

PROCESI OB STIKU RAZLITJA NAFTE Z MORSKO OBALO

OIL SPILL STRANDING PROCESSES AT THE SEA SHORE

UDK 502.51(26):504.5:665.6(497.4)

Romina Korenika

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, romina.korenika89@gmail.com

Dušan Žagar

dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, dusan.zagar@fgg.uni-lj.si

Povzetek

V prispevku obravnavamo procese odlaganja nafte na obalo in sproščanja z obale ob njenem razlitju na morju. Na slovenski obali smo izbrali značilna odseka peščene in prodnate obale in za njiju izračunali maksimalno zadrževalno kapaciteto nafte z empirično enačbo, ki temelji na meritvah. Izbrani pristop omogoča račun s podatki, ki so običajno na razpolago, in njegovo preprosto vgradnjo v numerične modele širjenja naftnih madežev. Za izbrana odseka obale smo izvedli tudi račun sproščanja nafte z obale ob predpostavki, da je zapolnjena maksimalna zadrževalna kapaciteta. Ugotovili smo, da se sproščanje nafte s peščene obale konča že po nekaj dneh, pri prodnati obali pa je proces daljši za tri do štiri velikostne razrede. Poznavanje zadrževalne kapacitete obale, količine naknadno sproščene nafte in trajanja sproščanja za različne vrste nafte in tipe obale lahko ustreznim službam omogoči smiselno ukrepanje – zaščito predelov obale, od koder se nafta sprošča, ali odsekov, ki bi jih sproščena nafta lahko dosegla.

Abstract

The article addresses the processes of oil deposition on the shore and oil release from the shore in the event of an oil spill at sea. We selected two characteristic sections of sandy and gravel shores on the Slovenian coast. For both we calculated the maximum oil-holding capacity using an empiric equation based on measurements. This approach enables calculation with data which are usually at hand and simple integration of the equation in the numerical models of the oil spill dispersion. For the two selected sections, we have also calculated the release of oil from the shore assuming that the maximum oil-holding capacity is reached. It has been established that oil release from a sandy shore ceases after a few days, while this process is up to three or four orders of magnitude longer on a gravel shore. The knowledge of the shore's oil-holding capacity, the quantity of the subsequently released oil and the duration of the release for different oil and shore types can contribute to a sound response of the appropriate services being in charge for protection of the shore sections from which the oil is released or those that the released oil might reach.

Uvod

Procese ob stiku nafte z vodo lahko razdelimo na kratkoročne in dolgoročne. Procese ob stiku nafte z obalo (odlaganje in sproščanje), na katere se osredotočamo v prispevku, uvrščamo med dolgoročne. Vsi procesi, potovanje in širjenje nafte ter razgradnja in procesi ob stiku z obalo so odvisni od vrste nafte in vremenskih razmer. Matematični modeli za simulacijo procesov ob razlitjih obsegajo enačbe obeh sklopov in omogočajo napovedovanje širjenja naftnih madežev, z njimi pa lahko pridobimo tudi informacije o stanju nafte (Fingas, 2011), ki lahko pripomorejo k omejevanju in preprečevanju posledic razlitij. Kljub uporabi naprednih modelov in metod računa ter dovršene opreme za preprečevanje širjenja pa lahko nafta doseže obalo in se začne nanjo odlagati. Odlaganje na obalo je zapleten proces, odvisen od več medsebojno povezanih dejavnikov: vrste

in lastnosti nafte (gostote, viskoznosti), debeline nafte, ki je že na obali, časa, ki preteče od trenutka razlitja nafte do njenega stika z obalo, plimovanja, valovanja in tokov med stikom naftnega madeža z obalo, geomorfoloških in geomehanskih lastnosti obale, vremena med razlitjem in po njem ter energije valovanja ob obali (Etkin in sod., 2007). Če naftni madež doseže obalo, moramo čim prej zmanjšati njegov vpliv in pospešiti naravno okrevanje prizadete območja. Za odstranjevanje nafte z obale se uporabljajo različne metode, ki so podrobno opisane v literaturi (Fingas, 2011).

Zaradi bližine plovni poti, ki vodijo v tržaško in koprsko pristanišče, obstaja možnost za razlitje večjih količin nafte, turistična plovba in manjša gospodarska plovila, ki se gibljejo bližje obale, pa možnost onesnaženja obale z nafto še povečujejo. Onesnaženje velikega dela kratke slovenske obale bi bilo mogoče že ob manjših razli-

tjih nafte. Poznavanje zadrževalne kapacitete posameznih odsekov obale omogoča nadaljnje študije procesov razgradnje in izbiro pravilne tehnologije odstranjevanja nafte. Poznavanje količine in trajanja sproščanja že odložene nafte z obale pa pripomore k varovanju drugih, neprizadetih odsekov obale, ki bi jih z obale sproščena nafta lahko dosegla. Cilj raziskave je bil poiskati preproste enačbe iz literature, s katerimi bi lahko ocenili kapaciteto zadrževanja nafte in razpolovni čas oziroma čas sproščanja količine nafte, ki se lahko sprosti, glede na tip obale in vrsto nafte. Pri tem smo uporabili klasifikacijo tipov obale v Sloveniji, ki jo je zasnoval in opisal Bosnić (2014).

Metode in enačbe

Ko razlita nafta doseže obalo, se začne nanjo odlagati. Vsak odsek obale z enoličnimi geomorfološkimi in geomehanskimi lastnostmi ima svojo maksimalno in rezidualno kapaciteto zadrževanja nafte. Maksimalna kapaciteta zadrževanja je največja količina nafte, ki jo je neka obala sposobna zadržati in je odvisna tako od lastnosti nafte kot tudi od lastnosti obale. Sestavljena je iz dveh procesov – nalaganja na površju in nalaganja pod površjem oziroma v medzrnskem prostoru (Gundlach, 1987; Reed in sod., 1989). Rezidualno kapaciteto lahko opišemo kot količino nafte, ki jo je obala sposobna dolgoročno zadržati, torej količino, ki se z obale ne more sprostiti nazaj v morje, temveč je podvržena dolgoročnim procesom razgradnje tam, kjer se je na obalo naložila. Plast nafte ovije posamezne delce zemljine in se jih oprime zaradi površinske napetosti. Z večanjem premera zrn se skupna količina zadržane nafte zmanjšuje, s tem pa tudi rezidualna kapaciteta obale (Humphrey in sod., 1993). Empirične vrednosti za rezidualno kapaciteto zemljine, prepojene z lahko nafto, so navedene v literaturi (Humphrey in sod., 1993). V literaturi je opisanih več načinov določanja zadrževalne kapacitete obale, ki jih povzema tudi Korenika (2015), vendar pa večina metod zahteva veliko podatkov, ki jih ni mogoče pridobiti v kratkem času. Osredotočili smo se na metode in enačbe, ki omogočajo delo s podatki, ki so na razpolago takoj ali jih je mogoče preprosto in hitro pridobiti. Takšne metode so običajno tudi preproste za vgradnjo v numerične modele razlitij nafte. Maksimalno kapaciteto obale na tekoči meter obalne črte (M_*) smo računali z empirično enačbo (1), ki so jo predlagali Cheng in sod. (2000). Enačba (1) temelji na terenskih meritvah, ki so jih izvedli in opisali Gundlach (1987) ter Reed in sod. (1989), in v prvem členu upošteva nalaganje nafte na površju, v drugem pa pod površjem.

$$M_* = \rho_o (L_t T_m + C_v D_p L_s) \quad (1)$$

Oznake v enačbi pomenijo: T_m je maksimalna debelina sloja nafte na površju obale, C_v je vsebnost nafte v medzrnskem prostoru, ρ_o je gostota nafte, D_p je globina pronicanja nafte v zemljino, L_t je širina obale, ki je izpostavljena plimovanju in valovom, L_s pa je širina območja

pljuskanja valov. Območje pljuskanja valov je območje obale med srednjo visoko vodo in črto dosega valov v normalnih razmerah, ko vetrni valovi niso posledica viharjih vetrov. Kot navaja Gartner (2014), ima na boji Vida 58 % vetrov hitrost manjšo od 4 m/s, pri tem pa le 12,7 % valov preseže značilno višino 60 cm in le 2,8 % višino 1 m. Širino obale L_t imenujemo prednji obalni pas, ki ga sestavljata območje normalnega plimovanja oziroma obalni pas med srednjo nizko in srednjo visoko vodo ter območje pljuskanja valov v normalnih razmerah. Račun smo izvedli samo za prednji obalni pas (angl. *foreshore*, po Shore Protection Manual, 1984), saj se zadnji obalni pas (angl. *backshore*, po Shore Protection Manual, 1984; tj. območje, ki je izpostavljeno valovanju le ob zelo visokem plimovanju in neurjih) na slovenski obali le redko pojavlja bodisi zaradi naravne (klif) ali umetne (grajena obala) ovire. Širina obale poteka v smeri pravokotno na obalno črto, dolžina pa vzporedno z obalno črto. Parametri T_m , D_p in C_v so za posamezne tipe obal in vrste nafte predstavljeni v literaturi (Cheng in sod., 2000).

Del na obalo odložene nafte se lahko zaradi valov in plimovanja ponovno sprosti v morje. Proces sproščanja je za različne tipe obale opisal Torgrimson (1984). Sproščanje se začne, ko se nafta neha nalagati na obalo, in se konča, ko je dosežena rezidualna kapaciteta obale. Za njeno določitev smo uporabili podatke, pridobljene na podlagi eksperimentalnih podatkov (Humphrey in Harper, 1993), ki določajo specifično rezidualno kapaciteto nafte na peščeni obali na m^3 zemljine na podlagi viskoznosti izbrane vrste nafte. Za lahko nafto znaša specifična rezidualna kapaciteta $40 l/m^3$ zemljine, za srednje težko nafto $60 l/m^3$ zemljine, za težko nafto $100 l/m^3$ zemljine in za dizelsko gorivo $30 l/m^3$ zemljine. Na prodnati obali znaša po podatkih projekta BIOS (Humphrey in sod., 1993) specifična rezidualna kapaciteta $4,5 l/m^3$ zemljine ne glede na vrsto nafte.

Razpolovni čas (λ) nam pove, v kolikšnem času se v morje ponovno sprosti polovica prvotno odložene nafte. Za ravne betonske obale je razpolovni čas reda velikosti ene ure, za peščene obale reda nekaj dni, za prodnato obalo je reda velikosti nekaj mesecev do enega leta, medtem ko lahko za skalnati tip obale razpolovni čas znatno presega eno leto. Podatki za različne tipe obal so navedeni v literaturi (Korenika, 2015, po Torgrimson, 1984).

Za račun sproščanja nafte smo uporabili enačbo (2) (Maslo in sod., 2014, po Wang in sod., 2005) in predpostavili, da je bila pred sproščanjem zapolnjena maksimalna kapaciteta obale.

$$\frac{V_{oil_re-enter}}{V_{oil_beach}} = 1 - e^{-k t} \quad (2)$$

Pomen oznak v enačbi: V_{oil_beach} je prostornina prvotno odložene nafte na obalo, $V_{oil_re-enter}$ je prostornina nafte, ki se sprosti v morje, k je konstanta razgradnje, t pa čas od začetka sproščanja nafte.

Konstanto razgradnje (k) je mogoče izračunati iz razpolovnega časa (λ) kot:

$$k = \frac{(-\ln(\frac{1}{2}))}{\lambda} \quad (3)$$

Razpolovni čas, ki ga je opredelil Torgrimson (1984), je odvisen samo od tipa obale in ne od tipa nafte. Prav tako tudi enačbi (2) in (3) ne upoštevata lastnosti nafte, iz česar sledi, da je delež sproščene nafte glede na prvotno prostornino na obalo odložene nafte po določenem času enak za vse vrste nafte.

Izbrana odseka obale in vrste nafte

Račune smo izvedli na dveh izbranih odsekih slovenske obale. Kot tipično peščeno obalo smo izbrali 170 m dolg odsek na Debelem rtiču (slika 1), kot prodnato pa 700-metrski odsek pod klifom v Strunjanu (slika 2).

Dolžino peščene obale (170 m) smo ocenili na podlagi Atlasa okolja in določili potrebne parametre obale. Naklon obale (s) smo izračunali z Mednarodno (INT) pomorsko karto Koprski zaliv v merilu 1 : 15.000. Podatek o višini plimovanja smo pridobili iz plimnih tablic

za Koper (Ličer in sod., 2015). Povprečna višina plimovanja na območju Koprskega zaliva znaša 80 cm. Valovi se spreminjajo z vetrom (smerjo in jakostjo), vendar na območju slovenske obale v normalnih razmerah le redko presegajo višino 60 cm (Gartner, 2014), kot povprečje pa smo izbrali višino vala za območje pljuska 30 cm. Iz višin plimovanja in valovanja ter naklona obale smo izračunali širino obale, ki je izpostavljena plimovanju in pljuskanju valov (L_v) ter ocenili še širino območja pljuskanja valov (L_s). Vsi podatki so prikazani v preglednici 1.

Parametre prodnate obale smo določili po enakem postopku kot za peščeno obalo. Dolžino odseka (700 m) smo določili iz Atlasa okolja, naklon obale pa smo izračunali iz Pomorske karte Piranski zaliv v merilu 1 : 15.000. Upoštevani višini plimovanja valovanja sta enaki, širini obeh pasov pa smo izračunali iz nagiba po istem postopku kot za peščeno obalo. Podatki so podrobno prikazani v preglednici 2.

Parametri za posamezni tip nafte obsegajo maksimalno debelino sloja nafte na zrnih (T_m), globino pronicanja (D_p) in vsebnost nafte v zemljini (C_v) ter so navedeni v literaturi (Cheng in sod., 2000). Podatke o gostoti (ρ_o) in viskoznosti (η) različnih vrst nafte smo pridobili iz literature (Šaponja, 2014, po Fingas, 2011). Za izračune smo uporabili tri različne vrste nafte glede na viskoznost in dizelsko gorivo. Kot lahko nafto smo izbrali vrsto Arabian



Slika 1:
Peščena obala (foto: R. Korenika)
Figure 1:
Sandy beach (Photo: R. Korenika)



Slika 2:
Prodnata obala (foto: R. Korenika)
Figure 2:
Gravel beach (Photo: R. Korenika)

Light, kot srednje težko nafto vrsto Lago Treco, kot težko vrsto Point Arguello – Heavy, za dizelsko gorivo pa Diesel (2002). Vsi podatki o različnih vrstah nafte so prikazani v preglednicah 1 in 2.

Maksimalna zadrževalna kapaciteta obale

Maksimalno kapaciteto zadrževanja nafte na dolžinski meter obalne črte (M_*), ki jo lahko poimenujemo tudi specifična maksimalna kapaciteta, smo izračunali po enačbi (1). Za celotno kapaciteto dela obale (M) smo

rezultat pomnožili z dolžino odseka obale (d). V programu *MS Excel* smo izdelali preprosto orodje (preglednici 1 in 2), ki omogoča hitro računanje maksimalne zadrževalne kapacitete nafte na obali poljubnega tipa z različnimi vrstami nafte. Pri spremembi tipa oziroma odseka obale ali vrste nafte moramo v preglednici le spremeniti ustrezne parametre.

Iz rezultatov za oba tipa obale, peščeno in prodnato, je razvidno, da viskoznost nafte zelo vpliva na kapaciteto zadrževanja nafte na obali. Pri peščeni obali dolžine 170 m je razlika v maksimalni kapaciteti zadrževanja lahke in težke nafte približno 82 ton oziroma 85 m³ nafte. Maksimalna kapaciteta pri težki nafti je približno petkrat

Lastnosti obale in procesov	Oznaka	Merska enota	Tip nafte			
			Arabian Light	Lago Treco	Point Arguello – Heavy	Diesel (2002)
Dolžina odseka obale	d	m	170	170	170	170
Naklon obale	s	m/m	0,046	0,046	0,046	0,046
Višina plimovanja		m	0,8	0,8	0,8	0,8
Višina valov na območju pljuska		m	0,3	0,3	0,3	0,3
Gostota nafte	ρ_o	kg/m ³	865,8	923	944,7	846,8
Viskoznost	η	mPas	14	272	3250	2,76
Širina območja pljuskanja valov	L_s	m	6,5	6,5	6,5	6,5
Širina obale, ki je izpostavljena plimovanju in valovom	L_t	m	23,9	23,9	23,9	23,9
Maksimalna debelina sloja nafte na površju obale	T_m	m	0,004	0,017	0,025	0,004
Globina pronicanja nafte v zemljino	D_p	m	0,05	0,05	0,05	0,05
Vsebnost nafte v zemljini	C_v	/	0,098	0,098	0,098	0,098
Maksimalna kapaciteta zadrževanja nafte na dolžinski meter obale	M_*	kg/m	110,5	404,9	595,2	108,1
Maksimalna kapaciteta zadrževanja nafte	M	kg	18788,8	68825,9	101178,1	18376,5
Maksimalna kapaciteta zadrževanja nafte	V	m ³	21,7	74,6	107,1	21,7

Preglednica 1: Orodje za izračun maksimalne kapacitete zadrževanja nafte, prikaz za peščeno obalo. Tipi in lastnosti nafte so navedeni v literaturi (Fingas, 2011).

Table 1: Tools for the calculation of the maximum oil-holding capacity. Diagram for the sandy beach. For more information on oil types and characteristics see Fingas (2011).

Lastnosti obale in procesov	Oznaka	Merska enota	Tip nafte			
			Arabian Light	Lago Treco	Point Arguello – Heavy	Diesel (2002)
Dolžina odseka obale	d	m	700	700	700	700
Naklon obale	s	m/m	0,087	0,09	0,09	0,09
Višina plimovanja		m	0,8	0,8	0,8	0,8
Višina valov na območju pljuska		m	0,3	0,3	0,3	0,3
Gostota nafte	ρ_o	kg/m ³	865,8	923	944,7	846,8
Viskoznost	η	mPas	14	272	3250	2,76
Širina območja pljuskanja valov	L_s	m	12,7	12,7	12,7	12,7
Širina obale, ki je izpostavljena plimovanju in valovom	L_t	m	3,5	3,5	3,5	3,5
Maksimalna debelina sloja nafte na površju obale	T_m	m	0,002	0,009	0,015	0,002
Globina pronicanja nafte v zemljino	D_p	m	0,18	0,18	0,18	0,18
Vsebnost nafte v zemljini	C_v	/	0,083	0,083	0,083	0,083
Maksimalna kapaciteta zadrževanja nafte na dolžinski meter obale	M_*	kg/m	66,6	152,8	228,1	65,1
Maksimalna kapaciteta zadrževanja nafte	M	kg	46607	106941,9	159686,3	45584,2
Maksimalna kapaciteta zadrževanja nafte	V	m ³	53,8	115,9	169	53,8

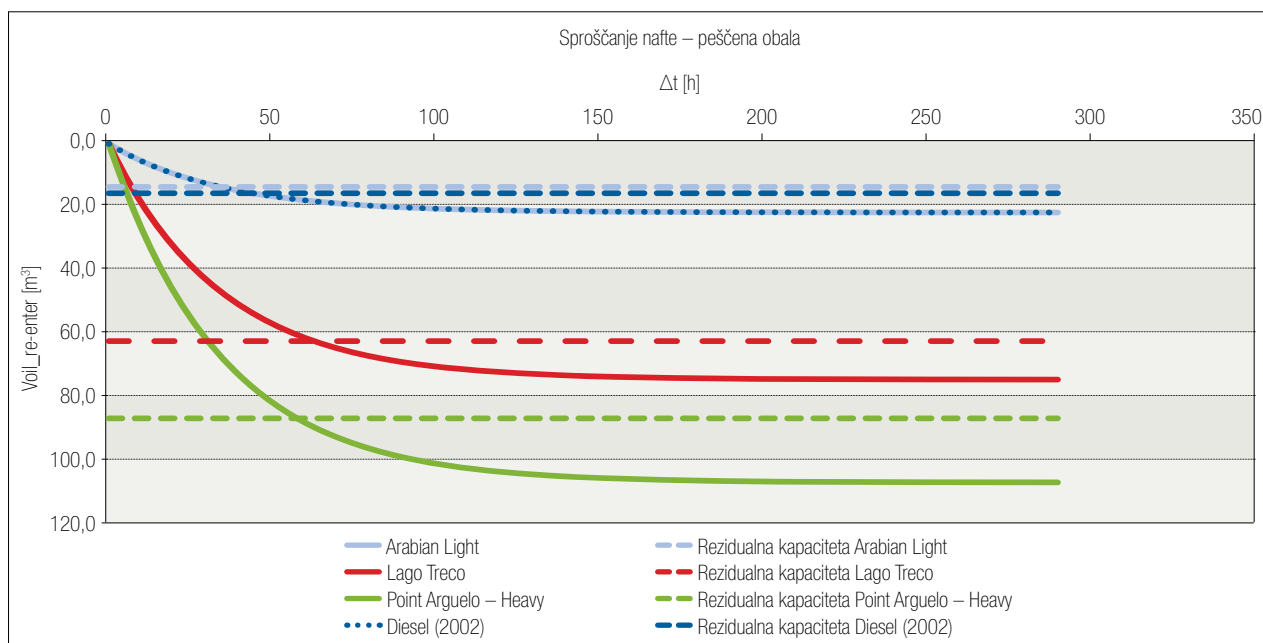
Preglednica 2: Orodje za izračun maksimalne kapacitete zadrževanja nafte, prikaz za prodnato obalo. Tipi in lastnosti nafte so navedeni v literaturi (Fingas, 2011).

Table 2: Tools for the calculation of the maximum oil-holding capacity. Diagram for the gravel beach. For more information on oil types and characteristics see Fingas (2011).

Tip nafte	Odsek peščene obale (Debeli rtič)		Odsek prodnate obale (Strunjan)	
	Voil_beach [m ³]	Rezidualna nafta [m ³]	Voil_beach [m ³]	Rezidualna nafta [m ³]
Arabian Light	21,7	8,1	53,8	7,2
Lago Treco	74,6	12,2	115,9	7,2
Point Arguello – Heavy	107,1	20,3	169,0	7,2
Diesel (2002)	21,7	6,1	53,8	7,2

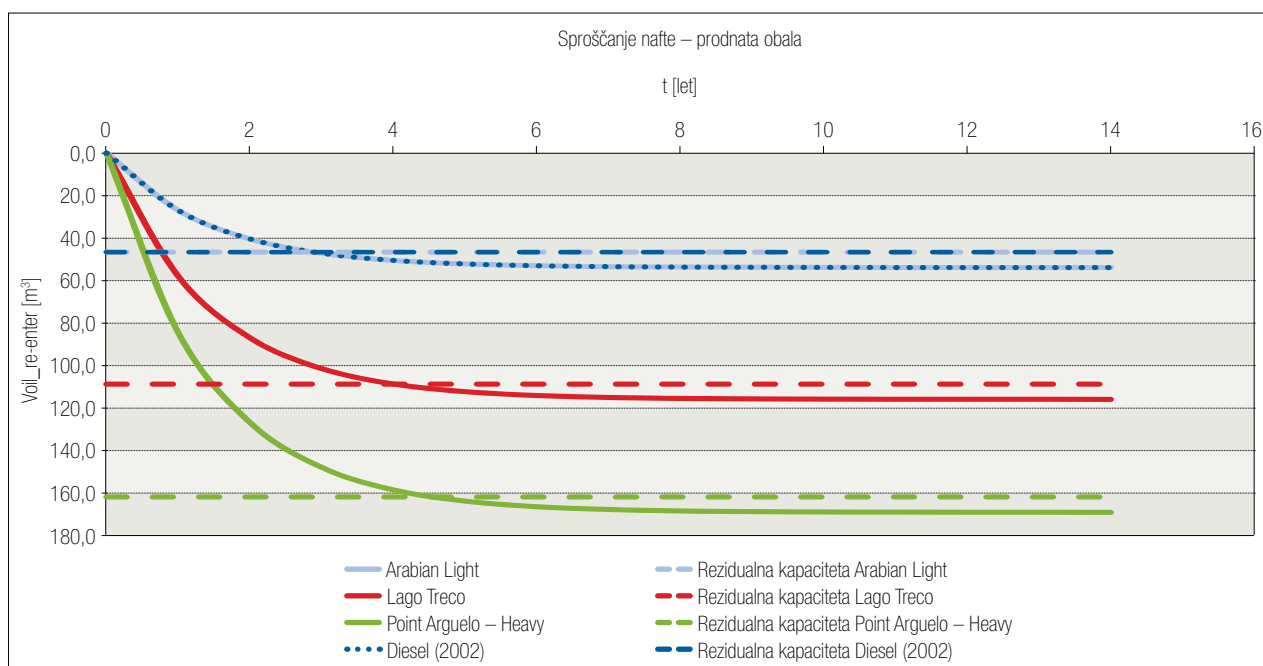
Preglednica 3: Prostornina prvotno odložene nafte in rezidualna kapaciteta obale za posamezno vrsto nafte na obravnavanih odsekih obale. Tipi in lastnosti nafte so navedeni v literaturi (Fingas, 2011).

Table 3: The volume of the initially deposited oil and the residual capacity of the shore for each individual oil type at the considered shore sections. For more information on oil types and characteristics see Fingas (2011).



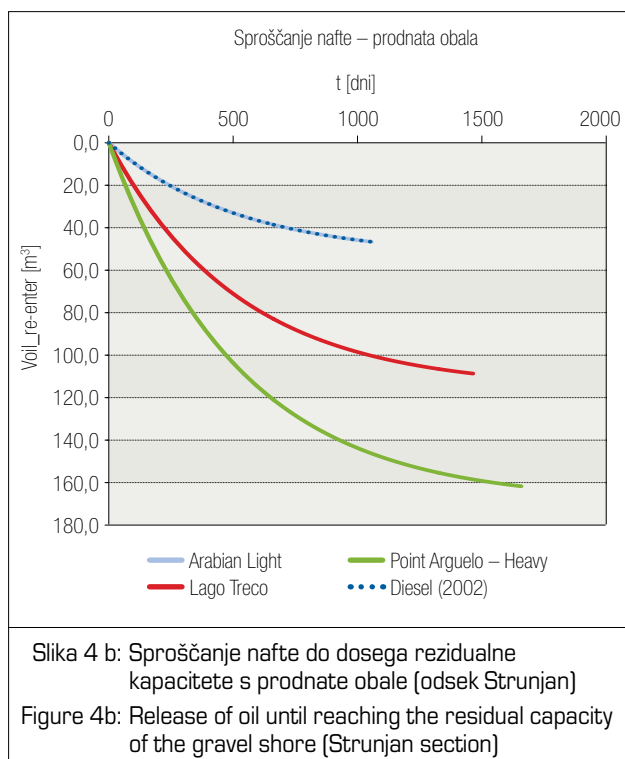
Slika 3: Sproščanje nafte s peščene obale (odsek Debeli rtič)

Figure 3: Release of oil from the sandy beach (Debeli rtič section)



Slika 4 a: Sproščanje nafte s prodnate obale (odsek Strunjan)

Figure 4a: Release of oil from the gravel beach (Strunjan section)



večja. Dizelsko gorivo se glede na viskoznost uvršča med lahke nafte, zato je zadržana količina volumsko enaka zadržani količini lahke nafte. Razlika v maksimalni kapaciteti je odvisna le od gostote in znaša približno 412 kg oziroma 2,2 %. Pri prodnati obali dolžine 700 m je razlika v maksimalni kapaciteti med lahko in težko nafto približno 113 ton oziroma 115 m³ nafte. V tem primeru je volumsko razmerje med težko in lahko nafto približno 3 : 1. Razlika v maksimalni kapaciteti obale med dizelskim gorivom in lahko nafto znaša približno 1023 kg nafte in je pri enakem razmerju gostot odstotkovno enaka razliki pri peščeni obali.

Zanimiv podatek, ki ga je mogoče razbrati iz preglednic 1 in 2, je razmerje med specifično maksimalno zadrževalno kapaciteto peščene in prodnate obale. Peščena obala ima ne glede na vrsto nafte večjo zadrževalno kapaciteto, ki izhaja iz večje specifične površine drobnejših zrn na prostorninsko enoto zemljine. Razmerje pa je spremenljivo in znaša pri lahkah naftah približno 1,6 : 1, pri srednje težkih in težkih pa 2,6 : 1.

Sproščanje nafte z obale

Za izbrana odseka peščene in prodnate obale smo izvedli še račun sproščanja nafte z obale. Po razpoložljivih podatkih iz literature smo rezidualno kapaciteto peščene obale določili po metodi na podlagi eksperimentalnih podatkov (Humphrey in Harper, 1993), ki predstavljajo specifično rezidualno kapaciteto obale glede na viskoznost nafte. Iz podatkov o dolžini odseka obale (d), širini obale (L) in globini pronicanja nafte (D_p), prikazanih v preglednici 1, smo izračunali prostornino z nafto

onesnažene zemljine, ki znaša za 170 m dolgo peščeno obalo 203,3 m³, ter jo pomnožili s specifično rezidualno kapaciteto. Pri 700 m dolgi prodnati obali smo določili rezidualno kapaciteto izbranega odseka na podlagi ocene (projekt BIOS, Humphrey in sod., 1993), ki predpostavlja 4,5 l/m³ ne glede na vrsto nafte. Na podlagi podatkov o dolžini in širini odseka ter globini pronicanja (preglednica 2) smo določili prostornino z nafto onesnažene zemljine na 1595,1 m³ in jo pomnožili s specifično rezidualno kapaciteto. Rezidualne kapacitete izbranih odsekov obale za posamezno vrsto nafte so prikazane v preglednici 3. Ob sproščanju smo predpostavili najbolj neugodne razmere, ko bi bila zapolnjena maksimalna zadrževalna kapaciteta nafte na obali.

Za račun količine sproščanja v odvisnosti od časa smo uporabili enačbo (2). Najprej pa smo izračunali konstanto razgradnje (k) po enačbi (3). Za obravnavana primera smo po napotkih v literaturi (Torgrimson, 1984) izbrali za peščeno obalo razpolovni čas $\lambda = 24$ h, ki daje vrednost izračunane konstante razgradnje $k = 0,0289$ (h⁻¹). Za prodnato obalo smo izbrali razpolovni čas $\lambda = 365$ dni, konstanta razgradnje pa znaša $k = 0,0019$ (dan⁻¹). Na podlagi znanega razpolovnega časa smo za peščeno obalo izbrali časovni korak računa $\Delta t = 1$ h, za prodnato obalo pa $\Delta t = 1$ dan. Izbira ustreznega časovnega koraka omogoča gladek grafični prikaz sproščanja nafte z obale (sliki 3 in 4).

Kot sledi iz enačb (2) in (3), je delež sproščene nafte glede na prostornino odložene nafte neodvisen od vrste nafte, kar je razvidno tudi s slik 3 in 4. S slike 3 lahko razberemo, da je pri peščeni obali rezidualna kapaciteta za lahko nafto dosežena v času $t = 34$ h, za dizelsko gorivo v času $t = 44$ h, za srednje težko nafto v času približno $t = 63$ h in za težko nafto v času $t = 57,5$ h. Ker je rezidualna kapaciteta obale največja pri težkih naftah, se z obale najdlje sprošča srednje težka nafta. Rezultati pokažejo tudi, da je sproščanje nafte s peščene obale razmeroma hiter proces, saj se pri izbranih vrstah nafte konča prej kot v treh dneh. Po končanem procesu sproščanja ostane na obali še rezidualna nafta, ki je izpostavljena nadaljnjim procesom razgradnje. Iz grafikona lahko razberemo, da bi se, če ne bi upoštevali omejitve (rezidualne kapacitete), sproščanje nafte nadaljevalo in se v daljšem času asimptotično približevalo maksimalni kapaciteti obale. Po približno 250–300 urah bi tako vsa nafta z obale prešla nazaj v morje.

Na prodnati obali traja proces sproščanja veliko dlje. S slike 4 je razvidno, da bi bilo teoretično sproščanje lahke nafte in dizelskega goriva končano v dveh do treh letih, srednje težka in težka nafta pa se z obale sproščata štiri do pet let. Na prodnati obali je rezidualna kapaciteta neodvisna od vrste nafte, zato z naraščanjem viskoznosti nafte narašča tudi trajanje sproščanja nafte z obale. Sproščanje lahke nafte in dizelskega goriva traja ob upoštevanju rezidualne kapacitete obale $t = 1057$ dni, srednje težke nafte $t = 1466$ dni in težke nafte $t = 1660$ dni. Gre torej za popolnoma drugačno

časovno merilo kot pri peščeni obali, saj bi proces sproščanja na prodnati obali trajal štiri do pet let. Na prodnati obali se, zaradi možnosti globokega prodiranja, nafta obdrži bistveno dlje kot na peščeni obali.

Uporabljeno metodoljijo pri določanju količine in časa sproščanja nafte z obale je nedvomno mogoče izpolniti. Tudi pri prodnati obali na rezidualno kapaciteto nedvomno vpliva viskoznost nafte. Omeniti pa je treba vsaj še, da v nekaj letih na količino nafte na obali znatno vplivajo tudi drugi procesi razgradnje: izhlapevanje, biorazgradnja, strjevanje in možnost nastanka naravnega asfalta, ki v uporabljenih enačbah niso zajeti. Večina dizelskega goriva in velik del lahke nafte bi s površja obale izhlapel že po nekaj dneh. Del nafte pa bi, ne glede na vrsto, zelo verjetno odstranili tudi v čistilnih akcijah, ki bi se ob onesnaženju slovenske pa tudi vsake druge naseljene obale nedvomno sprožile v najkrajšem mogočem času. Okoljske obremenitve ob kakršnem koli večjem razlitju nafte so nedvomno velike, saj vsi prikazani primeri kažejo, da že nekaj deset m³ razlite nafte oblije površino in nasiči zemlino v prednjem obalnem pasu razmeroma dolgih obalnih odsekov. Namen prispevka pa ni ovrednotenje okoljskih obremenitev – bolj pomembno je opozorilo, da tudi po tem, ko se nafta že odloži na nekem obalnem odseku, še vedno obstaja možnost, da ponovno sproščena nafta onesnaži še

druge dele obale, ki niso bili neposredno prizadeti ob razlitju.

Sklepne misli

Uporabljene enačbe, metodologija in prikazani rezultati izračunov sproščanja nafte z obale bi lahko ob morebitni nezgodi, skupaj z rezultati določanja maksimalne in rezidualne kapacitete obale, služili Službi za varstvo obalnega morja in drugim organizacijam, zadolženim za ukrepanje ob nevarnosti za okolje, kot uporabno orodje za predhodne izračune in načrtovanje ukrepov. Iz rezultatov sklepamo, da moramo peščene obale pred sproščanjem in prehajanjem nafte nazaj na morsko gladino in v vodni stolpec zaščititi, ali takoj ali pa sploh ne, saj je sproščanje končano že po nekaj dneh, ko je dosežena rezidualna kapaciteta obale. Zelo verjetno je v tem kratkem času pozornost služb, ki preprečujejo posledice razlitja, usmerjena drugam in na takem tipu obale ne bodo ukrepale. Pri prodnatih obalah je proces dolgotrajen in zahteva drugačne ukrepe, saj se predvsem težja nafta sprošča zelo dolgo. Poznavanje količine sproščene nafte v morje in časa sproščanja za različne tipe nafte in obale torej omogoča smiselno ukrepanje oziroma zaščito predelov obale, ki ob prvotnem dogodku niso bili prizadeti, bi jih pa lahko pozneje dosegla z obale sproščena nafta.

Viri in literatura

1. Bosnić, M., 2014. Ranljivost slovenske obale za onesnaženje z nafto. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Bosnić).
2. Cheng, N. S., Law, A. W. K., Findikakis, A. N., 2000. Oil transport in the surf zone. *Journal of Hydraulic Engineering* 126, 11: 803–809.
3. Etkin, D. S., French-McCay, D., Michel, J., 2007. Review of the State-Of-The-Art on Modeling Interactions between Spilled Oil and Shorelines for the Development of Algorithms for Oil Spill Risk Analysis Modeling. MMS OCS Study 2007-063. New York, Cortlandt Manor, Environmental Research Consulting, MMS Contract 0106PO39962.
4. Fingas, M., 2011. Oil spill science and technology: prevention, response, and clean up. Burlington, Elsevier.
5. Gartner, M., 2014. Analiza valovne klime in ocena projektne višine vala za Tržaški zaliv. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Garner, M.).
6. Gundlach, E. R., 1987. Oil-holding capacities and removal coefficients for different shoreline types to computer simulate spills in coastal waters. V: Ludwigson J. O. (ur.). *Proceedings 1987 Oil Spill Conference (Prevention, Behavior, Control, Cleanup), Tenth Biennial, April 6–9, 1987, Baltimore, Maryland.* Washington, American Petroleum Institute: str. 451–457.
7. Humphrey, B., Harper, J. R., 1993. Coarse sediment oil persistence laboratory studies and model. *Proceedings of the Sixteenth Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar, June 7–9, 1993, Calgary, Alberta.* Canada, Environment Canada, Conservation and Protection: str. 1–10.
8. Humphrey, B., Owens, E. H., Sergy, G., 1993. Development of a stranded oil in coarse sediment (SOCS) model. V: Ludwigson, J. (ur.). *Proceedings 1993 International Oil Spill Conference (Prevention, Preparedness, Response), March 29–April 1, 1993, Tampa, Florida.* Washington, American Petroleum Institute: str. 575–582.
9. Korenika, R., 2015. Procеси ob stiku razlitja nafte z morsko obalo. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Korenika, R.).
10. Ličer, M., Jeromel, M., Fettich, A., 2015. Prognoziranje plimovanja morja. Tide tables 2015. Jadransko morje – Koprski zaliv. <http://www.arso.gov.si/vode/morje/> {19. 5. 2015}.
11. Maslo, A., Panjan, J., Žagar, D., 2014. Large-scale oil spill simulation using the lattice Boltzmann method, validation on the Lebanon oil spill case. *Marine Pollution Bulletin* 84, 1–2: 225–235.
12. Reed, M., Gundlach E., Kana, T., 1989. A coastal zone oil spill model: development and sensitivity studies. *Oil & Chemical Pollution* 5: 411–449.
13. Shore Protection Manual Vol. 2, 1984. DEPARTMENT OF THE ARMY, US Army Corps of Engineers. Washington, DC 20314. <http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:98791127-e7ae-40a1.../shoreprotectionm02unit.pdf>.
14. Šaponja, M., 2014. Modeliranje izhlapevanja nafte po metodi Fingas. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Šaponja).
15. Torgnison, G. M., 1984. The On-scene Spill Model. Rockville, U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NOS OMA.
16. Wang, S. D., Shen, Y. M., Zheng, Y. H., 2005. Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas. *Ocean Engineering* 32, 13: 1556–1571.