

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Tofil, T., 2013. Vpliv parametrizacije vetrnih valov na strižne napetosti ob dnu. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žagar, D.): 59 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Tofil, T., 2013. Vpliv parametrizacije vetrnih valov na strižne napetosti ob dnu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žagar, D.): 59 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
PRVE STOPNJE VODARSTVA
IN OKOLJSKEGA
INŽENIRSTVA**

Kandidatka:

TANJA TOFIL

**VPLIV PARAMETRIZACIJE VETRNIH VALOV NA
STRIŽNE NAPETOSTI OB DNU**

Diplomska naloga št.: 13/B-VOI

**INFLUENCE OF WIND-WAVE PARAMETERISATION
ON BED SHEAR STRESS**

Graduation thesis No.: 13/B-VOI

Mentor:
doc. dr. Dušan Žagar

Predsednik komisije:
doc. dr. Dušan Žagar

Ljubljana, 17. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Tanja Tofil izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »**Vpliv parametrizacije vetrnih valov na strižne napetosti ob dnu**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Koper, 12. 9. 2013

Tanja Tofil

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali naslednji profesorji:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.4:551.466(043.2)
Avtor:	Tanja Tofil
Mentor:	doc. dr. Dušan Žagar
Naslov:	Vpliv parametrizacije vetrnih valov na strižne napetosti pri dnu
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	59. str., 15 pregl., 47 sl., 35 en.
Ključne besede:	vetrni valovi, strižne napetosti pri dnu, resuspendiranje, model PCFLOW3D

Izvleček

Privzdigovanje delcev sedimenta z dna je proces, ki poteka zaradi različnih dejavnikov, med katerimi je tudi valovanje. Valovi lahko nastanejo zaradi vetra, tektonskih aktivnosti, privlačnosti sonca in lune, raznih gibajočih se predmetov v morju in drugih vzrokov. V diplomski nalogi smo se osredotočili na vpliv vetrnih valov na strižne napetosti pri dnu (napetosti, ki nastanejo ob stiku sedimenta in premikajočega se vodnega telesa). Da bi strižne napetosti izračunali, je potrebno poznavanje višine in periode valovanja po celotni obravnavani površini in v vsakem časovnem koraku simulacije. Ta parametra lahko dobimo z opazovanjem, meritvami ali s pomočjo matematičnih modelov. Sedimentacijski modul matematičnega modela PCFLOW3D ima vgrajene enostavne enačbe za izračun višine in periode valov (Bretschneider, 1952), a so rezultati, ki nam jih dajejo, vprašljivi. Da bi našli ustrežnejšo metodo smo v diplomski nalogi naredili kratek pregled sedmih različnih empiričnih metod in enačb za račun značilne višine in periode valovanja. S pomočjo orodja MS Excel smo metode preizkusili pri različnih vhodnih podatkih (jakostih vetra, privetritiščih, globinah) in rezultate primerjali med seboj ter z Darbyshire in Draper nomogrami (Koutitas, 1988). Ugotovili smo, da vse nove metode dajo približno za tretjino nižje rezultate kot Bretschneiderjeva metoda, zato je enačbe v modelu PCFLOW3D potrebno zamenjati s primernejšimi. Ker se rezultati preizkušenih metod le malo razlikujejo med seboj, bodo za določitev najprimernejše potrebne dodatne raziskave, primerjava z rezultati modela valovanja tretje generacije (SWAN) in z meritvami na boji Vida, ki jo upravlja Nacionalni inštitut za biologijo.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 004.4:551.466(043.2)
Author: Tanja Tofil
Supervisor: assist. prof. Dušan Žagar, Ph.D.
Title: Influence of wind-wave parameterisation on bed shear stress
Document type: Graduation thesis – University studies
Scope and tools: 59 p., 15 tab., 47 fig., 35 eq.
Keywords: wind generated waves, bottom shear stress, resuspending, PCFLOW3D model

Abstract

Resuspending of the sediment particles from the bottom is a process generated by different causes. One of them are waves, which can be generated by wind, tectonic activity, moon and sun attraction, different moving objects in the sea and other causes. In this work we discussed the effect of wind generated waves on the bottom shear stress (the tension created at the contact of the sediment and the moving water). To calculate the shear stress wave heights and wave periods are needed throughout the surface and in every time step. These parameters can be obtained with observations, measurements or with the help of mathematical models. Simplified wave height and period equations (Bretschneider, 1952) are already a part of the sedimentation module of the PCFLOW3D model; however, the results obtained are questionable. In order to find a better method we made a short review of seven different empirical methods for calculation of the significant wave height and period. Using the MS Excel we tested these methods on different input data (wind speed, fetch length and water depth) and compared the results with each other and with the Darbyshire and Draper nomograms (Koutitas, 1988). The results obtained by all tested methods are approximately for one third lower than the results obtained using Bretschneider's method. Therefore the equations in the PCFLOW3D model need to be replaced. As the results of the tested methods do not differ significantly, additional research is needed: a comparison with the results of the third generation wave model (SWAN) and with measurements at the buoy Vida operated by the National institute of biology.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Dušanu Žagarju za pomoč pri izdelavi diplomske naloge ter svoji družini za vso podporo v času študija.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
IZJAVE O PREGLEDU NALOGE	III
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	IV
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VI
KAZALO VSEBINE	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PREGLEDNIC	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1 UVOD	1
1.1 Opis problema	1
1.2 Hipoteza in cilji naloge	3
2 METODE	4
2.1 Enačbe resuspendiranja	4
2.2 Enačbe valovanja	5
2.2.1 Metoda Bretschneider (1952), vgrajena v model PCFLOW3D	6
2.2.2 Enačbe SMB (Sverdrup – Munk – Bretschneider)	7
2.2.3 Wilsonova metoda	18
2.2.4 Metoda Seck-Hong	18
2.2.5 CEM metoda	19
2.2.6 Nomogrami Darbyshire in Draper	20
3 OPIS IZRAČUNOV V EXCEL-U	24
4 PRIMERJAVA METOD Z DARBYSHIRE IN DRAPER NOMOGRAMI	38
5 ZAKLJUČKI IN NAPOTKI ZA NADALJNJE DELO	57
VIRI	58

KAZALO SLIK

Slika 1: Parametri vala (Deo, 2013)	2
Slika 2: Gibanje delcev pri različnih razmerjih globine in valovne dolžine (Rajar, 1980).....	6
Slika 3: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 1,5 metra) (CERC, 1984).....	9
Slika 4: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 3 metre) (CERC, 1984).....	9
Slika 5: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 4,5 metra) (CERC, 1984).....	9
Slika 6: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 6 metrov) (CERC, 1984)	10
Slika 7: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 7,5 metrov) (CERC, 1984).....	10
Slika 8: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 9 metrov) (CERC, 1984)	10
Slika 9: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 10,5 metrov) (CERC, 1984).....	11
Slika 10: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 12 metrov) (CERC, 1984).....	11
Slika 11: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 13,5 metrov) (CERC, 1984).....	11
Slika 12: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 15 metrov) (CERC, 1984).....	12
Slika 13: SMB krivulje za globoko vodo (Deo, 2013; CERC, 1984)	14
Slika 14: Hasselmannove krivulje za višino (H) (Deo, 2013; CERC, 1984).....	16
Slika 15: Hasselmannove krivulje za periodo (T) (CERC, 1984).....	17
Slika 16: Darbyshire-Draper nomogram za H ₁₀ v globoki vodi (Koutitas, 1988)	22
Slika 17: Darbyshire-Draper nomogram za T _s v globoki vodi (Koutitas, 1988).....	22
Slika 18: Darbyshire-Draper nomogram za H ₁₀ v plitvi vodi (Koutitas, 1988)	23
Slika 19: Darbyshire-Draper nomogram za T _s v plitvi vodi (Koutitas, 1988).....	23
Slika 20: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=6m/s)	39
Slika 21: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=6m/s)	39
Slika 22: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=12m/s)	40
Slika 23: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=12m/s)	40
Slika 24: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=18m/s)	41
Slika 25: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=18m/s)	41
Slika 26: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=6m/s)	43
Slika 27: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=6m/s)	43
Slika 28: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=12m/s)	44
Slika 29: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=12m/s)	44
Slika 30: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=18m/s)	45
Slika 31: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=18m/s)	45
Slika 32: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=6m/s)	47
Slika 33: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=6m/s)	47
Slika 34: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=12m/s)	48
Slika 35: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=12m/s)	48

Slika 36: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=15\text{m}$, $U=18\text{m/s}$)	49
Slika 37: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=15\text{m}$, $U=18\text{m/s}$)	49
Slika 38: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=20\text{m}$, $U=6\text{m/s}$)	51
Slika 39: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=20\text{m}$, $U=6\text{m/s}$)	51
Slika 40: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=20\text{m}$, $U=12\text{m/s}$)	52
Slika 41: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=20\text{m}$, $U=12\text{m/s}$)	52
Slika 42: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=20\text{m}$, $U=18\text{m/s}$)	53
Slika 43: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=20\text{m}$, $U=18\text{m/s}$)	53
Slika 44: Višina valov v Tržaškem zalivu (SWAN) (osebni vir: Maja Jeromel, ARSO).....	54
Slika 45: Perioda valov v Tržaškem zalivu (SWAN) (osebni vir: Maja Jeromel, ARSO)	55
Slika 46: Višina valov v Tržaškem zalivu izračunane z modelom PCFLOW3D (Bretschneiderjeva metoda).....	55
Slika 47: Perioda valov v Tržaškem zalivu izračunane z modelom PCFLOW3D (Bretschneiderjeva metoda).....	56

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 6 m/s in globini vode 5 m.....	25
Preglednica 2: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 12 m/s in globini vode 5 m.....	26
Preglednica 3: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 18 m/s in globini vode 5 m.....	27
Preglednica 4: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 6 m/s in globini vode 10 m.....	28
Preglednica 5: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 12 m/s in globini vode 10 m.....	29
Preglednica 6: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 18 m/s in globini vode 10 m.....	30
Preglednica 7: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 6 m/s in globini vode 15 m.....	31
Preglednica 8: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 12 m/s in globini vode 15 m.....	32
Preglednica 9: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 18 m/s in globini vode 15 m.....	33
Preglednica 10: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 6 m/s in globini vode 20 m.....	34
Preglednica 11: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 12 m/s in globini vode 20 m.....	35
Preglednica 12: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 18 m/s in globini vode 20 m.....	36
Preglednica 13: Minimalno trajanje pri hitrosti 6 m/s	37
Preglednica 14: Minimalno trajanje pri hitrosti 12 m/s	37
Preglednica 15: Minimalno trajanje pri hitrosti 18 m/s	37

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

$A_{d,p}$	vršna amplituda valovanja
C_D	strižni koeficient (vetra)
D_{90}	premer zrna od katerega je manjših 90% zrn
F	dolžina privetrišča
F'	brezdimenzijsko privetrišče
f_w	koeficient trenja
g	težnostni pospešek
h	globina vode
h'	brezdimenzijska globina vode
H_{10}	maksimalna višina vala v desetminutnem časovnem intervalu
H_s	značilna višina vala
H_w	višina valov
L'	valovna dolžina
$\tau_{b,w}$	strižne napetosti pri dnu zaradi valovanja
t	trajanje vetra
t_{min}	minimalno trajanje vetra
T_s	značilna perioda vala
T_r	reducirana perioda valovanja
T_w	perioda valov
Φ	kot med smerjo valov in toka
\bar{u}	po globini povprečena hitrost v izbrani vertikali
u_*	strižna hitrost
U	hitrost vetra
U_A	efektivna hitrost vetra
$U_{d,p}$	vršna hitrost valovanja
ν	kinematični koeficient laminarne viskoznosti

Ta stran je namenoma prazna.

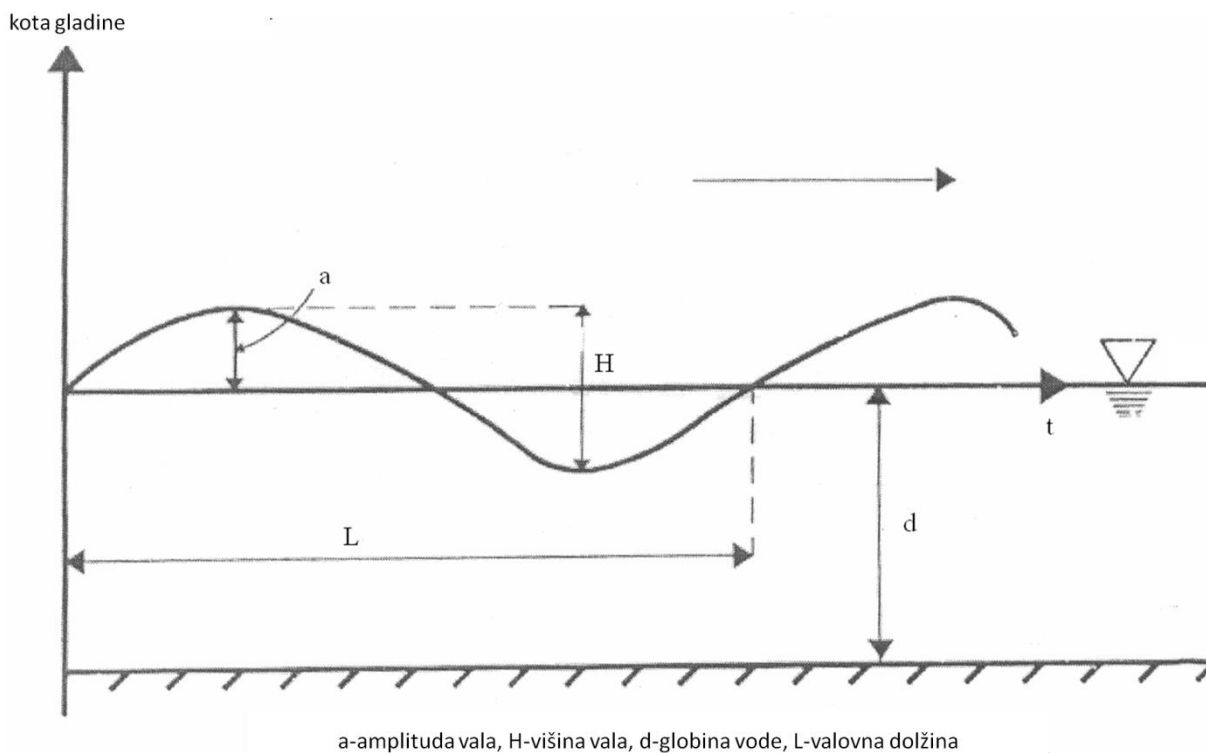
1 UVOD

1.1 Opis problema

Morsko dno je lahko sestavljeno iz različnih sedimentov. Morda gre za živo skalo, kjer do premikov delcev skorajda ne more priti, lahko pa gremo v drugo skrajnost in sicer do mehkih, muljastih tal, kjer je premik delcev konstanten pojav. Strižne napetosti pri dnu morja so napetosti, ki nastanejo na stiku sedimenta ter premikajočega se vodnega telesa. Drobna zrnca sedimenta se najprej držijo tesno skupaj ter s povečevanjem hitrosti pričnejo drseti, se kotaliti, poskakovati in, ko je kritična strižna odpornost dna prekoračena, preidejo v suspenzijo, kar pomeni, da lebdiijo v vodi in se lahko tudi premikajo z vodnim tokom. Proces privzdigovanja delcev se imenuje tudi resuspendiranje in je zelo pomemben z vidika prehajanja onesnažil, kot na primer živega srebra, iz sedimenta v vodo. Proces je podrobno opisal Žagar (1999). Da bi lahko predvideli količino lebdečih delcev, smer in hitrost gibanja delcev in lokacijo in količino usedanja, moramo poznati vse dejavnike, ki na te procese vplivajo. Ti dejavniki so morski tokovi in valovi zaradi različnih vzrokov, vtoki rek, gibalna količina, ki jo ustvari rotacija ladijskih vijakov in drugi vplivi.

Valovanje morja znanstvenike in inženirje fascinira že stoletja. Tega zanimivega pojava, čeprav je že dokaj dobro raziskan in je o njem bilo že veliko napisanega, si, zaradi njegove kaotične narave, še vedno ne znamo popolnoma razložiti. Valovi lahko nastanejo zaradi vetra, tektonskih aktivnosti, privlačnosti sonca, lune in morja ter gibanja raznih predmetov v morju, kot so na primer ladje. V diplomski nalogi smo se osredotočili na vetrne valove, torej valove ki jih generira veter in njihov vpliv na strižne napetosti pri dnu morja.

Za določitev strižnih napetosti ob dnu zaradi valovanja, je potrebno poznavanje višine in periode valovanja po celotni obravnavani površini ter v vsakem časovnem koraku simulacije. Parametri vetra, ki so pomembni za razvoj valov so hitrost vetra, trajanje vetra in pa privetrisče, ki je v priobalnih območjih kar razdalja med opazovano točko in najbližjo obalo v smeri, od koder piha veter (Žagar, 1999). Na sliki 1 je prikazan val, na katerem so označene njegove značilnosti.



Slika 1: Parametri vala (Deo, 2013)

Parametre valov lahko pridobimo na več različnih načinov. Možna so opazovanja, kjer izkušeni opazovalec oceni višino valov, periodo ter smer valovanja. Drugi način so tako imenovane *in situ* tehnike, kjer parametre valov izmerimo na primer z meritvami na bojah. Morsko površje lahko posnamemo tudi s pomočjo daljinskega zaznavanja. Ker so te tehnike zamudne in drage, je smiselno izdelati matematične modele, ki lahko iz lastnosti računske domene (van Rijn, 1993) in vetra (jakost in smer) ocenijo parametre, potrebne za nadaljnji račun strižnih napetosti ob dnu. Na UL FGG (Katedri za mehaniko tekočin) je v razvoju in uporabi baroklini matematični model PCFLOW3D, sestavljen iz štirih modulov: hidrodinamičnega, transportno-disperzijskega, sedimentacijskega in bio-geokemičnega. Model PCFLOW3D so, predvsem z namenom raziskav na področju transporta onesnažil v Tržaškem zalivu, kjer se že vrsto let ukvarjajo s problematiko prekoračenih količin živega srebra in njegovih spojin, ki pripotujejo z reko Sočo, stalno nadgrajevali, izvedenih pa je bilo tudi nekaj simulacij, kjer so bili upoštevani približno določeni parametri valovanja (Rajar in sod., 2000; Rajar in sod., 2004; Žagar, 1999) Tako so v sedimentacijski modul že vgrajene najenostavnejše enačbe za račun značilne periode in višine valov (Bretschneider, 1952), a je njihova natančnost na priobalnih območjih vprašljiva, saj naj bi bila metoda primerna le za močnejši veter, globoko vodo in popolnoma razvito morje.

1. 2 Hipoteza in cilji naloge

Za določitev strižnih napetosti ob dnu zaradi valovanja, je potrebno poznavanje višine in periode valov po celotni obravnavani površini (gladini) ter v vsakem časovnem koraku simulacije. Za račun teh parametrov so bile doslej razvite številne (največkrat empirične) enačbe in izdelanih je bilo tudi precej matematičnih modelov, eden izmed njih je tudi prosto dostopni, odprtokodni model valovanja tretje generacije SWAN, razvit na Univerzi za tehnologijo v Delftu. Ta sicer daje odlične rezultate, a potrebuje veliko podatkov in je njegovo delovanje zapleteno, zato so tudi časi računanja daljši. Tak model je skoraj nemogoče neposredno vgraditi v drug model (npr. PCFLOW3D), že prenos rezultatov iz enega v drugi model je zahteven. Ravno zaradi tega bomo poiskali in preizkusili druge empirične enačbe različnih avtorjev. Na podlagi opazovanj so bile izdelane tudi grafične metode napovedovanja značilne višine in periode parametrov - nomogrami. Natančnost le-teh je še vedno boljše od izračunov marsikaterega matematičnega modela. Trenutno vgrajene (Bretschneider, 1952) enačbe v sedimentacijskem modulu modela PCFLOW3D veljajo le za globoko vodo, močan veter in popolnoma razvito valovanje, a so takšni pogoji v Tržaškem zalivu redki. Predpostavljamo, da za račun parametrov valovanja na območju Tržaškega zaliva obstajajo boljše metode od trenutno vgrajenih v model PCFLOW3D. V diplomski nalogi bomo zato naredili pregled empiričnih enačb in metod za račun višine in periode valovanja, jih primerjali med seboj ter z nomogrami in najprimernejšo pripravili za vgradnjo in izboljšanje obstoječega modela PCFLOW3D. Najustreznejša metoda naj bi bila hkrati bolj vsestranska (plitva in globoka voda, valovanje omejeno s trajanjem ali privetritščem), natančna (primerjava z nomogrami) in ne preveč računsko potratna.

Glavni cilji naloge so:

- pregled obstoječih metod in enačb za določitev značilne višine in periode vetrnih valov,
- primerjava metod za račun višine in periode valov in
- izbira najustreznejše metode za račun višine in periode valov in priprava za vgradnjo v model PCFLOW3D.

2 METODE

2.1 Enačbe resuspendiranja

Da bi lahko določili strižne napetosti ob dnu zaradi valovanja, moramo poznati višino (H_w) in periodo valov (T_w) po celotni obravnavani površini (gladini) ter v vsakem časovnem koraku simulacije (če se valovanje oz. veter s časom spreminja). Metode za izračun višine in periode valov bomo opisali v poglavju 2.2, tukaj pa bomo prikazali izračun strižnih napetosti pri dnu zaradi valov, ko sta višina in perioda valovanja že znani (van Rijn, 1993)

- najprej iteracijsko določimo valovno dolžino iz enačbe:

$$\left[\frac{L'}{T_w} - \bar{u} \cdot \cos \Phi \right]^2 = \frac{g \cdot L'}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh \frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L'} \quad (1)$$

kjer pomeni h – globino vode, L' – valovno dolžino, ϕ – kot kot med smerjo valov in toka, \bar{u} – po globini povprečno hitrost v izbrani vertikali, H_w – višina vala in T_w – perioda vala.

- sledi izračun reducirane periode valovanja T_r :

$$T_r = \frac{T_w}{1 - \frac{\bar{u} \cdot T_w \cdot \cos \Phi}{L'}} \quad (2)$$

- nato izračunamo še vršno hitrost valovanja $U_{d,p}$ ter vršno amplitudo valovanja $A_{d,p}$:

$$U_{d,p} = \frac{\pi \cdot H_w}{T_r \cdot \sinh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L'}\right)} \quad (3)$$

$$A_{d,p} = \frac{U_{d,p} \cdot T_w}{2 \cdot \pi} \quad (4)$$

- izračunati moramo še koeficient trenja f_w , ki se razlikuje glede na režim toka

$$f_w = 2 \cdot \left(\frac{U_{d,p} \cdot A_{d,p}}{\nu} \right)^{-0.5} \quad \text{za laminarni tok} \quad (5)$$

$$f_w = 0,09 \cdot \left(\frac{U_{d,p} \cdot A_{d,p}}{\nu} \right)^{-0.2} \quad \text{za hidravlično gladki turbulentni tok} \quad (6)$$

$$f_w = \exp \left[-6 + 5,2 \cdot \left(\frac{A_{d,p}}{3 \cdot D_{90}} \right)^{-0,19} \right] \text{ za hidravlično hrapavi turbulentni tok} \quad (7)$$

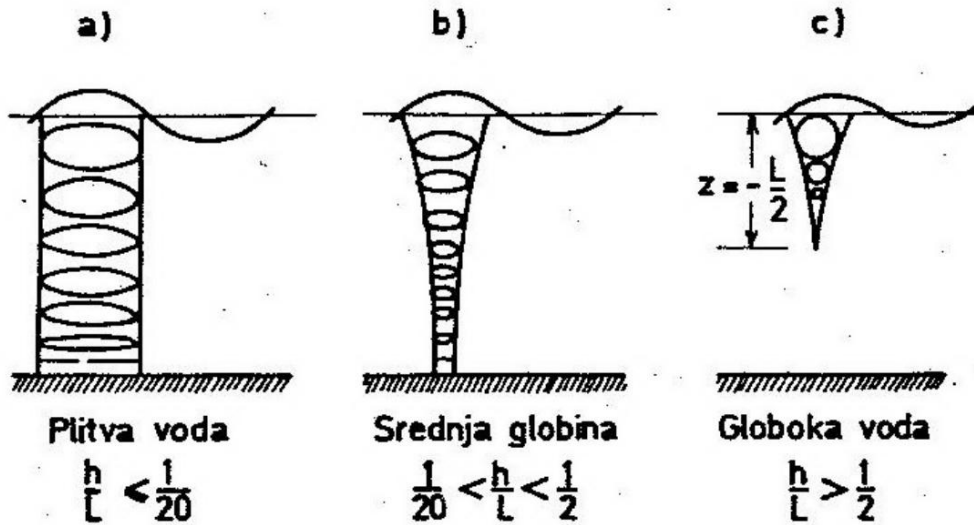
- na koncu nam ostane le še izračun strižne napetosti ob dnu zaradi valovanja $\tau_{b,w}$:

$$\tau_{b,w} = 0,25 \cdot \rho \cdot (U_{d,p})^2 \cdot f_w \quad (8)$$

Končni rezultat, torej dobljene strižne napetosti, je nato potrebno sešteti s strižnimi napetostmi zaradi tokov. Ker so strižne napetosti zaradi valov in strižne napetosti zaradi tokov navadno različno usmerjene, je potrebno tudi poznavanje smeri toka in valovanja, da bi lahko napetosti vektorsko sešteli. Pri računu resuspendiranja materiala nato določimo absolutno vrednost vektorja napetosti in ga primerjamo s kritično strižno napetostjo materiala na dnu, kot je podrobno opisano v literaturi (Žagar, 1999).

2.2 Enačbe valovanja

Obstaja mnogo različnih empiričnih enačb, s katerimi lahko približno izračunamo višine in periode valov. V tem poglavju bomo naredili kratek pregled nekaterih med njimi. Pomembno je dejstvo, da nekatere enačbe veljajo za globoko, druge za plitvo vodo, zato je smiselno razvrstiti valove glede na njihovo relativno globino, ki je definirana kot kvocient globine (h) in valovne dolžine (L) (Rajar, 1980). V diplomski nalogi nas, glede na to, da smo se osredotočili na Tržaški in Koprski zaliv, v glavnem zanimajo valovi v področju srednje globine, ki je definirana v območju ($1/20 < h/L < 1/2$). Iz slike 2 so razvidne trajektorije delcev zaradi valovanja v plitvi vodi, vodi srednje globine in v globoki vodi.



Slika 2: Gibanje delcev pri različnih razmerjih globine in valovne dolžine (Rajar, 1980)

Ko govorimo o valovanju, moramo definirati še dva izraza, ki ju bomo uporabljali v nadaljevanju in sicer valove omejene s privetrisčem in valove omejene s trajanjem. Omejitev je odvisna od tega ali so se valovi uspeli razviti do konca. Če se valovi še niso popolnoma razvili, ker veter ni dovolj dolgo pihal, potem so omejeni s trajanjem, hkrati so pa še vedno odvisni od privetrisča. Če so valovi popolnoma razviti, to pomeni, da so odvisni le od privetrisča (Seck-Hong, 1977).

2.2.1 Metoda Bretschneider (1952), vgrajena v model PCFLOW3D

Bretschneiderjeva enačba (Ippen in sod., 1966 cit. po Bretschneider, 1952) je primerna za globoko vodo, kratka privetrisča in velike hitrosti vetra. Če so ti pogoji izpolnjeni, potem veljata enačbi:

$$H_w = 0,0555 \cdot \sqrt{U^2 \cdot F} \quad (9)$$

$$T_w = 0,5 \cdot \sqrt[4]{U^2 \cdot F} \quad (10)$$

V relacijah oznake pomenijo H_w – višino vala v čevljih [ft], T_w – periodo valovanja [s], F – dolžino privetrisča v navtičnih miljah [mi] ter U – hitrost vetra v vozlih [kn]. Ti enačbi sta trenutno vgrajeni v model PCFLOW3D.

Primer 1: Izračunaj višino in periodo vala pri jakosti vetra 25 m/s in dolžini privetrisča 10 km.

Najprej pretvorimo podatke v imperialne enote in nato izračunamo:

$$U = 25 \text{ m/s} = 46,6 \text{ kn}$$

$$F = 10 \text{ km} = 5,4 \text{ nm}$$

$$H_w = 0,0555 \cdot \sqrt{46,6^2 \cdot 5,4} = 6,01ft = 1,83m$$

$$T_w = 0,5 \cdot \sqrt[4]{46,6^2 \cdot 5,4} = 5,20s$$

2.2.2 Enačbe SMB (Sverdrup – Munk – Bretschneider)

V Priročniku za zaščito obale (The Shore Protection Manual – SPM), ki ga je objavila Ameriška vojska - oddelek za raziskave obale (CERC, 1984), so predlagane enačbe za oceno značilne višine in periode valov. Enačbe so zgrajene na podlagi Bretschneiderjevih (1952) rezultatov.

Za plitvo vodo in pogoje z omejenim privettriščem velja (Homoródi, 2003, cit. po CERC, 1984):

$$H_s = 0,283 \cdot \frac{U_A^2}{g} \tanh[0,530 \cdot (h')^{0,75}] \cdot \tanh \frac{0,00565 \cdot (F')^{0,5}}{\tanh[0,530 \cdot (h')^{0,75}]}, \quad (11)$$

$$T_s = 7,54 \cdot \frac{U_A}{g} \tanh[0,833 \cdot (h')^{0,375}] \tanh \frac{0,0379 \cdot (F')^{0,333}}{\tanh[0,833 \cdot (h')^{0,375}]}, \quad (12)$$

kjer H_s pomeni značilno višino vala [m], T_s – značilno (povprečno) periodo vala [s], U_A – efektivno hitrost vetra [m/s], g – težnostni pospešek [$\frac{m}{s^2}$], h' – brezdimenzijsko globino vode, F' – brezdimenzijsko privettrišče.

Enačbi veljata, če je izpolnjen pogoj, da je trajanje večje od minimalnega trajanja t_{min} [s].

$$t_{min} = \frac{U_A}{g} \cdot 537 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_A} \right)^{\frac{7}{3}} \quad (13)$$

Ker se je izkazalo, da SMB enačbe za plitvo vodo pri majhnih privettriščih precej višino in periodo, sta bila uvedena nova parametra: brezdimenzijska globina vode in brezdimenzijsko privettrišče (CERC, 1984). Brezdimenzijsko globino vode h' in brezdimenzijsko privettrišče F' izračunamo z relacijama:

$$h' = \frac{g \cdot h}{U_A^2}, \quad (14)$$

$$F' = \frac{g \cdot F}{U_A^2}. \quad (15)$$

h označuje globino vode [m], F dolžino privettrišča [m], efektivna hitrost vetra U_A pa je definirana kot

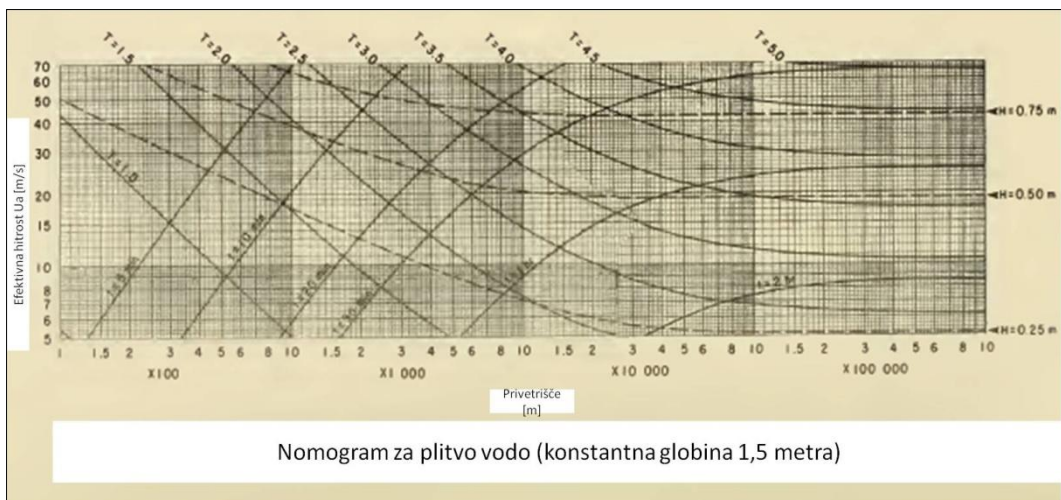
$$U_A = 0,71 \cdot U^{1,23} \quad (16)$$

V enačbi (16) U pomeni hitrost vetra [$\frac{m}{s}$].

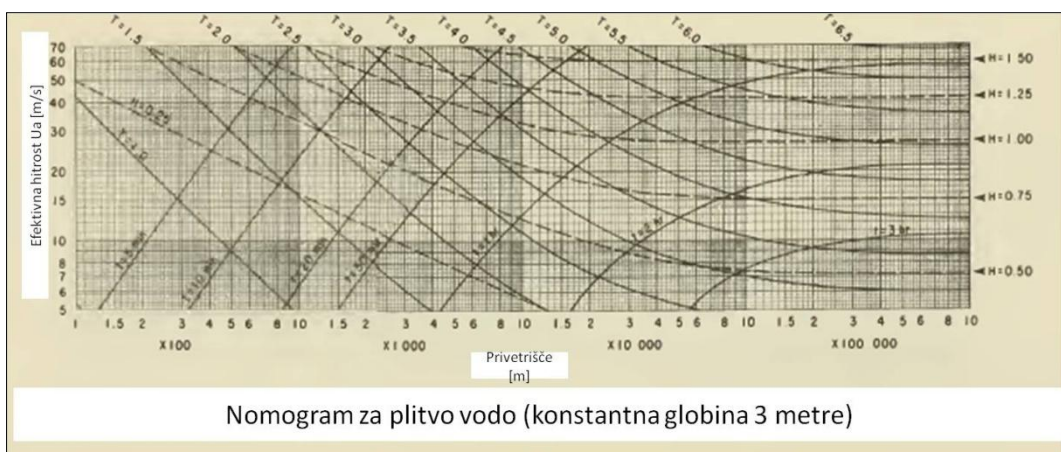
Za SMB enačbe, ki veljajo za plitvo vodo, so bili narejeni tudi nomogrami za točno določene globine, ki so prikazani na slikah 3 – 12.

Primer 2: Efektivna hitrost vetra je 25 m/s, dolžina privetrišča je 10 kilometrov. Odčitaj značilno višino in značilno periodo pri globini 6 metrov.

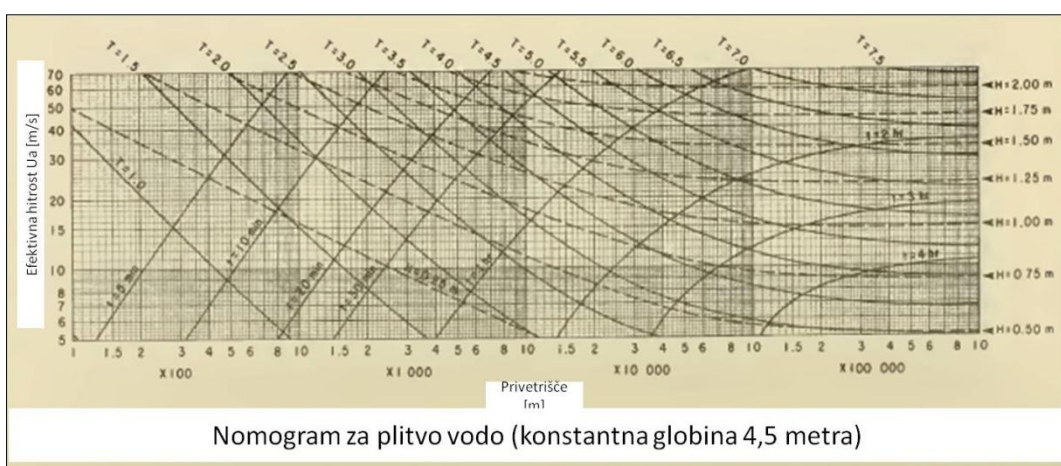
Ker gre za globino 6 metrov, gledamo sliko 6. Na abscisni osi se postavimo na vrednost 10.000 m, na ordinatni pa na vrednost 25 m/s, skozi kateri potegnemo vzporednici s koordinatnima osema in v sečišču interpoliramo vrednosti $H_S = 1,10$ m in $T_S = 3,5$ m. Če obravnavamo globino manjšo od 15 metrov, ki se nahaja med dvema nomogramoma, najprej poiščemo vrednosti v obeh (sosednjih) nomogramih in nato z interpolacijo dobimo rezultat za izbrano globino.



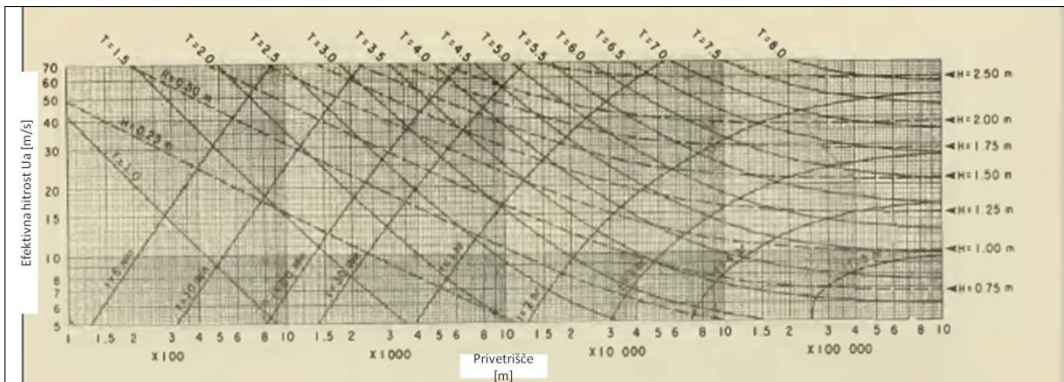
Slika 3: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 1,5 metra) (CERC, 1984)



Slika 4: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 3 metre) (CERC, 1984)

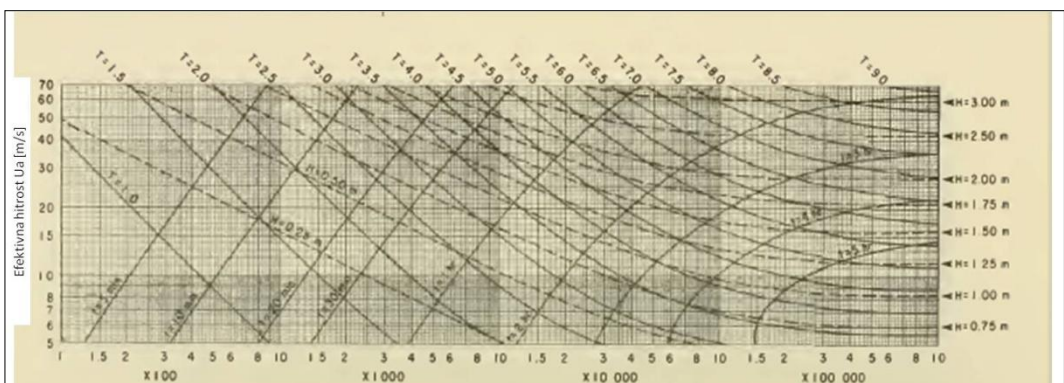


Slika 5: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 4,5 metra) (CERC, 1984)



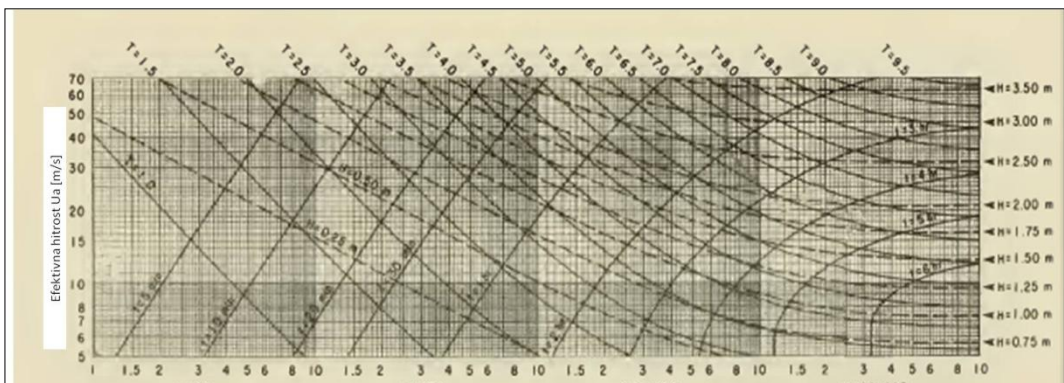
Nomogram za plitvo vodo (konstantna globina 6 metrov)

Slika 6: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 6 metrov) (CERC, 1984)



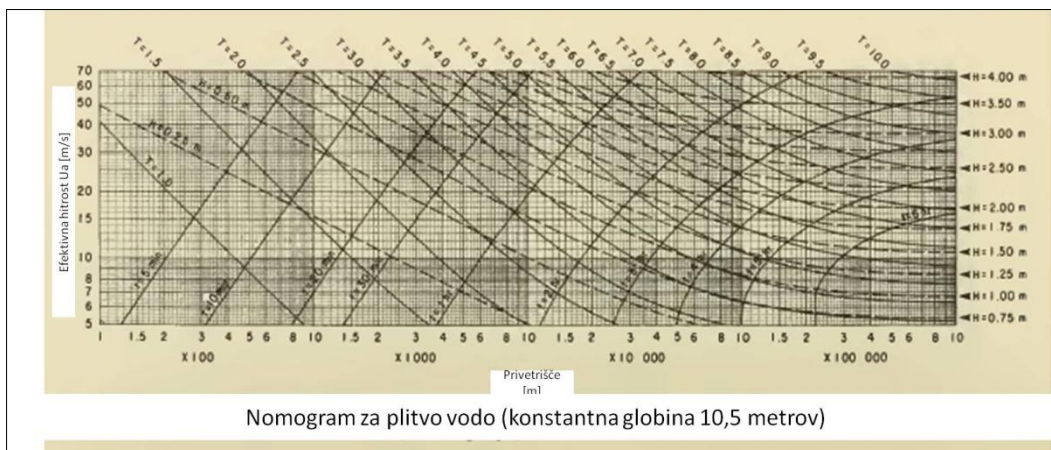
Nomogram za plitvo vodo (konstantna globina 7,5 metrov)

Slika 7: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 7,5 metrov) (CERC, 1984)

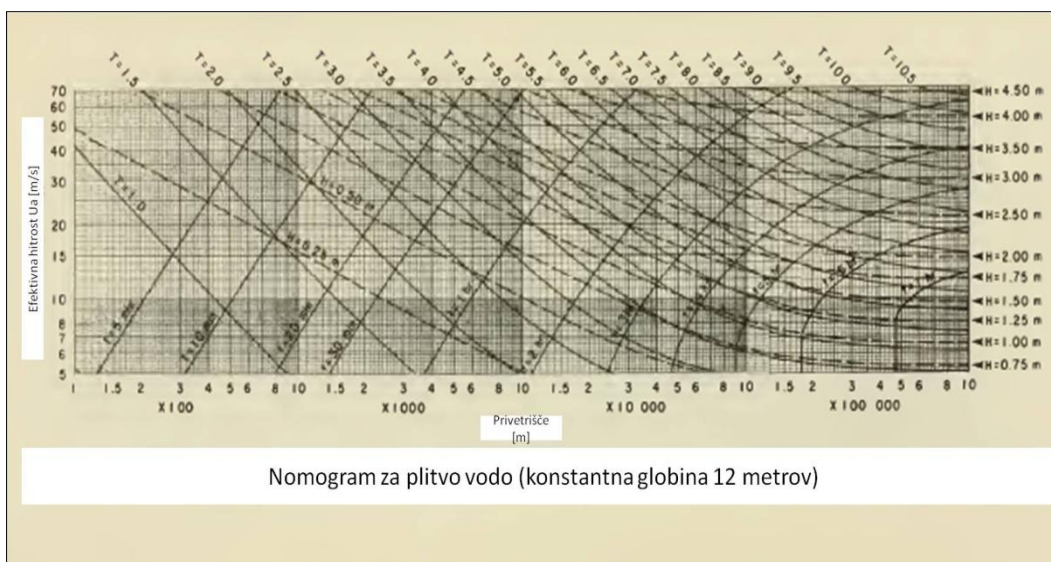


Nomogram za plitvo vodo (konstantna globina 9 metrov)

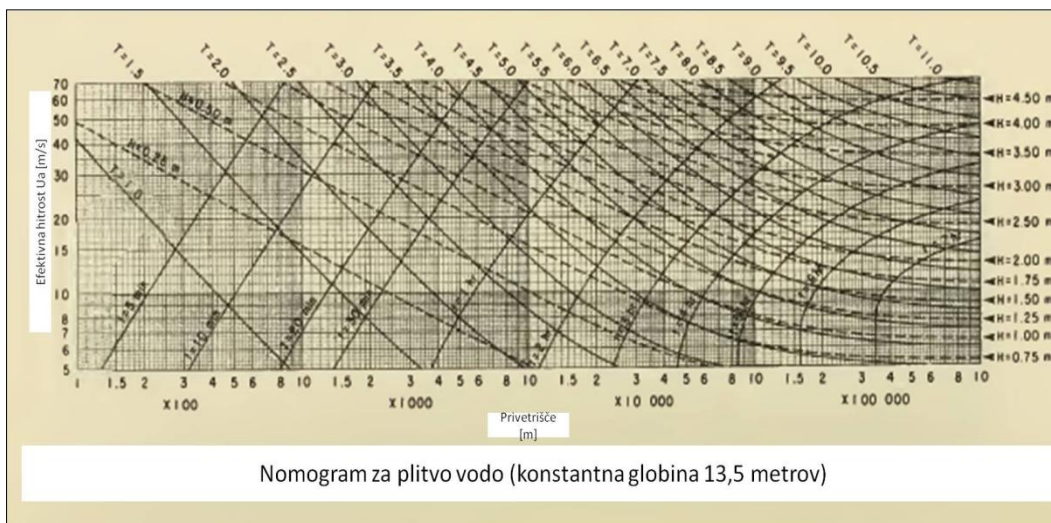
Slika 8: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 9 metrov) (CERC, 1984)



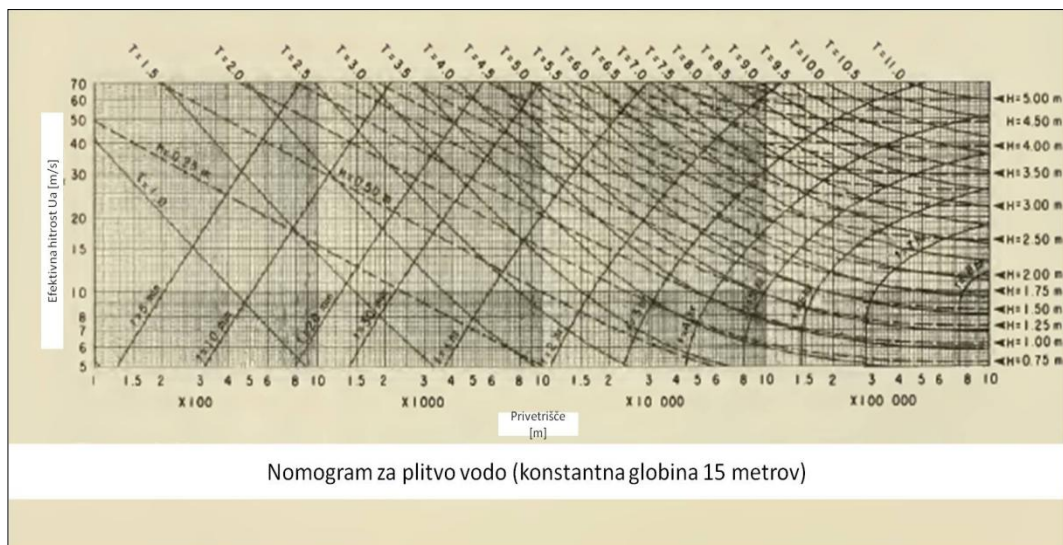
Slika 9: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 10,5 metrov) (CERC, 1984)



Slika 10: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 12 metrov) (CERC, 1984)



Slika 11: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 13,5 metrov) (CERC, 1984)



Slika 12: SMB nomogram za plitvo vodo (globina 15 metrov) (CERC, 1984)

Za globoko vodo (globina več kot 90 metrov) sta bili na podlagi Hasselmannovih raziskovanj (Hasselmann in sod., 1976) dopolnjeni enačbi (17 in 18), ki veljata le, če valovi še niso polno razviti, trajanje vetra pa je večje od t_{min} [s], kot ga izračunamo iz enačbe (19):

$$\frac{g \cdot H_s}{U_A^2} = 0,0016 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot F}{U_A^2}} \quad (17)$$

$$\frac{g \cdot T_s}{U_A} = 0,2857 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2}\right)^{1/3} \quad (18)$$

$$\frac{g \cdot t_{min}}{U_A} = 68,8 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2}\right)^{2/3} \quad (19)$$

Pri polno razvitih valovih velja:

$$\frac{g \cdot H_s}{U_A^2} = 2,433 \cdot 10^{-1} \quad (20)$$

$$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 8,134 \quad (21)$$

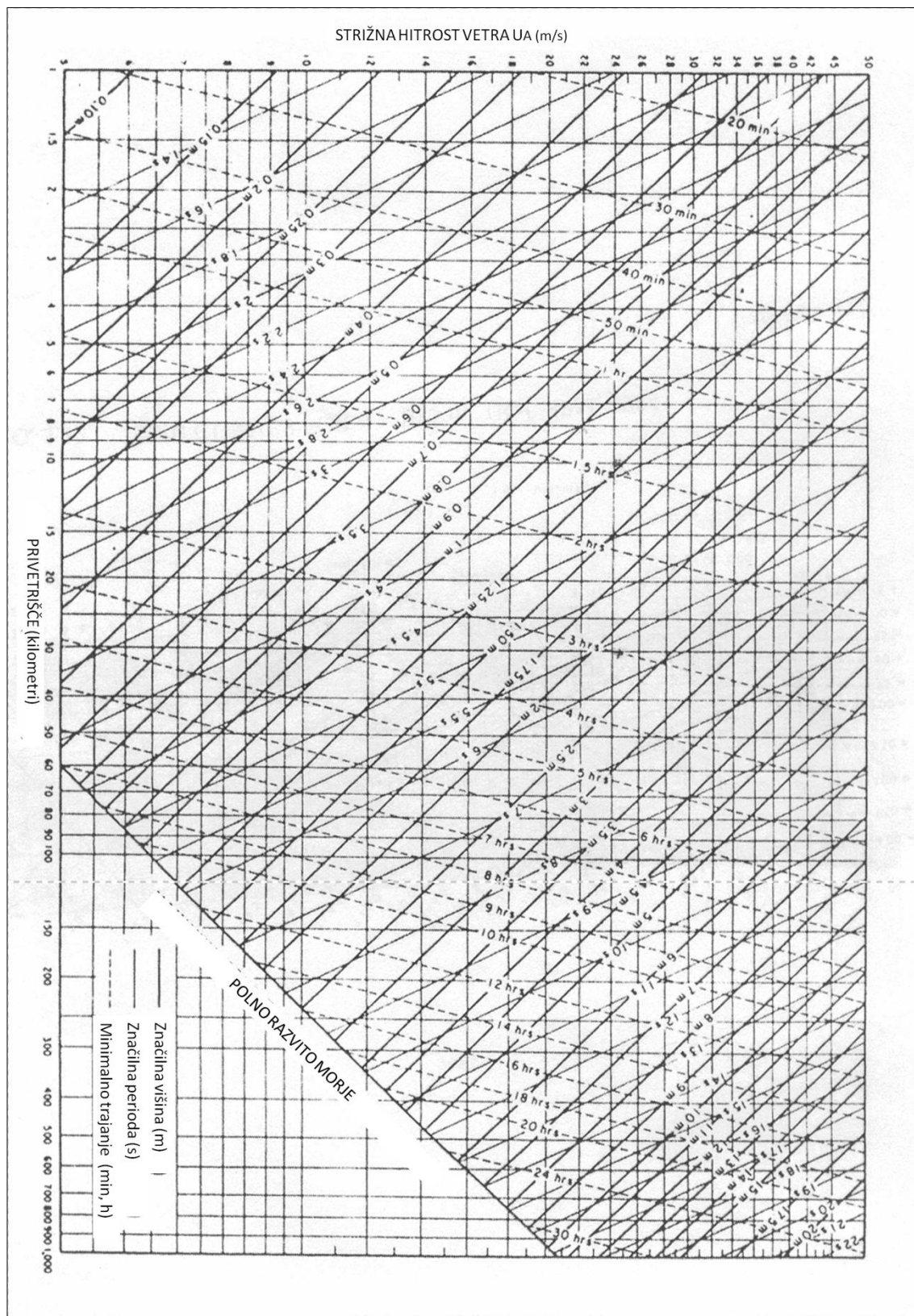
$$\frac{g \cdot t_{min}}{U_A} = 7,15 \cdot 10^4 \quad (22)$$

Na sliki 13 je grafični prikaz SMB enačb za globoko vodo (17 in 18) znan kot SMB krivulje za globoko vodo oziroma SMB nomogram. Uporablja se predvsem, kadar želimo hitro določiti ali gre za valovanje omejeno s privetrisčjem ali valovanje omejeno s trajanjem. Horizontalne črte predstavljajo efektivno hitrost vetra, vertikalne pa dolžino privetrisča. Ti dve skupini skupaj s skupino linij trajanja

predstavljata vhodne podatke, medtem ko so izhodni podatki značilna višina in značilna perioda, ki ju odčitamo oz. interpoliramo v odvisnosti od pogojev (valovi omejeni s trajanjem ali valovi omejeni s privetriščem). Najprej poiščemo presečišče hitrosti vetra in dolžine privetrišča in odčitamo oz. interpoliramo višino in periodo valovanja. V naslednjem koraku poiščemo višino in periodo valovanja glede na presečišče hitrosti in trajanje vetra. Na koncu primerjamo obe interpolirani značilni višini in periodi, ter izberemo par z manjšo vrednostjo.

Primer 2: Iščemo vrednosti značilne periode in značilne višine, če je efektivna hitrost 4 ure trajajočega vetra 25 m/s in privetrišče 10 kilometrov. Ugotovimo lahko še, ali gre za valove omejene s privetriščem ali valove omejene s trajanjem.

Najprej odčitamo višino in periodo pri pogojih, da je veter trajal 4 ure in pihal s hitrostjo 25 m/s. Tako dobimo značilno višino približno 2,6 metra, značilno periodo pa 6,7 sekunde. Nato odčitamo isti vrednosti še pri pogojih, da je veter pihal s hitrostjo 25 m/s pri privetrišču 10 km in dobimo značilno višino 1,25 metra in periodo 3,9 sekunde. Pravilni rezultat predstavljata višina in perioda z manjšimi vrednostmi, torej tisti, ki sta bili računani iz privetrišča in ne iz trajanja vetra: $H_s=1,25\text{m}$ in $T_s=3,9\text{s}$. Govorimo o valovih omejenih s privetriščem.



Slika 13: SMB krivulje za globoko vodo (Deo, 2013; CERC, 1984)

SPM iz leta 1984 podaja tudi nomograme, ki so bili narejeni na podlagi Hasselmannovih raziskovanj. Ti nomogrami veljajo za plitvo in za globoko vodo (sliki 14 in 15).

Primer 3: Efektivna hitrost vetra je 25 m/s, dolžina privetrišča znaša 10 km. Odčitaj vrednosti značilne periode T_s in značilne višine H_s valovanja, (a) v primeru globoke vode in (b) ko je globina vode enaka 6 m.

(a) V primeru globoke vode dobimo rešitev:

$$\frac{g \cdot F}{U_A^2} = \frac{9,81 \cdot 10.000}{25^2} = 156,96$$

Nato se iz te vrednosti na sliki 4 vertikalno premaknemo do linije 'val v globoki vodi' in dobimo enačbo: $\frac{g \cdot H_s}{U_A^2} = 0,021$ iz katere sledi $H_s = 1,33\text{m}$.

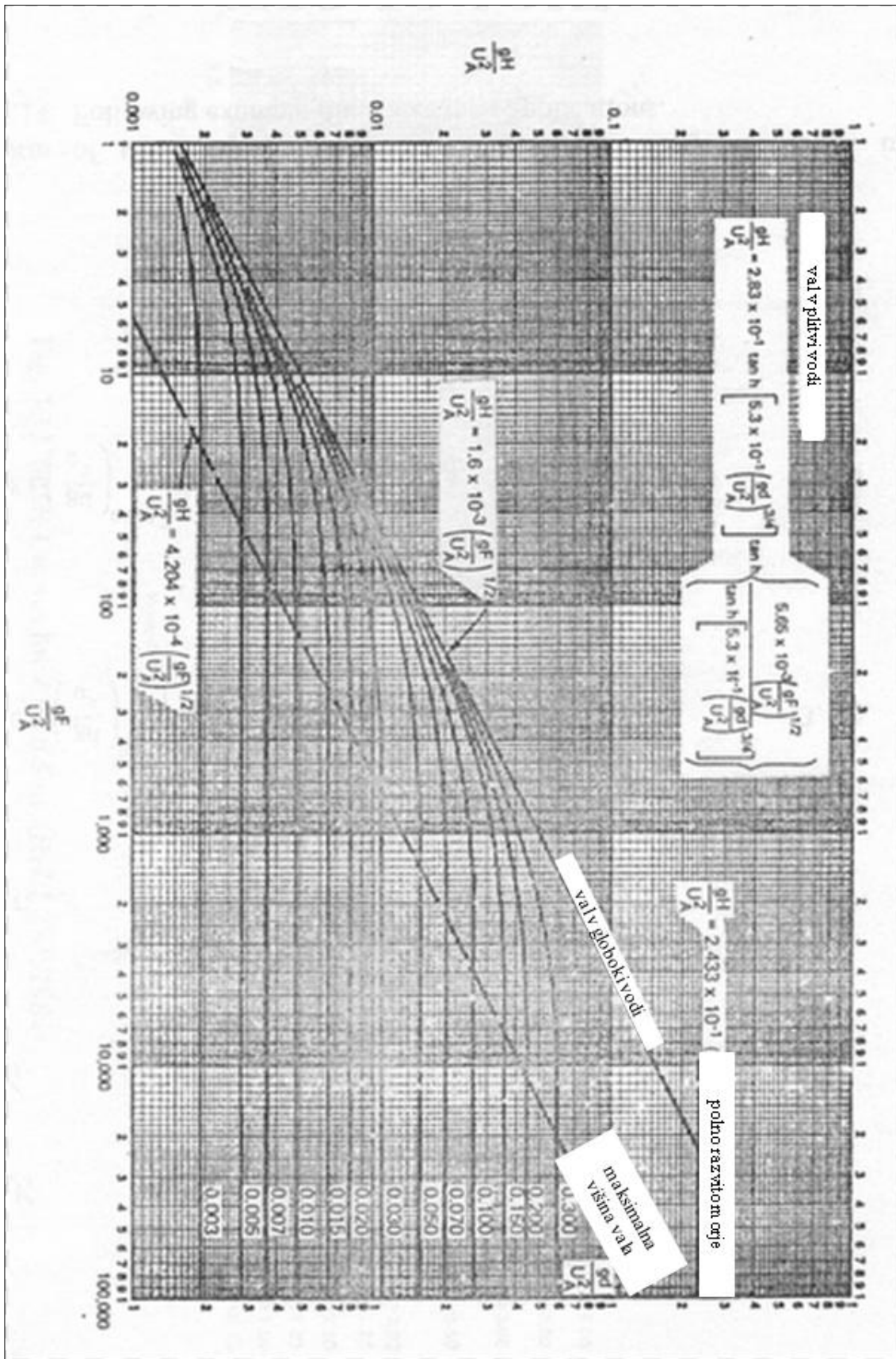
Če sledimo temu postopku, lahko na podoben način iz slike 15 razberemo in izračunamo tudi značilno periodo: $\frac{g \cdot T_s}{U_A} = 1,6$ in tako dobimo $T_s = 4,08\text{s}$.

(b) Za plitvo vodo računamo:

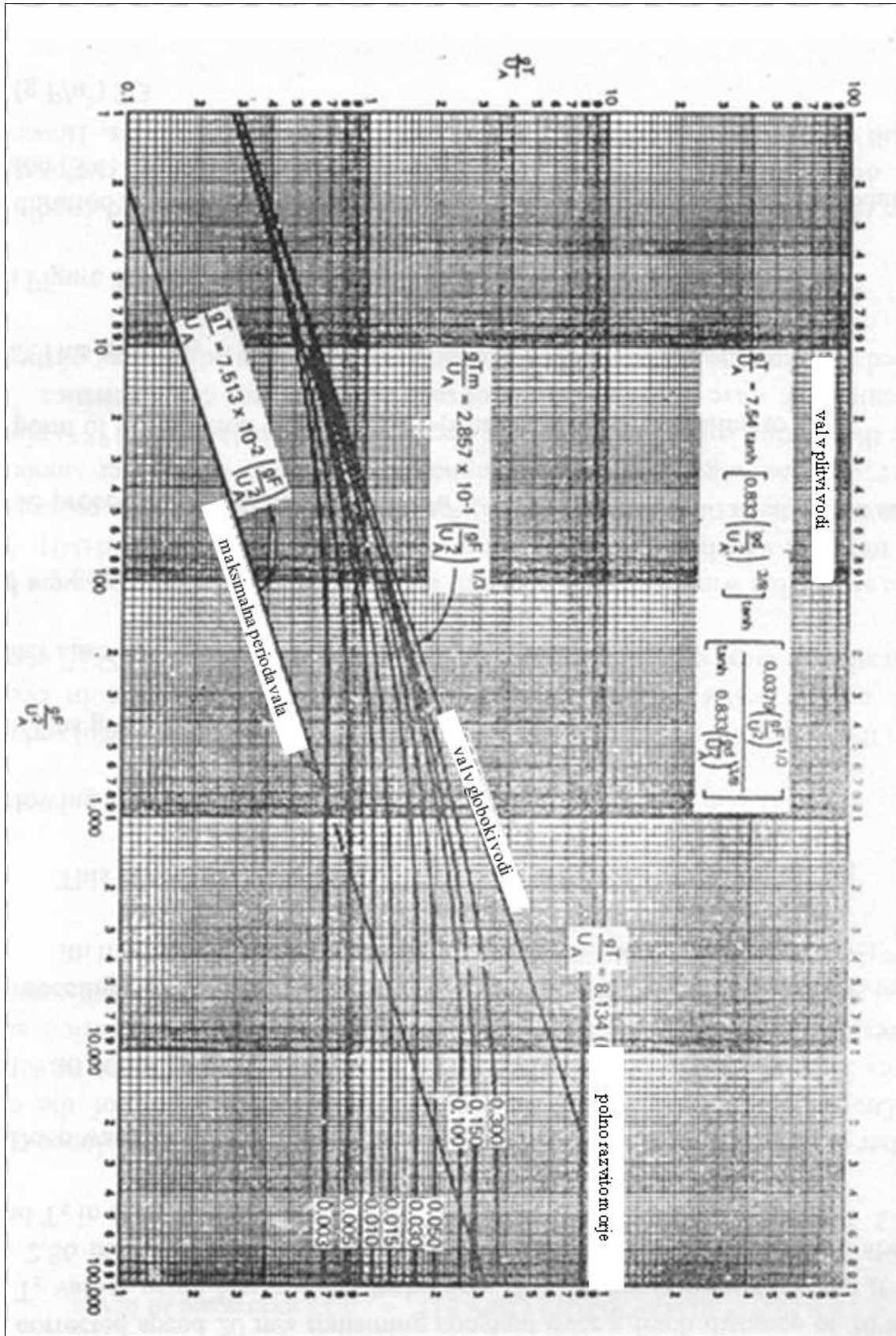
$$\frac{g \cdot h}{U_A^2} = \frac{9,81 \cdot 6}{25^2} = 0,094$$

Iz slike 4, s pomočjo prej izračunane vrednosti $\frac{g \cdot F}{U_A^2} = 156,96$ in na desni strani podanih krivulj (nahajamo se med krivuljo 0,070 ter 0,100) interpoliramo vrednost 0,018, kar nam da značilno višino $H_s = 1,15\text{m}$.

Postopek ponovimo še na sliki 15 in dobimo $\frac{g \cdot T_s}{U_A} = 1,4$. Iz tega sledi $T_s = 3,57\text{s}$.



Slika 14: Hasselmannove krivulje za višino (H) (Deo, 2013; CERC, 1984)



Slika 15: Hasselmannove krivulje za periodo (T) (CERC, 1984)

2.2.3 Wilsonova metoda

Metoda vsebuje enačbo za račun minimalnega trajanja do popolno razvitega morja, če je dano privetrisče. Velja omeniti, da spodnji enačbi veljata le za globoko vodo (Etemad-Shahidi, 2009; Goda, 2003).

$$t_{min} = 43 \cdot \frac{F^{0,73}}{U^{0,46} \cdot g^{0,27}} \quad (23)$$

Pri pogojih, ki jih omejuje privetrisče za izračun značilne višine H_s uporabimo enačbo:

$$\frac{g \cdot H_s}{U^2} = 0.30 \cdot \left\{ 1 - \left[1 + 0,004 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U^2} \right)^{1/2} \right]^{-2} \right\} \quad (24)$$

$$\frac{g \cdot T_s}{2 \cdot \pi \cdot U} = 1,37 \cdot \left\{ 1 - \left[1 + 0,008 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U^2} \right)^{1/3} \right]^{-5} \right\} \quad (25)$$

Oznake v enačbah pomenijo: U – hitrost vetra [$\frac{m}{s}$], t_{min} – minimalni čas[s], F – privetrisče [m], g – težnostni pospešek [$\frac{m}{s^2}$], H_s – značilno višino [m] in T_s – značilno periodo [s].

2.2.4 Metoda Seck-Hong

Metoda predstavlja modificirano različico Wilsonovih enačb za globoko vodo in podaja enačbe, ki so primerne za oba primera: valove omejene s privetrisčem in valove omejene s trajanjem; saj navadno ne vemo, kakšen je konkretni primer, ki ga obravnavamo (Seck-Hong, 1977). Prav ta univerzalnost metode predstavlja pomemben napredek v primerjavi s prej opisanimi enačbami.

Končni enačbi za značilno višino in značilno periodo sta:

$$\frac{g \cdot H_s}{U^2} = 0.30 \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1,0009 + 0,0045 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot F \cdot (1 - e^{-U \cdot t/2,48 \cdot F})}{U^2}} \right]^2} \right\} \quad (26)$$

$$\frac{g \cdot T_s}{U} = 8,60 \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1,0027 + 0,008 \cdot \sqrt[3]{\frac{g \cdot F \cdot (1 - e^{-U \cdot t / 2,48 \cdot F})}{U^2}} \right]^5} \right\} \quad (27)$$

Oznake v enačbah pomenijo: U – hitrost vetra [$\frac{ft}{s}$], t – trajanje vetra [s], F – privetrišče [ft], g – težnostni pospešek [$\frac{ft}{s^2}$], H_s – značilno višino [ft] in T_s – značilno periodo [s].

2.2.5 CEM metoda

Ameriška vojska je v priročniku CEM (The Coastal Engineering Manual) leta 2006 objavila enačbe za določanje parametrov valovanja v globoki vodi (Etemad-Shahidi, 2009, cit. po U.S.Army, 2006)

Da enačba za značilno višino valov velja, morata biti izpolnjena dva pogoja za enakomernost vetra in sicer:

$$|U_i - \bar{U}| < 2,5 \text{ ms}^{-1} \quad (28)$$

$$|D_i - \bar{D}| < 15^\circ \quad (29)$$

\bar{U} in \bar{D} sta povprečni vrednosti hitrosti in smeri vetra v zaporednih predhodnih časovnih korakih (urah), U_i in D_i pa sta hitrost vetra in smer vetra v naslednji uri izbranega časovnega obdobja. To pomeni, da so enačbe veljavne v primeru vetra brez izrazitih sunkov in sprememb smeri, kar npr. v Tržaškem zalivu ni vedno izpolnjeno.

Minimalni čas za vzpostavitev pogojev za valove z omejenim privetriščem je:

$$t_{min} = 77,23 \cdot \frac{F^{0,67}}{U^{0,34} \cdot g^{0,33}} \quad (30)$$

V enačbi U predstavlja hitrost vetra 10 metrov nad morsko gladino [$\frac{m}{s}$]. Enačba za značilno višino se glasi:

$$\frac{g \cdot H_s}{u_*^2} = 4,13 \cdot 10^{-2} \left(\frac{g \cdot F}{u_*^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (31)$$

F pomeni privetrisče [m], g označuje težnostni pospešek [$\frac{m}{s^2}$], t_{min} je minimalni čas [s], u_* je strižna hitrost vetra [$\frac{m}{s}$], njen približek se izračuna po enačbi:

$$u_* = U \cdot (C_D)^{1/2} \quad (32)$$

kjer C_D predstavlja strižni koeficient, definiran kot:

$$C_D = 0,001 \cdot (1,1 + 0,035 \cdot U). \quad (33)$$

V časovno omejenih pogojih pripadajoče privetrisče (F) izračunamo po enačbi:

$$\frac{g \cdot F}{u_*^2} = 5,23 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{g \cdot t}{u_*}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (34)$$

pri čemer t pomeni trajanje vetra [h].

2.2.6 Nomogrami Darbyshire in Draper

Ena izmed široko uporabljenih tehnik predvidevanja oziroma napovedovanja višine in periode valov je tako imenovana Darbyshire in Draper tehnika. Gre za nomograme, narejene na podlagi dolgoletnih opazovanj valov (slike 16 do 19). Darbyshire in Draper podajata nomograme za dve različni situaciji in sicer za globoke vode (*oceanic waters*) in plitve vode oziroma *coastal waters* (do približno 40 metrov globine) (Koutitas, 1988; Deo, 2013). Za njihovo uporabo je potrebno poznavanje hitrosti vetra, privetrisče in trajanje vetra.

Iz nomogramov za višino valov lahko odčitamo vrednost H_{10} , ki pomeni maksimalno višino vala v 10 minutnem časovnem intervalu. Povezava med vrednostjo H_{10} in značilno višino H_s se glasi:

$$H_{10} = 1,6 \cdot H_s \quad (35)$$

Kako Darbyshire in Draper diagrami delujejo bomo pokazali na četrtem primeru:

Primer 4: Iščemo vrednosti značilne periode in značilne višine, če je efektivna hitrost 4 ure trajajočega vetra 25 m/s in privetrisče 10 kilometrov. Izračunaj vrednosti značilne periode T_s in značilne višine H_s valovanja, (a) v primeru globoke vode in (b) če je voda plitva.

(a) Najprej pretvorimo enote, da bomo lažje razbrali vrednosti iz nomogramov.

$$U = 25 \text{ m/s} = 48,6 \text{ kn}$$

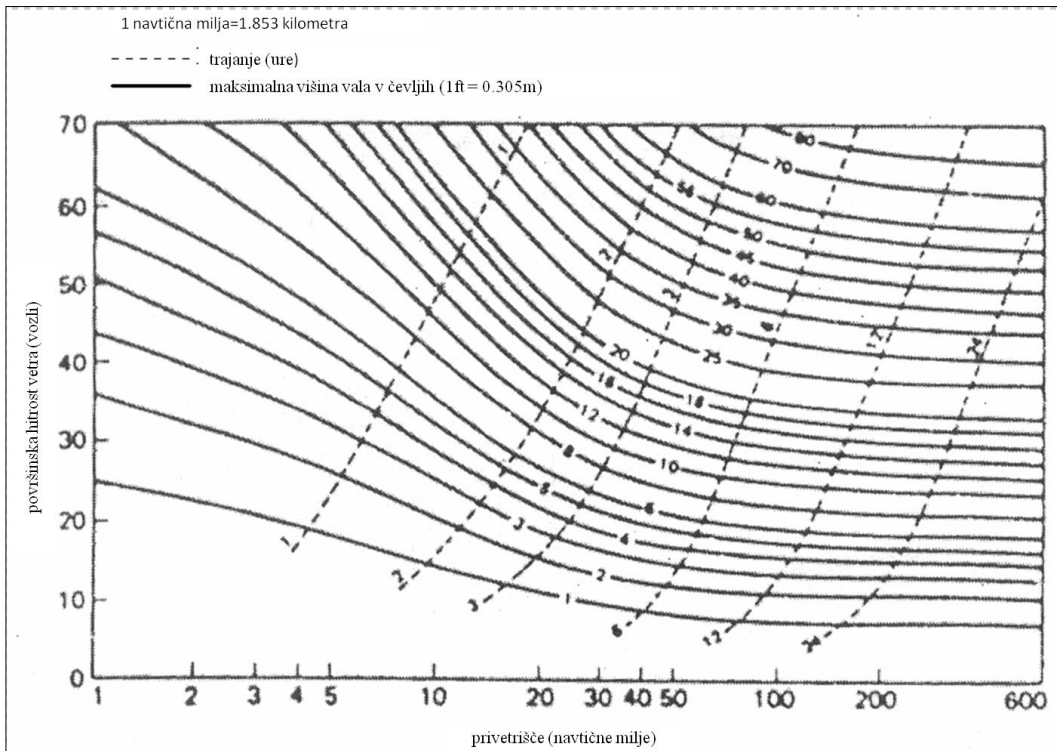
$$F = 10 \text{ km} = 5,4 \text{ nm}$$

Iz slike 16 nato razberemo višino H_{10} , z upoštevanjem hitrosti vetra in dolžine privetrišča. Dobimo $H_{10} = 6 \text{ ft} = 1,83 \text{ m}$. Ko upoštevamo hitrost vetra v kombinaciji s trajanjem pa je $H_{10} = 38 \text{ ft} = 11,58 \text{ m}$. Po Darbyshire in Draper metodi je pravilna manjša vrednost za višino in periodo. Nato z upoštevanjem enačbe (35) izračunamo še $H_S = 1,14 \text{ m}$.

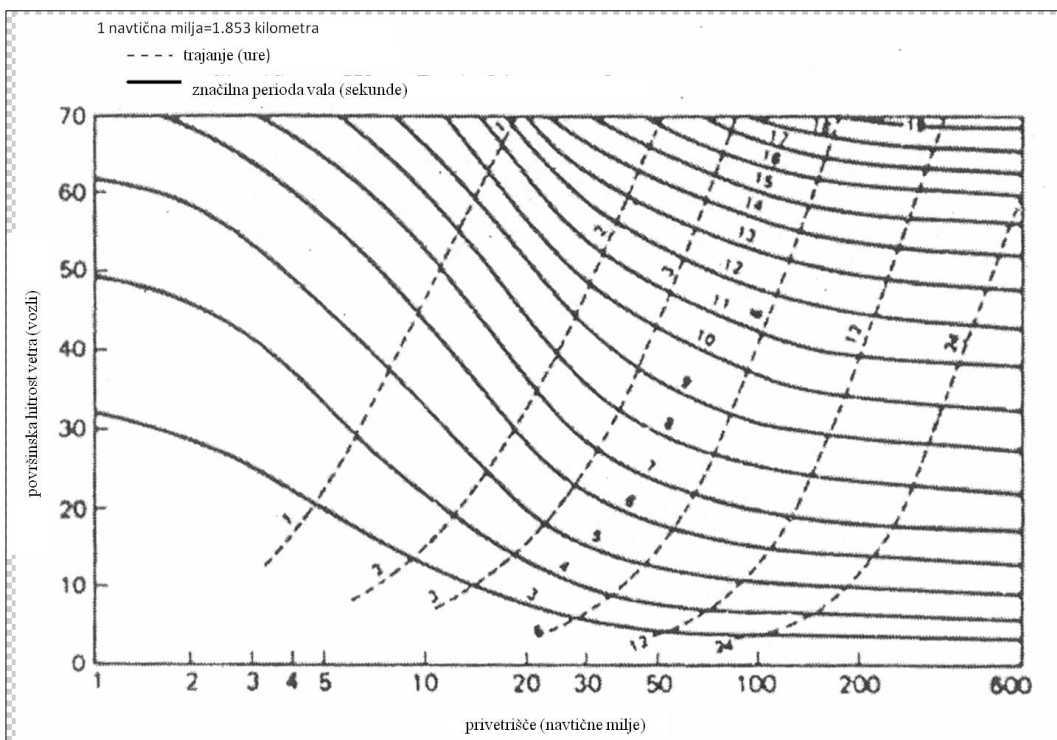
Enako velja tudi za značilno periodo, kjer z upoštevanjem hitrosti vetra in dolžine privetrišča dobimo $T_{S1} = 5,3 \text{ s}$ (slika 17), če upoštevamo pa hitrost vetra skupaj s trajanjem pa dobimo periodo $T_{S2} = 12 \text{ s}$. Ponovno izberemo manjšo vrednost, kar pomeni, da je $T_S = 5,3 \text{ s}$.

- (b) Za plitvo vodo iz slike 18 najprej odčitamo $H_{10} = 6,5 \text{ ft} = 1,98 \text{ m}$, z upoštevanjem trajanja pa $H_{10} = 29 \text{ ft} = 8,84 \text{ m}$; iz slike 19 pa dobimo $T_{S1} = 4,2 \text{ s}$ in $T_{S2} = 9 \text{ s}$. Ponovno izberemo manjši vrednosti ($H_{10} = 6,5 \text{ ft}$ in $T_S = 4,2 \text{ s}$) ter izračunamo še $H_S = 1,23 \text{ m}$.

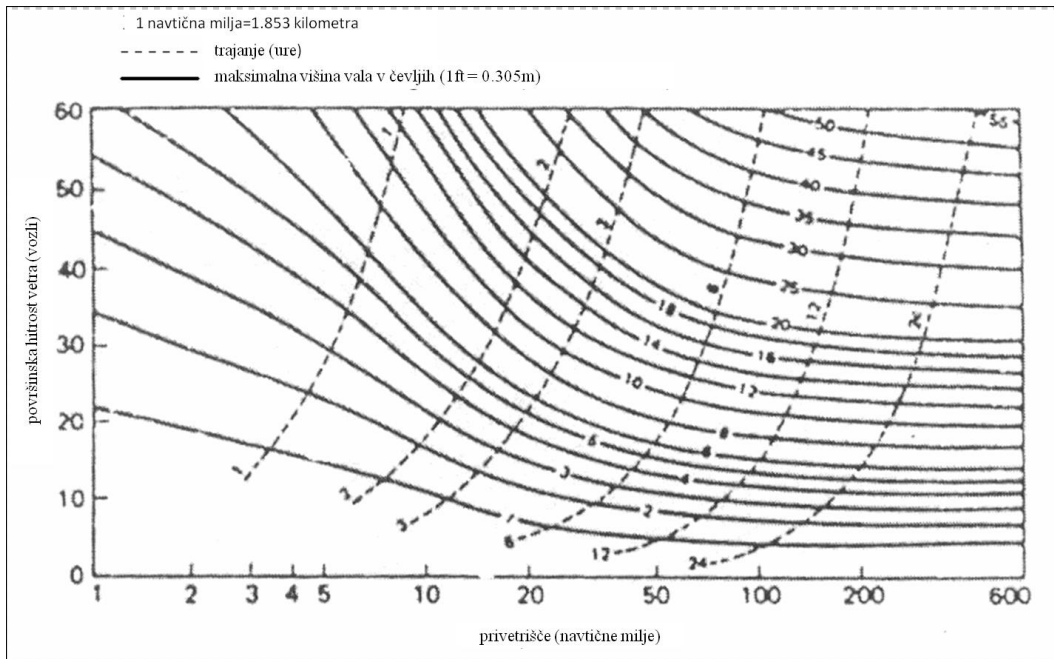
Ko uporabljamo Darbyshire in Draper nomograme, se moramo zavedati, da so uporabni le za valove višje od enega čevlja in periode večje od dveh sekund, saj krivulje ne zajemajo podatkov, izračunanih iz nizkih hitrosti vetra v kombinaciji s poljubno majhnim privetriščem ali trajanjem.



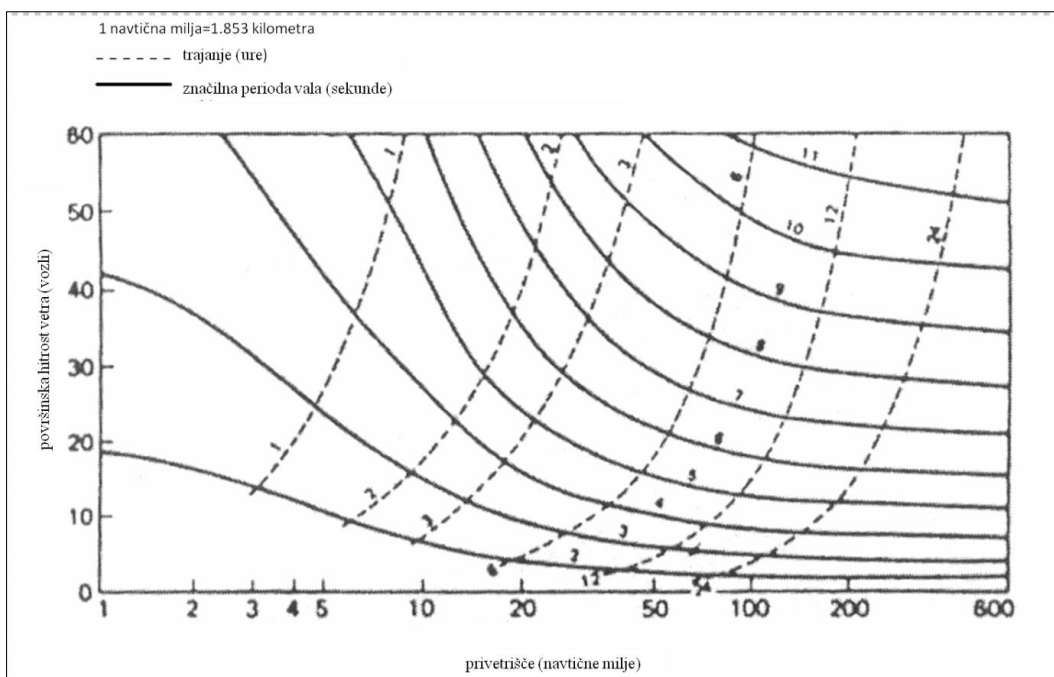
Slika 16: Darbyshire-Draper nomogram za H10 v globoki vodi (Koutitas, 1988)



Slika 17: Darbyshire-Draper nomogram za Ts v globoki vodi (Koutitas, 1988)



Slika 18: Darbyshire-Draper nomogram za H_{10} v plitvi vodi (Koutitas, 1988)



Slika 19: Darbyshire-Draper nomogram za T_s v plitvi vodi (Koutitas, 1988)

3 OPIS IZRAČUNOV V EXCEL-U

Da bi preverili ustreznost vseh empiričnih metod ter jih med seboj primerjali, smo v programu Microsoft Office Excel naredili izračune, pri katerih smo uporabili vhodne podatke, ki so pogosti v Tržaškem zalivu. Tipične globine znašajo 5, 10, 15 in 20 metrov, tipični vetrovi pa so jakosti 6, 12 in 18 m/s. Ker večina enačb ne upošteva trajanja, torej gre za valove omejene s privetriščem, imajo preglednice po 20 stolpcev, v katerih se privetrišče povečuje s korakom 1 km. Vsaka preglednica ima 6 vrstic, po eno za vsako metodo (Bretschneider, SMB za plitvo vodo, SMB za globoko vodo, Wilson za globoko vodo, CEM za globoko vodo in Seck Hong).

Preglednica 1: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 6 m/s in globini vode 5 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
6	5

Hs [m]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,268	0,380	0,465	0,537	0,600	0,658	0,710	0,759	0,805	0,849	0,891	0,930	0,968	1,005	1,040	1,074	1,107	1,139	1,170	1,201
SMB (plitva)	0,103	0,144	0,175	0,201	0,223	0,242	0,259	0,275	0,289	0,303	0,315	0,326	0,337	0,347	0,357	0,366	0,374	0,382	0,390	0,398
SMB (globoka)	0,104	0,147	0,180	0,208	0,232	0,255	0,275	0,294	0,312	0,329	0,345	0,360	0,375	0,389	0,402	0,416	0,428	0,441	0,453	0,465
SMB (polno razvito morje)	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026
Wilson (globoka)	0,132	0,180	0,214	0,242	0,265	0,285	0,303	0,319	0,334	0,347	0,360	0,372	0,383	0,393	0,403	0,412	0,421	0,429	0,437	0,445
CEM (globoka)	0,094	0,134	0,164	0,189	0,211	0,231	0,250	0,267	0,283	0,299	0,313	0,327	0,341	0,354	0,366	0,378	0,390	0,401	0,412	0,423
Seck Hong	0,149	0,201	0,238	0,268	0,293	0,314	0,333	0,350	0,366	0,380	0,393	0,406	0,417	0,428	0,438	0,447	0,456	0,465	0,473	0,481

Ts [s]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	1,99	2,37	2,62	2,82	2,98	3,12	3,24	3,35	3,45	3,54	3,63	3,71	3,78	3,85	3,92	3,98	4,04	4,10	4,16	4,21
SMB (plitva)	1,12	1,38	1,55	1,69	1,79	1,88	1,96	2,03	2,09	2,14	2,19	2,24	2,28	2,32	2,36	2,39	2,42	2,45	2,48	2,51
SMB (globoka)	1,16	1,46	1,67	1,84	1,98	2,11	2,22	2,32	2,41	2,50	2,58	2,65	2,73	2,79	2,86	2,92	2,98	3,04	3,09	3,15
SMB (polno razvito morje)	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33
Wilson (globoka)	1,18	1,43	1,59	1,72	1,82	1,91	1,98	2,05	2,11	2,16	2,21	2,26	2,30	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	1,23	1,48	1,64	1,76	1,86	1,95	2,02	2,09	2,15	2,20	2,25	2,30	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54	2,57

Preglednica 2: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 12 m/s in globini vode 5 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
12	5

Hs [m]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,537	0,759	0,930	1,074	1,201	1,315	1,421	1,519	1,611	1,698	1,781	1,860	1,936	2,009	2,080	2,148	2,214	2,278	2,341	2,402
SMB (plitva)	0,240	0,333	0,402	0,457	0,503	0,543	0,579	0,610	0,638	0,663	0,687	0,708	0,727	0,745	0,762	0,778	0,792	0,806	0,818	0,830
SMB (globoka)	0,244	0,345	0,422	0,487	0,545	0,597	0,645	0,689	0,731	0,771	0,808	0,844	0,879	0,912	0,944	0,975	1,005	1,034	1,062	1,090
SMB (polno razvito morje)	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646
Wilson (globoka)	0,277	0,384	0,464	0,529	0,585	0,634	0,679	0,720	0,758	0,793	0,826	0,858	0,887	0,915	0,942	0,967	0,992	1,016	1,038	1,060
CEM (globoka)	0,204	0,288	0,353	0,407	0,455	0,499	0,539	0,576	0,611	0,644	0,675	0,705	0,734	0,762	0,788	0,814	0,839	0,864	0,887	0,910
Seck Hong	0,317	0,435	0,523	0,595	0,656	0,710	0,759	0,804	0,845	0,883	0,919	0,953	0,984	1,015	1,044	1,071	1,097	1,123	1,147	1,171

Ts [s]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	2,82	3,35	3,71	3,98	4,21	4,41	4,58	4,74	4,88	5,01	5,13	5,24	5,35	5,45	5,54	5,63	5,72	5,80	5,88	5,96
SMB (plitva)	1,49	1,85	2,09	2,27	2,42	2,54	2,65	2,75	2,83	2,91	2,98	3,05	3,11	3,16	3,21	3,26	3,31	3,35	3,39	3,43
SMB (globoka)	1,54	1,94	2,22	2,45	2,63	2,80	2,95	3,08	3,20	3,32	3,43	3,53	3,62	3,71	3,80	3,88	3,96	4,04	4,11	4,18
SMB (polno razvito morje)	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51
Wilson (globoka)	1,56	1,92	2,16	2,35	2,50	2,64	2,75	2,86	2,95	3,03	3,11	3,19	3,26	3,32	3,38	3,44	3,49	3,55	3,60	3,64
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	1,68	2,03	2,27	2,46	2,61	2,74	2,85	2,95	3,04	3,13	3,21	3,28	3,35	3,41	3,47	3,53	3,58	3,63	3,68	3,73

Preglednica 3: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 18 m/s in globini vode 5 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
18	5

Hs [m]

Privetrisčje [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,805	1,139	1,395	1,611	1,801	1,973	2,131	2,278	2,416	2,547	2,672	2,790	2,904	3,014	3,120	3,222	3,321	3,417	3,511	3,602
SMB (plitva)	0,391	0,538	0,643	0,726	0,793	0,849	0,898	0,940	0,977	1,010	1,039	1,065	1,089	1,110	1,129	1,147	1,163	1,178	1,192	1,204
SMB (globoka)	0,401	0,568	0,695	0,803	0,897	0,983	1,062	1,135	1,204	1,269	1,331	1,390	1,447	1,502	1,554	1,605	1,655	1,703	1,749	1,795
SMB (polno razvito morje)	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309
Wilson (globoka)	0,422	0,589	0,714	0,818	0,908	0,988	1,060	1,127	1,189	1,248	1,302	1,354	1,403	1,450	1,495	1,539	1,580	1,620	1,659	1,696
CEM (globoka)	0,326	0,461	0,564	0,652	0,728	0,798	0,862	0,921	0,977	1,030	1,081	1,129	1,175	1,219	1,262	1,303	1,343	1,382	1,420	1,457
Seck Hong	0,490	0,675	0,814	0,929	1,028	1,116	1,196	1,270	1,338	1,401	1,461	1,518	1,572	1,623	1,672	1,719	1,765	1,808	1,850	1,891

Ts [s]

Privetrisčje [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	3,45	4,10	4,54	4,88	5,16	5,40	5,61	5,80	5,98	6,14	6,28	6,42	6,55	6,67	6,79	6,90	7,01	7,11	7,20	7,30
SMB (plitva)	1,76	2,18	2,46	2,68	2,85	3,00	3,13	3,24	3,34	3,43	3,52	3,59	3,66	3,73	3,79	3,85	3,90	3,95	4,00	4,04
SMB (globoka)	1,82	2,29	2,62	2,89	3,11	3,31	3,48	3,64	3,78	3,92	4,05	4,16	4,28	4,38	4,49	4,58	4,68	4,77	4,85	4,94
SMB (polno razvito morje)	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60
Wilson (globoka)	1,83	2,26	2,56	2,78	2,97	3,14	3,28	3,41	3,53	3,63	3,73	3,83	3,91	4,00	4,07	4,15	4,22	4,28	4,35	4,41
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	2,01	2,44	2,73	2,95	3,14	3,30	3,44	3,57	3,68	3,79	3,89	3,98	4,06	4,14	4,22	4,29	4,36	4,43	4,49	4,55

Preglednica 4: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 6 m/s in globini vode 10 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
6	10

Hs [m]

Privetrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,268	0,380	0,465	0,537	0,600	0,658	0,710	0,759	0,805	0,849	0,891	0,930	0,968	1,005	1,040	1,074	1,107	1,139	1,170	1,201
SMB (plitva)	0,103	0,146	0,178	0,204	0,227	0,248	0,267	0,284	0,300	0,315	0,329	0,342	0,355	0,367	0,378	0,389	0,399	0,409	0,419	0,428
SMB (globoka)	0,104	0,147	0,180	0,208	0,232	0,255	0,275	0,294	0,312	0,329	0,345	0,360	0,375	0,389	0,402	0,416	0,428	0,441	0,453	0,465
SMB (polno razvito morje)	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026
Wilson (globoka)	0,132	0,180	0,214	0,242	0,265	0,285	0,303	0,319	0,334	0,347	0,360	0,372	0,383	0,393	0,403	0,412	0,421	0,429	0,437	0,445
CEM (globoka)	0,094	0,134	0,164	0,189	0,211	0,231	0,250	0,267	0,283	0,299	0,313	0,327	0,341	0,354	0,366	0,378	0,390	0,401	0,412	0,423
Seck Hong	0,149	0,201	0,238	0,268	0,293	0,314	0,333	0,350	0,366	0,380	0,393	0,406	0,417	0,428	0,438	0,447	0,456	0,465	0,473	0,481

Ts [s]

Privetrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	1,99	2,37	2,62	2,82	2,98	3,12	3,24	3,35	3,45	3,54	3,63	3,71	3,78	3,85	3,92	3,98	4,04	4,10	4,16	4,21
SMB (plitva)	1,13	1,40	1,58	1,72	1,83	1,93	2,02	2,09	2,16	2,22	2,27	2,33	2,37	2,42	2,46	2,50	2,53	2,57	2,60	2,63
SMB (globoka)	1,16	1,46	1,67	1,84	1,98	2,11	2,22	2,32	2,41	2,50	2,58	2,65	2,73	2,79	2,86	2,92	2,98	3,04	3,09	3,15
SMB (polno razvito morje)	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33
Wilson (globoka)	1,18	1,43	1,59	1,72	1,82	1,91	1,98	2,05	2,11	2,16	2,21	2,26	2,30	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	1,23	1,48	1,64	1,76	1,86	1,95	2,02	2,09	2,15	2,20	2,25	2,30	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54	2,57

Preglednica 5: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 12 m/s in globini vode 10 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
12	10

Hs [m]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,537	0,759	0,930	1,074	1,201	1,315	1,421	1,519	1,611	1,698	1,781	1,860	1,936	2,009	2,080	2,148	2,214	2,278	2,341	2,402
SMB (plitva)	0,242	0,340	0,414	0,476	0,529	0,576	0,618	0,657	0,693	0,727	0,758	0,787	0,815	0,841	0,866	0,889	0,912	0,933	0,954	0,974
SMB (globoka)	0,244	0,345	0,422	0,487	0,545	0,597	0,645	0,689	0,731	0,771	0,808	0,844	0,879	0,912	0,944	0,975	1,005	1,034	1,062	1,090
SMB (polno razvito morje)	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646
Wilson (globoka)	0,277	0,384	0,464	0,529	0,585	0,634	0,679	0,720	0,758	0,793	0,826	0,858	0,887	0,915	0,942	0,967	0,992	1,016	1,038	1,060
CEM (globoka)	0,204	0,288	0,353	0,407	0,455	0,499	0,539	0,576	0,611	0,644	0,675	0,705	0,734	0,762	0,788	0,814	0,839	0,864	0,887	0,910
Seck Hong	0,317	0,435	0,523	0,595	0,656	0,710	0,759	0,804	0,845	0,883	0,919	0,953	0,984	1,015	1,044	1,071	1,097	1,123	1,147	1,171

Ts [s]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	2,82	3,35	3,71	3,98	4,21	4,41	4,58	4,74	4,88	5,01	5,13	5,24	5,35	5,45	5,54	5,63	5,72	5,80	5,88	5,96
SMB (plitva)	1,51	1,88	2,13	2,33	2,49	2,62	2,74	2,85	2,95	3,04	3,12	3,19	3,26	3,33	3,39	3,45	3,50	3,56	3,61	3,65
SMB (globoka)	1,54	1,94	2,22	2,45	2,63	2,80	2,95	3,08	3,20	3,32	3,43	3,53	3,62	3,71	3,80	3,88	3,96	4,04	4,11	4,18
SMB (polno razvito morje)	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51
Wilson (globoka)	1,56	1,92	2,16	2,35	2,50	2,64	2,75	2,86	2,95	3,03	3,11	3,19	3,26	3,32	3,38	3,44	3,49	3,55	3,60	3,64
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	1,68	2,03	2,27	2,46	2,61	2,74	2,85	2,95	3,04	3,13	3,21	3,28	3,35	3,41	3,47	3,53	3,58	3,63	3,68	3,73

Preglednica 6: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 18 m/s in globini vode 10 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
18	10

Hs [m]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,805	1,139	1,395	1,611	1,801	1,973	2,131	2,278	2,416	2,547	2,672	2,790	2,904	3,014	3,120	3,222	3,321	3,417	3,511	3,602
SMB (plitva)	0,397	0,557	0,675	0,773	0,856	0,929	0,995	1,055	1,109	1,159	1,205	1,249	1,289	1,327	1,362	1,396	1,428	1,458	1,486	1,513
SMB (globoka)	0,401	0,568	0,695	0,803	0,897	0,983	1,062	1,135	1,204	1,269	1,331	1,390	1,447	1,502	1,554	1,605	1,655	1,703	1,749	1,795
SMB (polno razvito morje)	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309
Wilson (globoka)	0,422	0,589	0,714	0,818	0,908	0,988	1,060	1,127	1,189	1,248	1,302	1,354	1,403	1,450	1,495	1,539	1,580	1,620	1,659	1,696
CEM (globoka)	0,326	0,461	0,564	0,652	0,728	0,798	0,862	0,921	0,977	1,030	1,081	1,129	1,175	1,219	1,262	1,303	1,343	1,382	1,420	1,457
Seck Hong	0,490	0,675	0,814	0,929	1,028	1,116	1,196	1,270	1,338	1,401	1,461	1,518	1,572	1,623	1,672	1,719	1,765	1,808	1,850	1,891

Ts [s]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	3,45	4,10	4,54	4,88	5,16	5,40	5,61	5,80	5,98	6,14	6,28	6,42	6,55	6,67	6,79	6,90	7,01	7,11	7,20	7,30
SMB (plitva)	1,78	2,22	2,52	2,75	2,94	3,11	3,25	3,38	3,49	3,60	3,69	3,78	3,87	3,94	4,02	4,09	4,15	4,22	4,27	4,33
SMB (globoka)	1,82	2,29	2,62	2,89	3,11	3,31	3,48	3,64	3,78	3,92	4,05	4,16	4,28	4,38	4,49	4,58	4,68	4,77	4,85	4,94
SMB (polno razvito morje)	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60
Wilson (globoka)	1,83	2,26	2,56	2,78	2,97	3,14	3,28	3,41	3,53	3,63	3,73	3,83	3,91	4,00	4,07	4,15	4,22	4,28	4,35	4,41
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	2,01	2,44	2,73	2,95	3,14	3,30	3,44	3,57	3,68	3,79	3,89	3,98	4,06	4,14	4,22	4,29	4,36	4,43	4,49	4,55

Preglednica 7: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 6 m/s in globini vode 15 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
6	15

Hs [m]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,268	0,380	0,465	0,537	0,600	0,658	0,710	0,759	0,805	0,849	0,891	0,930	0,968	1,005	1,040	1,074	1,107	1,139	1,170	1,201
SMB (plitva)	0,104	0,146	0,178	0,205	0,228	0,250	0,269	0,286	0,303	0,318	0,333	0,346	0,359	0,372	0,384	0,395	0,406	0,416	0,427	0,436
SMB (globoka)	0,104	0,147	0,180	0,208	0,232	0,255	0,275	0,294	0,312	0,329	0,345	0,360	0,375	0,389	0,402	0,416	0,428	0,441	0,453	0,465
SMB (polno razvito morje)	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026
Wilson (globoka)	0,132	0,180	0,214	0,242	0,265	0,285	0,303	0,319	0,334	0,347	0,360	0,372	0,383	0,393	0,403	0,412	0,421	0,429	0,437	0,445
CEM (globoka)	0,094	0,134	0,164	0,189	0,211	0,231	0,250	0,267	0,283	0,299	0,313	0,327	0,341	0,354	0,366	0,378	0,390	0,401	0,412	0,423
Seck Hong	0,149	0,201	0,238	0,268	0,293	0,314	0,333	0,350	0,366	0,380	0,393	0,406	0,417	0,428	0,438	0,447	0,456	0,465	0,473	0,481

Ts [s]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	1,99	2,37	2,62	2,82	2,98	3,12	3,24	3,35	3,45	3,54	3,63	3,71	3,78	3,85	3,92	3,98	4,04	4,10	4,16	4,21
SMB (plitva)	1,13	1,40	1,59	1,73	1,85	1,95	2,04	2,11	2,18	2,25	2,31	2,36	2,41	2,45	2,50	2,54	2,58	2,61	2,65	2,68
SMB (globoka)	1,16	1,46	1,67	1,84	1,98	2,11	2,22	2,32	2,41	2,50	2,58	2,65	2,73	2,79	2,86	2,92	2,98	3,04	3,09	3,15
SMB (polno razvito morje)	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33
Wilson (globoka)	1,18	1,43	1,59	1,72	1,82	1,91	1,98	2,05	2,11	2,16	2,21	2,26	2,30	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	1,23	1,48	1,64	1,76	1,86	1,95	2,02	2,09	2,15	2,20	2,25	2,30	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54	2,57

Preglednica 8: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 12 m/s in globini vode 15 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
12	15

Hs [m]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,537	0,759	0,930	1,074	1,201	1,315	1,421	1,519	1,611	1,698	1,781	1,860	1,936	2,009	2,080	2,148	2,214	2,278	2,341	2,402
SMB (plitva)	0,243	0,342	0,418	0,481	0,535	0,585	0,629	0,671	0,709	0,745	0,779	0,811	0,841	0,870	0,897	0,924	0,949	0,974	0,997	1,020
SMB (globoka)	0,244	0,345	0,422	0,487	0,545	0,597	0,645	0,689	0,731	0,771	0,808	0,844	0,879	0,912	0,944	0,975	1,005	1,034	1,062	1,090
SMB (polno razvito morje)	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646
Wilson (globoka)	0,277	0,384	0,464	0,529	0,585	0,634	0,679	0,720	0,758	0,793	0,826	0,858	0,887	0,915	0,942	0,967	0,992	1,016	1,038	1,060
CEM (globoka)	0,204	0,288	0,353	0,407	0,455	0,499	0,539	0,576	0,611	0,644	0,675	0,705	0,734	0,762	0,788	0,814	0,839	0,864	0,887	0,910
Seck Hong	0,317	0,435	0,523	0,595	0,656	0,710	0,759	0,804	0,845	0,883	0,919	0,953	0,984	1,015	1,044	1,071	1,097	1,123	1,147	1,171

Ts [s]

Privetrisče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	2,82	3,35	3,71	3,98	4,21	4,41	4,58	4,74	4,88	5,01	5,13	5,24	5,35	5,45	5,54	5,63	5,72	5,80	5,88	5,96
SMB (plitva)	1,52	1,89	2,15	2,35	2,52	2,66	2,78	2,90	3,00	3,09	3,18	3,26	3,33	3,40	3,47	3,53	3,59	3,64	3,70	3,75
SMB (globoka)	1,54	1,94	2,22	2,45	2,63	2,80	2,95	3,08	3,20	3,32	3,43	3,53	3,62	3,71	3,80	3,88	3,96	4,04	4,11	4,18
SMB (polno razvito morje)	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51
Wilson (globoka)	1,56	1,92	2,16	2,35	2,50	2,64	2,75	2,86	2,95	3,03	3,11	3,19	3,26	3,32	3,38	3,44	3,49	3,55	3,60	3,64
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	1,68	2,03	2,27	2,46	2,61	2,74	2,85	2,95	3,04	3,13	3,21	3,28	3,35	3,41	3,47	3,53	3,58	3,63	3,68	3,73

Preglednica 9: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 18 m/s in globini vode 15 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
18	15

H_s [m]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,805	1,139	1,395	1,611	1,801	1,973	2,131	2,278	2,416	2,547	2,672	2,790	2,904	3,014	3,120	3,222	3,321	3,417	3,511	3,602
SMB (plitva)	0,399	0,561	0,684	0,786	0,874	0,952	1,024	1,089	1,149	1,205	1,258	1,308	1,354	1,399	1,441	1,481	1,520	1,556	1,592	1,625
SMB (globoka)	0,401	0,568	0,695	0,803	0,897	0,983	1,062	1,135	1,204	1,269	1,331	1,390	1,447	1,502	1,554	1,605	1,655	1,703	1,749	1,795
SMB (polno razvito morje)	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309
Wilson (globoka)	0,422	0,589	0,714	0,818	0,908	0,988	1,060	1,127	1,189	1,248	1,302	1,354	1,403	1,450	1,495	1,539	1,580	1,620	1,659	1,696
CEM (globoka)	0,326	0,461	0,564	0,652	0,728	0,798	0,862	0,921	0,977	1,030	1,081	1,129	1,175	1,219	1,262	1,303	1,343	1,382	1,420	1,457
Seck Hong	0,490	0,675	0,814	0,929	1,028	1,116	1,196	1,270	1,338	1,401	1,461	1,518	1,572	1,623	1,672	1,719	1,765	1,808	1,850	1,891

T_s [s]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	3,45	4,10	4,54	4,88	5,16	5,40	5,61	5,80	5,98	6,14	6,28	6,42	6,55	6,67	6,79	6,90	7,01	7,11	7,20	7,30
SMB (plitva)	1,79	2,24	2,54	2,78	2,98	3,15	3,30	3,43	3,55	3,67	3,77	3,86	3,95	4,04	4,12	4,19	4,26	4,33	4,39	4,45
SMB (globoka)	1,82	2,29	2,62	2,89	3,11	3,31	3,48	3,64	3,78	3,92	4,05	4,16	4,28	4,38	4,49	4,58	4,68	4,77	4,85	4,94
SMB (polno razvito morje)	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60
Wilson (globoka)	1,83	2,26	2,56	2,78	2,97	3,14	3,28	3,41	3,53	3,63	3,73	3,83	3,91	4,00	4,07	4,15	4,22	4,28	4,35	4,41
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	2,01	2,44	2,73	2,95	3,14	3,30	3,44	3,57	3,68	3,79	3,89	3,98	4,06	4,14	4,22	4,29	4,36	4,43	4,49	4,55

Preglednica 10: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 6 m/s in globini vode 20 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
6	20

Hs [m]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Metoda																					
Bretschneider (globoka)	0,268	0,380	0,465	0,537	0,600	0,658	0,710	0,759	0,805	0,849	0,891	0,930	0,968	1,005	1,040	1,074	1,107	1,139	1,170	1,201	
SMB (plitva)	0,104	0,146	0,178	0,205	0,229	0,250	0,269	0,287	0,304	0,319	0,334	0,348	0,361	0,374	0,386	0,397	0,408	0,419	0,429	0,439	
SMB (globoka)	0,104	0,147	0,180	0,208	0,232	0,255	0,275	0,294	0,312	0,329	0,345	0,360	0,375	0,389	0,402	0,416	0,428	0,441	0,453	0,465	
SMB (polno razvito morje)	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	
Wilson (globoka)	0,132	0,180	0,214	0,242	0,265	0,285	0,303	0,319	0,334	0,347	0,360	0,372	0,383	0,393	0,403	0,412	0,421	0,429	0,437	0,445	
CEM (globoka)	0,094	0,134	0,164	0,189	0,211	0,231	0,250	0,267	0,283	0,299	0,313	0,327	0,341	0,354	0,366	0,378	0,390	0,401	0,412	0,423	
Seck Hong	0,149	0,201	0,238	0,268	0,293	0,314	0,333	0,350	0,366	0,380	0,393	0,406	0,417	0,428	0,438	0,447	0,456	0,465	0,473	0,481	

Ts [s]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Metoda																					
Bretschneider (globoka)	1,99	2,37	2,62	2,82	2,98	3,12	3,24	3,35	3,45	3,54	3,63	3,71	3,78	3,85	3,92	3,98	4,04	4,10	4,16	4,21	
SMB (plitva)	1,13	1,41	1,60	1,74	1,86	1,96	2,05	2,13	2,20	2,26	2,32	2,38	2,43	2,47	2,52	2,56	2,60	2,64	2,67	2,71	
SMB (globoka)	1,16	1,46	1,67	1,84	1,98	2,11	2,22	2,32	2,41	2,50	2,58	2,65	2,73	2,79	2,86	2,92	2,98	3,04	3,09	3,15	
SMB (polno razvito morje)	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	5,33	
Wilson (globoka)	1,18	1,43	1,59	1,72	1,82	1,91	1,98	2,05	2,11	2,16	2,21	2,26	2,30	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54	
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
Seck Hong	1,23	1,48	1,64	1,76	1,86	1,95	2,02	2,09	2,15	2,20	2,25	2,30	2,34	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54	2,57	

Preglednica 11: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 12 m/s in globini vode 20 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
12	20

Hs [m]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,537	0,759	0,930	1,074	1,201	1,315	1,421	1,519	1,611	1,698	1,781	1,860	1,936	2,009	2,080	2,148	2,214	2,278	2,341	2,402
SMB (plitva)	0,243	0,343	0,419	0,483	0,538	0,588	0,634	0,676	0,716	0,753	0,788	0,821	0,852	0,883	0,911	0,939	0,966	0,992	1,017	1,041
SMB (globoka)	0,244	0,345	0,422	0,487	0,545	0,597	0,645	0,689	0,731	0,771	0,808	0,844	0,879	0,912	0,944	0,975	1,005	1,034	1,062	1,090
SMB (polno razvito morje)	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646	5,646
Wilson (globoka)	0,277	0,384	0,464	0,529	0,585	0,634	0,679	0,720	0,758	0,793	0,826	0,858	0,887	0,915	0,942	0,967	0,992	1,016	1,038	1,060
CEM (globoka)	0,204	0,288	0,353	0,407	0,455	0,499	0,539	0,576	0,611	0,644	0,675	0,705	0,734	0,762	0,788	0,814	0,839	0,864	0,887	0,910
Seck Hong	0,317	0,435	0,523	0,595	0,656	0,710	0,759	0,804	0,845	0,883	0,919	0,953	0,984	1,015	1,044	1,071	1,097	1,123	1,147	1,171

Ts [s]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	2,82	3,35	3,71	3,98	4,21	4,41	4,58	4,74	4,88	5,01	5,13	5,24	5,35	5,45	5,54	5,63	5,72	5,80	5,88	5,96
SMB (plitva)	1,52	1,90	2,16	2,36	2,53	2,68	2,80	2,92	3,02	3,12	3,21	3,29	3,37	3,44	3,51	3,57	3,63	3,69	3,75	3,80
SMB (globoka)	1,54	1,94	2,22	2,45	2,63	2,80	2,95	3,08	3,20	3,32	3,43	3,53	3,62	3,71	3,80	3,88	3,96	4,04	4,11	4,18
SMB (polno razvito morje)	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51	12,51
Wilson (globoka)	1,56	1,92	2,16	2,35	2,50	2,64	2,75	2,86	2,95	3,03	3,11	3,19	3,26	3,32	3,38	3,44	3,49	3,55	3,60	3,64
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	1,68	2,03	2,27	2,46	2,61	2,74	2,85	2,95	3,04	3,13	3,21	3,28	3,35	3,41	3,47	3,53	3,58	3,63	3,68	3,73

Preglednica 12: Značilna višina in perioda pri jakosti vetra 18 m/s in globini vode 20 m

Jakost vetra [m/s]	Globina [m]
18	20

Hs [m]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	0,805	1,139	1,395	1,611	1,801	1,973	2,131	2,278	2,416	2,547	2,672	2,790	2,904	3,014	3,120	3,222	3,321	3,417	3,511	3,602
SMB (plitva)	0,400	0,563	0,688	0,791	0,882	0,962	1,036	1,104	1,167	1,226	1,282	1,334	1,384	1,432	1,477	1,521	1,563	1,603	1,641	1,679
SMB (globoka)	0,401	0,568	0,695	0,803	0,897	0,983	1,062	1,135	1,204	1,269	1,331	1,390	1,447	1,502	1,554	1,605	1,655	1,703	1,749	1,795
SMB (polno razvito morje)	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309	15,309
Wilson (globoka)	0,422	0,589	0,714	0,818	0,908	0,988	1,060	1,127	1,189	1,248	1,302	1,354	1,403	1,450	1,495	1,539	1,580	1,620	1,659	1,696
CEM (globoka)	0,326	0,461	0,564	0,652	0,728	0,798	0,862	0,921	0,977	1,030	1,081	1,129	1,175	1,219	1,262	1,303	1,343	1,382	1,420	1,457
Seck Hong	0,490	0,675	0,814	0,929	1,028	1,116	1,196	1,270	1,338	1,401	1,461	1,518	1,572	1,623	1,672	1,719	1,765	1,808	1,850	1,891

Ts [s]

Privettrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Metoda																				
Bretschneider (globoka)	3,45	4,10	4,54	4,88	5,16	5,40	5,61	5,80	5,98	6,14	6,28	6,42	6,55	6,67	6,79	6,90	7,01	7,11	7,20	7,30
SMB (plitva)	1,80	2,25	2,56	2,80	3,00	3,17	3,33	3,46	3,59	3,70	3,81	3,91	4,00	4,09	4,17	4,25	4,32	4,39	4,46	4,53
SMB (globoka)	1,82	2,29	2,62	2,89	3,11	3,31	3,48	3,64	3,78	3,92	4,05	4,16	4,28	4,38	4,49	4,58	4,68	4,77	4,85	4,94
SMB (polno razvito morje)	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60	20,60
Wilson (globoka)	1,83	2,26	2,56	2,78	2,97	3,14	3,28	3,41	3,53	3,63	3,73	3,83	3,91	4,00	4,07	4,15	4,22	4,28	4,35	4,41
CEM (globoka)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Seck Hong	2,01	2,44	2,73	2,95	3,14	3,30	3,44	3,57	3,68	3,79	3,89	3,98	4,06	4,14	4,22	4,29	4,36	4,43	4,49	4,55

Rezultati v preglednicah 1 – 12 ne veljajo vedno, temveč obstaja minimalno trajanje za različne hitrosti (6, 12 in 18 m/s), različna privetrišča (1-20 km) in za vsako metodo, izračunano v preglednicah 13, 14 in 15.

Preglednica 13: Minimalno trajanje pri hitrosti 6 m/s

Minimalno trajanje tmin [h]/Privetrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SMB	0,50	0,80	1,05	1,27	1,47	1,66	1,84	2,02	2,18	2,34	2,50	2,65	2,79	2,93	3,07	3,21	3,34	3,47	3,60	3,73
SMB globoka	0,49	0,78	1,02	1,24	1,44	1,62	1,80	1,97	2,13	2,29	2,44	2,58	2,73	2,86	3,00	3,13	3,26	3,39	3,52	3,64
SMB polno razvito	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02	13,02
Wilson	0,44	0,88	1,31	1,75	2,19	2,63	3,07	3,50	3,94	4,38	4,82	5,26	5,69	6,13	6,57	7,01	7,45	7,88	8,32	8,76
CEM	0,56	1,12	1,69	2,25	2,81	3,37	3,93	4,50	5,06	5,62	6,18	6,74	7,30	7,87	8,43	8,99	9,55	10,11	10,68	11,24

Preglednica 14: Minimalno trajanje pri hitrosti 12 m/s

Minimalno trajanje tmin [h]/Privetrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SMB	0,40	0,63	0,83	1,00	1,16	1,31	1,46	1,59	1,72	1,85	1,97	2,09	2,21	2,32	2,43	2,53	2,64	2,74	2,84	2,94
SMB globoka	0,37	0,58	0,76	0,93	1,08	1,22	1,35	1,47	1,59	1,71	1,82	1,93	2,04	2,14	2,25	2,34	2,44	2,54	2,63	2,72
SMB polno razvito	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5	30,5 5
Wilson	0,32	0,64	0,96	1,27	1,59	1,91	2,23	2,55	2,87	3,18	3,50	3,82	4,14	4,46	4,78	5,09	5,41	5,73	6,05	6,37
CEM	0,44	0,89	1,33	1,78	2,22	2,66	3,11	3,55	4,00	4,44	4,88	5,33	5,77	6,21	6,66	7,10	7,55	7,99	8,43	8,88

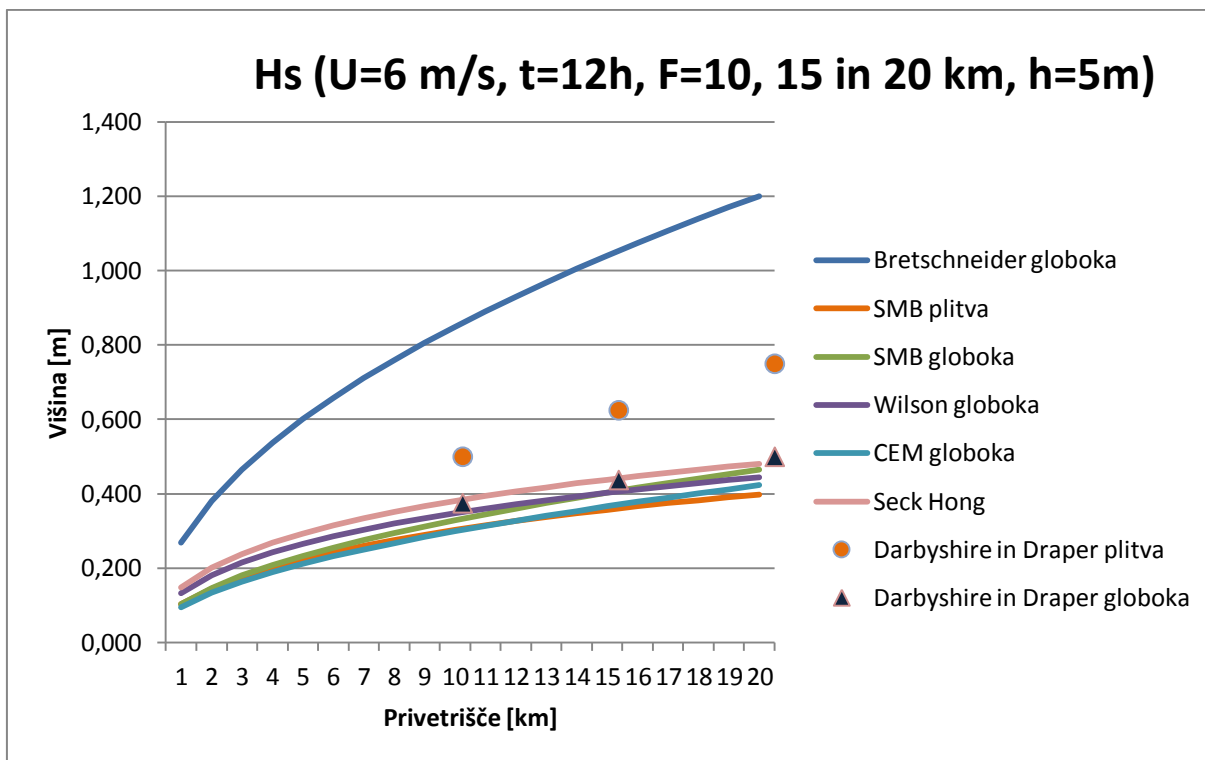
Preglednica 15: Minimalno trajanje pri hitrosti 18 m/s

Minimalno trajanje tmin [h]/Privetrišče [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SMB	0,34	0,55	0,72	0,87	1,01	1,14	1,27	1,39	1,50	1,61	1,72	1,82	1,92	2,02	2,11	2,21	2,30	2,39	2,48	2,56
SMB globoka	0,31	0,49	0,64	0,78	0,91	1,03	1,14	1,24	1,35	1,44	1,54	1,63	1,72	1,81	1,90	1,98	2,06	2,14	2,22	2,30
SMB polno razvito	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3	50,3
Wilson	0,26	0,53	0,79	1,06	1,32	1,59	1,85	2,11	2,38	2,64	2,91	3,17	3,44	3,70	3,96	4,23	4,49	4,76	5,02	5,28
CEM	0,39	0,77	1,16	1,55	1,93	2,32	2,71	3,09	3,48	3,87	4,25	4,64	5,03	5,41	5,80	6,19	6,57	6,96	7,35	7,74

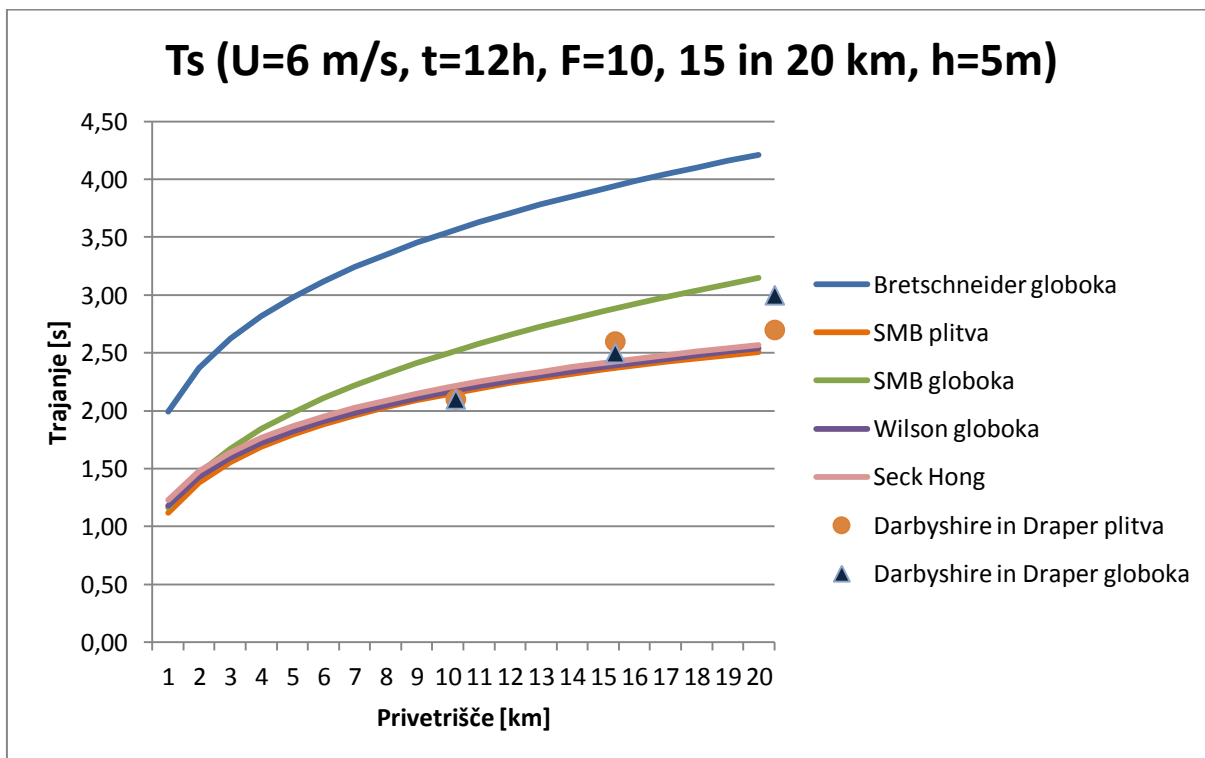
4 PRIMERJAVA METOD Z DARBYSHIRE IN DRAPER NOMOGRAMI

S pomočjo programa Excel smo narisali krivulje in kot primerjalne vrednosti uporabili odčitke iz Darbyshire in Draper nomogramov pri jakostih vetra 6, 12 in 18 m/s, privetrisčih 10, 15 in 20 km, ter dvanajst ur trajajočemu vetru. Odčitki za jakost vetra 6 m/s so zelo približni, saj nomogrami niso predvideni za uporabo pri tako šibkem vetru. Trajanje vetra smo izbrali na podlagi izračunov minimalnega trajanja (preglednice 13, 14 in 15). Za primerjavo z Darbyshire in Draper nomogrami smo se odločili na podlagi priporočil in referenc drugih avtorjev (Bretschneider, 1964; Deo, 2013; Koutitas, 1988).

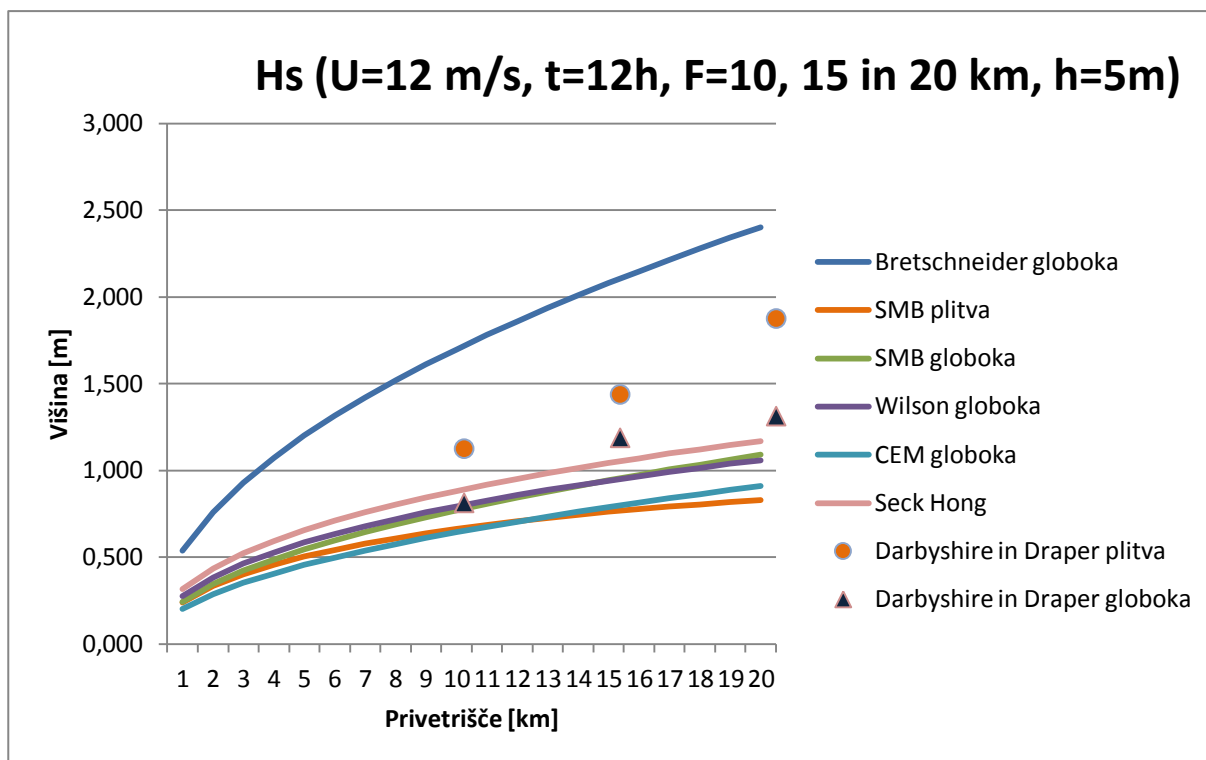
Krivulje na slikah 20 – 39 predstavljajo rezultate (značilne višine in značilne periode) za različne metode in vrednosti spremenljivk. S točkami so označeni odčitki iz Darbyshire in Draper nomogramov.



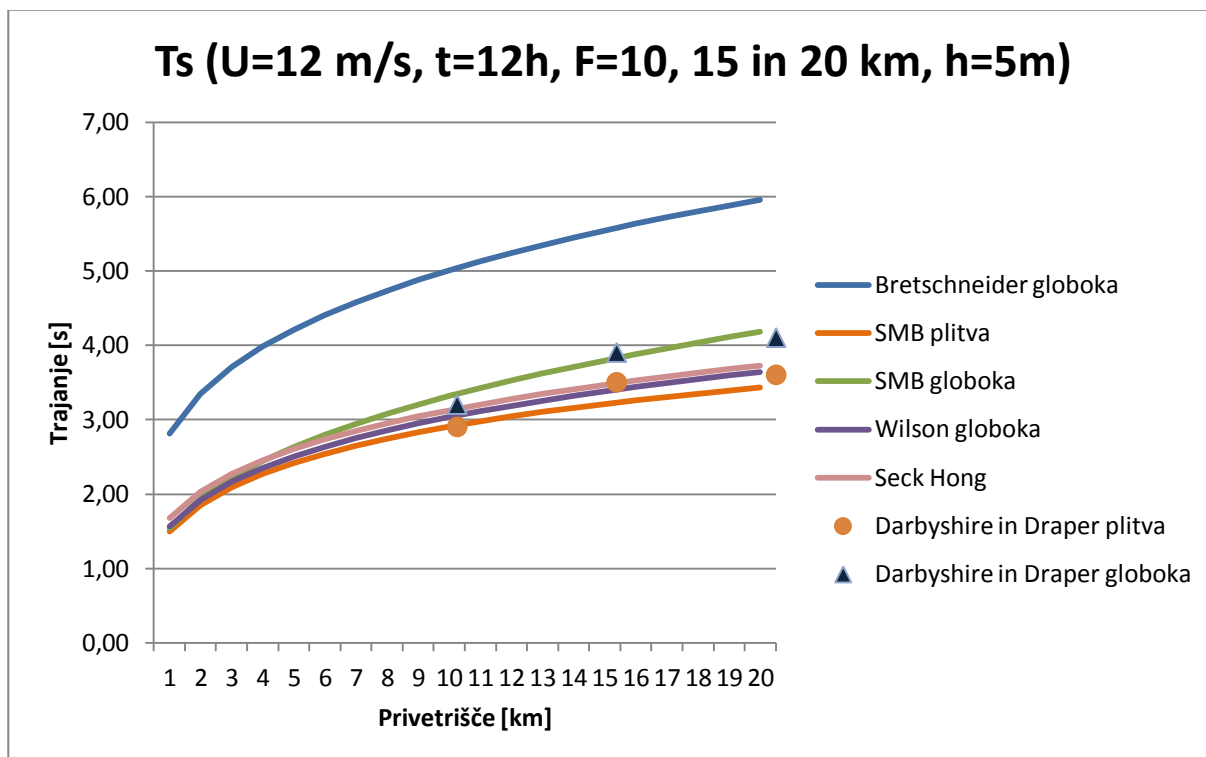
Slika 20: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=6m/s)



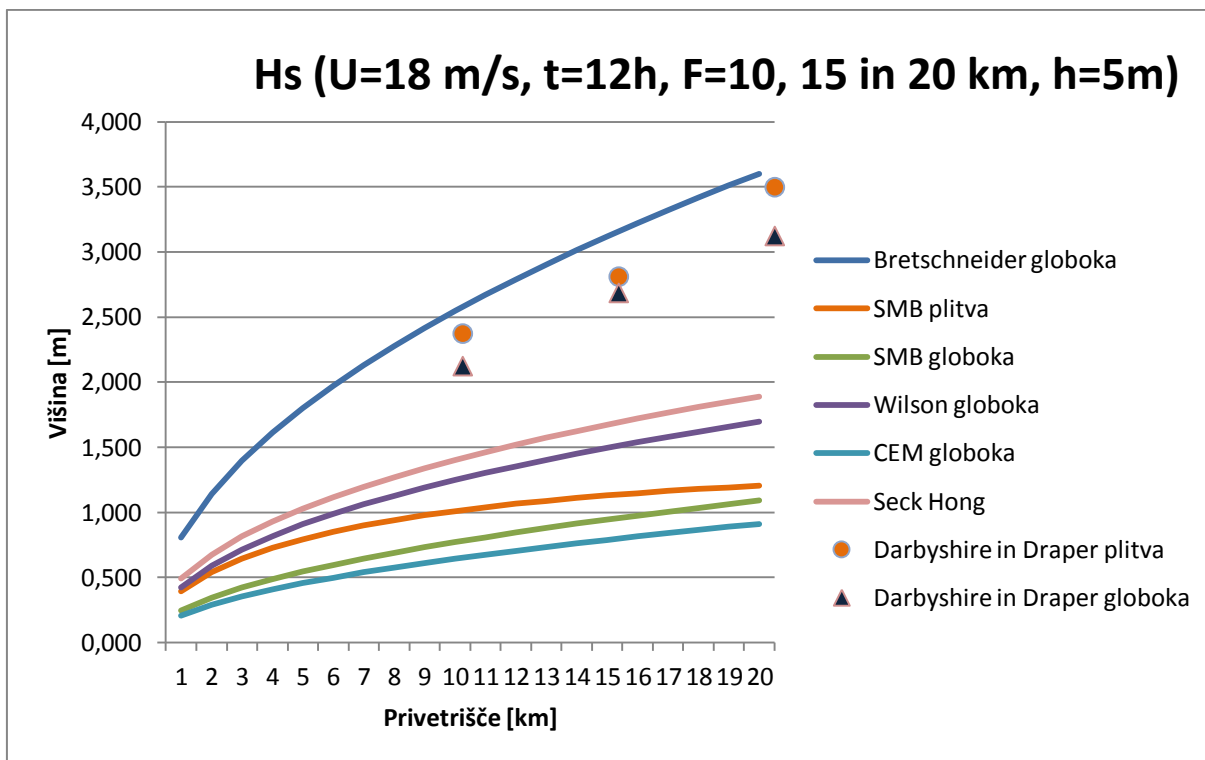
Slika 21: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=6m/s)



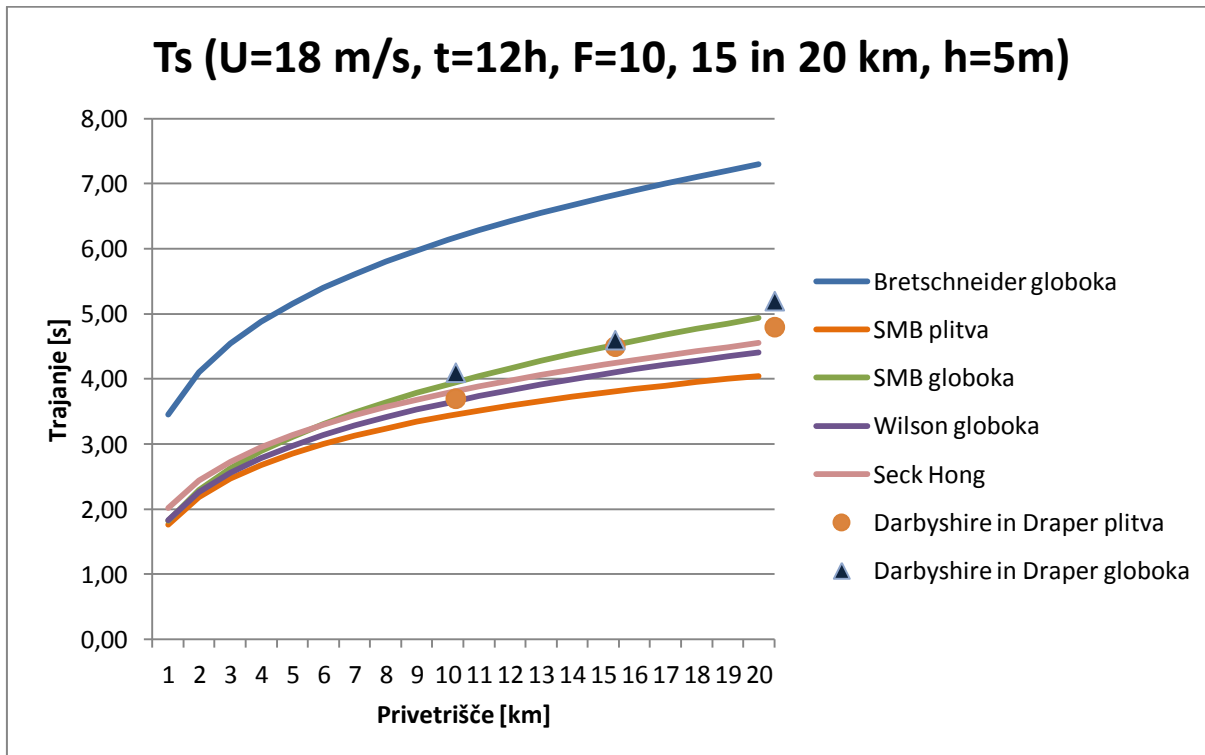
Slika 22: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=5\text{m}$, $U=12\text{m/s}$)



Slika 23: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami ($h=5\text{m}$, $U=12\text{m/s}$)



Slika 24: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=18m/s)

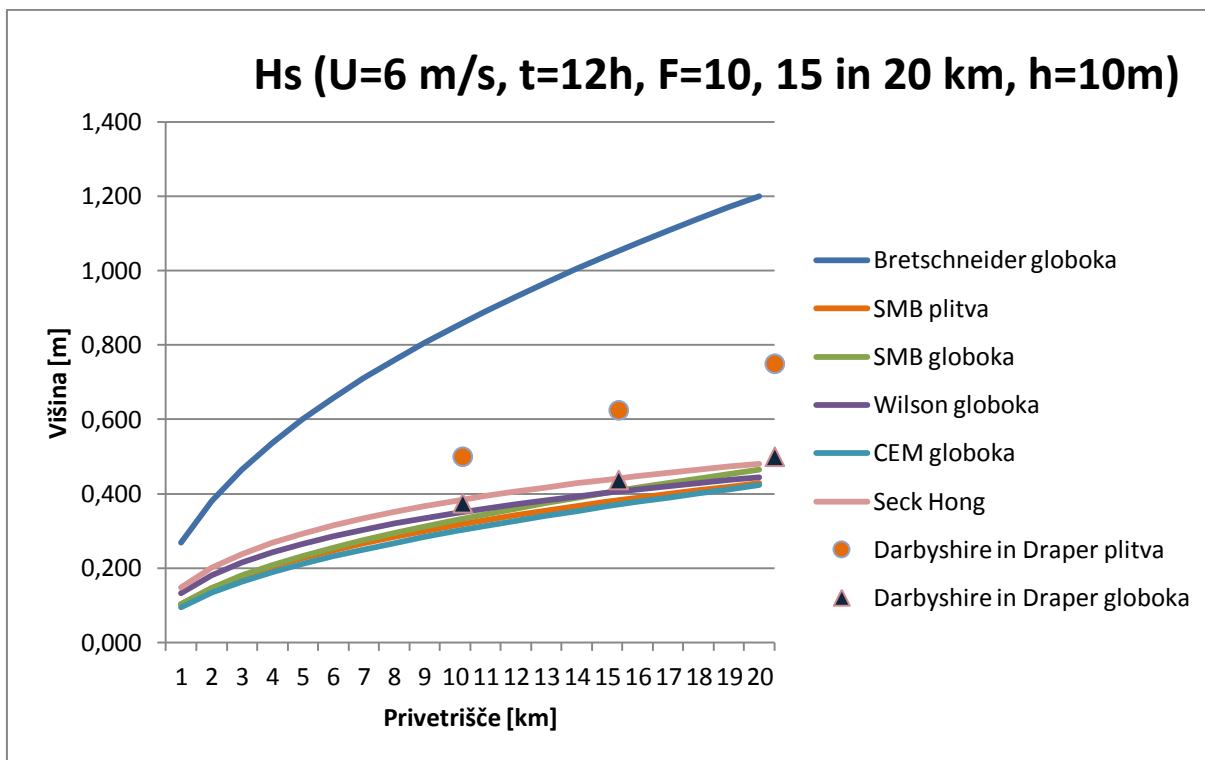


Slika 25: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=5m, U=18m/s)

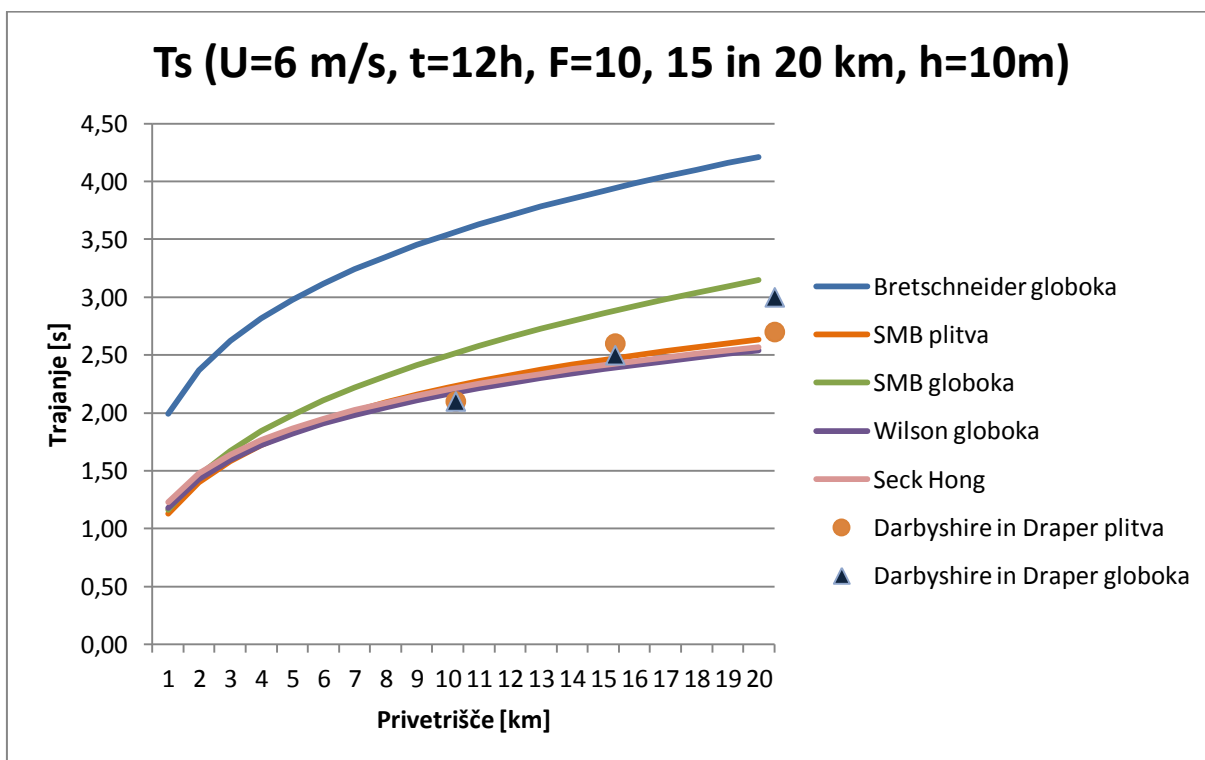
Najprej opazimo, da izračuni po metodi Bretschneider izrazito odstopajo od ostalih empiričnih krivulj. Tako značilno višino, kot značilno periodo v primerjavi z drugimi empiričnimi enačbami preceni približno za tretjino. Ostale empirične metode dajejo približno enake rezultate.

Pri globini 5 metrov in jakosti vetra 6 m/s se odčitki iz Darbyshire in Draper nomograma za globoko vodo (značilna višina) ujemajo s krivuljo Seck Hong. Odčitki za plitvo vodo se ne ujemajo z nobeno od metod. Rezultat je logičen, saj je višina vala zelo majhna v primerjavi z globino vode. Pri močnejših vetrovih (18 m/s) se odčitki najboljše ujemajo z rezultati Bretschneiderjeve metode, še vedno pa Bretschneider preceni odčitke za približno 10 do 40 centimetrov. Po definiciji je Bretschneiderjeva metoda primerna za močne vetrove in razvito morje, zato je rezultat pričakovan.

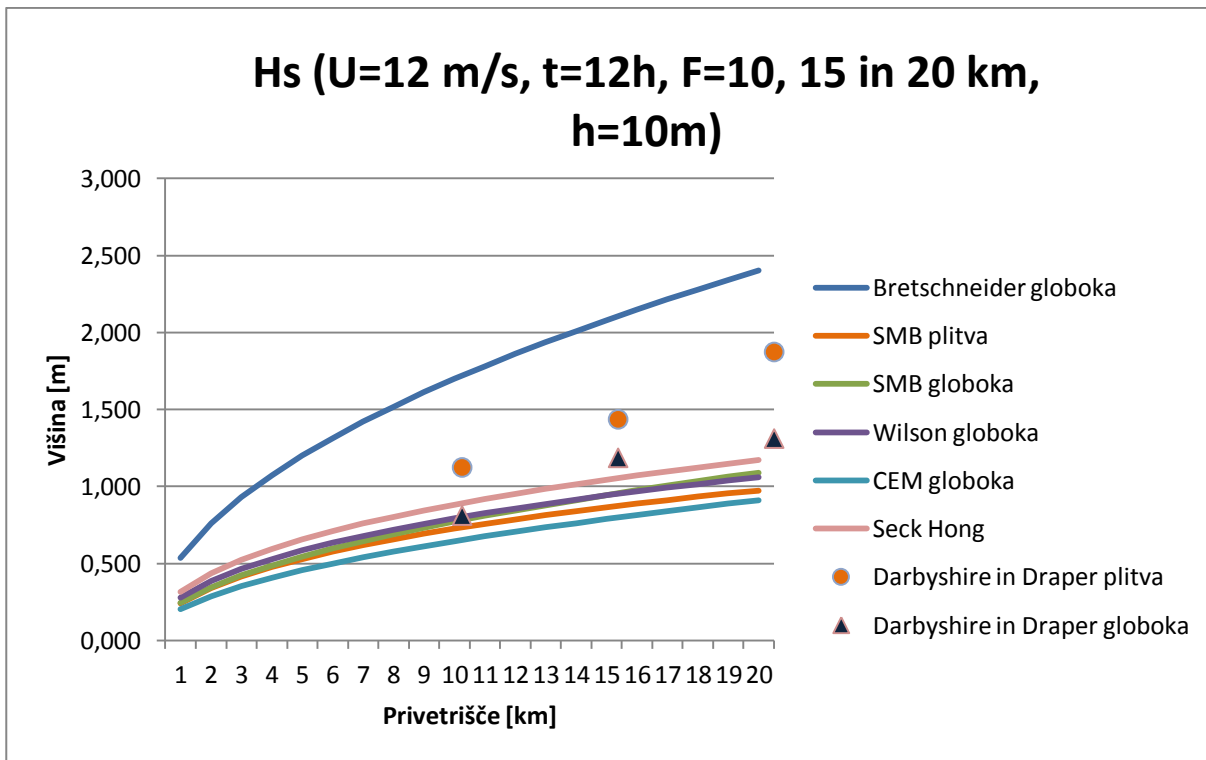
Odčitki iz Darbyshire in Draper nomogramov za periodo se na vseh slikah zelo dobro ujemajo z vsemi empiričnimi krivuljami (izjema je Bretschneider). Odčitki iz nomogramov se najboljše ujemajo s krivuljo Seck Hong, Wilson in SMB plitva (plitva in globoka voda), pri večjem privetrisču se pokaže sovpadanje odčitkov za globoko vodo s krivuljo SMB za globoko vodo. Z večanjem jakosti vetra opazimo trend sovpadanja Darbyshire in Draper nomograma za globoko vodo s krivuljo SMB (globoka voda), nomogram za plitvo vodo se pa najboljše ujema s krivuljo Wilson. Tudi pri jakosti vetra 12 m/s se nomogram za globoko vodo ujema s krivuljo SMB, nomogram za plitvo vodo pa najboljše ujame Seck Hong krivuljo.



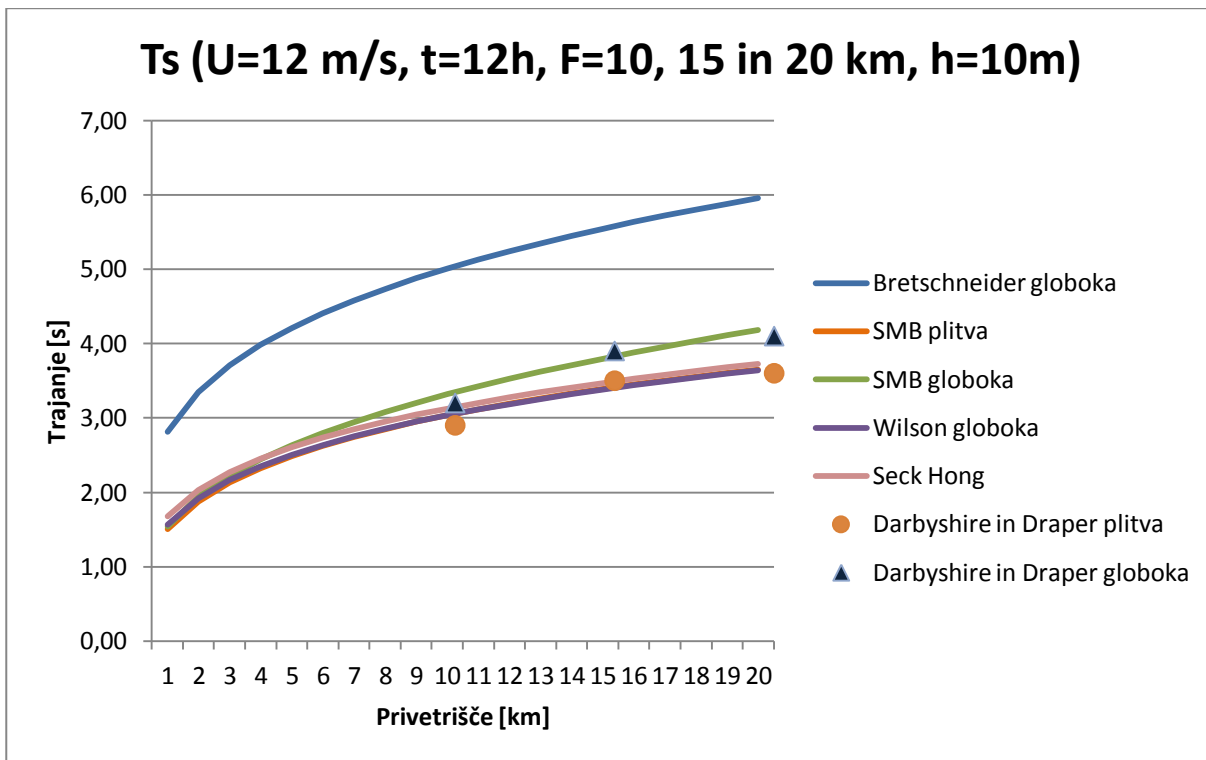
Slika 26: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=6m/s)



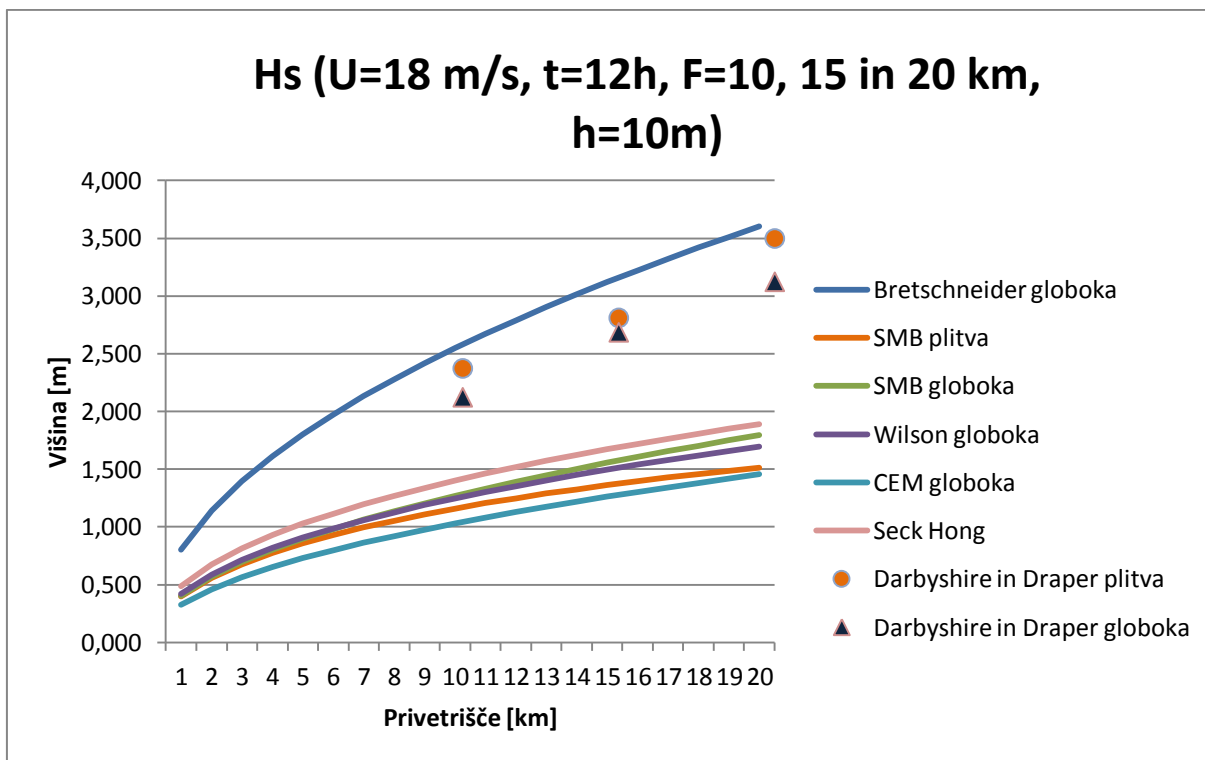
Slika 27: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=6m/s)



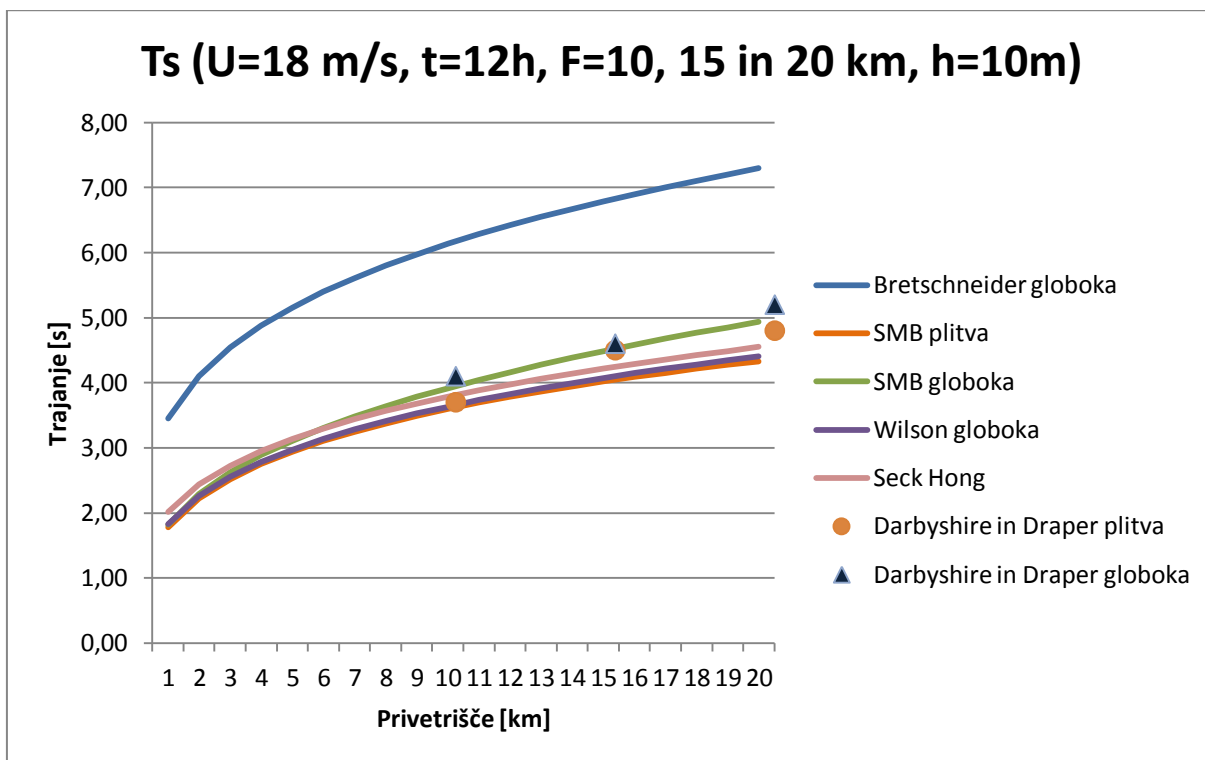
Slika 28: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=12m/s)



Slika 29: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=12m/s)



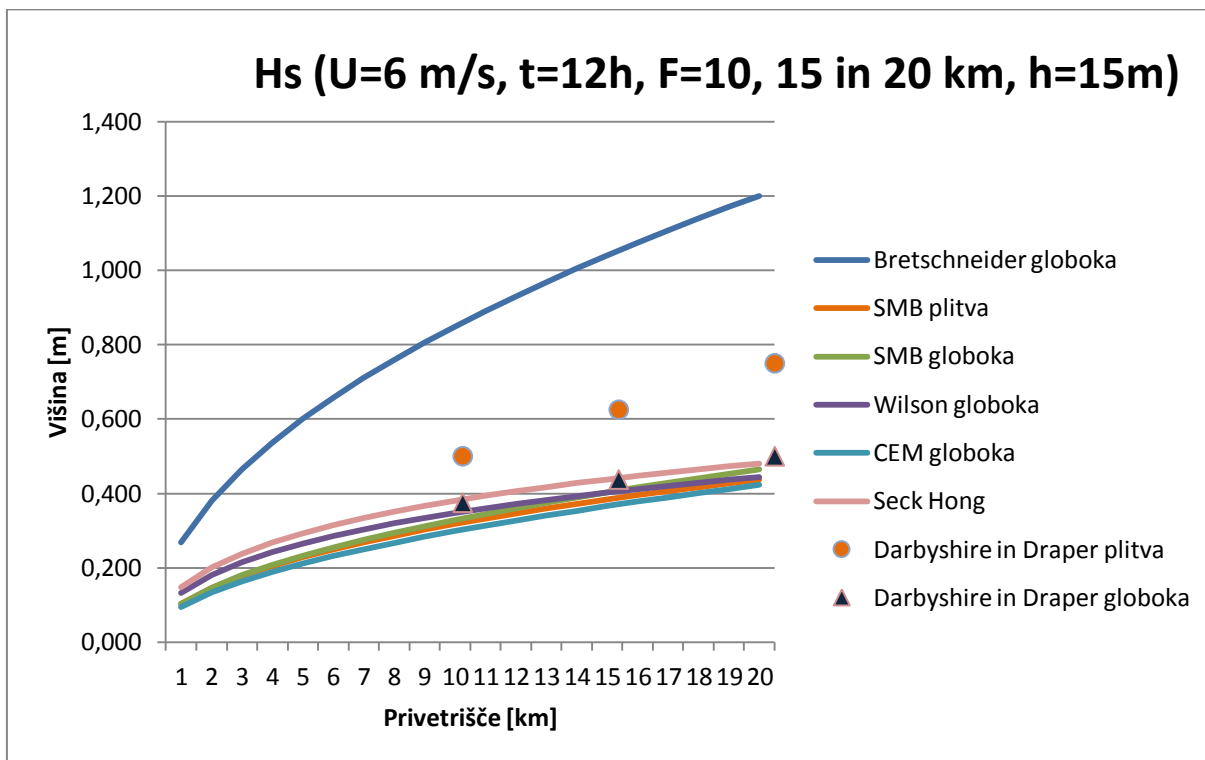
Slika 30: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=18m/s)



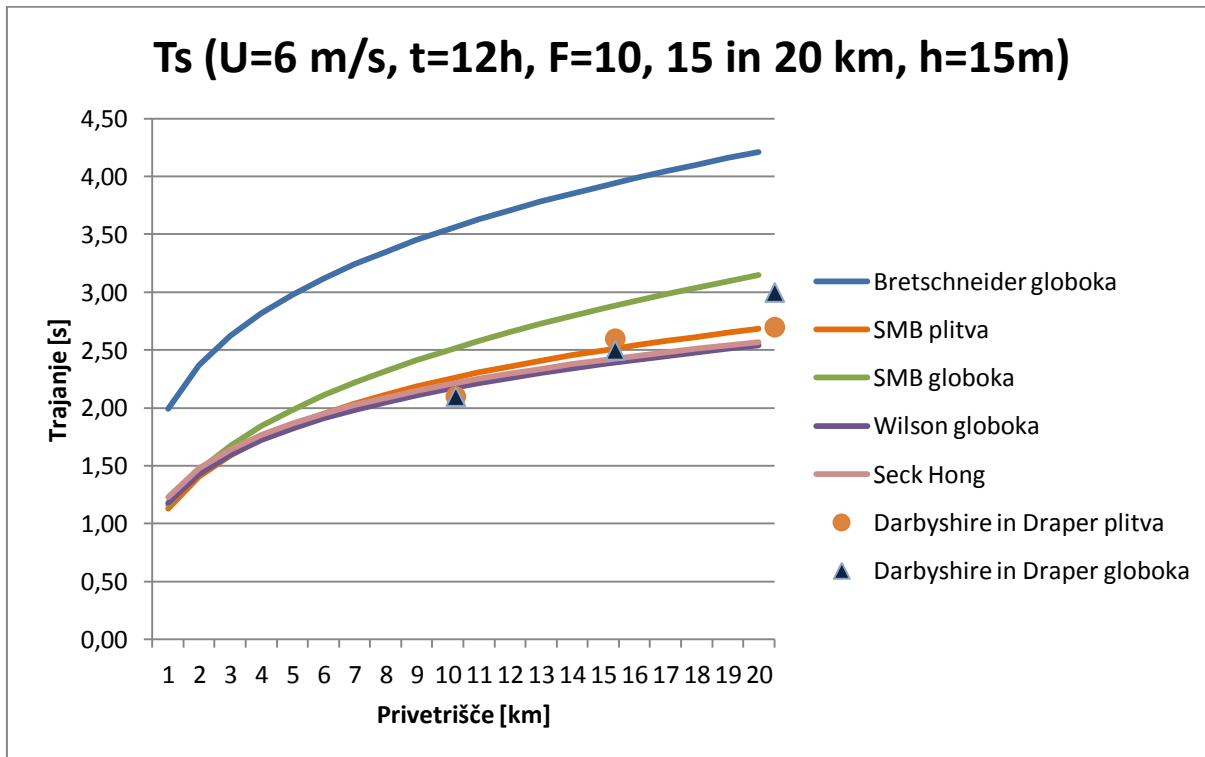
Slika 31: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=10m, U=18m/s)

Pri globini 10 metrov se odčitki z nomograma za višino pri globoki vodi ujemajo s krivuljo Seck Hong, Bretschneiderjeva krivulja izstopa. S povečevanjem jakosti vetra je situacija podobna, kakor pri globini 5 metrov. Odčitki za globoko vodo približno ujamejo krivuljo Seck Hong, odčitki za plitvo vodo še vedno ne sovpadajo z nobeno izmed krivulj. Pri jakosti vetra 18 m/s so odčitki blizu krivulji Bretschneider, čeprav ta ponovno preceni vrednosti.

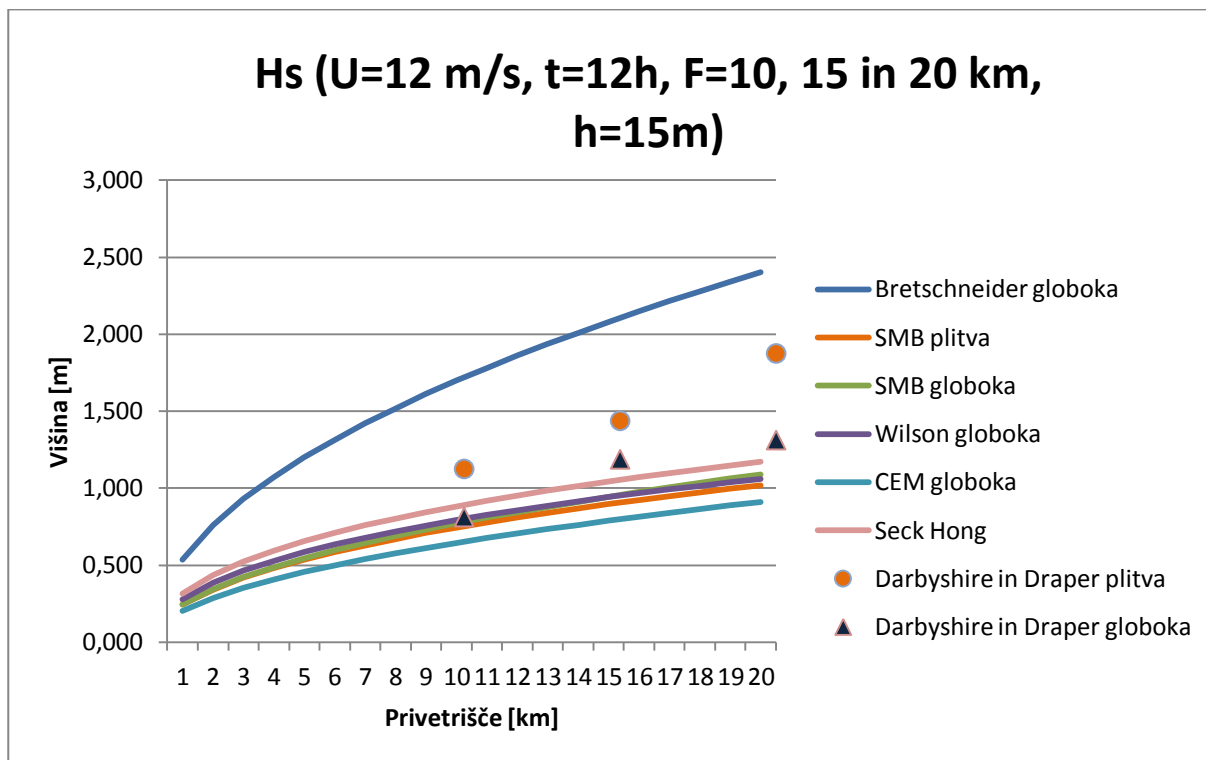
Vse metode tudi pri globini 10 metrov dajo dobre rezultate za značilno periodo. Ujemanje odčitkov z nomogramov je podobno kakor pri globini 5 metrov, izstopata metodi SMB plitva in globoka voda. S povečevanjem jakosti vetra se pokaže dobro ujemanje odčitkov za globoko vodo s krivuljo SMB za globoko vodo ter ujemanje odčitkov za plitvo vodo s krivuljami Seck Hong, Wilson in SMB za plitvo vodo. Bretschneider ponovno preceni vrednosti za tretjino.



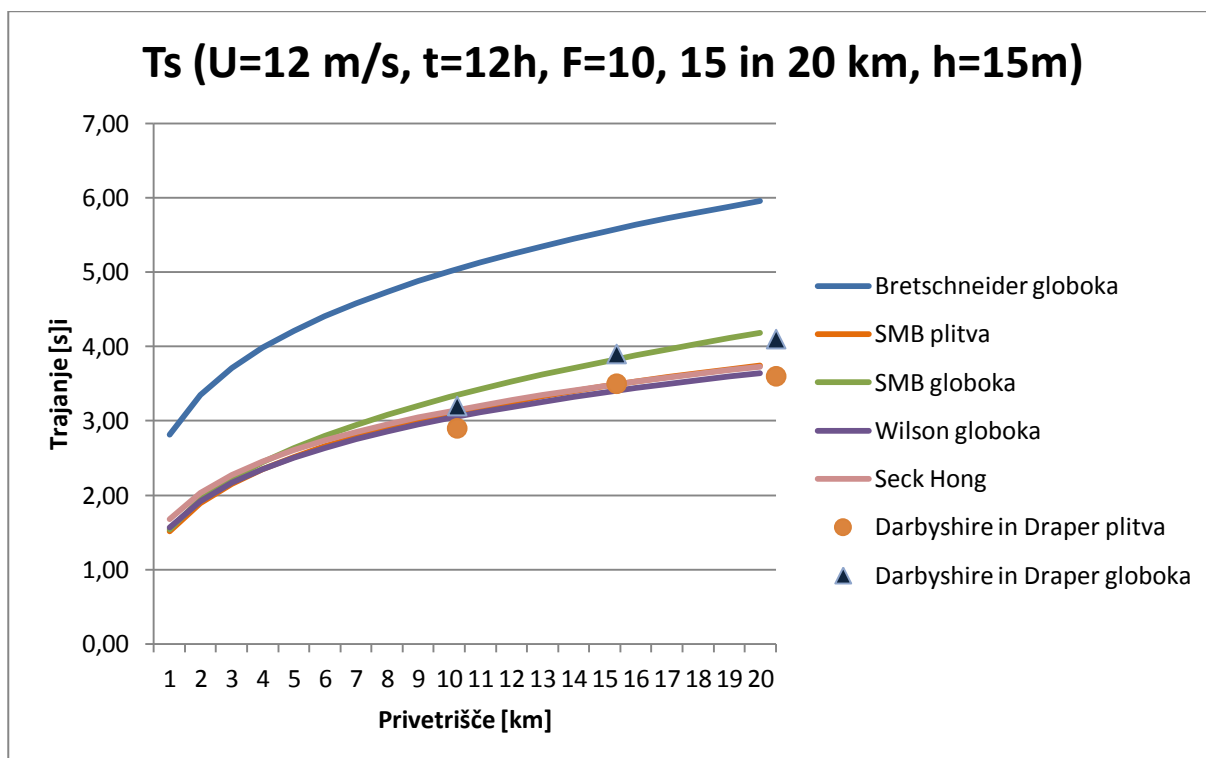
Slika 32: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=6m/s)



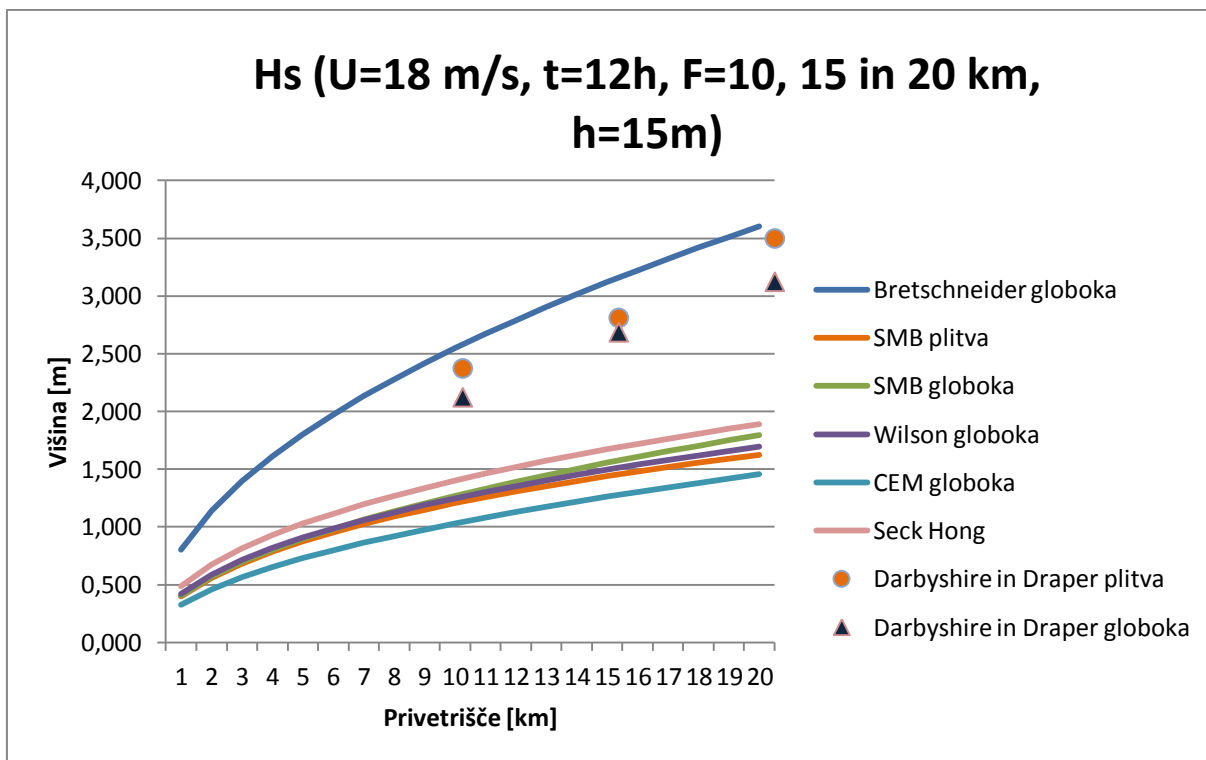
Slika 33: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=6m/s)



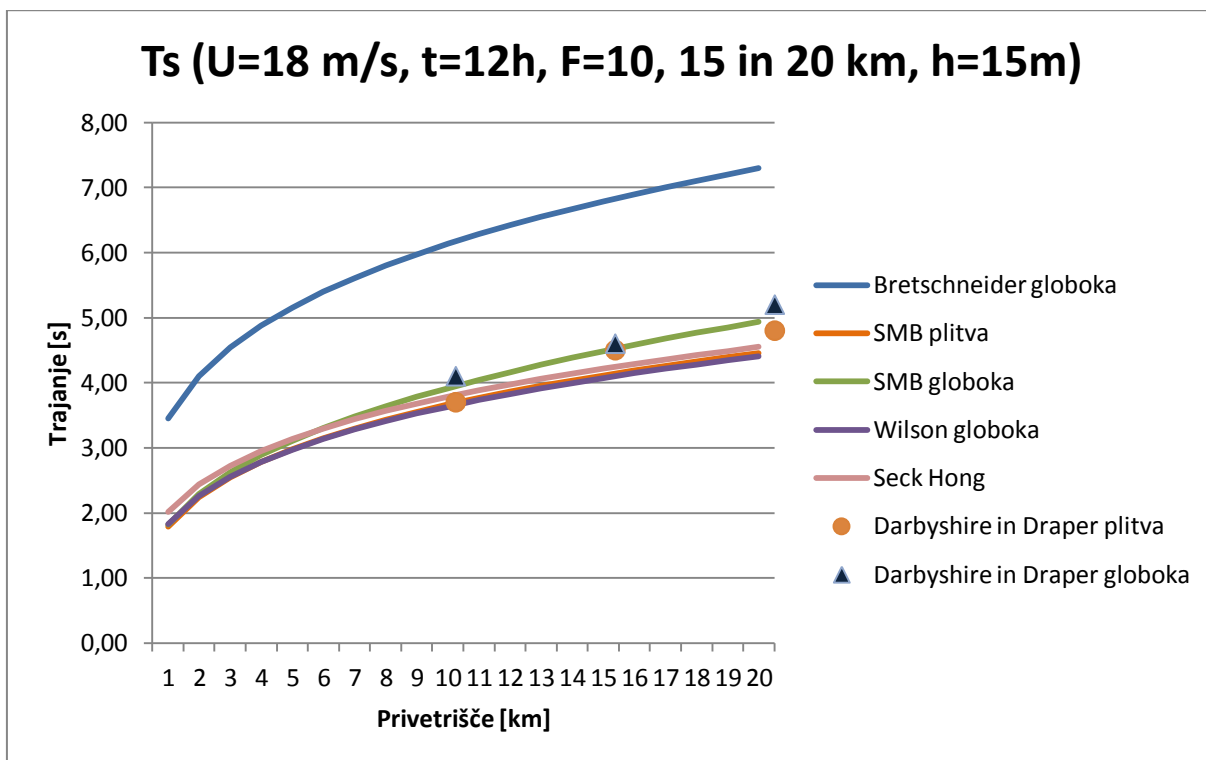
Slika 34: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=12m/s)



Slika 35: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=12m/s)



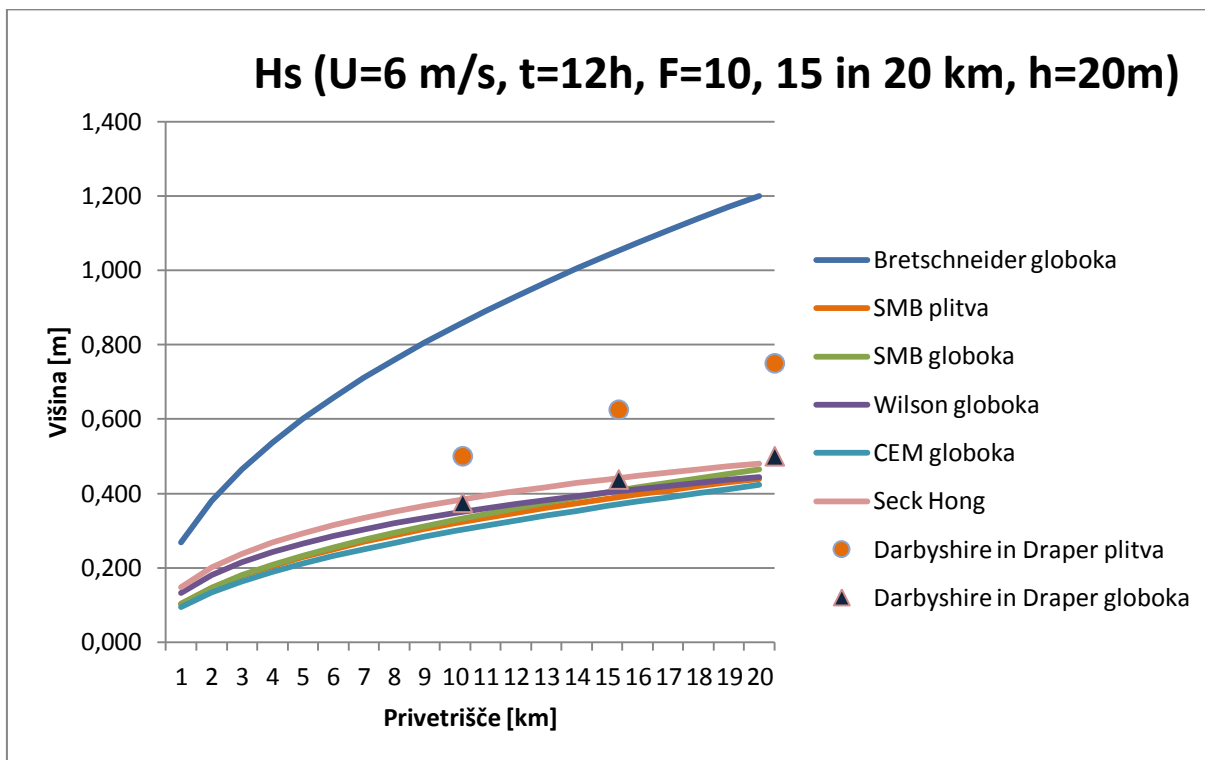
Slika 36: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=18m/s)



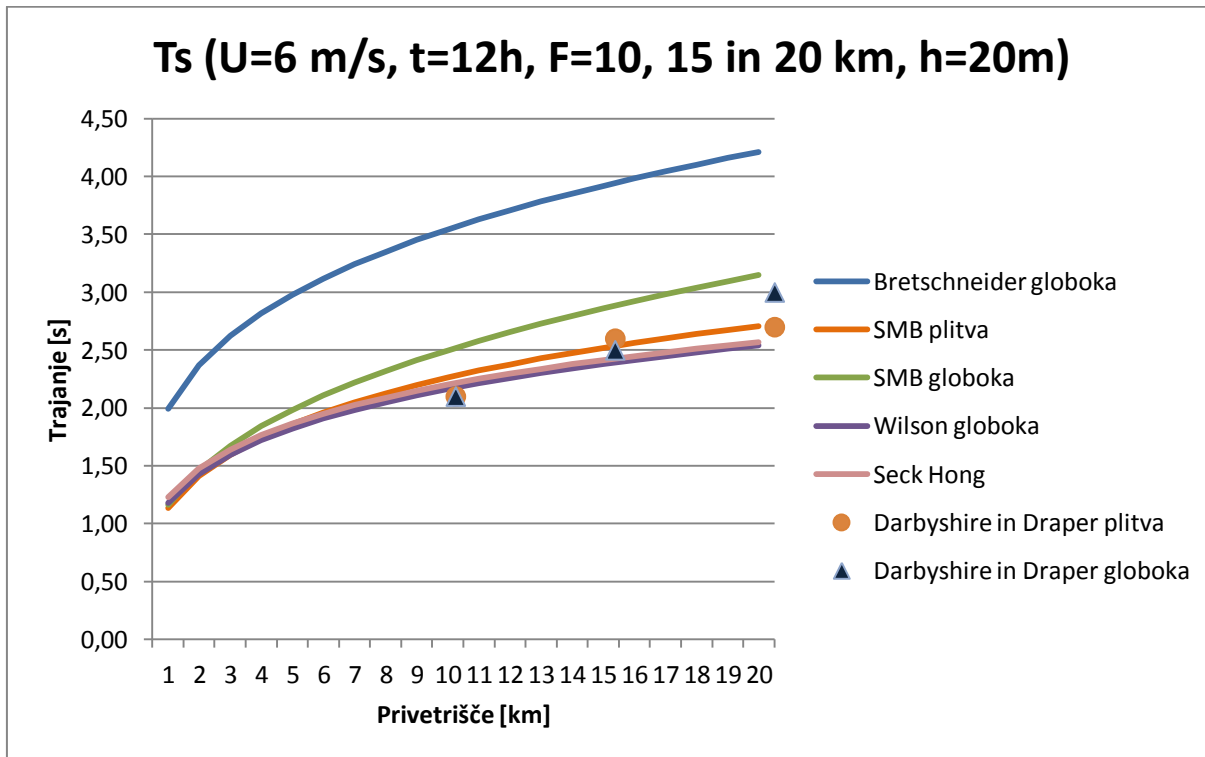
Slika 37: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=15m, U=18m/s)

Pri globini 15 metrov velja isti trend kakor pri globinah 5 in 10 metrov. Pri grafih značilne višine najbolj ustreza metoda Seck Hong, čeprav se tudi ta ne ujema najbolj z odčitki iz nomogramov. Z večanjem jakosti vetra se večja tudi odstopanje nomogramov od krivulje Seck Hong, približujejo se krivulji Bretschneider.

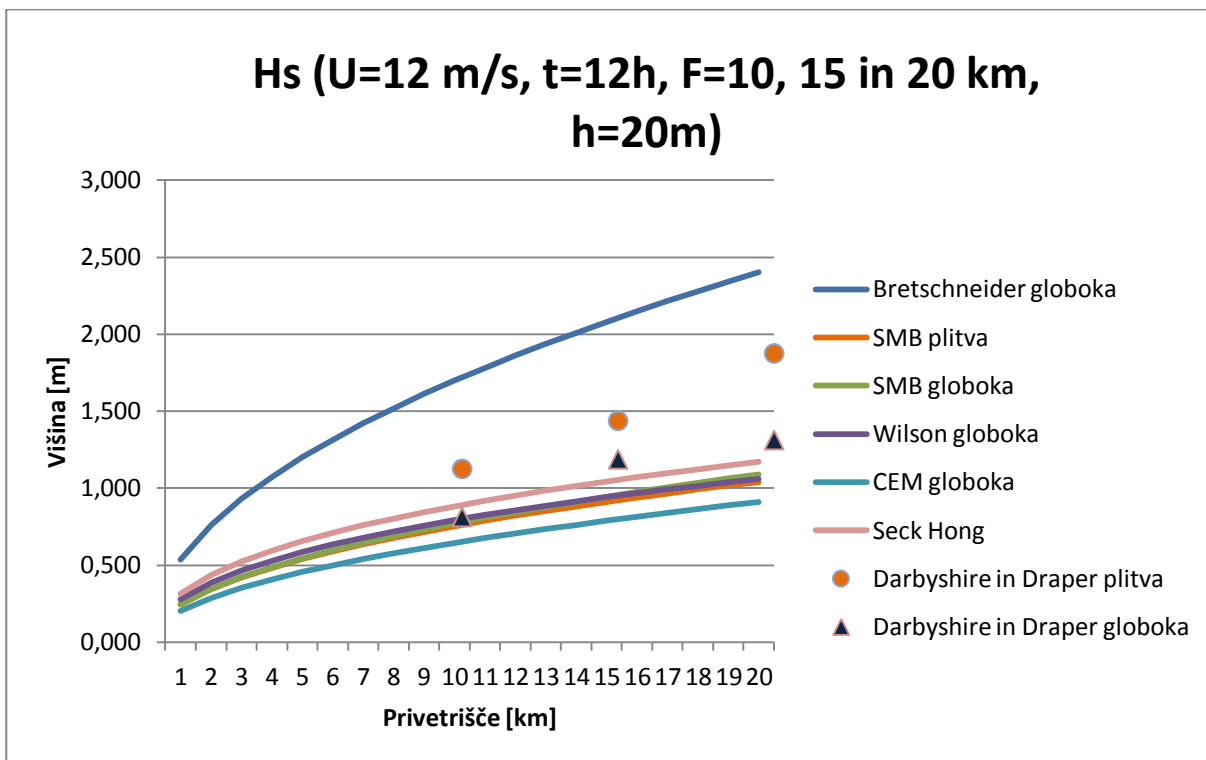
Tudi pri značilni periodi za globino 15 metrov lahko potegnemo vzporednice z grafi za globino 5 in 10 metrov. Več metod se ujema z Darbyshire in Draper nomogramami, a nobena izrazito ne izstopa



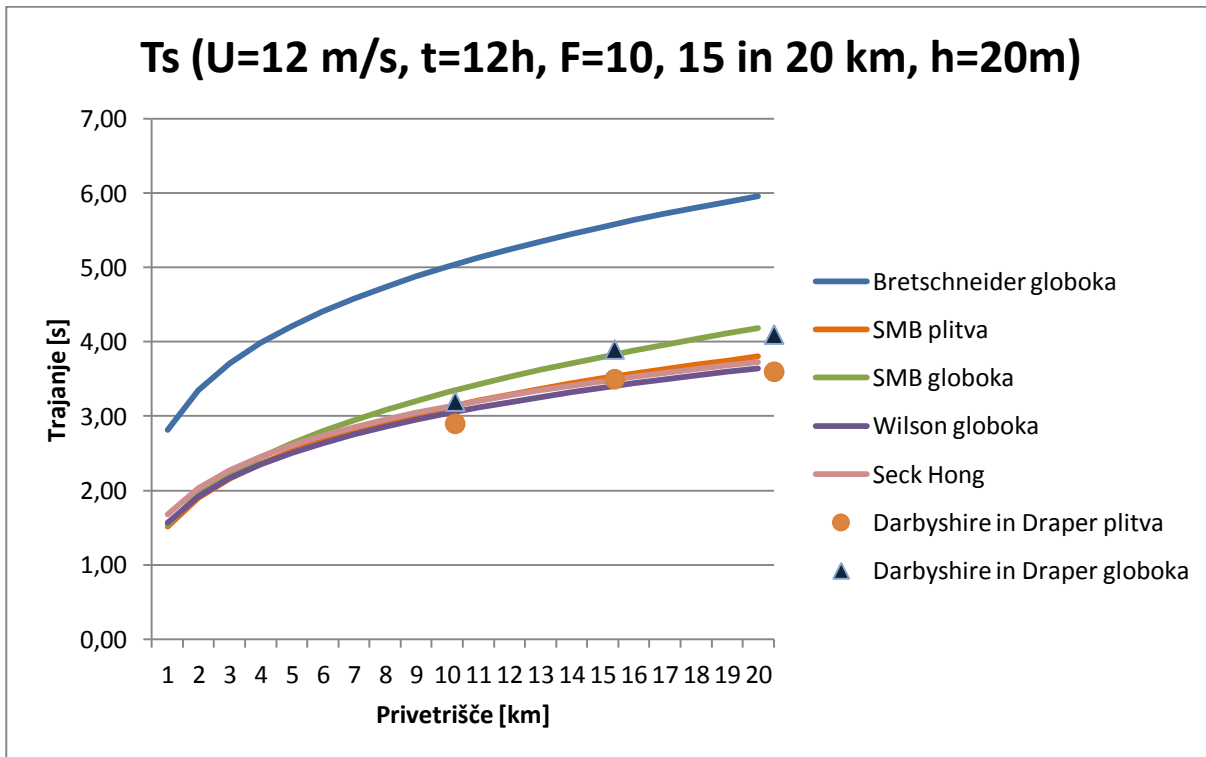
Slika 38: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=20m, U=6m/s)



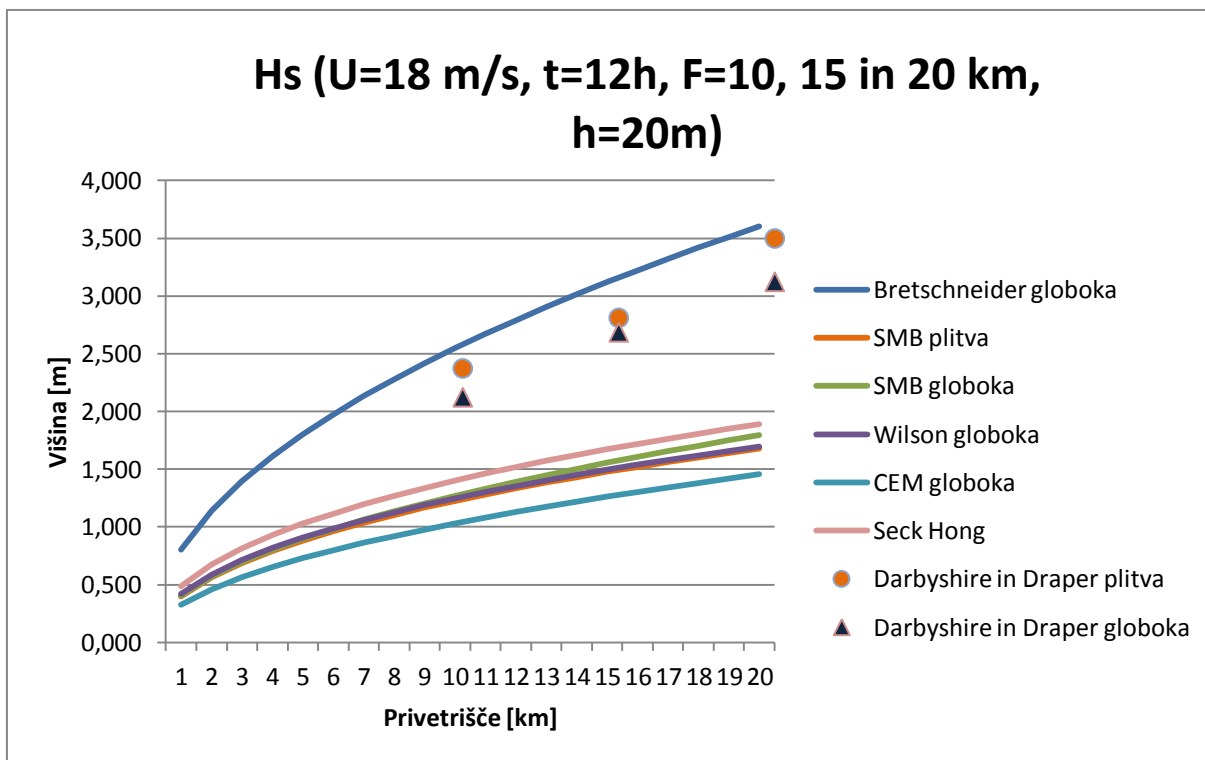
Slika 39: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=20m, U=6m/s)



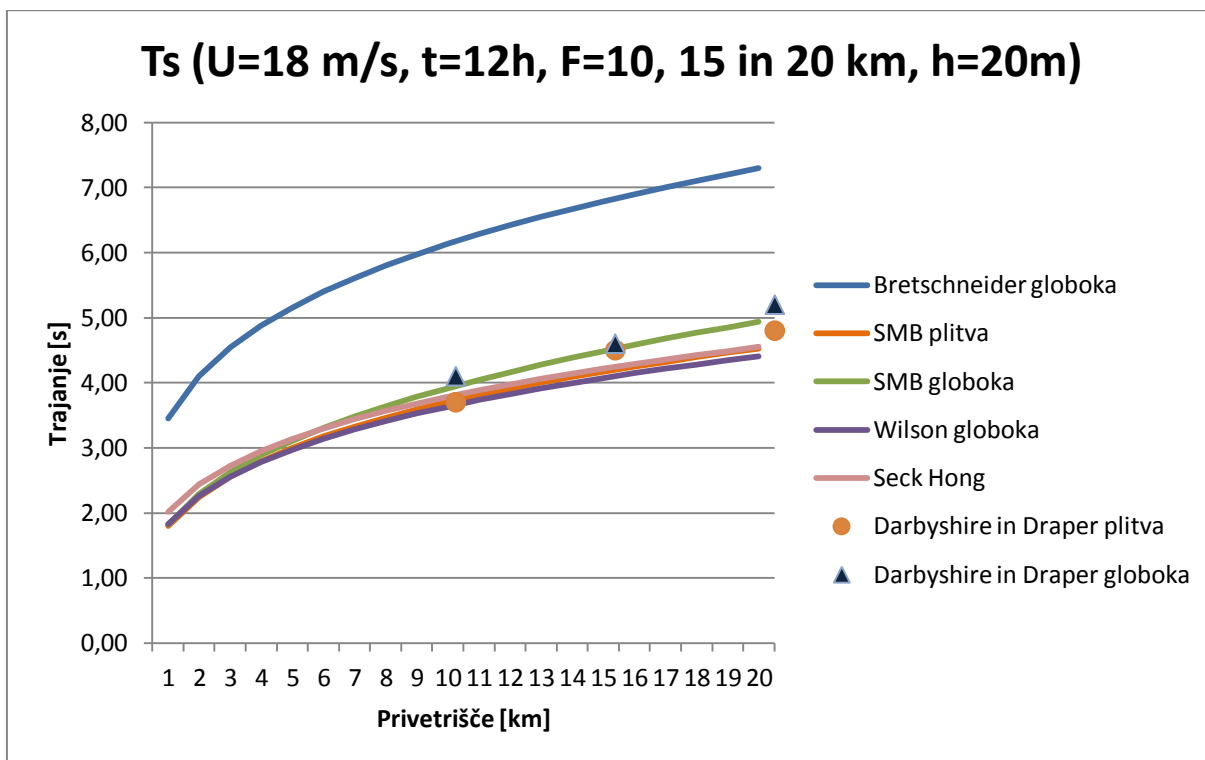
Slika 40: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=20m, U=12m/s)



Slika 41: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=20m, U=12m/s)



Slika 42: Značilna višina v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=20m, U=18m/s)

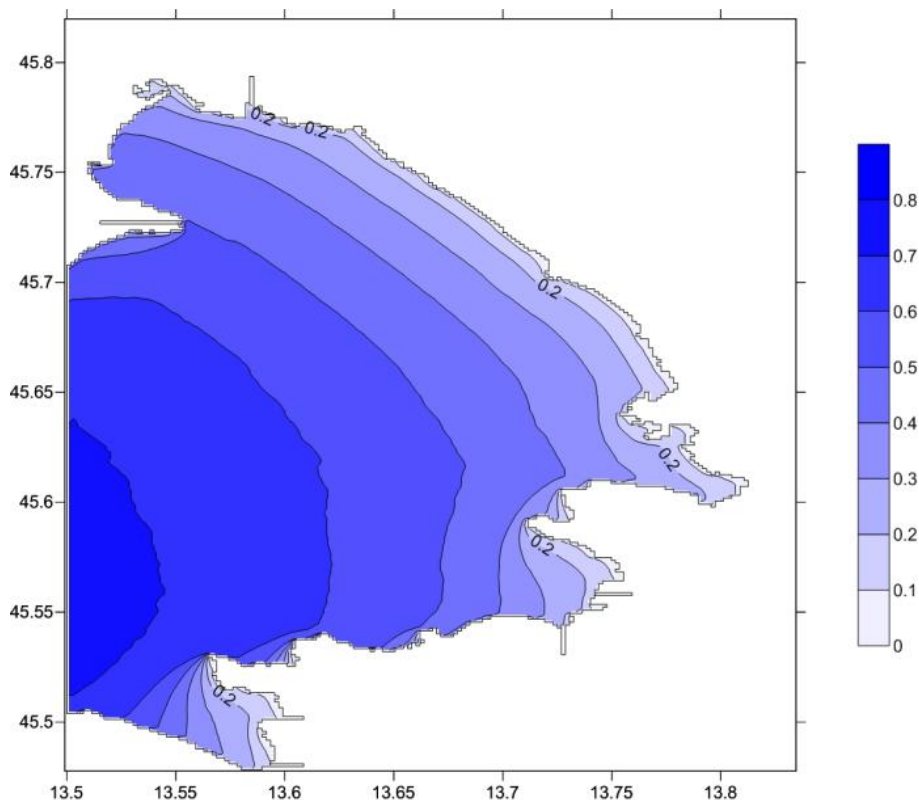


Slika 43: Značilna perioda v primerjavi z Darbyshire in Draper nomogrami (h=20m, U=18m/s)

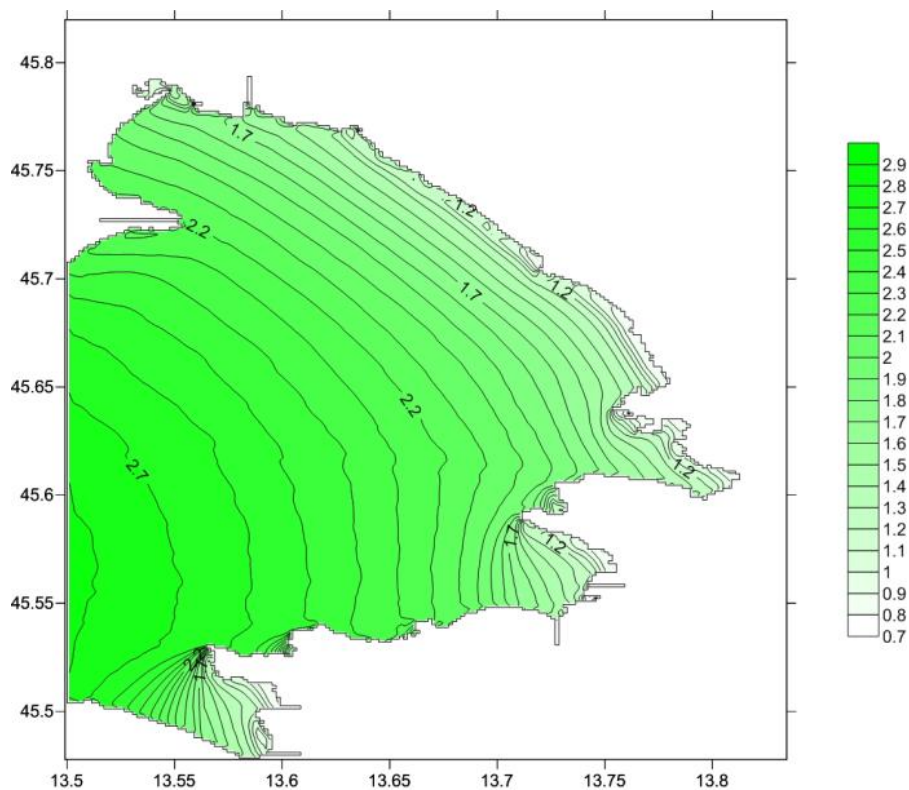
Odčitkov iz nomogramov za višino tudi pri globini 20 metrov nobena metoda ne ujame dobro. Najbolj se jim približa metoda Seck Hong. SMB krivulja za globoko vodo najbolje ujame odčitke iz nomogramov za značilno periodo pri globoki vodi, za plitvo vodo pa, ponovno, ne dobimo metode, ki bi se pokazala kot izrazito dobra.

Povzamemo lahko, da metoda Bretschneider v vseh primerih preceni vrednosti značilne višine in periode, tako v primerjavi z nomogrami, kot z drugimi empiričnimi metodami. Pri nizkih hitrostih vetra so odčitki iz nomogramov za višino bližji empiričnim metodam, ki smo jih preizkušali, z jačanjem vetra pa se značilne višine približujejo metodi Bretschneider, medtem ko periode ostajajo znatno bližje preizkušanim empiričnim metodam. Končna ugotovitev je, da je potrebno enačbe, ki so vgrajene v model PCFLOW3D, nedvomno zamenjati z bolj ustreznimi.

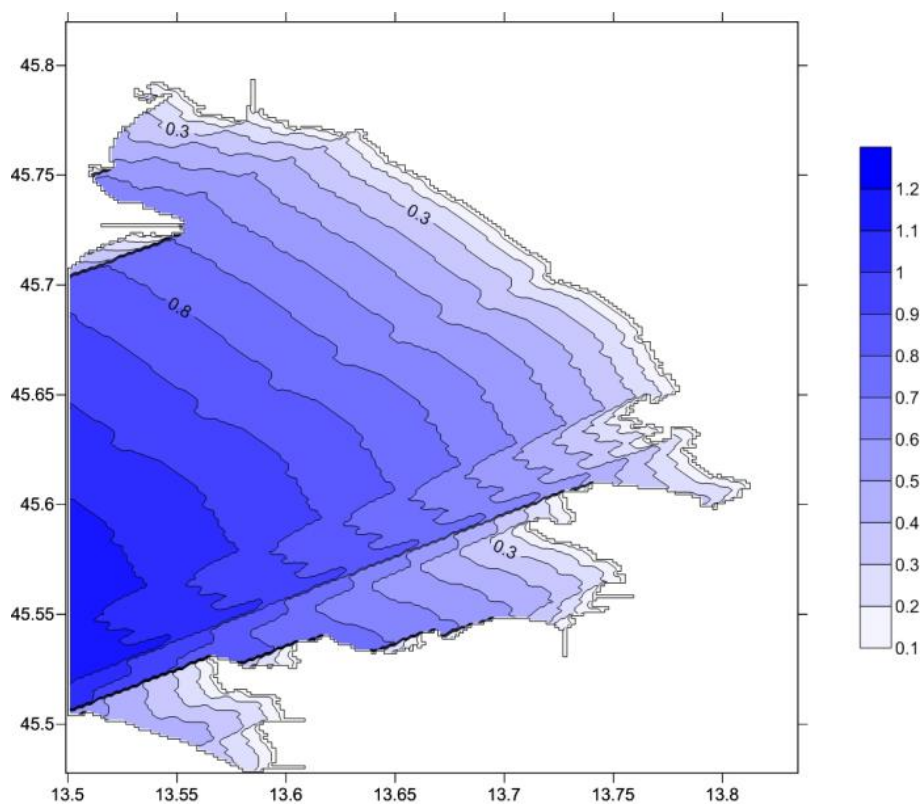
Opažanje, da Bretschneiderjeva metoda preceni vrednosti približno za eno tretjino je razvidno tudi iz slik 44 do 47, kjer je prikazana primerjava med višino in periodo valovanja izračunanih z modelom SWAN in z modelom PCFLOW3D (po Bretschneiderjevi enačbi). Ker je model SWAN splošno priznan in široko uporabljan v študijah obalne oceanografije, obstaja zelo velika verjetnost, da so s tem modelom izračunani parametri valovanja bližji vrednostim v naravi kot katerakoli približna metoda.



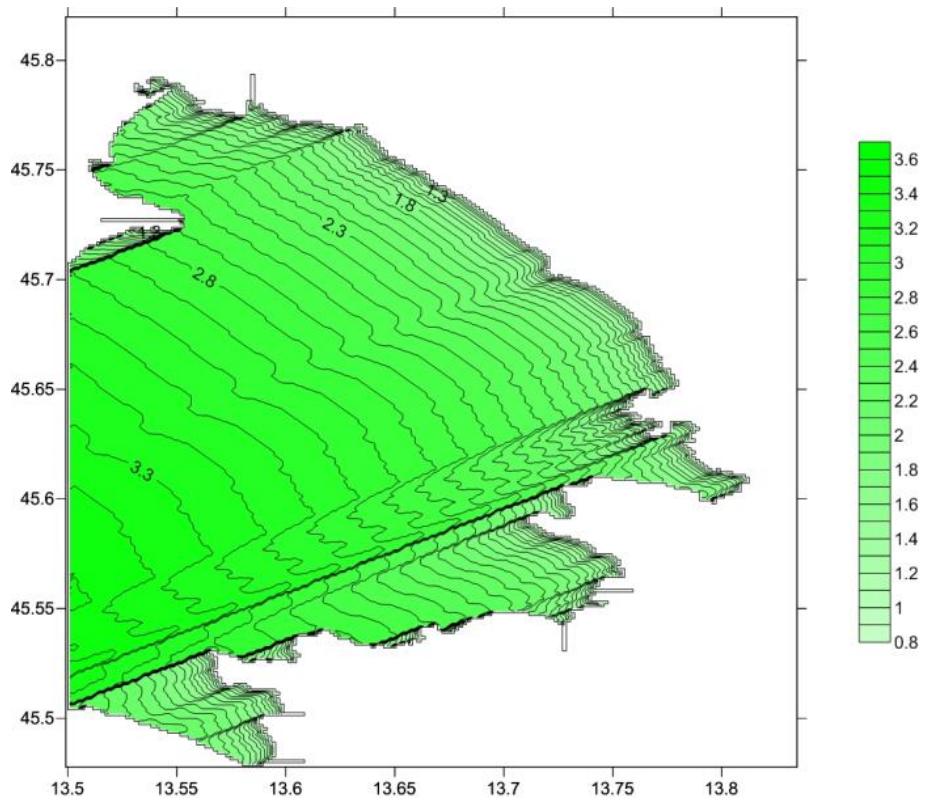
Slika 44: Višina valov v Tržaškem zalivu (SWAN) (osebni vir: Maja Jeromel, ARSO)



Slika 45: Perioda valov v Tržaškem zalivu (SWAN) (osebni vir: Maja Jeromel, ARSO)



Slika 46: Višina valov v Tržaškem zalivu izračunane z modelom PCFLOW3D (Bretschneiderjeva metoda)



Slika 47: Perioda valov v Tržaškem zalivu izračunane z modelom PCFLOW3D (Bretschneiderjeva metoda)

5 ZAKLJUČKI IN NAPOTKI ZA NADALJNJE DELO

Za račun strižnih napetosti ob dnu in vseh procesov, ki so z njimi povezani, moramo poznati višino in periodo valovanja. V sedimentacijski modul programa PCFLOW3D so za izračun značilne višine in periode vgrajene Bretschneiderjeve enačbe, ki so primerne za globoko vodo, v priobalnih območjih, pa dajejo vprašljive rezultate. Preizkusili smo še druge empirične metode za izračun značilne višine in periode ter jih skupaj z rezultati Bretschneiderjevih enačb primerjali med seboj in z Darbyshire in Draper nomogrami ob upoštevanju različnih vhodnih parametrov.

S pomočjo programa MS Excel smo izračunali značilno višino in periodo pri različnih globinah, privettriščih in jakostih vetra. Hkrati smo izračunali tudi minimalna trajanja, da bi vedeli, za katere čase (razvito ali nerazvito valovanje) so metode uporabne. Po pričakovanjih smo ugotovili, da se vrednosti izračunane po trenutno vgrajeni metodi (Bretschneider) močno razlikujejo od vseh ostalih preizkušenih metod. Le-te se namreč gibljejo v istih mejah, značilne vrednosti pa so velikosti približno dve tretjini Bretschneiderjeve metode. Odčitki iz Darbyshire in Draper nomogramov za značilno višino se, za razliko od odčitkov za značilno periodo, slabše ujemajo z ostalimi preizkušenimi empiričnimi metodami. Ugotavljamo, da se z nomogrami razmeroma dobro ujemajo enačbe SMB za plitvo vodo, Wilsonova in metoda Seck Hong. S povečevanjem globine računskega območja se odčitkom prične približevati tudi enačba SMB za globoko vodo.

Potrdili smo, da enačbe, ki so vgrajene v model PCFLOW3D niso ustrezne za izračun značilne višine in periode v Tržaškem zalivu, zato jih je potrebno zamenjati. Na podlagi opravljene raziskave pa se ni mogoče odločiti, katera metoda bi bila za vgradnjo najprimernejša, saj se rezultati več metod (SMB plitva, SMB globoka, Wilson in Seck Hong) razmeroma dobro ujemajo z odčitki iz nomogramov. Da bi lahko izbrali optimalno možnost, predlagamo primerjavo rezultatov vseh preizkušenih enačb ali pa vsaj obeh metod SMB ter metod Wilson in Seck Hong z rezultati modela SWAN in z meritvami na boji Vida pred piranskim zalivom. Meritve so na razpolago na spletnih straneh Nacionalnega inštituta za biologijo (NIB) in Agencije republike Slovenije za okolje (ARSO), morajo pa biti izbrani podatki ob ustreznem enakomernem vetru, saj so v drugačnih pogojih meritve neuporabne. V model PCFLOW3D je potrebno vgraditi vse preizkušene enačbe in statistično pokazati, katera metoda daje najboljše rezultate v večjem številu dejanskih vremenskih situacij (vetrov), značilnih za Tržaški zaliv, npr. pri burji (dve ali tri različne jakosti), jugu, maestralu, lebiču in tramontani.

VIRI

Brettschneider, C. L. 1952. The generation and decay of wind waves in deep water *Trans. Am. Geophys. Union*, 33: 381-389.

Bretschneider, C. L. 1964. Generation of waves by wind: State of the art. Washington, D. C. Office of Naval Research: 96 str.

CERC, 1984. Shore protection manual. Washington, DC. U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.

Deo, M. C. 2013. Waves and structures. <http://www.civil.iitb.ac.in/~mcdeo/waves.html> (Pridobljeno 17.08.2013).

Etemad-Shahidi, A., Kazeminezhad, M. H., Mousavi, S. J. 2009. On the prediction of wave parameters using simplified methods. *Journal of Coastal Research*, 56: 505-509.

Goda, Y. 2003. Revisiting Wilson's formulas for simplified wind-wave prediction. *Journal of waterway, port, coastal and ocean engineering*, 129: 93-95.

Homoródi, K. 2003. Investigation and modelling of wind induced waves in shallow water. Doktorska naloga. Budapest, Budapest University of Technology and Economics.

Koutitas, G. C. 1988. Mathematical models in coastal engineering. London, Great Britain. Pentech Press Limited: 156 str.

Rajar, R. 1980. Hidravlika nestalnega toka. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 279 str.

Rajar, R., Žagar, D., Širca, A., Horvat, M. 2000. Three-dimensional modelling of mercury cycling in the Gulf of Trieste. *The Science of the Total Environment*, 260: 109-123.

Rajar, R. Ž., D.; Četina, M.; Akagi, H.; Yano, S.; Tomiyasu, T.; Horvat, M. 2004. Application of three-dimensional mercury cycling model to coastal seas. *Ecological Modelling*, 171: 139-155.

Seck-Hong, C. 1977. New formulas for wave forecasting. 6th Australasian Hydraulics and Fluid Mechanics Conference. Adelaide, Australia.

Van Rijn, L. C. 1993. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Amsterdam. Aqua publications: 654 str.

Žagar, D. 1999. Razvoj in aplikacija tridimenzionalnega modela za simulacijo transporta in procesov pretvorb živega srebra v Tržaškem zalivu. Doktorska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.