

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:

Jotanović, G., 2014. Vpliv izhlapevanja in emulzifikacije na viskoznost razlite nafte na morju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žagar, D.): 28 str.

Datum arhiviranja: 03-10-2014

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:

Jotanović, G., 2014. Vpliv izhlapevanja in emulzifikacije na viskoznost razlite nafte na morju. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žagar, D.): 28 pp.

Archiving Date: 03-10-2014

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
VODARSTVA IN
OKOLJSKEGA INŽENIRSTVA

Kandidat:

GORAN JOTANOVIĆ

**VPLIV IZHLAPEVANJA IN EMULZIFIKACIJE NA
VISKOZNOST RAZLITE NAFTE NA MORJU**

Diplomska naloga št.: 38/B-VOI

**INFLUENCE OF EVAPORATION AND
EMULSIFICATION ON VISCOSITY OF OIL SPILLS
THE SEA**

Graduation thesis No.: 38/B-VOI

Mentor:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Ljubljana, 25. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Strani z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Goran Jotanović, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**Vpliv izhlapevanja in emulzifikacije na viskoznost razlite nafte na morju**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Novo mesto, 13.9.2014

Goran Jotanović

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali naslednji profesorji:

BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	551.461:665.6(043.2)
Avtor:	Goran Jotanović
Mentor:	izr. prof. dr. Dušan Žagar
Naslov:	Vpliv izhlapevanja in emulzifikacije na viskoznost razlite nafte na morju
Tip dokumenta:	Diplomska naloga-univerzitetni študij B
Obseg in oprema:	28 str., 24sl., 9 en., 4.pregl., 1.pril.
Ključne besede:	razlitje nafte, viskoznost, izhlapevanje, emulzifikacija, model VSKOZNOST

Izvleček

V diplomski nalogi obravnavamo spremembe viskoznosti nafte ob razlitju v morskem okolju. Ob razlitju nafte se pojavijo izhlapevanje, emulzifikacija, mehansko širjenje, raztapljanje, disperzija, oksidacija, sedimentacija in biološka razgradnja. V Mackayevih metodah za izračun viskoznost nafte imata največji vpliv procesa izhlapevanja in emulzifikacije, od okoljskih dejavnikov pa sprememba temperature in veter. Podane so tri empirične enačbe, s katerimi lahko z različnimi vhodnimi podatki določimo viskoznost razlite nafte po določenem času od razlitja. Izhlapevanje pri tem izračunamo po Fingasovi metodi, ki temelji na laboratorijskih poizkusih in empiričnih enačbah, kjer je podana odvisnost izhlapevanja od temperature in časa. Izdelali smo model VSKOZNOST, s katerim lahko na enostaven in hiter način izračunamo in grafično prikažemo spreminjanje viskoznosti številnih vrst nafte pri podanih okoljskih parametrih. Prikazana je uporaba modela na dveh vrstah nafte: Brent Blend in Maui. Poznavanje viskoznosti razlite nafte je pomembno pri študijah razlitij, izdelani model pa bo tudi uporaben pripomoček pri učnem procesu.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 551.461:665.6(043.2)
Author: Goran Jotanović
Supervisor: Assoc. Prof. Dušan Žagar, PhD
Title: Influence of evaporation and emulsification on viscosity of oil spills at the sea.
Document type: Graduation thesis - University studies - B
Scope and tools: 28 p., 24 fig., 10eq., 4 tab., 1 ann.
Key words: oil spills, viscosity, evaporation, emulsification, model
VISKOZNOST

Abstract

In the thesis we discuss changes in viscosity of the oil spills in the marine environment. After the spill the following processes occur: evaporation, emulsification, mechanical spreading, dissolution, dispersion, oxidation, sedimentation and biological degradation. Evaporation, emulsification and the environmental factors, the change in temperature and the wind, have the greatest influence in Mackay's methods for calculating the viscosity of the spilled oil. With the three Mackay's empirical equations we can determine the oil viscosity at a given time after the spill from different input data. Evaporation is calculated according to the Fingas method, based on laboratory experiments and empirical equations wherein dependency of the evaporation from temperature and the time is given. With the newly developed model VISKOZNOST we can simply and quickly calculate the viscosity of several different oil types in given environmental conditions. The application of the model is presented on two types of oil: Brent Blend and Maui. The oil viscosity is an important parameter in oil spill studies and the developed model can be used as a useful tool in the framework of the teaching process.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Dušanu Žagarju za pomoč, strokovne nasvete ter potrpežljivo pregledovanje diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi svoji družini, ki so mi omogočili študij ter me pri tem podpirali. Hvala tudi tebi, Tanja, za podporo in spodbudo v času študija.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVA O AVTORSTVU.....	II
IZJAVE O PREGLEDU NALOGE.....	III
BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	IV
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION	V
ZAHVALA.....	VI
KAZALO VSEBINE.....	VII
KAZALO SLIK.....	IX
KAZALO PREGLEDNIC	X
1 UVOD	1
1.1 Opis problema	1
1.2 Namen in cilj naloge.....	2
2 METODE.....	3
2.1. Procesi pri razlitju nafte.....	3
2.1.1. Izhlapevanje	3
2.1.2.Emulzifikacija	4
2.1.3. Mehansko širjenje	5
2.1.4. Disperzija	5
2.1.5. Biološka razgradnja.....	5
2.1.5. Raztapljanje nafte v vodi	6
2.1.6. Oksidacija	6
2.2. Enačbe viskoznosti	7
2.2.1. Mackayeva enačba varianta 1.....	7
2.2.2. Mackayeva enačba varianta 2.....	7
2.2.3. Mackayeva enačba varianta 3.....	8
2.3. Enačba izhlapevanja po Fingasovi metodi	8
2.4. Enačba deleža vode v nafti	9
2.5. Vhodni podatki	10
2.6. Opis izdelave modela VISKOZNOST	10
3. REZULTATI IN DISKUSIJA.....	14

3.1. Scenarij 1	14
3.2. Scenarij 2	19
3.3 Diskusija	24
4. ZAKLJUČEK	25
VIRI	26

KAZALO SLIK

Slika 1: Procesu pri razlitju nafte (povzeto po ITOPF, 2012).....	3
Slika 2: Časovna odvisnost pomembnosti posameznih procesov pri razlitju (Kvočka, 2013)...	6
Slika 3: Mackayeva enačba 1 - model VISKOZNOST.....	11
Slika 4: Tip nafte - model VISKOZNOST.....	11
Slika 5: Dodaj graf - model VISKOZNOST.....	12
Slika 6: Skupni grafi - model VISKOZNOST.....	12
Slika 7: Nastavitve - model VISKOZNOST.....	13
Slika 8: Formule - model VISKOZNOST.....	13
Slika 9: Krivulja viskoznosti nafte Brent Blend pri $t = 200\text{min}$, $veter = 0\text{ m/s}$, temperatura = $17\text{ }^{\circ}\text{C}$	15
Slika 10: Primerjava viskoznosti nafte Brent Blend pri $t = 2000\text{min}$, $veter = 0\text{ m/s}$, temperatura = $17\text{ }^{\circ}\text{C}$	16
Slika 11: Primerjava viskoznosti nafte Brent Blend pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t =$ 200min , $veter = 0, 5, 10\text{ m/s}$, temperatura = 17°C	17
Slika 12: Primerjava viskoznosti nafte Brent Blend pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t =$ 200min , $veter = 0, 5, 10\text{ m/s}$, temperatura = 17°C	18
Slika 13: Primerjava viskoznosti nafte Maui pri $t = 200\text{min}$, $veter = 0\text{ m/s}$, temperatura = $17\text{ }^{\circ}\text{C}$	20
Slika 14: Primerjava viskoznosti nafte Maui pri $t = 2000\text{min}$, $veter = 0\text{ m/s}$, temperatura = $17\text{ }^{\circ}\text{C}$	21
Slika 15: Primerjava viskoznosti nafte Maui pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, $veter = 0, 5, 10\text{ m/s}$, temperatura = 17°C	22
Slika 16: Primerjava viskoznosti nafte Maui pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, $veter = 0, 5, 10\text{ m/s}$, temperatura = 17°C	23
Slika 17: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014).....	A1
Slika 18: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014).....	A2
Slika 19: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014).....	A3
Slika 20: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014).....	A4
Slika 21: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014).....	A5
Slika 22: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014).....	A6
Slika 23: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014).....	A7
Slika 24: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014).....	A8

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Rezultati viskoznosti nafte Brent Blend pri $t = 200\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C	15
Preglednica 2: Rezultati viskoznosti nafte Brent Blend pri $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C	16
Preglednica 3: Rezultati viskoznosti nafte Brent Blend pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C	17
Preglednica 4: Rezultati viskoznosti nafte Brent Blend pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C	18
Preglednica 5: Rezultati viskoznosti nafte Maui pri $t = 200\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C.....	20
Preglednica 6: Rezultati viskoznosti nafte Maui pri $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura=17 °C	21
Preglednica 7: Rezultati viskoznosti nafte Maui pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C	22
Preglednica 8: Rezultati viskoznosti nafte Maui pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C	23

1 UVOD

1.1 Opis problema

Nafta je začela nastajati pred milijoni let iz rastlin in živali, ki so živele v oceanih in morjih, ta pa so zaradi klimatskih in geoloških sprememb izhlapela. Odmrli organizmi so se razkrajali, vendar zaradi pomanjkanja kisika niso zgnili. Ostanki organizmov so bili tako milijone let izpostavljeni toploti in pritisku, zato so rastlinski in živalski ostanki (ogljikovi hidrati, maščobe, beljakovine) kemično reagirali. Ogljikov dioksid se je odcepil in tako so nastale spojine, ki sestavljajo današnjo nafto (Oil, 2014).

Nafta je gosta, rjavkasto črnkasta tekočina z zeleno ali modrikasto fluorescenco. Ima manjšo gostoto od vode, ki znaša od 0,7 do 0,9 g/cm³. Sestavljena je iz približno petstotih spojin, od katerih prevladujejo ogljikovodiki. Sestava nafte je odvisna od nahajališča. Nafta, ki je nastala pri zelo visoki temperaturi in pod velikimi pritiski tako vsebuje veliko aromatskih spojin. Na kemično sestavo nafte poleg pritiska in toplote vplivali še katalizatorji, encimi in bakterije (Kornhauser, 1984).

Specifično gostoto nafte lahko opredelimo kot gostoto snovi v primerjavi z gostoto vode. Nafta zaradi manjše gostote na vodi plava. Gostota nafte je v povprečju od 0,7 do 0,99 g/cm³ pri 15⁰C, gostota celinskih voda pa je 1,0 g/cm³, zato večina nafte plava na vodi. Gostota morske vode je večja od 1g/cm³, zato na vodi plava tudi težka nafta. Gostota nafte se s časom veča, zaradi izhlapevanja lažjih frakcij (Fingas, 2011). Viskoznost pa je fizikalna količina, ki podaja odziv tekočine na strižno deformacijo. Določena je kot razmerje med strižno napetostjo in strižno hitrostjo in podaja notranje trenje tekočin (WIKI, 2014).

Viskoznost je povezana s temperaturo, pri nizkih temperaturah se viskoznost kapljevin veča. Viskoznost nafte določajo težke in lahke frakcije, kar pomeni, da je pri večjem odstotku lažjih frakcij njena viskoznost manjša. Iz tega sledi, da se viskoznost povečuje z izhlapevanjem oz. izgubo mase razlite nafte (Šaponja, 2014).

Surovo nafto po morju prevažajo tankerji, razlitja iz tankerjev pa povzročijo škodo v morskih ekosistemih ter predstavljajo veliko nevarnost za okolje. Pomembno je, da se v primeru razlitja ukrepa hitro ter pravilno, saj lahko s tem omejimo in zmanjšamo okoljsko škodo. V ta

namen po svetu uporabljajo tudi matematične modele, ki lahko izračunajo obseg in širjenje naftnega madeža, s tem pa omejijo posledice, ki nastanejo ob razlitju. Doslej je bilo razvitih veliko število modelov za simulacijo razlitij nafte, med katerimi omenjamo samo najbolj uporabljane: model GNOME (Beegle-Krause, J. 2001), model ADIOS (Lehr in sod., 2002), model MEDSLIK (Coppini in sod., 2006 in, model PISCES (Delgado in sod., 2006).

Tudi na UL FGG so bili doslej izdelani nekateri modeli za simulacijo razlitij nafte, nekateri tudi v sodelovanju z Inštitutom Jožef Stefan in Nacionalnim inštitutom za biologijo, ko so se izvajale modelne raziskave širjenja nafte ob morebitnih razlitjih (Žagar, 1994; Galuf, 2005; Jeglič, 2010; Žagar in sod., 2011; Ramšak in sod., 2013; Šoško, 2012)

Viskoznost je pomembna pri študijah, ki se ukvarjajo z razlitji nafte. V programu Nafta 3d (Žagar in Četina, 2011), ki je bil izdelan leta 2011, so dodatno vgrajene, sicer le na kvalitativni ravni, enačbe za računanje spremembe viskoznosti, disperzije nafte v vodnem stolpcu in emulzifikacije.

1.2 Namen in cilj naloge

V dosedanjih študijah na UL FGG še ni bil izdelan model za izračun viskoznosti, na katero vpliva izhlapevanja in emulzifikacije nafte ter spremembe temperature okolice. Kvočka (2013) v diplomski nalogi »Emulzifikacija nafte in izdelava modela EMU« in Šaponja (2014 v nalogi »Modeliranje izhlapevanje nafte po metodi Fingas«, obravnavata oba procesa, vključena v izračun viskoznosti. Na podlagi teh dveh nalog bomo izdelali model za izračun viskoznosti v odvisnosti od časa, ki preteče od razlitja. V diplomski nalogi bomo izračunali viskoznost po različnih empiričnih enačbah in rezultate ter enačbe med seboj primerjali. Za določitev viskoznosti bomo potrebovali začetno viskoznost in temperaturo pri kateri je bila izmerjena, empirične enačbe za izhlapevanje po Fingasovi metodi, delež vode v nafti v odvisnosti od časa ter temperaturo morja in hitrost vetra ob razlitju nafte v morsko okolje.

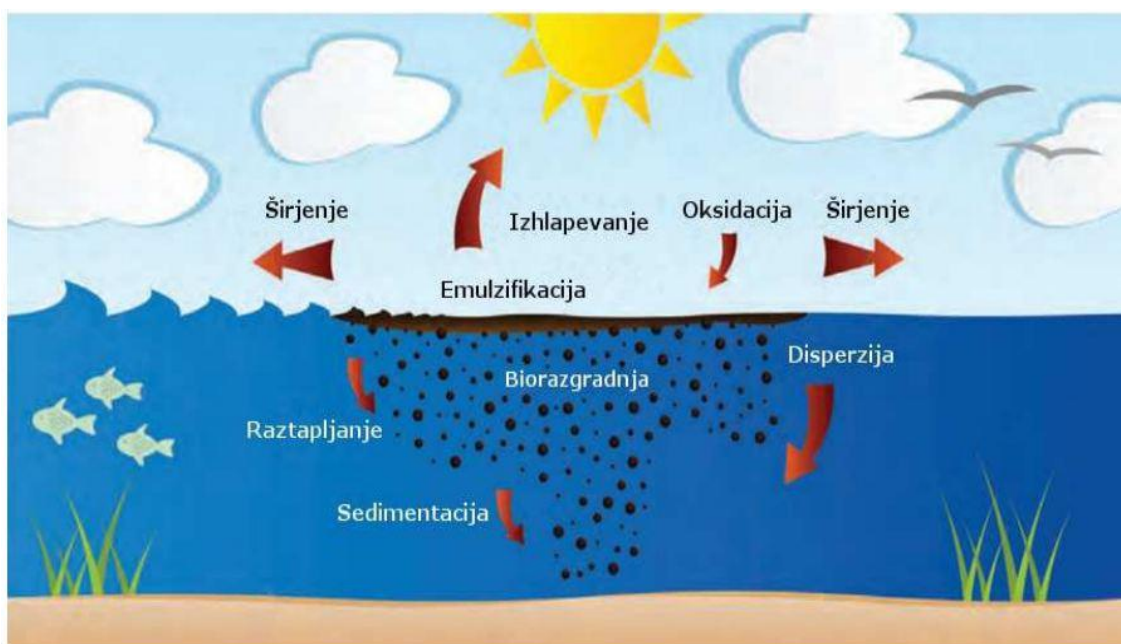
Cilji diplomske naloge so:

- Izdelati model, ki bo izračunal viskoznost v odvisnosti od časa po razlitju ter grafično prikazal rezultate za različne vrste nafte,
- primerjati med seboj različne metode,

- prikazati vpliv posameznih parametrov (izhlapevanja, emulzifikacije, sprememb temperature) na viskoznost v odvisnosti od časa.

2 METODE

Mehansko širjenje, izhlapevanje, raztapljanje, emulzifikacija, fotooksidacija, disperzija, biološka razgradnja in absorpcija so procesi, ki se pojavijo ob razlitju nafte, kot je prikazano na sliki 1.



Slika 1: Procesu pri razlitju nafte (povzeto po ITOPF, 2012)

2.1. Prosesi pri razlitju nafte

2.1.1. Izhlapevanje

Eden izmed pomembnejših procesov je izhlapevanje, ki ima pomembno vlogo predvsem v začetnih fazah naftnega razlitja. V prvih dneh po razlitju lahka surova nafta izgubi do 75%,

srednje težka do 40%, težka pa do 10% prvotne mase. Količina in hitrost izhlapevanja sta odvisni od vrste in sestave nafte. Ob zmernih vremenskih razmerah sestavine nafte, ki imajo vrelišče pod 200⁰C izhlapijo že v prvih 24 urah. Če se nafta razlije v zaprtem območju, lahko pride do požara ali eksplozije, ogroženo pa je tudi splošno zdravje človeka. Če je pri razlitju nafte izhlapevanje počasno, je nevarnost eksplozije zelo majhna. Na izhlapevanje vpliva tudi razburkanost morja, veter ter visoke temperature, ki izhlapevanje še pospešijo. Naftni madež, ki ostane po izhlapevanju, ima večjo gostoto in višjo viskoznost, kar vpliva na kasnejše procese širjenja in tehniko čiščenja (ITOPF, 2012).

2.1.2.Emulzifikacija

Emulzifikacija nasprotno od izhlapevanja, povečuje prostornino naftnega madeža. Vodne kapljice zaradi turbulence vstopijo v razlito nafto in se z njo pomešajo. Nastane mešanica, ki ji pravimo emulzija in lahko vsebuje do 90% vode. Od količine vode in velikosti vodnih kapljic v mešanici pa je odvisna viskoznost in časovna stabilnost emulzije. Pojav je odvisen od turbulence, sestave nafte, hitrosti razgradnje in jakosti vetra na območju razlitja. Opravljene raziskave so pokazale, da se emulzifikacija pojavi pri nafti z visoko vsebnostjo asfaltenov, laboratorijska opazovanja pa so potrdila tudi dejstvo, da intenzivnost turbulence vode krepi emulzifikacijo. Emulzifikacija lahko občutno spremeni lastnosti in značilnosti nafte. Po Fingas (1994) stabilna emulzija vsebuje od 50 do 80% vode, pri tem pa se poveča tudi obseg madeža. Emulzifikacija tako poveča začetno prostornino nafte za dva do petkrat, njena gostota pa je lahko za 0,2 g/ml višja od začetne. Najbolj pomembna sprememba je povzročena sprememba viskoznosti, saj močno vpliva na nadaljnje širjenje. Viskoznost se poveča toliko, da se snov spremeni iz tekoče v poltrdno. Emulzija v poltrdnem agregatnem stanju je stabilna, intenzivne rdeče-rjave, oranže ali rumene barve in lahko v taki obliki ostane nedoločen čas. Emulzije, ki so manj obstojne se lahko ponovno ločijo na vodo in nafto, če so izpostavljene sončni svetlobi in mirnemu morju ali kadar jih naplavi na obalo (Apai, 2011).

2.1.3. Mehansko širjenje

Ob razlitju se nafta po površini morja širi v obliki velikega in tankega madeža. Mehansko širjenje se pojavi kot posledica dinamičnega ravnotežja težnostnih, vztrajnostnih in viskoznih sil ter površinske napetosti. Hitrost širjenja je odvisna od volumna razlite nafte, njene viskoznosti in površinske napetosti. Nafta, ki ima nizko viskoznost se širi hitro, debelina naftnega madeža hitro upada. Nafta, ki ima visoko viskoznost se ne širi kot celota, pač pa razpade na več debelejših delov. Nafta se po vodni površini širi zaradi lastne teže, poleg tega pa nanjo delujejo še veter in morski tokovi, ki povzročajo premikanje in s tem dodatno širjenje madeža (Kvočka, 2013).

2.1.4. Disperzija

Disperzija je proces pri katerem se nafta zaradi valov in turbulence razcepi na majhne kapljice. Kapljice se ne zadržujejo na gladini, ampak preidejo v zgornje sloje vodnega stolpca. Jakost disperzije je odvisna od sestave nafte in stanja morja, izrazitejša pa je v nafti, ki ima manjšo viskoznost. Ker nafta izhlapeva, se njena viskoznost povečuje, proces disperzije pa se manjša. Disperzijo z dodajanjem kemikalij lahko povečamo, to pa omogoči hitrejšo razgradnjo nafte (Jeglič, 2010). Večina nafte plava na površju, saj je gostota nafte manjša od gostote vode. Naftne kapljice nase vežejo sedimentne delce, kapljicam se poveča gostota, zato potonejo na dno (ITOPF, 2012). Do sedimentacije pride po navadi v bližini obale, kjer so v morju prisotne lebdeče plavine, npr. mivka. Sedimenti, ki so prepojeni z nafto se tako po nekaj letnih ciklih prekrijejo z novimi plastmi sedimentov, ki so posledica erozije obale (Jeglič, 2010).

2.1.5. Biološka razgradnja

Biološka razgradnja je proces, v katerem mikroorganizmi (bakterije, alge, kvasovke, plesni, gobe, praživali) presnavljajo sestavine, ki so prisotne v nafti. Omenjeni proces se začne po daljšem času od razlitja nafte v morje in lahko poteka tudi več let. Hitrost razgradnje je

odvisna od sestave nafte, temperature, prisotnosti kisika, dušika in fosfatov. V prisotnosti nafte se število mikroorganizmov v vodi namnoži, njihovo razmnoževanje pa se ustavi, ko začne primanjkovati hrane ali kisika (Jeglič, 2010).

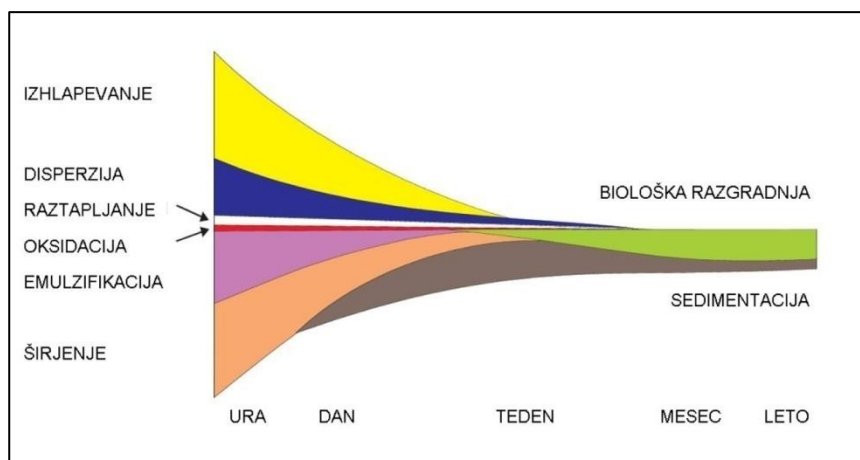
2.1.5. Raztapljanje nafte v vodi

Da pride do procesa raztapljanja morajo biti sestavine, ki jih vsebuje nafta, topne v vodi. Raztapljanje se pojavi takoj, ko se nafta razlije v morje. Hitrost raztapljanje nafte je odvisna od sestave nafte, turbulence in temperature vode. Raztapljanje ne igra pretirano pomembne vloge pri izginjanju naftnega madeža z gladine, saj je proces izhlapevanja bistveno hitrejši od procesa raztapljanja (Jeglič, 2010).

2.1.6. Oksidacija

Oksidacija je proces, ki poteka pod vplivom sončne svetlobe. Ko se nafta razlije v morje, ogljikovodiki reagirajo s kisikom in nastanejo vodotopni produkti. Potek oksidacije poteka zelo počasi (Kvočka, 2013).

Grafični prikaz časovnega poteka procesov ob razlitjih je prikazan na sliki 2.



Slika 2: Časovna odvisnost pomembnosti posameznih procesov pri razlitju (Kvočka, 2013)

2.2. Enačbe viskoznosti

Za izračun so uporabljene Mackayeve (Fingas, 2011) empirične enačbe, s katerimi lahko z vnosom različnih parametrov izračunamo viskoznost. V posameznih enačbah vplivajo na viskoznost različni procesi: emulzifikacija, izhlapevanje, sprememba temperature in hitrost vetra.

2.2.1. Mackayeva enačba varianta 1

Enačba (1) upošteva vpliv procesov emulzifikacije in izhlapevanja ter spremembo temperature (Delgado in sod., 2006).

$$\bullet \quad \mu = \mu_o \exp \left[\frac{C_v * F_{em}}{1 - C_m F_{em}} + C_e * F_{ev} + C_t \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \right] \quad (1)$$

kjer je:

- μ_o ...začetna viskoznost [*mPas*],
- T ...trenutna temperatura [*K*],
- T_o ...temperatura, kjer je merjena začetna viskoznost [*K*],
- C_v ...konstanta vrednosti 2.5,
- C_m ... konstanta vrednosti 0.65,
- C_e ... konstanta vrednosti 1 za surovo nafto in 10 za rafinirano nafto,
- C_t ... konstanta vrednosti 5.0,
- F_{em} ... delež vode v nafti,
- F_{ev} ... delež, ki je izhlapel iz mešanice.

2.2.2. Mackayeva enačba varianta 2

V enačbi (2) zajamemo vpliv procesa emulzifikacije na viskoznost, po variaciji Mooneyeve enačbe (Fingas, 2011).

$$\bullet \quad \mu = \mu_0 \exp \frac{2.5 F_{em}}{1 - 0.65 F_{em}} \quad (2)$$

kjer je: μ_0 ...začetna viskoznost [*mPas*],
 F_{em} ... delež vode v nafti.

2.2.3. Mackayeva enačba varianta 3

Enačba (3) opisuje vpliv izhlapevanja (Fingas, 2011).

$$\bullet \quad \mu = \mu_0 \exp(C_4 * F_{ev}) \quad (3)$$

kjer je: μ_0 ...začetna viskoznost [*mPas*],
 C_4 ... konstanta vrednosti 1 za lahka goriva in 10 za težka goriva,
 F_{ev} ... delež, ki je izhlapel iz mešanice.

2.3. Enačba izhlapevanja po Fingasovi metodi

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. Tako je Fingas (2004) empirične zveze, ki podajajo časovni potek izhlapevanja snovi, podal v preglednici (Fingas, 2004, cit. po Kvočka, 2013), kjer je v odvisnosti od vrste nafte uporabil enačbi (4) in (5).

$$\bullet \quad \%E_v = (\alpha + \beta * T) \ln(t) \quad (4)$$

ali

$$\bullet \quad \%E_v = (\alpha + \beta * T) \sqrt{t} \quad (5)$$

kjer je: $\%E_v$...delež izhlapevanja glede na maso,
 α ...empirični konstanti
 β ... empirični konstanti,
 T ...temperatura [°C],
 t ...čas v minutah.

Primer 1: Izračunaj odstotek izhlapele nafte Brent Blend po 10 h pri temperaturi 20°C.

$$\%E_v = (3,39 + 0,048 * 20) \ln(600) = 27,83\%$$

2.4. Enačba deleža vode v nafti

Enačba (8) (Delgado in sod., 2006, po Mackay in sod., 1980) nam podaja delež vode, ki je prodrla v nafto. Emulzifikacija nafte in vode se začne po določenem času, ko nekaj nafte že izhlapi. V diplomski nalogi (Kvočka, 2013) je podrobno opisana definicija pojma emulzije, razvoj in teorija o nastanku emulzije vode v nafti ter stabilnost emulzije tipa »voda v nafti«.

$$\bullet \frac{dF_{em}}{dt} = K_{em}(W + 1)^2 * \left(1 - \frac{F_{em}}{C_3}\right) \quad (8)$$

kjer je: F_{em} ... delež vode v nafti,
 K_{em} ... konstanta vrednosti $2 * 10^{-6} [m/s^2]$,
 W ... hitrost vetra[m/s],
 C_3 ...konstanta vrednosti 0.7 za surovo nafto in 0.25 za rafinirano nafto,
 t ...čas [sek].

Enačbo (8) smo rešili po postopku ločevanja spremenljivk v diferencialni enačbi in dobili enačbo: .

$$\bullet F_{em}(t) = C_3 * \left[1 - \exp\left(\frac{-t * K_{em} * (W+1)^2}{C_3}\right)\right] \quad (9)$$

Primer 2: Izračunaj delež vode v nafti v času 1h pri vetru 10m/s.

$$F_{em}(t) = 0.7 * \left[1 - \exp\left(\frac{-3600 * 2 * 10^{-6} * (10+1)^2}{0.7}\right) \right] = 0,4983$$

2.5. Vhodni podatki

V diplomski nalogi so uporabljeni podatki za začetno viskoznost, katera je bila izmerjena pri 15°C in empirične enačbe za izhlapevanje po Fingasovi metodi. V prilogi A so podani ustrezni parametri za približno 170 tipov nafte (Šaponja, 2014).

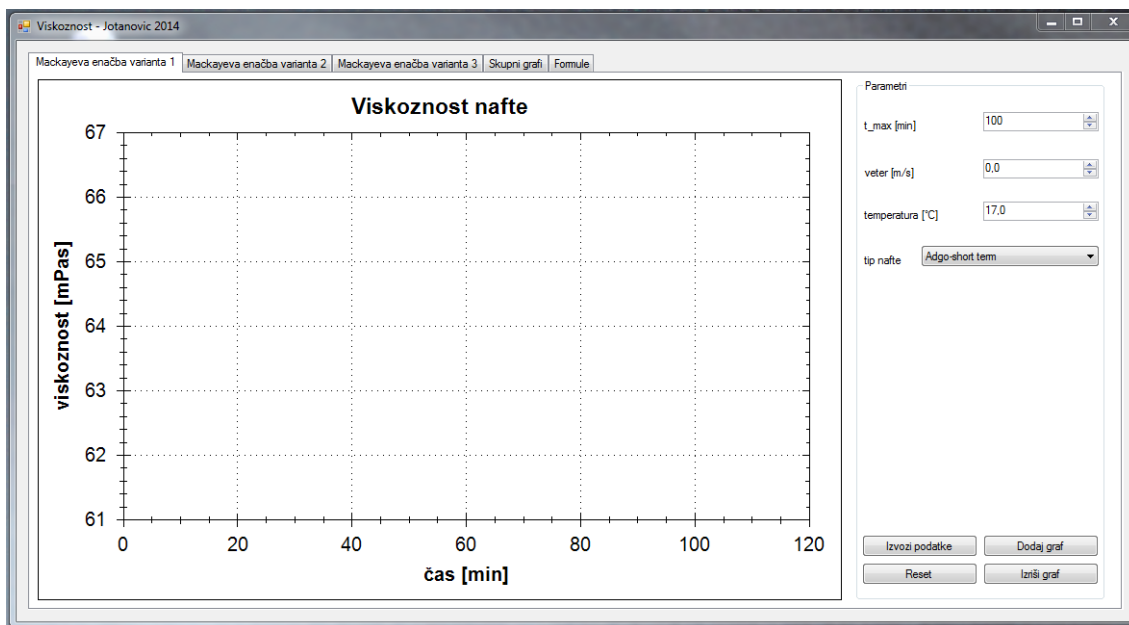
2.6. Opis izdelave modela VISKOZNOST

Model VISKOZNOST je namenjen analizi vpliva vhodnih parametrov na viskoznost nafte. Aplikacija omogoča uporabniku prijazen vnos parametrov ter prikaz posameznih in skupnih grafov viskoznosti izračunanih po Mackayevih enačbah. Kot dodatni funkciji sta omogočena tudi izvoz podatkov v obliki tekstovne datoteke (.txt) ter prikaz več krivulj na istem grafu.

Aplikacija je razvita v okolju Visual studio express 2013[a] s programskim jezikom C# (ang. C sharp). Za izris grafov je uporabljena prosto dostopna knjižnica ZedGraph [x], ki omogoča integracijo grafov v namizno aplikacijo ter veliko možnosti nastavitvev. Minimalne zahteve za zagon aplikacije so operacijski sistem Windows XP in .NET ogrodje 2.0.

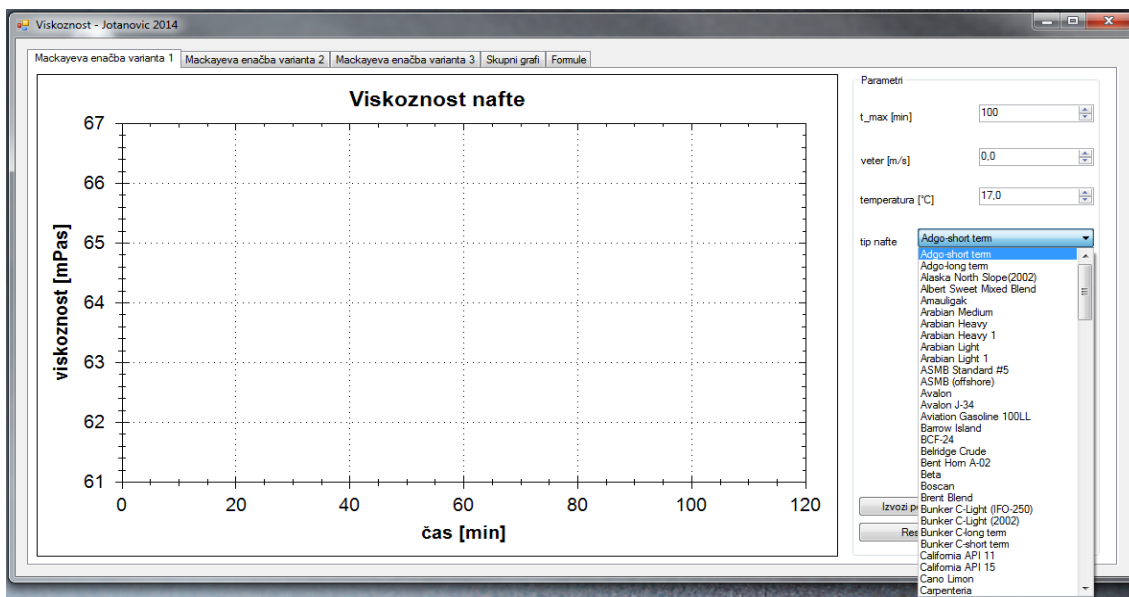
Model VISKOZNOST je zasnovan tako, da ima pet zavihkov. Prvi trije zavihki omogočajo izračun viskoznosti nafte po enačbah (1), (2) in (3), ki smo jih poimenovali Mackayeva enačba varianta (1), (2) in (3). V četrtem zavihku lahko prikažemo skupne grafe in poljubno izbiramo vidnost posameznih grafov, v petem zavihku pa prikazujemo vir enačb ter uporabljene formule.

Na sliki 3 je prikazan del grafičnega vmesnika, poimenovan Mackayeva enačba varianta 1. Uporabljena je enačba (1), v okenca na desni strani pa vnesemo parametre okolja in tip nafte. Z opcijo »Izriši graf« se nam izriše krivulja viskoznosti v odvisnosti od časa.



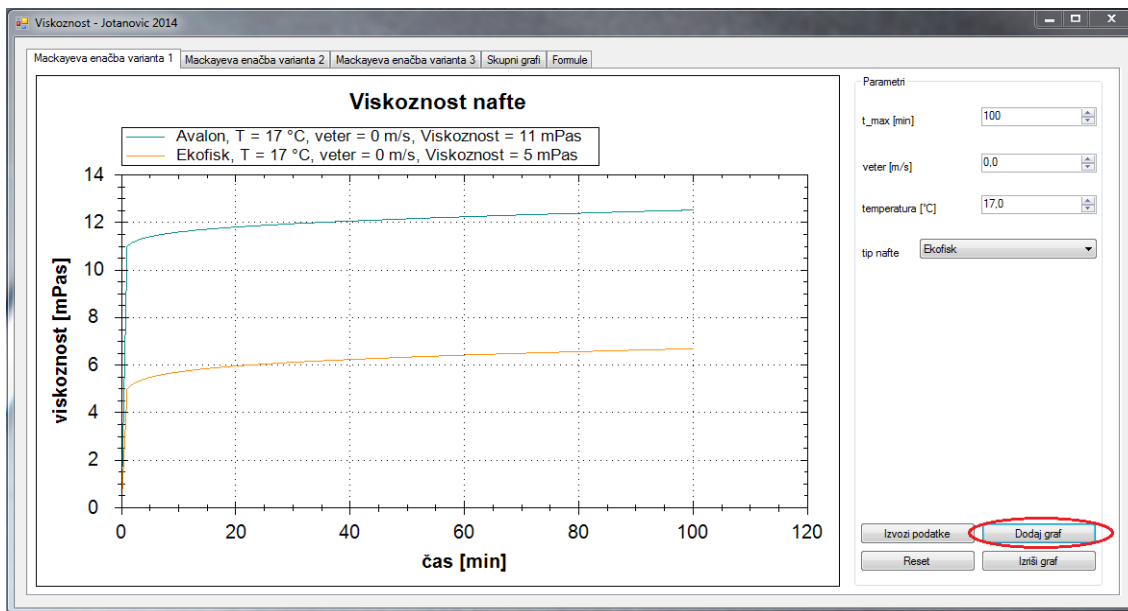
Slika 3: Mackayeva enačba 1 - model VISKOZNOST

Na sliki 4 je prikazana funkcija »Tip nafte«, kjer so vgrajene lastnosti posameznih tipov nafte, za katere v programu podane vhodne vrednosti. Tipi oz. vrste nafte so zapisane v prilogi A.



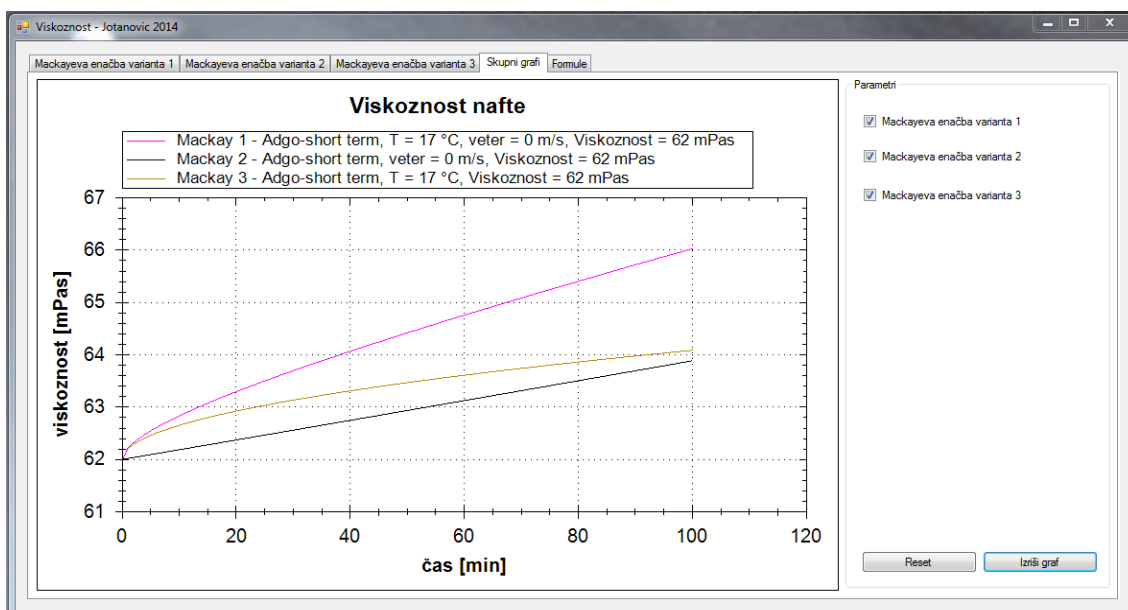
Slika 4: Tip nafte - model VISKOZNOST

Na sliki 5 je prikazana funkcija »Dodaj graf«, kjer lahko spremenimo posamezne parametre in tip nafte ter na graf izrišemo dodatno krivuljo.



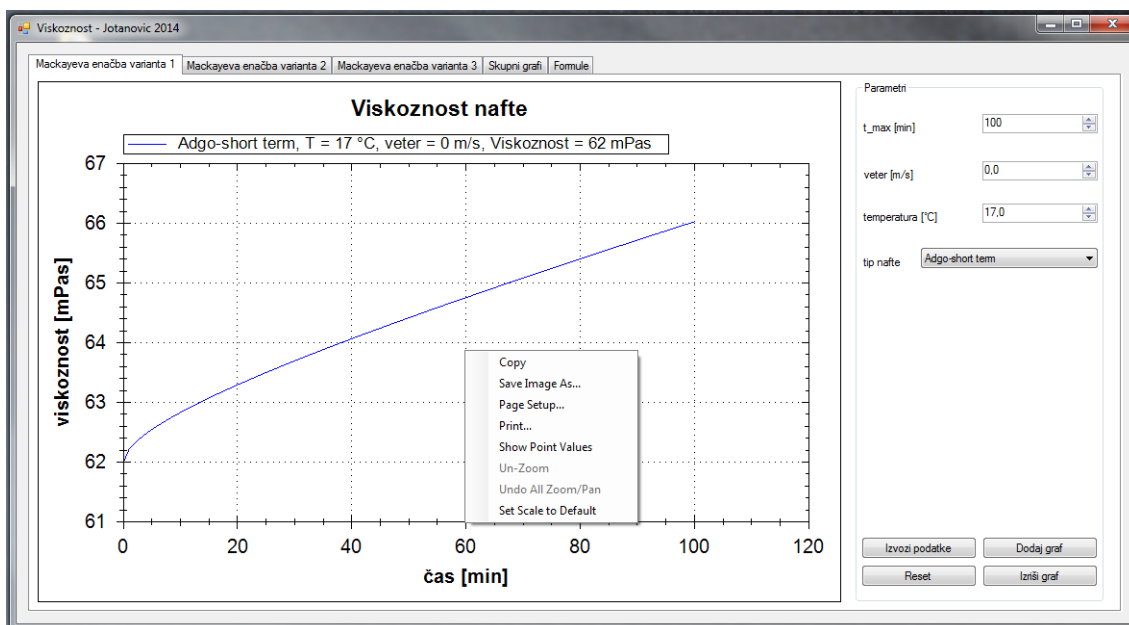
Slika 5: Dodaj graf - model VISKOZNOST

Na sliki 6 je prikazan zavihek, kjer lahko primerjamo posamezne metode in izberemo krivulje, ki naj bodo vidne.



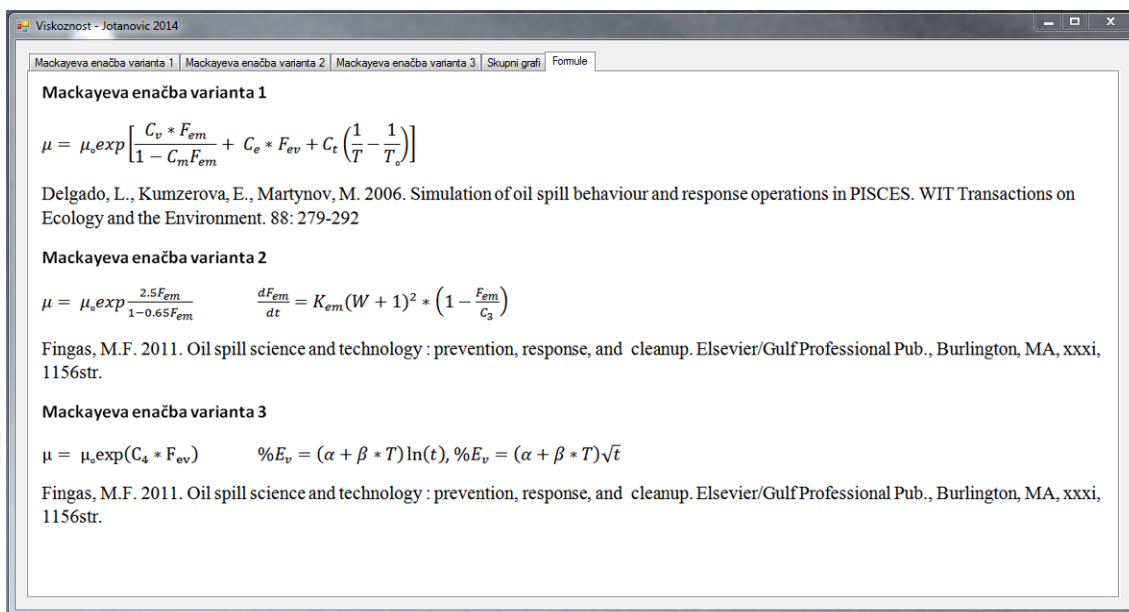
Slika 6: Skupni grafi - model VISKOZNOST

Na sliki 7 so prikazane dodatne nastavitve. Do njih pridemo tako, da ko se nahajamo na območju grafa kliknemo desno tipko na miški. Dodatne nastavitve vsebujejo shranjevanje slike pod ukazom »Save Image AS«. Z ukazom »Show Point Values« se nam izpišejo vrednosti na x in y osi, ko se z miško premikamo po krivulji.



Slika 7: Nastavitve - model VISKOZNOST

Na sliki 8 je prikazan zavihek Formule, kjer so napisane formule in njihovi viri.



Slika 8: Formule - model VISKOZNOST

3. REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1. Scenarij 1

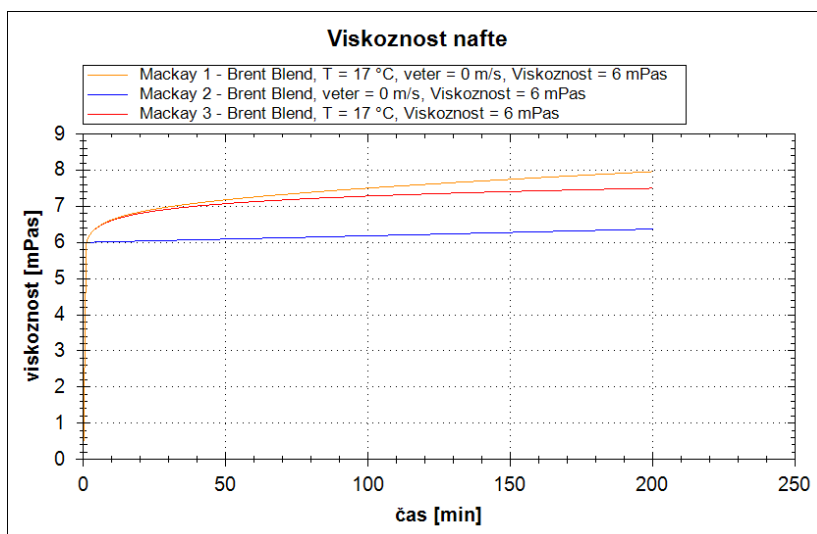
Za simulacijo viskoznosti nafte ob razlitju v morskem okolju je uporabljena nafta Brent Blend, ki ima začetno viskoznost 6 mPas merjeno pri 15°C. Empirična enačba za izhlapevanje po Fingasovi metodi je $\%E_v = (3,39 + 0,048 * T) \ln(t)$.

Izvedene so bile naslednje simulacije:

- $t = 200\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C z vsemi enačbami
- $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C z vsemi enačbami
- simulacija nafte po Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C
- simulacija nafte po Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

Rezultate prikazujemo na slikah 9 – 12 in v preglednicah 1 – 4.

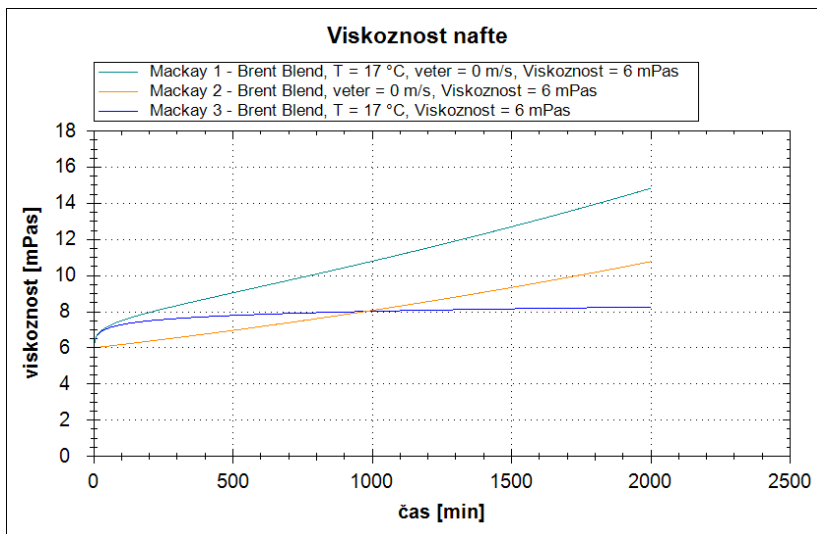
Simulacija nafte pri t= 200min, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C



Slika 9: Krivulja viskoznosti nafte Brent Blend pri t= 200min, veter=0 m/s, temperatura = 17 °C

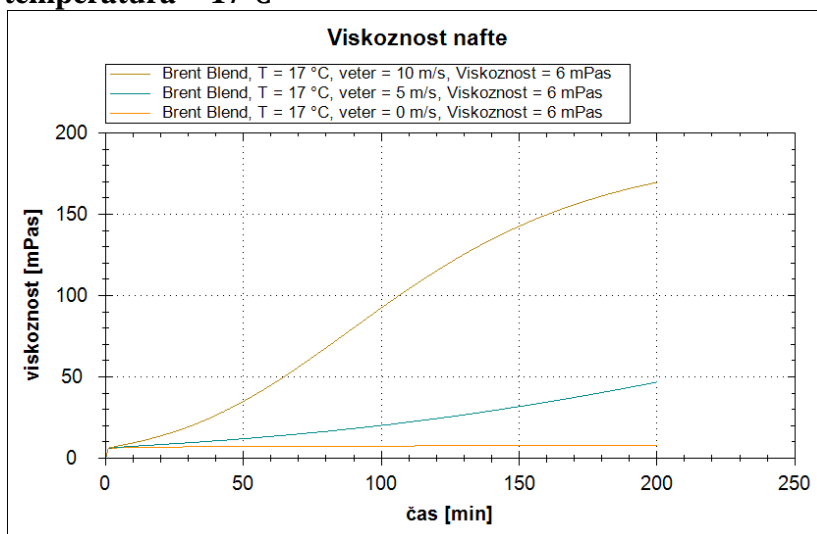
Preglednica 1: Rezultati viskoznosti nafte Brent Blend pri t = 200min, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C

čas [min]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 2 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 3 [mPas]
1	6,0011	6,0018	6,0000
10	6,6292	6,0180	6,6101
20	6,8458	6,0361	6,8057
30	6,9845	6,0542	6,9228
40	7,0907	6,0724	7,0070
50	7,1791	6,0906	7,0731
60	7,2561	6,1089	7,1276
70	7,3252	6,1273	7,1739
80	7,3886	6,1456	7,2143
90	7,4475	6,1641	7,2501
100	7,5030	6,1826	7,2823
110	7,5558	6,2011	7,3116
120	7,6062	6,2197	7,3384
130	7,6548	6,2384	7,3632
140	7,7017	6,2571	7,3861
150	7,7472	6,2758	7,4076
160	7,7915	6,2946	7,4277
170	7,8348	6,3135	7,4467
180	7,8772	6,3324	7,4646
190	7,9188	6,3514	7,4816
200	7,9597	6,3704	7,4978

Simulacija nafte pri $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C**Slika 10:** Primerjava viskoznosti nafte Brent Blend pri $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C**Preglednica 2:** Rezultati viskoznosti nafte Brent Blend pri $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C

čas [min]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 2 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 3 [mPas]
1	6,0011	6,0018	6,0000
100	7,5030	6,1826	7,2823
200	7,9597	6,3704	7,4978
300	8,3421	6,5636	7,6267
400	8,6991	6,7622	7,7196
500	9,0463	6,9664	7,7924
600	9,3906	7,1762	7,8524
700	9,7357	7,3919	7,9034
800	10,0840	7,6135	7,9480
900	10,4370	7,8410	7,9874
1000	10,7959	8,0747	8,0229
1100	11,1613	8,3147	8,0551
1200	11,5341	8,5610	8,0847
1300	11,9146	8,8137	8,1119
1400	12,3035	9,0731	8,1372
1500	12,7010	9,3390	8,1609
1600	13,1075	9,6118	8,1831
1700	13,5232	9,8914	8,2040
1800	13,9486	10,1781	8,2237
1900	14,3837	10,4718	8,2424
2000	14,8290	10,7726	8,2602

Simulacija nafte pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

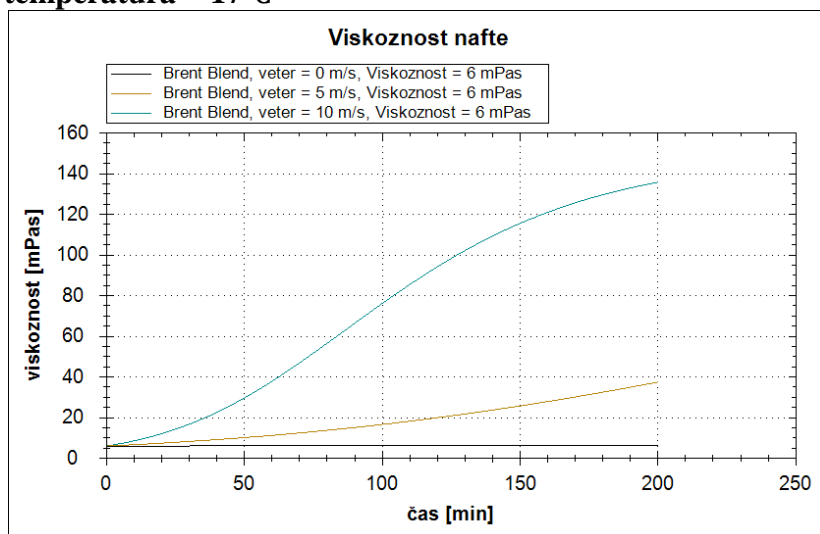


Slika 11: Primerjava viskoznosti nafte Brent Blend pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

Preglednica 3: Rezultati viskoznosti nafte Brent Blend pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

čas [min]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas] - veter = 0 [m/s]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas] - veter = 5 [m/s]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas] - veter = 10 [m/s]
1	6,0011	6,0644	6,2208
10	6,6292	7,3607	9,4580
20	6,8458	8,4332	13,7422
30	6,9845	9,5363	19,3364
40	7,0907	10,7179	26,4158
50	7,1791	11,9970	35,0109
60	7,2561	13,3853	45,0011
70	7,3252	14,8917	56,1242
80	7,3886	16,5232	68,0127
90	7,4475	18,2856	80,2486
100	7,5030	20,1835	92,4203
110	7,5558	22,2205	104,1681
120	7,6062	24,3989	115,2129
130	7,6548	26,7201	125,3658
140	7,7017	29,1840	134,5226
150	7,7472	31,7893	142,6509
160	7,7915	34,5334	149,7726
170	7,8348	37,4125	155,9467
180	7,8772	40,4215	161,2546
190	7,9188	43,5542	165,7884
200	7,9597	46,8030	169,6425

Simulacija nafte pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C



Slika 12: Primerjava viskoznosti nafte Brent Blend pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

Preglednica 4: Rezultati viskoznosti nafte Brent Blend pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

čas [min]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]- veter = 0 [m/s]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]- veter = 5 [m/s]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]- veter = 10 [m/s]
1	6,0018	6,0651	6,2216
10	6,0180	6,6821	8,5860
20	6,0361	7,4357	12,1167
30	6,0542	8,2662	16,7610
40	6,0724	9,1787	22,6221
50	6,0906	10,1781	29,7028
60	6,1089	11,2692	37,8867
70	6,1273	12,4564	46,9458
80	6,1456	13,7437	56,5715
90	6,1641	15,1344	66,4193
100	6,1826	16,6314	76,1551
110	6,2011	18,2366	85,4920
120	6,2197	19,9514	94,2113
130	6,2384	21,7760	102,1688
140	6,2571	23,7100	109,2901
150	6,2758	25,7517	115,5580
160	6,2946	27,8989	120,9982
170	6,3135	30,1479	125,6653
180	6,3324	32,4944	129,6305
190	6,3514	34,9331	132,9724
200	6,3704	37,4580	135,7705

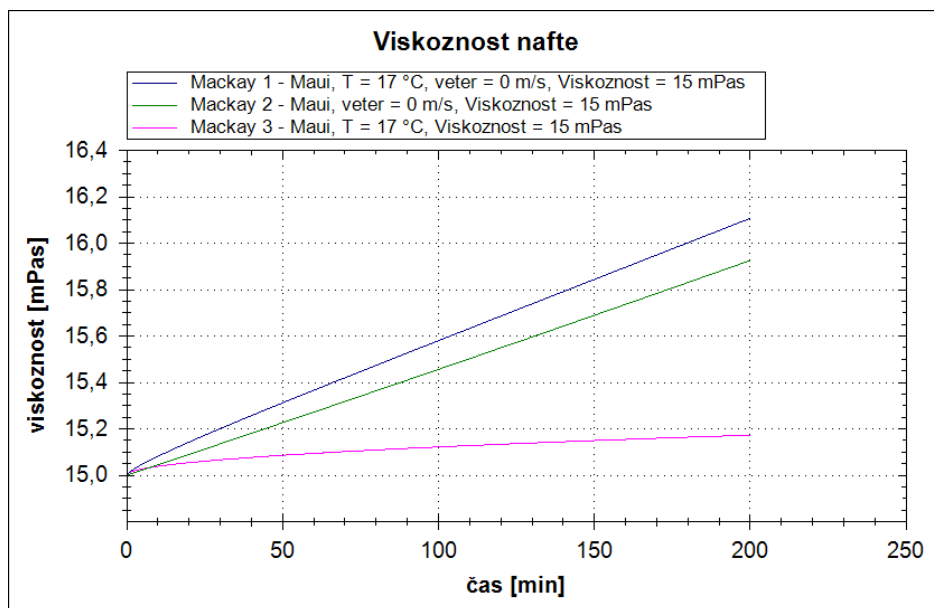
3.2. Scenarij 2

Za simulacijo viskoznosti nafte ob razlitju v morskem okolju je uporabljena nafta Maui, ki ima začetno viskoznost 15 mPas merjeno pri 15°C. Empirična enačba za izhlapevanje po Fingasovi metodi je $\%E_v = (-0,14 + 0,013 * T)\sqrt{t}$.

Izvedene so bile naslednje simulacije:

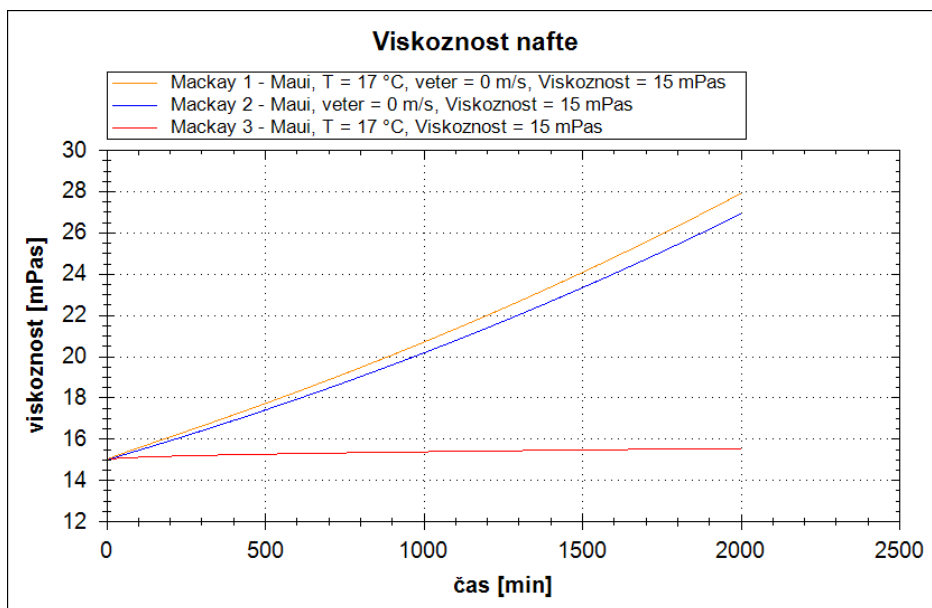
- t = 200min, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C
- t = 2000min, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C
- simulacija nafte pri Mackayevi enačbi varianta 1, t = 200min, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C
- simulacija nafte pri Mackayevi enačbi varianta 2, t = 200min, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

Rezultate prikazujemo na slikah 13 - 17 in v preglednicah 5 – 8.

Simulacija nafte pri $t = 200\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C**Slika 13:** Primerjava viskoznosti nafte Maui pri $t = 200\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C**Preglednica 5:** Rezultati viskoznosti nafte Maui pri $t = 200\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C

čas [min]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 2 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 3 [mPas]
1	15,01486135	15,00450064	15,01215492
10	15,08184469	15,04506407	15,03847092
20	15,14320578	15,09025649	15,05443499
30	15,20105631	15,13557751	15,06669613
40	15,25717082	15,18102742	15,07704051
50	15,31223465	15,22660651	15,08615998
60	15,36659836	15,27231504	15,09440936
70	15,42046973	15,3181533	15,10199943
80	15,47398384	15,36412157	15,10906752
90	15,52723434	15,41022012	15,11570902
100	15,58028933	15,45644924	15,12199341
110	15,63320012	15,50280919	15,12797309
120	15,68600656	15,54930027	15,13368882
130	15,73874029	15,59592275	15,13917299
140	15,79142697	15,64267691	15,14445185
150	15,84408775	15,68956303	15,14954706
160	15,89674028	15,73658139	15,15447671
170	15,94939954	15,78373226	15,1592561
180	16,00207831	15,83101594	15,16389831
190	16,05478766	15,87843269	15,16841462
200	16,1075372	15,92598279	15,17281487

Simulacija nafte pri $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C

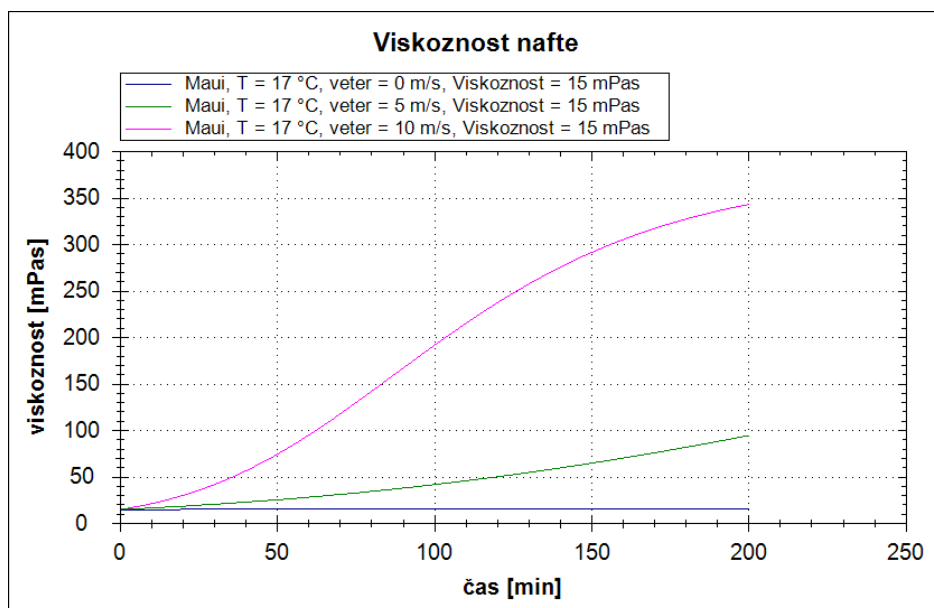


Slika 14: Primerjava viskoznosti nafte Maui pri $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura = 17 °C

Preglednica 6: Rezultati viskoznosti nafte Maui pri $t = 2000\text{min}$, veter = 0 m/s, temperatura=17 °C

čas [min]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 2 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 3 [mPas]
1	15,01486135	15,00450064	15,01215492
100	15,58028933	15,45644924	15,12199341
200	16,1075372	15,92598279	15,17281487
300	16,63872044	16,40888008	15,21192733
400	17,17946221	16,90542109	15,24497897
500	17,73207605	17,41588615	15,27415756
600	18,29787554	17,94055562	15,30058508
700	18,8777542	18,47970954	15,32492805
800	19,47239462	19,03362732	15,34762073
900	20,08236042	19,60258745	15,36896477
1000	20,70814222	20,18686711	15,38917977
1100	21,35018275	20,78674181	15,40843154
1200	22,00889151	21,40248507	15,42684886
1300	22,6846538	22,03436804	15,44453419
1400	23,37783635	22,6826591	15,46157055
1500	24,08879113	23,34762348	15,4780264
1600	24,81785771	24,02952289	15,49395892
1700	25,56536496	24,72861513	15,50941652
1800	26,33163205	25,44515364	15,52444053
1900	27,11696917	26,17938715	15,53906666
2000	27,92167793	26,93155923	15,55332594

Simulacija nafte pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

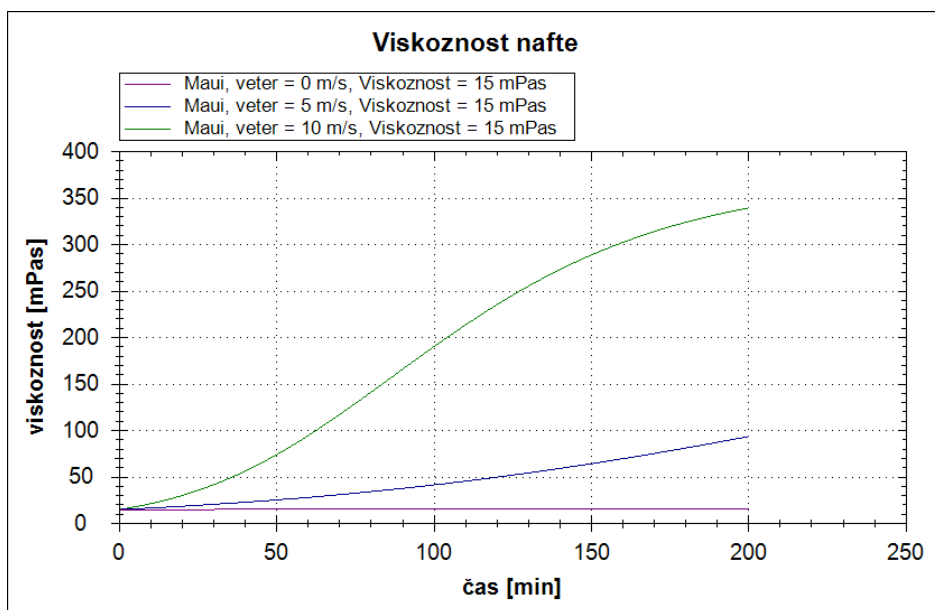


Slika 15: Primerjava viskoznosti nafte Maui pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

Preglednica 7: Rezultati viskoznosti nafte Maui pri Mackayevi enačbi varianta 1, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

čas [min]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 2 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 3 [mPas]
1	15,01486135	15,17330201	15,56469671
10	15,08184469	16,74598852	21,5174179
20	15,14320578	18,65452995	30,39812113
30	15,20105631	20,75490822	42,08372619
40	15,25717082	23,0617226	56,83896452
50	15,31223465	25,58824666	74,67450839
60	15,36659836	28,34686373	95,30140628
70	15,42046973	31,34898323	118,1485433
80	15,47398384	34,6048456	142,4401439
90	15,52723434	38,12329584	167,3090857
100	15,58028933	41,91155346	191,9132562
110	15,63320012	45,97499385	215,5277091
120	15,68600656	50,31695151	237,5989176
130	15,73874029	54,93855382	257,7611083
140	15,79142697	59,83859228	275,8235029
150	15,84408775	65,01343686	291,7403247
160	15,89674028	70,4569973	305,574244
170	15,94939954	76,16073357	317,4608144
180	16,00207831	82,11371578	327,5781251
190	16,05478766	88,30273228	336,123272
200	16,1075372	94,71244259	343,2955686

Simulacija nafte pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C



Slika 16: Primerjava viskoznosti nafte Maui pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

Preglednica 8: Rezultati viskoznosti nafte Maui pri Mackayevi enačbi varianta 2, $t = 200\text{min}$, veter = 0, 5, 10 m/s, temperatura = 17°C

čas [min]	Mackayeva enačba varianta 1 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 2 [mPas]	Mackayeva enačba varianta 3 [mPas]
1	15,00450064	15,16283197	15,5539566
10	15,04506407	16,7051495	21,46494263
20	15,09025649	18,58930306	30,29183194
30	15,13557751	20,6655061	41,90244983
40	15,18102742	22,94662931	56,55530039
50	15,22660651	25,44515364	74,25691819
60	15,27231504	28,17293868	94,71667487
70	15,3181533	31,14097945	117,3646154
80	15,36412157	34,35915795	141,4288467
90	15,41022012	37,83599627	166,0482338
100	15,45644924	41,57841904	190,3878317
110	15,50280919	45,59153288	213,7300696
120	15,54930027	49,87843051	235,5282016
130	15,59592275	54,44002671	255,4221151
140	15,64267691	59,27493239	273,225336
150	15,68956303	64,37937178	288,8950305
160	15,73658139	69,74714644	302,4955981
170	15,78373226	75,3696479	314,1633318
180	15,83101594	81,23591935	324,0763117
190	15,87843269	87,33276458	332,4311018
200	15,92598279	93,64490129	339,4261488

3.3 Diskusija

Z modelom VISKOZNOST smo izvedli simulacije spreminjanja viskoznosti s časom za dva tipa nafte po vseh treh Mackayevih empiričnih enačbah in sicer za nafto Brent Blend in Maui, pri obeh smo uporabili iste vhodne podatke (čas trajanja, veter in hitrost).

Iz rezultatov izračunov pri obeh situacijah lahko ugotovimo, da se rezultati pri vseh treh enačbah v brezvetrju razmeroma dobro ujemajo v krajših časih, v daljših pa slabše. Rezultati se pravzaprav med seboj zelo razlikujejo, razlika med metodami pa se s časom povečuje. Še najmanjše razlike so pri krajših časih med metodama Mackay (1) in Mackay (2) pri obeh naftah. Metoda Mackay 3 izrazito odstopa. Z lastnimi meritvami viskoznosti ne razpolagamo, zato o pravilnosti posamezne metode na tem mestu ne moremo govoriti.

Ugotovili smo tudi, da večja začetna viskoznost rezultira v večjem odstopanju pri končnih rezultatih. Na viskoznost ima velik vpliv tudi veter, saj se, zelo verjetno zaradi izhlapevanja, z naraščanjem jakosti vetra viskoznost s časom izrazito povečuje. Ugotovili smo, da ob spreminjanju jakosti vetra enačbi (1) in (2) dajeta podobne rezultate. Vsekakor se metoda Mackay (3) od obeh drugih metod znatno razlikuje, zato bi bilo vredno preveriti, od kod izvirajo velike razlike.

4. ZAKLJUČEK

Na začetku diplomske naloge smo predstavili lastnosti nafte in procese, ki nastopajo pri razlitjih nafte v morskem okolju. V nadaljevanju smo opisali Mackayeve empirične enačbe za izračun viskoznosti in izdelali model VISKOZNOST, s katerim lahko izračunamo in grafično prikažemo izračunane vrednosti. V model smo vgradili 167 empiričnih enačb za izhlapevanje po Fingasovi metodi in začetno viskoznost merjeno pri 15 °C, izvedli simulacije dveh scenarijev in med seboj primerjali rezultate. Za izračun moramo vnesti tip nafte ob razlitju, s čimer že podamo tudi empirično enačbo po Fingasovi metodi za izhlapevanje, ter temperaturo morja in jakost vetra. Ugotovili smo, da se rezultati vseh treh enačb za viskoznost v brezvetrju razmeroma dobro ujemajo pri kratkih časih, razlike pa se močno povečajo pri daljših simulacijah.

Model oz. enačbe bi bilo vsekakor potrebno preveriti na lastnih meritvah ali pridobiti relevantne podatke meritev v laboratoriju in v naravnem okolju. Ne glede na razmeroma velike razlike v rezultatih pa je predstavlja program uporabno orodje pri študiju razlitij nafte, hkrati pa dober pripomoček v pedagoškem procesu, ki bo lahko služil za ponazoritev dogajanja ob razlitjih nafte v morskem okolju.

VIRI

Apai, D. 2001. Oil spill fate and trajectory modelling in cockburn sound. Western Australia, Department of Environmental Engineering, University of Western Australia: 101str.

Beegle-Krause, J. 2001. General NOAA oil modeling environment (GNOME): A new spill trajectory model. International Oil Spill Conference Proceedings: str. 865-871.

Coppini, G., De Dominics, M., Zodiatis, G., Lardner, R., Pinardi, N., Santoleri, R., Colella, S., Bignami, F., Hayes, D. R., Soloviev, D., Georgiou, G., Kallos, G. 2006. Hindcast of oil-spill pollution during the Lebanon crisis in the Eastern Mediterranean. Journal in Marine Pollution Bulletin 62: 140-153 str.

Delgado, L., Kumzerova, E., Martynov, M. 2006. Simulation of oil spill behaviour and response operations in PISCES. Wit Transactions on Ecology and the Environment 88: 279-292.

Fingas, M.F. 2004. Modeling evaporation using models that are not boundary-layer regulated. Journal of Hazardous Materials 104, 1-2: 27-36

Fingas, M.F. 2011. Oil spill science and technology. prevention, response, and cleanup. Elsevier/Gulf Professional Pub., Burlington, MA: xxxi, 1156 str.

Galuf, S. 2005. Simulacija razlitja nafte v Tržaškem zalivu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Galuf): 71str.

ITOPF. 2012. Technical information papers No. 2. Fate of marine oil spills. Dostopno na naslovu:http://www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/Company_Lit/ITOPF_Brochure_2012_ENG.pdf (Pridobljeno 29. 8. 2014.)

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

Kornhauser, A. 1984. Les, premog, nafta, plini. Ljubljana, DZS: 67str.

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

Lehr, W., Jones, R., Evans, M., Simecek-Beatty, D., Overstreet, R. 2002. Revisions of the ADIOS oil spill model. Environmental Modelling & Software, str. 189–197.

Oil. 2014. Nafta.

<http://www.adventuresinenergy.org/What-are-Oil-and-Natural-Gas/How-Are-Oil-Natural-Gas-Formed.html> (Pridobljeno 26. 8. 2014.)

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

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

WIKI. 2013. Viskoznost.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Viskoznost> (Pridobljeno 29. 9. 2014.)

Žagar, D. 1994. Matematični model za simuliranje razlitja nafte na morju in njegova aplikacija. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo in geodezijo, Podiplomski študij Hidrotehnične smeri: 68str.

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

Žagar, D., Ličer, M., Malačič, V. 2011. Modeliranje razlitja nafte v morskem okolju. Kuhljevi dnevi 2011. 22. september 2011, Mengeš. Zbornik del: str. 283–290.

Žagar, D., Ramšak, V., Ličer, M., Petelin, B., Malačič, V. 2012. Uporaba numeričnih modelov ob razlitjih nafte na morju = Application of numerical models of oil spills in the sea. Ujma 26: 168-174.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Empirične enačbe, ki podajajo časovni potek izhlapevanja za posamezne vrste nafte

Jotanović, G. 2014. Vpliv izhlapevanja in emulzifikacije na viskoznost razlite nafte na morju.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

PRILOGA A: Empirične enačbe, ki podajajo časovni potek izhlapevanja za posamezne vrste nafte

	Tip nafte	Država porekla	API	Gostota [kg/m ³]	Visko-znost [mPa s]	Enačba izhlapevanja
4	Adgo – short term	Kanada	16,8	953	62	$\%Ev = (0,11 + 0,013T)\sqrt{t}$
5	Adgo –long term	Kanada	16,8	953	62	$\%Ev = (0,68 + 0,045T)\ln(t)$
6	Alaska North Slope (2002)	Aljaska ZDA	25	889,9	11,5	$\%E_v = (2,86 + 0,045T)\ln(t)$
7	Albert Sweet Mixed Blend	Kanada	36,1	843,4	7	$\%Ev = (3,24 + 0,054T)\ln(t)$
8	Amauligak	Kanada	27,4	883,6	14	$\%Ev = (1,63 + 0,045T)\ln(t)$
9	Arabian Medium	Savdska Arabija	29,5	878,3	29	$\%Ev = (1,89 + 0,045T)\ln(t)$
10	Arabian Heavy	Savdska Arabija	27,4	887	41	$\%Ev = (1,31 + 0,045T)\ln(t)$
11	Arabian Heavy 1	Savdska Arabija	27,4	887	43	$\%Ev = (2,71 + 0,045T)\ln(t)$
12	Arabian Light	Savdska Arabija	31,8	865,8	14	$\%Ev = (2,52 + 0,037T)\ln(t)$
13	Arabian Light 1	Savdska Arabija	31,3	864,1	13	$\%Ev = (3,41 + 0,045T)\ln(t)$
14	ASMB Standard #5	Kanada	35,72	840,4	6,1	$\%Ev = (3,35 + 0,045T)\ln(t)$
15	ASMB (offshore)	Kanada	35,1	848,7	7	$\%Ev = (2,2 + 0,045T)\ln(t)$
16	Avalon	Kanada (Hibernia)	36	844	11	$\%Ev = (1,41 + 0,045T)\ln(t)$
17	Avalon J – 34	Kanada (Hibernia)	36	871	11	$\%Ev = (1,58 + 0,045T)\ln(t)$
18	Aviation Gasoline 100 LL	Letalski bencin 100 oktanski	66,6	714,3	1	$\%Ev = (0,5 + 0,045T)\ln(t)$
19	Barrow Island	Avstralija	36,7	841	2	$\%Ev = (4,67 + 0,045T)\ln(t)$
20	BCF – 24	Venezuela	23,4	912,9	125	$\%Ev = (1,08 + 0,045T)\ln(t)$
21	Belridge Crude	ZDA-Kalifornija	13,6	974,6	1261	$\%Ev = (0,03 + 0,013T)\sqrt{t}$
22	Bent Horn A – 02	Kanada	41,5	817,7	12	$\%Ev = (3,19 + 0,045T)\ln(t)$

Slika 17: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014)

23	Beta	ni podatka	13,7	973,8	1338	$\%Ev = (-0,08 + 0,013T)\sqrt{t}$
24	Boscan	Venezuela	10,9	993	4855	$\%Ev = (-0,15 + 0,013T)\sqrt{t}$
25	Brent Blend	Velika Britanija	38,3	835,1	6	$\%Ev = (3,39 + 0,048T)\ln(t)$
26	Bunker C – Light (IFO-250)	Kurilno olje	11,4	989,1	8706	$\%Ev = (0,0035 + 0,0026T)\sqrt{t}$
27	Bunker C – long term	Kurilno olje	14,1	983	4503	$\%Ev = (-0,21 + 0,045T)\ln(t)$
28	Bunker C – Light (2002)	Kurilno olje	11,6	987,9	4034	$\%Ev = (-0,16 + 0,013T)\sqrt{t}$
29	Bunker C – short term	Kurilno olje	14,1	983	4503	$\%Ev = (0,35 + 0,013T)\sqrt{t}$
30	California API 11	ZDA	10,3	988,2	3400	$\%Ev = (-0,13 + 0,013T)\sqrt{t}$
31	California API 15	ZDA	13,2	977	6400	$\%Ev = (-0,14 + 0,013T)\sqrt{t}$
32	Cano Limon	Kolumbija	28,8	881,7	46	$\%Ev = (1,71 + 0,045T)\ln(t)$
33	Carpenteria	ZDA - Kalifornija	22,9	915,5	164	$\%Ev = (1,68 + 0,045T)\ln(t)$
34	Catalytic Cracking	ni podatka	23,2	913,9	780	$\%Ev = (-0,18 + 0,013T)\sqrt{t}$
35	Chayvo	Rusija	27,9	834,5	4	$\%Ev = (3,52 + 0,045T)\ln(t)$
36	Cold Lake Bitumen	Kanada	9,8	1000,2	$\frac{2350}{0}$	$\%Ev = (-0,16 + 0,013T)\sqrt{t}$
37	Corrosion Inhibitor Solvent	Antikorozijsko topilo	32,3	863,1	5	$\%Ev = (-0,02 + 0,013T)\sqrt{t}$
38	Cusiana	Kolumbija	38,3	832,8	7	$\%Ev = (3,39 + 0,045T)\ln(t)$
39	Delta West Block 97	ni podatka	38,3	832,8	7	$\%Ev = (6,57 + 0,045T)\ln(t)$
40	Diesel – Anchorage – long term	ZDA – Aljaska	38,8	830	2	$\%Ev = (4,54 + 0,045T)\ln(t)$
41	Diesel – Anchorage – short term	ZDA – Aljaska	38,8	830	2	$\%Ev = (0,51 + 0,013T)\sqrt{t}$
42	Diesel – long term	ni podatka	39,4	838	2	$\%Ev = (5,8 + 0,045T)\ln(t)$
43	Diesel (regular stock) – short term	ni podatka	39,4	838	2	$\%Ev = (0,31 + 0,018T)\sqrt{t}$
44	Diesel Mobile	ni podatka	37,6	846,7	4	$\%Ev = (0,03 + 0,013T)\sqrt{t}$

Slika 18: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014)

	1997 short term					
45	Diesel Mobile 1997 long term	ni podatka	37,6	846,7	4	$\%Ev = (-0,02 + 0,013T)\sqrt{t}$
46	Diesel (2002)	ni podatka	37,52	846,8	2,76	$\%Ev = (0,02 + 0,013T)\sqrt{t}$
47	Diesel fuel – Southern – long term	ZDA – Louisiana	37,2	849,5	5	$\%Ev = (2,18 + 0,045T)\ln(t)$
48	Diesel fuel – Southern – short term	ZDA – Louisiana	37,2	849,5	5	$\%Ev = (-0,02 + 0,013T)\sqrt{t}$
51	Dos Cuadros	ZDA – Kalifornija	25,6	900	51	$\%Ev = (1,88 + 0,045T)\ln(t)$
52	Ekofisk	Norveška	39,2	828,3	5	$\%Ev = (4,92 + 0,045T)\ln(t)$
53	Empire Crude	ZDA – Louisiana	33,8	855,4	11	$\%Ev = (2,21 + 0,045T)\ln(t)$
54	Endicott	ZDA – Aljaska	23	914,9	84	$\%Ev = (0,9 + 0,045T)\ln(t)$
55	Eugene Island Block 32	ZDA	36,9	839,9	10	$\%Ev = (0,77 + 0,045T)\ln(t)$
56	Eugene Island Block 43	ZDA	36,8	840,4	13	$\%v = (1,57 + 0,045T)\ln(t)$
57	Everdell	Kanada	30,1	806,4	4	$\%Ev = (3,38 + 0,045T)\ln(t)$
58	FCC heavy cycle	Fluid catalytic cracking	24,3	907,5	3	$\%Ev = (0,17 + 0,013T)\sqrt{t}$
59	FCC Light	ni podatka	1,6	1062	7418	$\%Ev = (-0,17 + 0,013T)\sqrt{t}$
60	FCC Medium cycle	ni podatka	12,3	983,5	31	$\%Ev = (-0,16 + 0,013T)\sqrt{t}$
61	FCC – VGO	ni podatka	31,8	866,2	1	$\%Ev = (2,5 + 0,013T)\sqrt{t}$
62	Federated	Kanada (Alberta)	38,9	829,8	5	$\%Ev = (3,47 + 0,045T)\ln(t)$
63	Federated (new-1999)	Kanada (Alberta)	39	829,3	4	$\%Ev = (3,45 + 0,045T)\ln(t)$
64	Fuel Oil #5	ni podatka	11,55	988,3	1410	$\%Ev = (-0,14 + 0,013T)\sqrt{t}$
65	Garden Banks Block 387	ZDA – Mehiški zaliv	29,5	878,2	29	$\%Ev = (1,84 + 0,045)\ln(t)$
66	Garden Banks Block 426	ZDA – Mehiški zaliv	Ni	828,5	6	$\%Ev = (3,44 + 0,045T)\ln(t)$
67	Gasoline (unleaded)	Standardni neosvinčen bencin	62,4	750	0,6	$\%Ev = (13,2 + 0,21T)\ln(t)$

Slika 19: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014)

68	Genesis	ZDA – Teksas	28,4	884,1	26	$%Ev = (2,12 + 0,045T)\ln(t)$
69	Green Canyon Block 109	ZDA – Mehiški zaliv	27	891,4	5	$%Ev = (1,58 + 0,045T)\ln(t)$
70	Green Canyon Block 184	ZDA – Mehiški zaliv	39,4	831,4	5	$%Ev = (3,55 + 0,045T)\ln(t)$
71	Green Canyon Block 200	ZDA – Mehiški zaliv	33,9	850,1	11,4	$%Ev = (3,11 + 0,045T)\ln(t)$
72	Green Canyon Block 65	ZDA – Mehiški zaliv	19,5	936,5	177	$%Ev = (1,56 + 0,045T)\ln(t)$
73	Gulfaks	Norveška	31	870,1	13	$%Ev = (2,29 + 0,034T)\ln(t)$
74	Heavy Reformate	ni podatka	10,1	922,6	1321	$%Ev = (-0,17 + 0,013T)\sqrt{t}$
75	Hebron MD-4	Kanada	20,1	918,9	154	$%Ev = (1,01 + 0,045T)\ln(t)$
76	Heidrun	Norveška	28,6	883,3	18	$%Ev = (1,95 + 0,045T)\ln(t)$
77	Hibernia	Kanada	35	850,4	49	$%Ev = (2,18 + 0,045T)\ln(t)$
78	High Viscosity Fuel Oil	ni podatka	8	1014	1346	$%Ev = (-0,12 + 0,013T)\sqrt{t}$
79	Hondo Blend	ZDA – Kalifornija	19,6	935,6	735	$%Ev = (1,49 + 0,045T)\ln(t)$
80	Hout	Kuvajt in Savdska Arabija	32,4	862,8	15	$%Ev = (2,29 + 0,045T)\ln(t)$
81	IFO – 180	Kurilno olje	14,7	967	2324	$%Ev = (-0,12 + 0,013T)\sqrt{t}$
82	IFO – 30 (Svalbard)	Norveška	18,3	943,7	760	$%Ev = (-0,04 + 0,045T)\ln(t)$
83	IFO – 300 (old Bunker C)	ni podatka	11,9	985,9	1447	$%Ev = (-0,015 + 0,013T)\sqrt{t}$
84	Iranian Heavy	Iran	30	875,6	20	$%Ev = (2,27 + 0,045T)\ln(t)$
85	Issungnak	Kanada	35	849	7	$%Ev = (1,56 + 0,045T)\ln(t)$
86	Isthmus	Mehika	32	864,5	13	$%Ev = (2,48 + 0,045T)\ln(t)$
87	Jet A1	Kerozin	41,8	815,9	2	$%Ev = (0,59 + 0,013T)\sqrt{t}$
88	Jet Fuel (Anch)	ZDA – Aljaska	42,9	811,1	2	$%Ev = (7,19 + 0,045T)\ln(t)$
89	Jet Fuel (Anch) short time	ZDA – Aljaska	42,9	811,1	2	$%Ev = (1,06 + 0,013T)\sqrt{t}$
90	Komineft	Rusija –	36,7	840,9	58	$%Ev = (2,73 + 0,045T)\ln(t)$

Slika 20: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014)

		Komi republika				
91	Lago	Venezuela	27,3	890,7	153	$%Ev = (1,13 + 0,045T)\ln(t)$
92	Lago Treco	Venezuela	22,6	923	272	$%Ev = (1,12 + 0,045T)\ln(t)$
93	Lucula	Angola	33,4	857,4	43	$%Ev = (2,17 + 0,045T)\ln(t)$
94	Main Pass Block 306	ZDA – Mehiški zaliv	32,8	860,6	9	$%Ev = (2,86 + 0,045T)\ln(t)$
95	Main Pass Block 37	ZDA – Mehiški zaliv	33	831,1	7	$%Ev = (3,04 + 0,045T)\ln(t)$
96	Malongo	Angola	31	870,1	63	$%Ev = (1,67 + 0,045T)\ln(t)$
97	Mars TLP	ZDA	27,6	888,3	33	$%Ev = (2,18 + 0,045T)\ln(t)$
98	Maui	Nova Zelandija	44,3	804,7	15	$%Ev = (-0,14 + 0,013T)\sqrt{t}$
99	Maya (1997)	Mehika	21,8	921,9	299	$%Ev = (1,38 + 0,045T)\ln(t)$
100	Maya 1	Mehika	21,3	925,5	280	$%Ev = (1,45 + 0,045T)\ln(t)$
101	Mississippi Canyon Block 72	ZDA – Mehiški zaliv	32	864,9	16	$%Ev = (2,15 + 0,045T)\ln(t)$
102	Mississippi Canyon Block 194	ZDA – Mehiški zaliv	35,2	848,3	7	$%Ev = (2,62 + 0,045T)\ln(t)$
103	Mississippi Canyon Block 807	ZDA – Mehiški zaliv	27,5	889,4	41	$%Ev = (2,05 + 0,045T)\ln(t)$
104	Morpeth	ZDA – Mehiški zaliv	25,1	889,4	45,1	$%Ev = (1,58 + 0,013T)\sqrt{t}$
105	Nektoralik	Kanada	24,5	906	30	$%Ev = (0,62 + 0,045T)\ln(t)$
106	Neptun Spar (Viosca Knoll 826)	ZDA – Mehiški zaliv	31,2	868,7	17	$%Ev = (3,75 + 0,045T)\ln(t)$
107	Nerlerk	Kanada	23,9	909,5	32	$%Ev = (2,01 + 0,045T)\ln(t)$
108	Ninian	Velika Britanija (Brent)	36,1	843,5	8	$%Ev = (2,65 + 0,045T)\ln(t)$
109	Norman Wells	Aljaska	38,4	832	5	$%Ev = (3,11 + 0,045T)\ln(t)$
110	Odoptu	Rusija	32,87	855,6	5	$%Ev = (4,27 + 0,045T)\ln(t)$
111	Oriente 1	Ekvador	25,9	898,1	85	$%Ev = (1,32 + 0,045T)\ln(t)$
112	Orimulsion plus water – bitumen	Venezuela	8,2	1012,3	623	$%Ev = (3,0 + 0,045T)\ln(t)$

Slika 21: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014)

113	Oseberg	Norveška	33,7	852,2	10	$\%Ev = (2,68 + 0,045T)\ln(t)$
114	Panuke	Kanada	50,8	775,7	1	$\%Ev = (7,12 + 0,045T)\ln(t)$
115	Petronius VK981A	ZDA – Mehiški zaliv	30	871,3	27,6	$\%Ev = (2,27 + 0,013T)\sqrt{t}$
116	Pitas Point	ZDA - Kalifornija	38	834,1	2	$\%Ev = (7,04 + 0,045T)\ln(t)$
117	Platform Gail (Sockeye)	ZDA - Kalifornija	20,6	929,7	406	$\%Ev = (1,68 + 0,045T)\ln(t)$
118	Platform Holly	ZDA - Kalifornija	11	992,8	3314	$\%Ev = (1,09 + 0,045T)\ln(t)$
119	Platform Irene – Long term	ZDA - Kalifornija	11,2	990,7	7600	$\%Ev = (0,74 + 0,045T)\ln(t)$
120	Platform Irene – Short term	ZDA - Kalifornija	11,2	990,7	7600	$\%Ev = (-0,05 + 0,013T)\sqrt{t}$
121	Point Arguello –	ZDA - Kalifornija	21,4	924,8	533	$\%Ev = (1,43 + 0,045T)\ln(t)$
122	Point Arguello – Heavy	ZDA - Kalifornija	18,2	944,7	3250	$\%Ev = (0,94 + 0,045)\ln(t)$
123	Point Arguello – Light	ZDA - Kalifornija	30,3	873,9	22	$\%Ev = (2,44 + 0,045T)\ln(t)$
124	Point Arguello – Light b	ZDA - Kalifornija	30,3	966,2	4131	$\%Ev = (2,3 + 0,045T)\ln(t)$
125	Port Hueneme	ZDA - Kalifornija	14,8	966,2	4131	$\%Ev = (0,3 + 0,045T)\ln(t)$
126	Prudhoe Bay – Old Stock	ZDA – Aljaska	24,8	905	68	$\%Ev = (1,69 + 0,045T)\ln(t)$
127	Prudhoe Bay – New Stock	ZDA – Aljaska	28,5	883,7	22	$\%Ev = (2,37 + 0,045T)\ln(t)$
128	Prudhoe Bay – Stock b	ZDA – Aljaska	26,6	894,7	38,9	$\%Ev = (1,4 + 0,045T)\ln(t)$
129	Rangely	ZDA – Kolorado	33,7	865,7	33	$\%Ev = (1,89 + 0,045T)\ln(t)$
130	Saharan Blend – short term	Alžirija	43,6	807,8	4	$\%Ev = (0,001 + 0,013T)\sqrt{t}$
131	Saharan Blend – Long Term	Alžirija	43,6	807,8	4	$\%Ev = (1,09 + 0,045T)\ln(t)$
132	Sakhalin	Rusija	32,3	863,2	4	$\%Ev = (4,16 + 0,045T)\ln(t)$
133	Santa Clara	ZDA - Kalifornija	22,1	920,2	304	$\%Ev = (1,63 + 0,045T)\ln(t)$
134	Scotian Light 1	Kanada	53,2	765,5	1	$\%Ev = (6,87 + 0,045T)\ln(t)$

Slika 22: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014)

135	Scotian Light 2	Kanada	53,2	765,5	1	$%Ev = (6,92 + 0,045T)\ln(t)$
136	Ship Shoal Block 239	ZDA – Mehiški zaliv	26,1	897,2	34	$%Ev = (2,71 + 0,045T)\ln(t)$
137	Ship Shoal Block 269	ZDA – Mehiški zaliv	38,7	830,9	5	$%Ev = (3,37 + 0,045T)\ln(t)$
138	Sockeye	ZDA – Kalifornija	26,2	896,5	45	$%Ev = (2,14 + 0,045T)\ln(t)$
139	Sockeye (2001)	ZDA – Kalifornija	19,8	935	550	$%Ev = (1,38 + 0,045T)\ln(t)$
140	Sockeye Comingled	ZDA – Kalifornija	19,32	935,4	761	$%Ev = (1,67 + 0,045T)\ln(t)$
141	Sockeye Sour	ZDA – Kalifornija	18,8	940,9	821	$%Ev = (1,32 + 0,045T)\ln(t)$
142	Sockeye Sweet	ZDA – Kalifornija	29,4	879,2	20	$%Ev = (2,39 + 0,045T)\ln(t)$
143	South Louisiana	ZDA – Louisiana	37	839	8	$%Ev = (2,39 + 0,045T)\ln(t)$
144	South Louisiana (2001)	ZDA – Louisiana	32,72	856,2	10,1	$%Ev = (2,74 + 0,045T)\ln(t)$
145	South Pass Block 60	ZDA – Mehiški zaliv	35,8	845,3	9	$%Ev = (2,91 + 0,045T)\ln(t)$
146	South Pass Block 67	ZDA – Mehiški zaliv	16,4	956,4	29	$%Ev = (2,17 + 0,045T)\ln(t)$
147	South Pass Block 93	ZDA – Mehiški zaliv	33,4	857,4	19	$%Ev = (1,5 + 0,045T)\ln(t)$
148	South Timbalier Block 130	ZDA – Mehiški zaliv	35,1	848,7	7	$%Ev = (2,77 + 0,045T)\ln(t)$
149	Statfjord	Norveška	37,8	835,4	6	$%Ev = (2,67 + 0,06T)\ln(t)$
150	Sumatran Heavy	Indonezija	20,3	931,2	$\frac{1330}{0}$	$%Ev = (-0,11 + 0,013T)\sqrt{t}$
151	Sumatran Light	Indonezija	32,9	860	$\frac{4148}{0}$	$%Ev = (0,96 + 0,045T)\ln(t)$
152	Taching	Kitajska	31	870	ni	$%Ev = (-0,11 + 0,013T)\sqrt{t}$
153	Takula	Angola	32,2	863,7	110	$%Ev = (1,95 + 0,045T)\ln(t)$
154	Tapis Blend	Malezija	44,9	802	8	$%Ev = (3,04 + 0,045T)\ln(t)$
155	Tchatamba Crude	Gabon	32,9	860	ni	$%Ev = (3,8 + 0,045T)\ln(t)$

Slika 23: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014)

156	Terra Nova	Kanada	33,7	856	22	$%Ev = (1,36 + 0,045T)\ln(t)$
157	Terra Nova (1994)	Kanada	35,7	845,7	11	$%Ev = (1,36 + 0,045T)\ln(t)$
158	Thevenard Island	Avstralija	48,6	785,5	1	$%Ev = (5,74 + 0,045T)\ln(t)$
159	Troll	Norveška	28,3	885,2	23,5	$%Ev = (2,26 + 0,045T)\ln(t)$
160	Trading Bay	ZDA – Aljaska	32,8	860,2	10	$%Ev = (3,15 + 0,045T)\ln(t)$
161	Udang – Short term	Indonezija	14,3	970,1	$\frac{1070}{0}$	$%Ev = (-0,14 + 0,013T)\sqrt{t}$
162	Ugang – Long Term	Indonezija	14,3	970,1	$\frac{1070}{0}$	$%Ev = (0,06 + 0,045T)\ln(t)$
163	Vasconia	Kolumbija	26,3	895,8	72	$%Ev = (0,84 + 0,045T)\ln(t)$
164	Viosca Knoll Block 826	ZDA – Mehiški zaliv	31,6	866,8	16	$%Ev = (2,04 + 0,045T)\ln(t)$
165	Viosca Knoll Block 990	ZDA – Mehiški zaliv	38,1	833,7	7	$%Ev = (3,16 + 0,045T)\ln(t)$
166	Waxy Light Heavy Blend	ZDA – Kalifornija	20,4	931,1	184	$%Ev = (1,52 + 0,045T)\ln(t)$
167	West delta Block 143	ZDA – Mehiški zaliv	29,1	880,6	28,8	$%Ev = (2,18 + 0,045T)\ln(t)$
168	West delta Block 30 w/water	ZDA – Mehiški zaliv	11,4	989,4	1180	$%Ev = (-0,04 + 0,013T)\sqrt{t}$
169	West Texas Intermediate 1	ZDA – Teksas	36,4	842	7	$%Ev = (2,77 + 0,045T)\ln(t)$
170	West Texas Intermediate 2000	ZDA – Teksas	34,38	827,4	8,6	$%Ev = (3,08 + 0,045T)\ln(t)$
171	West Texas Sour	ZDA – Teksas	30,2	874,3	13	$%Ev = (2,57 + 0,045T)\ln(t)$
172	White Rose	ZDA – Nova Fundlandija	Ni	873,8	30	$%Ev = (1,44 + 0,045T)\ln(t)$
173	Zaire	Kongo	30,7	872	362	$%Ev = (1,36 + 0,045T)\ln(t)$

Slika 24: Empirične enačbe za izhlapevanje (Šaponja, 2014)