

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:

Jačimović, M., 2015. Vpliv metode za določanje vetrnih valov na emulzifikacijo razlite nafte. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žagar, D.): 46 str.

Datum arhiviranja: 03-09-2015

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:

Jačimović, M., 2015. Vpliv metode za določanje vetrnih valov na emulzifikacijo razlite nafte. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žagar, D.): 46 p.

Archiving Date: 03-09-2015

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 ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

MARKO JAČIMOVIČ

**VPLIV METODE ZA DOLOČANJE VETRNIH VALOV
NA EMULZIFIKACIJO RAZLITE NAFTE**

Diplomska naloga št.: 182/B-GR

**IMPACT OF DIFFERENT WAVE
PARAMETERISATION METHODS ON OIL SPILLS**

Graduation thesis No.: 182/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Član komisije:

doc. dr. Mitja Košir

doc. dr. Roman Kunič

prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 29. 06. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

<u>STRAN Z NAPAKO</u>	<u>VRSTICA Z NAPAKO</u>	<u>NAMESTO</u>	<u>NAJ BO</u>

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Marko Jaćimović izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Vpliv metode za določanje vetrnih valov na emulzifikacijo razlite nafte«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 19.5.2015

Marko Jaćimović

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	551.35:553.98(043.2)
Avtor:	Marko Jaćimović
Mentor:	izr. prof. dr. Dušan Žagar
Naslov:	Vpliv metode za določanje vetrnih valov na emulzifikacijo razlite nafte
Tip dokumenta:	Diplomska naloga - univerzitetni študij
Obseg in oprema:	46 str., 18 pregl., 12 sl., 18 en., 9 graf.
Ključne besede:	razlitje nafte, morje, emulzifikacija, stabilnost emulzije, parametri valovanja, empirična parametrizacija valov

Izveček

V diplomski nalogi je opisan proces emulzifikacije razlite nafte. Za simulacijo le – tega se uporabljajo numerični modeli. V nalogi smo uporabili model EMU, ki je preprost program za določanje stabilnosti emulzije ter časa procesa emulzifikacije. Originalni model EMU vsebuje za določanje višine valovanja samo metodo Bretschneider. Ker slednja preceni višino valovanja, smo model nadgradili s štirimi dodatnimi metodami za določanje višine valovanja: metoda Seck – Hong, metoda CEM ter SMB metodi za globoke in plitve vode. Primerjali smo med seboj rezultate uporabljenih metod za računanje višine valovanja, časa emulzifikacije nafte Cook Inlet – Granite Point za vse metode pri različnih vhodnih parametrih. Rezultate smo prikazali v tabelah in grafikonih. Sklepamo, da je izbor metode za računanje višine valovanja pomemben dejavnik pri določanju časa procesa emulzifikacije, zlasti pri razlitju lahkkih vrst nafte.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	551.35:553.98(043.2)
Author:	Marko Jaćimović
Supervisor:	Assoc. Prof. Dušan Žagar, Ph.D.
Title:	Impact of different wave parameterisation methods on oil spills
Document type:	Graduation thesis – University studies
Scope and tools:	46 p., 18 tab., 12 fig., 18 eq., 9 graph.
Keywords:	oil spill, sea, emulsification, stability of emulsion, wave parameters, empirical wave parameterisation

Abstract

In the graduate thesis we described the process of emulsification of spilled oil. Numerical models are used for simulating the process. We used the EMU model, a simple program for determining the stability of emulsion and time of the emulsification processes. In the original model only the Bretschneider method was used for calculating the wave height. Since this method overestimates the wave height, the original EMU model was modified by adding four other methods for calculating the wave height: Seck – Hong method, method CEM, and SMB methods for deep and shallow water. We compared the results of all applied methods for calculating the wave height, emulsification time of Cook Inlet – Granite Point oil, performed with all methods using different input parameters. The results are presented as tables and graphs. We concluded that the choice of wind parameterization method is an important factor in determining the time of the emulsification processes, particularly when simulating spills of light oils.

ZAHVALA

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

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....	I
IZJAVA O AVTORSTVU.....	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO VSEBINE.....	VI
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PREGLEDNIC.....	IX
KAZALO GRAFIKONOV	X
1 UVOD	1
1.1 Opis problema	1
2 METODE	4
2.1 Lastnosti nafte	4
2.1.1 Viskoznost.....	5
2.1.2 Gostota in specifična gostota.....	5
2.1.3 Topnost v vodi.....	6
2.1.4 Površinska napetost	6
2.2 Procesi ob razlitju nafte na morju.....	6
2.2.1 Izhlapevanje.....	8
2.2.2 Mehansko širjenje.....	9
2.2.3 Advekcija.....	10
2.2.4 Turbulentna difuzija	10
2.2.5 Disperzija.....	11
2.3 Emulzifikacija	11
2.3.1 Neprave emulzije.....	12
2.3.2 Nestabilne emulzije	13
2.3.4 Metastabilne emulzije.....	13
2.3.5 Stabilne emulzije	13
2.4 Model EMU.....	14

2.4.1 Čas emulzifikacije	16
2.4.1.1 Začeni čas emulzifikacije	16
2.4.1.2 Čas nastanka emulzije	17
2.5 Posodobitev modela EMU.....	18
2.5.1 Metode za računanje višine valovanja.....	18
2.5.2 Metoda SMB (Sverdrup – Munk – Bretschneider)	19
2.5.2.1 Metoda SMB za plitvo vodo.....	19
2.5.2.2. Metoda SMB za globoko vodo.....	21
2.5.3 Metoda Seck – Hong	22
2.5.4 Metoda CEM.....	24
3 REZULTATI IN DISKUSIJA.....	26
4 ZAKLJUČKI.....	43
VIRI.....	44

KAZALO SLIK

Slika 1: Časovni grafikon razlitij.....	2
Slika 2: Procesi pri razlitju nafte	7
Slika 3: Časovni prikaz procesov pri razlitju nafte na morju	7
Slika 4: Odstotek izgube prvotne mase zaradi izhlapevanja na 15 °C v odvisnosti od časa	9
Slika 5: Mehansko širjenje različnih vrst nafte v odvisnosti od časa	10
Slika 6: Spreminjanje volumna naftnega madeža, zaradi emulzifikacije in izhlapevanja v odvisnosti od časa za vrste naft navedene v preglednici 3.....	12
Slika 7: Originalni EMU model	15
Slika 8: Gibanje delcev pri različnih razmerjih globine in valovne dolžine.....	18
Slika 9: Model EMU z vgrajenimi SMB enačbami za plitve vode	20
Slika 10: Model EMU z vgrajenimi SMB enačbami za globoke vode.....	22
Slika 11: Model EMU z vgrajeno enačbo Seck - Hong	24
Slika 12: Model z vgrajeno enačbo CEM.....	25

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Poraba Nafte v Sloveniji od leta 2004 do 2013 - v tisoč naftnih sodov na dan; 1 sod = 159 litrov	1
Preglednica 2: Vrste in lastnosti nafte	4
Preglednica 3: Razporeditev vrst naft glede na gostoto	5
Preglednica 4: Vrednosti konstant a in b za posamezen stabilnostni razred	17
Preglednica 5: Primerjava uporabljenih metod za račun višine valovanja Hs (U = 18 m/s)	27
Preglednica 6: Primerjava uporabljenih metod za račun višine valovanja Hs (F = 15 km)	28
Preglednica 7: Primerjava uporabljenih metod za račun časa emulzifikacije za nafto Cook Inlet - Granite Point (U = 18 m/s)	29
Preglednica 8: Primerjava uporabljenih metod za račun časa emulzifikacije za nafto Cook Inlet - Granite Point (F = 15 km)	30
Preglednica 9: SMB (globoka voda) - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)	33
Preglednica 10: Bretschneider - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)	34
Preglednica 11: SMB (plitva voda) - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)	34
Preglednica 12: CEM - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)	35
Preglednica 13: Seck Hong - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)	35
Preglednica 14: SMB (globoka voda) - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30 m)	37
Preglednica 15: SMB (plitva voda) - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30 m)	37
Preglednica 16: Bretschneider - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30 m)	38
Preglednica 17: CEM - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30 m)	38
Preglednica 18: Seck Hong - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30)	39

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Primerjava višin valovanja in časa procesa emulzifikacije ($U = 18$ m/s)	31
Grafikon 2: Primerjava višin valovanja in časa procesa emulzifikacije ($F = 15$ km).....	32
Grafikon 3: Metoda Bretschneider - prikaz časov emulzifikacije posamezne vrste nafte ($U=12$ m/s, $T=23^{\circ}\text{C}$, $F=15$ km, $h=20$ m)	36
Grafikon 4: Časi emulzifikacije ($U=12$ m/s, $F=15$ km, $h=20$ m, $T=23^{\circ}\text{C}$).....	39
Grafikon 5: Časi emulzifikacije ($U=12$ m/s, $F=15$ km, $h=20$ m, $T=23^{\circ}\text{C}$)	40
Grafikon 6: Časi emulzifikacije ($U=12$ m/s, $F=15$ km, $h=20$ m, $T=23^{\circ}\text{C}$).....	40
Grafikon 7: Časi emulzifikacije ($U=20$ m/s, $F=20$ km, $h=30$ m, $T=26^{\circ}\text{C}$).....	41
Grafikon 8: Časi emulzifikacije ($U=20$ m/s, $F=20$ km, $h=30$ m, $T=26^{\circ}\text{C}$).....	42
Grafikon 9: Časi emulzifikacije ($U=20$ m/s, $F=20$ km, $h=30$ m, $T=26^{\circ}\text{C}$).....	42

1 UVOD

1.1 Opis problema

Surova nafta je nastala že pred milijoni let. Leta 1854 pa so jo dejansko začeli izkoriščati. Povod je bilo odkritje svetilke na kerozin. Skozi čas se je razvoj ter uporaba nafte tako razširila, da je nafta postala glavni nosilec energije in najpomembnejša surovina. Uporabna je v različnih segmentih vsakdanjega življenja, kot je pridobivanje elektrike ter toplote, še vedno služi kot gorivo veliki večini prevoznih sredstev. Prav tako pa se uporablja kot dodatek v različnih umetnih masah, kozmetiki in celo zdravilih. Zato ne preseneča podatek organizacije Oil Market Intelligence iz marca 2005, da je bila pred desetletjem ponudba nafte 400.000 sodčkov na dan glede na svetovno povpraševanje (<http://www.surovine.si/nafta.php>).

Če pogledamo statistiko porabe nafte od leta 2003 do leta 2013, lahko opazimo, da je večina držav porabila največ nafte med letoma 2005 in 2008 (<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=5&pid=5&aid=2&cid=regions,&syid=2003&eyid=2013&unit=TBDP>). Od takrat pa poraba nafte večinoma upada, najbrž kot posledica vse večjega okoljskega ozaveščanja pa tudi svetovne finančne krize.

V preglednici 1 je prikazana poraba nafte na slovenskem trgu za obdobje od leta 2004 do leta 2011, iz katere je razvidno, da smo tudi v Sloveniji v zadnjih letih zmanjšali porabo nafte.

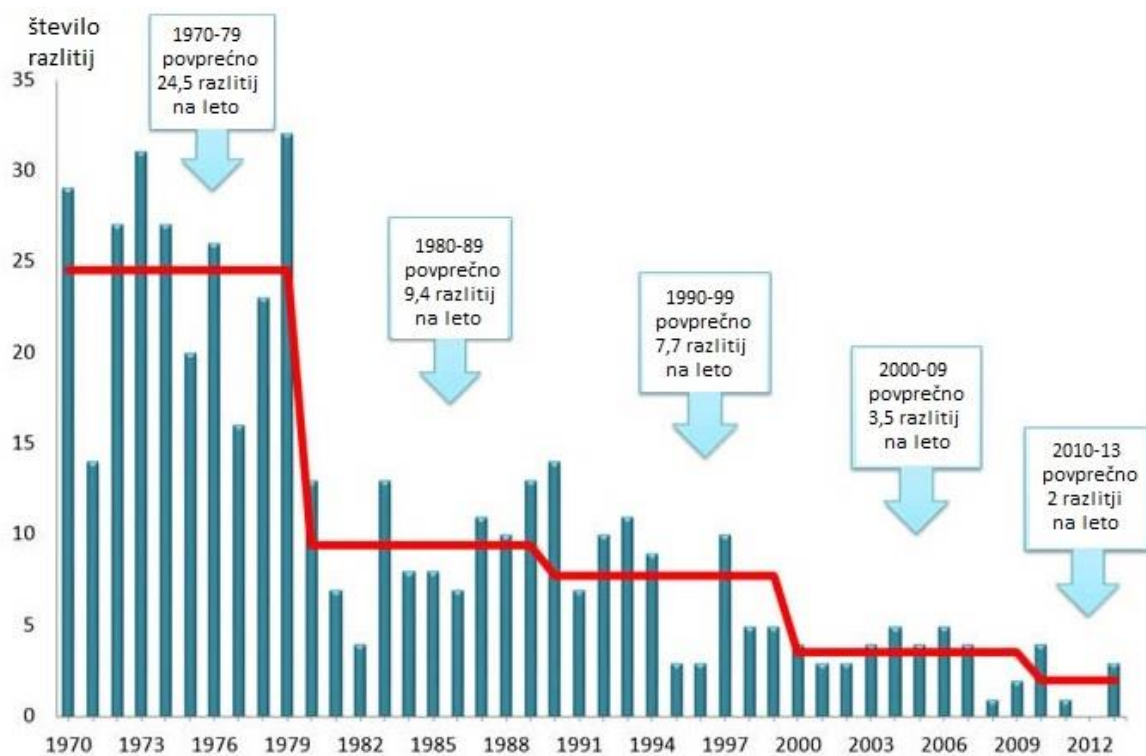
Preglednica 1: Poraba nafte v Sloveniji od leta 2004 do 2013 - v tisoč naftnih sodov na dan; 1 sod = 159 litrov (<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=5&pid=5&aid=2&cid=r3,&syid=2003&eyid=2013&unit=TBDP>)

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
52,43	53,68	55,57	55,07	63,70	55,38	54,77	55,13	55,25	50,40

Do razlitij nafte prihaja vsakodnevno, in sicer pri črpanju nafte, predelovanju oziroma skladiščenju ter seveda med samim prevozom. Poznamo 10–15 vrst transporta, kot so prevoz s tankerji, po cevovodih, z vlaki, cisternami ipd. Vlade in industrija si prizadevajo, da se zmanjša pogostost nesreč, tako da postavljajo določene zakonodaje in pravila glede vzdrževalnih del na črpališčih in transportu, uvajajo izobraževanja za delavce in postavljajo visoke standarde za opremo. Kljub vsemu je človeški dejavnik še vedno odgovoren za 30–50 % nesreč (Fingas, 2010). Do večjih razlitij nafte je prišlo že v času II. svetovne vojne, ko se je v prvih šestih mesecih leta 1942 razlilo 484.200 ton nafte. V vojnem času nikogar ni pretirano skrbelo za ta razlitja, ljudje v tistih časih tudi niso bili tako okoljsko ozaveščeni kot smo danes (Fingas, 2010).

Leta 1969 je prišlo v Santa Barbari (Kalifornija) do nesreče, v kateri se je razlilo 14.300 ton nafte. Ta nesreča predstavlja nekakšno prelomnico, saj se je po njej v ZDA začelo t. i. okoljsko gibanje. Med bolj znanimi nesrečami v zadnjem obdobju sta nesreči leta 1989 na Aljaski, kjer se je iz tankerja Exxon Valdez razlilo več kot 37.000 ton nafte. Druga pa je nesreča v Mehiškem zalivu, natančneje na črpališču Deepwater Horizon, iz katerega se je razlilo 780.000 m³ nafte (Fingas, 2010).

Na srečo je v zadnjih letih veliko manj večjih razlitij nafte kot jih je bilo v bližnji preteklosti, kar dokazuje tudi slika 1 (<http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/statistics/index.html>).



Slika 1: Časovni grafikon razlitij (<http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/statistics/index.html>)

Bolj nevarno je, če pride do razlitja nafte na morju, kajti na kopnem lažje ter hitreje omejimo in saniramo posledice nesreče. Ko pride nafta v stik z morjem, prihaja do fizikalnih in kemijskih sprememb nafte. Poleg tega pa zaradi delovanja morskih tokov in vetra ne moremo natančno vedeti, kako se bo naftni madež obnašal, torej kam in s kakšno hitrostjo se bo širil (Fingas, 2010).

Zato izdelujemo modele za simulacijo obnašanja naftnega madeža ob razlitju nafte na morju, da se ob morebitni nesreči lahko hitreje in bolje posreduje. Modeli za simulacijo razlitij nafte so se pojavili že v začetku 70. let prejšnjega stoletja. Večinoma so sestavljeni tako, da vsebujejo matematične enačbe ter algoritme, s katerimi je mogoče izračunati oziroma določiti obnašanje naftnega madeža (Praznik, 2013).

V preteklosti se je v praksi uveljavilo več modelov. Med njimi je najbolj znan model ADIOS, vendar še zdaleč ni edini. Uporabljajo se tudi model OSCAR, GULFSPILL, PISCES idr. (Praznik, 2013). Prav tako smo na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani razvili že več modelov širjenja nafte: PT3DM (Širca, 1992), SIMON (Žagar, 1994), NAFTA3D (Žagar in Četina, 2011).

Nafta v morju pogosto emulzificira. Emulzija ali čokoladni »mousse« je posledica pojava emulzifikacije, pri čemer se poveča volumen razlite nafte od dva do petkrat, najbolj pa se spremeni viskoznost nafte, in sicer kar za petstokrat ali več. Tako se tekoča snov spremeni v poltrden material, kar še dodatno otežuje odstranjevanje naftnega madeža (Fingas, 2010). Poznamo štiri različne tipe emulzij glede na stabilnost, ki je ključna pri izboru ukrepanja v primeru razlitja nafte (Kvočka, 2013).

V nalogi bomo najprej opisali lastnosti nafte ter procese med razlitjem. Nato bo sledil kratek opis matematičnih modelov emulzifikacije, najbolj pa se bomo osredotočili na posodobitev modela EMU, ki ga je Kvočka (2013) izdelal v okviru svojega diplomskega dela.

Emulzifikacijo povzroča energija valovanja. Kvočka (2013) je za opis valovanja v modelu emulzifikacije EMU uporabil enostavno enačbo za izračun višine valovanja (Bretschneider, 1952). Slednja daje vprašljive rezultate, saj v primerjavi z drugimi empiričnimi metodami znatno preceni višino valovanja (Tofil, 2013).

V svoji diplomski nalogi je Tofil (2013) opisala več empiričnih metod in uporabljene enačbe za parametrizacijo valov, od katerih bomo v nadaljevanju naloge uporabili štiri:

- metoda SMB za plitke vode
- metoda SMB za globoke vode
- metoda Seck - Hong
- metoda CEM

Cilj diplomske naloge je torej preveriti odstopanje v višini valov med različnimi parametrizacijami vetrnih valov in med seboj primerjati čas, potreben za emulzifikacijo različnih vrst nafte. Uporabili bomo model EMU (Kvočka, 2013), le da bomo poleg že uporabljene enačbe za račun značilne višine valov (Bretschneider, 1952), v model vgradili in preverili še našete štiri enačbe za parametrizacijo vetrnih valov.

2 METODE

2.1 Lastnosti nafte

Poznamo različne vrste nafte z unikatnimi lastnostmi, ki se ob razlitju ter čiščenju madeža zelo različno obnašajo (Kvočka, 2013).

V grobem lahko surovo nafto razdelimo v tri različne skupine (Kvočka, 2013):

- lahka surova nafta,
- srednje težka surova nafta,
- težka surova nafta.

Značilne lastnosti omenjenih tipov nafte so opisane v preglednici 2.

Preglednica 2: Vrste in lastnosti nafte (Kvočka, 2013)

LASTNOSTI	LAHKA SUROVA NAFTA	SREDNJE TEŽKA SUROVA NAFTA	TEŽKA SUROVA NAFTA
Število ogljikovih atomov	do 10 atomov	10 do 22 atomov	več kot 22 atomov
Temperatura vrelišča	do 150°C	150 do 400°C	nad 400°C
Izhlapovanje	hitro in popolno	delno	skoraj brez izhlapevanja
Topnost v vodi	visoka	majhna	skoraj netopno
Akutna strupenost	velika	srednje velika	majhna
Možnost tvorbe bioakumulacije	brez	srednje potencialna	potencialna
Ostalo	-večinoma jo sestavljajo alkeni in cikloalkeni, ki imajo relativno majhno topnost	-sestavljajo jo degradirani alkeni -predstavljajo največjo nevarnost za okolje	- potencialna kronična zastrupljenost okolja - dolgotrajna prisotnost v sedimentih

2.1.1 Viskoznost

Viskoznost je količina, ki podaja odpor tekočine na strižno deformacijo. Določena je kot razmerje med strižno napetostjo in strižno hitrostjo in izraža notranje trenje kapljevine (Praznik, 2013).

Če se omejimo na nafto pa to pomeni sposobnost tečenja nafte po vodi oz. drugi kapljevini. Na viskoznost vpliva predvsem količina asfaltenov, manjša kot je slednja, manjša je viskoznost (Fingas, 2010). Nižja kot je viskoznost lažje in hitreje se nafta razširja po vodni površini. Temperatura je naslednji parameter, ki vpliva na viskoznost. Z nižanjem temperature se viskoznost večja. Iz viskoznosti lahko torej ugotovimo, kako se naftni madež razliva, njegovo disperzijo v vodni stolpec ter stabilnost emulzije (Praznik, 2013).

2.1.2 Gostota in specifična gostota

Gostota nam pove maso v prostorninski enoti določene snovi in je po navadi izražena v gramih na kubični centimeter (g/cm^3) (Fingas, 2010), specifična gostota pa je gostota neke snovi v primerjavi z gostoto vode (Šaponja, 2014). V večini primerov ima nafta manjšo gostoto kot voda, posledično naftni madež plava na morski gladini. Obstajajo pa tudi primeri, sicer zelo redki, ko je gostota nafte večja od morske vode in pride do potopitve nafte. Primer take nafte je Bunker C (Fingas, 2010).

Na gostoto nafte in morja vplivata temperatura ter slanost, kar pomeni da ne gre za konstantni, temveč za spremenljivi količini. V povprečju se gostota nafte pri 15°C giblje med $0,7$ in $0,99 \text{ g/cm}^3$ (Šaponja, 2014).

S pomočjo gostote naftna industrija določi ali gre za lahko oz. težko surovo nafto, kakor je prikazano v preglednici 3 (Fingas, 2010).

Preglednica 3: Razporeditev vrst naft glede na gostoto (Kvočka, 2013)

Skupina	Gostota	Primeri oz. vrste nafte
Skupina I	manj kot 0,8	bencin, kerozin
Skupina II	0,8 - 0,85	"Kombineft", "Eugene Island Block 32"
Skupina III	0,85 - 0,95	"Arabian Light", "Lago"
Skupina IV	večja kot 0,95	"Adgo", »Belridge Heavy"

2.1.3 Topnost v vodi

Je mera, ki nam pove koliko nafte se bo raztopilo v vodnem stolpcu na molekularni ravni. Čeprav se navadno raztopi zelo malo nafte, je to lahko problematično zaradi velike strupenosti topnih komponent nafte (Fingas, 2010).

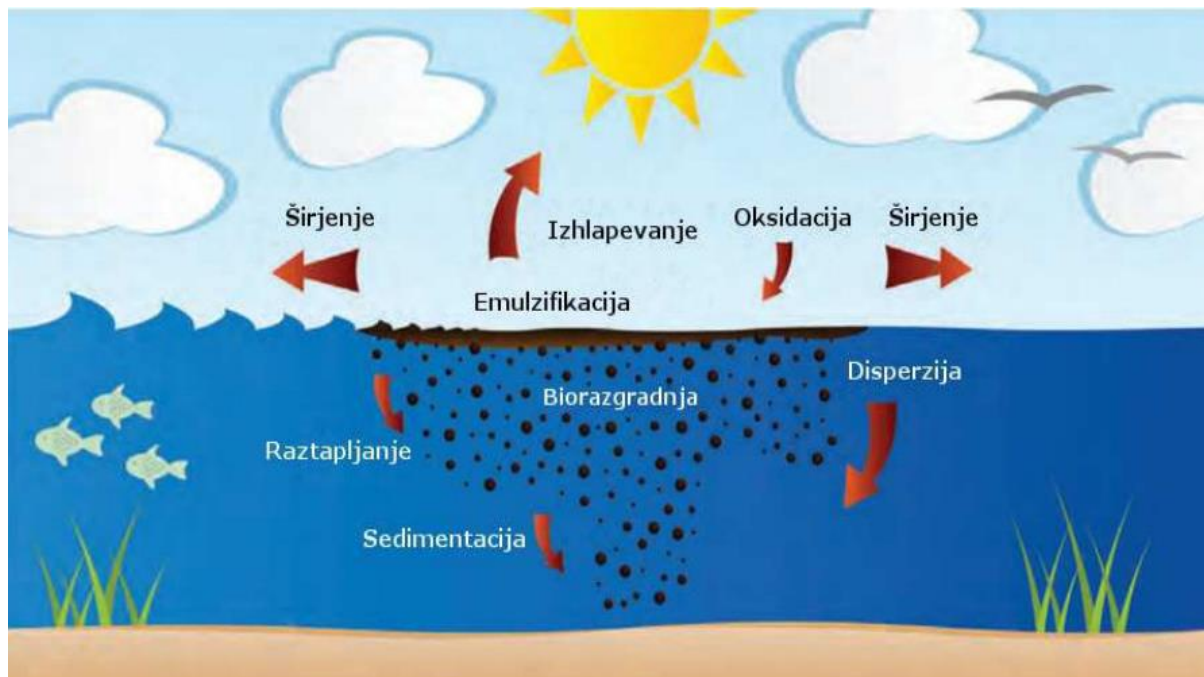
2.1.4 Površinska napetost

Površinska napetost kapljevin je v zvezi z močnimi medmolekularnimi silami, ki imajo kratek doseg. Molekula v notranjosti kapljevine je z vseh strani obdana z drugimi molekulami. Je vzrok, da se kapljevina v majhnih množinah oblikuje v kroglaste kapljice. V veliki meri je odvisna od temperature, čim višja je temperatura tem manjša je površinska napetost. Pri razlitju nafte so pomembne privlačne sile med molekulami nafte ter vode. Skupaj z viskoznostjo je površinska napetost pokazatelj, kako hitro se bo naftni madež širil ter kako velik bo. Manjša kot je, tanjši in zato večji bo naftni madež (Kladnik, 1985).

Pomembni vlogi predstavljata tudi temperatura vrelišča ter strdišča. Logično je, da bodo nafte z višjo temperaturo vrelišča dlje časa ostale na morski gladini, saj bodo izhlapele kasneje kot nafte z nizko temperaturo vrelišča (Jeglič, 2010). Če je temperatura okolice nižja od strdišča, potem se nafta prične strjevati, kar lahko zelo vpliva na njeno širjenje na morju (Jeglič, 2010).

2.2 Procesi ob razlitju nafte na morju

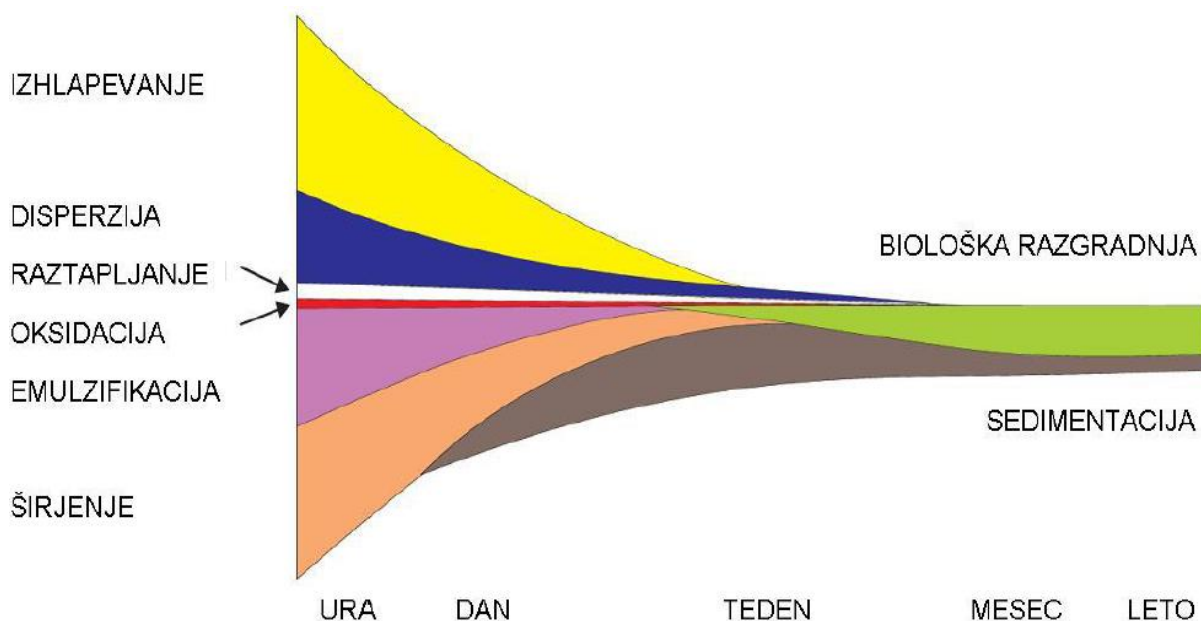
Na sliki 2 so prikazani procesi, ki se pojavijo ob razlitju nafte na morju. Lahko jih ločimo glede na čas delovanja. Takoj po razlitju se pričnejo kratkotrajni procesi, kot so izhlapevanje, mehansko širjenje, emulzifikacija in raztapljanje (Jeglič, 2010). Slednje upoštevamo predvsem, ko se osredotočamo na biološki vpliv razlitja nafte na okolje, kajti raztopljena nafta je lahko zelo strupena ter nevarna za organizme v morju (Kvočka, 2013).



Slika 2: Procesi pri razlitju nafte (Šaponja, 2014: str. 7)

Dolgotrajni procesi pa se pojavijo šele po nekaj urah oziroma dneh ter prevladujejo po nekaj mesecih ali letih. Med take procese štejemo procesa biološke razgradnje in sedimentacije. Časovni razvoj procesov je prikazan na sliki 3 (Jeglič, 2010).

V nadaljevanju se bomo osredotočili predvsem na kratkoročne procese.



Slika 3: Časovni prikaz procesov pri razlitju nafte na morju (Jeglič, 2010: str. 8)

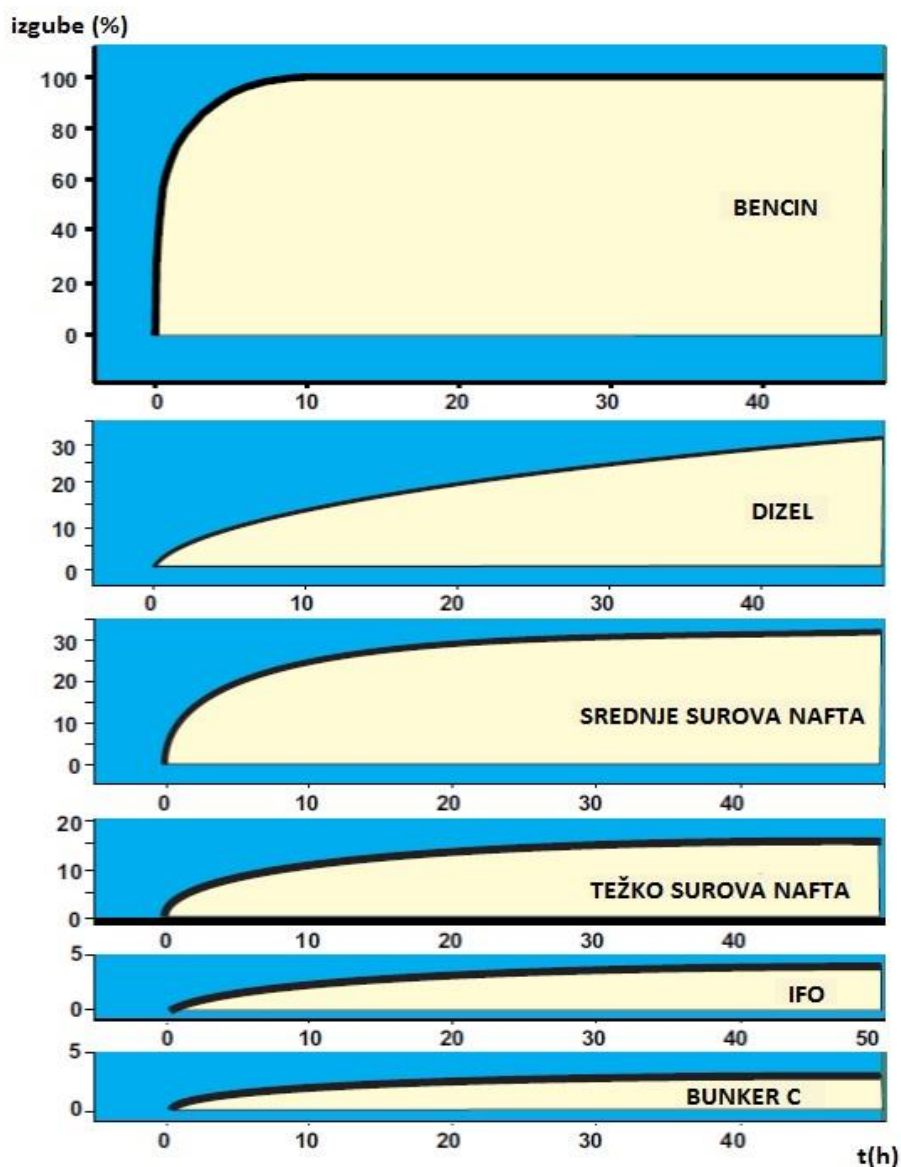
2.2.1 Izhlapovanje

Izhlapovanje kapljev in predstavlja gibanje molekul s površja v paro, ki je pri nafti odvisno predvsem od:

- a) vrste nafte in njenih sestavin: lahka surova nafta lahko že v nekaj dneh izgubi do 75 %, srednje težka do 40 % in težka surova nafta do 10 % prvotne mase (Šoško, 2012). To je prikazano na sliki 4.
Snovi, kot sta npr. kerozin in bencin, ki imata temperaturo vrelišča pod 200 °C popolnoma izhlapijo že v nekaj urah (Šoško, 2012).
- b) zunanjih oziroma vremenskih pogojev: mednje sodijo razburkanost morja, visoke temperature in veter. Te lahko neposredno (višja temperatura povzroči hitrejše izhlapevanje) ali posredno vplivajo na izhlapevanje (Šoško, 2012).

Po procesu izhlapevanja ima naftni madež večjo gostoto in višjo viskoznost (Šaponja, 2014).

Večina modelov širjenja nafte uporablja za račun izhlapevanja (Kvočka, 2013 cit. po Mackay, 1980) analitični pristop. Slednji temelji na predpostavki, da je izhlapevanje regulirano z mejno plastjo nasičenega zraka, ki upočasnjuje izhlapevanje. Po Mackayevem pristopu je izhlapevanje odvisno od okolice, hitrosti vetra ter površine naftnega madeža (Šaponja, 2014). Pri modelih, ki upoštevajo to predpostavko pa ne moremo pravilno napovedovati dolgoročnega izhlapevanja, ker pri različnih hitrostih vetra dobimo napačne vrednosti (Šaponja, 2014). Nekateri modeli ne uporabljajo Mackayevega pristopa, temveč novejši Fingasov pristop. Fingas je z opazovanjem vpliva vetra, površine naftnega madeža in temperature v laboratoriju eksperimentalno pokazal, da mejna plast zelo malo vpliva na izhlapevanje, ker že zelo šibak veter odstrani mejno plast. Fingas je ugotovil, da je izhlapevanje odvisno samo od temperature nafte in časa (Šaponja, 2014 cit. po Fingas, 2004).

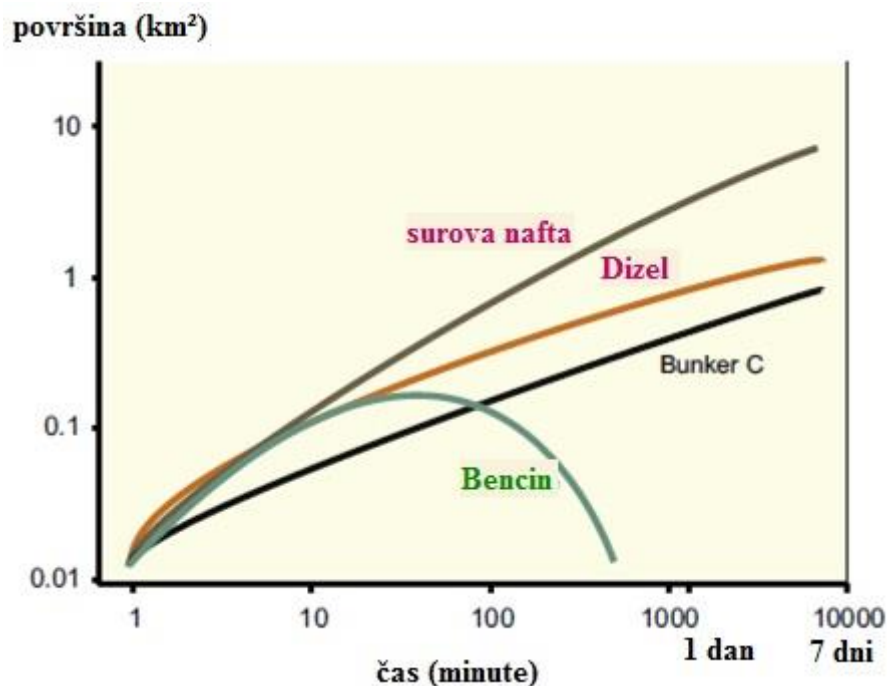


Slika 4: Odstotek izgube prvotne mase zaradi izhlapevanja na 15 °C v odvisnosti od časa (Fingas, 2010: str. 189)

2.2.2 Mehansko širjenje

Takoj po razlitju se nafta v brezvetrju začne širiti po vodni površini v obliki madeža, ki je na začetku na robovih tanjši ter v notranjosti debelejši. Po enem ali dveh dnevih širjenja ta efekt izgine in madež je po celotni površini tanek (Fingas, 2010).

Na sliki 5 je prikazano širjenje naft različnih gostot, za obdobje enega tedna. Vidimo, da se npr. bencin na začetku hitro širi, vendar se nato površina naftnega madeža zaradi hitrega izhlapevanja znatno zmanjša (Fingas, 2010).



Slika 5: Mehansko širjenje različnih vrst nafte v odvisnosti od časa (Fingas, 2010: str. 196)

Mehansko širjenje je posledica dinamičnega ravnovesja med težnostnimi silami, vztrajnostnimi silami in silami zaradi površinske napetosti. Na hitrost širjenja madeža najbolj vplivajo volumen razlite nafte, viskoznost ter površinska napetost. Za nafto z nizko viskoznostjo je značilno, da se naftni madež hitro širi in debelina madeža se hitro zmanjšuje. Že po nekaj urah naftni madež preide v tanek sloj na gladini, ki ima obliko kometa. V smeri vetra se madež debeli, za sabo pa vleče širši in vse tanjši sloj nafte. Pri nafti z visoko viskoznostjo pa se ustvari več naftnih madežev, ki se ne širijo kot celota, ampak so med seboj ločeni (Jeglič, 2010).

2.2.3 Advekcija

Advekcija je gibanje morja, ki ga povzročijo tokovi (Praznik, 2013), nastali zaradi različnih vplivov, kot so veter, plimovanje, spremembe zračnega tlaka, razlika temperature ter slanosti in vtoki rek (http://sl.wikipedia.org/wiki/Oceanski_tok).

2.2.4 Turbulentna difuzija

Turbulentna difuzija je oblika disperzije, kjer vrtinci, ki jih povzroči turbulenca mešajo ter prenašajo snov na krajše razdalje. S turbulentno difuzijo se lahko prenašajo tako raztopljene, kot tudi neraztopljene snovi (Gulliver, 2007).

2.2.5 Disperzija

Disperzija je proces, kjer se nafta zaradi vpliva valov in turbulence razcepi na majhne oljne kapljice, ki se ne zadržujejo na gladini, ampak preidejo v zgornje sloje vodnega stolpca (Jeglič, 2010). Manjši delci (premer pod 0,02 mm) ostanejo tam dlje časa, medtem ko se večji delci dokaj hitro dvignejo nazaj na površje in ponovno ustvarijo naftni madež ali pa tanko plast s srebrnim sijajem (Fingas, 2010). Disperzija je odvisna od vrste nafte, bolj izrazita je pri nafti z manjšo viskoznostjo. Vemo, da se viskoznost povečuje z izhlapevanjem, posledično se disperzija manjša (Jeglič, 2010). Disperzijo lahko povečamo oziroma pospešimo z dodajanjem kemikalij na naftni madež. V določenih situacijah so disperzanti edina možna rešitev za odstranjevanje ali vsaj omejitev širjenja naftnega madeža. Je pa njihova uporaba nekoliko omejena, saj na bolj viskozne nafte disperzanti nimajo večjega vpliva. (<http://www.itopf.com/spill-response/clean-up-and-response/dispersants/>).

2.3 Emulzifikacija

Proces emulzifikacije bomo opisali nekoliko bolj podrobno, saj je glavni cilj diplomske naloge posodobitev modela emulzifikacije EMU z dodatnimi enačbami valovanja.

Emulzifikacija je proces pri katerem vodne kapljice prodrejo v nafto in se z njo zmešajo. Tako nastane emulzija, zmes dveh nemešljivih kapljev, od katerih je ena dispergirana v drugi v obliki tekočih kapljic in/ali tekočih kristalov. Torej ena tekočina prodre v drugo v obliki kapljic, kar se imenuje notranja faza. Obdajajoči del tekočine pa se imenuje zunanja faza (Kvočka, 2013).

Da se razvije proces emulzifikacije mora biti morje razburkano, saj je za nastanek emulzifikacije potreben vpliv turbulentnih tokov in valov. Emulzifikacija se v mirnem morju ne razvije (Jeglič, 2010).

Poznamo dve vrsti emulzije:

- »voda v nafti«: gre za primer, ko je zunanja faza oljna, kar pomeni, da kapljice vode prodrejo v nafto oziroma na dno plasti naftnega madeža, s pomočjo energije morja. Posledica tega je penjenje nafte (Fingas, 2010). Tak tip emulzije v naravi prevladuje (Jeglič, 2010) in tega tudi obravnavamo v diplomski nalogi.
- »nafta v vodi«: tukaj je situacija ravno obratna, saj v tem primeru kapljice nafte prodrejo v vodo, kar povzroči, da se voda speni (Jeglič, 2010).

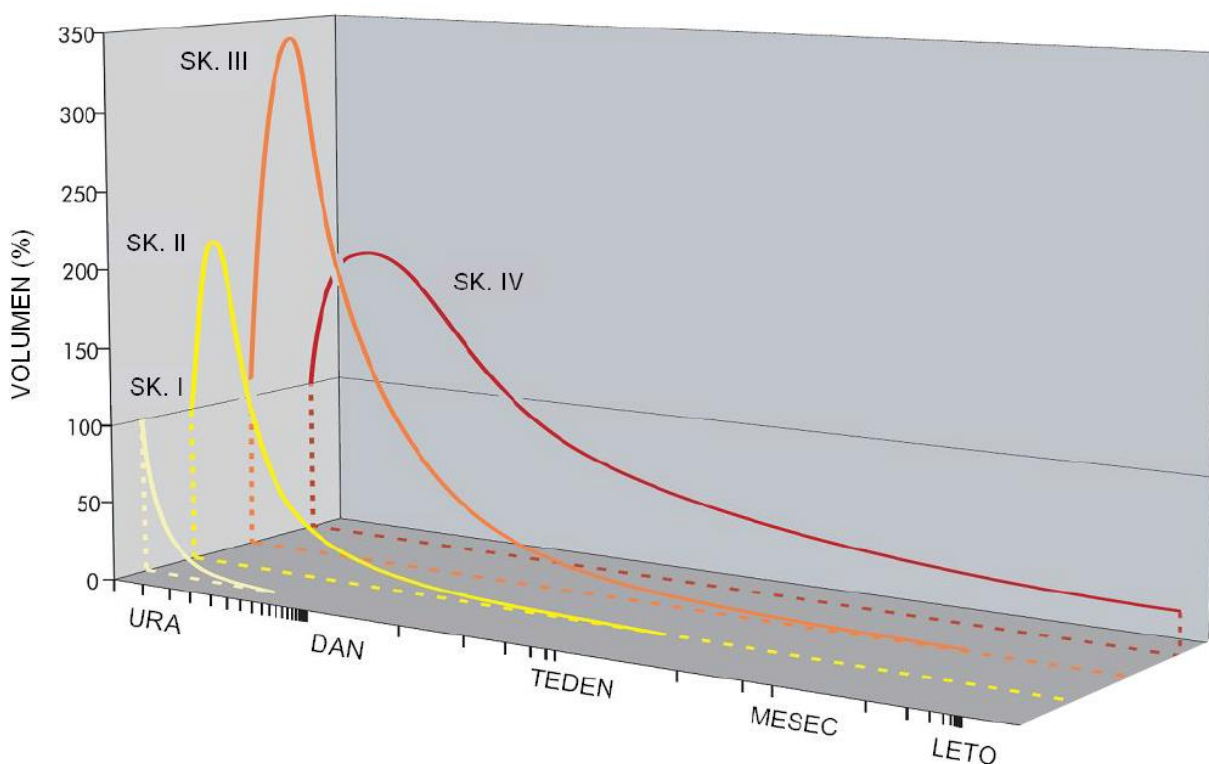
Poleg hitrosti vetra, debeline naftnega madeža in temperature okolja na emulzifikacijo zelo vpliva vrsta oz. sestava nafte. Od sestave je namreč odvisna količina oz. razmerje asfaltenov, voskov in smol, ki določajo stabilnost emulzije. Najbolj pomembni za emulzifikacijo so asfalteni; voski in smole služijo

bolj kot pomoč pri stabiliziranju emulzije. Voski in smole namreč prvi tvorijo emulzijo ter jo začasno stabilizirajo, dokler se stabilizacijskemu procesu ne priključijo asfalteni (Kvočka, 2013).

Ob ustreznem razmerju asfaltenov, voskov in smol dobimo najstabilnejšo emulzijo. Njihova količina pa se povečuje z izhlapevanjem ter posledično z večanjem viskoznosti nafte (Fingas, 2010).

Iz slike 6 lahko razberemo, da se naftam z majhno gostoto (skupina I) volumen ne poveča, saj zelo hitro izhlapijo. Pri naftah skupine II in III je proces emulzifikacije bolj izrazit. Pri naftah z veliko gostoto (skupina IV) je emulzifikacija manj izrazita, a še vedno pomemben proces ob razlitju nafte v morje (Jeglič, 2010).

Fingas in sod. (2002) so pokazali, da imamo štiri vrste stabilnosti emulzije, in sicer stabilno emulzijo, metastabilno emulzijo, nestabilno emulzijo in nepravo emulzijo (Kvočka, 2013).



Slika 6: Spreminjanje volumna naftnega madeža, zaradi emulzifikacije in izhlapevanja v odvisnosti od časa za vrste naft navedene v preglednici 3 (Jeglič, 2010: str. 14)

2.3.1 Neprave emulzije

Take emulzije se pojavljajo v obliki skoraj črne viskozne kapljevine. Značilno je, da se količina vode manjša od časa nastanka emulzije. Ob nastanku je vsebnost vode približno 45 %, po enem tednu pa pade na okoli 28 % (Kvočka, 2013).

Povprečne začetne vrednosti, ki so potrebne za nastanek neprave emulzije so (Kvočka, 2013):

- gostota: 0,97 g/ml,
- viskoznost: 60000 mPa.s,
- količina smol: 18 %,
- vsebnost asfaltenov: 12 %,
- razmerje asfalteni-smole: 0,75.

2.3.2 Nestabilne emulzije

Taka vrsta emulzije običajno vsebuje manjšo količino vode. Tudi, če vsebujejo večjo količino vode, se le-ta v emulziji ne zadrži dosti časa. Nestabilne emulzije navadno tvorijo lahka goriva (dizel), zelo viskozne nafte in vremensko preperete surove nafte (Kvočka, 2013).

2.3.4 Metastabilne emulzije

Metastabilne emulzije so rdečkaste ali rjavkaste viskozne tekočine (Fingas, 2010). Značilno je, da po enem tednu od nastanka takšna emulzija vsebuje skoraj pol manj vode, kot jo je imela ob nastanku. Kot take zdržijo približno en teden in nato razpadejo (Kvočka, 2013).

Povprečne začetne vrednosti, ki so potrebne za nastanek metastabilne emulzije so (Kvočka, 2013):

- gostota: 0,9 g/ml,
- viskoznost: 1300 mPa.s,
- količina smol: 16 %,
- vsebnost asfaltenov: 8 %,
- Razmerje asfalteni-smole: 0,5.

2.3.5 Stabilne emulzije

Stabilne emulzije so prav tako rdečkaste ali rjavkaste zmesi, vendar so za razliko od metastabilnih emulzij v poltrdnem stanju. Nafta ima v tej fazi veliko vsebnost asfaltenov, voskov in smol, ki stabilizirajo vodne kapljice. Tako se lahko viskoznost stabilne emulzije poveča kar od 500–800 krat, glede na primarno stanje nafte. Taka emulzija lahko v tej obliki zdrži tudi več tednov (Fingas, 2010).

Povprečne začetne vrednosti, ki so potrebne za nastanek stabilne emulzije so (Kvočka, 2013):

- gostota: 0,9 g/ml,
- viskoznost: 300 mPa.s,
- količina smol: 16 %,
- vsebnost asfaltenov: 8 %,
- razmerje asfalteni-smole: 0,5.

Nastanek emulzije je torej zelo pomemben dejavnik pri razlitju nafte na morju. Ta se najbolj kaže pri znatnem povečanju volumna in viskoznosti razlite nafte. Kot primer lahko vzamemo nafto, ki ima viskoznost motornega olja. Taki nafti se volumen poveča kar za trikratno vrednost in med procesom emulzifikacije preide v poltrdno stanje (Fingas, 2010).

Povečanje viskoznosti in prostornine naftnega madeža otežujeta čiščenje, saj naftno emulzijo znatno težje odstranimo. Poleg tega pa se tudi proces biološke razgradnje emulzificirane nafte znatno upočasni (Fingas, 2010).

2.4 Model EMU

Model EMU je Kvočka (2013) izdelal v okviru diplomske naloge, s programskim orodjem Microsoft Visual Studio. Glavni namen modela je določitev razreda stabilnosti emulzifikacije ter časa procesa emulzifikacije. Na sliki 7 vidimo razporeditev polj v modelu, katerih se s pritiskom na gumb »Transformation« izpišejo transformirane vrednosti vseh vhodnih podatkov. Po določitvi transformiranih vrednosti sledi določitev razreda stabilnosti, ki temelji na enačbi (1) (Kvočka, 2013).

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilnost } C = & 5667 - 9520 \cdot Dt - 3,99 \cdot Vt + 0,138 \cdot St + 2,16 \cdot Rt - 0,395 \cdot At \\
 & + 17,9 \cdot \frac{A}{R} + 224 \cdot \exp Dt + 2,88 \cdot 10^{-10} \cdot \exp Rt - 4,35 \cdot \exp \frac{A}{R} \\
 & + 16823 \cdot \ln Dt + 10,5 \cdot \ln Vt - 0,671 \cdot \ln St + 0,147 \cdot \ln Rt + 0,107 \\
 & \cdot \ln At + 16,2 \cdot \frac{A}{R}
 \end{aligned} \tag{1}$$

The screenshot shows the EMU software interface with the following sections and data:

- OIL PROPERTIES**
 - Density: 0.9143 g/mL
 - Viscosity: 152 mPa.s
 - Saturates: 56 %
 - Resins: 7 %
 - Asphaltenes: 7 %
 - Asphaltene/resin ratio: 1
- Transformation**
 - Density: 2.495
 - Viscosity: 5.0239
 - Saturates: 11
 - Resins: 3
 - Asphaltenes: 3
 - Asphaltene/resin ratio: 1
- EMULSION PROPERTIES**
 - Stability C: 20
 - Stability class: Stable emulsion
- EMULSION KINETICS ESTIMATOR**
 - Wave height: Manual entry (selected)
 - Wind speed: 10 km
 - Fetch: 12 NM
 - Wave height: 59 cm
 - Time to formation of the emulsion: 43.7 min
 - Full time: 4659.3 min
- EVAPORATION AND INITIAL TIME OF EMULSIFICATION**
 - Percentage of evaporation: 39.7 %
 - Percentage by weight distilled at 180°C: 25.79 %
 - Temperature: 25 °C
 - oil follows a logarithmic relationship (checked)
 - oil follows a square root relationship (unchecked)
 - Initial time of emulsification: 4615.6 min
- OIL TYPE**
 - Cook Inlet - Swanson River

Slika 7: Originalni EMU model

Oznake v enačbi pomenijo: Dt parameter deleža gostote, Vt parameter deleža viskoznosti, Rt parameter deleža smol, At parameter deleža asfaltenov in $\frac{A}{R}$ parameter razmerja asfalteni/smole. Na podlagi vrednosti izračunane z enačbo (1) model določi in izpiše razred stabilnosti emulzije. Razredi so določeni z naslednjimi vrednostmi (Kvočka, 2013):

- stabilna emulzija: vrednost *Stabilnosti C* je med 4 in 29,
- metastabilna emulzija: vrednost *Stabilnosti C* je med -10 in 5,
- nepravna emulzija: vrednost *Stabilnosti C* je med -20 in 3, gostota je večja od 0,94 g/ml ter viskoznost večja od 600 mPa.s,
- nestabilna emulzija: vrednost *Stabilnosti C* je med -18 in -4, viskoznost je manjša od 100 mPa.s oz. večja od 800.000 mPa.s, delež smol je manjši od 1 % in delež asfaltenov manjši od 1 %.

Ko imamo določen razred stabilnosti, nam model izpiše tudi delež izhlapevanja (%), ki ga model izračuna iz podatka o deležu destilacije pri 180 °C (%), slednji je v modelu vnaprej podan za vsako vrsto nafte posebej. Za izračun začetnega časa (do začetka emulzifikacije) je potrebno vnesti samo še temperaturo morja (Kvočka, 2013). Izračuni začetnega časa ter časa nastanka emulzije so opisani v poglavju 2.4.1.1 in 2.4.1.2. V delu grafičnega vmesnika »EMULSION KINETICS ESTIMATOR« model izračuna višino valov s pomočjo Bretschneiderjeve enačbe (2) (Tofil, 2013 cit. po Bretschneider, 1952), ki je primerna za globoko vodo, kratka privetrišča in velike hitrosti vetra (Kvočka, 2013).

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

Oznake v enačbi so podane v imperialnih enotah in pomenijo (Tofil, 2013 cit. po Bretschneider, 1952):

- H_w – višina valov [ft]
- U – hitrost vetra 10 m nad gladino morja [kn]
- F – privetrišče [NM]

Model poleg možnosti izračuna valov z uporabo metode Bretschneider (1952) omogoča tudi ročni vnos višine valov, s katerim prav tako izračuna čas procesa emulzifikacije (Kvočka, 2013)

2.4.1 Čas emulzifikacije

Celoten čas emulzifikacije je seštevek začetnega časa emulzifikacije (čas preden se začne emulzifikacija – pri večini vrst nafte emulzifikacija nastopi šele po določenem času, ko izhlapi dovolj lahkih frakcij, da se vzpostavi pravo razmerje med vsebnostjo voskov, smol in asfaltenov) ter časa nastanka emulzije oziroma časa samega procesa emulzifikacije (Kvočka, 2013).

2.4.1.1 Začetni čas emulzifikacije

Fingas (2004) je izmeril časovni potek izhlapele snovi (v odstotkih) za približno 200 različnih sestav nafte. Za večino vzorcev je ugotovil, da narašča odstotek izhlapele snovi logaritemsko s časom. Za nekatere vzorce pa odstotek izhlapele snovi narašča korensko s časom (cit. po Kvočka, 2013). Torej lahko odstotek izhlapele nafte izračunamo z enačbo (3), ki upošteva logaritemsko funkcijo ter z enačbo (4), ki upošteva korensko funkcijo. Model EMU pa iz prednaloženih podatkov sam izbere ustrezno enačbo za posamezno nafto.

$$F = [0,165 \cdot \%D + 0,045(T - 15)] \cdot \ln(t) \quad (3)$$

$$F = [0,0254 \cdot \%D + 0,01(T - 15)] \cdot \sqrt{t} \quad (4)$$

Oznake v enačbi pomenijo (Kvočka, 2013):

- F – odstotek izhlapele nafte
- $\%D$ – vrednost odstotka destilacije pri 180°C
- T – temperatura nafte [°C]
- t – čas [min]

Fingas (2004) je v primerjavi s predhodniki (Mackay in sod., 1980) znatno poenostavil račun izhlapevanja, saj zanj potrebujemo le podatek o odstotku destilacije %D ter temperaturo nafte T. Tako lahko iz enačb (3) in (4) izrazimo potrebni čas, ki preteče od razlitja do trenutka, ko je izhlapelo dovolj nafte in se začne proces emulzifikacije. Težja kot je nafta, daljši je potreben čas izhlapevanja oziroma več časa je potrebno, da se prične proces emulzifikacije. Zato se pri lažjih naftah emulzifikacija začne prej (Kvočka, 2013). Enačbi (5) in (6) predstavljata izračun začetnega časa emulzifikacije z logaritemsko oz. korensko funkcijo (Kvočka, 2013).

$$t = e^{\frac{F}{0,165 \cdot \%D + 0,045 \cdot (T - 15)}} \quad (5)$$

$$t = \left[\frac{F}{0,0254 \cdot \%D + 0,01 \cdot (T - 15)} \right]^2 \quad (6)$$

2.4.1.2 Čas nastanka emulzije

Kvočka (2013) je v modelu EMU za čas procesa emulzifikacije uporabil enačbo (7), ki jo podaja Fingas (2010):

$$y = a + b/x^{1,5} \quad (7)$$

Oznake v enačbi pomenijo:

- y – čas nastanka emulzije [min]
- a in b – vrednosti odvisni od stabilnosti emulzije
- x – višina valov [cm]

Vrednosti konstant a in b so podane v preglednici 4 (Kvočka, 2013 cit. po Fingas, 2010).

Preglednica 4: Vrednosti konstant a in b za posamezen stabilnostni razred

STABILNOST EMULZIJE	VREDNOST KONSTANTE a	VREDNOST KONSTANTE b
STABILNA	27,1	7520
METASTABILNA	47	49100
NEPRAVA	30,8	18300

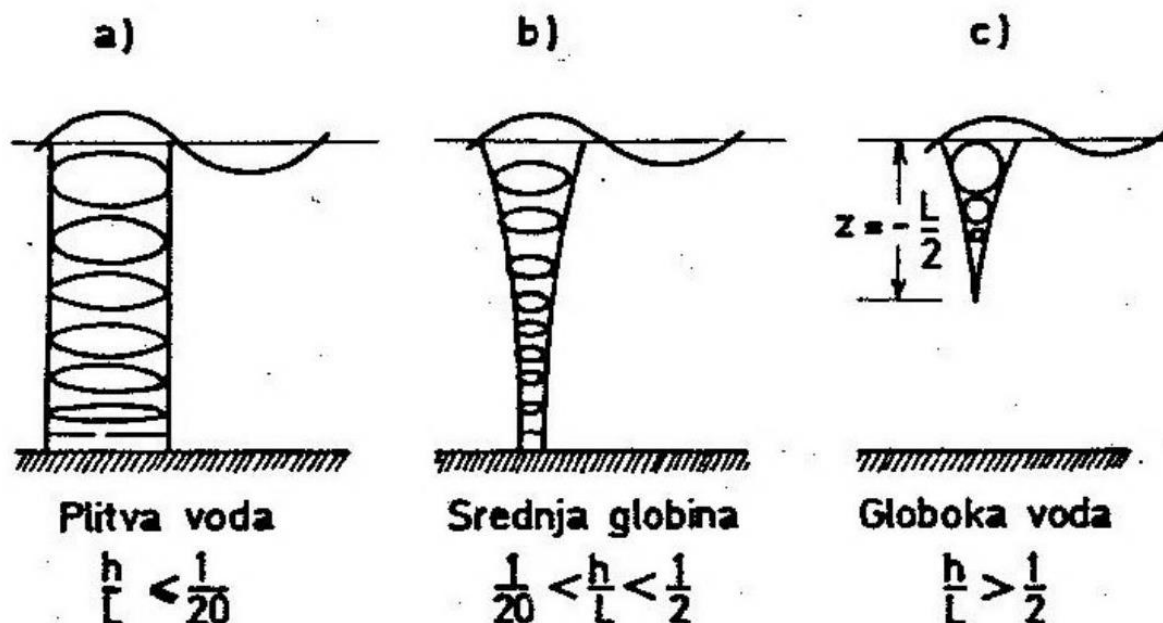
Zavedati se moramo, da je enačba (7) pomanjkljiva, ker predpostavlja daljše enakomerno valovanje, ki se v naravi zelo težko vzpostavi. Poleg tega pa ne upošteva periode valovanja, strmine vala in ne pove ali je v enačbi upoštevana višina valov ob ali pod naftnim madežem (Kvočka, 2013).

2.5 Posodobitev modela EMU

Model EMU (Kvočka, 2013), smo spremenili tako, da smo uporabljeno Bretschneiderjevo enačbo za izračun višine valovanja nadomestili z enačbami valovanja, ki jih podajajo metode SMB za plitve in globoke vode, CEM ter Seck Hong. Za vsako metodo ter pripadajočo enačbo smo izdelali samostojen model, saj brez ustreznih meritev ne vemo, katera metoda daje v praksi najboljše rezultate, modela pa nismo želeli obtežiti s preveč enačbami. Osnovni namen diplomske naloge je namreč poiskati razliko med rezultati emulzifikacije ob različnih parametrizacijah vetrnih valov. Ko bodo na razpolago meritve, bo mogoče izboljševati najbolj ustrezno različico modela. Dela modela, ki vsebuje značilnosti naft ter račun stabilnosti emulzije, nismo spreminjali. Prav tako smo ohranili enačbi, ki podajata čas emulzifikacije.

2.5.1 Metode za računanje višine valovanja

Uporabili smo štiri različne metode, ki podajajo enačbo za računanje višine valovanja, tako za plitve kot za globoke vode. Potrebno pa je poudariti, da je vnaprej težko določiti ali gre za plitvo ali za globoko vodo, saj moramo pred določitvijo poznati parametre valovanja. Rajar (1980) je, enako kot številni drugi avtorji, mejo med plitvo in globoko vodo definiriral z razmerjem med globino (h) in valovno dolžino (L). Na sliki 8 je razvidno gibanje delcev pri valovanju v plitvi, globoki ter srednje globoki vodi.



Slika 8: Gibanje delcev pri različnih razmerjih globine in valovne dolžine (Rajar, 1980: str. 33)

2.5.2 Metoda SMB (Sverdrup – Munk – Bretschneider)

SMB enačbe so različne, kadar računamo parametre valovanja za plitve ali globoke vode. Enačbe za plitvo vodo so zaradi vpliva dna precej bolj komplicirane.

2.5.2.1 Metoda SMB za plitvo vodo

Enačba, ki smo jo uporabili za izračun višine valovanja je naslednja (Tofil, 2013 cit. po CERC, 1984):

$$H_s = 0,283 \cdot \frac{U_A^2}{g} \cdot \tanh[0,530 \cdot (h')^{0,75}] \cdot \tanh \frac{0,00565 \cdot (F')^{0,5}}{\tanh[0,530 \cdot (h')^{0,75}]} \quad (8)$$

$$h' = \frac{g \cdot h}{U_A^2} \quad (9)$$

$$F' = \frac{g \cdot F}{U_A^2} \quad (10)$$

$$U_A = 0,71 \cdot U^{1,23} \quad (11)$$

Oznake v enačbah pomenijo (Tofil, 2013 cit. po CERC, 1984):

- H_s – značilna višina vala [m]
- U_A – efektivna hitrost vetra [m/s]
- g – težnostni pospešek [m/s^2]
- h' - brezdimenzijska globina vode
- F' - brezdimenzijsko privetrišče
- h - globina vode [m]
- F – dolžina privetrišča [m]
- U – hitrost vetra [m/s]

Na sliki 9 je z rdečim okvirjem označen del modela, ki smo ga spremenili. Najprej izberemo možnost, da bomo višino valovanja izračunali po enačbah (ne izberemo ročnega vnosa višine vala). Nato vnesemo vhodne podatke: hitrost vetra, globino vode ter dolžino privetrišča. S pritiskom na gumb Wave Height, program najprej izračuna potrebne količine: brezdimenzijsko privetrišče, brezdimenzijsko globino vode ter efektivno hitrost vetra. Ko so vsi podatki znani, se v okencu H_s izpiše višina valovanja.

The image shows a software window titled 'EMU' with a menu bar containing 'File' and 'Print'. The interface is divided into several sections:

- OIL PROPERTIES:** Includes input fields for Density (g/mL), Viscosity (mPa.s), Saturates (%), Resins (%), and Asphaltenes (%). There is also an 'Asphaltene/resin ratio' button and an 'OIL TYPE' dropdown menu.
- Transformation:** A button located above the Oil Properties section.
- EMULSION PROPERTIES:** Includes input fields for Density, Viscosity, and Saturates. It also has a 'Stability C' button and a 'Stability class' input field.
- EVAPORATION AND INITIAL TIME OF EMULSIFICATION:** Includes input fields for Percentage of evaporation, Percentage by weight distilled at 180°C, and Temperature (°C). There are two checkboxes: 'oil follows a logarithmic relationship' and 'oil follows a square root relationship'. A button 'Initial time of emulsification' is present with a 'min' unit.
- EMULSION KINETICS ESTIMATOR:** Includes a 'Wave height' section with a 'Manual entry' radio button and a 'cm' unit. A red box highlights the 'SMB za plitve vode' section, which contains:
 - Wind speed U: 12 m/s
 - Water depth h: 5 m
 - Fetch F: 20 km
 - Effective wind speed Ua: 15.0886811541028 m/s
 - Wave height button
 - F: 861.780058477535
 - h': 0.21544501461938
 - Hs: 83.006 cm
 - Time to formation of the emulsion button
 - min
 - Full time button
 - min

Slika 9: Model EMU z vgrajenimi SMB enačbami za plitve vode

V modelu smo enačbe za izračun višine valovanja zapisali z naslednjimi ukazi:

$$\text{TextBox28.Text} = 0.71 * \text{TextBox16.Text} ^ 1.23$$

$$\text{TextBox26.Text} = 9.81 * \text{TextBox17.Text} * 1000 / \text{TextBox28.Text} ^ 2$$

$$\text{TextBox27.Text} = 9.81 * \text{TextBox25.Text} / \text{TextBox28.Text} ^ 2$$

$$\text{TextBox18.Text} = \text{Math.Round}((0.283 * (\text{TextBox28.Text} * \text{TextBox28.Text} / 9.81) * \text{Math.Tanh}(0.53 * \text{TextBox27.Text} ^ 0.75) * \text{Math.Tanh}((0.00565 * \text{TextBox26.Text} ^ 0.5) / (\text{Math.Tanh}(0.53 * (\text{TextBox27.Text} ^ 0.75)))) * 100), 3)$$

2.5.2.2 Metoda SMB za globoko vodo

Pri metodi SMB za globoko vodo sta ključni enačbi (12) in (13) (Tofil, 2013 cit. po CERC, 1984).

$$H_s = \frac{U_A^2 \cdot 0,0016 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot F}{U_A^2}}}{g} \quad (12)$$

$$U_A = 0,71 \cdot U^{1,23} \quad (13)$$

Oznake v enačbah pomenijo:

- H_s – značilna višina valovanja [m]
- U_A – efektivna hitrost vetra [m/s]
- F – dolžina privetrišča [m]
- g – težnostni pospešek [m/s^2]
- U – hitrost vetra [m/s]

V modelu z SMB enačbo za globoko vodo je potrebno, kot je razvidno iz rdečega okvirja na sliki 10, vnesti le hitrost vetra U ter dolžino privetrišča F . Nato pritisnemo na gumb *Wave height* in program nam izpiše efektivno hitrost vetra U_A ter iskano višino valovanja H_s .

The image shows a software window titled 'EMU' with a menu bar 'File Print'. The interface is divided into several sections:

- OIL PROPERTIES:** Includes input fields for Density (g/mL), Viscosity (mPa.s), Saturates (%), Resins (%), and Asphaltenes (%). There is also an 'Asphaltene/resin ratio' input field and an 'OIL TYPE' dropdown menu.
- Transformation:** A button for switching between different models.
- EMULSION PROPERTIES:** Includes input fields for Density, Viscosity, Saturates, Resins, and Asphaltenes, along with an 'Asphaltene/resin ratio' field. A 'Stability C' button is also present.
- EVAPORATION AND INITIAL TIME OF EMULSIFICATION:** Includes input fields for Percentage of evaporation, Percentage by weight distilled at 180°C, and Temperature (°C). There are checkboxes for 'oil follows a logarithmic relationship' and 'oil follows a square root relationship', and an 'Initial time of emulsification' button.
- EMULSION KINETICS ESTIMATOR:** This section is highlighted with a red box. It features a radio button for 'SMB za globoke vode' (selected), a 'Wave height' input field, and a 'Manual entry' radio button. Below this are input fields for Wind speed (U=12 m/s), Fetch (F=20 km), Effective wind speed (Ua=15.0886811541028 m/s), and wave height (Hs=109 cm). There are buttons for 'Time to formation of the emulsion' and 'Full time', each with an associated 'min' input field.

Slika 10: Model EMU z vgrajenimi SMB enačbami za globoke vode

Ukazi s katerimi smo v modelu zapisali enačbo za višino valovanja:

TextBox25.Text = 0.71 * TextBox16.Text ^ 1.23

TextBox18.Text = Math.Round((TextBox25.Text ^ 2 * 0.0016 * (9.81 * TextBox17.Text * 1000 / TextBox25.Text ^ 2) ^ 0.5) / 9.81, 3) * 100

2.5.3 Metoda Seck – Hong

Metodo Seck – Hong uporabljamo za določanje višine valov v globoki vodi, zapisana pa je z enačbo (14)(Tofil, 2013 cit. po Seck - Hong, 1977):

$$H_s = \frac{U^2}{g} \cdot 0,30 \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1,0009 + 0,0045 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot F \cdot (1 - e^{-U \cdot t / 2,48 \cdot F})}{U^2}} \right]^2} \right\} \quad (14)$$

Enačba je uporabna tudi za nedokončno razvite valove, v enačbi se namreč kot vhodni podatek pojavlja tudi trajanje vetra (t), za katerega smo v naših izračunih upoštevali vrednost neskončno, saj tudi vse druge vgrajene enačbe upoštevajo popolnoma razvito valovanje, ki se pojavi šele po daljšem času

delovanja vetra. S tem smo nekoliko poenostavili izračune, saj pri zelo dolgem trajanju vetra enačba (14) preide v enačbo (15).

$$H_s = \frac{U^2}{g} \cdot 0,30 \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1,0009 + 0,0045 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot F}{U^2}} \right]^2} \right\} \quad (15)$$

Eden izmed razlogov za to poenostavitev je bil tudi to, da je Tofil (2013) uporabila enako poenostavljeno enačbo. Tako smo lahko primerjali rezultate in preverili delovanje modela po metodi Seck – Hong. Poglavitni problem pri uporabi polne enačbe (14) pa je, da je enačba za račun časa emulzifikacije (7) zapisana za eno samo (stalno) višino vala in z njo ni mogoče upoštevati (nelinearno) časovno spremenljive višine valov, ki jo podaja enačba (14).

Oznake v enačbah pomenijo:

- H_s – značilna višina valovanja [ft]
- F – dolžina privetrišča [ft]
- g – težnostni pospešek [ft/s^2]
- U – hitrost vetra [ft/s]
- t – trajanje vetra [s]

V enačbah (14) in (15) so količine izražene v imperialnih enotah. Za potrebe diplomske naloge smo rezultat (višino vala) pretvorili v centimetre [cm].

Tudi pri modelu EMU z vgrajeno metodo Seck – Hong je potrebno vnesti le hitrost vetra U ter dolžino privetrišča F . S pritiskom na gumb *Wave height* program izračuna ter izpiše iskano višino valovanja H_s . Postopek je označen z rdečim okvirjem na sliki 11.

Slika 11: Model EMU z vgrajeno enačbo Seck - Hong

Ukazi s katerimi smo v modelu zapisali enačbo za višino valovanja:

```
If TextBox17.Text = 0 Then TextBox18.Text = 0
```

```
TextBox18.Text = Math.Round((((0.3 * (1 - 1 / ((1.0009 + 0.0045 * Math.Sqrt((9.81 / 0.3048) * (TextBox17.Text * 1000 / 0.3048) / (TextBox16.Text / 0.3048) ^ 2)))) ^ 2) * (TextBox16.Text ^ 2 / 0.3048)) / 9.81) * 100 * 0.3048), 3)
```

```
TextBox19.Clear()
```

2.5.4 Metoda CEM

Metoda je uporabna za določanje višine valov v globoki vodi. V programu smo uporabili sledeče enačbe te metode (Tofil, 2013 cit. po Etemad-Shahidi, 2009, cit. po U.S.Army, 2006):

$$H_s = \frac{4,13 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\sqrt{\frac{g \cdot F}{u_*^2}} \right) \cdot u_*^2}{g} \quad (16)$$

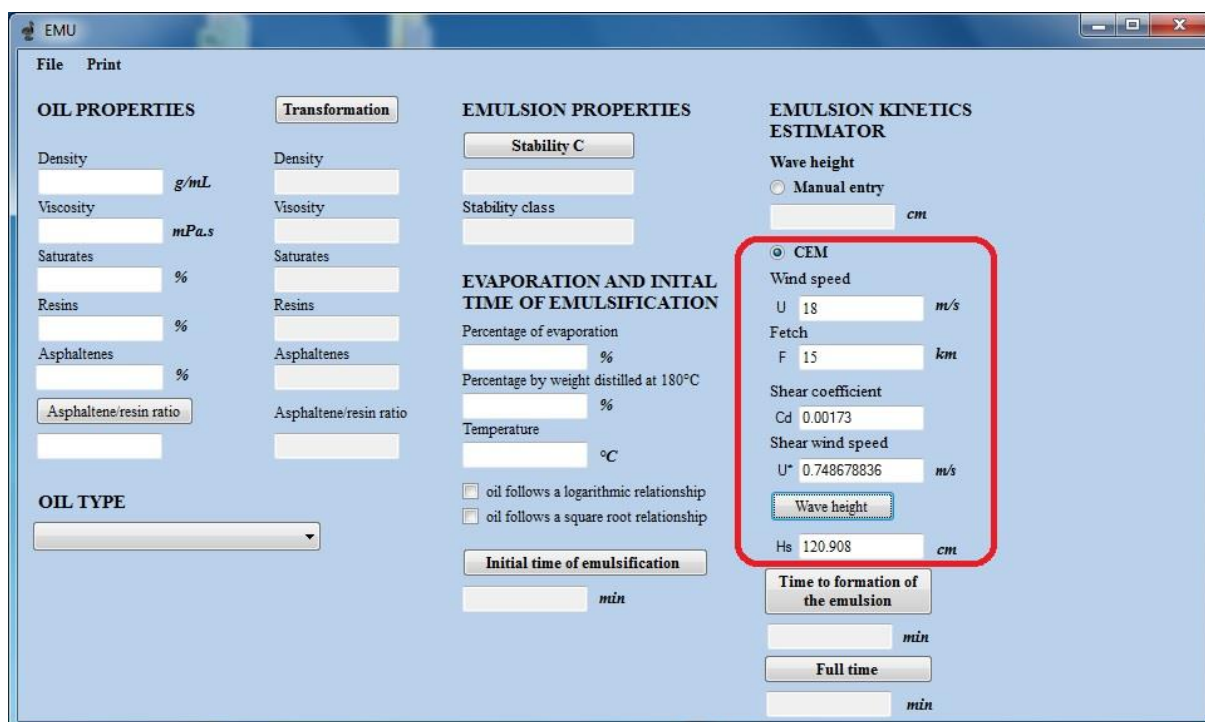
$$u_* = U \cdot \sqrt{C_D} \quad (17)$$

$$C_D = 0,001 \cdot (1,1 + 0,035 \cdot U) \quad (18)$$

Oznake v enačbah pomenijo (Tofil, 2013 cit. po Etemad-Shahidi, 2009, cit. po U.S.Army, 2006):

- H_s – značilna višina valovanja [m]
- F – dolžina privetrišča [m]
- U – hitrost vetra [m/s]
- u_* - strižna hitrost vetra [m/s]
- C_D – strižni koeficient

Del modela, kjer izračunamo višino valovanja, je tudi pri tej metodi označen z rdečim okvirjem na sliki 12. Tudi tukaj vhodne podatke predstavljata hitrost vetra U in dolžina privetrišča F . Ko vnesemo vhodne podatke, pritisnemo na gumb *Wave height* in program nam najprej izračuna ter nato izpiše strižni koeficient in strižno hitrost vetra. Na koncu izpiše še značilno višino valovanja H_s .



The screenshot shows the EMU software interface with the following sections and data:

- OIL PROPERTIES:** Density, Viscosity, Saturates, Resins, Asphaltenes, Asphaltene/resin ratio.
- EMULSION PROPERTIES:** Stability C, Stability class.
- EMULSION KINETICS ESTIMATOR:** Wave height (Manual entry), Wind speed (U=18 m/s), Fetch (F=15 km), Shear coefficient (Cd=0.00173), Shear wind speed (U*=0.748678836 m/s), Wave height (Hs=120.908 cm).
- EVAPORATION AND INITIAL TIME OF EMULSIFICATION:** Percentage of evaporation, Percentage by weight distilled at 180°C, Temperature, checkboxes for logarithmic and square root relationships, Initial time of emulsification.

A red box highlights the **EMULSION KINETICS ESTIMATOR** section, specifically the **CEM** radio button and the input fields for **U**, **F**, and the resulting **Hs**.

Slika 12: Model z vgrajeno enačbo CEM

Ukazi s katerimi smo zapisali enačbo za višino valovanja:

```
TextBox26.Text = 0.001 * (1.1 + 0.035 * TextBox16.Text)
```

```
TextBox25.Text = Math.Round(TextBox16.Text * Math.Sqrt(TextBox26.Text), 9)
```

```
TextBox18.Text = Math.Round((0.0413 * TextBox25.Text ^ 2 / 9.81 * (9.81 * TextBox17.Text * 1000 / TextBox25.Text ^ 2) ^ 0.5 * 100), 3)
```

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Višine valov izračunane v vseh štirih novih različicah modela EMU smo primerjali z rezultati, ki jih je Tofil (2013) navedla v diplomski nalogi in s tem potrdili pravilnost rezultatov in pravilno delovanje vseh novih različic modela. Ugotovili smo, da se rezultati ujemajo vsaj na 3 decimalke. Morebitne razlike se pojavijo šele na višjem decimalnem mestu, kar pa je posledica zaokroževanja.

Prav tako smo primerjali izračunane višine valov z višinami valov, ki jih je Kvočka (2013) izračunal v prvotnem modelu EMU, z uporabo Bretschneiderjeve enačbe. Primerjava rezultatov je prikazana v preglednicah 5 in 6. V preglednici 5 smo izračunali višino valov pri konstantni hitrosti vetra ($U=18$ m/s) in spreminjali privetrišče od 1 km do 20 km, medtem ko smo v preglednici 6 spreminjali hitrost vetra od 1 m/s do 20 m/s pri stalnem privetrišču 15 km.

Iz preglednice 5 je razvidno, da pri konstantnem vetru daje metoda Seck – Hong najvišje valove, ki so primerljivi z valovi izračunanimi po metodi Bretschneider, najmanjše pa metoda CEM. Pri konstantnem privetrišču ($F=15$ km) pa so, kakor vidimo iz preglednice 6, najvišji valovi izračunani z metodo Bretschneider, najmanjši pa z metodo SMB za plitvo vodo ter metoda CEM. V obeh preglednicah je razlika pri manjših vrednostih neodvisne spremenljivke majhna; z večanjem vrednosti pa se razlika poveča tudi do 0,5 m (50 %).

V preglednicah 5 in 6 smo višine valovanja računali na dveh globinah, in sicer na 10 m in 20 m. Globina vode vpliva le na metodo SMB za plitvo vodo, saj kakor je razvidno iz enačb od (8) do (18), le v tej metodi nastopa globina vode. Razlika, ki jo povzroči globina vode, je razmeroma majhna in pri največji vrednosti neodvisne spremenljivke znaša 15 cm (10 %).

Preglednici 5 in 6 smo prikazali tudi na grafikonih 1 in 2, v katere smo poleg višin valovanja vstavili še najdaljši ter najkrajši čas emulzifikacije nafte Cook Inlet – Granite Point, ki sta v preglednicah 7 in 8 prikazana za vse metode za račun višine valov. Izračunali smo torej čas emulzifikacije pri metodah, ki dajeta najvišje in najnižje valove in tako dobili ovojnico možnih časov emulzifikacije. Omenjeno nafto smo izbrali, ker ima srednje dolg čas izhlapevanja, saj potrebuje dva dneva, da izhlapi zadostna količina nafte in se lahko začne proces emulzifikacije.

Preglednica 5: Primerjava uporabljenih metod za račun višine valovanja H_s ($U = 18$ m/s)

$U = 18$ m/s	Globina vode					
	$h = 10$ m	$h = 20$ m	/	/	/	/
Privetlišče [km]	SMB (plitve vode) [m]	SMB (plitve vode) [m]	SMB (globoke vode) [m]	CEM [m]	Seck Hong [m]	Bretschneider [m]
1	0,3973	0,3997	0,4014	0,3122	0,4896	0,4350
2	0,5566	0,5633	0,5676	0,4415	0,6752	0,6151
3	0,6753	0,6876	0,6952	0,5407	0,8139	0,7534
4	0,7727	0,7912	0,8027	0,6244	0,9284	0,8699
5	0,8561	0,8816	0,8975	0,6981	1,0275	0,9726
6	0,9295	0,9625	0,9831	0,7647	1,1157	1,0654
7	0,9951	1,0361	1,0619	0,8260	1,1957	1,1508
8	1,0546	1,1040	1,1352	0,8830	1,2691	1,2302
9	1,1089	1,1670	1,2041	0,9366	1,3373	1,3048
10	1,1590	1,2261	1,2692	0,9872	1,4010	1,3754
11	1,2054	1,2817	1,3311	1,0354	1,4609	1,4426
12	1,2486	1,3343	1,3903	1,0814	1,5176	1,5066
13	1,2889	1,3842	1,4471	1,1256	1,5714	1,5681
14	1,3268	1,4318	1,5017	1,1681	1,6227	1,6273
15	1,3624	1,4773	1,5544	1,2091	1,6718	1,6844
16	1,3959	1,5208	1,6054	1,2487	1,7188	1,7397
17	1,4277	1,5626	1,6548	1,2872	1,7640	1,7932
18	1,4577	1,6027	1,7028	1,3245	1,8075	1,8452
19	1,4862	1,6414	1,7495	1,3608	1,8496	1,8958
20	1,5133	1,6787	1,7949	1,3961	1,8902	1,9451

V preglednicah 5 in 6 opazimo, da se pri majhnih hitrostih vetra in majhnem privetlišču razvijejo manjši valovi, kar posledično povzroča daljši čas emulzifikacije. To lahko ugotovimo že iz enačbe (7). Razlika v času emulzifikacije med obema skrajnima časoma (najkrajšim in najdaljšim) je večja pri nižjih valovih kot pri visokih. Pri valovih nižjih od enega metra znaša razlika več kot 20 %, pri zelo nizkih tudi nad 40 %, pri visokih valovih pa se razlike med metodami manjšajo in pri valovih nad 1,5 m znaša razlika v času emulzifikacije med metodami manj od 10 %.

Preglednica 6: Primerjava uporabljenih metod za račun višine valovanja H_s ($F = 15$ km)

F = 15 km	Globina vode					
	h = 10 m	h = 20 m	/	/	/	/
hitrost [m/s]	SMB (plitve vode) [m]	SMB (plitve vode) [m]	SMB (globoke vode) [m]	CEM [m]	Seck Hong [m]	Bretschneider [m]
1	0,014	0,014	0,044	0,054	0,026	0,094
2	0,069	0,069	0,104	0,110	0,087	0,187
3	0,143	0,143	0,172	0,168	0,164	0,281
4	0,221	0,222	0,244	0,227	0,251	0,374
5	0,299	0,303	0,322	0,289	0,343	0,468
6	0,378	0,386	0,402	0,351	0,438	0,561
7	0,458	0,470	0,486	0,415	0,536	0,655
8	0,538	0,555	0,573	0,480	0,635	0,749
9	0,619	0,642	0,663	0,547	0,736	0,842
10	0,701	0,731	0,754	0,615	0,838	0,936
11	0,783	0,820	0,848	0,685	0,940	1,029
12	0,866	0,911	0,944	0,756	1,043	1,123
13	0,949	1,004	1,042	0,828	1,147	1,217
14	1,032	1,097	1,141	0,902	1,251	1,310
15	1,114	1,191	1,242	0,977	1,356	1,404
16	1,197	1,285	1,345	1,053	1,461	1,497
17	1,280	1,381	1,449	1,130	1,566	1,591
18	1,362	1,477	1,554	1,209	1,672	1,684
19	1,445	1,574	1,661	1,289	1,778	1,778
20	1,526	1,671	1,770	1,370	1,884	1,872

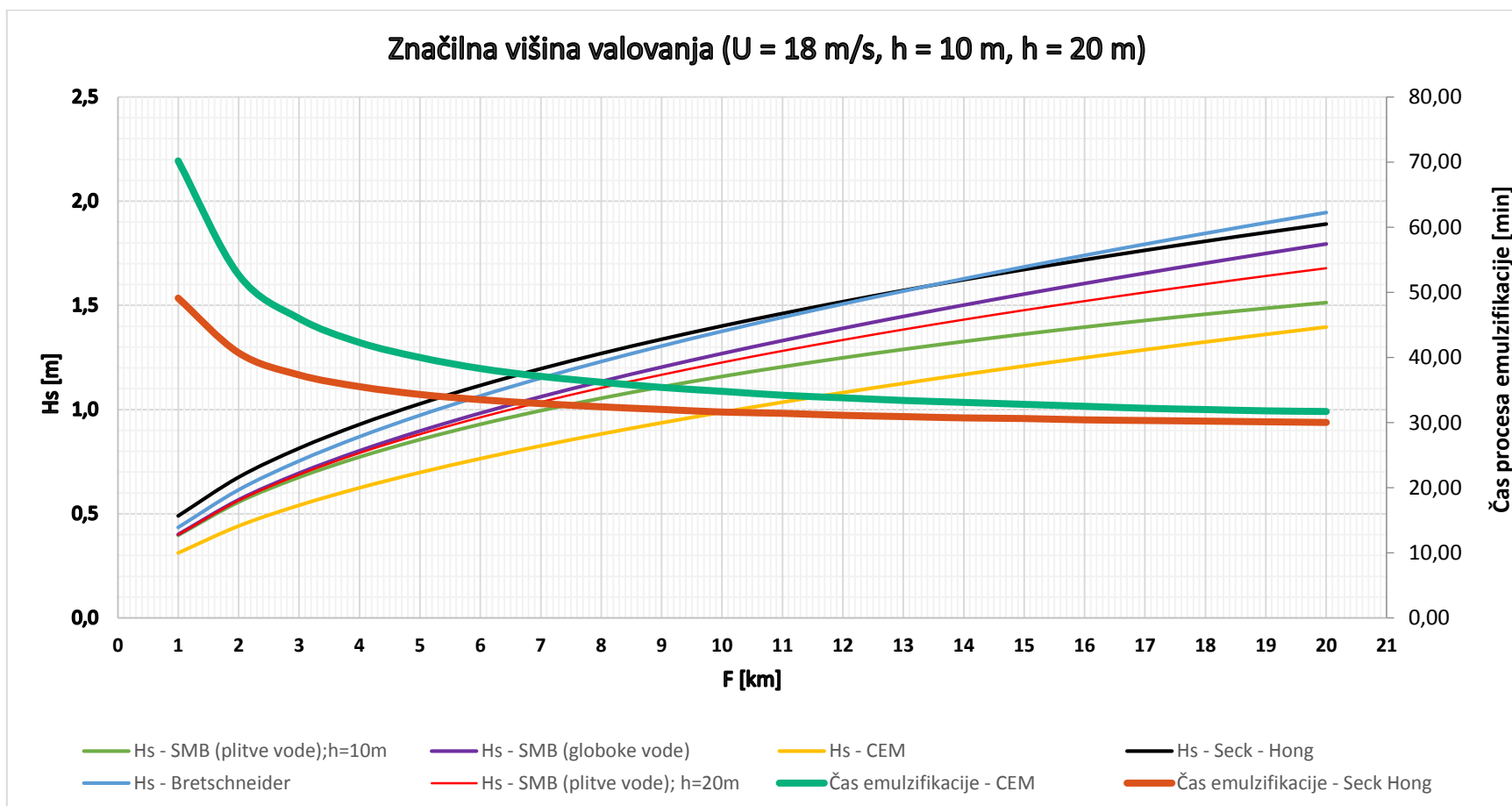
Preglednica 7: Primerjava uporabljenih metod za račun časa emulzifikacije za nafto Cook Inlet - Granite Point
 ($U = 18 \text{ m/s}$)

$U = 18 \text{ m/s}$	Globina vode					
	$h = 10 \text{ m}$	$h = 20 \text{ m}$	/	/	/	/
Privetrišče [km]	SMB (plitve vode) [min]	SMB (plitve vode) [min]	SMB (globoke vode) [min]	CEM [min]	Seck Hong [min]	Bretschneider [min]
1	57,10	56,90	56,70	70,20	49,10	53,80
2	45,20	44,90	44,70	52,70	40,70	42,50
3	40,60	40,30	40,10	46,00	37,30	38,70
4	38,20	37,80	37,60	42,30	35,50	36,40
5	36,60	36,20	35,90	40,00	34,30	35,00
6	35,50	35,10	34,80	38,30	33,50	33,90
7	34,70	34,20	34,00	37,10	32,90	33,20
8	34,00	33,60	33,30	36,20	32,40	32,60
9	33,50	33,10	32,80	35,40	32,00	32,20
10	33,10	32,60	32,40	34,80	31,60	31,70
11	32,80	32,30	32,00	34,20	31,40	31,50
12	32,50	32,00	31,70	33,80	31,10	31,20
13	32,20	31,70	31,40	33,40	30,90	30,90
14	32,00	31,50	31,20	33,10	30,70	30,70
15	31,80	31,30	31,00	32,80	30,60	30,60
16	31,70	31,10	30,80	32,50	30,40	30,40
17	31,50	31,00	30,60	32,20	30,30	30,20
18	31,40	30,80	30,50	32,00	30,20	30,10
19	31,30	30,70	30,30	31,80	30,10	30,00
20	31,10	30,60	30,20	31,70	30,00	29,90

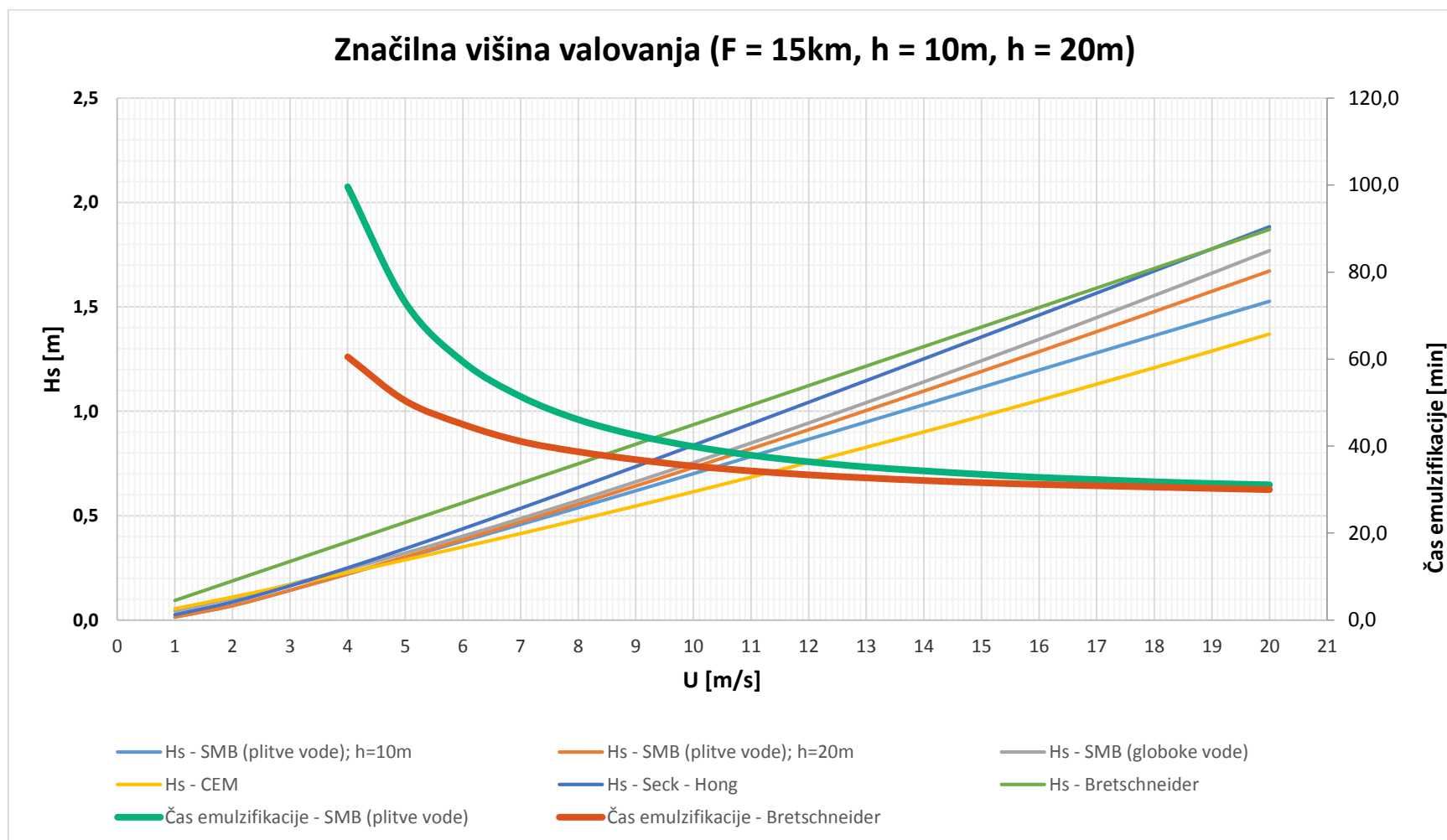
Preglednica 8: Primerjava uporabljenih metod za račun časa emulzifikacije za nafto Cook Inlet - Granite Point (F = 15 km)

F = 15 km	Globina vode					
	h = 10 m	h = 20 m	/	/	/	/
hitrost [m/s]	SMB (plitve vode) [min]	SMB (plitve vode) [min]	SMB (globoke vode) [min]	CEM [min]	Seck Hong [min]	Bretschneider [min]
1	4342,90	4342,90	830,30	619,60	1773,30	305,60
2	442,20	442,20	250,70	231,90	319,50	117,90
3	166,40	166,30	132,90	136,10	139,90	77,90
4	99,60	99,10	89,30	96,40	87,00	60,50
5	73,00	72,20	68,30	75,70	64,60	50,40
6	59,40	58,50	56,60	63,30	53,10	45,00
7	51,40	50,50	49,30	55,30	46,30	41,10
8	46,10	45,30	44,40	49,70	42,00	38,70
9	42,50	41,70	41,00	45,70	39,00	36,90
10	39,90	39,10	38,60	42,70	36,90	35,40
11	37,90	37,20	36,70	40,40	35,40	34,30
12	36,40	35,70	35,30	38,60	34,20	33,40
13	35,20	34,60	34,20	37,10	33,20	32,70
14	34,30	33,60	33,30	35,90	32,50	32,10
15	33,50	32,90	32,50	34,90	31,90	31,60
16	32,80	32,30	31,90	34,10	31,40	31,20
17	32,30	31,70	31,40	33,40	30,90	30,90
18	31,80	31,30	31,00	32,80	30,60	30,60
19	31,40	30,90	30,60	32,20	30,30	30,30
20	31,10	30,60	30,30	31,80	30,00	30,00

Iz grafikonov 1 in 2 lahko sklepamo, da so pri konstantnem privetrišču zaradi različnih hitrosti vetra večje razlike v času emulzifikacije, kot pri konstantni hitrosti vetra in spremenljivem privetrišču. Na grafikonu 2, kjer spreminjamo hitrost vetra, je razlika v času emulzifikacije 50 % večja kot na grafikonu 1, kjer spreminjamo privetrišče. V obeh primerih dobimo pri maksimalni vrednosti neodvisne spremenljivke skoraj enake čase emulzifikacije pri vseh metodah računa višine valov. Ta razlika je pri nižjih hitrostih vetra še večja (pod 4 m/s, kolikor je, zaradi preglednosti rezultatov, najnižja izbrana hitrost vetra).



Grafikon 1: Primerjava višin valovanja in časa procesa emulzifikacije ($U = 18 \text{ m/s}$)

Grafikon 2: Primerjava višin valovanja in časa procesa emulzifikacije ($F = 15\text{ km}$)

Primerjava med začetnimi časi emulzifikacije, časi procesa emulzifikacije ter celotnimi časi emulzifikacije, je prikazana v preglednicah 9–18. Začetni čas emulzifikacije je pri vseh metodah enak za posamezno vrsto nafte, saj je, kakor je razvidno iz enačbe (2), začetni čas emulzifikacije odvisen od izhlapevanja, ki je funkcija temperature vode ter odstotka destilacije pri 180 °C. Omenjeni parametri so podani za vsako posamezno vrsto nafte (Kvočka, 2013 cit. po Fingas, 2010) in so neodvisni od metode računanja višine valovanja.

Na čas procesa emulzifikacije poleg višine valovanja vpliva tudi vrsta stabilnosti emulzije, kar je razvidno iz enačbe (7), kjer poleg višine valovanja nastopata dva parametra, ki sta vezana na vrsto stabilnosti emulzije. Nafte, pri katerih se razvije enako stabilna emulzija, imajo pri enakih pogojih enak čas procesa emulzifikacije. To je razvidno tudi iz preglednic 9–18.

Na grafikoni 4–9 je prikazana razlika v celotnem času emulzifikacije za vseh pet metod računanja višine valovanja, in sicer za tri nafte različnih gostot, pri katerih nastopajo emulzije različnih stabilnosti. Opazimo, da smo z vstavljanjem dveh različnih sklopov vhodnih podatkov dobili najdaljše čase celotne emulzifikacije z uporabo metod CEM in Bretschneider, najkrajše pa z metodo Seck – Hong.

Na grafikonu 3 smo za metodo Bretschneider prikazali razmerje med začetnim časom emulzifikacije ter časom procesa emulzifikacije za posamezno vrsto nafte. Tudi primerjava med začetnim časom emulzifikacije in časom procesa emulzifikacije namreč znatno vpliva na ustreznost izbora metode za računanje emulzifikacije, saj je pri naftah, ki imajo zelo dolg začetni čas emulzifikacije, napaka zaradi izbire metoda računa valov nepomembna.

Preglednica 9: SMB (globoka voda) - primerjava časov emulzifikacije ($U=12$ m/s, $T=23^{\circ}\text{C}$, $F=15$ km, $h=20$ m)

Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	30,3	35,3	65,6
Komineft		stabilna	1	35,3	36,3
Eugene Island Block 32		stabilna	1340,3	35,3	1375,6
povprečen čas emulzifikacije:			457,2	35,3	492,5
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	3312,6	100,5	3413,1
Arabian Medium		stabilna	1309,8	35,3	1345,1
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	625	100,5	725,5
povprečen čas emulzifikacije:			1749,13	78,77	1827,9
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1	50,8	51,8
Green Canyon 65		metastabilna	6782,6	100,5	6883,1
Arabian Heavy		stabilna	3007,8	35,3	3043,1
povprečen čas emulzifikacije:			3263,8	62,2	3326

Preglednica 10: Bretschneider - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)

Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	30,3	33,4	63,7
Komineft		stabilna	1	33,4	34,4
Eugene Island Block 32		stabilna	1340,3	33,4	1373,7
povprečen čas emulzifikacije:			457,2	33,4	490,6
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	3312,6	88,4	3401
Arabian Medium		stabilna	1309,8	33,4	1343,2
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	625	88,4	713,4
povprečen čas emulzifikacije:			1749,13	70,07	1819,2
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1	46,2	47,2
Green Canyon 65		metastabilna	6782,6	88,4	6871
Arabian Heavy		stabilna	3007,8	33,4	3041,2
povprečen čas emulzifikacije:			3263,8	56	3319,8

Preglednica 11: SMB (plitva voda) - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)

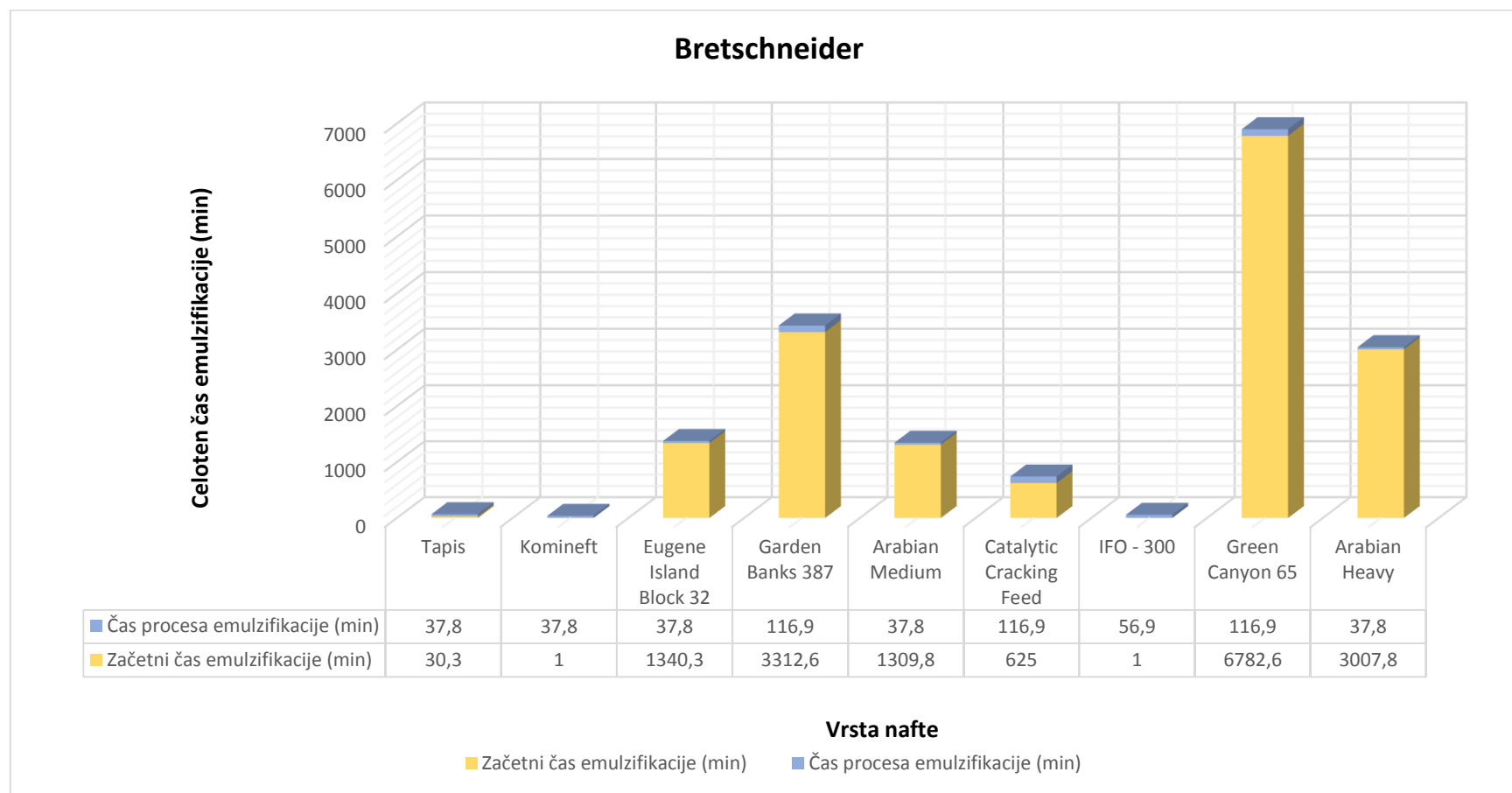
Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	30,3	35,7	66
Komineft		stabilna	1	35,7	36,7
Eugene Island Block 32		stabilna	1340,3	35,7	1376
povprečen čas emulzifikacije:			457,2	35,7	492,9
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	3312,6	103,4	3416
Arabian Medium		stabilna	1309,8	35,7	1345,5
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	625	103,4	728,4
povprečen čas emulzifikacije:			1749,13	80,83	1829,97
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1	51,8	52,8
Green Canyon 65		metastabilna	6782,6	103,4	6886
Arabian Heavy		stabilna	3007,8	35,7	3043,5
povprečen čas emulzifikacije:			3263,8	63,63	3327,43

Preglednica 12: CEM - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)

Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	30,3	38,6	68,9
Komineft		stabilna	1	38,6	39,6
Eugene Island Block 32		stabilna	1340,3	38,6	1378,9
povprečen čas emulzifikacije:			457,2	38,6	495,8
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	3312,6	121,8	3434,4
Arabian Medium		stabilna	1309,8	38,6	1348,4
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	625	121,8	746,8
povprečen čas emulzifikacije:			1749,13	94,06	1843,2
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1	58,7	59,7
Green Canyon 65		metastabilna	6782,6	121,8	6904,4
Arabian Heavy		stabilna	3007,8	38,6	3046,4
povprečen čas emulzifikacije:			3263,8	73,03	3336,83

Preglednica 13: Seck Hong - primerjava časov emulzifikacije (U=12 m/s, T=23°C, F=15 km, h=20 m)

Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	30,3	34,2	64,5
Komineft		stabilna	1	34,2	35,2
Eugene Island Block 32		stabilna	1340,3	34,2	1374,5
povprečen čas emulzifikacije:			457,2	34,2	491,4
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	3312,6	93,1	3405,7
Arabian Medium		stabilna	1309,8	34,2	1344
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	625	93,1	718,1
povprečen čas emulzifikacije:			1749,13	73,47	1822,6
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1	48	49
Green Canyon 65		metastabilna	6782,6	93,1	6875,7
Arabian Heavy		stabilna	3007,8	34,2	3042
povprečen čas emulzifikacije:			3263,8	58,43	3322,23



Grafikon 3: Metoda Bretschneider - prikaz časov emulzifikacije posamezne vrste nafte ($U=12$ m/s, $T=23^{\circ}\text{C}$, $F=15$ km, $h=20$ m)

Preglednica 14: SMB (globoka voda) - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30 m)

Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	27,1	29,7	56,8
Komineft		stabilna	1	29,7	30,7
Eugene Island Block 32		stabilna	812,1	29,7	841,8
povprečen čas emulzifikacije:			280,1	29,7	309,8
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	2302,8	63,8	2366,6
Arabian Medium		stabilna	954,4	29,7	984,1
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	330,6	63,8	394,4
povprečen čas emulzifikacije:			1195,9	52,4	1248,4
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1,0	37,1	38,1
Green Canyon 65		metastabilna	4385,1	63,8	4448,9
Arabian Heavy		stabilna	2276,4	29,7	2306,1
povprečen čas emulzifikacije:			2220,8	43,5	2264,4

Preglednica 15: SMB (plitva voda) - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30 m)

Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	27,1	29,8	56,9
Komineft		stabilna	1,0	29,8	30,8
Eugene Island Block 32		stabilna	812,1	29,8	841,9
povprečen čas emulzifikacije:			280,1	29,8	309,9
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	2302,8	64,9	2367,7
Arabian Medium		stabilna	954,4	29,8	984,2
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	330,6	64,9	395,5
povprečen čas emulzifikacije:			1195,9	53,2	1249,1
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1,0	37,5	38,5
Green Canyon 65		metastabilna	4385,1	64,9	4450,0
Arabian Heavy		stabilna	2276,4	29,8	2306,2
povprečen čas emulzifikacije:			2220,8	44,1	2264,9

Preglednica 16: Bretschneider - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30 m)

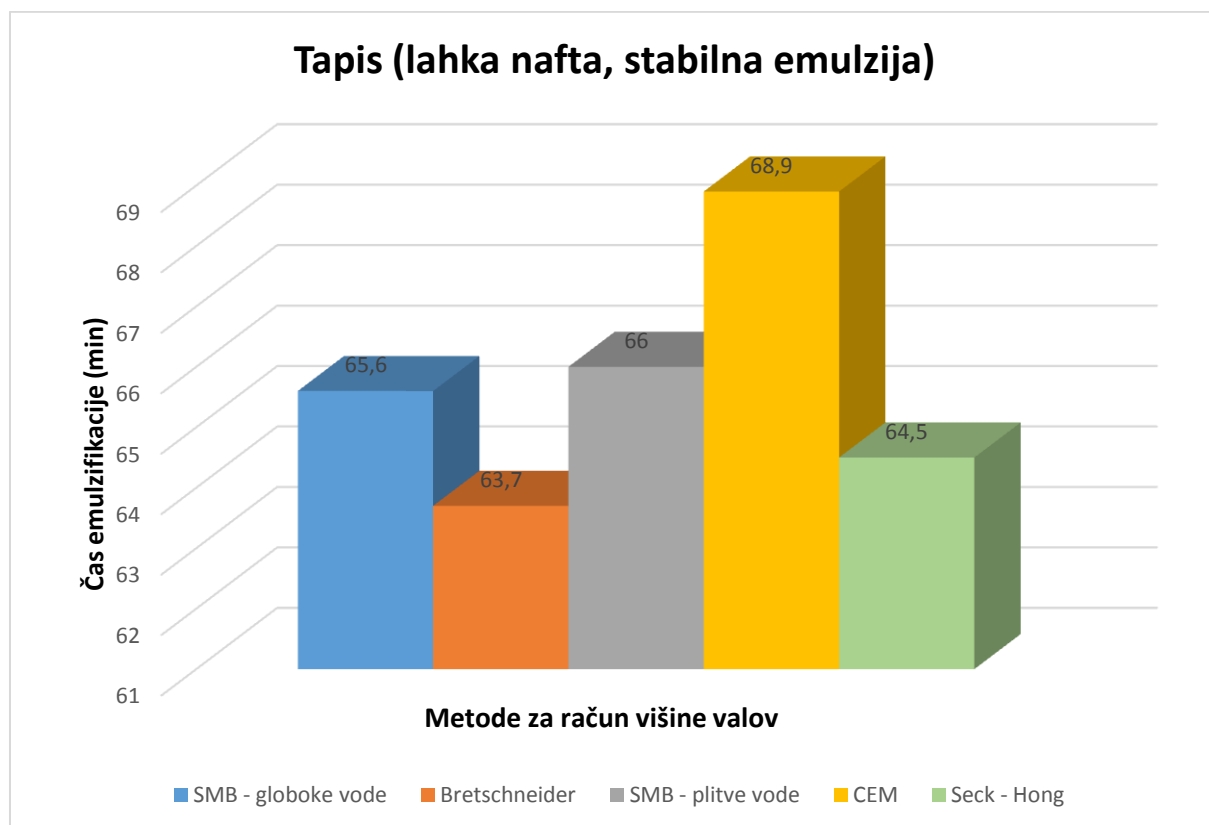
Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	27,1	29,5	56,6
Komineft		stabilna	1	29,5	30,5
Eugene Island Block 32		stabilna	812,1	29,5	841,6
povprečen čas emulzifikacije:			280,1	29,5	309,6
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	2302,8	62,5	2365,3
Arabian Medium		stabilna	954,4	29,5	983,9
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	330,6	62,5	393,1
povprečen čas emulzifikacije:			1195,9	51,5	1247,4
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1,0	36,6	37,6
Green Canyon 65		metastabilna	4385,1	62,5	4447,6
Arabian Heavy		stabilna	2276,4	29,5	2305,9
povprečen čas emulzifikacije:			2220,8	42,9	2263,7

Preglednica 17: CEM - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30 m)

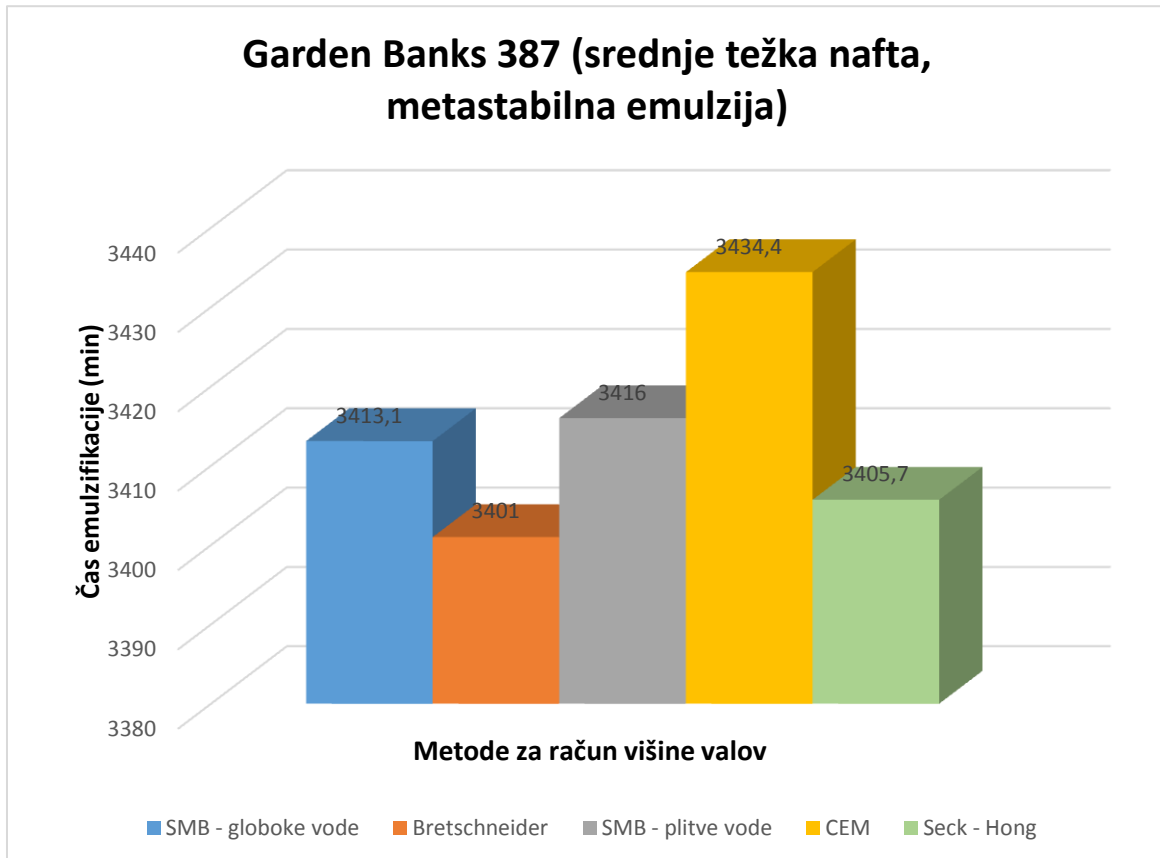
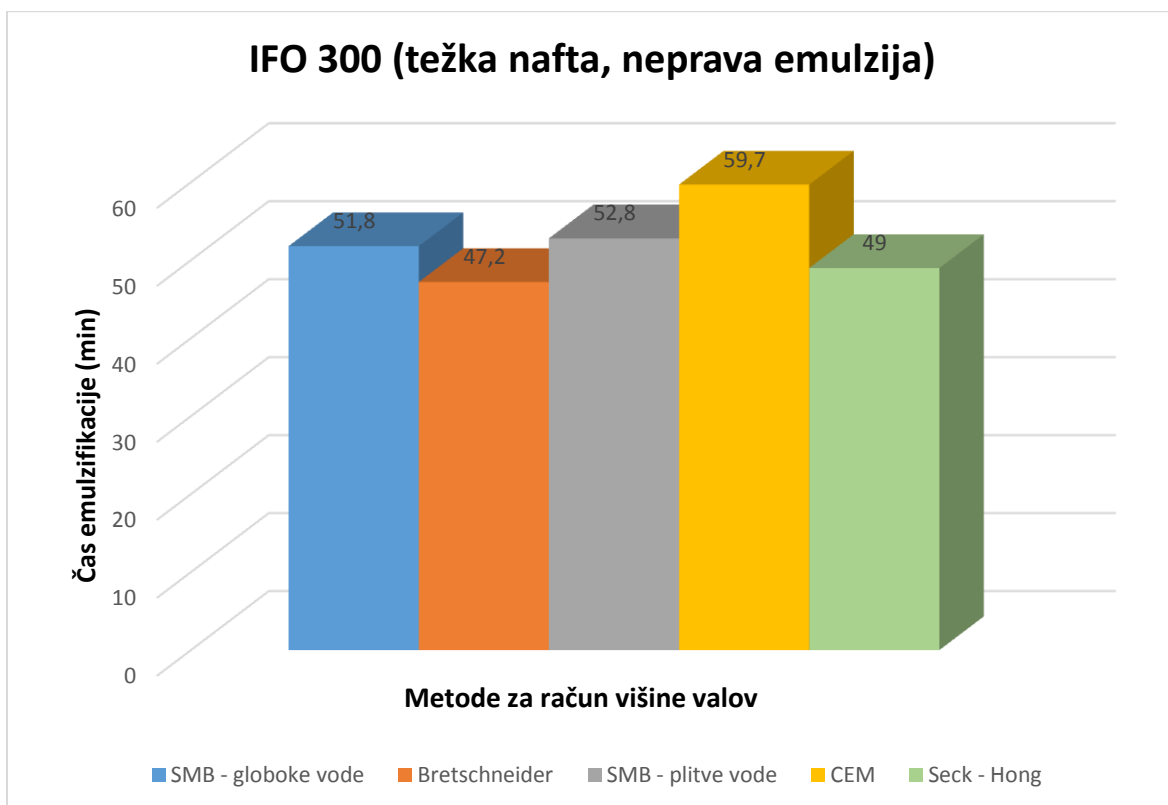
Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	27,1	30,9	58
Komineft		stabilna	1	30,9	31,9
Eugene Island Block 32		stabilna	812,1	30,9	843
povprečen čas emulzifikacije:			280,1	30,9	311,0
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	2302,8	71,7	2374,5
Arabian Medium		stabilna	954,4	30,9	985,3
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	330,6	71,7	402,3
povprečen čas emulzifikacije:			1195,9	58,1	1254,0
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1,0	40,0	41,0
Green Canyon 65		metastabilna	4385,1	71,7	4456,8
Arabian Heavy		stabilna	2276,4	30,9	2307,3
povprečen čas emulzifikacije:			2220,8	47,5	2268,4

Preglednica 18: Seck Hong - primerjava časov emulzifikacije (U=20 m/s, T=26°C, F=20 km, h=30)

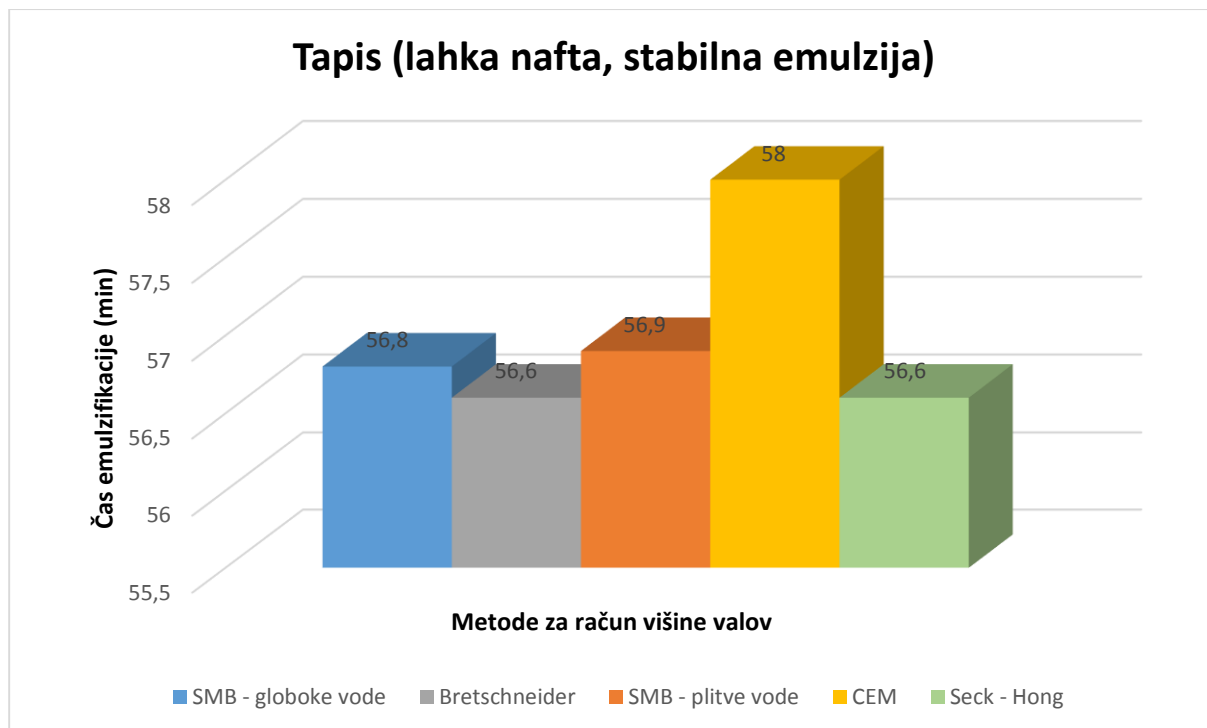
Vrsta nafte	Gostota (g/ml)	stabilnost emulzije	Začetni čas emulzifikacije (min)	Čas procesa emulzifikacije (min)	Celoten čas emulzifikacije (min)
Tapis	0,8 - 0,85	stabilna	27,1	29,5	56,6
Komineft		stabilna	1	29,5	30,5
Eugene Island Block 32		stabilna	812,1	29,5	841,6
povprečen čas emulzifikacije:			280,1	29,5	309,6
Garden Banks 387	0,85 - 0,95	metastabilna	2302,8	62,8	2365,6
Arabian Medium		stabilna	954,4	29,5	983,9
Catalytic Cracking Feed		metastabilna	330,6	62,8	393,4
povprečen čas emulzifikacije:			1195,9	51,7	1247,6
IFO - 300	večja kot 0,95	neprava	1,0	36,7	37,7
Green Canyon 65		metastabilna	4385,1	62,8	4447,9
Arabian Heavy		stabilna	2276,4	29,5	2305,9
povprečen čas emulzifikacije:			2220,8	43,0	2263,8



Grafikon 4: Časi emulzifikacije (U=12 m/s, F=15 km, h=20 m, T=23°C)

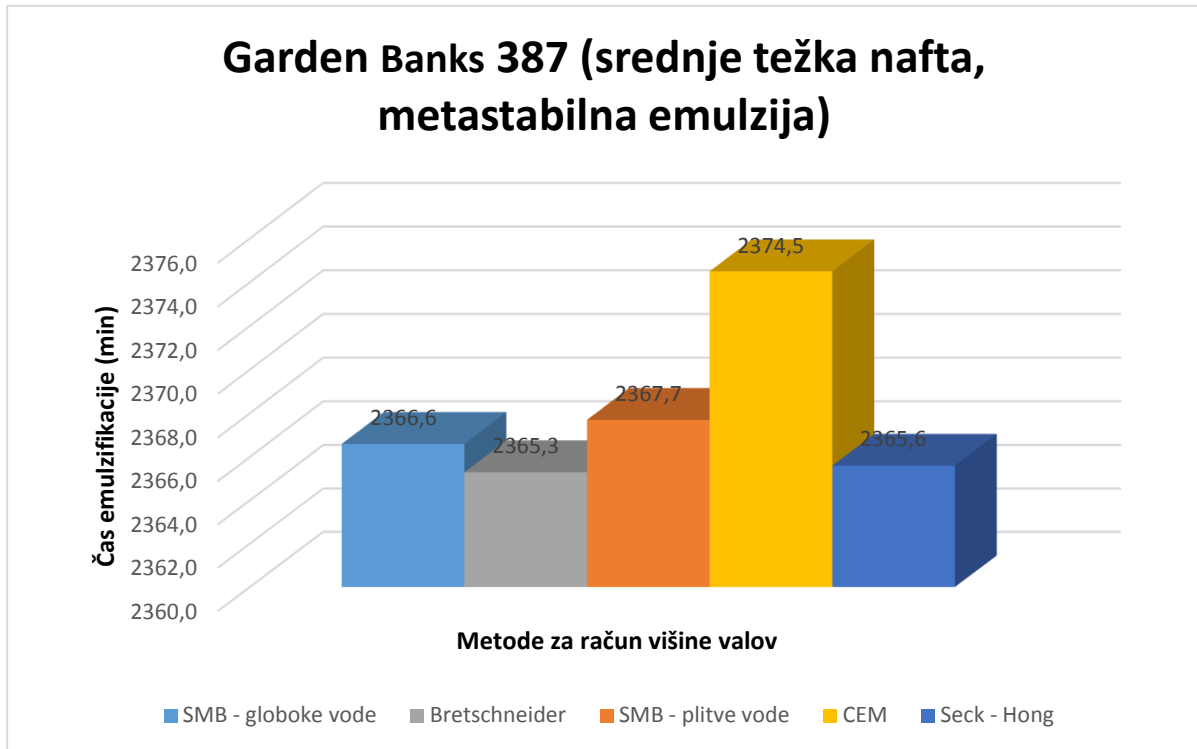
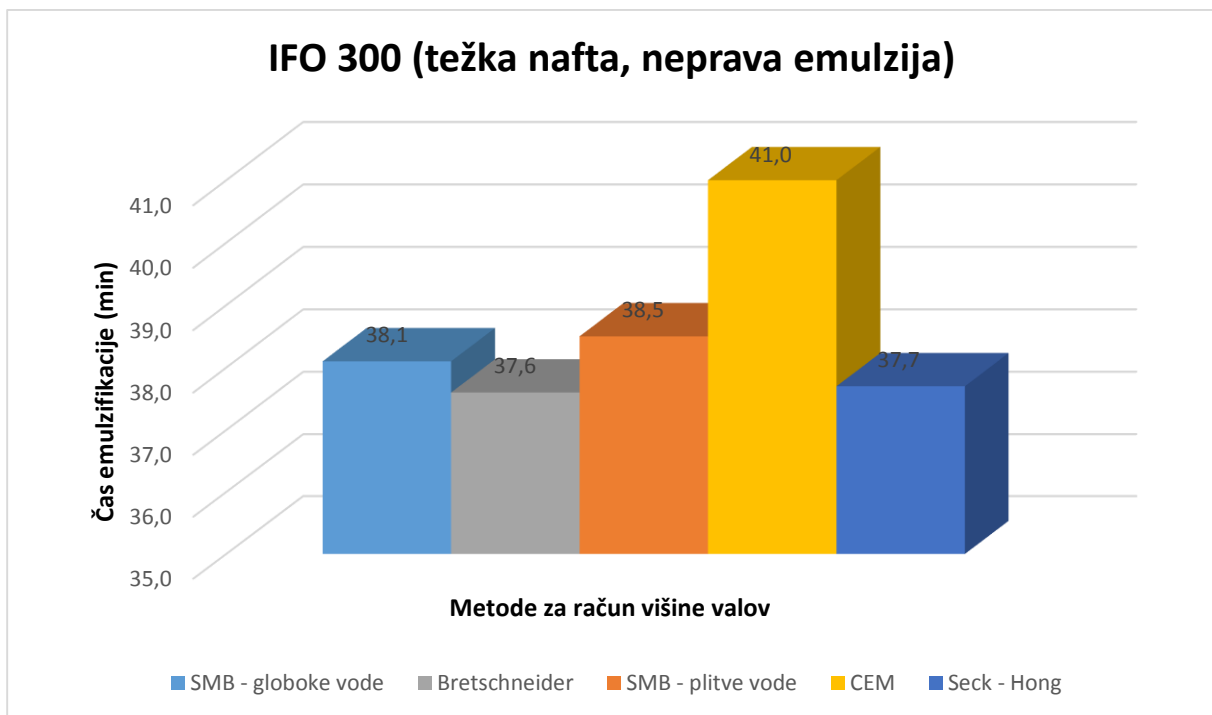
Grafikon 5: Časi emulzifikacije ($U=12$ m/s, $F=15$ km, $h=20$ m, $T=23^{\circ}\text{C}$)Grafikon 6: Časi emulzifikacije ($U=12$ m/s, $F=15$ km, $h=20$ m, $T=23^{\circ}\text{C}$)

Na grafikonih 4–6 so prikazani rezultati, kjer smo uporabili nižje vrednosti vhodnih podatkov (hitrost vetra, privetrišče, globina vode, temperatura vode), zato so časi emulzifikacije daljši kot pri rezultatih, prikazanih na grafikonih 7–9. Pri nižjih vrednostih vhodnih podatkov dobimo nižje valove, pri katerih je čas emulzifikacije daljši.



Grafikon 7: Časi emulzifikacije ($U=20$ m/s, $F=20$ km, $h=30$ m, $T=26^{\circ}\text{C}$)

Pri nižjih vrednostih vhodnih podatkov smo dobili tudi večje razlike med posameznimi metodami v času emulzifikacije. Iz doslej prikazanih podatkov (grafikona 1 in 2) sklepamo, da so pri zelo visokih valovih razlike med časi emulzifikacije med posameznimi metodami zelo majhne.

Grafikon 8: Časi emulzifikacije ($U=20$ m/s, $F=20$ km, $h=30$ m, $T=26^{\circ}\text{C}$)Grafikon 9: Časi emulzifikacije ($U=20$ m/s, $F=20$ km, $h=30$ m, $T=26^{\circ}\text{C}$)

4 ZAKLJUČKI

Račun časa emulzifikacije je, poleg vrste nafte in njenih lastnosti, v veliki meri odvisen od značilne višine valovanja. Zato smo model EMU, ki ga je izdelal Kvočka (2013), posodobili s štirimi novimi metodami za računanje značilne višine valovanja ter medsebojno primerjali rezultate modelov vseh metod. V okviru diplomske naloge smo skušali pokazati, kakšne so razlike med rezultati uporabljenih metod, kar lahko služi kot izhodišče pri nadaljnjem iskanju najprimernejše parametrizacije vetrnih valov za račun emulzifikacije nafte. Izračunani časi procesa emulzifikacije so sicer pri uporabi vseh metod podobni, vendar pa je njihov relativni delež pri skupnem času emulzifikacije zelo različen. Večina težkih naft ima dolg začetni čas emulzifikacije ter sorazmerno kratek čas procesa emulzifikacije, v tem primeru je čas procesa emulzifikacije nepomemben. Obratno velja za lahke nafte, kjer je razlika med časoma majhna. Sklepamo torej, da je pri naftah s kratkim začetnim časom emulzifikacije razlika med različnimi metodami parametrizacije vetrnih valov pomembna. Za določitev najbolj ustrezne metode bi bilo potrebno izvesti meritve v naravi.

VIRI

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

CERC, 1984. Shore protection manual. Washington, DC. U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center: 656 str.

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.

Fingas, M., Fieldhouse, B., Lambert, P., Wang, Z., Noonan, J., Lane, J., Mullin, J. V. 2002. Water-in-oil emulsions formed at sea, in test tanks and in the laboratory. Ottawa, Environment Canada: loč. pag.

Fingas, M. 2004. Modeling evaporation using models that are not boundary-layer regulated. Journal of Hazardous Materials 107: 27-26.

Fingas, M. 2010. Oil spill science and technology. M. Fingas (ur.). USA, Gulf Professional Publishing, Elsevier Inc.: 1156 str.

Gulliver, J.S. 2007. Introduction to Chemical Transport in the Environment. New York, Cambridge University Press: 382 str.

Jeglič, T. 2010. Modeliranje razlitja nafte v Tržaškem zalivu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Jeglič): 51 str.

Kladnik, R. 1985. Tekočine. Visokošolska fizika. D. 1, Mehanski in toplotni pojavi. Državna založba Slovenije: str. 149 – 177.

<http://www.fe.uni-lj.si/mma/PDF/2008082010161684/> (Pridobljeno 28. 4. 2014.)

Kvočka, D. 2013. Emulzifikacija nafte in izdelava modela EMU. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Kvočka): 64 str.

Mackay, D. 1980. A mathematical model of oil spill behaviour. Ottawa, ON, Environment Canada: loč. pag.

Praznik, A. 2013. Pregled matematičnih modelov širjenja nafte na morju. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Praznik): 56 str.

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

Seck-Hong, C. 1977. New formulas for wave forecasting. 6th Australasian Hydraulics and Fluid Mechanics Conference. Adelaide, Australia: 165 – 169.

Šaponja, M. 2014. Modeliranje izhlapevanja nafte po metodi Fingas. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Šaponja): 48 str.

Širca, A. 1992. Modeliranje transporta polutantov po metodi sledenja delcev. Magistrski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FAGG (samozaložba A. Širca): 87 str.

Šoško, H. 2012. Modeliranje širjenja nafte v morskem okolju po metodi trajektorij. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba H. Šoško): 44 str.

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

Žagar, D. 1994. Tridimenzijski model za simulacijo širjenja nafte in njegova aplikacija. Magistrski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FAGG (samozaložba D. Žagar): 67 str.

Žagar, D., Četina, M. 2011. Končno poročilo o izdelavi strokovne naloge NAFTA3d. Poročilo UL-FGG Ljubljana, Katedra za mehaniko tekočin: 22 str.

Spletni viri

U.S. Energy Information Administration. 2014.

<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=5&pid=5&aid=2&cid=r3,&syid=2003&eyid=2013&unit=TBDP> (Pridobljeno 6. 7. 2014.)

ITOPF. 2014. Dispersants.

<http://www.itopf.com/spill-response/clean-up-and-response/dispersants/> (Pridobljeno 23. 7. 2014.)

ITOPF. 2010.

Oil tanker spill statistics: 2009.

<http://www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/statistics/index.html> (Pridobljeno 25. 4. 2014.)

Nafta. 2008.

<http://www.surovine.si/nafta.php> (Pridobljeno 29. 4. 2014.)

Oceanski tok. 2013.

http://sl.wikipedia.org/wiki/Oceanski_tok (Pridobljeno 5. 9. 2014.)