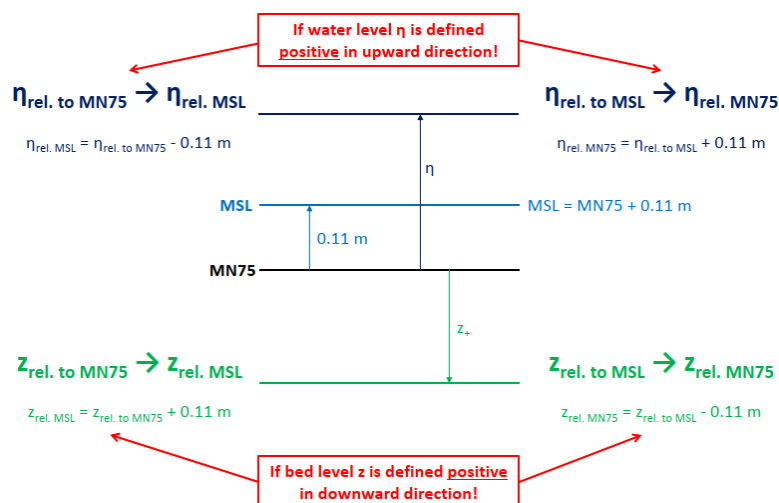


Figura 4.13: Definiția nivelurilor de referință MSL și MN75



## 5. CONDIȚII DE PROIECTARE METOCEAN

Pentru a determina condițiile de proiectare pentru zona Mamaia, se realizează o analiză a valorilor extreme (AVE). AVE se realizează pe starea totală a mării din datele pentru valurile offshore și viteza vântului. Întrucât climatul valurilor constă în principal din valuri maritime, se justifică efectuarea AVE pe starea totală a mării. Condițiile de proiectare offshore sunt transformate către țărm cu ajutorul SWAN în Capitolul 6.

AVE utilizează o analiză a valorii maxime (peak-over-threshold), cu distribuție Pareto generalizată (DPG) asupra datelor. DGP este adesea folosit pentru modelarea a unei alte curbe de distribuție. Valorile de proiectare sunt calculate pentru valorile de recurență 1, 5, 10, 25, 50 și 100 de ani. Rezervoarele direcționale de colectare sunt procesate în rezervoare direcționale de colectare de 30 de grade (345 la 15°N, 15 la 45°N, ..., 315 la 345°N, toate direcțiile).

### 5.1. Condiții de proiectare ale vântului în larg

Condițiile de proiectare ale vântului în larg sunt determinate pentru valorile de recurență (RV) 1, 5, 10, 25, 50 și 100 de ani (a se vedea tabelul 5-1). Rezervoarele direcționale de colectare sunt prelucrate în rezervoare direcționale de colectare de 30 de grade. Raportul AVE, inclusiv rezervoarele direcționale de colectare rămase, valorile de recurență și ajustările sunt prezentate în anexa 10.2. Cele mai ridicate condiții de vânt provin de la rezervorul direcțional de colectare 315-345°N, care este o direcție a vântului orientat în larg. Cele mai ridicate condiții de vânt direcționate spre țărm sunt de la rezervorul direcțional 15-45° și 45-75°N, deci de la NNE la NE.

Tabelul 5-1: Condiții de proiectare pentru vânt în larg pentru rezervoare omnidirecționale și direcționale de 30 grade

	0-360°	345-15°	15-45°	45-75°	75-105°	105-135°	135-165°	165-195°	195-225°	225-255°	255-285°	285-315°	315-345°
1yr	17.84	15.73	15.22	13.64	11.09	10.55	10.70	12.91	13.30	10.22	11.47	12.68	14.62
5yr	20.28	18.51	17.74	17.37	14.45	13.64	13.71	15.43	15.55	13.11	14.75	15.21	17.78
10yr	21.48	19.54	18.80	18.54	15.37	14.80	14.65	16.21	16.44	13.87	16.22	16.03	19.38
25yr	23.21	20.78	20.15	19.79	16.26	16.19	15.65	17.03	17.57	14.58	18.20	16.92	21.73
50yr	24.65	21.63	21.16	20.55	16.75	17.15	16.26	17.53	18.37	14.97	19.73	17.48	23.73
100yr	26.21	22.40	22.14	21.18	17.13	18.04	16.76	17.93	19.14	15.26	21.30	17.95	25.92

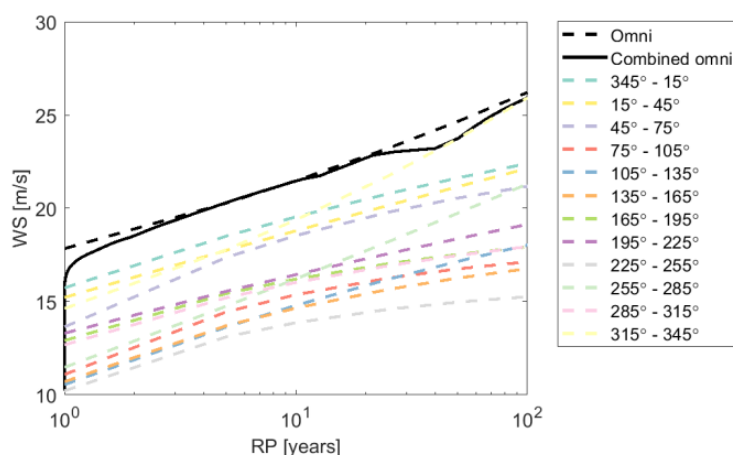


Figura 5.1: Valori direcționale și omnidirecționale de recurență pentru vânt

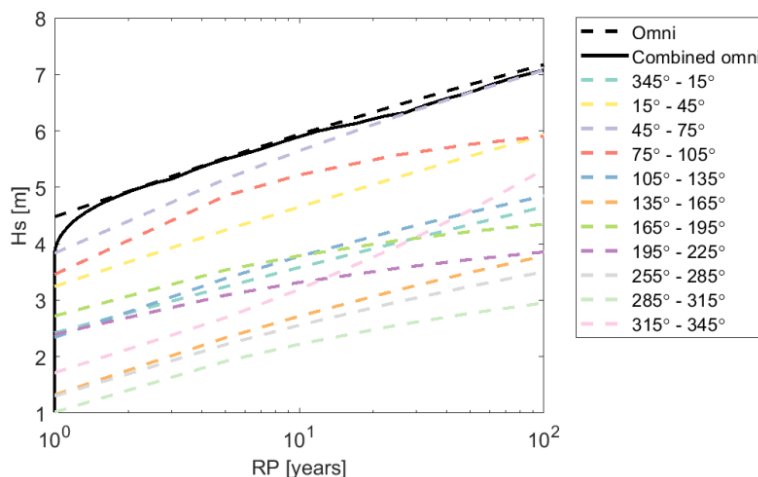
## 5.2. Condiții de proiectare ale valurilor în larg

Condițiile de proiectare pentru valuri în larg sunt determinate pentru valorile de recurență de 1, 5, 10, 25, 50 și 100 de ani. Rezervoarele direcționale de colectare sunt prelucrate în rezervoare direcționale de colectare de 30 de grade. Tabelul 5-2 prezintă condițiile de proiectare ale valului în larg. Condițiile pentru cele mai înalte valuri sunt de la rezervorul direcțional de colectare 45-75°N, direcția NE.

Raportul AVE, inclusiv informații mai detaliate, este prezentat în anexa 10.2. Valorile de recurență direcționale și omnidirecționale sunt prezentate în figura 5.2.

*Tabelul 5-2: Condiții de proiectare pentru valuri offshore pentru rezervoare de colectare omnidirecționale și direcționale de 30 de grade*

	0-360°	345-15°	15-45°	45-75°	75-105°	105-135°	135-165°	165-195°	195-225°	225-255°	255-285°	285-315°	315-345°
1yr RV	4.48	2.42	3.25	3.83	3.46	2.34	1.32	2.72	2.40	-	1.30	1.02	1.71
5yr RV	5.52	3.24	4.24	5.15	4.85	3.39	2.34	3.54	3.09	-	2.22	1.92	2.69
10yr RV	5.94	3.58	4.65	5.65	5.22	3.78	2.72	3.79	3.32	-	2.56	2.22	3.19
25yr RV	6.45	4.02	5.17	6.26	5.57	4.24	3.18	4.05	3.56	-	2.97	2.56	3.95
50yr RV	6.82	4.34	5.55	6.68	5.76	4.56	3.49	4.21	3.72	-	3.25	2.77	4.59
100yr RV	7.17	4.65	5.92	7.07	5.90	4.85	3.79	4.35	3.85	-	3.50	2.95	5.31



*Figura 5.2: Valori de recurență direcționale și omnidirecționale pentru înălțimea valului*



### 5.2.1. Variabile asociate

Condițiile de intrare pentru valurile proiectate pentru studiul de modelare a valurilor se bazează pe analiza AVE pentru înălțimea valului. Ca și condiție de intrare pentru modelarea transformării de valurilor, valorile P-50  $T_p$  și  $U_{10}$  asociate sunt calculate pentru fiecare înălțime de val. Valoarea asociată P-50 și  $U_{10}$  este utilizată în locul condiției de vânt de 1/100 ani, deoarece aceasta conduce la o înălțime uniformă a valului în apropierea limitei modelului ondulatoriu. Nu se dorește o creștere puternică a valurilor de la limita modelului, deoarece se poate aștepta ca câmpul de undă din ape adânci să fie un câmp de undă complet dezvoltat, în echilibru cu forța vântului. Înălțimea constantă a valului la graniță este vizibilă în diagramele spațiale ale înălțimii valului prezentate la paragraful 6.3 Performanța modelului. Distribuțiile condiționate sunt modelate cu o copulă bivariată pentru dependența dintre înălțimea undei și variabila asociată și o distribuție uni variată pentru variabila asociată. Familia funcției copula este selectată pe baza criteriului AIC din Gauss, t, Gumbel, Frank sau Clayton. Utilizând același criteriu, familia distribuției uni variate este selectată din Pareto generalizat, valoarea extremă generalizată și Weibull.

Tabelul 5-3 prezintă înălțimile valului offshore proiectat pentru perioade de recurență de 1 și 100 de ani, inclusiv variabilele asociate  $T_p$  și  $U_{10}$ .

Tabelul 5-3: Condiții proiectate pentru locația offshore Lat 44.0°N Long 29.5°E

Rezervor de colectare direcțional [°N]	Valoare de recurență 1/1 an			Valoare de recurență 1/100 ani		
	Înălțimea valului $H_{m0}$ [m]	$T_p$ asociată [s] (valoare P50)	$U_{10}$ asociată [m/s] (valoare P50)	Înălțimea valului $H_{m0}$ [m]	$T_p$ asociată [s] (valoare P50)	$U_{10}$ asociată [m/s] (valoare P50)
345-15	2.42	5.96	13.30	4.65	9.78	21.50
15-45	3.25	7.26	14.56	5.92	9.53	20.54
45-75	3.83	7.84	14.06	7.07	10.97	19.78
75-105	3.46	7.94	9.14	5.90	9.88	16.54
105-135	2.34	7.06	7.84	4.85	8.95	15.32
135-165	1.32	4.71	7.76	3.79	7.70	11.90
165-195	2.72	6.63	12.68	4.35	8.25	15.66

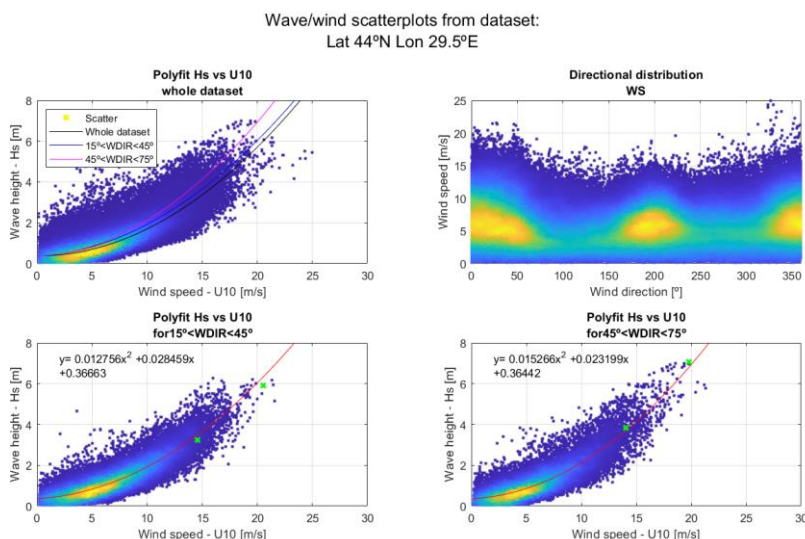


Figura 5.3: Grafice de dispersie val/vânt, inclusiv ajustarea polinomială pentru rezervoarele de colectare omni-direcționale 15-45° și 45-75°

Climatul valurilor este dominat în principal de condiții de vânt și maritime. Întrucât valurile sunt dominate în principal de viteza vântului, este de așteptat o corelație bună între cei doi parametri. Figura 5.3 prezintă graficele de densitate ale vitezei vântului versus înălțimea valului pentru întregul set de date (stânga sus),

pentru rezervorul de colectare direcțional 15-45° (stânga jos) și rezervorul de colectare direcțional 45-75° (dreapta jos). Valorile proiectate sunt reprezentate grafic cu cruci de culoare verde în partea de jos a celor două figuri. Se observă că valorile proiectate urmează linia polinomială destul de precis. Acest lucru confirmă corelația dintre viteza vântului și înălțimea valului.

### 5.3. Niveluri proiectate ale apei

Nivelurile proiectate ale apei din zona Mamaia sunt derivate din literatura de specialitate, întrucât s-au realizat deja cercetări extinse în trecut [3] pentru mai multe componente din care constă nivelul total al apei. Seria de timp disponibilă pentru nivelul măsurat al apei (Secțiunea 4.5) este considerată prea scurtă pentru ca noi să putem deriva cu acuratețe nivelurile proiectate ale apei.

Conform [3], nivelurile extreme ale apei din zona de litoral a Constanței cuprind următoarele componente:

- Variația sezonieră
- Variația mareelor
- MSL (nivelului de referință mediu al mării) vs. MN75
- Presiune barometrică și convulsii rezultate
- Creșterea nivelului mării
- Ajustarea vântului

Variația sezonieră a nivelului apei din Marea Neagră este cauzată în mare parte de deversările din râuri iarna / primăvara și de deversări relativ reduse vara / toamna. Variația medie sezonieră este de 16 cm / an, respectiv +0,08 m vara și -0,08 m iarna [3]. Întrucât condițiile de valuri extreme apar în sezonul de iarnă, contribuția variației sezoniere la nivelul proiectat total de apă utilizat la modelarea valurilor este luată la valoarea de -0,08 m. Variația cauzată de mareele din Marea Neagră este foarte limitată la doar câțiva centimetri; intervalul mareelor este MSL - 0,05 m până la MSL +0,05 m [3].

Conversia nivel de referință MSL la nivelul de referință local MN75 este de 0,11 m ( $MSL = MH75 + 0,11$  m), explicată mai detaliat la paragraful 4.5.

Seișele din Marea Neagră sunt cauzate de modificări bruște în presiunea atmosferică. Fluctuația rezultată în nivelul apei cauzează un val lungă (seișă), care se propagă prin toată Marea Neagră cu o viteză a valului de ordinul a 125 m/s. Șeișa se plimbă înainte și înapoi prin Marea Neagră în aproximativ 4,5 ore. O amplitudine a seișei de MSL +/- 0,10 m a fost aplicată în ceea ce privește nivelurile proiectate ale apei [3].

Creșterea pe termen lung a nivelului mării în regiunea Constanța este o valoare prescrisă de 3,3 mm / an, oferită de Angajator ca cerință. Pentru toată durata de viață a lucrărilor de 50 de ani, aceasta va fi în total de 0,165 m. Nivelurile valurilor de furtună pentru diverse direcții ale vântului dinspre mal au fost luate din literatura de specialitate [3]. Nivelurile valurilor de furtună sunt prezentate în tabelul 5-4.

*Tabelul 5-4: Nivelul valurilor de furtună ca funcție a perioadei de recurență și clasa direcției vântului [5].*

Perioada de recurență (1/an)	Direcția vântului dinspre mal (°N)							
	0	30	60	90	120	150	180	210
1	0.22	0.31	0.29	0.24	0.17	0.15	0.15	-0.09
5	0.29	0.42	0.41	0.32	0.24	0.20	0.18	-0.13
10	0.31	0.47	0.46	0.36	0.26	0.22	0.19	-0.14
25	0.35	0.54	0.53	0.39	0.30	0.24	0.20	-0.16
50	0.38	0.59	0.58	0.42	0.33	0.26	0.21	-0.17
100	0.40	0.64	0.64	0.45	0.37	0.28	0.22	-0.18

Nivelul proiectat al apei este utilizat ca informație pentru lucrările de protecție costieră. Sunt definite trei niveluri de proiectare pentru încărcare hidraulică:

- 1) Deferlare: condiție de val VR 1 an + condiții ale nivelului apei VR 1 an
- 2) Deferlare/ Stabilitatea armăturii: condiție de val VR 100 ani + condiții ale nivelului apei VR 100 ani
- 3) Stabilitatea piciorului aval: condiție de val VR 100 ani + condiții ale nivelului scăzut apei VR 100 ani

Diversele contribuții la cele trei niveluri proiectate ale apei sunt prezentate în tabelul 5-5.

*Tabelul 5-5: Diverse contribuții la nivelul proiectat al apei la Constanța pentru condițiile de încărcare hidraulică: deferlare, stabilitatea armăturii și stabilitatea piciorului aval*

Contribuție	(1) Deferlare	(2) Deferlare/ Stabilitatea armăturii	(3) Stabilitatea piciorului aval
Variație sezonieră (iarnă)	-0.08 m	-0.08 m	-0.08 m
Variație cauzată de maree	+0.05 m	+0.05 m	-0.05 m
MSL în MN75	+0.11 m	+0.11 m	+0.11 m
Presiune barometrică / seșe	+0.10 m	+0.10 m	-0.10 m
Creșterea nivelului mării	+0.165 m	+0.165 m	+0.00 m
<b>Subtotal [m MN75]</b>	<b>+0.345 m</b>	<b>+0.345 m</b>	<b>-0.120 m</b>
Val de furtună	Variază (vezi Tabelul 5-4)	Variază (vezi Tabelul 5-4)	Variază (vezi Tabelul 5-4)

Nivelul proiectat al apei (inclusiv creșterea nivelului mării pentru o perioadă de 50 de ani) pentru perioade de recurență diferite și clase de direcție diferite pentru condițiile respective de apă ridicată, sunt prezentate în tabelul 5-6, iar condițiile de apă scăzute sunt prezentate în tabelul 5-7. Nivelurile proiectate ale apei corespund numerelor din studiul de fezabilitate realizat de ROMAIR Consulting [5].

*Tabelul 5-6: Niveluri proiectate ale apei [m MN75] pentru perioade de recurență diferite și clase de direcție ale vântului diferite, nivel ridicat al apei*

Perioadă de recurență (1/an)	Direcția vântului dinspre mal (°N)							
	0	30	60	90	120	150	180	210
1	0.57	0.65	0.63	0.58	0.52	0.50	0.50	0.25
5	0.63	0.77	0.75	0.67	0.58	0.54	0.52	0.22
10	0.66	0.82	0.81	0.70	0.61	0.56	0.53	0.21
25	0.69	0.88	0.88	0.74	0.65	0.58	0.55	0.19
50	0.72	0.93	0.93	0.77	0.68	0.60	0.56	0.18
100	0.75	0.98	0.98	0.79	0.71	0.62	0.56	0.17



*Tabelul 5-7: Niveluri proiectate ale apei [m MN75] pentru perioade de recurență diferite și clase de direcție ale vântului diferite, nivel scăzut al apei*

Perioadă de recurență (1/an)	Direcția vântului dinspre larg (°N)							
	0	30	60	90	120	150	180	210
1	0.10	0.19	0.17	0.12	0.05	0.03	0.03	-0.21
5	0.17	0.30	0.29	0.20	0.12	0.08	0.06	-0.25
10	0.19	0.35	0.34	0.24	0.14	0.10	0.07	-0.26
25	0.23	0.42	0.41	0.27	0.18	0.12	0.08	-0.28
50	0.26	0.47	0.46	0.30	0.21	0.14	0.09	-0.29
100	0.28	0.52	0.52	0.33	0.25	0.16	0.10	-0.30

## 6. MODEL DE TRANSFORMARE A VALURILOR ÎN APROPIEREA ȚĂRMULUI

### 6.1. Grila de calcul și batimetrie

Conversia condițiilor valurilor offshore într-un climat de valuri nearshore se realizează cu modelul ondulatoriu numeric SWAN. Batimetria modelului constă dintr-o combinație de hărți marine digitalizate și date de cercetare. Datele de cercetare sunt prezentate în secțiunea 3.2. Adâncimea este prezentată la nivelul de referință local MN75. Modelul ondulatoriu este format din patru grile de calcul, vizibile în figura 6.1 și în figura 6.2 (stânga).

- Grila A: Grilă neprelucrată cu rezoluție de 1000 x 1000 m (dx dy)
- Grila B: Grilă intermediară cu rezoluție de 200 x 200 m (dx dy)
- Grila C: Grilă precisă cu rezoluție de 50 x 50 m (dx dy)
- Grila D: Grilă precisă cu rezoluție de 10 x 10 m (dx dy)

Cel mai mare model are o dimensiune de 85 x 156 km, întinzându-se către punctul de date hindcast (date privind reconstituirea prin calcul a unor situații) offshore. Cel mai mic model are o dimensiune de 2 x 1,5 km concentrându-se pe plaja Mamaia și dig. Digurile sparge val sunt modelate ca obstacole în modelul ondulatoriu. Modelul SWAN este simulat în modul staționar. Datele offshore sunt situate la 70 km de site-ul proiectului, care este în limita valabilității staționarității. Rezoluția spectrală este formată din 72 de rezervoare de colectare direcționale distanțate în mod egal cu o lățime de 5 ° și 41 de frecvențe distribuite logaritmice în intervalul 0,05 Hz - 2,5 Hz. Frecvența superioară relativ ridicată a fost aleasă pentru a îmbunătăți precizia pentru viteze mici ale vântului.

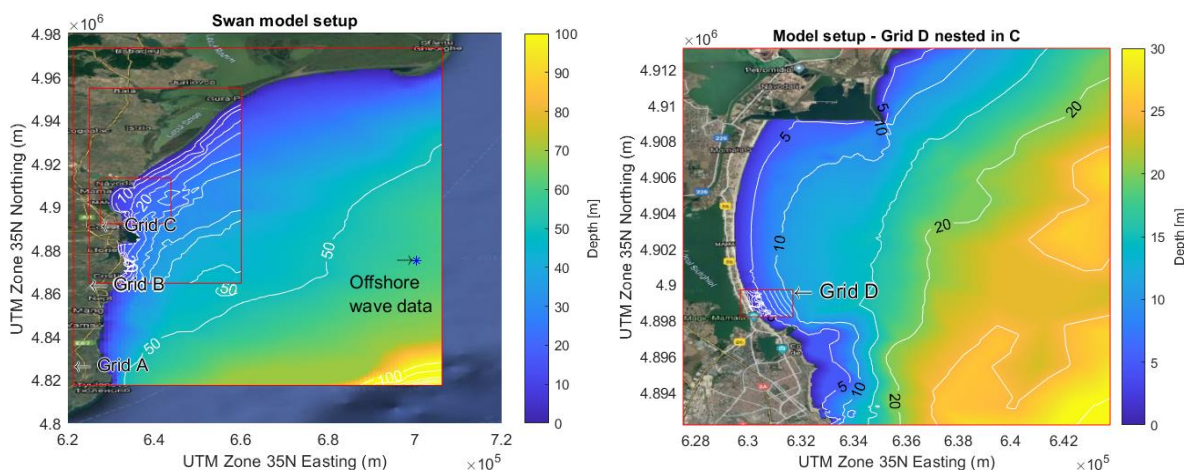


Figura 6.1: Configurarea modelului SWAN, grila B imbricată în A și C imbricată în B (stânga) și grila D imbricată în C (dreapta)

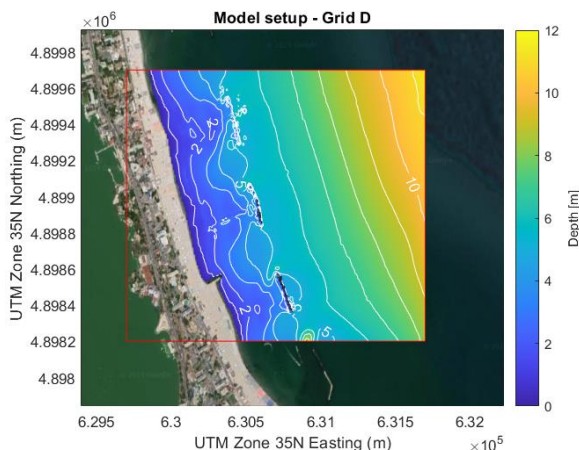


Figura 6.2: Configurarea modelului SWAN, grila D (stânga)



## 6.2. Locații de output

Locațiile de output sunt alese la diverse izobate de-a lungul locației propuse pentru noua plajă și digul sparge val extins. Toate locațiile de output în apropierea malului sunt prezentate cu puncte verzi în Figura 6.3. Condițiile de val din două locații de output sunt discutate în detaliu în raportul principal, și anume:

*Tabelul 6-1: Locații de output pentru modelul valului*

Locație de output	Locație [UTM35N]	Locație [Krasovsky/Stereo 70]	Adâncime [m MN75]
Loc01	632089.0m E 4902262.0m N	791911.0m E 313468.8m N	11.8
Loc110	630419.4m E 4898632.3m N	790331.8m E 309795.9m N	3.2

Coordonatele pentru celelalte 139 de locații pot fi găsite în anexa **Error! Reference source not found..**



*Figura 6.3: Locații de output pentru modelul ondulatoriu*

### 6.3. Performanța modelului

Setările numerice din modelul ondulatoriu sunt studiate pentru a îmbunătăți performanța modelului. Acest paragraf descrie calibrarea și validarea modelului de undă. Imbricarea și convergența modelului de undă este de asemenea studiată, verificată și confirmată că este în regulă. Cifrele privind imbricarea și convergența modelului sunt prezentate în Anexa 10.5.

#### 6.3.1. . Validare - eveniment furtunos

Furtuna care s-a desfășurat între 10 și 17 februarie 2010, prezentată, este folosită pentru calibrarea modelului ondulatoriu. Coordonatele de la dispozitivul de măsurare corespund locației de ieșire Loc01 a modelului de undă. Această locație este utilizată pentru calibrarea și validarea modelului de undă.

Setările fizice utilizate în modelul de val sunt următoarele, corespunzând setărilor găsite în literatura de specialitate modelare bazată în Marea Neagră [6]:

GEN3 KOMen OFF DIFFRAC WCAP KOM DELTA=1.0 PROP BSBT OFF BNDCHK FRICTION JONSWAP CONSTANT 0.038 BREaking CONstant 1.0 0.73 NUMERIC ACCUR 0.01 0.01 0.01 99.5 STAT 50
--

Două simulări cu setările de mai sus sunt simulate, în timp ce dispersarea direcțională este variată în scopuri de sensibilitate. Prima simulare folosește o dispersare direcțională (DSPR) egală cu 18°, iar a doua simulare o DSPR de 30°. În general, o valoare de 30° este utilizată pentru condițiile de valuri maritime, în timp ce valorile pentru DSPR egale cu 5-10° sunt utilizate pentru condiții de valuri de hulă.

Comparația parametrilor  $H_s$  și  $T_p$  din modelul de undă și datele de măsurare sunt prezentate în Figura 6.4. Rezultatele din ambele simulări arată rezultate comparabile. Simularea cu o dispersare direcțională de 18° arată o înălțime mai mare a valului la vârf. Înălțimea și durata valurilor au aceeași tendință ca în datele de măsurare. Modelul de undă va fi simulat cu o dispersare direcțională de 18° întrucât aceasta este conservatoare și corespunde analizei spectrale descrisă la paragraful 4.3. Validarea întregii serii de timp de măsurare este prezentată la paragraful 6.3.2.

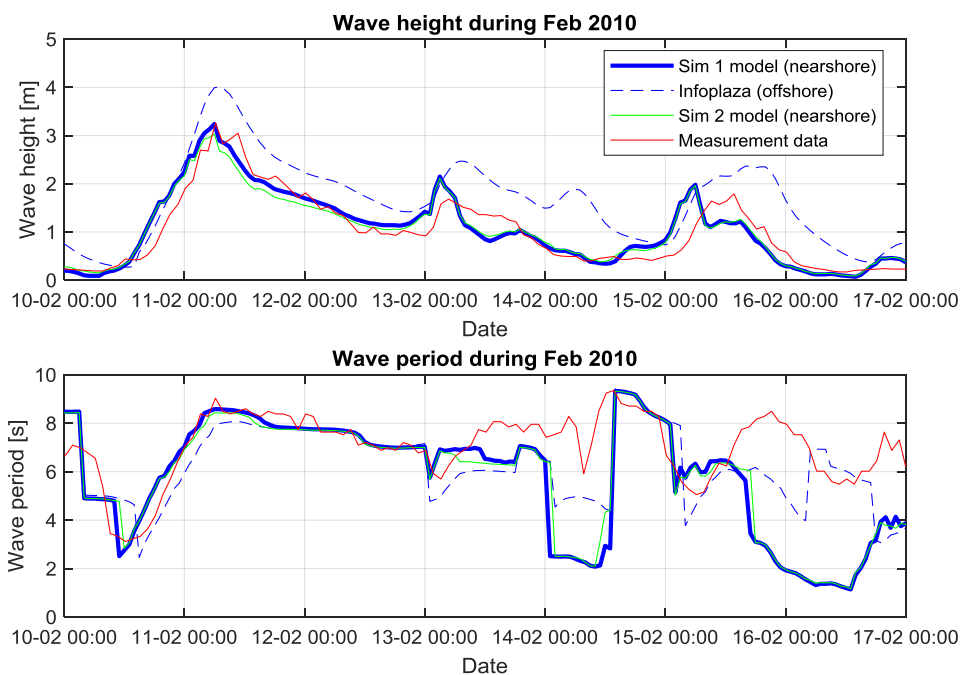


Figura 6.4: Comparație între rezultatele modelului de undă și datele de măsurare pentru  $H_s$  și  $T_p$



### 6.3.2. Validare – date vrac

Întrucât întreaga serie de timpi pentru valuri offshore este transformată în serie de timpi pentru valuri nearshore, seriile de timpi pentru nearshore conțin date din 16 ianuarie 1979 până la 31 octombrie 2019. Aceasta se suprapune perioadei pentru care datele de măsurare sunt disponibile, vizibile în Figura 6.7. Întreaga campanie de măsurare durează din martie 2006 până în octombrie 2010, fiind prezente întreruperi, fără date măsurate. Pentru parametrii înălțimea valului, durata valului și direcția valului, se calculează valoarea medie pătratică a erorilor (RMSE) și coeficientul de corelație (CorCoef).

Valoarea medie pătratică a erorilor (RMSE) este calculată ca (1):

$$1. \quad RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Coeficientul de corelație (CorCoef) este calculat ca (2):

$$2. \quad r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

Datele de măsurare sunt înregistrate în momente diferite în comparație cu modelul de undă. Datele din seriile de timpi de la modelul de undă sunt interpolate pe axa de timp a datelor de măsurare pentru a obține date egale și pentru a realiza grafice de dispersie a datelor măsurate versus date modelate, vezi Figura 6.5.

Comparația de dispersie pentru înălțimea valului și perioada de vârf au fost indicate. Înălțimea valului are o potrivire foarte bună cu datele măsurate de baliză, rezultând într-o valoare medie pătratică a erorilor (RMSE) de 0,22 și un coeficient de corelație CorCoef de 0,88. Durata valurilor are o corelație mai mică de 0,66 și RMSE (valoare medie pătratică a erorilor) de 1,21. Durata vârf-undă este în general la mai puțin de o secundă din valorile măsurate. Similar cu rezultatele obținute de Halcrow [4] modelul de undă produce durate vârf-undă mai mici decât observațiile JICA în perioadele cu activitate ondulatorie mică, datorită atenuării semnalului de presiune și, prin urmare, neputând măsura durate ale valului sub 2 secunde. Pentru aceste cazuri, se consideră că modelul ondulatoriu produce rezultate mai realiste decât datele. În general, se consideră că modelul de undă reproduce în mod satisfăcător duratele vârf-undă. Se concluzionează că modelul ondulatoriu este potrivit pentru a determina condițiile de proiectare.

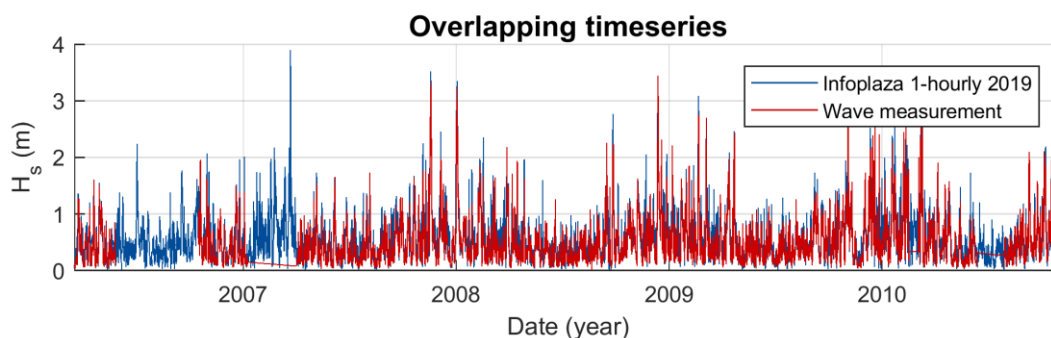


Figura 6.5: Suprapunerea graficului seriei de timpi pentru înălțimea valurilor

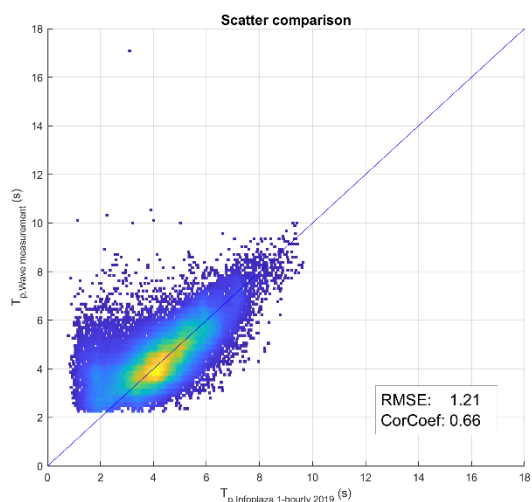
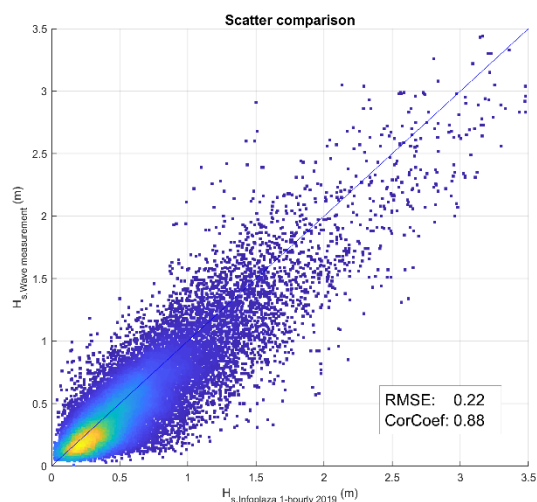


Figura 6.6: Comparația dispersiei înălțimii valului (stânga) și durata valului (dreapta)

## 6.4. Condiții de delimitare

### 6.4.1. Condiții operaționale

Climatul operațional undulatoriu în apropierea țărmului este calculat prin simularea unei matrice de scenarii de vânt / valuri care sunt interpolate ulterior pentru a converti seria de timp de 40 de ani a condițiilor de valuri offshore în condiții de valuri neashore în zona proiectului. Metoda se numește metoda matricei de transformare. Discretizarea climatului offshore este descrisă în acest capitol. Starea totală a mării este simulată pentru a determina condițiile operaționale undulatorii. Pentru fiecare parametru ( $H_{m0}$ ,  $T_p$ ,  $\Theta$ ,  $u_{10}$ , nivelul apei), rezervoarele de colectare selectate pentru a discretiza climatul sunt prezentate mai jos.

- $H_{m0}$  (m): [0.1 0.5 1 1.5 2 2.5 3 4.5 6 7.5]
- $\Theta$  (grade): [0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330]
- $T_p$  (s): [2 4 6 8 10 16.5]
- Nivelul apei (m MN75): [0]
- $U_{10}$  (m/s): 0.1 3.25 6.5 9.75 13 19.5 26
- Propagare (grade): [18]

Numărul total de rulări bazate pe această discretizare este de 2697. Numărul de noduri dezactivate este egal cu 2343. Un exemplu de discretizare a climatului este prezentat în Figura 6.6 (dreapta); punctele roșii reprezintă nodurile matricei de transformare, iar punctele albastre le arată pe cele care sunt dezactivate.

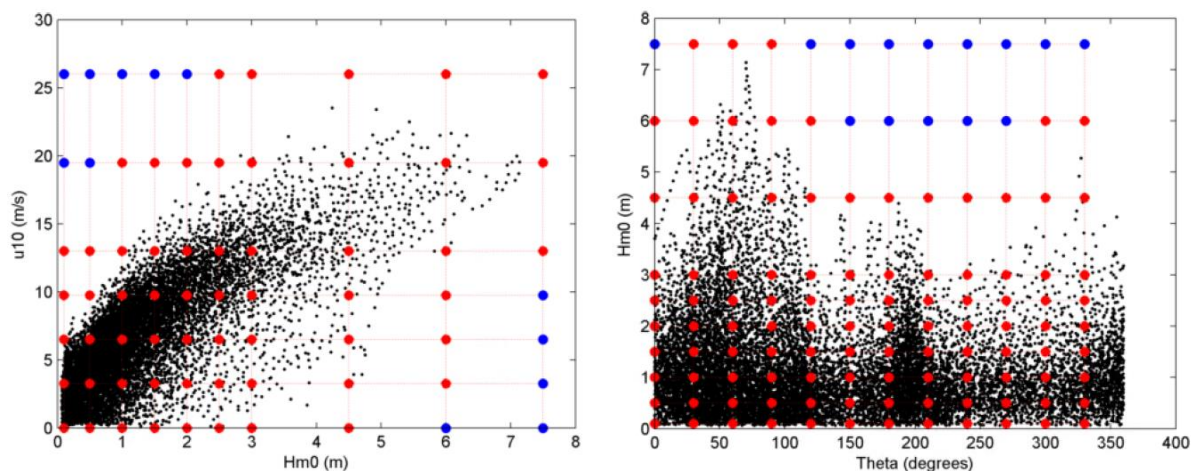


Figura 6.7: Discretizarea climatului pentru  $u_{10} / H_{m0}$  (stânga) și  $H_{m0} / \Theta$  (dreapta)

#### 6.4.2. Condiții extreme

Condițiile aplicabile de proiectare pentru offshore care sunt simulate în SWAN sunt prezentate în Tabelul 6-2. Condițiile constau în variabila principală, înălțimea valului și variabilele P-50 asociate, durata valului și viteza vântului. Condiția pentru cel mai înalt val, cu o perioadă de recurență de 100 de ani în timpul unui nivel ridicat de apă, este din direcția 60°N, care este egală cu 7,07 m. Durata valului asociată este de 10,97 secunde cu o viteză a vântului de 19,78 m / s. Variabilele asociate  $T_p$  și  $u_{10}$  sunt prezentate la paragraful 5.2.1. Factorul Jonswap este egal cu 3.3, iar propagarea direcțională este setată la 18° pentru toate condițiile descrise la paragraful 4.3.

*Tabelul 6-2: Prezentare generală a condițiilor de proiectare pentru offshore simulate în modelul ondulatoriu*

Condiție	Valoare de recurență [1/y]	Direcția valului [°N]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	Nivelul apei [m]	$U_{10}$ [m/s]	Direcția vântului [°N]	Factorul Jonswap [-]	Propagare direcțională [°]
1	1	0	2.42	5.96	0.57	13.30	0	3.3	18
2		30	3.25	7.26	0.65	14.56	30	3.3	18
3		60	3.83	7.84	0.63	14.06	60	3.3	18
4		90	3.46	7.94	0.58	9.14	90	3.3	18
5		120	2.34	7.06	0.52	7.84	120	3.3	18
6		150	1.32	4.71	0.50	7.76	150	3.3	18
7		180	2.72	6.63	0.50	12.68	180	3.3	18
8	100	0	4.65	9.78	0.75	21.50	0	3.3	18
9		30	5.92	9.53	0.98	20.54	30	3.3	18
10		60	7.07	10.97	0.98	19.78	60	3.3	18
11		90	5.90	9.88	0.79	16.54	90	3.3	18
12		120	4.85	8.95	0.71	15.32	120	3.3	18
13		150	3.79	7.70	0.62	11.90	150	3.3	18
14		180	4.35	8.25	0.56	15.66	180	3.3	18
15	100	0	4.65	9.78	0.28	21.50	0	3.3	18
16		30	5.92	9.53	0.52	20.54	30	3.3	18
17		60	7.07	10.97	0.52	19.78	60	3.3	18
18		90	5.90	9.88	0.33	16.54	90	3.3	18
19		120	4.85	8.95	0.25	15.32	120	3.3	18
20		150	3.79	7.70	0.16	11.90	150	3.3	18
21		180	4.35	8.25	0.10	15.66	180	3.3	18

## 7. REZULTATE

### 7.1. Condiții operaționale în apropierea țărmului

Seriile de timpi pentru nearshore sunt calculate cu modelul de undă și metoda matricei de transformare prezentată în Secțiunea 6.4. Locațiile de ieșire sunt alese de-a lungul întinderii plajei, cuprinzând adâncimi între 3m până la 14 m. Locațiile de ieșire sunt vizibile în Figura 6.3 și anexa 10.3. În zona digului sparge-val se aleg mai multe locații pe laturile pereului și în direcție transversală a digului. În acest raport sunt prezentate condițiile de val operaționale din două locații reprezentative, Loc01 și loc110. Coordonatele acestor locații sunt prezentate în Tabelul 6-1.

Dispersia densității pentru înălțimea valului versus durata valului pentru loc01 care acoperă întreaga perioadă este prezentată în Figura 7.1 (stânga). Două direcții ondulatorii dominante sunt observate de la ENE la E și SSE, vizibile în roza pentru valuri și graficul pentru durata valului, a se vedea Figura 7.1 (mijloc + dreapta).

Locația loc110 mai apropiată de țărm arată o direcție mai uniformă a valului, de la ENE la E datorită refracției către coastă, a se vedea Figura 7.2 (mijloc + dreapta). Din cauza spargerii valurilor la adâncimi mai mici, înălțimile valurilor au scăzut semnificativ în apropiere de dig. Dispersia densității pentru înălțimea valului versus durata valului pentru loc110 care acoperă întreaga perioadă, este prezentată în Figura 7.2 (stânga).

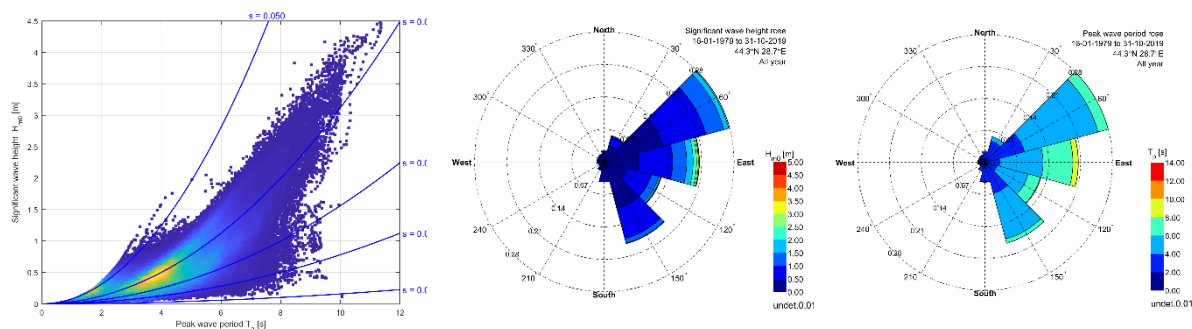


Figura 7.1: Dispersia densității înălțimii valului versus durata vârf-undă (stânga) roza pentru valuri (mijloc) și roza pentru durata valului (dreapta) pentru locația loc01

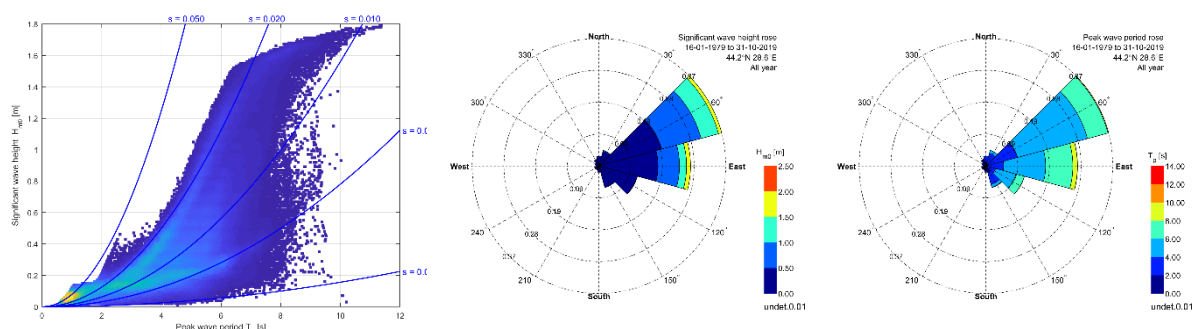


Figura 7.2: Dispersia densității înălțimii valului versus durata vârf-undă (stânga) roza pentru valuri (mijloc) și roza pentru durata valului (dreapta) pentru locația loc110

## 7.2. Condiții de proiectare în apropierea țărmului

Condițiile de proiectare pentru nearshore sunt determinate pentru perioadele de recurență de 1, 10, 25, 50 și 100 de ani. Pentru locațiile loc01 și loc110, rezultatele pentru perioadele de recurență de 1 și 100 de ani sunt prezentate în Tabelul 7-1 și Tabelul 7-2. Rezultatele pentru alte locații sau alte perioade de recurență sunt disponibile la cerere.

Tabelul 7-1: Condițiile de proiectare pentru valuri pentru locația loc01

Condiție	Perioadă de recurență [ani]	Direcție val/vânt în larg [°N]	Nivelul apei [m MN75]	Direcția medie a valului [°]	Direcția vârfului valului [°]	Înălțimea semnificativă a valului $H_{m0}$ [m]	Durata vârfului valului $T_p$ [s]	Durata medie a valului absolut $T_{mm10}$ [s]	Propagare direcțională [°]
1	1/1 HWL	345-15	0.57	49.3	62.5	1.30	5.80	4.49	3.52
2		15-45	0.65	68.5	72.5	2.04	6.99	5.91	4.75
3		45-75	0.63	82.9	82.5	2.63	8.34	7.08	5.76
4		75-105	0.58	98.3	92.5	2.25	8.43	7.72	6.36
5		105-135	0.52	113.7	117.5	1.64	7.44	6.69	5.35
6		135-165	0.50	133.6	137.5	0.86	5.25	4.17	3.22
7		165-195	0.50	141.5	142.5	1.59	7.35	5.60	4.15
8	1/100 HWL	345-15	0.75	55.6	72.5	2.37	7.42	5.95	4.65
9		15-45	0.98	76.8	82.5	3.48	9.44	8.02	6.43
10		45-75	0.98	89.0	87.5	4.77	11.28	10.41	8.83
11		75-105	0.79	99.8	97.5	4.55	10.37	9.79	8.48
12		105-135	0.71	113.7	117.5	3.93	9.46	8.83	7.54
13		135-165	0.62	127.5	132.5	2.14	8.44	7.01	5.37
14		165-195	0.56	137.3	137.5	2.34	9.04	7.17	5.20
15	1/100 LWL	345-15	0.28	55.9	72.5	2.34	7.42	5.93	4.63
16		15-45	0.52	77.4	82.5	3.46	9.50	8.04	6.44
17		45-75	0.52	89.3	87.5	4.65	11.28	10.46	8.91
18		75-105	0.33	99.9	97.5	4.47	10.37	9.82	8.54
19		105-135	0.25	113.5	117.5	3.92	9.46	8.86	7.61
20		135-165	0.16	127.0	132.5	2.14	8.40	7.04	5.40
21		165-195	0.10	136.9	137.5	2.32	8.73	7.17	5.18

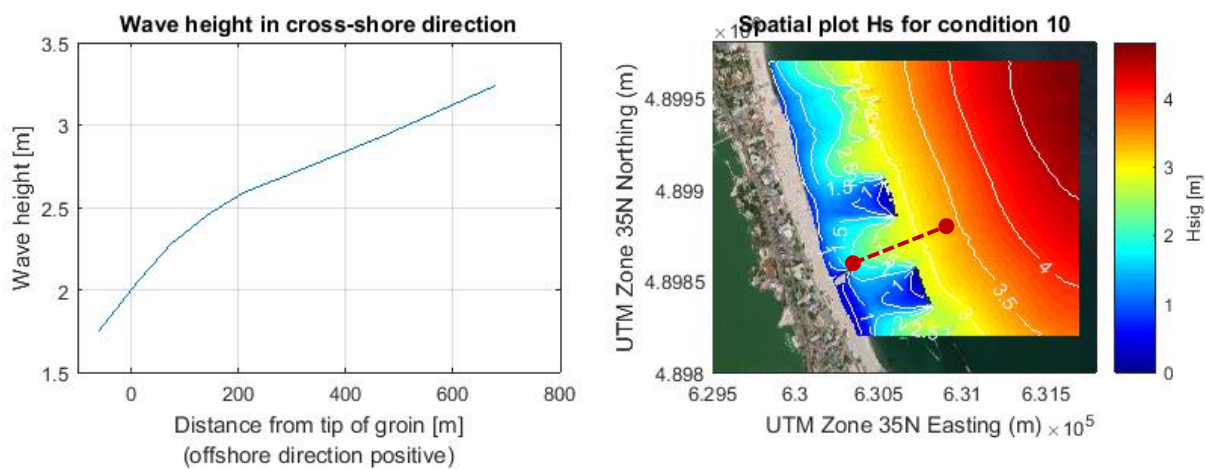


Figura 7.3: Evoluția înălțimii valurilor perpendicular pe plajă (stânga) și graficul spațial Hs (dreapta) pentru condiția 10; secțiune perpendiculară pe plajă indicată prin linie-punctată roșie



Înălțimea valului pentru condiția 10 - furtuna 1 / 100ani cu  $H_s = 7,07$  m,  $T_p = 10,97$  s,  $u_{10} = 19,78$  m / s,  $WL = 0,98$  m și  $Dir = 60^\circ$  - este prezentată în Figura 7.3. O secțiune transversală a înălțimii valului este prezentată în Figura 7.3 (stânga) și variația spațială este indicată în figura din dreapta. Scăderea înălțimii valurilor se datorează adâncimilor mai mici care duc la spargerea valurilor și parțial din cauza digurilor de larg deplasate, MM3 și MM4. Direcția valurilor în apropierea țărmului este de aproximativ  $70-75^\circ$ , direcție perpendiculară pe coastă. Tabelul 7-2 prezintă condițiile de proiectare la locația loc110.

*Tabelul 7-2: Condițiile de proiectare pentru valuri pentru locația loc110*

Condition	Perioadă de recurență [ani]	Direcție val/vânt în larg $[\circ N]$	Nivelul apei [m MN75]	Direcția medie a valului $[\circ]$	Direcția vârfului valului $[\circ]$	Înălțimea semnificativă a valului $H_{m0}$ [m]	Durata vârfului valului $T_p$ [s]	Durata medie a valului absolut $T_{mm10}$ [s]	Propagare direcțională $[\circ]$
1	1/1 HWL	345-15	0.57	61.8	67.5	1.22	6.24	5.24	4.09
2		15-45	0.65	71.5	72.5	1.84	7.39	6.73	6.01
3		45-75	0.63	76.4	77.5	1.93	8.39	7.76	7.07
4		75-105	0.58	80.0	82.5	1.75	8.41	8.00	6.93
5		105-135	0.52	85.3	87.5	0.98	7.42	6.57	4.42
6		135-165	0.50	100.6	92.5	0.37	5.28	3.44	1.79
7		165-195	0.50	102.9	92.5	0.59	7.56	5.32	2.17
8	1/100 HWL	345-15	0.75	69.2	72.5	1.92	7.75	7.25	6.22
9		15-45	0.98	75.5	77.5	2.18	9.75	9.02	8.21
10		45-75	0.98	78.9	82.5	2.28	11.3	10.94	9.99
11		75-105	0.79	81.3	82.5	2.10	10.36	10.18	9.09
12		105-135	0.71	85.4	87.5	1.88	9.43	8.93	7.34
13		135-165	0.62	90.9	92.5	1.01	8.44	6.90	3.68
14		165-195	0.56	96.2	92.5	0.90	10.93	7.19	2.95
15	1/100 LWL	345-15	0.28	70.1	72.5	1.74	7.76	7.32	6.39
16		15-45	0.52	75.7	77.5	1.98	9.81	9.07	8.32
17		45-75	0.52	78.9	82.5	2.06	11.31	10.97	10.05
18		75-105	0.33	81.0	82.5	1.90	10.37	10.20	9.10
19		105-135	0.25	85.0	87.5	1.71	9.44	8.98	7.41
20		135-165	0.16	89.6	87.5	1.02	8.42	7.02	3.79
21		165-195	0.10	94.9	92.5	0.90	10.94	7.28	3.03



## 8. CONCLUZIE

În acest raport sunt studiate condițiile Metocean operaționale și condițiile de proiectare pentru litoralul. Climatul valurilor este dominat de condiții de valuri maritime. Două direcții dominante sunt observate ENE (~ 60°N) și SSE (~ 150°N). Cele mai mari valuri sunt observate în perioada de iarnă, lunile noiembrie-martie. La structura RJ1, valurile prezintă o direcție mai uniformă a valului dinspre est (~ 90°N) datorită refracției către coastă. Datorită spargerii valurilor la adâncimi mai mici, înălțimile valurilor au scăzut semnificativ în apropierea structurii RJ1.

Condițiile operaționale pentru valuri calculate cu modelul ondulatoriu sunt comparate cu datele de măsurare. Înălțimea valului arată o potrivire relativ bună cu datele măsurate de baliză, rezultând o valoare medie pătratică a erorilor de 0,22 și un coeficient de corelație de 0,88. Durata valurilor are o corelație mai mică de 0,66 și RMSE (valoare medie pătratică a erorilor) de 1,21. Durata vârf-undă este în general la mai puțin de o secundă din valorile măsurate. Se concluzionează că modelul ondulatoriu este potrivit pentru a determina condițiile de proiectare.

Condițiile de proiectare pentru offshore au fost determinate pentru valorile de recurență de 1, 5, 10, 25, 50 și 100 de ani. Principală variabilă este înălțimea valului și se calculează valorile asociate P-50  $T_p$  și U10. Condițiile de proiectare pentru offshore sunt transformate în condiții pentru apropierea țărmului cu modelul de undă SWAN.

Analiza valorilor extreme (AVE) utilizează o analiză a valorii maxime (peak-over-threshold), cu distribuție Pareto generalizată (DPG) asupra datelor. Condiția cea mai mare pentru valurile offshore cu PR de 1/100 ani are  $H_s = 7,07\text{m}$ ,  $T_p = 10,97\text{s}$ ,  $u_{10} = 19,78\text{m/s}$ ,  $WL = 0,98\text{m}$  și  $Dir = 60^\circ\text{N}$ .

Datele despre valurile din apropierea țărmului (nearshore) sunt derivate cu modelul ondulatoriu numeric SWAN de-a lungul întinderii plajei, cuprinzând adâncimi între ~ 3m până la 14 m. În zona digului sparge-val se aleg mai multe locații pe laturile pereului și în direcție transversala a structurii RJ1. Condițiile pentru cele mai înalte valuri cu PR de 1/100 ani în zona din apropierea țărmului la 44.3°N 28.7°E au un  $H_s = 4.77\text{m}$ ,  $T_p = 11.3\text{s}$  și o direcție a valului mediu de 89.0°N. La structura RJ1, locația 44.2°N 28.6°E, condiția cu o PR de 1/100 ani a fost redusă la un  $H_s = 2.28\text{m}$ ,  $T_p = 11.3\text{s}$  și o direcție a valului mediu de 78.9°N.

## 9. REFERINȚE ABREVIERI, DEFINIȚII

### 9.1. Referințe

Documentele Clientului		
Nr.	Nr. document	Titlu document
[A.1]		Cerințe contractuale

Documentele Boskalis		
Nr.	Nr. document	Titlu document
[B.1]	64210030-GEN-SUR-RE-014	Raport masuratori proiectare Batimetrie

Documente terțe părți	
Nr.	Referință document

- [1] Infoplaza Marine Weather BV, "Wind and wave data for a location in the Black Sea," (Date despre vânt și valuri pentru o locație în Marea Neagră) 2019.
- [2] Delft University of Technology, [Online]. Disponibil: swanmodel.sourceforge.net.
- [3] C. Bondar, "The Black Sea level variations and the river-sea interactions," (Variațiile nivelului Mării Negre și interacțiunile râu-mare) 2007.
- [4] Halcrow Romania S.R.L., "Wave Modelling Report," (Raport privind modelarea valurilor) 2011.
- [5] ROMAIR Consulting, "Wave Propagation from Offshore to Nearshore Report - Mamaia," (Raport privind propagarea valurilor dinspre larg către linia țărmului - Mamaia) 2015.
- [6] G. van Vledder and A. Akpinar, "Spectral partitioning and swells in the black sea," *Proceedings of the 35th International Conference on Coastal Engineering, (Partiționare spectrală și hule în Marea Neagră, "Proces-verbal al ediției 35 a Conferinței Internaționale pentru Inginerie Costieră")* vol. 35, pp. 199-212, 2016.
- [7] Y. Goda, "Random seas and design of maritime structures," *Advanced series on ocean engineering, (Mări aleatorii și proiectarea structurilor maritime, "Serie avansată despre ingineria oceanică") World Scientific Publications*, vol. 15, 2000.
- [8] S. Grishin, "Conceptual design of a development scheme for blocks in the Romanian sector of the Black Sea," (Proiectarea conceptuală a unei scheme de dezvoltare a blocurilor din sectorul românesc al Mării Negre) Universitatea din Stravanger, 2014.
- [9] Boskalis, "DECLARAȚIE PRIVIND METODA DE LUCRU," 2017.

### 9.2. Abrevieri

Abreviere	Definiție completă
RV	Valoare de recurență
RP	Perioadă de recurență
DSWBA	Administrația Bazinală de Apă Dobrogea Litoral

Abreviere	Definiție completă
RWNA	Administrația Nationala a Apelor Române
LIOP	Program operațional de infrastructură mare
EVA	Analiza valorilor extreme
GPD	Distribuție generalizată Pareto
RMSE	Root-Mean-Square-Error
CorCoef	Coeficient de corelație

### 9.3. Definiții

Definiție	Definiție completă
°N	Direcția în convenția nautică
Hs	Înălțimea semnificativă a valului
Tp	Perioada valurilor maxime
T <sub>1/3</sub>	Perioada valurilor semnificative
U <sub>10</sub>	Viteza vântului la o altitudine de 10 metri

## **10. ANEXE**

- 10.1. Fișa informativă privind datele offshore**
- 10.2. Analiza valorilor extreme**
- 10.3. Locații de ieșire**
- 10.4. Verificarea formei furtunii**
- 10.5. Performanța modelului**

# **Datele de vânt și valuri offshore ca informații pentru etapa de proiectare detaliată a plajelor românești - zona Mamaia (lot 2)**

**Fișă informativă**



**Pregătit pentru:**  
**În atenția:**  
**Data:**  
**Referința dvs.:**  
**Referința noastră:**

**Boskalis**  
**Jordi Hoek**  
**16/12/2019**  
**-/-**  
**2019-032x**

## Pagina de stare a documentului

Document întocmit de: : **infoplaza Marine Weather BV**  
Sleepboot 5, 3991 CN Houten  
Olanda  
Mail: *info@infoplaza.nl*

Autor(i) : Joris de Vroom

Examinator(i) : Peter Groenewoud

Titlu : Datele de vânt și valuri offshore ca informații pentru etapa de proiectare detaliată a plajelor românești - zona Mamaia (lot 2)

Sub Titlu : Fișă informativă

Referința noastră : 2019 – 032x

Data emiterii : 16/12/2019

Pregătit pentru : Boskalis

In atenția. : Jordi Hoek

Referința dvs. : -/-

Comentarii :

Infoplaza Marine Weather este o marcă comercială înregistrată a BMT ARGOS BV. Birourile sale sunt situate la adresa Sleepboot 5, 3991 CN din Houten, Olanda. Organizația este înregistrată la Camera de Comerț a Olandei sub nr. 39060160.

Informațiile conținute în acest document sunt confidențiale comercial, nu trebuie transmise unei terțe părți fără acordul prealabil scris al autorului (autorilor). © Copyright Infoplaza Marine Weather 2019



## Fișă informativă de livrare

Acest document a fost pregătit de Infoplaza Marine Weather (Infoplaza).

### Titlu

Datele de vânt și valuri offshore ca informații pentru etapa de proiectare detaliată a plajelor românești - zona Mamaia (lot 2).

### Descriere

Furnizăm serii de timp pentru vânt și valuri pentru o locație în Marea Neagră. Datele orare despre vânt și valuri au fost preluate din datele noastre estimate retrospectiv cu codul WaveWatch III pentru Marea Neagră (rezoluția 15'x15').

### Locația și zona de interes

Punctul modelului de ieșire utilizat pentru furnizarea de date este caracterizat în Tabelul 1 și Figura 1. Pe baza unei evaluări, această locație este considerată cea mai bună pentru zona proiectului.

Tabel 1 WW3 Punctul și aria globală a grilei utilizate pentru furnizarea datelor

Descriere	Lat	Long	Adâncime (m)	Grila	Rezoluție
Punctul pe grila modelului de undă	44°00'N	29°30'E	69	Marea Neagră	15'x15'

Sursa imaginii: Google Earth

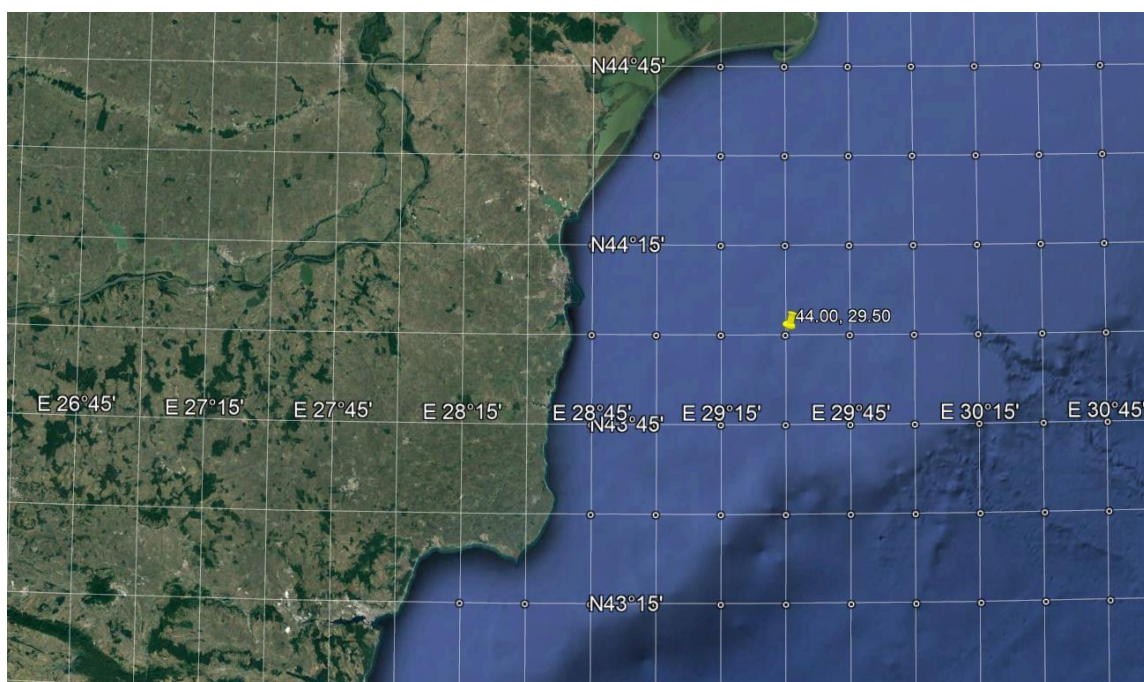


Figura 1 WW3 punctul pe grila modelului care furnizează date de vânt și valuri (marker galben) și toate punctele de pe grila modelului de undă din zonă (cercuri albe)

## Cadru de referință

### (a) Definiții și notare

#### ○ **Spectru de valuri $S$ 2D**

Densitatea de energie spectrală 2D descrie modul în care variația înălțării suprafeței mării este distribuită pe frecvența spectrală și direcția spectrală. Este adesea denumit spectru de undă 2D complet real. Există 35 de frecvențe spectrale (distribuite în mod egal pe o axă logaritmică între 0,0345 și 0,8827 Hz) și 36 direcții spectrale (centre cu rezervoare de 10 grade lățime) exprimate în radiani.

#### ○ **Spectru de valuri cvasi-2D / 1D**

Densitatea spectrală 1D a energiei, descrie modul în care variația înălțării suprafeței mării este distribuită pe frecvența  $f$ . Este adesea denumit spectru de undă 1D. Împreună cu direcția valului mediu și propagarea direcțională per rezervor de frecvență, spectrul de undă 1D este denumit și spectrul de undă cvasi-2D. Acest lucru este legat de faptul că spectrele 2D reale pot fi simulate din spectre cvasi-2D presupunând o distribuție direcțională cosinus pătrat a densității energiei bazată pe propagarea direcțională în jurul direcției de undă medie per frecvență.

#### ○ **Momentul spectral $m_p$**

Pentru orice  $p$  întreg (număr),  $m_p$  este integrala pentru frecvența  $f$  a  $f^p$  înmulțită cu spectrul de undă, cu frecvența  $f$  în cicluri per unitate de timp. Observație:  $m_0$  este variația totală a elevației suprafeței mării.

#### ○ **Înălțimea valului $H$**

Aceasta este înălțimea vârfului valului până la bază a unui val individual între două încrucișări consecutive ale nivelului apei stătătoare.

#### ○ **Înălțimea semnificativă a valului $H_s$**

Înălțimea medie a valului  $H$  pentru 1/3 din cele mai înalte valuri. Cu excepția apei puțin adânci,  $H_s$  este aproximat cu exactitate de  $Hm_0$ , definit ca fiind de 4 ori deviația standard a deplasării verticale a suprafeței ( $4 \times$  rădăcina pătrată a momentului spectral  $m_0$ ). În acest raport și în toate fișierele de rezultate, am aproximat  $H_s$  cu ajutorul  $Hm_0$ .

#### ○ **Direcția principală a valului $H_{sd}$**

Direcția derivată din momentele Fourier direcționale de ordinul întâi (momente ponderate sinus și cosinus) ale spectrului undelor direcționale. Direcția valului este definită ca „provenind de la”. Poate fi de asemenea definită pentru (a) gamă(e) limitată(e) de frecvențe și reprezentată ca o funcție de frecvență.

Perioada de traversare la nivel zero  $T$

Timpul scurs între două traversări consecutive ale nivelului apei stătătoare.

Media perioadelor de traversare la nivel zero ( $T_z$ )

Media perioadelor  $T$  de traversare la nivel zero pentru o anumită stare a mării.  $T_z$  este aproximat prin  $T_z \approx Tm_{0,2}$  (a se vedea durata valului bazată pe moment).

- **Durata valului bazată pe momentele spectrale  $Tm_{p,q}$**   
 $Tm_{p,q} = (m_p / m_q)^{1/(q-p)}$  cu momentele spectrale  $m_p$  și  $m_q$ , și  $p$  și  $q$  două numere întregi distincte. Aici,  $Tm_{-1,0}$  și  $Tm_{0,2}$  sunt menționate ca media duratelor de val ( $Tm$ ) și, respectiv, media perioadelor de traversare la nivel zero ( $Tz$ ).
- **Perioada de traversare la nivel zero  $T$**   
 Timpul scurs între două traversări consecutive ale nivelului apei stătătoare.
- **Media perioadelor de traversare la nivel zero  $Tz$**   
 Media perioadelor  $T$  de traversare la nivel zero pentru o anumită stare a mării.  $Tz$  este aproximat prin  $Tz \approx Tm_{0,2}$  (a se vedea durata valului bazată pe moment).
- **Frecvența vârfului-undă  $Fp$**   
 Aceasta este frecvența în care spectrul undelor atinge valoarea maximă.
- **Durata vârfului-undă  $Tp$**   
 Durata care corespunde frecvenței în care densitatea spectrală atinge valoarea maximă.
- **Direcția vârfului-undă  $Pd$**   
 Aceasta este direcția valurilor care corespunde frecvenței vârfului-undă.
- **Lungimea valului  $\lambda$**   
 Distanța orizontală între două traversări consecutive a nivelului de apă stătătoare în direcția propagării valului.
- **Parametrul curburii valului  $s$**   
 Un parametru fără dimensiuni, definit ca raportul dintre înălțimea semnificativă a undei  $Hs$  și lungimea undei în apă adâncă corespunzător perioadei de undă  $Tm_{-1,0}$ , ex.,  $s = (2\pi/g) Hs / (Tm_{-1,0})^2$
- **Propagare direcțională**  
 Aceasta este media ponderată a propagării direcționale a energiei pentru spectrul total (**propagared**) sau propagarea direcțională la frecvența vârfului-undă (**propagarep**).
- **Valurile de vânt**  
 Atunci când se utilizează un separator bazat pe curbura valului, o componentă spectrală (vârf distinct) se clasifică ca val de vânt dacă curbura valului este  $s > 0,025$ . Rețineți că această definiție „inginerească” nu ia în considerare vântul; doar curbura valului. Alternativ, un vârf spectral se clasifică ca val de vânt dacă viteza sa de grup este mai mică decât componenta vitezei vântului în conformitate cu direcția sa, ex., componenta este în continuă creștere datorită aportului de energie eoliană. Majoritatea separatoarelor presupun un vârf unic de val de vânt, dar sunt posibile și mai multe vârfuri de valuri de vânt. Parametrii corespondenți pentru valul de vânt, cum ar fi  $Hs_{sea}$ ,  $Tp_{sea}$ , etc., se găsesc prin aplicarea definițiilor acestor parametri doar la un anumit vârf al valului de vânt. Parametrii totale ai valurilor de vânt pot fi găsiți după adunarea energiei valurilor cu vârfurile valului de vânt. În acest studiu am folosit separatorul nostru standard bazat pe curbura valului.

### ○ Valuri de hulă

Orice componentă spectrală (vârf distinct) care nu se clasifică ca val de vânt, se clasifică ca o componentă de val de hulă. Separatoarele pot găsi mai multe vârfuri de val de vânt. Parametrii corespunzători ai valului de hulă, cum ar fi *Hs<sub>swl</sub>*, *Tp<sub>swl</sub>* etc., sunt găsiți prin aplicarea definițiilor acestor parametri doar pentru acel vârf de val de hulă specific. Parametrii totali ai valului de hulă pot fi găsiți prin adunarea energiei valurilor cu toate componentele valului de hulă. În acest studiu am folosit separatorul nostru standard bazat pe curbura valului.

### ○ Viteza vântului *u10* și direcția vântului *u10d*

Viteza susținută a vântului la 10 m deasupra suprafeței (mării) și direcția asociată. Direcția vântului este definită ca „venind dinspre”. „Susținut” înseamnă media pentru 1 oră.

### ○ Accelerația gravitațională *g*

Pe Pământ, luată egal cu  $9.81 \text{ m/s}^2$

## (b) Unități și convenții

- Densitatea spectrală (2D) este exprimată în  $\text{m}^2/\text{Hz}/\text{rad}$ ; densitatea spectrală (1D) este exprimată în  $\text{m}^2/\text{Hz}/\text{rad}$

- Dacă nu este specificat în alt mod, unitățile sunt exprimate folosind convenția SI:

- Lungimea sau distanța (înălțimea valului, elevația suprafeței, adâncimea apei) în metri,
- perioada (duratele valurilor) în secunde,
- viteza în metri pe secundă,
- direcția în grade în sensul acelor de ceasornic dinspre Nord.

- Direcțiile vântului și ale undei (spectrale) sunt definite ca „venind dinspre” în raport cu nordul real aplicabil în sensul acelor de ceasornic.

- Cu excepția cazului în care se specifică altfel în mod explicit, coordonatele sunt exprimate în grade de latitudine și longitudine, presupunând un sistem de coordonate WGS84.

## Conformitate și utilitate pentru scop

Dacă este necesar, datele și metodele propuse în acest document respectă standardele și liniile directoare relevante (de ex. API 2Int-Met<sup>1</sup>, ISO 19901-1<sup>2</sup>, standardul ISO care reglementează activitățile metocean pentru industria offshore).

Lucrarea a fost elaborată de un specialist calificat în date metocean și revizuită tehnic înainte de publicare. Procesul Infoplaza privind managementul calității este acreditat pentru ISO 9001-2008.

Infoplaza oferă o serie de servicii Metocean, fiecare având propriul scop propus. Este important ca utilizatorul final să aprecieze „adecvarea la obiectivul urmărit” a oricărui serviciu special pentru a evita utilizarea rezultatelor dincolo de limitele lor prevăzute inițial.

Datele de vânt și de valuri offshore furnizate în această livrare, în contextul informațiilor care ne sunt disponibile, sunt considerate adecvate pentru a servi drept informații pentru continuarea modelizării și studiilor privind climatul ambiental și climatul aspru pentru locații offshore. În acest proiect, am utilizat date de observare satelitară pentru a calibra viteza vântului offshore și datele estimate retrospectiv pentru înălțimea valului. În absența datelor de observație in situ, aceasta este acceptată în general ca o modalitate fiabilă de validare a calității datelor de modelare pentru vânt și valuri offshore.

Pentru studii de modelare și aplicații de proiectare detaliată, validarea suplimentară cu observații in situ din apropierea locației reale a studiului este de obicei prescrisă de autoritățile de certificare și / sau de către inspectorii de garanție. Astfel de date in situ nu erau disponibile pentru Infoplaza la momentul studiului. Modelarea suplimentară bazată pe condițiile offshore furnizate, controlul calității (bazat pe observații in situ) și analiza ulterioară a datelor, sunt responsabilitatea exclusivă a părții care execută o astfel de lucrare și, ulterior, a utilizatorului final.

Dacă aveți dubii cu privire la caracterul adecvat al informațiilor conținute în acest document pentru obiectivul dvs. specific, sau dacă doriți să discutați despre servicii alternative, vă rugăm să ne contactați la adresa ([info@infoplaza.nl](mailto:info@infoplaza.nl)), iar un consilier cu experiență în Metocean va fi încântat să vă ajute.

<sup>1</sup> American Petroleum Institute, 2007. Ghid provizoriu privind condițiile de uragan din Golful Mexic. Buletinul API 2INT-MET, mai 2007.

<sup>2</sup> ISO, 2005. Industriile petrolului și gazelor naturale, Cerințe specifice pentru structuri offshore, Partea 1 - Condiții metocean de proiectare și exploatare. ISO / FDIS 19901-1: 2005 (E).

## Metoda de calibrare

### a) Date estimate retrospectiv pentru offshore

Infoplaza operează un model de predicție a valurilor de a treia generație bazat pe codul WaveWatch III pe o rețea globală, precum și pe mai multe rețele regionale pentru date estimate retrospectiv și previziuni. Modelul global utilizat de Infoplaza are o rezoluție de  $\frac{1}{2}^{\circ} \times \frac{1}{2}^{\circ}$ . Modelul folosește date de vânt CFSR furnizate de departamentul pentru modelare marină a Centrului Național de Predicție a Mediului (NCEP).

În plus față de modelul global, Infoplaza a generat de asemenea mai multe date regionale estimate retrospectiv pentru platforma continentală europeană, Mediterană, Marea Neagră, Marea Caspică, Marea Roșie, Golful Persic, Indonezia, Marea Chinei de Sud și Australia de Nord-Vest. Acolo unde este cazul, se folosesc condiții meteocean din aceste date regional estimate retrospectiv cu rezoluție mai mare.

Pentru studiul de față am folosit date din modelul pentru Marea Neagră. Toate modelele furnizează serii de timp de 3 ore de spectre de undă și serii de timp orare de parametri integrați (date pentru hărți) care acoperă o perioadă de peste 40 de ani (1979 - până aproape de prezent, datele estimate retrospectiv sunt actualizate lunar). Pentru acest studiu pe oră, datele estimate retrospectiv din fișierele de hărți au fost extrase pentru anii 1979-2019.

Datele estimate retrospectiv au fost validate/recalibrate de Infoplaza (a se vedea secțiunea următoare).

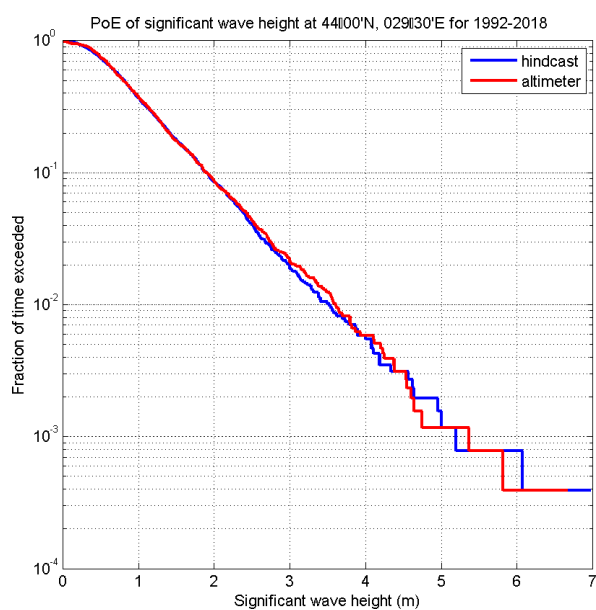
### b) Calibrarea datelor de vânt și valuri offshore

Erorile sistematice între înălțimea semnificativă a undei ambientale și viteza vântului din model și din satelit sunt eliminate din model presupunând un model liniari de erori. Măsurătorile satelitare (1992-2018) au fost utilizate pentru a calibra datele estimate retrospectiv privind viteza vântului pentru model și înălțimea semnificativă a valului la punctul modelului pentru perioada (1979-2019).

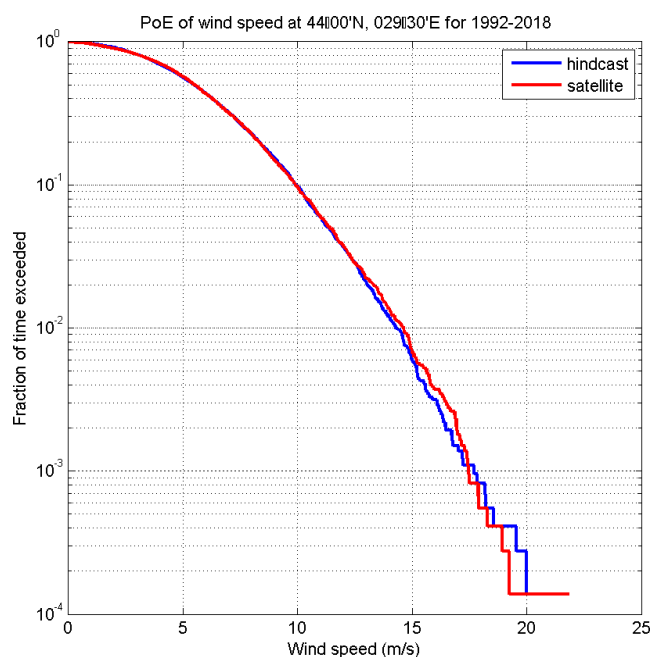
Observațiile satelitare au fost colectate pe o rază de 50 km în jurul punctului modelului. Datele satelitare colectate într-o regiune atât de mică într-o singură trecere a satelitului sunt foarte corelate. Pentru a ține cont de asta, utilizăm doar eșantionul de la cel mai apropiat satelit de la fiecare trecere. Datele modelului sunt apoi interpolate liniar la timp pentru a forma perechi potrivite de date de măsurare prin satelit / date modelate care pot fi comparate. Panta și interceptarea sunt calculate per fiecare punct pe grila modelului de undă, folosind metoda celor mai mici pătrate pentru datele sortate. Această calibrare are ca rezultat o înălțime semnificativă a undei și o viteză a vântului imparțiale pentru model în comparație cu observațiile satelitare in situ.



Figura 2 de mai jos arată comparația dintre probabilitatea de depășire (PoE) a înălțimii semnificative a undei din observațiile altimetrului de proximitate și datele calibrate estimate retrospectiv. Figura 3 oferă o comparație similară între viteza vântului provenită de la satelit (scaterometru și altimetru) și datele calibrate estimate retrospectiv.



**Figura 2 PoE a înălțimii semnificative a undei de la altimetru și datele estimate retrospectiv.**



**Figura 3 PoE a vitezei vântului provenită de la satelit (scaterometru și altimetru) și datele estimate retrospectiv**

## Rezultate

Seriile de timp pentru vânt și parametri de undă integrați au fost scrise în următorul fișier:

- calibrated\_ww3\_maps\_4400n02930e.mat

Fișierul MATLAB conține înregistrări de serii de timp orare pentru perioada 1979-2019. Eticheta locației se referă la coordonatele locației de interes. Direcțiile valurilor și ale vântului sunt etichetate „Hsd”, „pd” și „u10d”. Prima înregistrare de date se referă la 16 ianuarie 1979, ora 00h (din cauza rotirii modelului), iar ultima înregistrare de date la 31 octombrie 2019, ora 21h.

Fișierul conține o structură MATLAB denumită ‘S’ cu următoarele câmpuri (dacă există, simbolul utilizat în cadrul de referință este pus între paranteze):

- lon- Longitudinea locației în grade;
- lat- Latitudinea locației în grade la nord;
- t- Data și ora ca număr serial MATLAB al datei, cu ora în UTC;
- u10- Viteza vântului, susținută 1-oră, la 10 m deasupra suprafeței (u10);
- u10d- Direcția vântului corespunzătoare (u10d);
- hs- Înălțimea semnificativă a valului în metri (Hs);
- hsd- Direcția principală a undei (Hsd);
- tm- Perioada undelor de energie (Tm);
- tp- Durata vârfului valului (Tp);
- pd- Direcția vârfului valului (Pd);
- adâncime- Adâncimea apei la locație, în metri;

# ANALIZA VALORILOR EXTREME PENTRU CLIMATUL VALURILOR ȘI VÂNTULUI

## **AVE Mamaia - 44N 29.5E**

**Autor(s):** J. Hoek

**Contributor(i):** -

**Examinator(i):** W. Jager

12 Februarie, 2020

# Cuprins

<b>1</b>	<b>Introducere</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Locația și datele proiectului</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Valori de recurență</b>	
3.1	Valori de recurență univariate .....	4
3.1.1	Valori ale variabilei principale (WS) .....	4
<b>A</b>	<b>Grafice de diagnosticare pentru evaluarea concordanței</b>	<b>7</b>
A.1	Variabila principală (WS) .....	7
A.1.1	Sectorul direcțional: 0°-360° .....	8
A.1.2	Sectorul direcțional: 345°-15° .....	9
A.1.3	Sectorul direcțional: 15°-45° .....	10
A.1.4	Sectorul direcțional: 45°-75° .....	11
A.1.5	Sectorul direcțional: 75°-105° .....	12
A.1.6	Sectorul direcțional: 105°-135° .....	13
A.1.7	Sectorul direcțional: 135°-165° .....	14
A.1.8	Sectorul direcțional: 165°-195° .....	15
A.1.9	Sectorul direcțional: 195°-225° .....	16
A.1.10	Sectorul direcțional: 225°-255° .....	17
A.1.11	Sectorul direcțional: 255°-285° .....	18
A.1.12	Sectorul direcțional: 285°-315° .....	19
A.1.13	Sectorul direcțional: 315°-345° .....	20

## 1 Introducere

Un scurt paragraf introductiv despre domeniul de aplicare al raportului.

Tabel 1: Nomenclator

Abreviere	Denumire completa
RP	Perioada de recurență
RV	Valoare retur
yr	An

## 2 Locația și datele proiectului

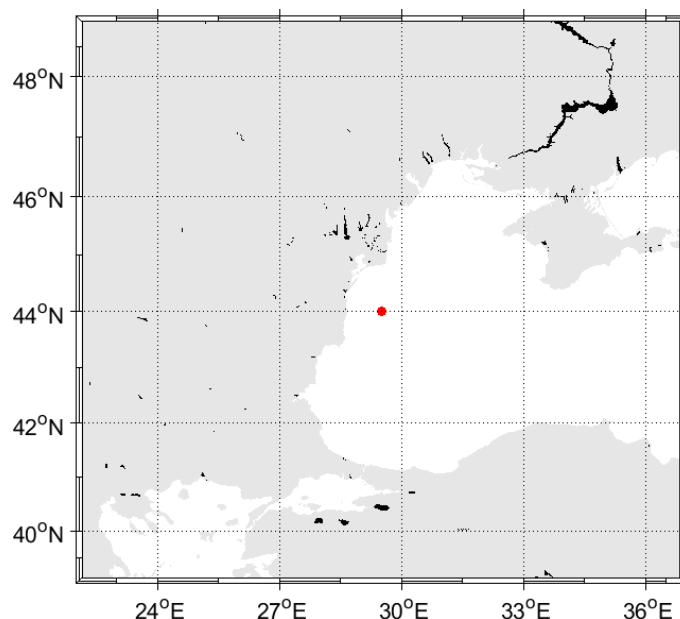
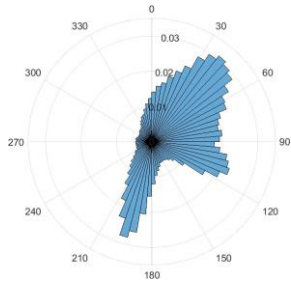
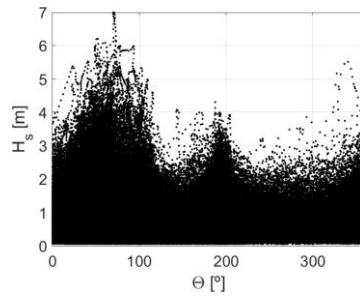


Figura 2: Locația datelor

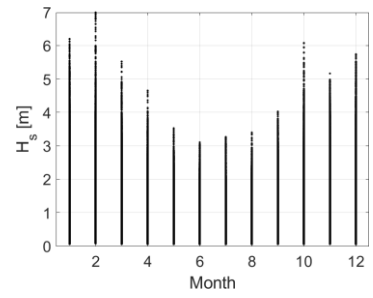
Datele sunt obținute de la Infoplaza. Datele sunt estimate retrospectiv și au fost calibrate de Infoplaza față de datele altimetrului. Locația folosită este la Lon 29.5°E, Lat 44°N, la o adâncime de 69m. Intervalele de timp constau din date de o oră pentru o perioadă de 41 de ani de date (1979-2019). Seria include înălțimea semnificativă a valului ( $H_s$ ), durata de vârf spectral asociată ( $T_p$ ), perioada de traversare la nivel zero ( $T_z$ ) și direcțiile de intrare pentru starea totală a mării. De asemenea, sunt incluse viteza și direcția vântului la 10m înălțime ( $U_{10}$ ).



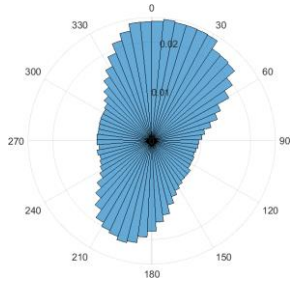
(a) Direcția valului



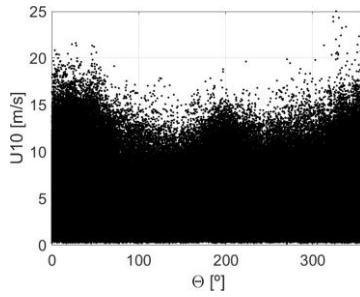
(b) Direcția valului vs.  $H_s$



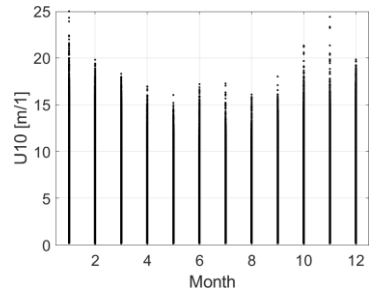
(c) Lună vs.  $H_s$



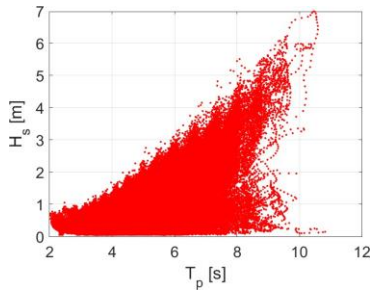
(a) Direcția vântului



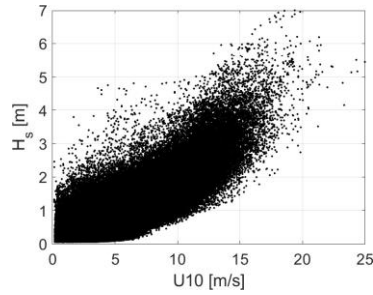
(b) Direcția vântului vs.  $U_{10}$



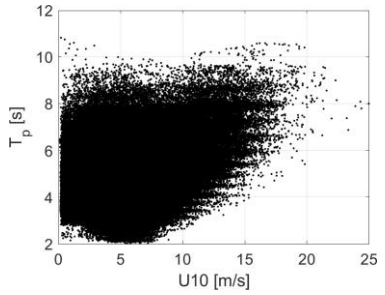
(c) Lună vs.  $U_{10}$



(a) Starea totală a mării  $H_s$  vs  $T_p$



(a)  $H_s$  vs.  $U_{10}$



(b)  $T_p$  vs.  $U_{10}$



## 3 Valori de retur

### 3.1 Valori de recurență univariate

#### 3.1.1 Valorile variabilei principale (Ws)

Această secțiune arată rezultatele unei analize univariate de vârf peste prag pentru Hs. Tabelul 2 prezintă valorile de recurență pentru diferite perioade de recurență în fiecare sector direcțional. De asemenea, este inclusă o estimare omnidirecțională. Tabelul 3 prezintă intervalele de incertitudine de 90% pentru toate estimările, iar tabelul 4 prezintă pragurile selectate, dimensiunile eșantionului și parametrii distribuțiilor GPD pentru fiecare sector direcțional. Mai multe detalii despre concordanță pot fi găsite în anexa A.1.

Tabel 2: Valori de recurență pentru diferite sectoare direcționale.

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
Data max.	24.98	22.30	21.58	21.31	17.52	17.82	17.06	17.81	19.60	16.78	19.85	21.34	24.98
1yr RV	17.84	15.73	15.22	13.64	11.09	10.55	10.70	12.91	13.30	10.22	11.47	12.68	14.62
5yr RV	20.28	18.51	17.74	17.37	14.45	13.64	13.71	15.43	15.55	13.11	14.75	15.21	17.78
10yr RV	21.48	19.54	18.80	18.54	15.37	14.80	14.65	16.21	16.44	13.87	16.22	16.03	19.38
25yr RV	23.21	20.78	20.15	19.79	16.26	16.19	15.65	17.03	17.57	14.58	18.20	16.92	21.73
50yr RV	24.65	21.63	21.16	20.55	16.75	17.15	16.26	17.53	18.37	14.97	19.73	17.48	23.73
100yr RV	26.21	22.40	22.14	21.18	17.13	18.04	16.76	17.93	19.14	15.26	21.30	17.95	25.92

Tabel 3: Intervale de incertitudine 90% pentru valorile de recurență pentru diferite sectoare direcționale

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
1yr RV	[17.5,18.3]	[15.16,8]	[15.1,15.3]	[13.3,14.2]	[10.7,11.6]	[10.4,10.8]	[10.5,11]	[12.1,14]	[13.3,13.4]	[9.55,11.2]	[11.3,11.8]	[12.6,12.8]	[14.6,14.7]
5yr RV	[18.7,23.5]	[16.6,21.5]	[16.4,20.7]	[15.3,21.1]	[12.5,18]	[11.9,17]	[12.2,16.3]	[13.6,18.4]	[14.5,17.5]	[11.2,16.4]	[12.7,19.4]	[13.9,18]	[16.1,21.7]
10yr RV	[19.1,27]	[17.1,23.6]	[16.7,23.9]	[15.8,24]	[12.9,20.3]	[12.3,20.3]	[12.6,18.4]	[14,20]	[14.9,19.8]	[11.5,18.2]	[13.2,24.5]	[14.1,20.5]	[16.5,26.8]
25yr RV	[19.6,33.2]	[17.7,26.5]	[17.29,3]	[16.2,27.7]	[13.2,23.1]	[12.7,25.2]	[13,21.1]	[14.3,22]	[15.2,23.2]	[11.7,20.2]	[13.6,33.8]	[14.4,24]	[17.1,37]
50yr RV	[19.9,39.7]	[18.28,7]	[17.2,34.5]	[16.4,30.4]	[13.3,25]	[13,29.4]	[13.2,23.1]	[14.5,23.3]	[15.4,26.2]	[11.9,21.4]	[13.8,43.4]	[14.5,26.8]	[17.4,48.4]
100yr RV	[20.2,48.1]	[18.2,31]	[17.4,40.8]	[16.6,33.1]	[13.4,26.8]	[13.1,34.2]	[13.3,24.9]	[14.6,24.5]	[15.6,29.7]	[11.9,22.5]	[14.56,1]	[14.6,29.8]	[17.7,64.3]

Tabel 4: Praguri, dimensiunea eșantionului și parametrii GPD (formă și scară) pentru diferite sectoare direcționale.

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
Threshold	17.00	13.00	15.00	12.50	10.00	10.00	10.00	10.00	13.20	8.00	11.00	12.50	14.50
Sample size	77	154	47	60	59	53	55	143	44	88	52	45	44
Shape parameter	0.11	-0.12	-0.03	-0.27	-0.38	-0.12	-0.27	-0.28	-0.07	-0.42	0.03	-0.24	0.14
Scale parameter	1.29	2.24	1.61	3.16	3.21	2.17	2.50	2.76	1.48	3.40	1.98	1.94	1.74

Figura 7 prezintă estimări ale valorilor de recurență direcțională și omnidirecțională. Există două estimări ale nivelurilor de recurență omnidirecțională:

1. valorile de recurență reprezentate de linia neagră punctată se bazează pe o potrivire pentru punctele de date în toate recipientele direcționale
2. valorile de recurență reprezentate de linia neagră solidă se bazează pe combinația matematică a valorilor de recurență direcțională.

În teorie, cele două estimări ar trebui să fie identice și cel puțin la fel de mari ca cele mai mari estimări direcționale. În practică, discrepanțele nu pot fi evitate din cauza incertitudinilor legate de mărimea eșantionului. Cu toate acestea, diferențele mari indică faptul că fie potrivirea omnidirecțională (linia punctată), fie cel puțin una dintre potrivirile direcționale nu sunt adecvate.

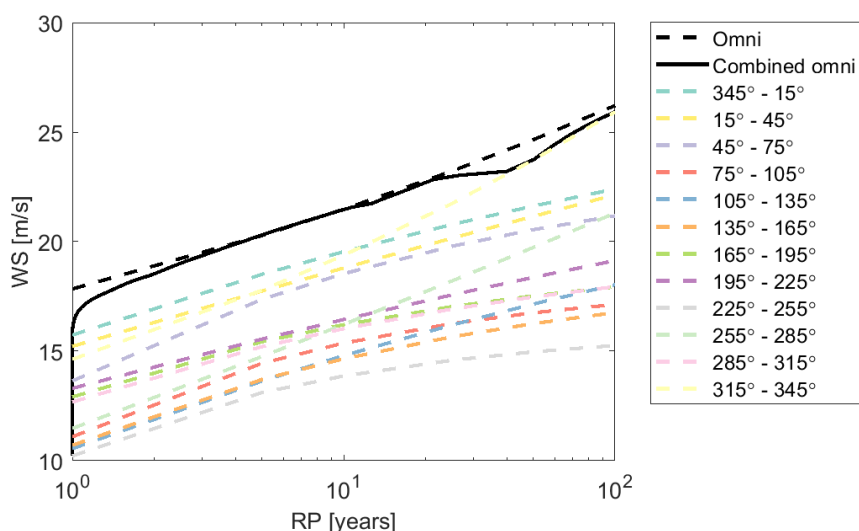


Figura 7: Valori de recurență direcțională și omnidirecțională

## Referințe

**S. Coles**, *O introducere în modelarea statistică a valorilor extreme*, Vol. 208. London: Springer, 2001.

## A. Grafice de diagnostic pentru evaluarea concordanței

### A.1 Variabile Principale (Ws)

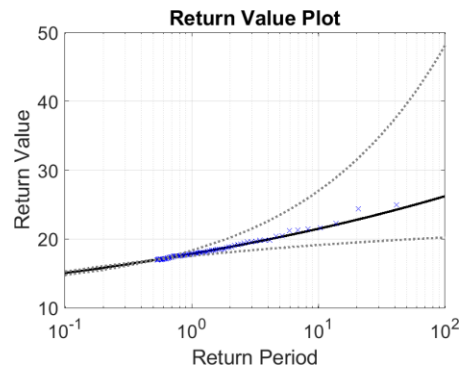
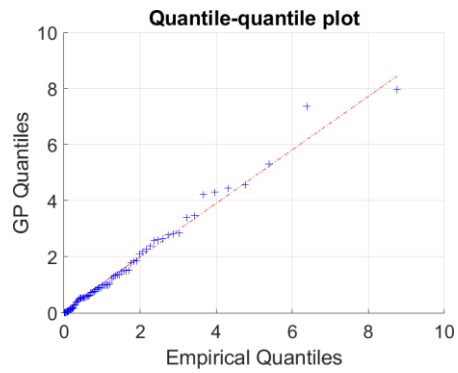
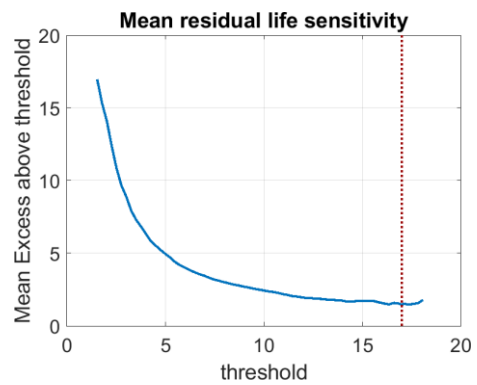
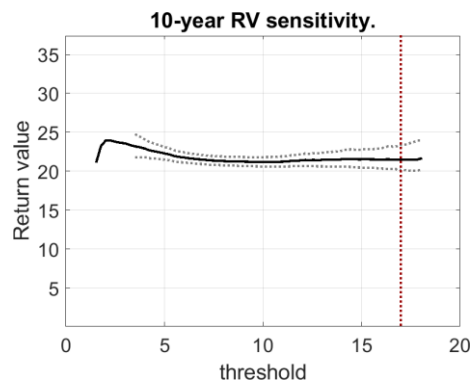
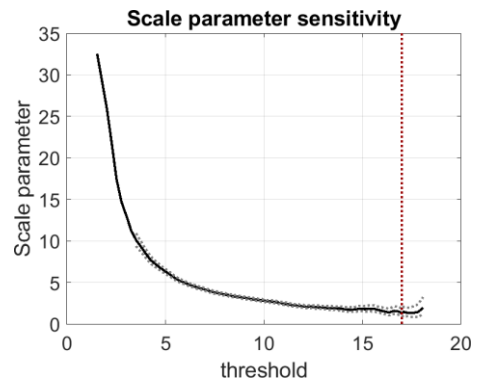
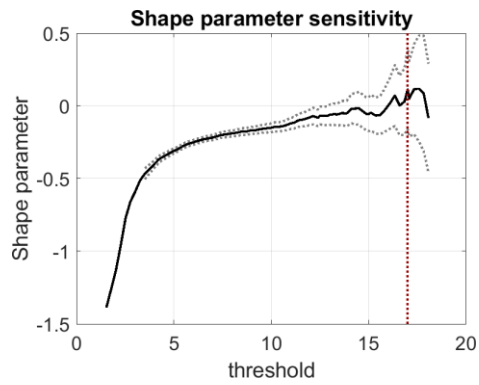
Concordanța este evaluată prin șase grafice de diagnostic. Primele patru grafice evaluează alegerea pragului. Ultimele două grafice evaluează calitatea concordanței GPD pentru pragul selectat. Primele patru grafice arată parametrul de formă, parametrul de scară, durata de viață reziduală medie și valoarea de recurență ca funcție a pragului. Pragul optim este cât mai scăzut, îndeplinind următoarele criterii: Peste prag

1. parametrul de formă trebuie să fie aproximativ constant,
2. parametrul de scară trebuie să se comporte aproximativ liniar,
3. excesul mediu trebuie să se comporte aproximativ liniar și
4. valoarea de recurență trebuie să fie aproximativ constantă.

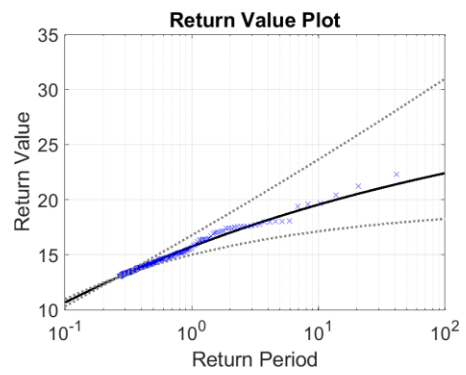
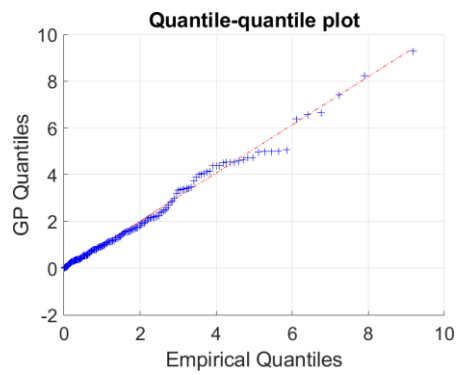
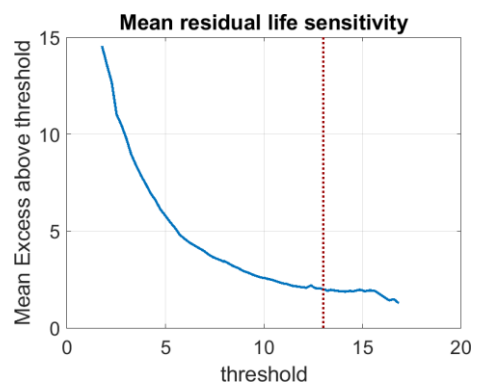
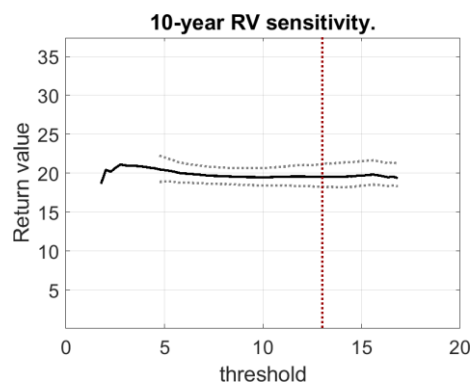
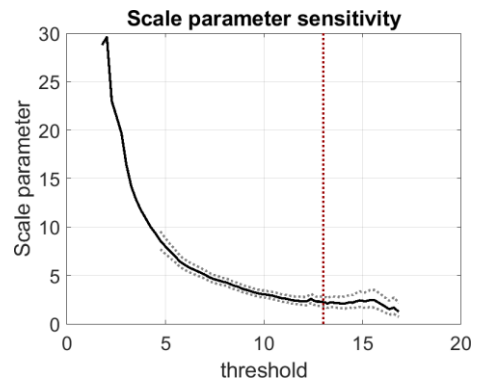
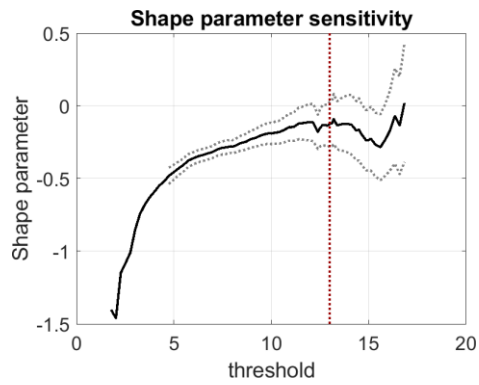
Pentru praguri foarte mari, informațiile din grafice devin nesigure, deoarece dimensiunea eșantionului va fi mică. Acest lucru este vizibil în intervalele de incertitudine extinsă.

Ultimele două grafice sunt un grafic-qq și o un grafic pentru valoarea de recurență. În graficul qq, cuantilele distribuției empirice și ale distribuției GP sunt reprezentate una față de cealaltă (cruci albastre). Cu cât ajustarea este mai bună, cu atât sunt mai aproape punctele de linia  $x = y$  (linia roșie). Dacă punctele sunt sub linie, distribuția GP ajustată tinde să supraestimeze valorile de recurență. Dacă punctele sunt deasupra liniei, distribuția GP ajustată tinde să subaprecieze valorile de recurență. Graficul pentru valoarea de recurență arată valorile de recurență GP pentru perioadele lor de recurență (linie solidă neagră). Un interval de încredere de 90% este de asemenea afișat (linii gri punctate), precum și niveluri de recurență empirice (cruci albastre). Cu cât ajustarea este mai bună, cu atât nivelurile de recurență empirice sunt mai apropiate de valorile de recurență GP.

### A.1.1 Sectorul direcțional: 0°-360°

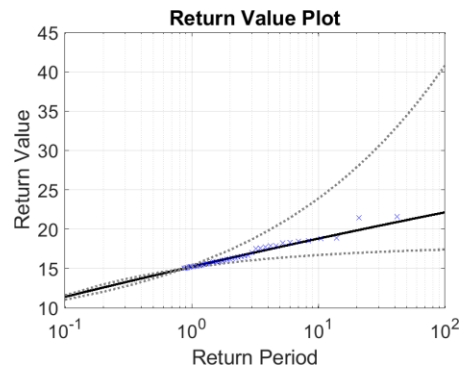
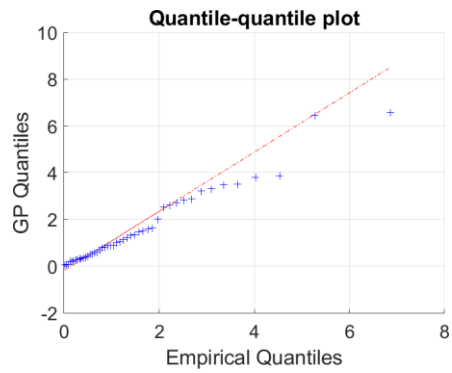
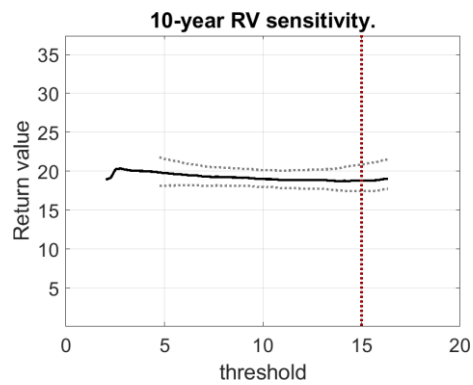
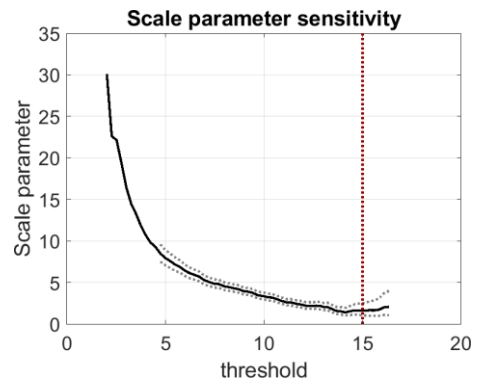
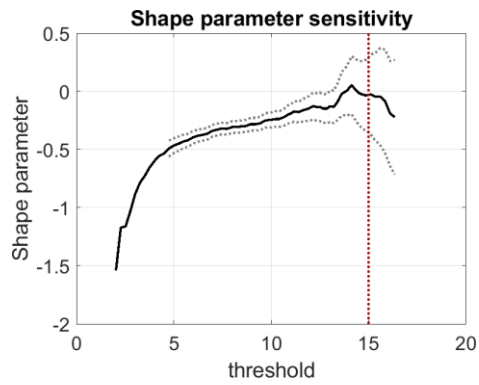


### A.1.2 Sectorul direcțional: 345°-15°

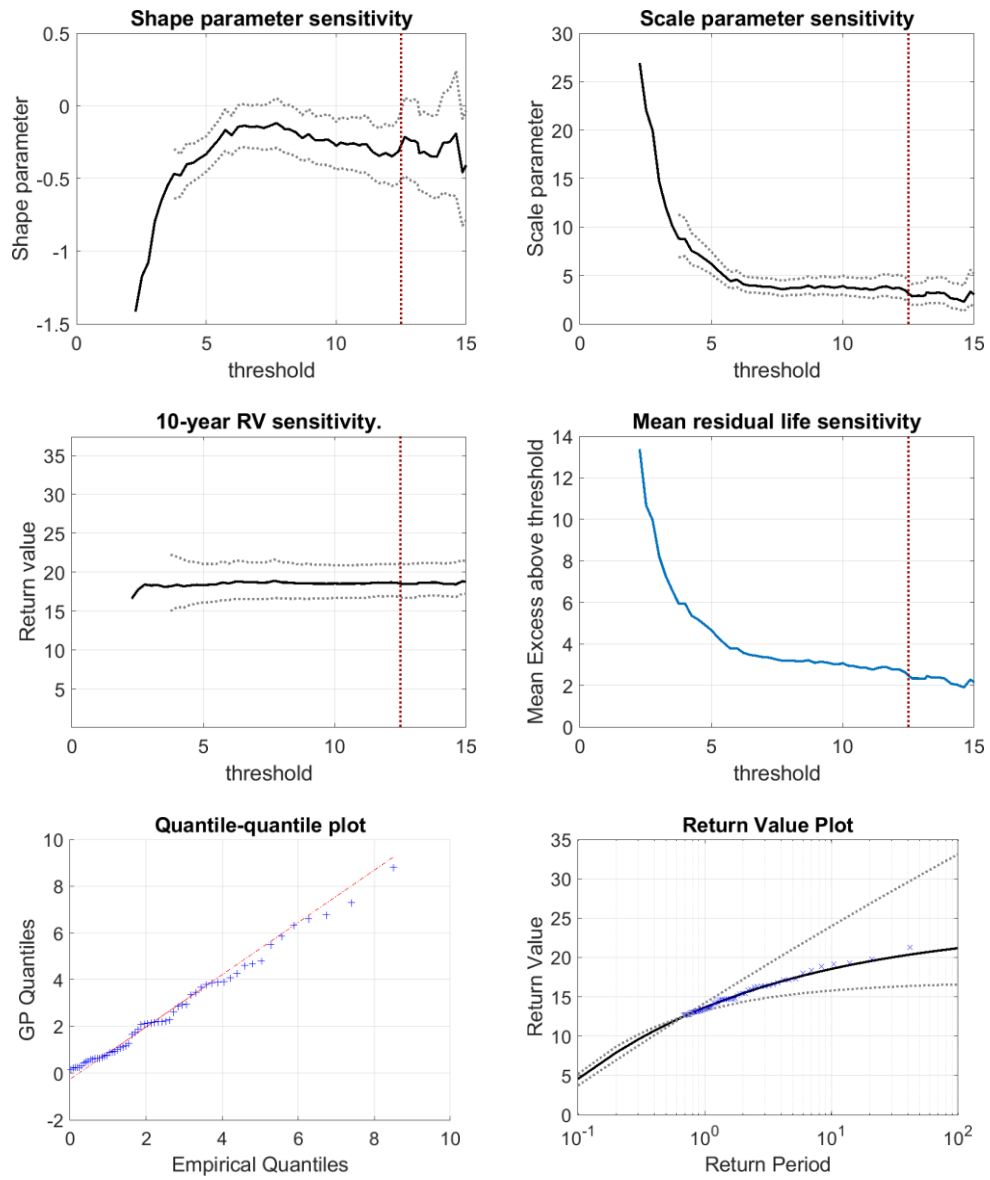




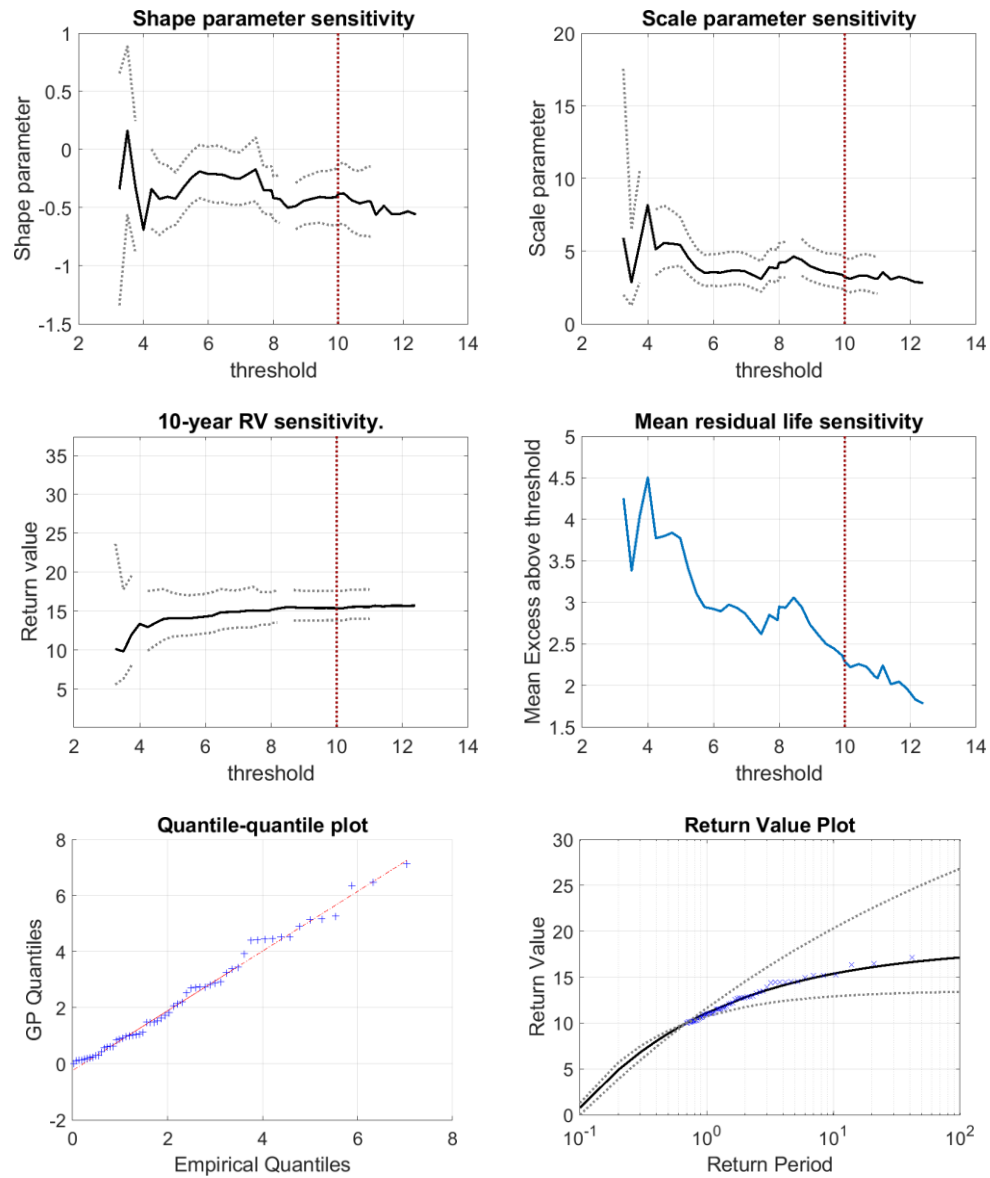
### A.1.3 Sectorul direcțional: 15°-45°



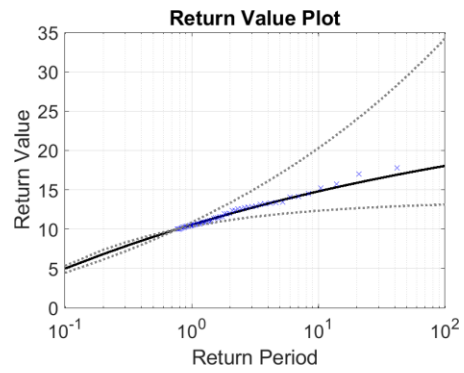
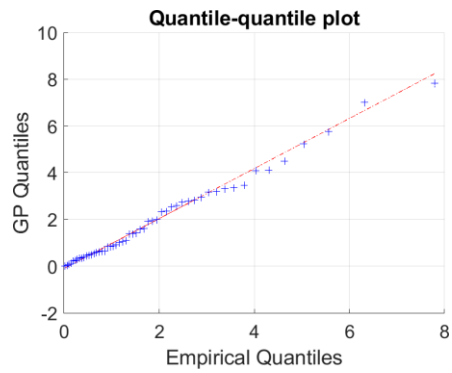
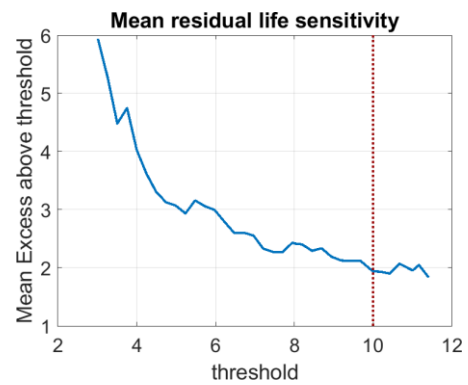
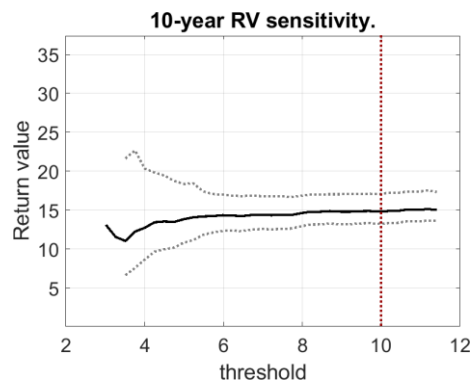
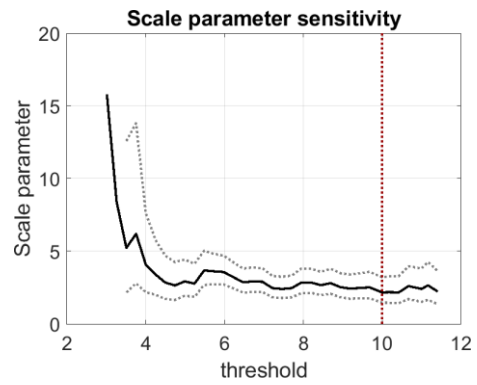
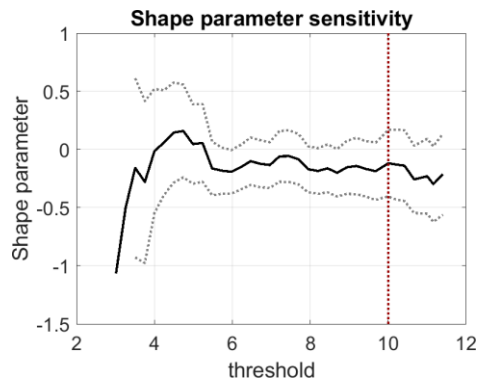
#### A.1.4 Sectorul direcțional: 45°-75°



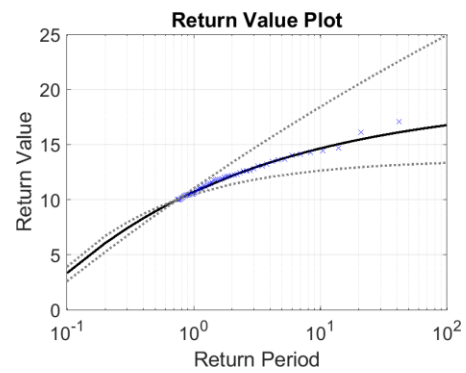
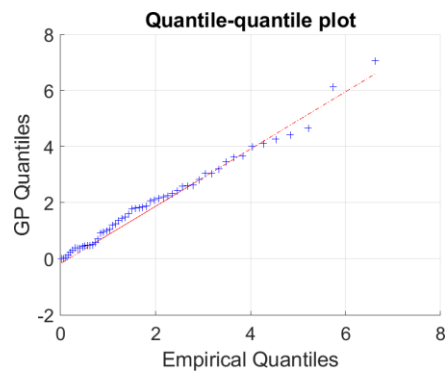
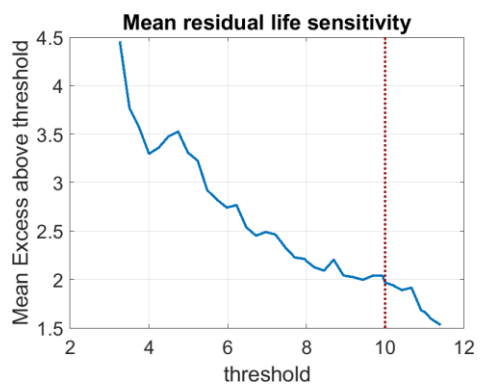
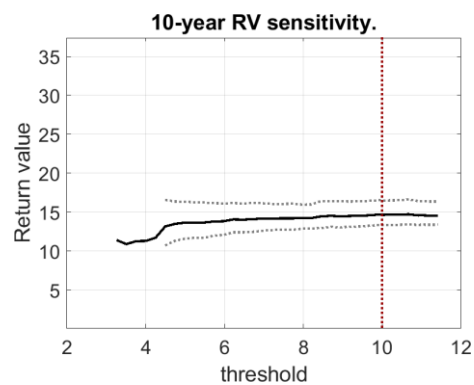
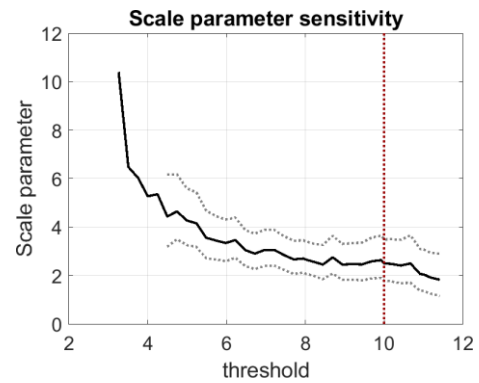
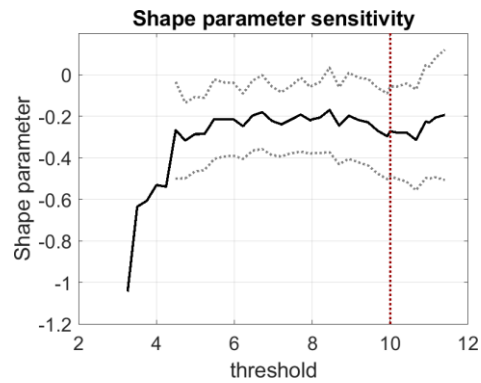
### A.1.5 Sectorul direcțional: 75°-105°



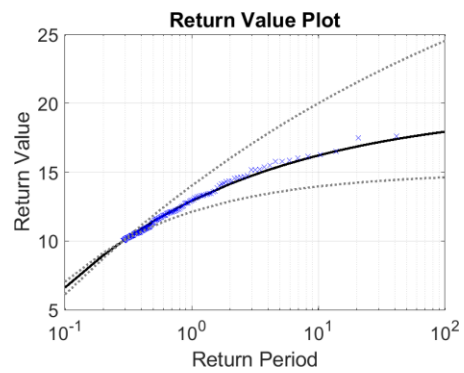
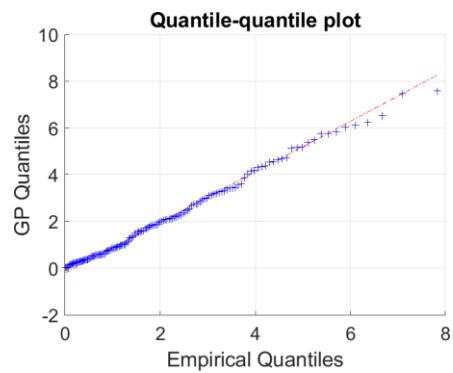
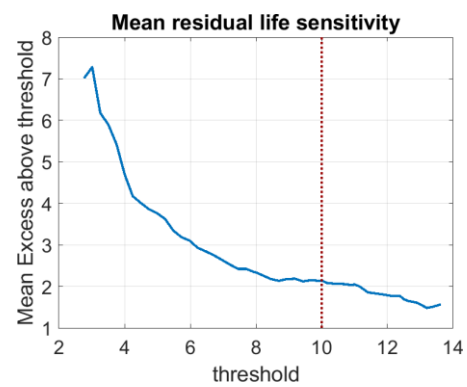
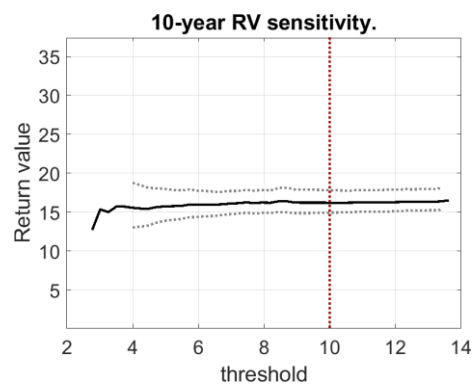
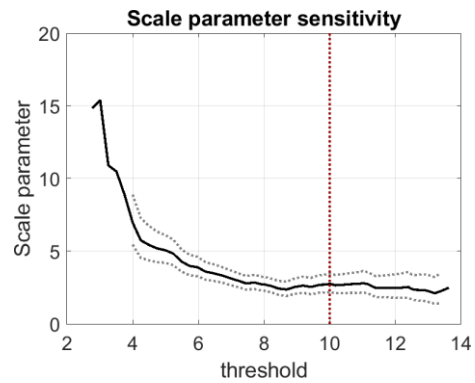
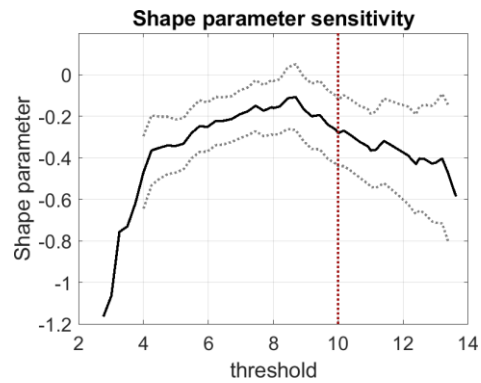
### A.1.6 Sectorul direcțional: 105°-135°



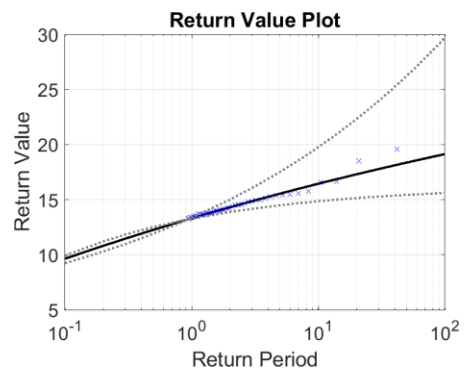
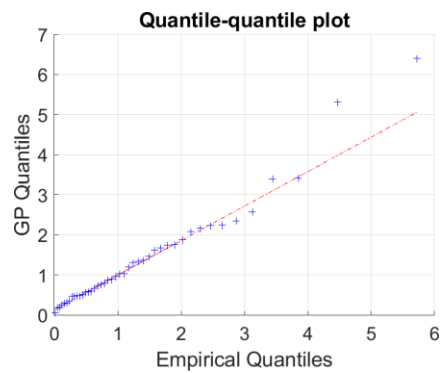
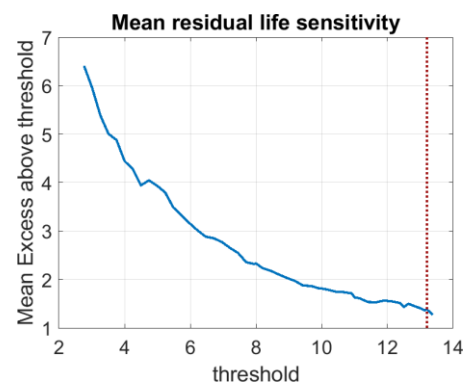
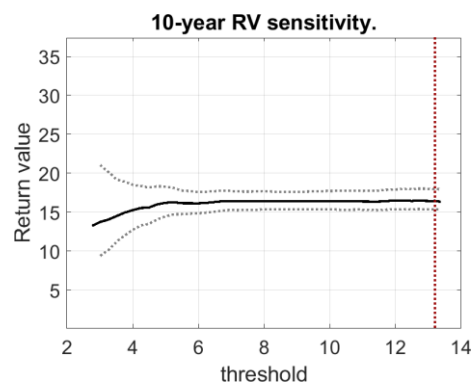
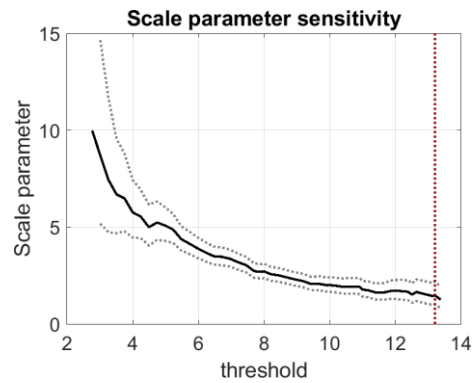
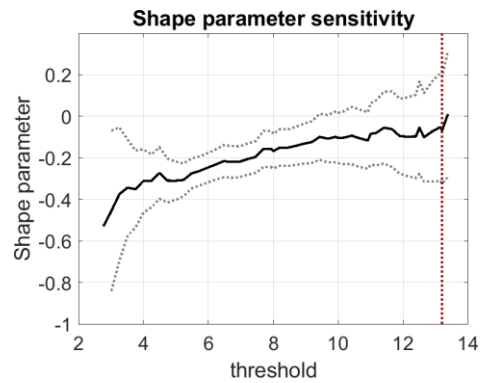
### A.1.7 Sectorul direcțional: 135°-165°



### A.1.8 Sectorul direcțional: 165°-195°

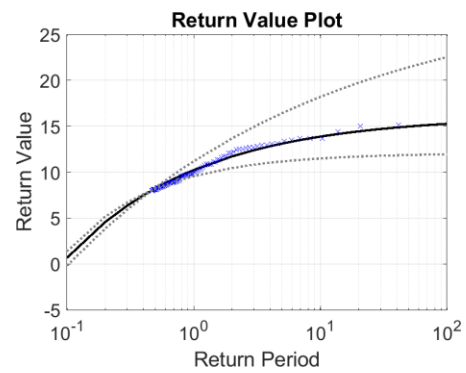
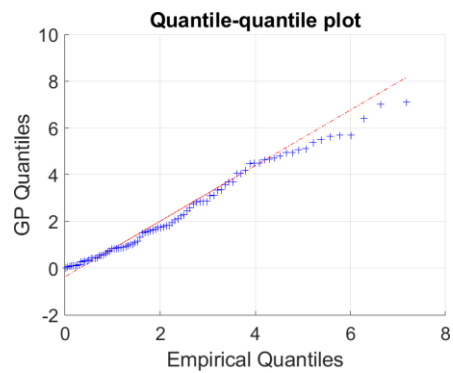
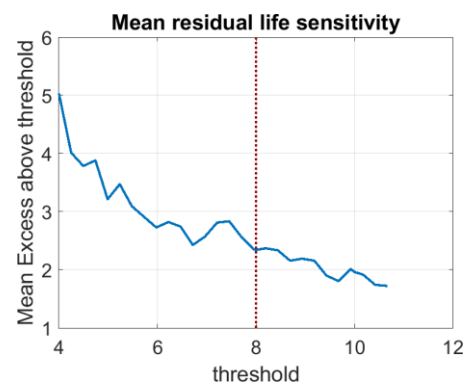
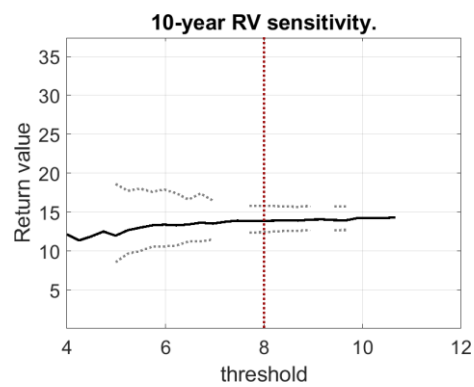
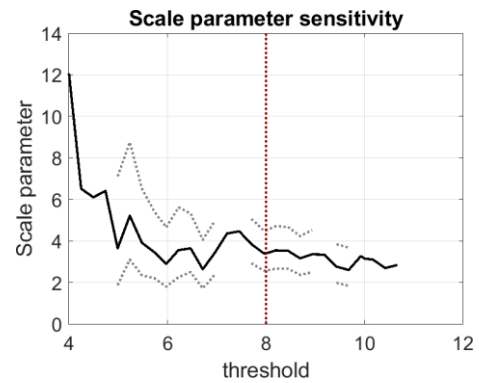
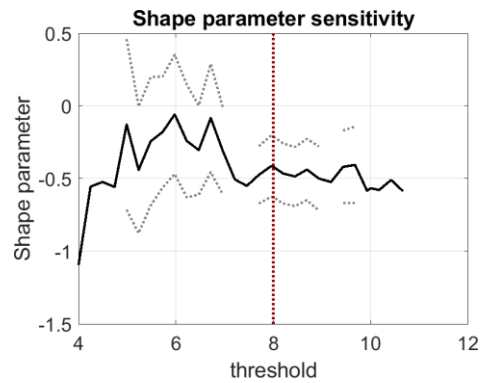


### A.1.9 Sectorul direcțional: 195°-225°

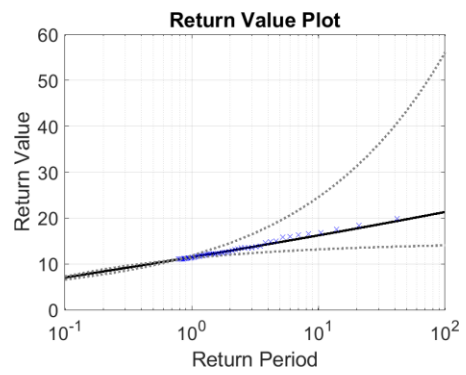
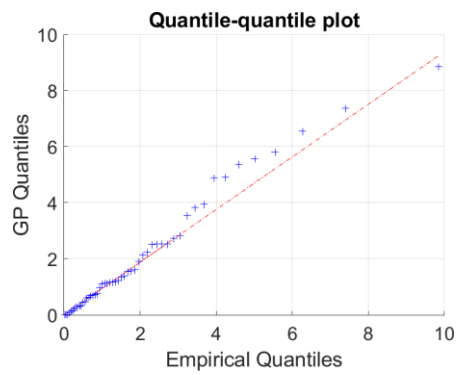
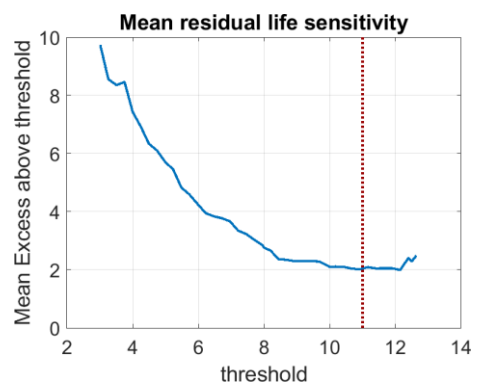
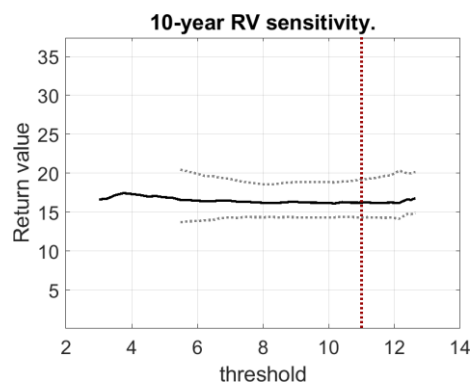
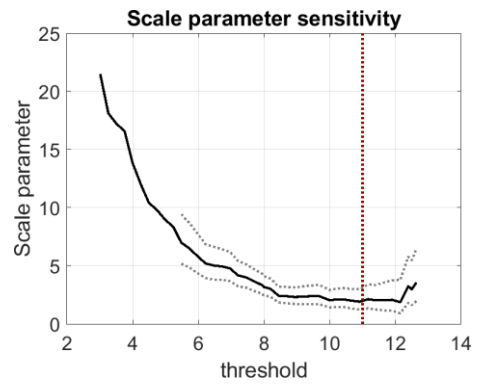
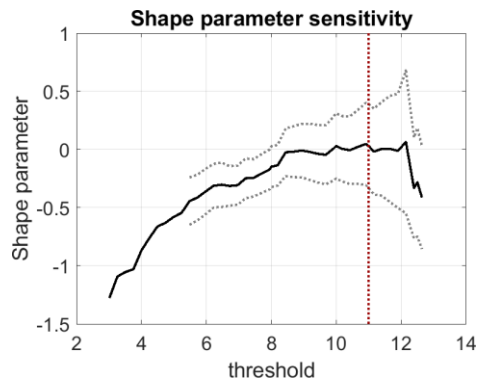




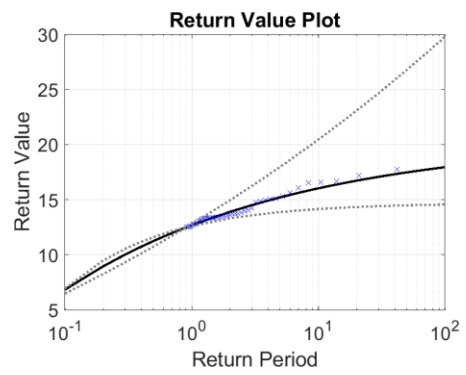
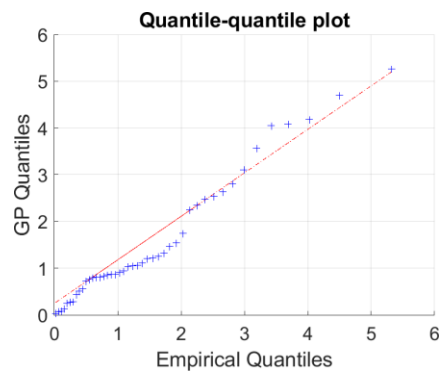
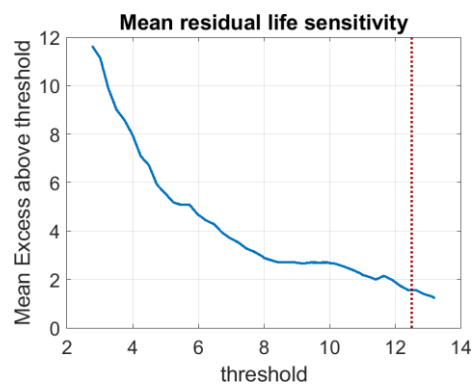
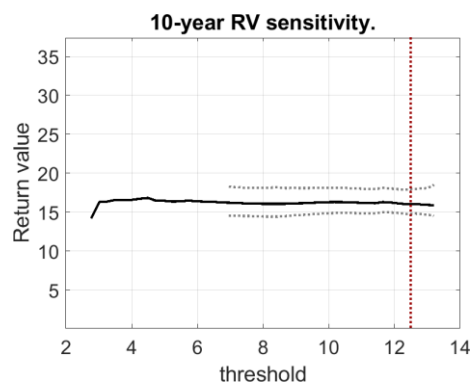
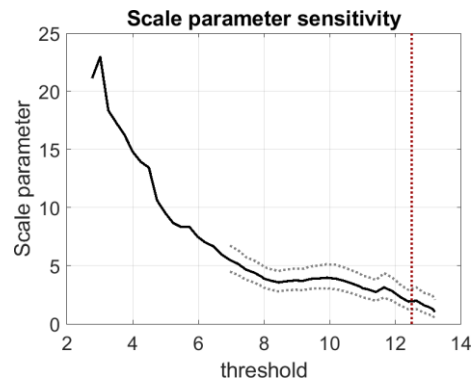
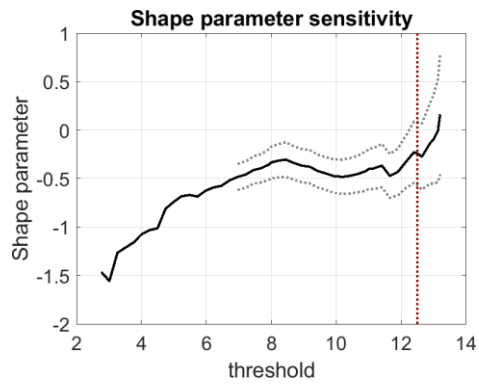
### A.1.10 Sectorul direcțional: 225°-255°



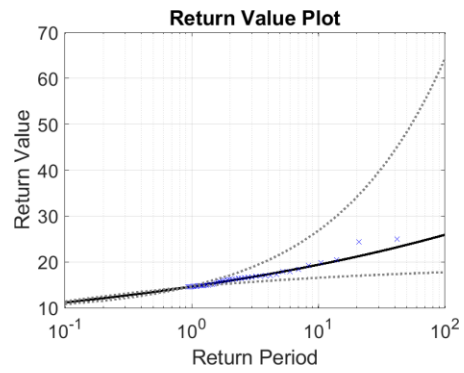
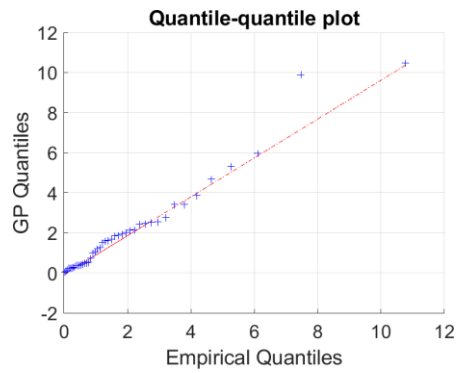
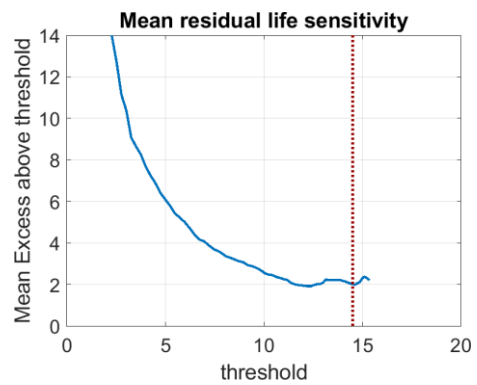
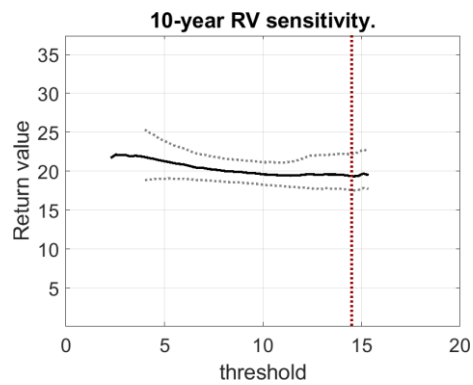
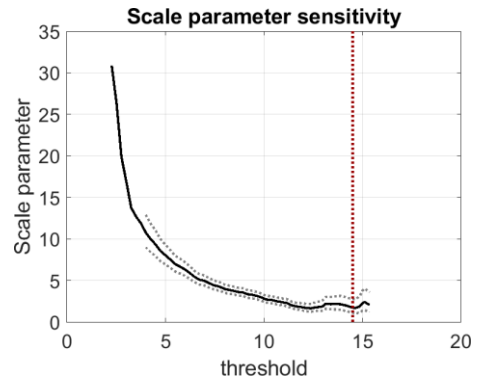
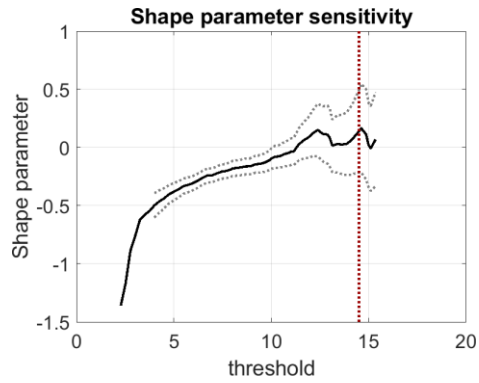
### A.1.11 Sectorul direcțional: 255°-285°



### A.1.12 Sectorul direcțional: 285°-315°



### A.1.13 Sectorul direcțional: 315°-345°





ANALIZA VALORILOR EXTREME PENTRU CLIMATUL  
VALURILOR ȘI VÂNTULUI

**AVE Mamaia - 44N 29.5E**

**Autor(i): J. Hoek**  
**Contribuitor(i): -**  
**Examinator(i): Wiebke Jäger**

Ianuarie 10, 2020

# Cuprins

<b>1</b>	<b>Introducere</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Valori de recurență</b>	<b>4</b>
2.1	Valori de recurență univariate .....	4
2.1.1	Valorile variabilei principale (Hs).....	4
2.1.2	Valorile asociate ale altor variabile .....	6
<b>A</b>	<b>Grafice de diagnosticare pentru evaluarea concordanței</b>	<b>9</b>
A.1	Variabilă principală (Hs).....	9
A.1.1	Sectorul direcțional: 0°-360° .....	10
A.1.2	Sectorul direcțional: 345°-15° .....	11
A.1.3	Sectorul direcțional: 15°-45° .....	12
A.1.4	Sectorul direcțional: 45°-75° .....	13
A.1.5	Sectorul direcțional: 75°-105° .....	14
A.1.6	Sectorul direcțional: 105°-135° .....	15
A.1.7	Sectorul direcțional: 135°-165° .....	16
A.1.8	Sectorul direcțional: 165°-195° .....	17
A.1.9	Sectorul direcțional: 195°-225° .....	18
A.1.10	Sectorul direcțional: 255°-285° .....	19
A.1.11	Sectorul direcțional: 285°-315° .....	20
A.1.12	Sectorul direcțional: 315°-345° .....	21
A.2	Variabilă asociată (Tp).....	22
A.2.1	Sectorul direcțional: 0°-360° .....	22
A.2.2	Sectorul direcțional: 345°-15° .....	23
A.2.3	Sectorul direcțional: 15°-45° .....	24
A.2.4	Sectorul direcțional: 45°-75° .....	25
A.2.5	Sectorul direcțional: 75°-105° .....	26
A.2.6	Sectorul direcțional: 105°-135° .....	27
A.2.7	Sectorul direcțional: 135°-165° .....	28
A.2.8	Sectorul direcțional: 165°-195° .....	29
A.2.9	Sectorul direcțional: 195°-225° .....	30
A.2.10	Sectorul direcțional: 255°-285° .....	31
A.2.11	Sectorul direcțional: 285°-315° .....	32
A.2.12	Sectorul direcțional: 315°-345° .....	33
A.3	Variabilă asociată (WS) .....	34
A.3.1	Sectorul direcțional: 0°-360° .....	34
A.3.2	Sectorul direcțional: 345°-15° .....	35
A.3.3	Sectorul direcțional: 15°-45° .....	36
A.3.4	Sectorul direcțional: 45°-75° .....	37
A.3.5	Sectorul direcțional: 75°-105° .....	38
A.3.6	Sectorul direcțional: 105°-135° .....	39
A.3.7	Sectorul direcțional: 135°-165° .....	40
A.3.8	Sectorul direcțional: 165°-195° .....	41
A.3.9	Sectorul direcțional: 195°-225° .....	42
A.3.10	Sectorul direcțional: 255°-285° .....	43
A.3.11	Sectorul direcțional: 285°-315° .....	44
A.3.12	Sectorul direcțional: 315°-345° .....	45

## 1 Introducere

Un scurt paragraf introductiv despre domeniul de aplicare al raportului.

Tabel 1: Nomenclator

Abreviere	Denumire completa
RP	Perioada de recurență
RV	Valoare retur
yr	An

## 2 Locația și datele proiectului

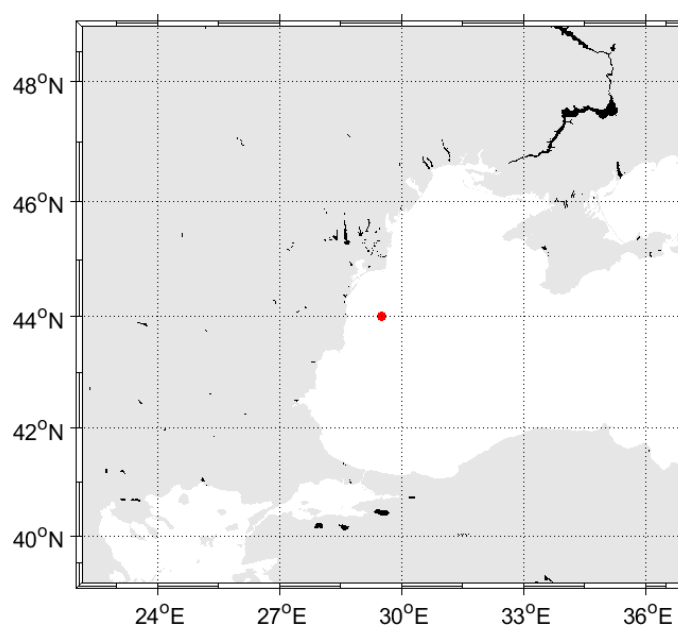
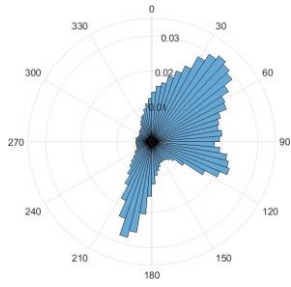
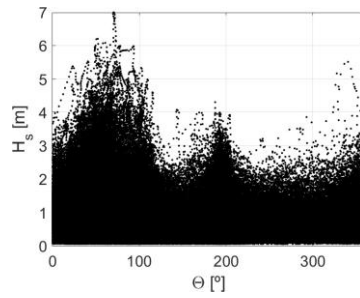


Figura 2: Locația datelor

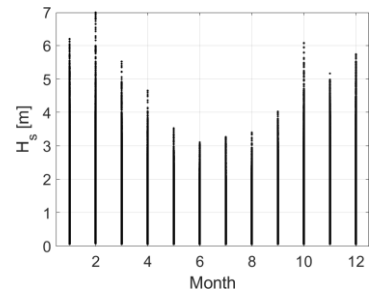
Datele sunt obținute de la Infoplaza. Datele sunt estimate retrospectiv și au fost calibrate de Infoplaza față de datele altimetrului. Locația folosită este la Lon 29.5°E, Lat 44°N, la o adâncime de 69m. Intervalele de timp constau din date de o oră pentru o perioadă de 41 de ani de date (1979-2019). Seria include înălțimea semnificativă a valului ( $H_s$ ), durata de vârf spectral asociată ( $T_p$ ), perioada de traversare la nivel zero ( $T_z$ ) și direcțiile de intrare pentru starea totală a mării. De asemenea, sunt incluse viteza și direcția vântului la 10m înălțime ( $U_{10}$ ).



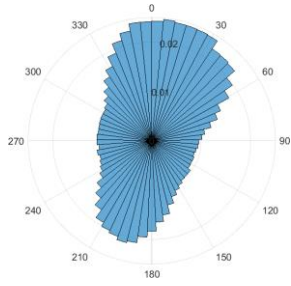
(a) Direcția valului



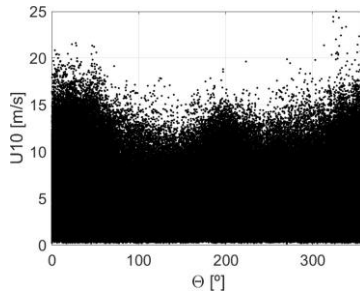
(b) Direcția valului vs.  $H_s$



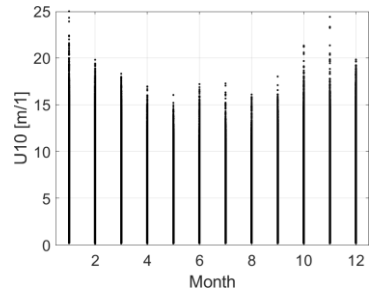
(c) Lună vs.  $H_s$



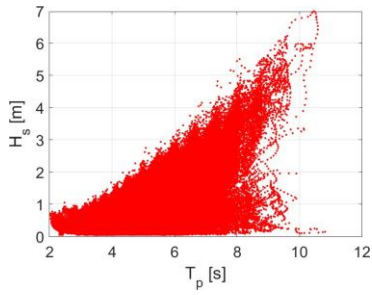
(a) Direcția vântului



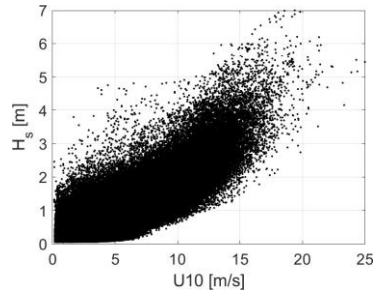
(b) Direcția vântului vs.  $U_{10}$



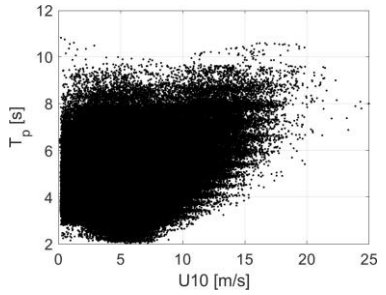
(c) Lună vs.  $U_{10}$



(a) Starea totală a mării  $H_s$  vs  $T_p$



(a)  $H_s$  vs.  $U_{10}$



(b)  $T_p$  vs.  $U_{10}$



## 3 Valori de retur

### 3.1 Valori de recurență univariate

#### 3.1.1 Valorile variabilei principale (Hs)

Această secțiune arată rezultatele unei analize univariate de vârf peste prag pentru Hs. Tabelul 2 prezintă valorile de recurență pentru diferite perioade de recurență în fiecare sector direcțional. De asemenea, este inclusă o estimare omnidirecțională. Tabelul 3 prezintă intervalele de incertitudine de 90% pentru toate estimările, iar tabelul 4 prezintă pragurile selectate, dimensiunile eșantionului și parametrii distribuțiilor GPD pentru fiecare sector direcțional. Mai multe detalii despre concordanță pot fi găsite în anexa A.1.

Tabel 2: Valori de recurență pentru diferite sectoare direcționale.

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
Data max.	6.99	5.06	5.52	6.99	5.99	4.98	4.07	4.30	3.92	3.21	3.51	3.86	5.51
1yr RV	4.48	2.42	3.25	3.83	3.46	2.34	1.32	2.72	2.40	-	1.30	1.02	1.71
5yr RV	5.52	3.24	4.24	5.15	4.85	3.39	2.34	3.54	3.09	-	2.22	1.92	2.69
10yr RV	5.94	3.58	4.65	5.65	5.22	3.78	2.72	3.79	3.32	-	2.56	2.22	3.19
25yr RV	6.45	4.02	5.17	6.26	5.57	4.24	3.18	4.05	3.56	-	2.97	2.56	3.95
50yr RV	6.82	4.34	5.55	6.68	5.76	4.56	3.49	4.21	3.72	-	3.25	2.77	4.59
100yr RV	7.17	4.65	5.92	7.07	5.90	4.85	3.79	4.35	3.85	-	3.50	2.95	5.31

Tabel 3: Intervale de incertitudine 90% pentru valorile de recurență pentru diferite sectoare direcționale

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
1yr RV	[4.09,4.97]	[2.17,2.77]	[2.94,3.67]	[3.5,4.3]	[3.44,3.48]	[2.04,2.73]	[1.28,1.38]	[2.56,2.96]	[2.28,2.56]	-	[1.26,1.36]	[1.01,1.02]	[1.64,1.82]
5yr RV	[4.8,6.52]	[2.65,4.19]	[3.51,5.41]	[4.26,6.57]	[4.23,5.98]	[2.73,4.32]	[1.84,3.26]	[3.4,4.9]	[2.68,3.77]	-	[1.71,3.29]	[1.52,2.63]	[2.14,3.76]
10yr RV	[5.05,7.19]	[2.81,4.89]	[3.71,6.25]	[4.5,7.6]	[4.38,6.88]	[2.96,4.99]	[1.99,4.19]	[3.1,5.1]	[2.78,4.27]	-	[1.82,4.33]	[1.65,3.34]	[2.33,5.08]
25yr RV	[5.35,8.09]	[3.5,9]	[3.94,7.44]	[4.76,9.03]	[4.49,7.94]	[3.21,5.86]	[2.15,5.57]	[3.19,5.87]	[2.88,4.91]	-	[1.92,5.96]	[1.77,4.3]	[2.57,7.52]
50yr RV	[5.54,8.78]	[3.13,6.73]	[4.09,8.42]	[4.92,10.1]	[4.55,8.66]	[3.36,6.5]	[2.23,6.73]	[3.24,6.43]	[2.93,5.37]	-	[1.98,7.4]	[1.83,5.04]	[2.73,10.1]
100yr RV	[5.72,9.47]	[3.24,7.63]	[4.22,9.47]	[5.06,11.3]	[4.58,9.3]	[3.49,7.14]	[2.3,8]	[3.27,6.96]	[2.97,5.82]	-	[2.02,9.07]	[1.88,5.79]	[2.88,13.5]

Tabel 4: Praguri, dimensiunea eșantionului și parametrii GPD (formă și scară) pentru diferite sectoare direcționale.

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
Prag	2.50	1.50	2.10	2.60	3.40	1.00	1.20	2.20	2.00	-	1.20	1.00	1.50
Marime de mostra	557	228	228	150	43	218	49	86	83	-	48	42	62
Parametrul formei	-0.07	-0.03	-0.04	-0.10	-0.41	-0.13	-0.11	-0.28	-0.23	-	-0.12	-0.22	0.16
Parametru la scară	0.83	0.55	0.69	1.02	1.20	0.89	0.70	0.78	0.61	-	0.64	0.67	0.50

Figura 7 prezintă estimări ale valorilor de recurență direcțională și omnidirecțională. Există două estimări ale nivelurilor de recurență omnidirecțională:

1. valorile de recurență reprezentate de linia neagră punctată se bazează pe o potrivire pentru punctele de date în toate recipientele direcționale
2. valorile de recurență reprezentate de linia neagră solidă se bazează pe combinația matematică a valorilor de recurență direcțională.

În teorie, cele două estimări ar trebui să fie identice și cel puțin la fel de mari ca cele mai mari estimări direcționale. În practică, discrepanțele nu pot fi evitate din cauza incertitudinilor legate de mărimea eșantionului. Cu toate acestea, diferențele mari indică faptul că fie potrivirea omnidirecțională (linia punctată), fie cel puțin una dintre potrivirile direcționale nu sunt adecvate.

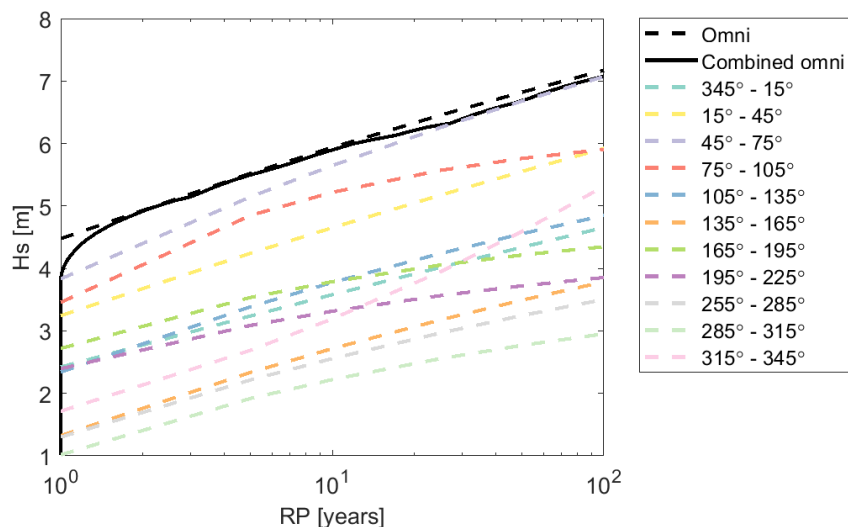


Figura 7: Valori de recurență direcțională și omnidirecțională

### 3.1.2 Valorile asociate ale altor variabile Tp

Tabel 5: Valori asociate p25 ale Tp

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
1yr RL	8.11	5.77	7.08	7.63	7.68	6.60	4.56	6.45	6.11	-	4.33	3.78	4.91
5yr RL	9.03	6.72	7.92	8.66	8.79	7.41	5.74	7.16	6.85	-	5.28	4.93	5.65
10yr RL	9.41	7.21	8.26	9.10	9.07	7.75	6.15	7.42	7.12	-	5.69	5.23	6.05
25yr RL	9.87	7.98	8.70	9.72	9.38	8.14	6.68	7.73	7.45	-	6.31	5.52	6.72
50yr RL	10.14	8.61	9.03	10.20	9.58	8.42	7.09	7.94	7.66	-	6.84	5.65	7.35
100yr RL	10.47	9.33	9.35	10.61	9.75	8.65	7.49	8.12	7.89	-	7.46	5.73	8.05

Tabel 6: Valori asociate p50 ale Tp

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
1yr RL	8.43	5.96	7.26	7.84	7.94	7.06	4.71	6.63	6.28	-	4.37	3.86	4.98
5yr RL	9.32	6.98	8.10	8.89	9.03	7.87	5.92	7.33	7.02	-	5.34	5.02	5.79
10yr RL	9.69	7.51	8.43	9.35	9.29	8.18	6.34	7.58	7.28	-	5.76	5.39	6.23
25yr RL	10.14	8.34	8.90	9.94	9.57	8.52	6.87	7.87	7.59	-	6.39	5.79	6.95
50yr RL	10.47	9.02	9.22	10.48	9.74	8.75	7.27	8.07	7.80	-	6.98	5.98	7.67
100yr RL	10.79	9.78	9.53	10.97	9.88	8.95	7.70	8.25	8.00	-	7.56	6.09	8.50

Tabel 7: Valori asociate p75 ale Tp

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
1yr RL	8.71	6.16	7.43	8.04	8.22	7.47	4.87	6.80	6.45	-	4.41	3.93	5.06
5yr RL	9.59	7.26	8.28	9.10	9.24	8.21	6.10	7.49	7.17	-	5.41	5.13	5.95
10yr RL	9.94	7.79	8.60	9.58	9.47	8.48	6.52	7.72	7.42	-	5.84	5.61	6.42
25yr RL	10.47	8.61	9.03	10.20	9.71	8.79	7.06	8.01	7.72	-	6.49	6.18	7.20
50yr RL	10.79	9.33	9.35	10.77	9.86	8.95	7.44	8.18	7.92	-	7.09	6.44	7.94
100yr RL	18.02	10.63	9.84	11.27	9.98	9.13	7.84	8.35	8.11	-	7.68	6.60	8.97

### WS

Tabel 8: Valori asociate p25 ale WS

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
1yr RL	13.79	12.78	13.77	13.34	7.44	6.43	7.02	11.91	11.59	-	8.92	7.01	11.26
5yr RL	15.86	15.50	16.23	15.83	13.49	9.18	10.21	14.06	13.25	-	12.31	12.07	14.48
10yr RL	16.81	16.65	17.20	16.77	14.53	10.38	10.64	14.37	13.84	-	13.71	13.11	15.95
25yr RL	18.06	18.21	18.33	17.90	15.47	11.95	10.91	14.56	14.53	-	15.74	14.27	18.10
50yr RL	18.94	19.46	19.13	18.65	15.97	13.06	11.01	14.62	14.96	-	17.42	15.01	19.96
100yr RL	19.81	20.74	19.86	19.38	16.31	14.15	11.05	14.65	15.35	-	19.30	15.67	21.85

Tabel 9: Valori asociate p50 ale WS

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
1yr RL	15.74	13.30	14.56	14.06	9.14	7.84	7.76	12.68	12.33	-	9.26	7.41	11.61
5yr RL	18.00	16.08	16.97	16.51	14.41	10.74	10.99	15.01	13.95	-	12.87	12.39	15.02
10yr RL	18.90	17.30	17.89	17.39	15.23	11.95	11.46	15.35	14.48	-	14.35	13.40	16.57
25yr RL	19.99	18.94	19.00	18.48	15.94	13.47	11.75	15.55	15.07	-	16.45	14.52	18.80
50yr RL	20.72	20.21	19.63	19.23	16.30	14.52	11.85	15.62	15.42	-	18.25	15.22	20.84
100yr RL	21.36	21.50	20.54	19.78	16.54	15.32	11.90	15.66	15.72	-	20.38	15.90	22.99

Tabel 10: Valori asociate p75 ale WS

-	0°-360°	345°-15°	15°-45°	45°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-225°	225°-255°	255°-285°	285°-315°	315°-345°
1yr RL	17.39	13.81	15.27	14.72	10.77	9.15	8.46	13.49	13.03	-	9.62	7.83	11.98
5yr RL	19.51	16.65	17.59	17.09	15.08	12.00	11.83	16.04	14.49	-	13.43	12.69	15.57
10yr RL	20.30	17.81	18.41	17.96	15.71	13.16	12.33	16.38	14.95	-	14.96	13.68	17.18
25yr RL	21.11	19.46	19.44	18.96	16.24	14.52	12.62	16.58	15.42	-	17.22	14.76	19.55
50yr RL	21.70	20.74	20.15	19.78	16.50	15.72	12.71	16.64	15.72	-	19.09	15.42	21.56
100yr RL	22.23	22.82	21.16	20.42	16.68	16.25	12.76	16.68	16.00	-	21.14	16.09	24.12

## Referințe

S. Coles, *O introducere în modelarea statistică a valorilor extreme*, Vol. 208. London: Springer, 2001.

## A. Grafice de diagnostic pentru evaluarea concordanței

### A.1 Variabile Principale (Hs)

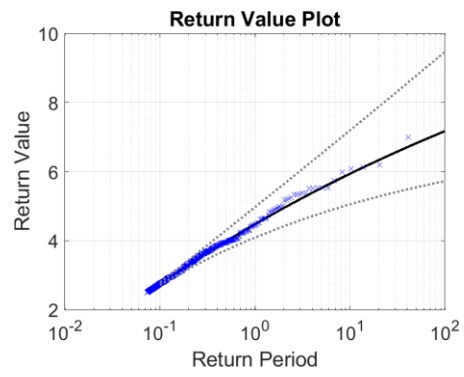
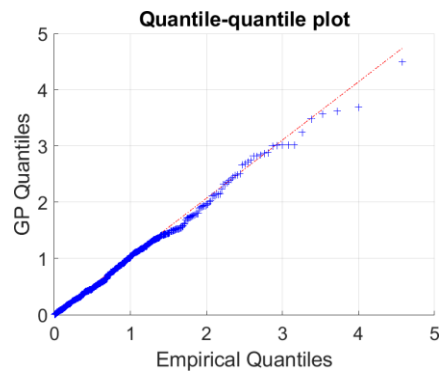
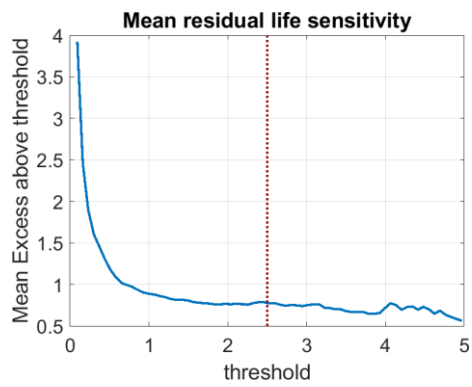
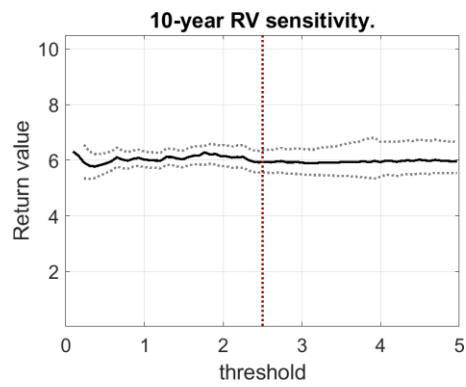
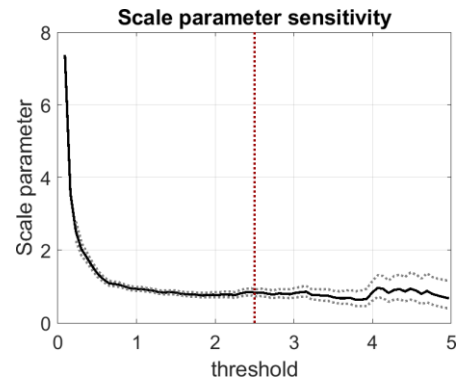
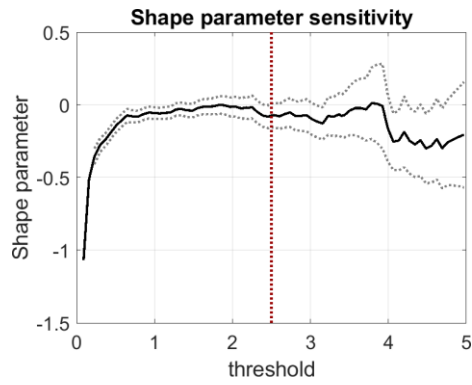
Concordanța este evaluată prin șase grafice de diagnostic. Primele patru grafice evaluează alegerea pragului. Ultimele două grafice evaluează calitatea concordanței GPD pentru pragul selectat. Primele patru grafice arată parametrul de formă, parametrul de scară, durata de viață reziduală medie și valoarea de recurență ca funcție a pragului. Pragul optim este cât mai scăzut, îndeplinind următoarele criterii: Peste prag

1. parametrul de formă trebuie să fie aproximativ constant,
2. parametrul de scară trebuie să se comporte aproximativ liniar,
3. excesul mediu trebuie să se comporte aproximativ liniar și
4. valoarea de recurență trebuie să fie aproximativ constantă.

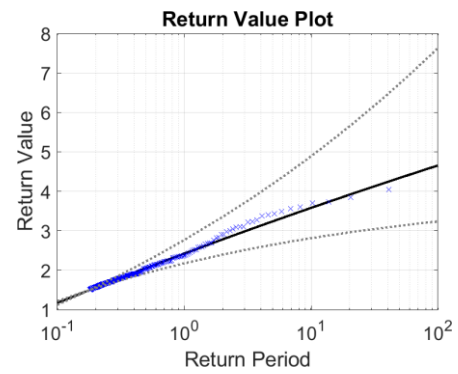
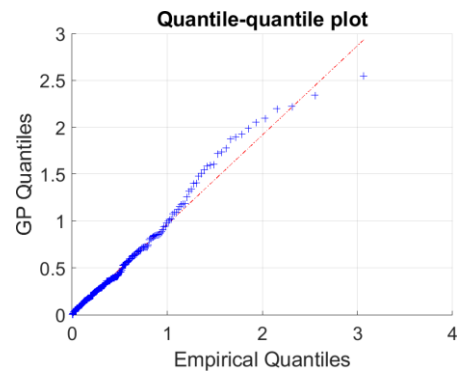
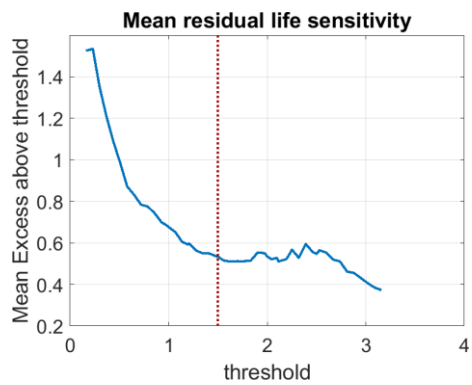
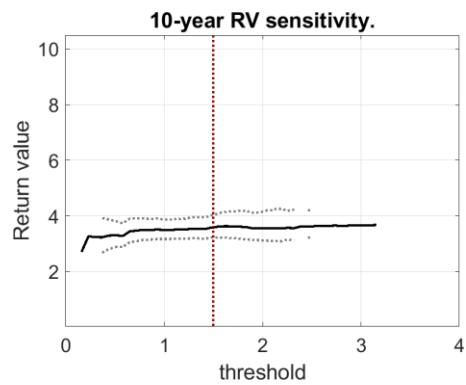
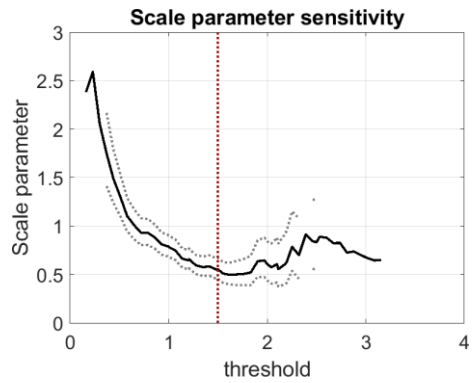
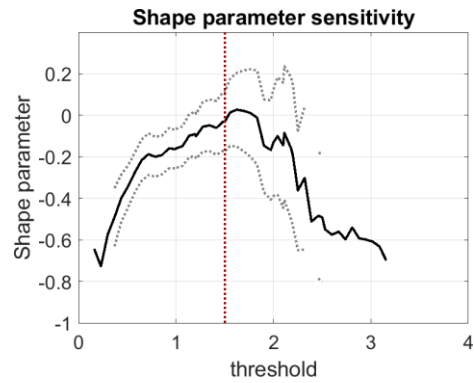
Pentru praguri foarte mari, informațiile din grafice devin nesigure, deoarece dimensiunea eșantionului va fi mică. Acest lucru este vizibil în intervalele de incertitudine extinsă.

Ultimele două grafice sunt un grafic-qq și o un grafic pentru valoarea de recurență. În graficul qq, cuantilele distribuției empirice și ale distribuției GP sunt reprezentate una față de cealaltă (cruci albastre). Cu cât ajustarea este mai bună, cu atât sunt mai aproape punctele de linia  $x = y$  (linia roșie). Dacă punctele sunt sub linie, distribuția GP ajustată tinde să supraestimeze valorile de recurență. Dacă punctele sunt deasupra liniei, distribuția GP ajustată tinde să subaprecieze valorile de recurență. Graficul pentru valoarea de recurență arată valorile de recurență GP pentru perioadele lor de recurență (linie solidă neagră). Un interval de încredere de 90% este de asemenea afișat (linii gri punctate), precum și niveluri de recurență empirice (cruci albastre). Cu cât ajustarea este mai bună, cu atât nivelurile de recurență empirice sunt mai apropiate de valorile de recurență GP.

### A.1.1 Sectorul direcțional: 0°-360°

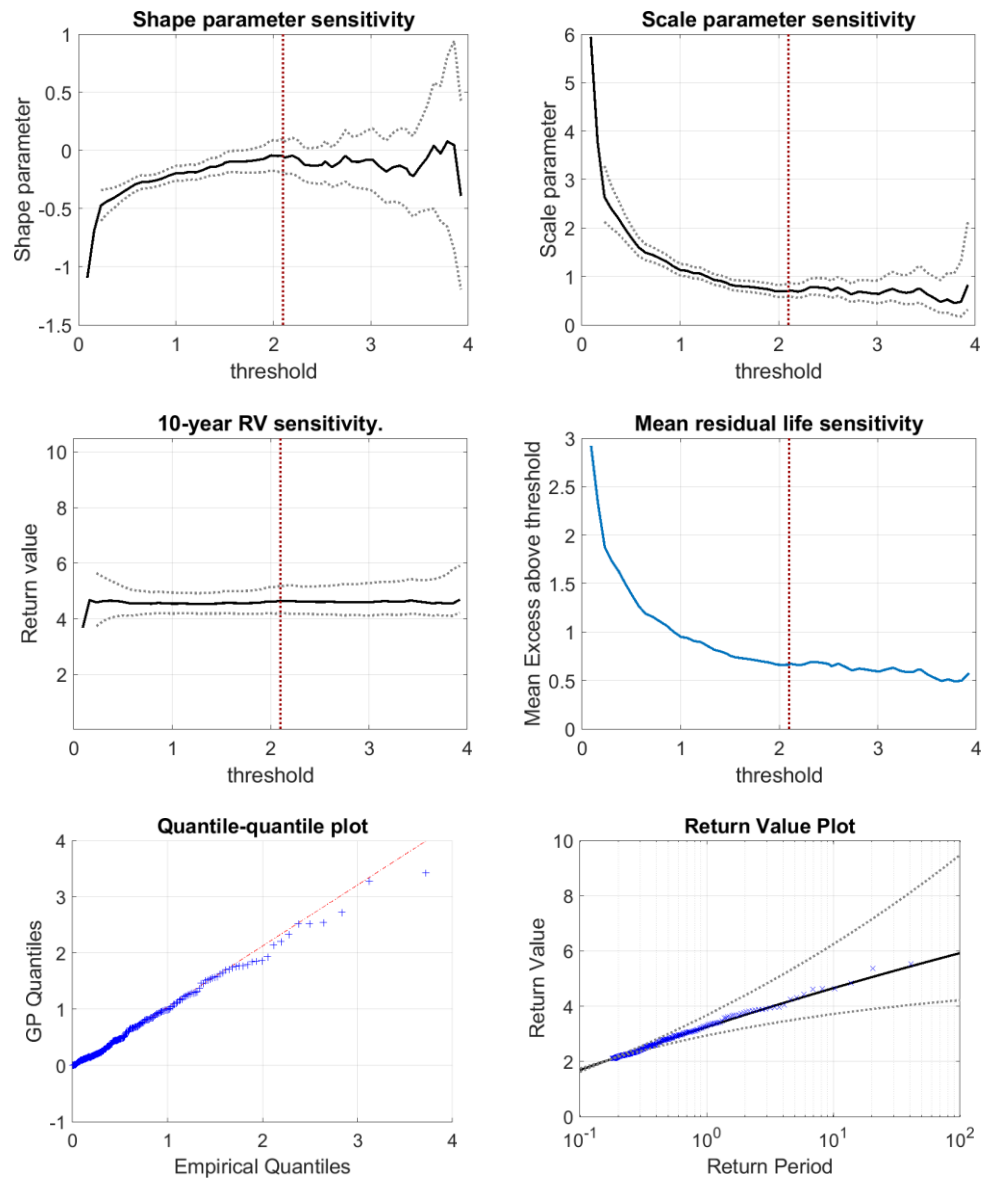


### A.1.2 Sectorul direcțional: $345^{\circ}$ - $15^{\circ}$

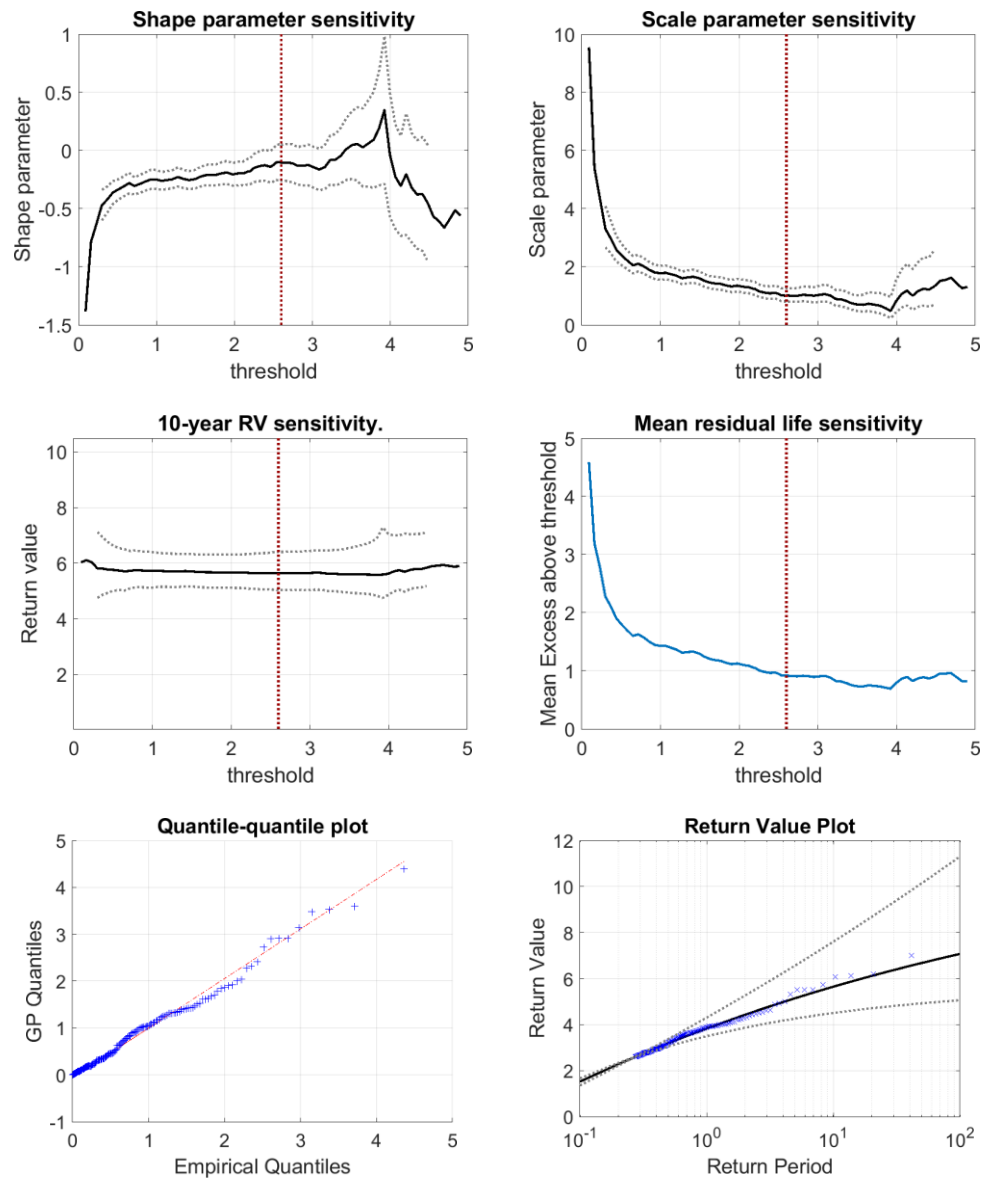




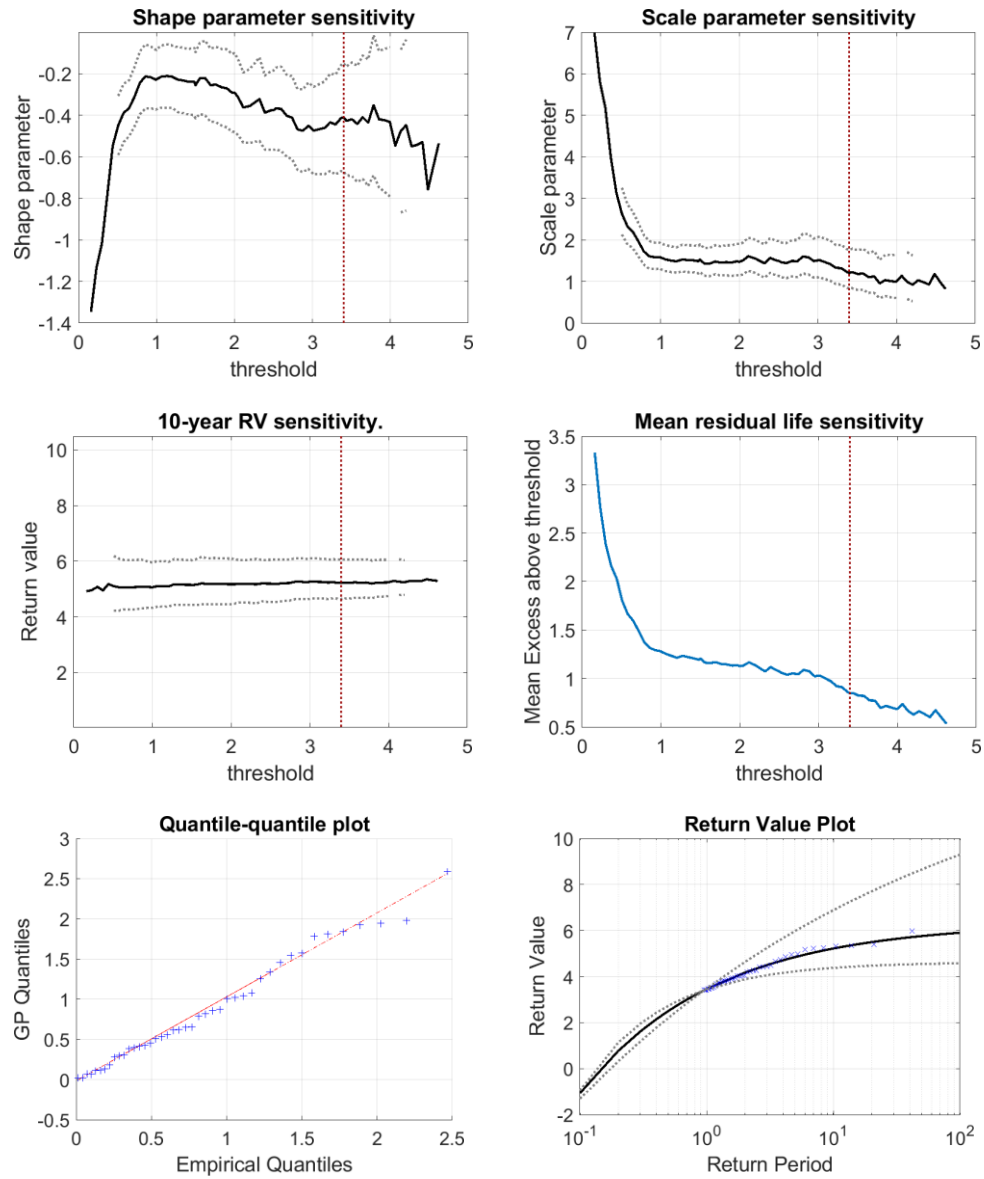
### A.1.3 Sectorul direcțional: 15°-45°



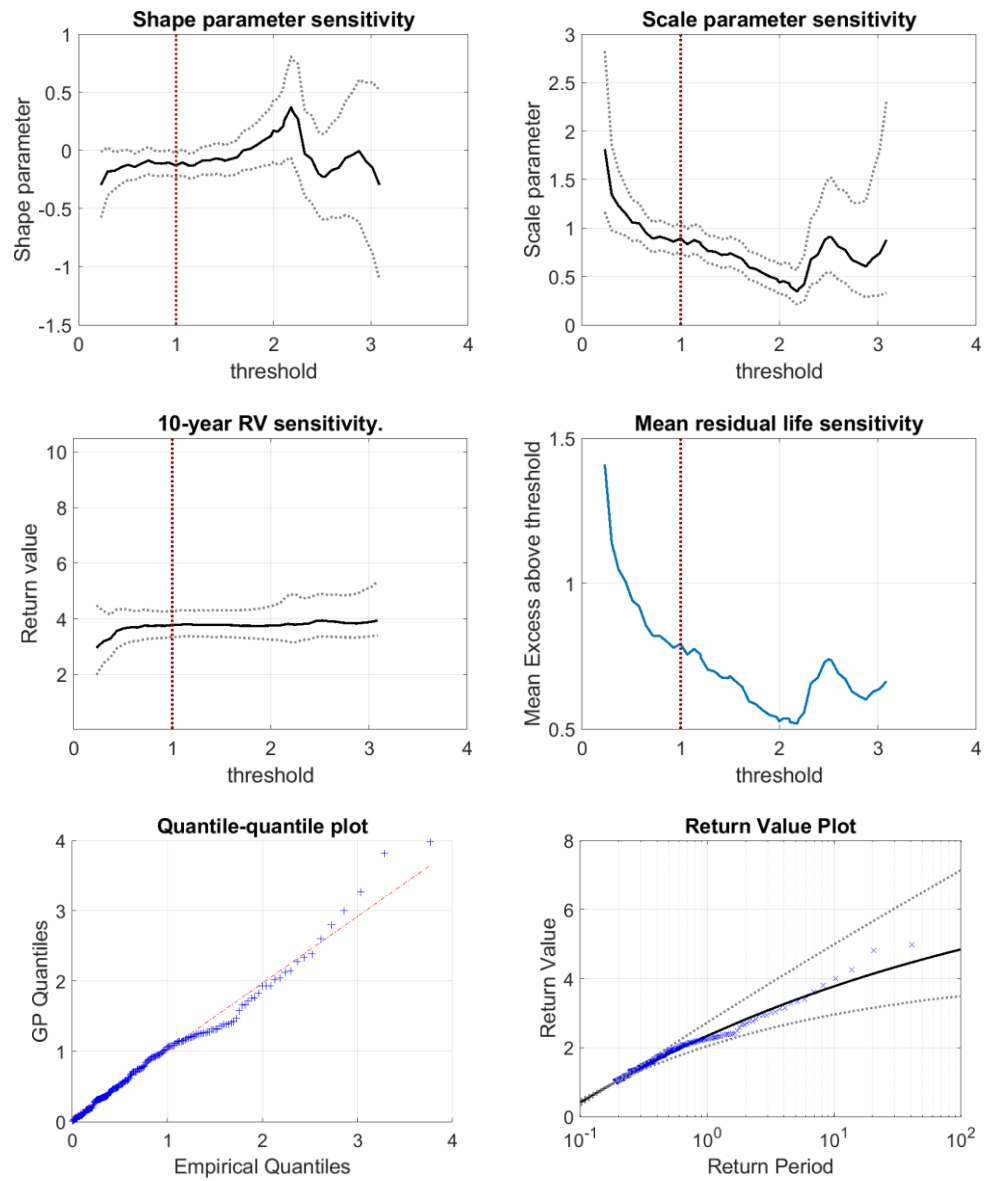
#### A.1.4 Sectorul direcțional: $45^{\circ}$ - $75^{\circ}$



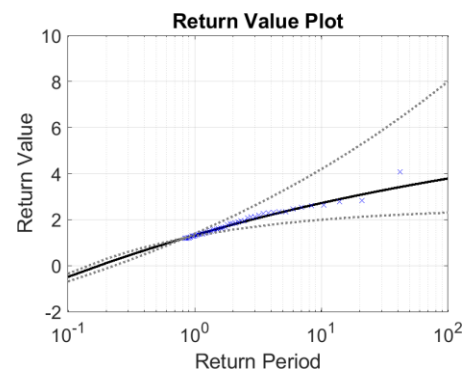
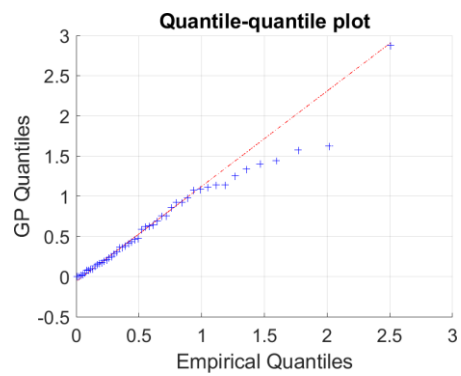
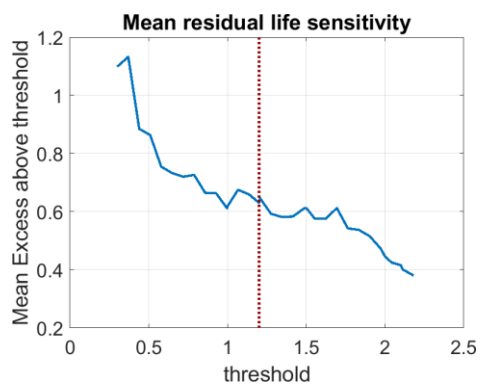
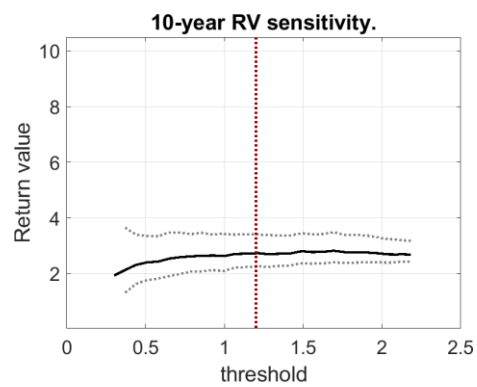
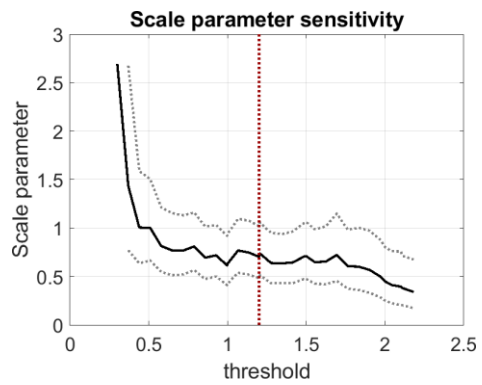
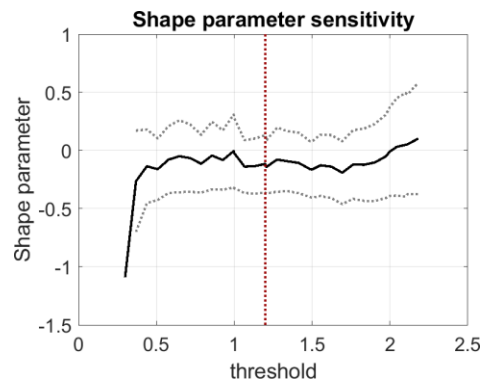
### A.1.5 Sectorul direcțional: 75°-105°



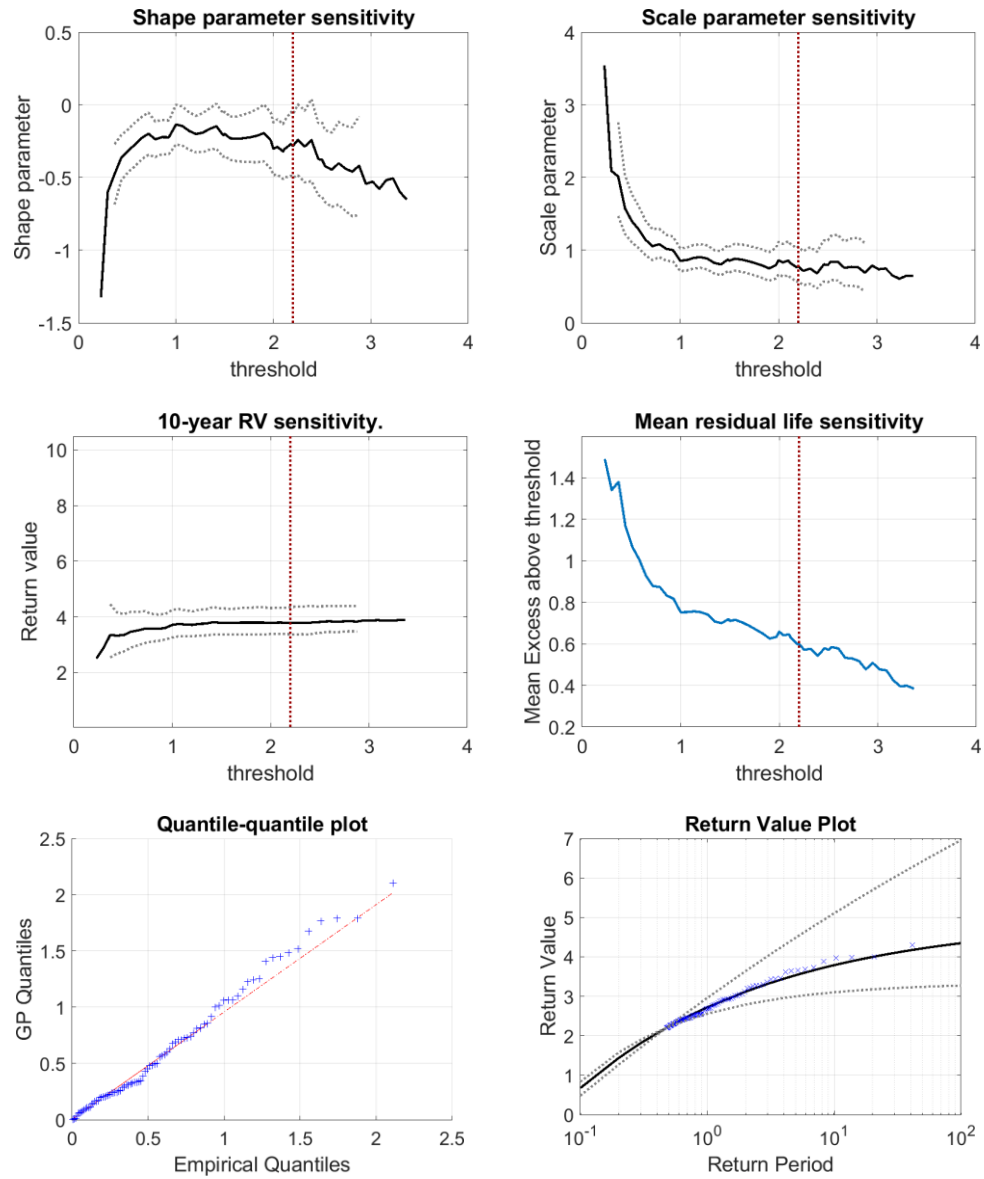
### A.1.6 Sectorul direcțional: 105°-135°



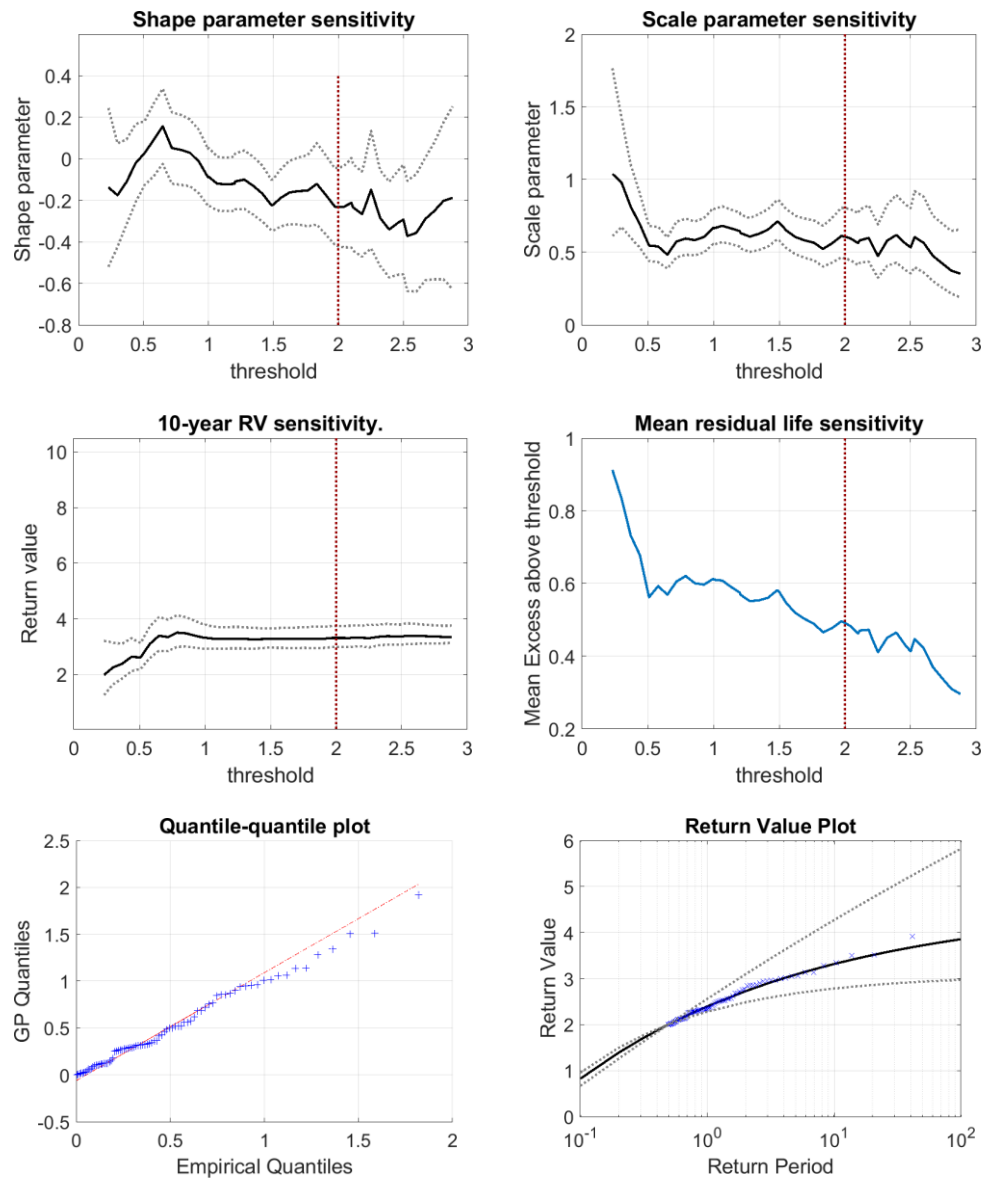
### A.1.7 Sectorul direcțional: 135°-165°



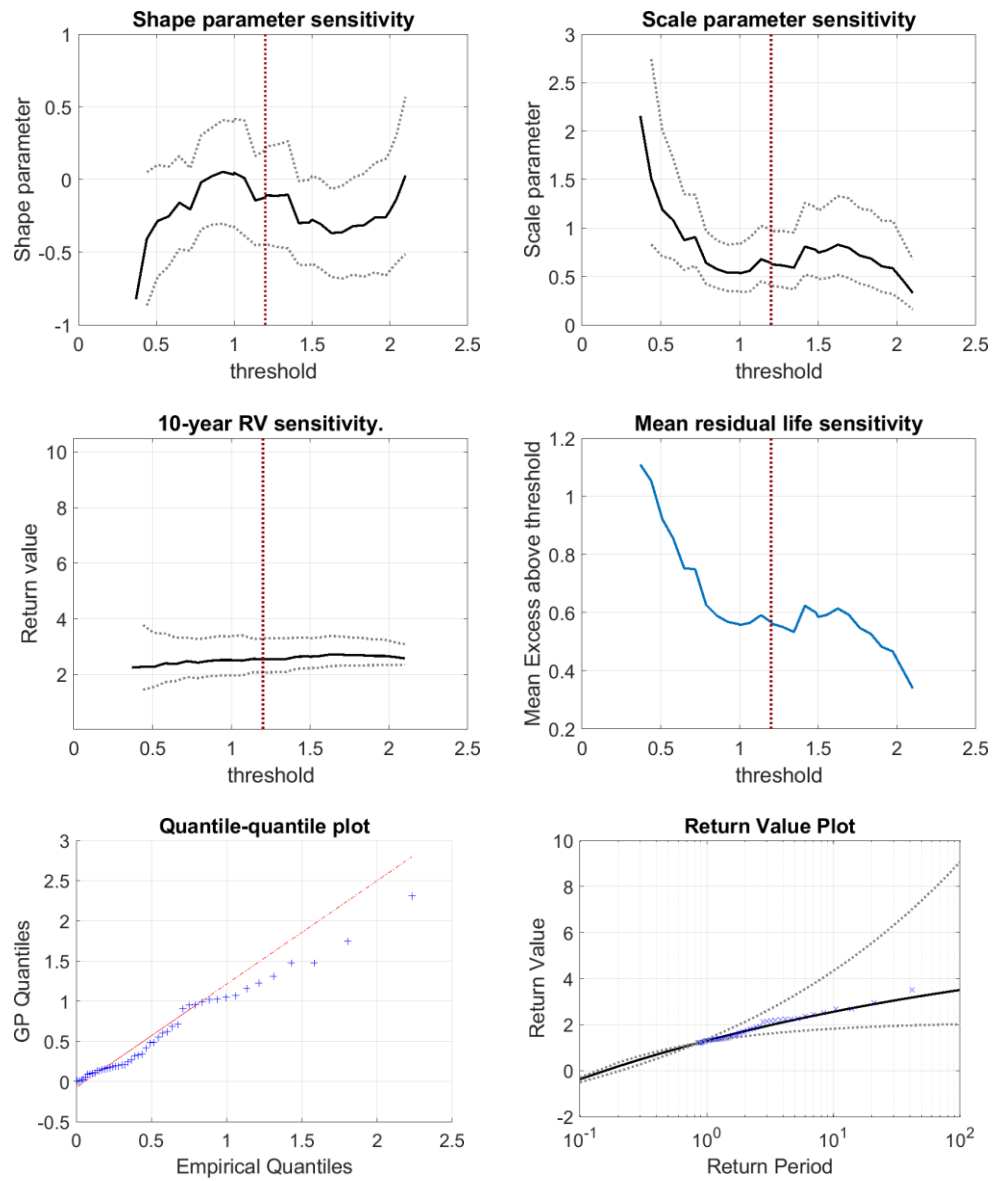
### A.1.8 Sectorul direcțional: 165°-195°



### A.1.9 Sectorul direcțional: 195°-225°

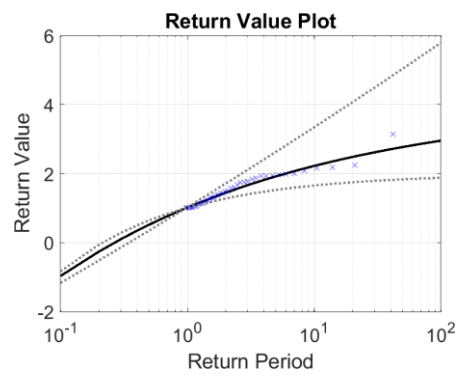
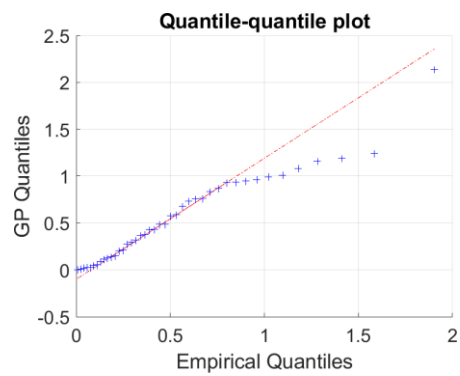
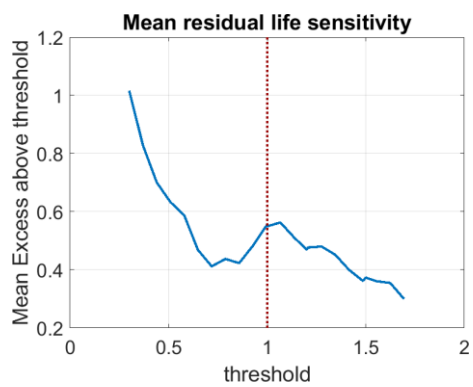
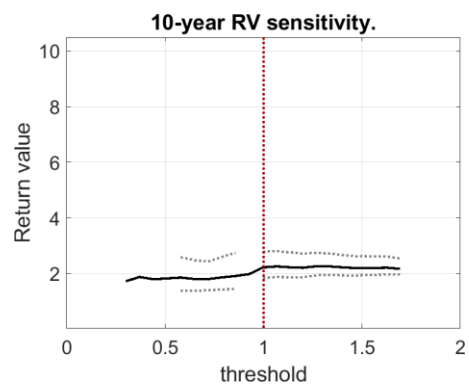
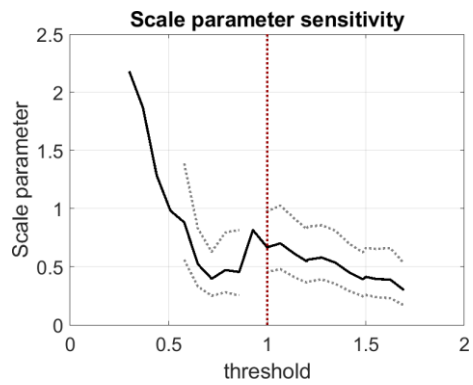
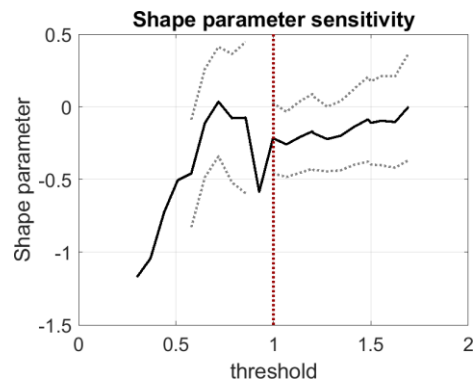


#### A.1.10 Sectorul direcțional: 255°-285°

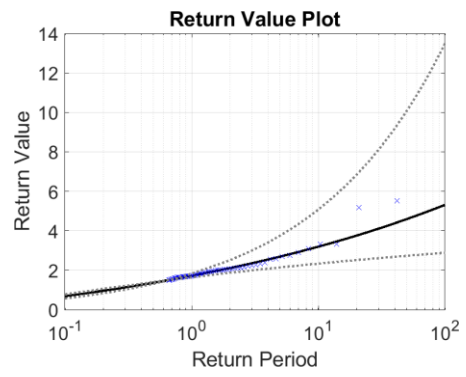
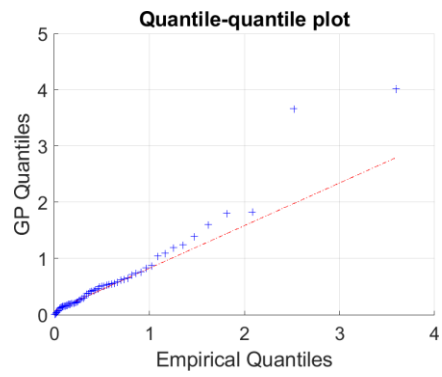
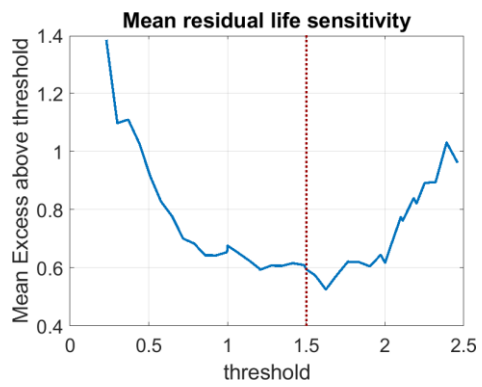
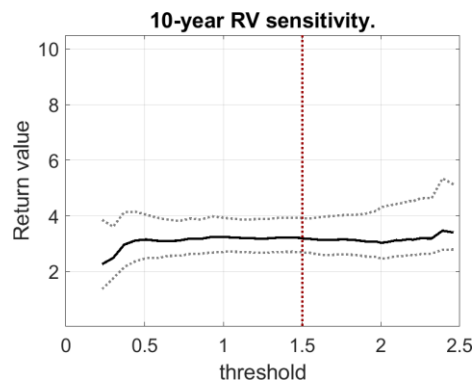
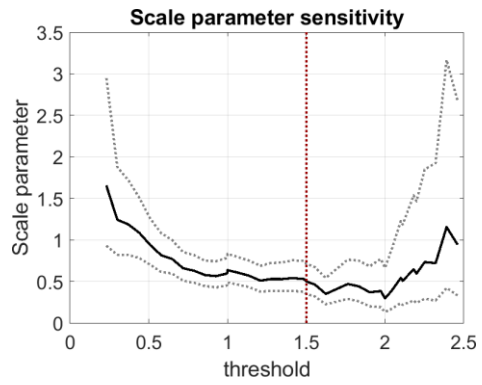
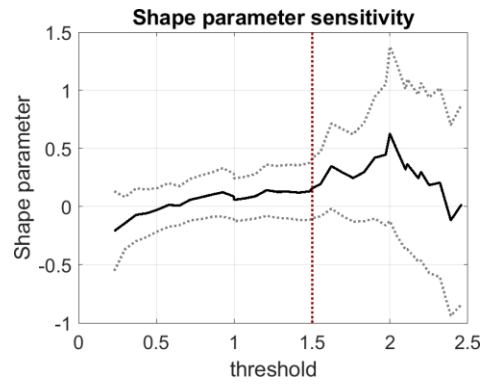




### A.1.11 Sectorul direcțional: 285°-315°

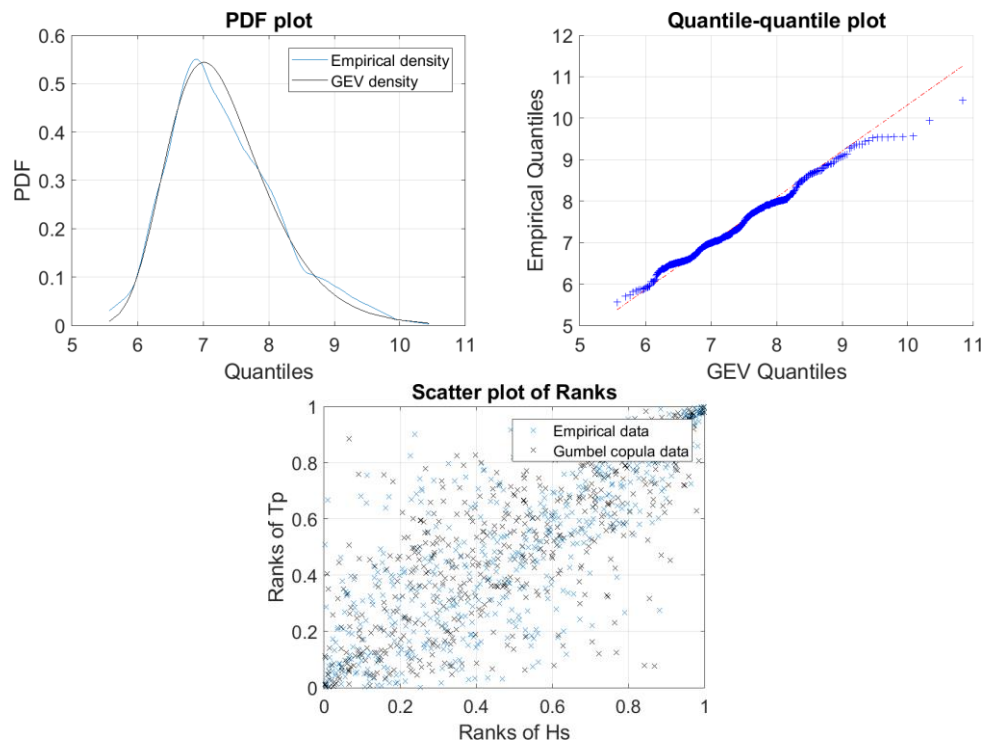


### A.1.12 Sectorul direcțional: 315°-345°

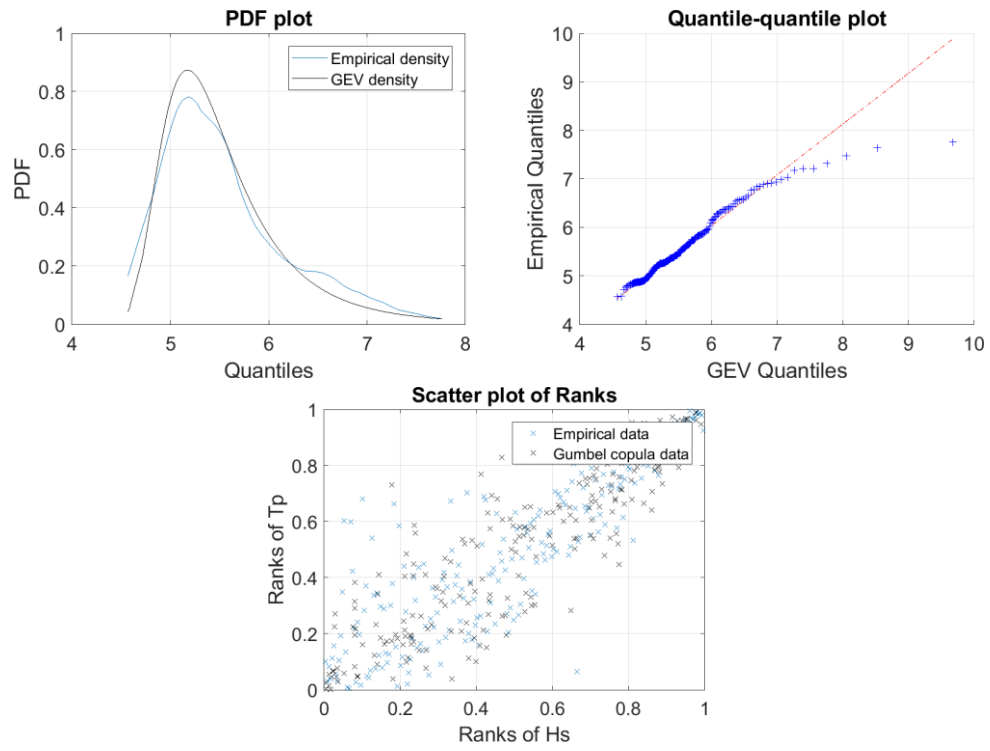


## A.2 Variabila asociată (Tp)

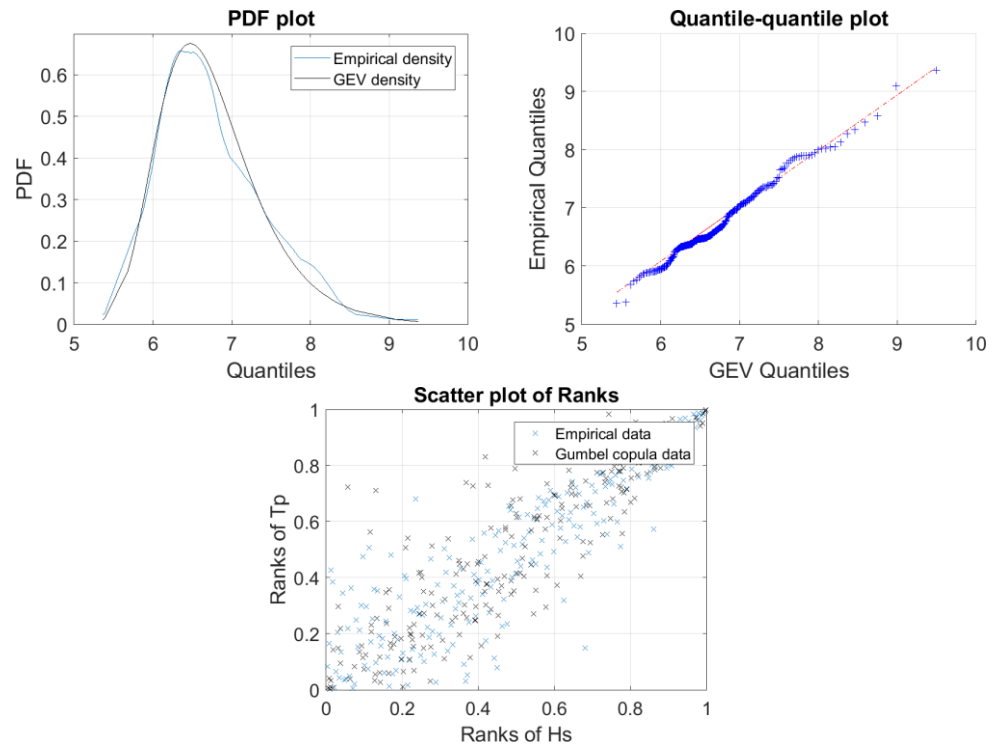
### A.2.1 Sectorul direcțional: $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$



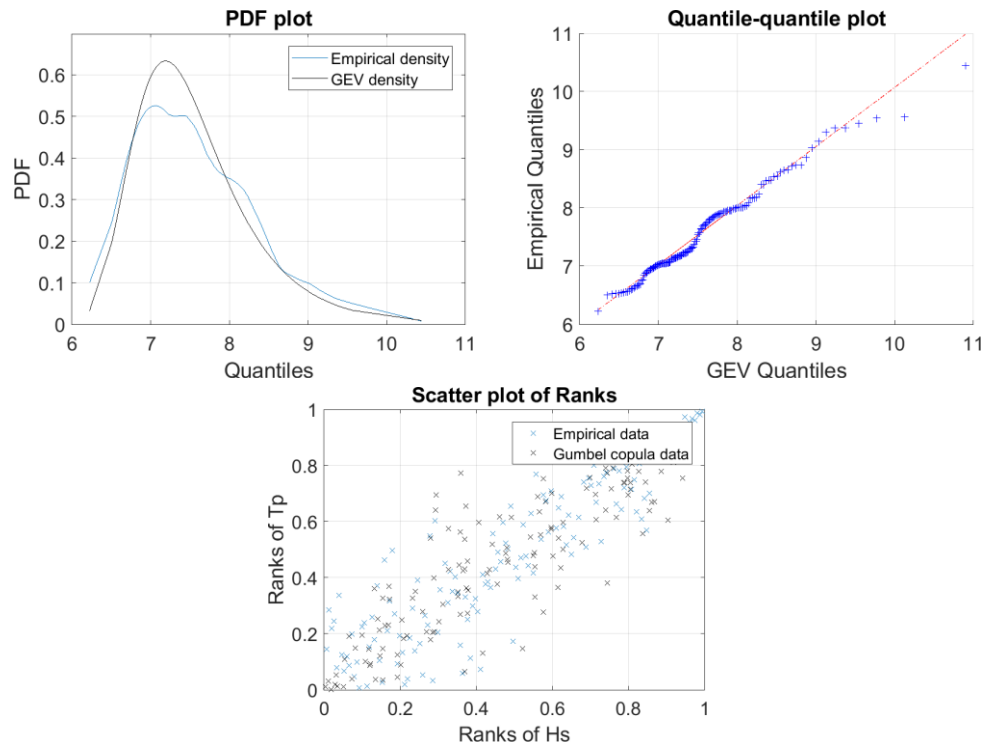
### A.2.2 Sectorul direcțional: 345°-15°



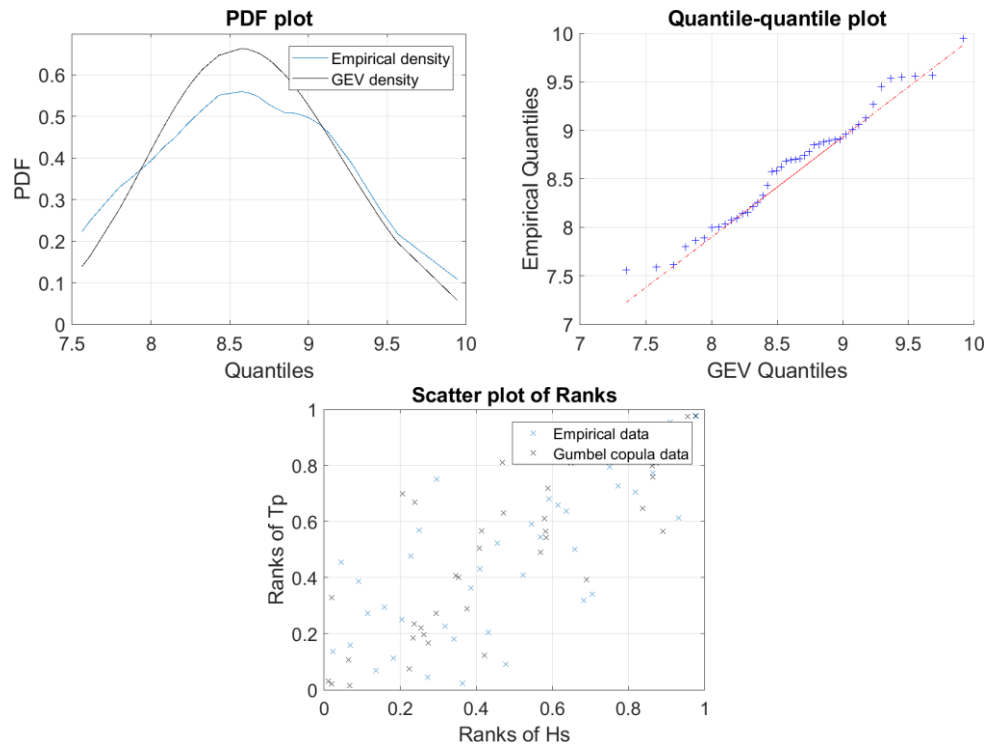
### A.2.3 Sectorul direcțional: 15°-45°



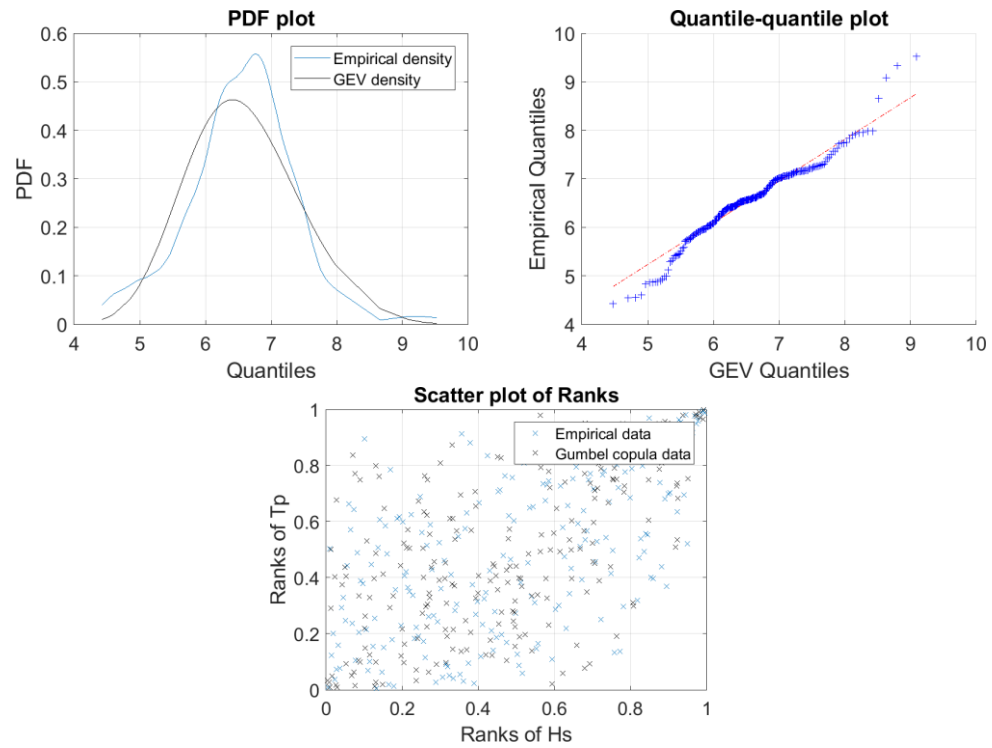
#### A.2.4 Sectorul direcțional: 45°-75°



### A.2.5 Sectorul direcțional: 75°-105°

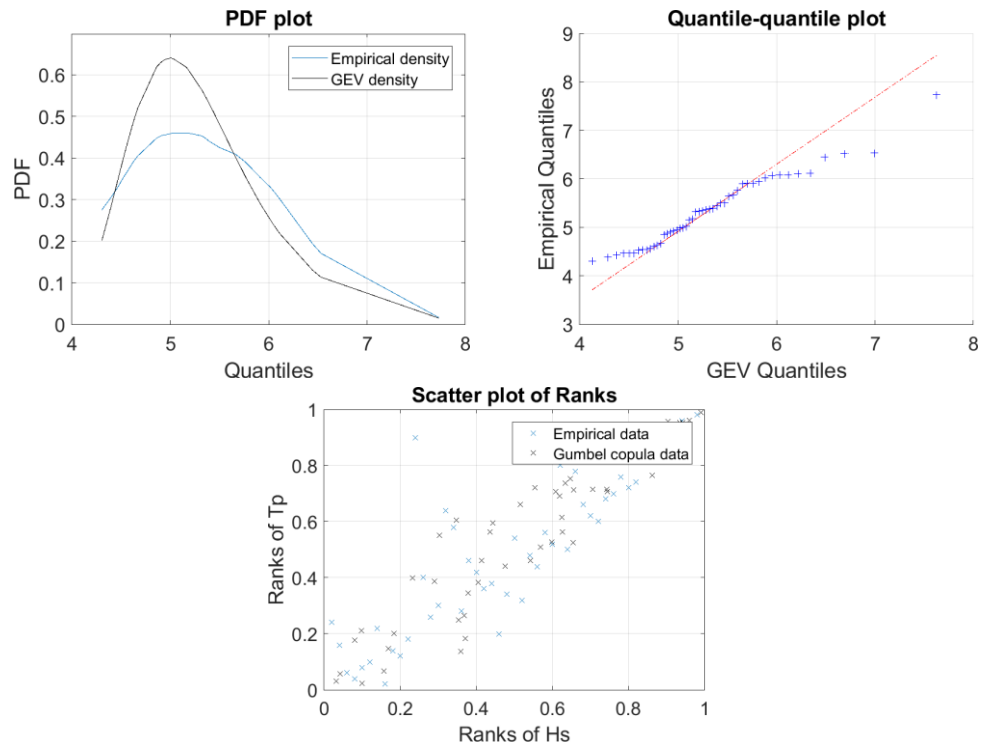


### A.2.6 Sectorul direcțional: 105°-135°

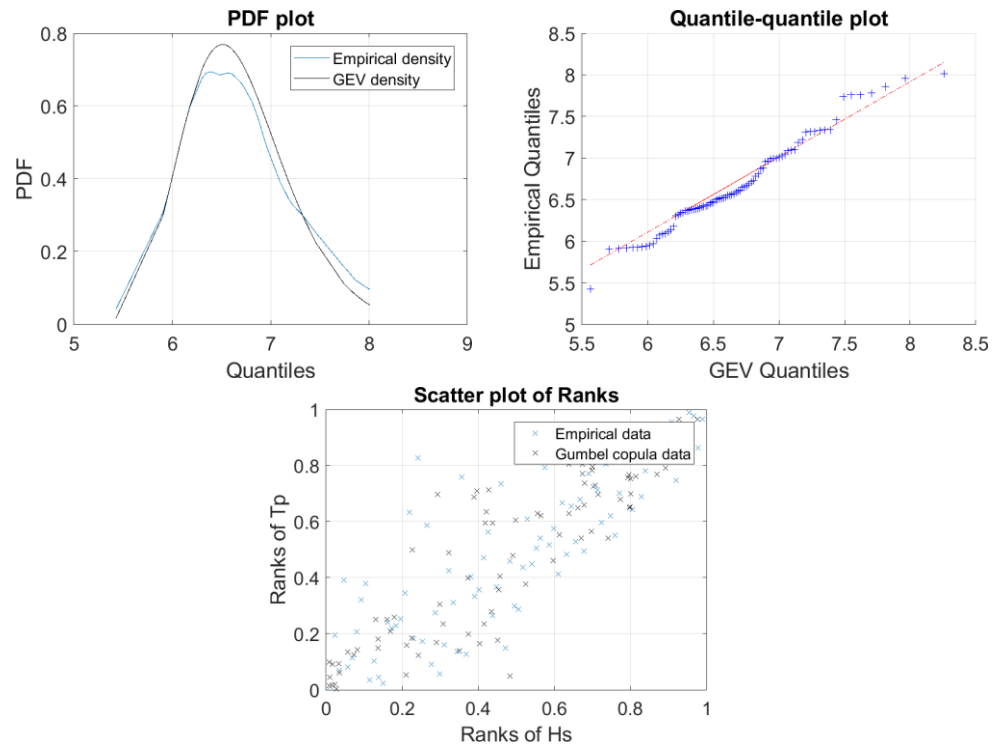




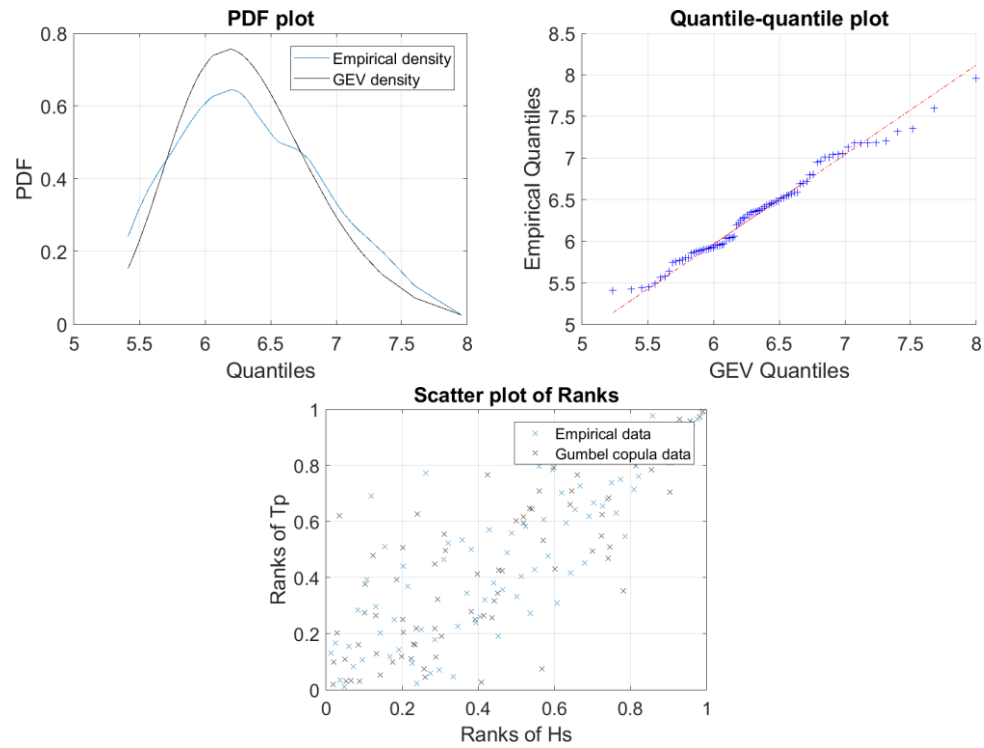
### A.2.7 Sectorul direcțional: 135°-165°



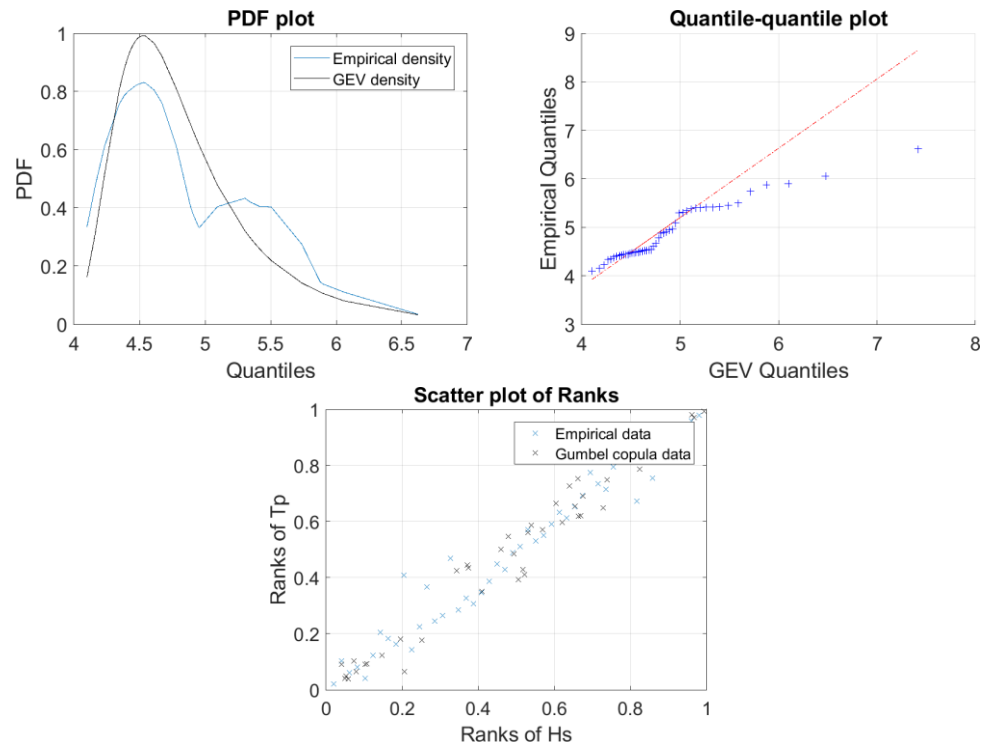
### A.2.8 Sectorul direcțional: 165°-195°



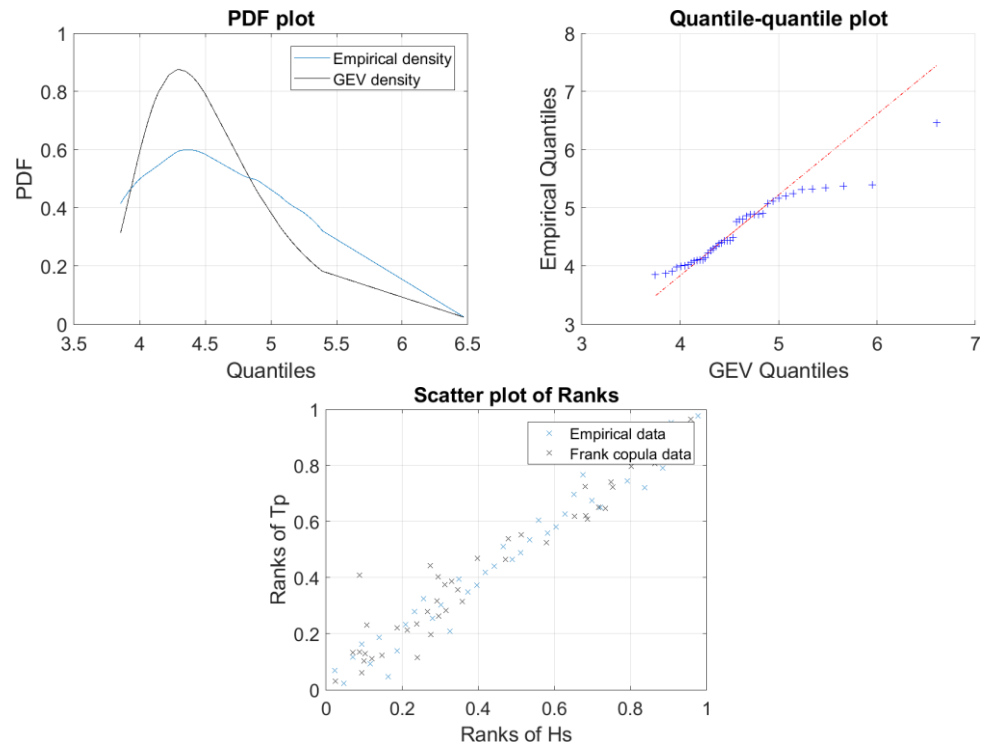
**A.2.9 Sectorul direcțional: 195°-225°**



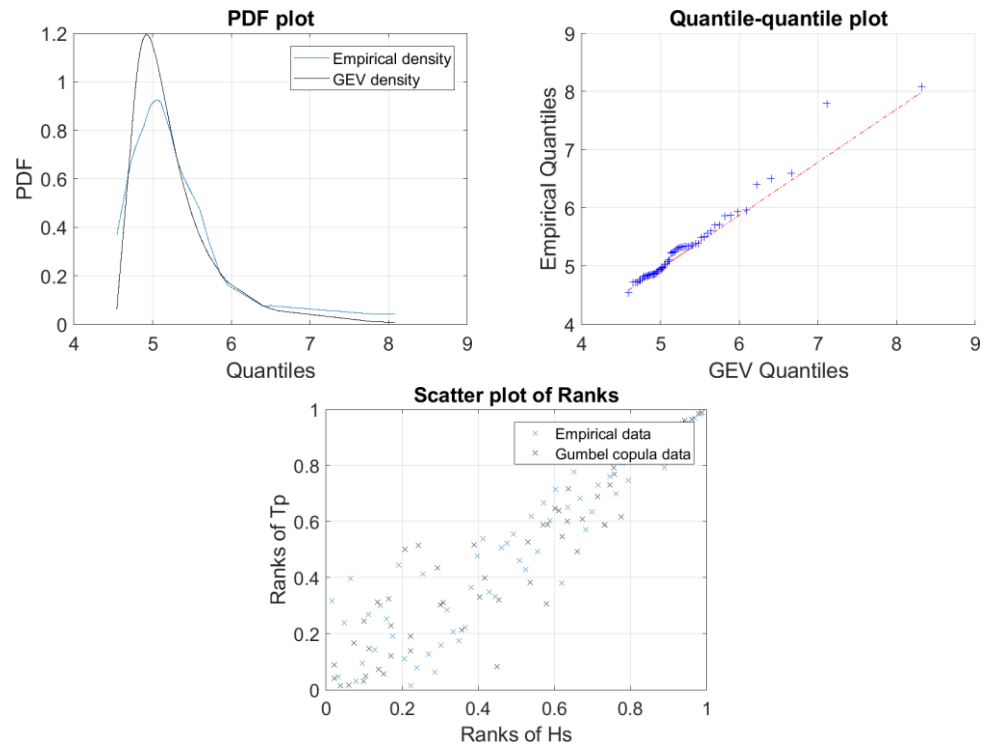
### A.2.10 Sectorul direcțional: 255°-285°



### A.2.11 Sectorul direcțional: 285°-315°

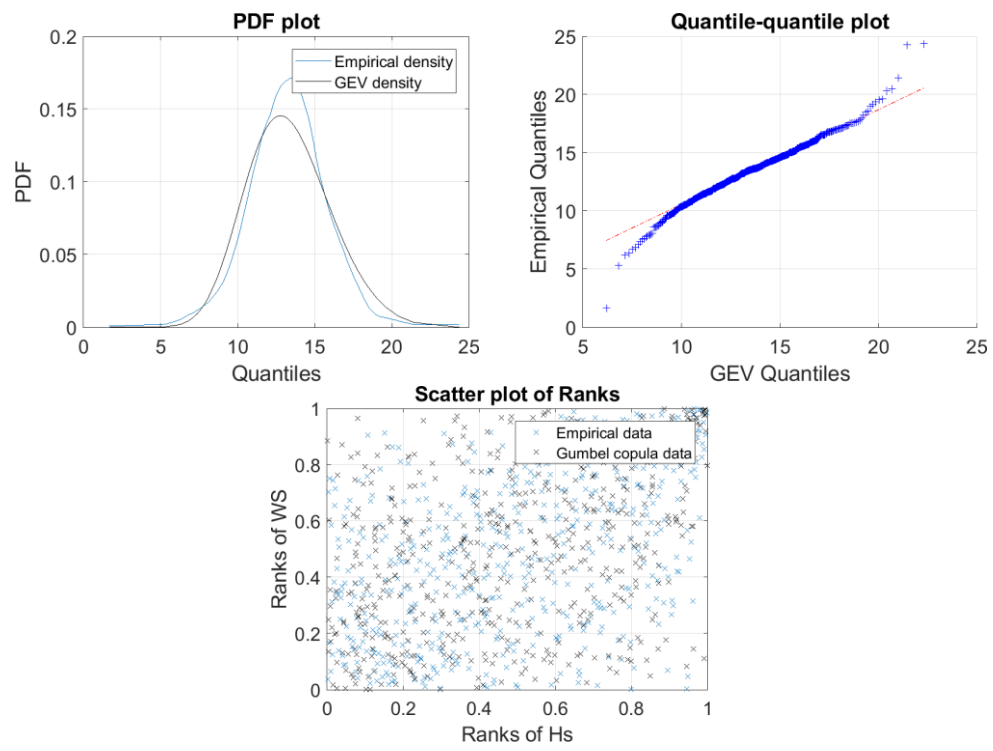


**A.2.12 Sectorul direcțional: 315°-345°**

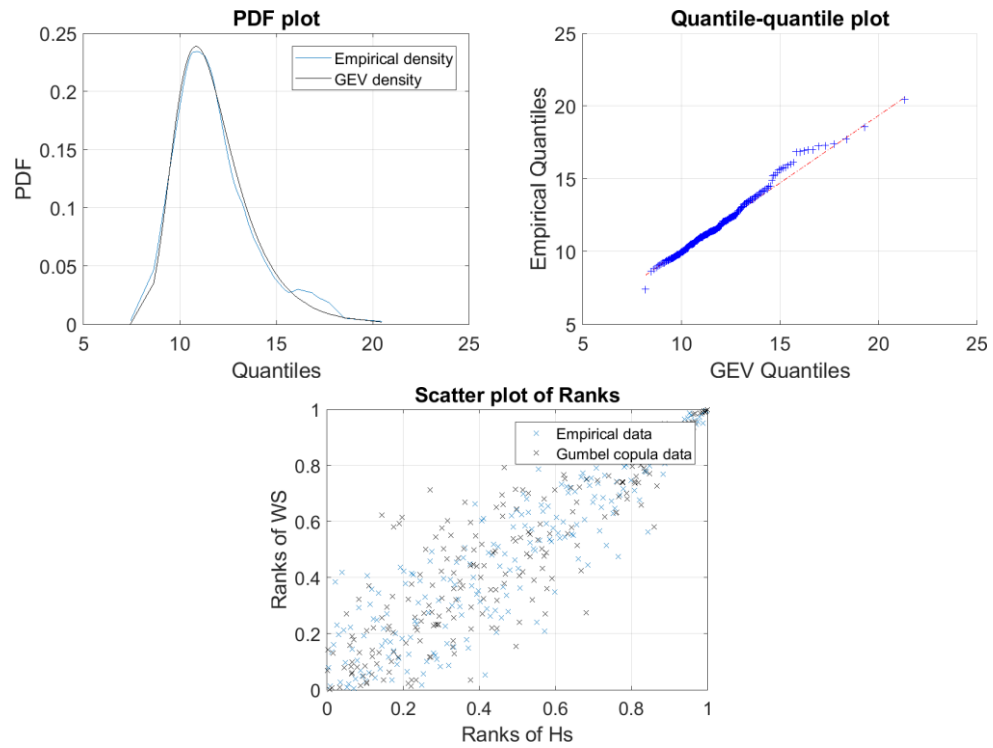


### A.3 Variabila asociată (WS)

#### A.3.1 Sectorul direcțional: $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$

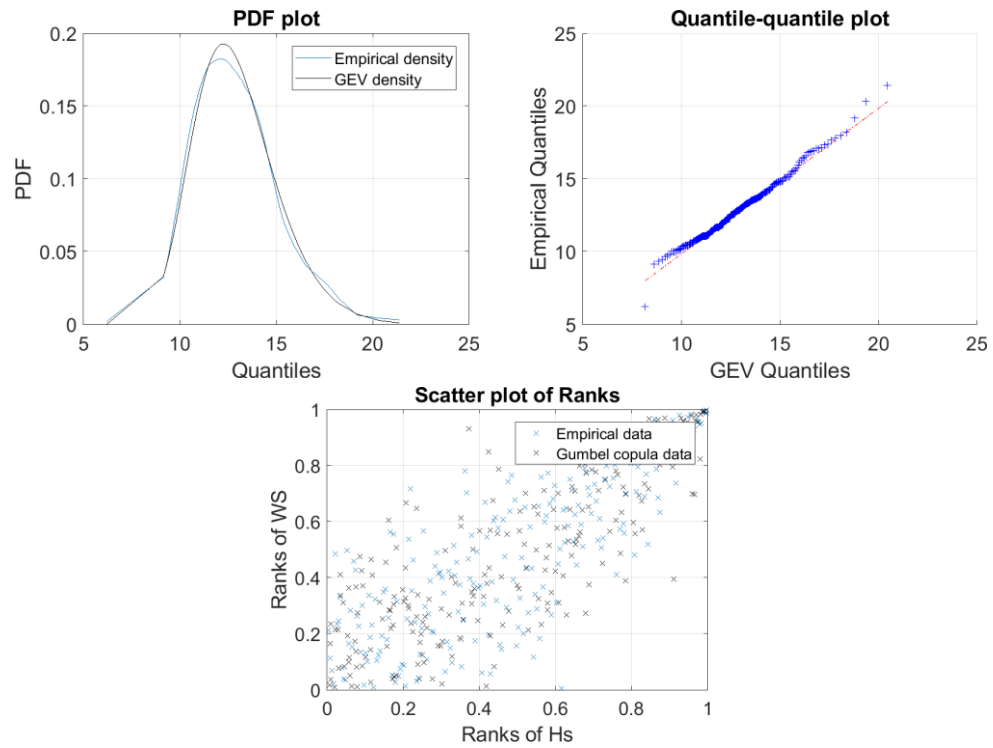


### A.3.2 Sectorul direcțional: 345°-15°

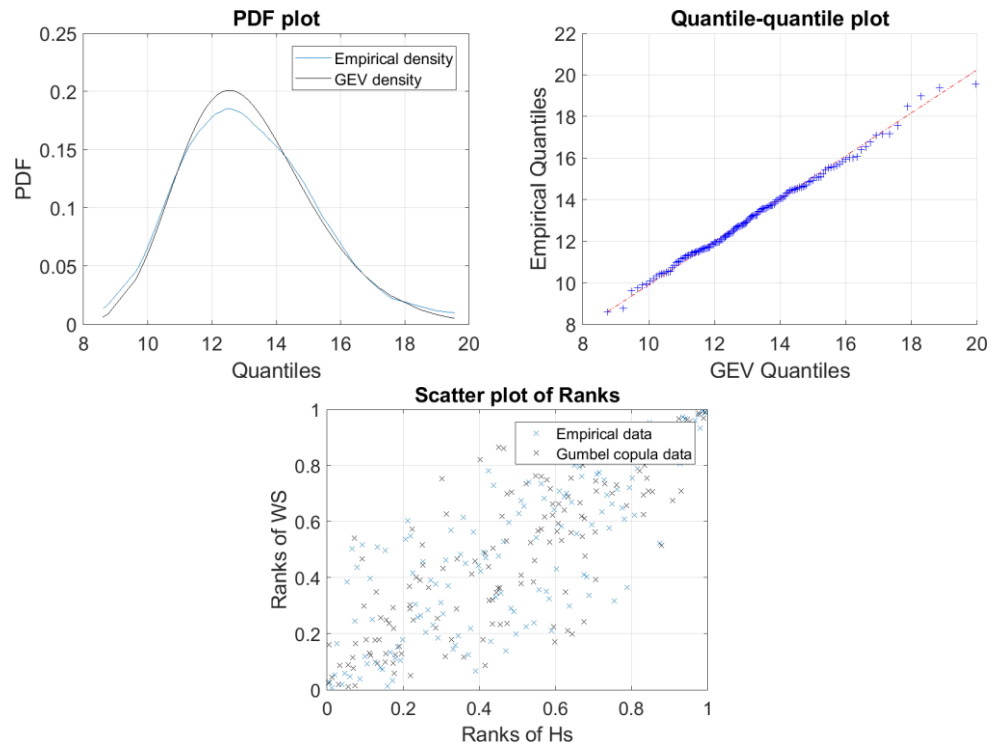




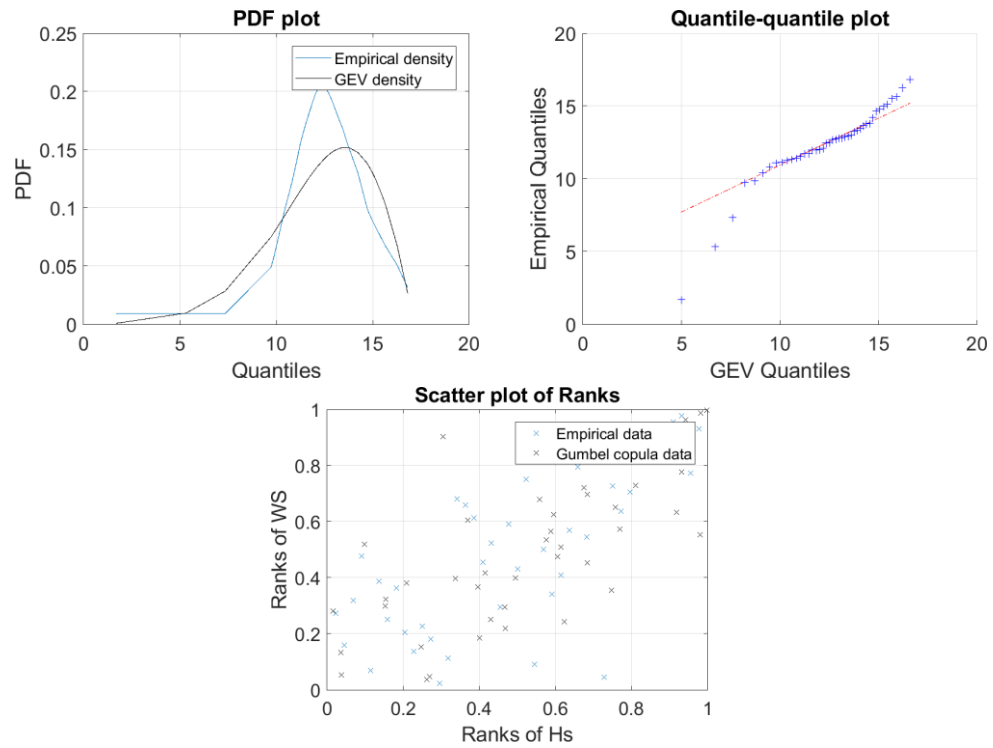
### A.3.3 Sectorul direcțional: 15°-45°



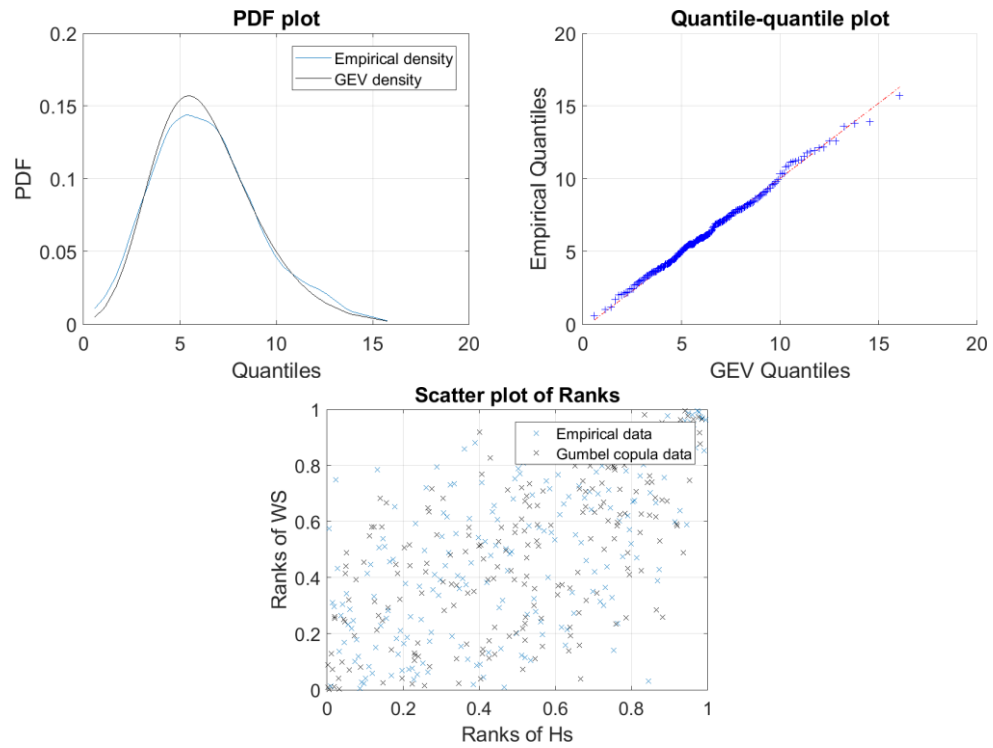
### A.3.4 Sectorul direcțional: 45°-75°



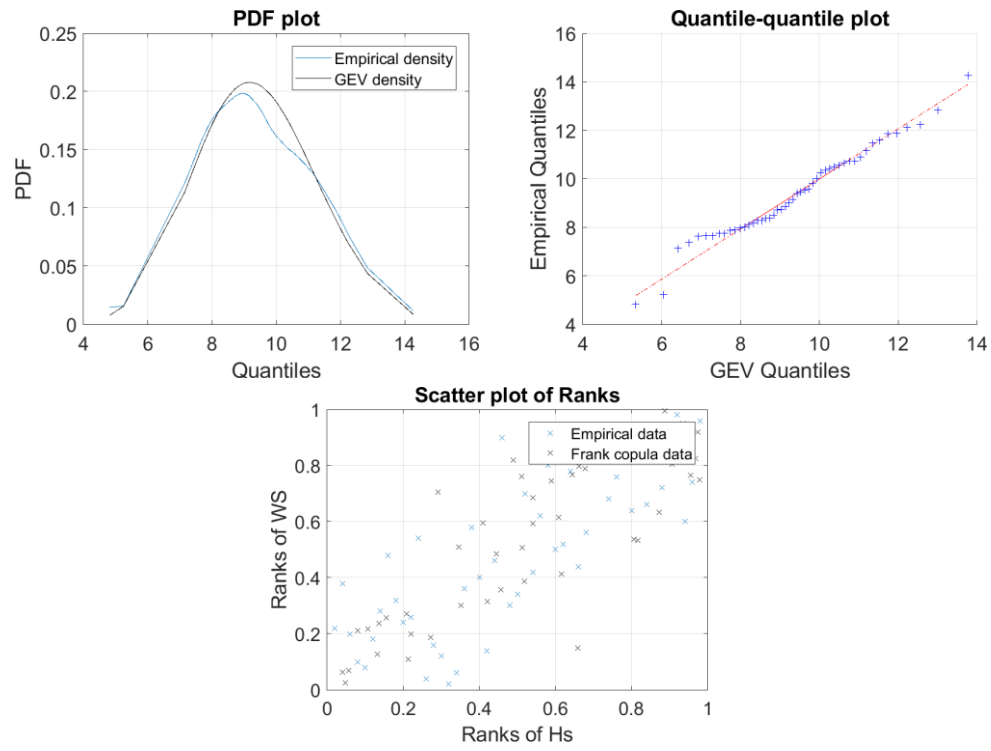
### A.3.5 Sectorul direcțional: $75^{\circ}$ - $105^{\circ}$



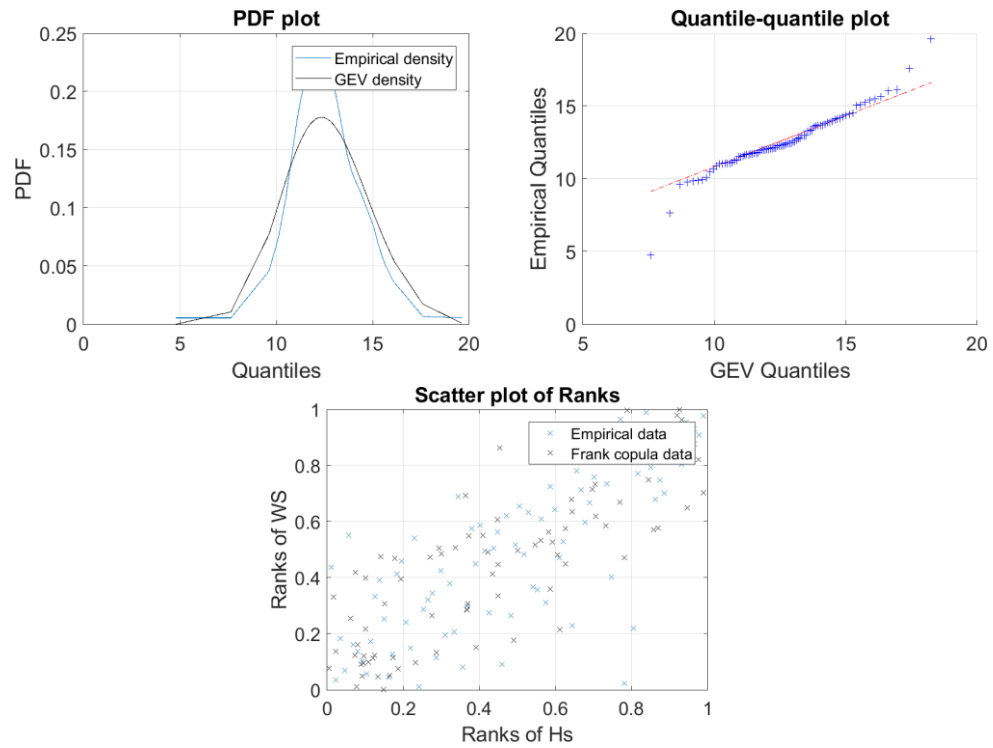
### A.3.6 Sectorul direcțional: 105°-135°



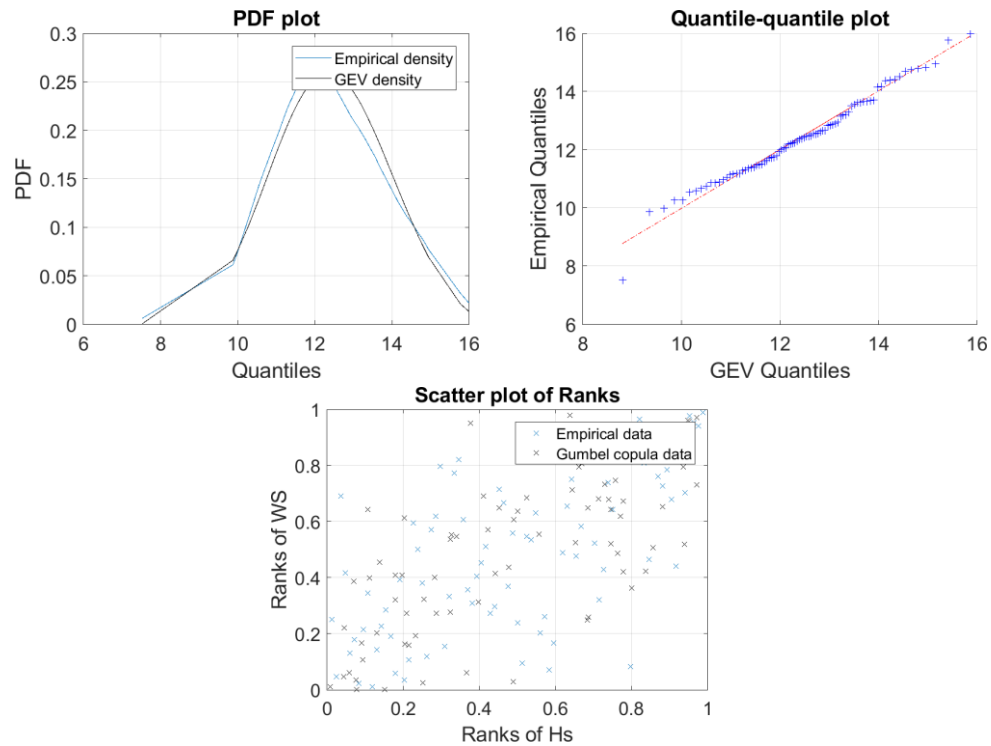
### A.3.7 Sectorul direcțional: 135°-165°



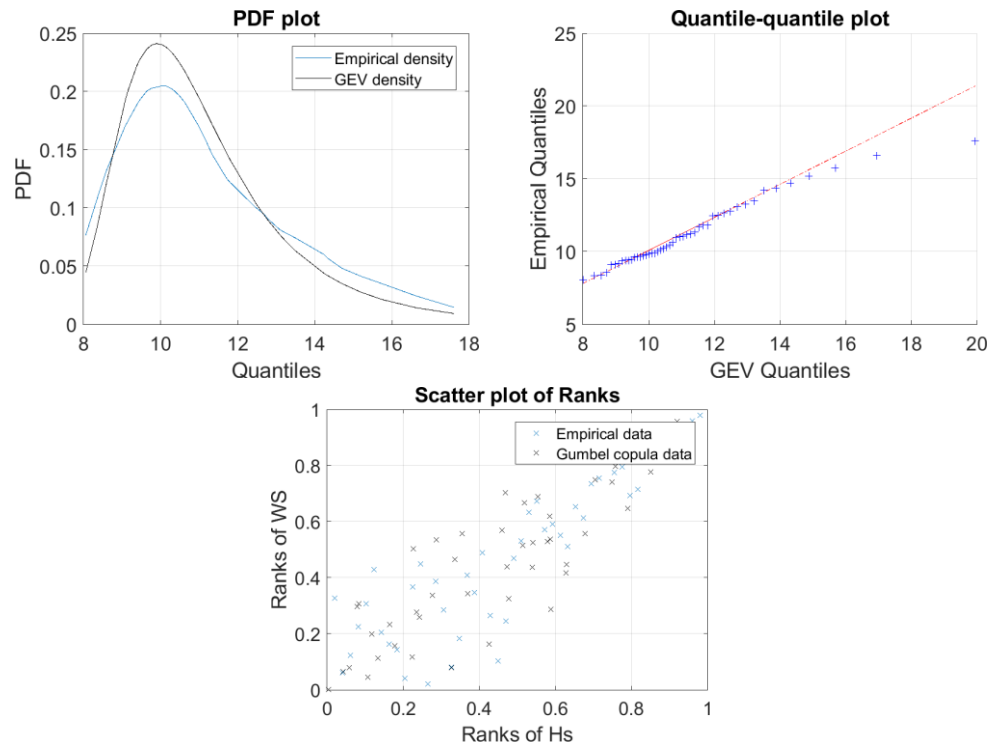
### A.3.8 Sectorul direcțional: 165°-195°



### A.3.9 Sectorul direcțional: 195°-225°

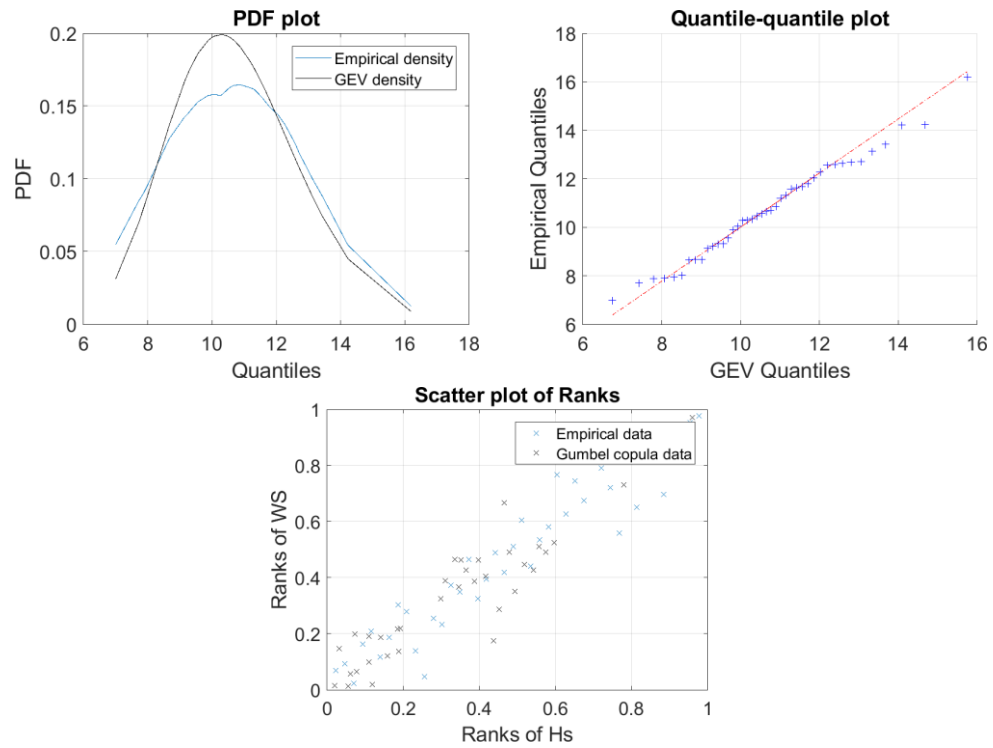


**A.3.10 Sectorul direcțional: 255°-285°**

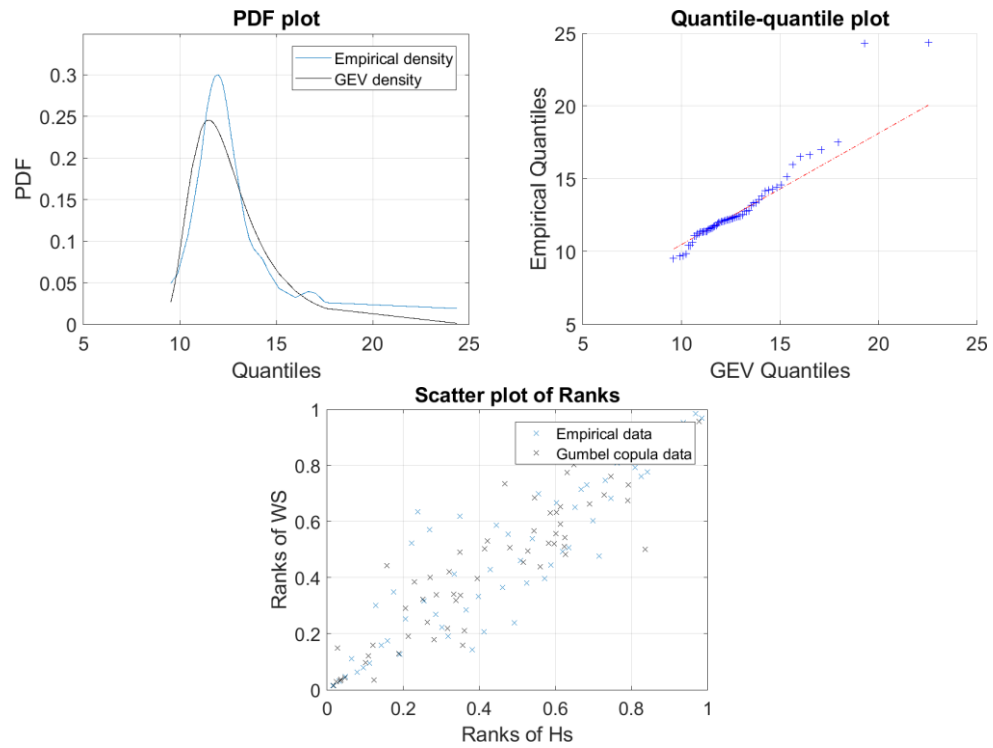




**A.3.11 Sectorul direcțional: 285°-315°**



### A.3.12 Sectorul direcțional: 315°-345°



## ANEXA 10.3 – LOCAȚII DE IEȘIRE UTM35N

Locație	Coordonate-X [UTM35E]	Coordonate-Y [UTM35N]
Loc01	632089	4902262
Loc02	634209.8	4907246
Loc03	633283.9	4907622
Loc04	632358	4907998
Loc05	631432.1	4908374
Loc06	634079.2	4906908
Loc07	633141	4907252
Loc08	632202.7	4907596
Loc09	631264.5	4907940
Loc10	633960.4	4906566
Loc11	633010.8	4906878
Loc12	632061.3	4907189
Loc13	631111.8	4907501
Loc14	633853.3	4906220
Loc15	632893.7	4906499
Loc16	631934	4906777
Loc17	630974.3	4907056
Loc18	633758.3	4905870
Loc19	632789.6	4906116
Loc20	631820.9	4906362
Loc21	630852.2	4906607
Loc22	633675.2	4905518
Loc23	632698.7	4905730
Loc24	631722.2	4905942
Loc25	630745.6	4906154
Loc26	633604.4	4905162
Loc27	632621.2	4905341
Loc28	631637.9	4905519
Loc29	630654.6	4905698
Loc30	633545.8	4904805
Loc31	632557	4904949
Loc32	631568.2	4905094
Loc33	630579.4	4905239
Loc34	633499.5	4904446
Loc35	632506.3	4904556
Loc36	631513.2	4904667
Loc37	630520	4904777
Loc38	633465.6	4904085
Loc39	632469.2	4904161
Loc40	631472.8	4904238

Loc41	630476.4	4904314
Loc42	633444.1	4903723
Loc43	632445.7	4903765
Loc44	631447.3	4903807
Loc45	630448.8	4903850
Loc46	633435.1	4903361
Loc47	632435.8	4903369
Loc48	631436.5	4903377
Loc49	630437.2	4903384
Loc50	633438.5	4902999
Loc51	632439.5	4902972
Loc52	631440.5	4902946
Loc53	630441.6	4902919
Loc54	633454.3	4902637
Loc55	632456.9	4902576
Loc56	631459.4	4902515
Loc57	630461.9	4902454
Loc58	633482.6	4902276
Loc59	632487.8	4902181
Loc60	631493	4902085
Loc61	630498.2	4901990
Loc62	633523.3	4901916
Loc63	632532.3	4901786
Loc64	631541.4	4901657
Loc65	630550.4	4901528
Loc66	633576.3	4901557
Loc67	632590.3	4901394
Loc68	631604.4	4901231
Loc69	630618.5	4901068
Loc70	633641.5	4901201
Loc71	632661.8	4901004
Loc72	631682.1	4900807
Loc73	630702.4	4900610
Loc74	633719	4900847
Loc75	632746.6	4900617
Loc76	631774.3	4900386
Loc77	630801.9	4900156
Loc78	633808.6	4900496
Loc79	632844.7	4900232
Loc80	631880.9	4899968
Loc81	630917	4899705
Loc82	633910.2	4900148
Loc83	632956	4899852
Loc84	632001.7	4899555

Loc85	631047.5	4899258
Loc86	634023.7	4899804
Loc87	633080.2	4899475
Loc88	632136.7	4899146
Loc89	631193.3	4898816
Loc90	630661.8	4898853
Loc91	630643.3	4898902
Loc92	630626.7	4898949
Loc93	630607.2	4898995
Loc94	630585.8	4899041
Loc95	630564.8	4899087
Loc96	630543.5	4899134
Loc97	630498.4	4899111
Loc98	630452.6	4899090
Loc99	630473.8	4899044
Loc100	630492.7	4898997
Loc101	630510.7	4898951
Loc102	630528.3	4898903
Loc103	630541.3	4898855
Loc104	630554.4	4898806
Loc105	630569.4	4898758
Loc106	630618.4	4898773
Loc107	630672.9	4898802
Loc108	630328.6	4898589
Loc109	630374.8	4898608
Loc110	630419.4	4898632
Loc111	630464	4898655
Loc112	630508.1	4898678
Loc113	630553.9	4898700
Loc114	630691	4898762
Loc115	630830.5	4898819
Loc116	630753.7	4898599
Loc117	630729.7	4898643
Loc118	630684.1	4898622
Loc119	630637.1	4898602
Loc120	630657.2	4898556
Loc121	630675.4	4898510
Loc122	630776	4898552
Loc123	630355.9	4898537
Loc124	630400	4898562
Loc125	630444.6	4898586
Loc126	630488.5	4898611
Loc127	630532	4898638
Loc128	630577.7	4898659

Loc129	630659.1	4898701
Loc130	630450.7	4898870
Loc131	630407.9	4898852
Loc132	630362.1	4898829
Loc133	630314	4898808
Loc134	630273.4	4898788
Loc135	630620.2	4898525
Loc136	630579.9	4898496
Loc137	630539.5	4898468
Loc138	630502.3	4898439
Loc139	630460.9	4898410

### Krasovsky/Stereo 70:

Location	X-Coordinate [Stereo70 E]	Y-Coordinate [Stereo70 N]
Loc01	791911.0	313468.8
Loc02	793907.5	318507.9
Loc03	792971.9	318860.9
Loc04	792036.2	319213.9
Loc05	791100.6	319566.8
Loc06	793785.4	318166.6
Loc07	792838.2	318487.2
Loc08	791891.0	318807.8
Loc09	790943.8	319128.4
Loc10	793675.1	317821.2
Loc11	792717.4	318109.1
Loc12	791759.8	318397.0
Loc13	790802.1	318684.9
Loc14	793576.7	317472.3
Loc15	792609.7	317727.1
Loc16	791642.7	317982.0
Loc17	790675.7	318236.8
Loc18	793490.4	317120.2
Loc19	792515.2	317341.7
Loc20	791540.0	317563.1
Loc21	790564.8	317784.6
Loc22	793416.2	316765.4
Loc23	792434.0	316953.2
Loc24	791451.8	317141.0
Loc25	790469.5	317328.8
Loc26	793354.2	316408.2
Loc27	792366.2	316562.1
Loc28	791378.1	316716.1
Loc29	790390.0	316870.0
Loc30	793304.6	316049.1
Loc31	792311.8	316169.0
Loc32	791319.0	316288.9
Loc33	790326.2	316408.8
Loc34	793267.3	315688.5
Loc35	792271.0	315774.2
Loc36	791274.7	315859.9
Loc37	790278.3	315945.7
Loc38	793242.5	315326.8
Loc39	792243.8	315378.3

Loc40	791245.1	315429.7
Loc41	790246.4	315481.2
Loc42	793230.0	314964.5
Loc43	792230.2	314981.6
Loc44	791230.3	314998.7
Loc45	790230.4	315015.8
Loc46	793230.1	314602.0
Loc47	792230.2	314584.7
Loc48	791230.3	314567.5
Loc49	790230.5	314550.2
Loc50	793242.6	314239.7
Loc51	792243.9	314188.1
Loc52	791245.2	314136.5
Loc53	790246.5	314084.9
Loc54	793267.5	313878.0
Loc55	792271.2	313792.1
Loc56	791274.9	313706.2
Loc57	790278.5	313620.4
Loc58	793304.8	313517.4
Loc59	792312.0	313397.3
Loc60	791319.3	313277.3
Loc61	790326.5	313157.2
Loc62	793354.5	313158.3
Loc63	792366.5	313004.2
Loc64	791378.4	312850.1
Loc65	790390.3	312696.0
Loc66	793416.5	312801.1
Loc67	792434.4	312613.2
Loc68	791452.2	312425.2
Loc69	790470.0	312237.3
Loc70	793490.8	312446.3
Loc71	792515.6	312224.7
Loc72	791540.5	312003.1
Loc73	790565.3	311781.5
Loc74	793577.2	312094.2
Loc75	792610.2	311839.2
Loc76	791643.3	311584.3
Loc77	790676.3	311329.3
Loc78	793675.6	311745.3
Loc79	792718.0	311457.3
Loc80	791760.4	311169.2
Loc81	790802.7	310881.2
Loc82	793786.0	311400.0
Loc83	792838.8	311079.2

Loc84	791891.7	310758.5
Loc85	790944.5	310437.7
Loc86	793908.2	311058.6
Loc87	792972.6	310705.5
Loc88	792037.0	310352.4
Loc89	791101.4	309999.3
Loc90	790568.8	310022.6
Loc91	790549.1	310071.0
Loc92	790531.3	310118.2
Loc93	790510.6	310163.9
Loc94	790488.1	310209.2
Loc95	790465.9	310254.9
Loc96	790443.5	310300.7
Loc97	790398.9	310276.5
Loc98	790353.6	310254.2
Loc99	790376.0	310209.2
Loc100	790396.1	310163.1
Loc101	790415.2	310116.6
Loc102	790434.0	310069.9
Loc103	790448.2	310021.7
Loc104	790462.5	309973.5
Loc105	790478.8	309925.3
Loc106	790527.4	309941.8
Loc107	790581.2	309972.2
Loc108	790242.1	309750.0
Loc109	790287.8	309770.6
Loc110	790331.8	309795.9
Loc111	790375.9	309819.4
Loc112	790419.4	309843.9
Loc113	790464.7	309866.7
Loc114	790600.3	309932.9
Loc115	790738.5	309993.4
Loc116	790667.1	309770.9
Loc117	790642.0	309814.8
Loc118	790596.9	309792.4
Loc119	790550.4	309771.5
Loc120	790571.7	309725.9
Loc121	790591.1	309679.7
Loc122	790690.6	309724.6
Loc123	790270.7	309699.5
Loc124	790314.2	309724.7
Loc125	790358.2	309750.2
Loc126	790401.5	309776.7
Loc127	790444.4	309804.1

Loc128	790489.5	309827.1
Loc129	790570.0	309870.8
Loc130	790357.2	310034.1
Loc131	790314.9	310015.7
Loc132	790269.6	309991.1
Loc133	790222.0	309969.5
Loc134	790181.9	309948.2
Loc135	790535.4	309694.0
Loc136	790495.8	309663.7
Loc137	790456.1	309634.9
Loc138	790419.7	309604.7
Loc139	790379.0	309574.4

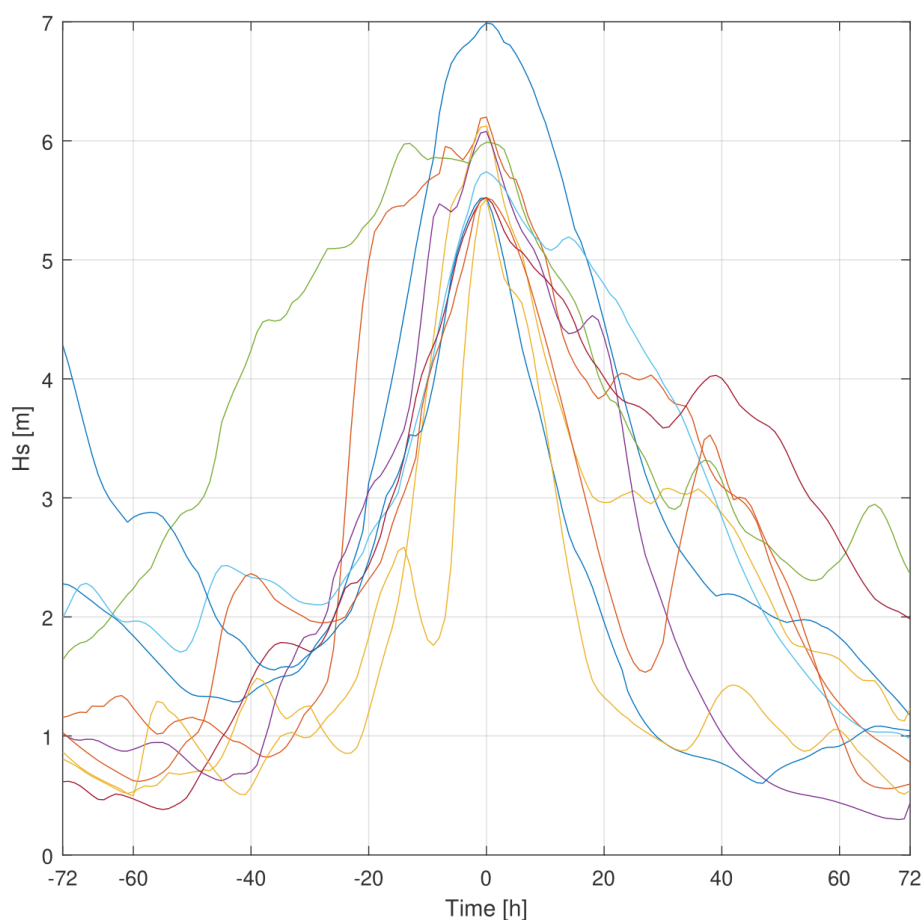
## ANEXA 10.4 – VERIFICAREA FORMEI FURTUNII



Storm projection, 10 highest peaks, +/- 72h around peak moment



Offshore  
 Coordinate: 44°N 29.5°E  
 Depth: 69m  
 Samples: 357576 samples (1979.01.16-2019.10.31)  
 Dir. Sector: Omni



2012-02-07	$H_{m0} = 6.99[m]$	$Tp = 10.45[s]$	$Dir = 70.2[^\circ]$	$U_{10} = 19.37[m/s]$
1981-01-09	$H_{m0} = 6.20[m]$	$Tp = 9.54[s]$	$Dir = 52.1[^\circ]$	$U_{10} = 19.56[m/s]$
1981-01-28	$H_{m0} = 6.12[m]$	$Tp = 9.56[s]$	$Dir = 73.2[^\circ]$	$U_{10} = 16.56[m/s]$
2011-10-17	$H_{m0} = 6.08[m]$	$Tp = 9.37[s]$	$Dir = 60.7[^\circ]$	$U_{10} = 18.99[m/s]$
1979-02-19	$H_{m0} = 5.99[m]$	$Tp = 9.95[s]$	$Dir = 78.0[^\circ]$	$U_{10} = 15.68[m/s]$
2012-12-19	$H_{m0} = 5.74[m]$	$Tp = 9.38[s]$	$Dir = 70.3[^\circ]$	$U_{10} = 17.16[m/s]$
1991-12-08	$H_{m0} = 5.52[m]$	$Tp = 9.37[s]$	$Dir = 40.8[^\circ]$	$U_{10} = 19.19[m/s]$
1984-03-10	$H_{m0} = 5.52[m]$	$Tp = 9.31[s]$	$Dir = 60.2[^\circ]$	$U_{10} = 15.94[m/s]$
2018-02-26	$H_{m0} = 5.52[m]$	$Tp = 8.87[s]$	$Dir = 73.9[^\circ]$	$U_{10} = 15.44[m/s]$
2018-01-18	$H_{m0} = 5.51[m]$	$Tp = 8.08[s]$	$Dir = 340.4[^\circ]$	$U_{10} = 24.29[m/s]$

ANEXA 10.5 – PERFORMANȚA MODELULUI

Graficul spațial pentru condițiile 9 și 10 este prezentat în Figura 10.1. O listă completă a condițiilor finale de proiectare este prezentată în Tabelul 6-2. Locația datelor offshore 44.0°N 29.5°E (UTM35 700438m E 4874911m Y) este reprezentată prin crucea de culoare albastru / verde. Înălțimea valului în locația offshore se potrivește condițiilor de delimitare, ceea ce arată că înălțimea valului rămâne constantă de-a lungul limitei modelului. Acest lucru justifică performanța modelului.

Cifrele confirmă că imbricarea și convergența modelului ondulatoriu sunt bune.

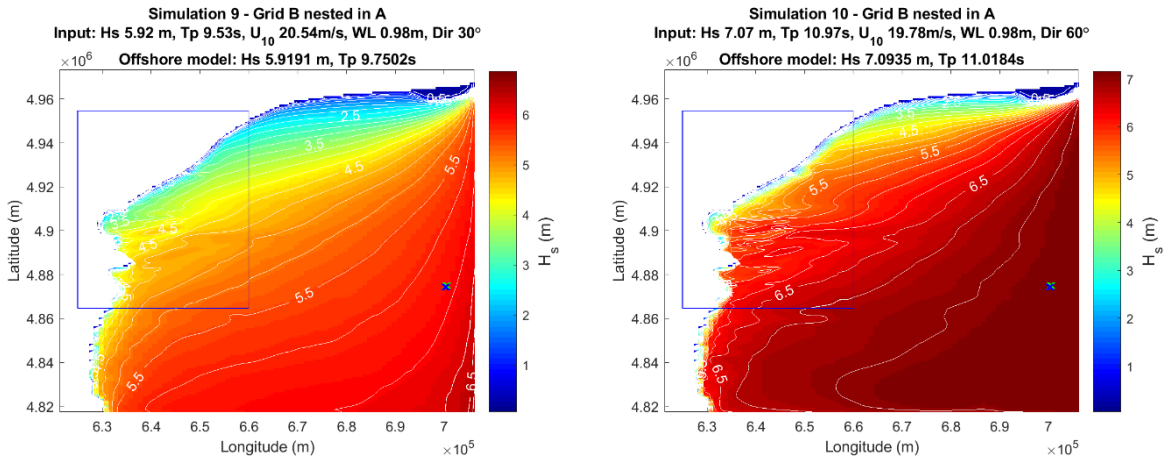


Figura Error! No text of specified style in document..1: Graficul spațial pt. înălțimea valului pentru condiția 9 (stânga) și condiția 10 (dreapta)

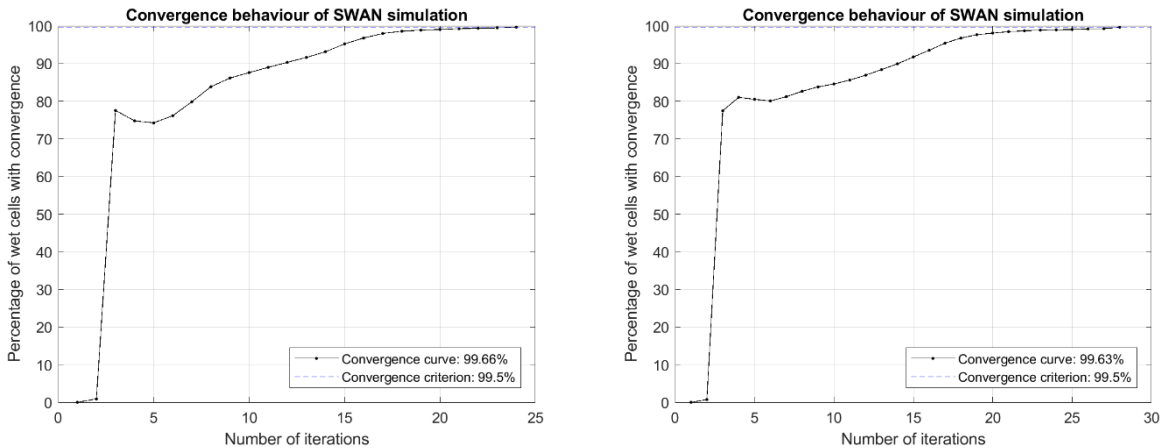


Figura Error! No text of specified style in document..2: Comportamentul convergenței modelului simulării SWAN 9 (stânga) și 10 (dreapta) pentru grila .



