

Tehnologije uklanjanja uljnih onečišćenja mora

Kovačević, Pino

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:782684>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

PINO KOVAČEVIĆ

**TEHNOLOGIJE UKLANJANJA ULJNIH ONEČIŠĆENJA
MORA**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**TEHNOLOGIJE UKLANJANJA ULJNIH ONEČIŠĆENJA
MORA**

OIL SPILL CLEAN-UP TECHNOLOGIES

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Tehnologija uklanjanja onečišćenja mora

Mentor: dr. sc. Dani Šabalja, doc.

Student: Pino Kovačević

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112060275

Rijeka, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET
51000 Rijeka, Studentska 2

Student/studentica: Pino Kovačević
Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa.
JMBAG: 0112060275

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom
_____ Tehnologije uklanjanja uljnih onečišćenja mora _____
(naslov diplomskog rada)

izradio/la samostalno pod mentorstvom
_____ dr. sc. Đani Šabalja, doc _____
(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc Ime i Prezime)

te komentorstvom _____ - _____

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke _____ - _____
(naziv tvrtke).

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan/na sam s trajnom pohranom diplomskog rada u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Nacionalnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:
(zaokružiti jedan ponuđeni odgovor)

- a) rad u otvorenom pristupu
- b) pristup svim korisnicima sustava znanosti i visokog obrazovanja RH
- c) pristup korisnicima matične ustanove
- d) rad nije dostupan

Student/studentica _____

(potpis)

Pino Kovačević

SAŽETAK

Problematika zagađanja morskog okoliša naftom prisutna je više desetljeća u javnim raspravama. Zagađanja mogu biti iz riječnih i kopnenih izvora, slučajna i namjerna ispuštanja s brodova ili nusprodukti vađenja nafte na moru. Rastuća svijest o posljedicama zagađanja morskog okoliša naftom dovela je do uvođenja mjera za smanjenje ili uklanjanje onečišćenja iz plovidbe i naftne industrije na moru. No, unatoč značajnom smanjenju zagađanja morskog okoliša naftom, rizik od zagađanja morskog okoliša naftom je stalno prisutan. Istraživanja, vađenja i prijevoz sirove nafte iz mora mogu dovesti do nesreća koje posljedično dovode do izlivanja nafte i uzrokuju probleme u okolišu, poput onečišćenja tla i/ili vode. Zbog toga je važno primijeniti odgovarajuće tehnologije uklanjanja uljnih onečišćenja mora. Predmet istraživanja ovog diplomskog rada je uklanjanje uljnog zagađanja mora te primjena odgovarajućih tehnologija. U radu se istražuju svojstva uljnih izljeva u more, te ekološke i ekonomske štete prouzročene uljnim izljevima u morski okoliš. Poseban naglasak je stavljen na analizu različitih tehnologija koja se primjenjuju u svrhu uklanjanja uljnih izljeva u more. Primjena odgovarajućih tehnologija rezultira većom učinkovitosti u uklanjanju uljnih onečišćenja mora.

Ključne riječi: nafta i naftni derivati; onečišćenje mora uljem; mjerenje onečišćenja mora uljima; metode otklanjanja uljnih izljeva u more.

SUMMARY

The issue with oil pollution of the marine environment has been present in public debates for decades. Pollution can be from river and land sources, accidental and intentional discharges from ships or by-products of offshore oil extraction. Growing awareness of the consequences of oil pollution of the marine environment has led to the introduction of measures to reduce or remove pollution from shipping and the offshore oil industry. But despite a significant reduction in oil pollution of the marine environment, the risk of oil pollution of the marine environment is constantly present. Exploration, extraction and transport of crude oil from the sea can lead to accidents which in turn lead to oil spills and cause environmental problems, such as soil and / or water pollution. It is therefore important to apply appropriate marine oil pollution removal technologies. The subject of research of this thesis is the removal of oil pollution of the sea and the application of appropriate

technologies. The paper investigates the properties of oil spills into the sea, and ecological and economic damage caused by oil spills into the marine environment. Special emphasis is placed on the analysis of different technologies applied for the purpose of removing oil spills into the sea. The application of appropriate technologies results in greater efficiency in the removal of marine oil pollution.

Key words: petroleum and petroleum products; oil pollution of the sea; measurement of marine pollution by oils; methods of removing oil spills into the sea.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	III
1. UVOD	1
1.1. PROBLEM I PREDMET ISTRAŽIVANJA	1
1.2. RADNA HIPOTEZA	1
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	2
1.4. ZNANSTVENE METODE	2
1.5. STRUKTURA RADA	2
2. ONEČIŠĆENJA MORA ULJIMA	4
2.1. OPĆENITO O ULJIMA I NJHOVOM PONAŠANJU S VODOM	4
2.1.1. Svojstva ulja	4
2.1.2. Ponašanje ulja u dodiru s morskom površinom	9
2.2. IZVORI ONEČIŠĆENJA MORA ULJIMA	18
2.3. SVOJSTVA ONEČIŠĆENJA MORA ULJIMA	22
2.4. EKOLOŠKI I EKONOMSKI UČINCI ONEČIŠĆENJA MORA ULJEM	23
3. TEHNOLOGIJE UKLANJANJA ULJNIH ONEČIŠĆENJA S MORA	30
3.1. POSTUPCI UTVRĐIVANJA ONEČIŠĆENJA MORA ULJIMA	30
3.2. METODE UKLANJANJA ULJNIH ONEČIŠĆENJA S MORA	31
3.2.1. Prirodni oporavak	32
3.2.2. Kemijske i biološke metode	33
3.2.2.1. Raspršivači	33
3.2.2.2. Demulgatori	35
3.2.2.3. Bioremedijacija	36
3.2.3. Spaljivanje	38
3.2.4. Mehaničke metode	40
3.2.4.1. Plutajuće brane	40
3.2.4.2. Sakupljači ulja	42
3.2.4.3. Uljni upijači	44
3.3. UKLANJANJE ULJNIH ONEČIŠĆENJA S OBALE	45

4. PRAVNI OKVIR ZAŠTITE MORA OD ONEČIŠĆENJA ULJEM	47
4.1. ZAKONSKA REGULATIVA U REPUBLICI HRVATSKOJ	47
4.2. MEĐUNARODNE KONVENCIJE O ZAŠTITI MORA OD ONEČIŠĆENJA ULJEM	48
5. ZAKLJUČAK	50
POPIS LITERATURE	51
POPIS TABLICA	53
POPIS SLIKA	53
POPIS GRAFIKONA	54

1. UVOD

Problematika zagađenja morskog okoliša naftom prisutna je više desetljeća u javnim raspravama. Zagađenja mogu biti iz riječnih i kopnenih izvora, slučajna i namjerna ispuštanja s brodova ili nusprodukti vađenja nafte na moru. Rastuća svijest o posljedicama zagađenja morskog okoliša naftom dovela je do uvođenja mjera za smanjenje ili uklanjanje onečišćenja iz plovidbe i naftne industrije na moru. No, unatoč značajnom smanjenju zagađenja morskog okoliša naftom, rizik od zagađenja morskog okoliša naftom je stalno prisutan. Istraživanja, vađenja i prijevoz sirove nafte iz mora mogu dovesti do nesreća koje posljedično dovode do izlivanja nafte i uzrokuju probleme u okolišu, poput onečišćenja tla i/ili vode. Zbog toga je važno primijeniti odgovarajuće tehnologije uklanjanja uljnih onečišćenja mora.

1.1. PROBLEM I PREDMET ISTRAŽIVANJA

Problem istraživanja diplomskog rada odnosi se na lokaliziranje i sanaciju uljnih onečišćenja morem.

Tako definiran problem istraživanja ukazuje na **predmet istraživanja** diplomskog rada: istražiti aktualne tehnologije namijenjene lokaliziranju i uklanjanju uljnih onečišćenja mora. Različita onečišćenja iziskuju i primjenu odgovarajućih tehnologija kako bi se postigla što veća učinkovitost u uklanjanju uljnih onečišćenja mora.

Problem i predmet istraživanja jasno ukazuju na dva objekta istraživanja: uljna onečišćenja mora i tehnologije za njihovo otklanjanje.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Temeljem općih saznanja o štetnim posljedicama izlivanja nafte u more na ekosustav, kako na samom području izljeva tako i u široj regiji, može se postaviti sljedeća **radna hipoteza**: primjenom odgovarajućih tehnologija djeluje se na smanjenje ili potpuno otklanjanje šteta izazvanih uljnim onečišćenjem mora.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha istraživanja je istražiti tehnologije primjenjive za otklanjanje uljnih onečišćenja mora.

Ciljevi istraživanja su sljedeći: istražiti izvore uljnih onečišćenja mora, ekološke i ekonomske posljedice onečišćenja, analizirati postupke utvrđivanja uljnih onečišćenja mora kao i tehnologije uklanjanja uljnih onečišćenja mora te ukazati na praktične primjere dobre prakse uklanjanja uljnih onečišćenja mora i pravni okvir zaštite mora od onečišćenja uljem.

Svrha i ciljevi istraživanja navode na davanje odgovora na sljedeća pitanja u sklopu ovog diplomskog rada:

- Koji su izvori onečišćenja mora uljem?
- Koje su ekološke i ekonomske posljedice onečišćenja mora uljem?
- Koji su postupci utvrđivanja onečišćenja mora uljem?
- Koje se tehnologije primjenjuju za uklanjanje uljnih onečišćenja mora?
- Kakva je pravna regulativa u području onečišćenja mora uljem?

1.4. ZNANSTVENE METODE

Podaci potrebni za obradu teme diplomskog rada prikupljeni su iz sekundarnih izvora, a obrađeni i prezentirani su uz pomoć sljedećih metoda: povijesna metoda, deskriptivna metoda, metoda analize i sinteze, metoda komparacije i metoda klasifikacije.

1.5. STRUKTURA RADA

Diplomski rad je strukturno podijeljen u pet poglavlja.

Prvo poglavlje je **Uvod**, u kojem su predstavljeni problem i predmet istraživanja, definirana je radna hipoteza, predstavljeni su svrha i ciljevi istraživanja, ukazano je na metode istraživanja te je dan uvid u strukturu rada kroz pojedina poglavlja.

U drugom poglavlju, s naslovom **Onečišćenja mora uljem** istražene su temeljne karakteristike ulja i njegovo ponašanje u dodiru s vodom. Analizirani su izvori onečišćenja mora uljima te ekološke i ekonomske posljedice onečišćenja mora uljem.

Tehnologije uklanjanja uljnih onečišćenja s mora naslov je trećeg poglavlja. U njemu su istraženi postupci utvrđivanja onečišćenja mora uljima. Posebno se istražene metode uklanjanja uljnih onečišćenja s mora klasificirane u nekoliko skupina: kemijske metode, spaljivanje, mehaničke metode i bioremedijacija. Također je istraženo uklanjanje uljnih onečišćenja mora s obale.

U četvrtom poglavlju, s naslovom **Pravni okvir zaštite mora od onečišćenja uljem**, prikazan je zakonodavni okvir zaštite mora od onečišćenja uljem u Republici Hrvatskoj te su istaknute međunarodne konvencije koje reguliraju problematiku zaštite mora od onečišćenja uljem.

Peto poglavlje je **Zaključak**, u kojem je dan osvrt na najznačajnije spoznaje koje su rezultirale obradom teme diplomskog rada.

2. ONEČIŠĆENJA MORA ULJIMA

Morski okoliš je izložen intenzivnim ekološki štetnim utjecajima, kao što je istraživanje i eksploatacija nafte, plovidba brodovima i izlivanje nafte s kopna, kojima nastaju uljna onečišćenja mora. Ekološke i ekonomske posljedice uljnih onečišćenja mora ukazuju na potrebu propitivanja i analiziranja ove pojavnosti. U svrhu razumijevanja posljedica nastalih izlivanjem nafte u more potrebno je uvodno ukazati na izvore onečišćenja mora uljem i svojstva onečišćenja uljem, što je predmet istraživanja u ovom dijelu diplomskog rada.

2.1. OPĆENITO O ULJIMA I NJIHOVOM PONAŠANJU S VODOM

U skladu s Planom intervencije kod iznenadnih onečišćenja mora, uljima su “sva postojana mineralna ulja, kao što su sirova nafta i njeni derivati, te talozi i otpadna ulja definirana Međunarodnom konvencijom o sprječavanju zagađivanja mora s brodova, bez obzira na to prevoze li se kao teret ili kao zalihe goriva i maziva”¹. Poznavanje svojstva ulja i njihovog ponašanja u vodi veoma je važno za primjenu odgovarajuće metode uklanjanja uljnih onečišćenja mora.

2.1.1. Svojstva ulja

Sirova nafta je prirodna tvar akumulirana u Zemljinoj kori. Unatoč tom njezinom svojstvu i mogućnostima isparavanja pa i nestanka s površine mora kao i prirodnim sposobnostima koje more ima u smislu razgrađivanja sirove nafte, nafta predstavlja potencijalnu ugrozu morskom okolišu, a njeno izlivanje u more smatra se najgorim oblikom zagađenja.

Nafta je tekućina svijetlo žute do tamnosmeđe boje, svojstvenog mirisa, a po kemijskom sastavu je smjesa tekućih ugljikovodika s malim udjelima i ostalih komponenti.²

¹ Plan intervencije kod iznenadnih onečišćenja mora, Narodne novine, 54, 2008., 92, t. 1.

² Hrvatska enciklopedija, Natuknica *nafta*, online izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=42761> (14.08.2021.)

Pojmom sirove nafte obuhvaćena je nafta koja je dobivena iz bušotina, te nije podvrgnuta procesima čišćenja, separacije i preradbe.

Svojstva sirove nafte mijenjaju se ovisno o udjelu sumpora, elementima ugljikovodika i dr., kao i geografskim lokacijama na kojima su nalazišta sirove nafte. U kontekstu uljnih onečišćenja mora relevantne su sljedeće karakteristike ulja:³

- gustoća,
- viskoznost,
- točka tečenja,
- karakteristike destilacije,
- točka plamišta i točka požara.

Gustoća je karakteristika ulja odgovorna za njegovo ponašanje u vodi, odnosno za njegovo zadržavanje na površini vode i sposobnost miješanja s vodom. Na 15°C gustoća vode je 1 g/cm³, a morske vode između 1,02 i 1,07 g/cm³, dok je gustoća sirove nafte između 0,75 i 1,00 g/cm³. Sirova nafta ima manju gustoću od morske vode što joj omogućava zadržavanje na površini. Međutim, nakon što se izlije, gustoća se postupno povećava sve dok se ne postignu vrijednosti gustoće slične onima morske vode. U tom procesu dolazi do prirodnih pojava, poput isparavanja, emulgiranja i disperzije. Povećanjem gustoće ulja smanjuje se uzgon ulja, pa ga je teže detektirati i apsorbirati. *Gustoća* ulja u odnosu na vodu pri temperaturi od 15°C naziva se njegovom relativnom gustoćom ili specifičnom gravitacijom. U primjeni su različite klasifikacije sirove nafte ovisno o njenoj prirodi i sastavu. Jedna od najopćenitijih kategorija sirove nafte koju je razvio Američki institut za naftu (engl. *American Petroleum Institute*). *Gustoća* sirove nafte se prema ovoj klasifikaciji izražava u stupnjevima API gravitacije. API gravitacija se izračunava prema sljedećoj jednačbi:

$$\text{API gravitacija} = \left(\frac{141,5}{\text{specifična gravitacija}} \right) - 131,5$$

³ Seos, Marine Pollution, <https://seos-project.eu/marinepollution/marinepollution-c02-s13-p01.html> (11. 08. 2021.)

Sirova nafta obično ima API između 15 i 45 stupnjeva. Viši API ukazuje na sirovu naftu manje gustoće (lakša), a niži API na sirovu naftu veće gustoće (teška).⁴ Klasifikacija sirove nafte prema *American Petroleum Institute* prikazana je u tablici 1.

Tablica 1. Klasifikacija ulja prema *American Petroleum Institute*

Klasifikacija ulja	° API	Specifična gravitacija
Laka	≥ 31,1	< 870 kg/m ³
Srednja	31,1 > °API ≥ 22,3	870-920 kg/m ³
Teška	22,3 > °API ≥ 10	920-1000 kg/m ³
Ekstra teška	> 10	>1000 kg/m ³

Izvor: Paliukaite, M., Vaitkus, A., Zofka, A.: **Evaluation of bitumen fractional composition depending on the crude oil type and production technology**, The 9th International Conference “Environmental Engineering”, 2014., p. 3. (1-7), http://enviro2014.vgtu.lt/Articles/4/162_Paliukaite.pdf (2. 08. 2021.)

Isparivost ulja ovisi o njihovim destilacijskim karakteristikama. Tijekom destilacijskog procesa i povećanja temperature ulja, različite komponente prolaze kroz svoju točku vrenja, nakon čega isparavaju, a potom kondenziraju. Tlak pare određuje daljnje isparavanje. U većini slučajeva do isparavanja dolazi kada je tlak pare veći od 3 kPa, a iznad 100 kPa supstanca dobiva svojstvo plina.

Viskoznost je svojstvo ulja kojim se opisuje njegova otpornost na protok na određenoj temperaturi. Viskoznost je, dakle, u velikoj mjeri ovisna o temperaturi. Kod različitih vrsta ulja može jako varirati. Povećava se s njihovom specifičnom težinom i gustoćom. Kada se izlije u more, viskoznost ulja se postepeno povećava zbog prirodnih pojava, poput isparavanja i emulgiranja. Promjena viskoznosti mijenja ponašanje onečišćujućih tvari na površini mora. Sva ulja postaju viskoznija (teže teku) s padom njihove temperature (zgrušavaju se), a s povećanjem temperature smanjuje se viskoznost (razrjeđuju se). Viskoznost ovisi o sastavu ulja. Tako će ulje ljeti pri temperaturi od 25°C teći mnogo lakše, nego zimi na temperaturi od -25°C. Viskoznost se može mjeriti na dva načina: dinamičkom (apsolutnom) viskoznošću i kinematičkom viskoznošću. Kinematička viskoznost je definirana kao mjera otpora fluida prema protoku pod silom gravitacije, dinamička

⁴ Energy Insights, API gravity, <https://www.mckinseyenergyinsights.com/resources/refinery-reference-desk/api-gravity/> (16. 08. 2021.)

(apsolutna) viskoznost kao otpor fluida prema protoku da se deformira pod utjecajem sile. Kinematička viskoznost je omjer dinamičke viskoznosti i gustoće ulja.⁵

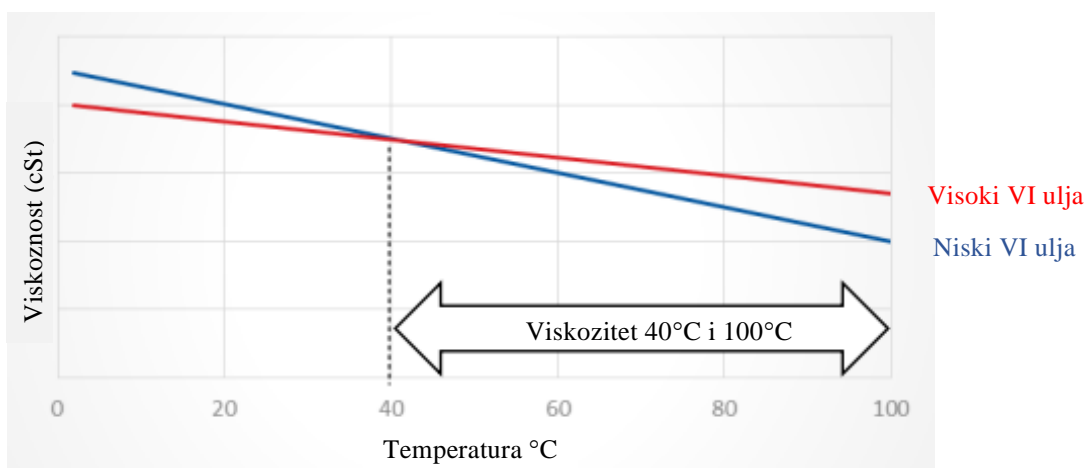
Viskoznost ulja je ovisna o temperaturi, pa je za procjenu svojstva ulja uveden indeks viskoznosti koji pokazuje međuodnos temperature i viskoznosti ulja. Prema ASTM (engl. *American Society for Testing and Materials*) standardu, indeks viskoznosti je proizvoljan broj koji se koristi za karakterizaciju promjene kinematičke viskoznosti naftnog produkta u odnosu na temperaturu.⁶ U tablici 2. je prikazana klasifikacija indeksa viskoznosti.

Tablica 2. Klasifikacija indeksa viskoznosti ulja

Indeks viskoznosti	Klasifikacija indeksa ulja
ispod 35	nizak
35-80	srednji
80-110	visoki
Iznad 110	vrlo visoki

Izvor: Oil Viscosity Index and Viscosity Temperature Relation, <https://www.tribonet.org/wiki/oil-viscosity-index-and-viscosity-temperature-relation/> (2.08.2021.)

Odnos viskoznosti i temperature ulja prikazan je na slici 1.



Slika 1. Odnos viskoznosti i temperature ulja

⁵ IB006. Viscosity classification, <http://opt-max.com/wp-content/uploads/2015/05/8.-IB006-Viscosity-Classifications.pdf> (4. 08. 2021.)

⁶ Oil Viscosity Index and Viscosity Temperature Relation, <https://www.tribonet.org/wiki/oil-viscosity-index-and-viscosity-temperature-relation/> (2. 08. 2021.)

Kako je vidljivo iz slike 1, visok indeks viskoznosti ulja ukazuje da je kinematička viskoznost ulja manje osjetljiva pri povećanju temperature. S druge strane, u slučaju niskog indeksa viskoznosti, viskoznost ulja može brzo opadati s povećanjem temperature. Sintetička ulja i višerazinska ulja obično pokazuju viši indeks viskoznosti u usporedbi s mineralnim uljima.

Točka tečenja je temperatura ispod koje se ulje ne može izliti ili teći.⁷ To je funkcija sadržaja voska i asfaltena u ulju. Kako se ulje hladi, tako protok postaje otežaniji sve dok se ulje na kraju tečenja ne promijeni iz tekućeg u polutvrdo stanje. Za neka ulja točka zgrušavanja je daleko ispod nule, a za neka je na oko 15 °C. Uobičajena temperatura pri kojoj se nafta transportira u tankerima (temperatura tereta) je iznad 30°C. U slučaju nesreće u kojoj sudjeluje tanker, ulje se u dodiru s morem hladi i počinje zgušnjavanje sve dok se ne dosegne točka tečenja. Poznavanje točke tečenja, a time i konzistencije ulja vrlo su važni u smislu poduzimanja odgovarajućih mjera u slučaju izlivanja ulja. Primjerice, tekuća ulja se mogu skidati s površine dok su u stanju skrutnutih ulja potrebne mehaničke metode uklanjanja.

Jedno od svojstva ulja je *destilacija*. S povećanjem temperature ulja, različite komponente jedna za drugom dosežu točku vrenja i isparavaju, destiliraju se. Neke od tih komponenti su toksične, što znači da mogu biti potencijalno opasne za izazivanje bolesti ili oštećenja živog organizma. Neka ulja sadrže ostatke koji se lako ne destiliraju, čak ni na visokim temperaturama, što znači da postoji velika vjerojatnost da će se dugo zadržati u okruženju. U koncentraciji od 900 ppm (0,09 %) hlapljivi organski spojevi dovode do nadražaja dišnih kanala i očiju i nakon sat vremena.⁸

Nakon izlivanja nafte, veliki dio tvari sadržanih u ulju isparava i destilira se. Količina ulja se smanjuje i stvaraju se zapaljive pare. Sudbina izlivanja nafte i para koje nastaju, također, ovisi od temperature ulja. Postoje dvije kritične temperature: *temperatura plamišta* i *temperatura požara*. Pare koje isparavaju iz ulja manje su ili više eksplozivne, ovisno o plamištu ulja. Plamište je "najniža temperatura pri kojoj se iznad površine zapaljive tvari, najčešće tekućine, nakupi

⁷ Seos, Marine Pollution, op. cit.

⁸ Ibidem.

količina njezinih para dovoljna da se one uz mali prasak zapale ako im se prinese izvor paljenja.⁹ Poznavanje točke plamišta je važno kod procjene opasnosti zapaljivosti naftnih produkata. Točka požara je temperatura pri kojoj para zapaljive tvari nastavlja gorjeti nakon paljenja.

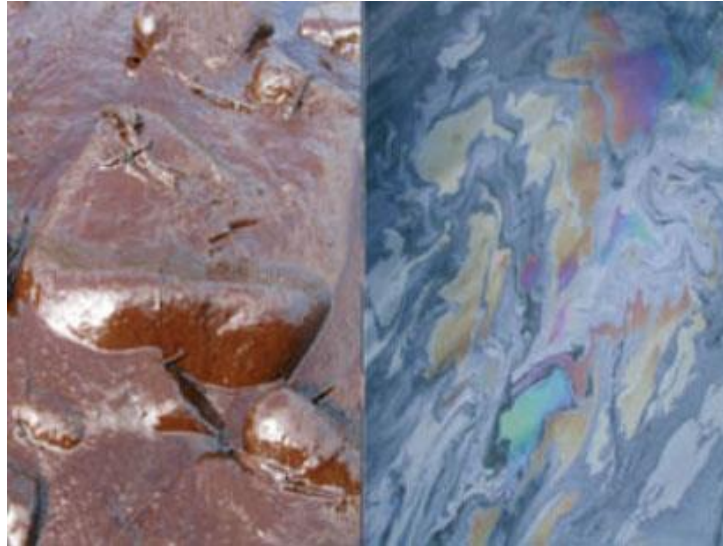
2.1.2. Ponašanje ulja u dodiru s morskom površinom

Ulja u kontaktu s morem ponašaju se na različite načine. Kod mnogih izlivanja nafte s broda, vrsta nafte koja se izlila, vremenski i morski uvjeti najutjecajni su čimbenici u određivanju ponašanja nafte u morskom okolišu.

Kada se promatra ponašanje ulja u morskom okolišu, često se pravi razlika između “postojanih ulja” (teška) i “nepostojanih ulja” (laka). Nepostojana ulja su ona ulja kod kojih se u trenutku otpreme najmanje 50 % ugljikovodičnih frakcija, po volumenu, destilira na temperaturi od 340°C i najmanje 95 % frakcija ugljikovodika, volumno, destilira na temperaturi od 370°C.¹⁰ Postojana ulja (sirova nafta, lož ulje, maziva, asfalti i dr.) sporije se raspadaju u morskom okolišu i obično zahtijevaju uklanjanje. Zbog produljenog utjecaja mogu se lakše opaziti. Ova ulja predstavljaju potencijalnu prijetnju prirodnim resursima kada se oslobode, u smislu negativnih učinaka na divlje životinje, gušenje staništa i zauljenje plaža. Nasuprot tome, nepostojana ulja (benzin, mlazna goriva, lagana dizel goriva, benzen, petrolej) imaju tendenciju brzog rasipanja u morskom okolišu i rijetko zahtijevaju reakciju. Teže ih je detektirati u odnosu na postojana ulja (Slika 2.).

⁹ Hrvatska enciklopedija, Natuknica *Plamište*, online izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krlež, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=48567> (14. 08. 2021.)

¹⁰ Fate of Oil Spills, <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/> (10. 08. 2021.)



Slika 2. Postojano i nepostojano ulje u morskom okolišu

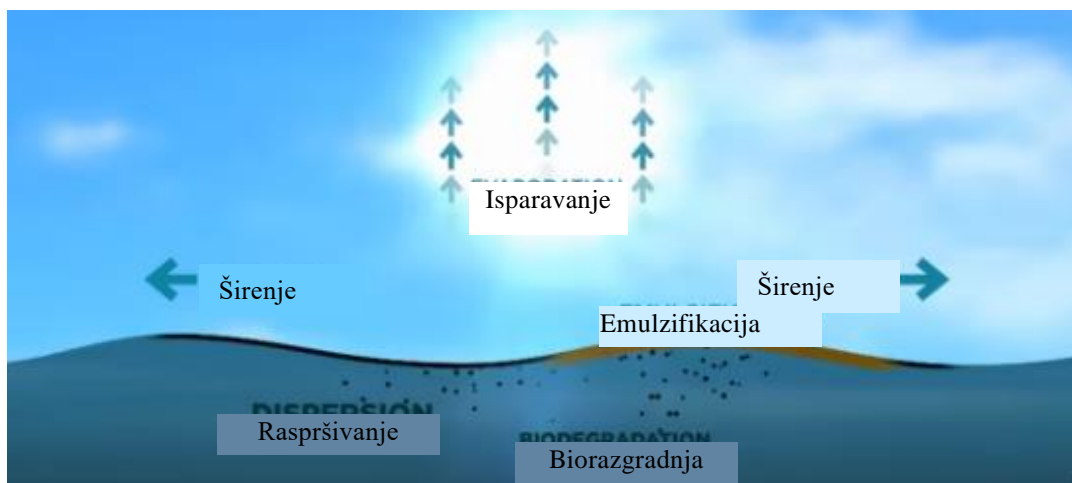
Izvor: Fate of Oil Spills, <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/>

(10. 08. 2021.)

Nakon izlijevanja u more, nafta se normalno širi i kreće se po površini mora s vjetrom i strujom, a pri tome prolazi kroz brojne kemijske i fizičke promjene. Ti se procesi općenito nazivaju vremenski procesi (engl. *weathering*), odnosno procesi trošenja ulja protekom vremena, koji se događaju u nekom određenom vremenu, i određuju daljnju sudbinu ulja. Ti procesi obuhvaćaju promjene svojstava nafte uzrokovane fizičkim, kemijskim i biološkim procesima kada je ulje izloženo uvjetima okoliša, poput morskog okoliša. Ti kombinirani procesi, s izvornim kemijskim sastavom ulja i vremenom proteklim od izlijevanja, utječu na ponašanje, sudbinu, kemijski sastav i masu zaostale nafte nakon izlijevanja. Među tim procesima su, prikazan na Slici 3.:¹¹

- širenje,
- isparavanje,
- raspršivanje,
- emulzifikacija,
- otapanje,
- oksidacija,
- taloženje i potonuće
- biorazgradnja.

¹¹ Ibidem.



Slika 3. Vremenski procesi ulja u morskom okolišu

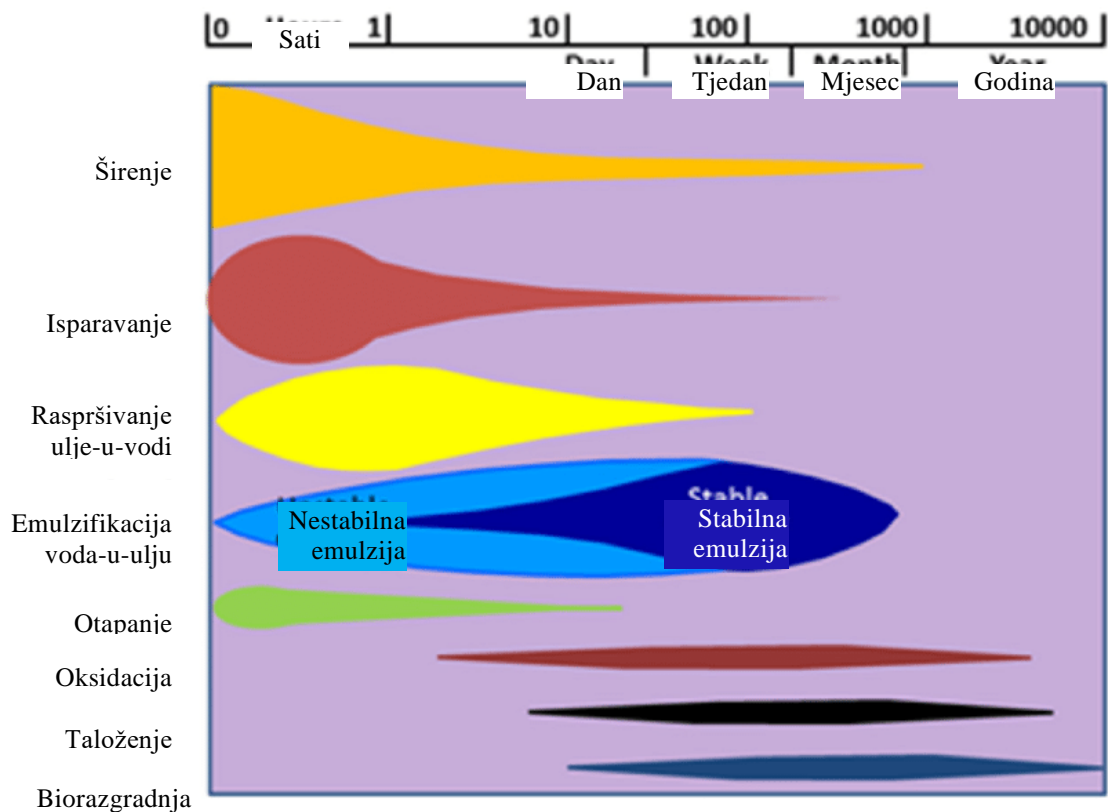
Izvor: Fate of Oil Spills, <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/> (10. 08. 2021.)

U pravilu se svaki proces može svrstati u jednu od dvije kronološke kategorije u smislu kada je njihov učinak najznačajniji:¹²

- rana faza izlijevanja: širenje, isparavanje, raspršivanje, emulgiranje i otapanje,
- kasnija faza izlijevanja: oksidacija, taloženje i biorazgradnja. To su dugoročni procesi koji određuju konačnu sudbinu prolivene nafte.

Na Slici 4. prikazana je sudbina tipičnog izlijevanja sirove nafte, pri čemu su jasno vidljive promjene u relativnom značajnosti procesa vremenskih utjecaja s protekom vremena (od sati do godina). Širina trake ukazuje na značajnost procesa.

¹² Ibidem.



Slika 4. Vremenski procesi kod tipičnog izlijevanja sirove nafte u morski okoliš

Izvor: Fate of Oil Spills, <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/>
(10.08.2021.)

Širenje po morskoj površini počinje u trenutku izlijevanja ulja u morski okoliš. Na brzinu širenja u značajnoj mjeri utječe viskoznost ulja, koja je ovisna o sastavu ulja i temperaturi okoline. Ulja niske viskoznosti i s većim stupnjem tečnosti šire se brže u odnosu na ulja koja imaju visoku viskoznost i manji stupanj tečnosti. Viskozitet je u obrnutoj proporcionalnosti s temperaturom okoline, pa veću viskoznost ulje pokazuje pri nižim temperaturama, a manju pri višim temperaturama. Raspršivanje je rijetko jednoliko te su karakteristične velike varijacije u debljini sloja plutajućeg ulja. Nakon nekoliko sati, mrlja izlivenog ulja obično počinje raspadati zbog djelovanja vjetrova, djelovanja valova i turbulencija vode, a često se stvaraju uske trake paralelno sa smjerom vjetrova.¹³

Na brzinu širenja nafte, osim vrste ulja, značajan utjecaj imaju prevladavajući uvjeti okoline, kao što su temperature, strujanje vode, plime i oseke te brzina vjetrova. Više temperature

¹³ Ibidem.

okoline, jači vjetrovi i morske struje obično rezultiraju većom brzinom širenja onečišćenja.

Isparavanje je jedno od svojstava ulja u dodiru s morskom površinom. Na brzinu isparavanja i brzinu kojom se to događa utječe hlapljivosti ulja. Ulja koja sadrže veliki postotak lakih i hlapivih spojeva imaju tendenciju bržeg isparavanja od onih koja sadrže veći udio težih spojeva. Primjerice, benzin, kerozin i dizel, koji se ubrajaju u lake produkte, potpuno će ispariti u roku od nekoliko dana. Nasuprot tome, teško lož ulje će u tom razdoblju imati nisku razinu isparavanja. U umjerenj klimi hlapljive komponente ulja s vrelištem ispod 200°C nastoje ispariti unutar prvih 24 sata. Na brzinu isparavanja utječe i brzina širenja ulja, pa će se brzina isparavanja povećati s povećanjem površine mrlje. Valovitije more, velike brzine vjetra i visoke temperature također povećavaju brzinu isparavanja. Tim postupkom dio ulja odlazi u atmosferu.

Raspršivanje mrlje ulja na kapljice nastaje uslijed djelovanja valova i turbulencija na površini mora (Slika 5.). Pod utjecajem valova i turbulencije na površini mora neke se mrlje razbijaju na fragmente i kapljice različitih veličina, koje se miješaju u gornjoj razini vodenog stupca. Neke od manjih kapljica ostaju suspendirane u morskoj vodi, dok se veće nastoje izdići natrag na površinu. Tada se mogu preoblikovati u mrlju ili se mogu raširiti kako bi stvorili vrlo tanak film. Raspršene kapljice ulja imaju veći omjer površine u odnosu na volumen od plutajućeg ulja, pa se time potiču drugi prirodni procesi poput otapanja, biorazgradnje i taloženja.

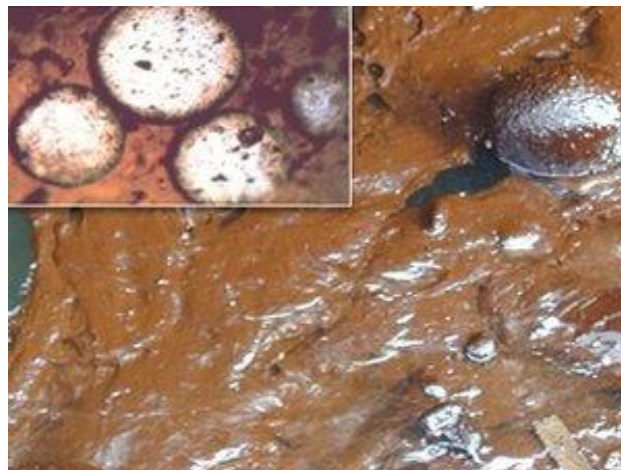


Slika 5. Raspršivanje mrlje pod utjecajem valova i turbulencije na površini mora

Izvor: Fate of Oil Spills, <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/> (10. 08. 2021.)

Brzina raspršivanja ulja uvelike ovisi o prirodi ulja i stanju mora. Najbrže će do raspršivanja doći u slučaju laganog ulja niske viskoznosti, te ako je more jako nemirno. Proces prirodnog raspršivanja može se pospješiti i ubrzati dodavanjem kemijskih raspršivača.

Emulzija nastaje spajanjem dvije tekućine, pri čemu jedna završava suspendirana u drugoj.¹⁴ Na Slici 6. prikazana je emulzija vode u ulju (u gornjem lijevom uglu) te uvećani prikaz emulgiranog mazuta.



Slika 6. Emulzija vode u ulju (dodatak) i prikaz emulgiranog mazuta

Izvor: Fate of Oil Spills, <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/> (10. 08. 2021.)

¹⁴ Ibidem.

Emulzifikacija je stvaranje kapljica vode u uljnoj matrici (voda-u-ulju) ili obrnuto kapljice ulja u vodenoj matrici (ulje-u-vodi) nastale miješanjem, poput aktivnosti vjetra i valova.¹⁵ Formirana emulzija obično je vrlo viskozna i postojanija od izvornog ulja, a ponekad se zbog svog izgleda naziva i pjenom od čokolade.¹⁶ Uključivanjem do 60 do 80 % vode, stabilne emulzije povećavaju efektivni volumen proliivenog ulja dva do pet puta, što usporava i odgađa ostale procese razgradnje ulja te može dovesti do komplikacija uklanjanja uljnih onečišćenja mora. Naime, ulje uvučeno u emulzijsku pjenu otporno je na raspršivanje kemikalijama i biorazgradnju zbog svoje viskoznosti, male rasute površine i otežanog nadopunjavanja hranjivim tvarima.¹⁷ Ulja koja sadrže asfalten veći od 0,5 % imaju tendenciju stvaranja stabilnih emulzija koje se mogu zadržavati i više mjeseci nakon izlivanja. Za razliku od njih ulja koja sadrže manji postotak asfaltena imaju manju vjerojatnost da će formirati emulziju vode u ulju. Emulzije imaju tendenciju prijelaza s plutanja na površini vode do potapanja u vodeni stup, gdje je otežan fizički oporavak morskog okoliša. Emulzije se mogu ponovno odvojiti u ulje i vodu sunčevim zagrijavanjem u mirnim uvjetima ili nasukavanjem na obalu.

Otapanje se događa zbog toga što ulje sadrži spojeve topive u vodi odnosno u morskom okolišu. Taj se proces najbrže odvija kada je ulje raspršeno u vodenom stupcu. Komponente ulja topive u morskoj vodi su lagani aromatski spojevi ugljikovodika poput benzena i toluena. Međutim, ti spojevi su ujedno one komponente koje se prve gube iz ulja isparavanjem, procesom koji je 10-1.000 puta brži od otapanja. Većina sirovih ulja i svih lož ulja sadrže relativno male udjele ovih spojeva, pa je otapanje jedan od manje značajnih procesa koja se događaju u dodiru ulja s morem.

Kod procesa **oksidacije**, ulja kemijski reagiraju s kisikom ili se raspadaju u topljive produkte ili stvaraju postojane spojeve koji se nazivaju katrani. Taj proces potiče sunčeva svjetlost, ali je vrlo spor, pa čak i na jakom suncu tanki se slojevi ulja raspadaju ne više od 0,1% dnevno. Nastanak katrana uzrokovan je oksidacijom debelih slojeva ulja ili emulzija

¹⁵ Boufadel, M. et al.: The Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into Aqueous Environments, The Royal Society of Canada, The Academies of Arts, Humanities and Sciences of Canada, Ottawa, 2015., p. 21.

¹⁶ Fate of Oil Spills, op. cit.

¹⁷ Stoekel, D. et al.: Arctic Oil Spill Response Technology – Joint Industry Programme, Environmental Impacts of Arctic Oil Spills and Arctic Oil Spill Response Technologies, Literature Review and Recommendations, 2014., p. 90., <https://neba.arcticresponsetechnology.org/assets/files/Environmental%20Impacts%20of%20Arctic%20Oil%20Spills%20-%20report.pdf> (1. 08. 2021.)

visoke viskoznosti. Ovaj proces stvara vanjski zaštitni premaz teških spojeva što rezultira povećanom postojanošću ulja. Tipičan primjer tog procesa je katranska masa u obliku loptice, koja se često nalazi na obalama, ima čvrstu vanjsku koru koja okružuje mekšu i manje trošnu unutrašnjost (Slika 7.).



Slika 7. Tipična katranska mrlja na obali mora uzrokovana oksidacijom ulja

Izvor: Fate of Oil Spills, <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/>
(10. 08. 2021.)

Vrlo je malo ulja koja **tonu** u morskom okolišu. Približavanjem plutajućeg ulja obali može doći do **taloženja**. Nakon što su svi lakši spojevi ispare i mrlja, uslijed različitih procesa nestaje na moru, neka ulja mogu biti blizu gustoće morske vode. Kad plutajuće, potopljeno ili raspršeno ulje dođe u kontakt sa suspendiranim talogom, talog se može vezati za njega. Ta je pojava posebice znakovita u plitkim vodama. Uslijed jakog zagađenja, na morskom dnu u blizini obale mogu se stvoriti guste mrlje katrana. Nafta nasukana na pješčanim obalama često se miješa s pijeskom i drugim sedimentima. Ako se ova smjesa naknadno ispere s plaže natrag u more, može potonuti. Osim toga, ako se ulje zapali ili je dobrovoljno spaljeno (izgaranje na licu mjesta) nakon što se prosulo, ostaci koji se ponekad formiraju mogu biti dovoljno gusti da potonu.¹⁸

Ulje u dodiru s morem podložna je **biorazgradnji**. Morska voda sadrži širok raspon mikroorganizama koji koriste ugljikovodike kao izvor energije i mogu djelomično ili potpuno razgraditi ulje do spojeva topljivih u vodi te na kraju do ugljičnog dioksida i vode.

¹⁸ Fate of Oil Spills, op. cit.

Postoje mnoge vrste morskih mikroorganizama i svaki nastoji razgraditi određenu skupinu spojeva u sirovoj nafti. Međutim, neki spojevi u ulju vrlo su otporni, te se teško razgrađuju. Glavni čimbenici koji utječu na učinkovitost biorazgradnje su razina hranjivih tvari (dušik i fosfor) u vodi, temperatura i razina prisutnog kisika. Kako je za biorazgradnju ulja potreban kisik, ovaj se proces može odvijati samo na sučelju ulja i vode jer kisik nije dostupan unutar samog ulja. Stvaranjem kapljica ulja raspršivanjem, povećava se omjer površine i volumena ulja, pa se stoga povećava površina na kojoj se mikroorganizmi mogu pričvrstiti na površinu ulja i dolazi do biorazgradnje.

U tablici 3. prikazani su opći kratkotrajni fizikalni i kemijski učinci vremenskog trošenja ulja prema procesima koji se odvijaju na površini vode (slatke ili morske), u vodenom stupcu, te uz obalu (obala rijeke ili plaža) ili u podložnim sedimentima.

Tablica 3. Kratkotrajni fizikalni i kemijski učinci učinaka vremenskih procesa na svojstva ulja

Svojstva ulja	Prirodni vremenski procesi	Učinci na svojstva ulja
Viskoznost	Gubitak komponenti niske molekularne težine isparavanjem i/ili otapanjem i/ili biorazgradnjom	Povećanje viskoznosti
	Formiranje emulzije voda-u-ulju, uključujući 'pjenu'	Povećanje viskoznosti
Specifična gravitacija	Gubitak komponenti niske molekularne težine isparavanjem i/ili otapanjem i/ili biorazgradnjom	Povećanje specifične gravitacije
Volumen ulja na površini	Gubitak komponenti niske molekularne težine isparavanjem i/ili otapanjem i/ili biorazgradnjom	Smanjenje volumena
	Gubitak malih kapljica raspršivanjem	Smanjenje volumena
	Emulzifikacija i/ili bioraspršivanje	Povećanje volumena
Potencijalna toksičnost	Gubitak komponenti niske molekularne težine isparavanjem i/ili otapanjem i/ili biorazgradnjom	Smanjenje akutne toksičnosti
	Nastanak produkata fotooksidacije na površini ili djelomično oksidiranih metabolita zbog nepotpune razgradnje	Povećanje toksičnosti

Izvor: Stoekel, D. et al.: Arctic Oil Spill Response Technology – Joint Industry Programme, Environmental Impacts of Arctic Oil Spills and Arctic Oil Spill Response Technologies, Literature Review and Recommendations, 2014., p. 90., [https://neba.arcticresponsetechnology.org/assets/files/Environment al%20Impacts%20of%20Arctic%20Oil%20Spills%20-%20report.pdf](https://neba.arcticresponsetechnology.org/assets/files/Environment%20Impacts%20of%20Arctic%20Oil%20Spills%20-%20report.pdf) (1. 08. 2021.)

Sva ponašanja ulja u morskom okolišu utječu na mogućnosti čišćenja i sanacije mora, pa ih važno poznavati kako bi se primijenila tehnologija koja će biti najučinkovitija u uklanjanju onečišćenja mora.

2.2. IZVORI ONEČIŠĆENJA MORA ULJIMA

Izlijevanje ulja često se odnosi na ispuštanje tekućih naftnih ugljikovodika u oceane ili obalna područja zbog ljudskih aktivnosti. Ono uključuje ispuštanje sirove nafte iz tankera, priobalnih platformi, bušilica i bušotina, zatim izlijevanje rafiniranih naftnih derivata (poput benzina i dizela) i nusproizvoda, težih goriva koja koriste veliki brodovi, poput goriva u bunkerima, te izlijevanje bilo kojeg uljastog bijelog otpada ili otpadnog ulja.¹⁹ Izlijevanje nafte uobičajeno je u morskom okruženju, a mnoga mala izlijevanja se ne prijavljuju, osobito u područjima gdje su ekološki standardi ili propisi minimalni, neprovedivi ili nepostojeći. Izlijevanje se može dogoditi iz mnogo razloga tijekom procesa istraživanja, vađenja i transporta, kao što su prekomjerni tlak, mehanički kvar, korozija cjevovoda, sudar broda, između ostalih. Najveći doprinos onečišćenju nafte u svjetskim oceanima (45 %) imaju operativni ispuštanja iz tankera, iako se smatra da su prirodni izljevi značajni, a jedini najvažniji izvor nafte koja ulazi u ocean. Izlijevanja nafte u većini pojavljivanja (72 %) su u malim razmjerima, a ukupna količina tih malih izlijevanja čini <1 % ukupnog izlijevanja.²⁰ U posljednjem desetljeću diljem svijeta proliveno je više od milijardu litara nafte, a šest milijuna tona godišnje ušlo je u oceane.

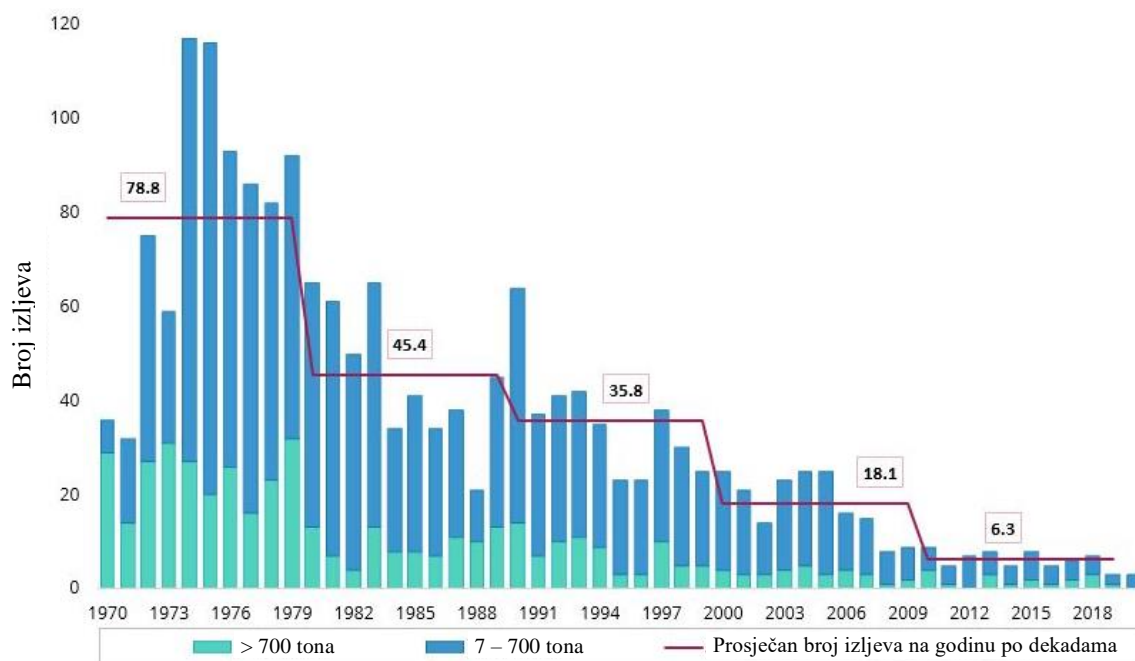
Usljed povećanja potražnje za naftom i naftnim derivatima, velika je vjerojatnost da će se izlijevanja nafte kao posljedica prometa tankera, eksploatacije nafte na moru i pomorskih nesreća povećavati. Nesreće kao posljedica izlijevanja nafte mogu uzrokovati ozbiljne probleme u morskom okolišu i zdravlju ljudi zbog kontaminacije. Stoga je veoma važno pratiti izlijevanje nafte u stvarnom vremenu te što brže otkloniti posljedice izlijevanja.

Kao posljedica donošenja zakonske regulative o zaštiti mora od onečišćenja na međunarodnoj razini te razvoja tehnologije i osiguranja od onečišćenja mora s brodova, došlo je do smanjenja izlijevanja nafte s tankera u razdoblju od 1970. do 2020. godine, kako je prikazano na Grafikonu 1.

¹⁹ Zhang, B. et. al.: **Marine Oil Spills – Oil Pollution, Sources and Effects**, World Seas: An Environmental Evaluation, 2019., p. 391., doi:10.1016/b978-0-12-805052-1.00024-3 (13. 08. 2021.)

²⁰ Ibidem, p. 391.

Grafikon 1. Broj izljevova nafte (većih od 7 tona) s tankera u morski okoliš u razdoblju od 1970.-2020. godine

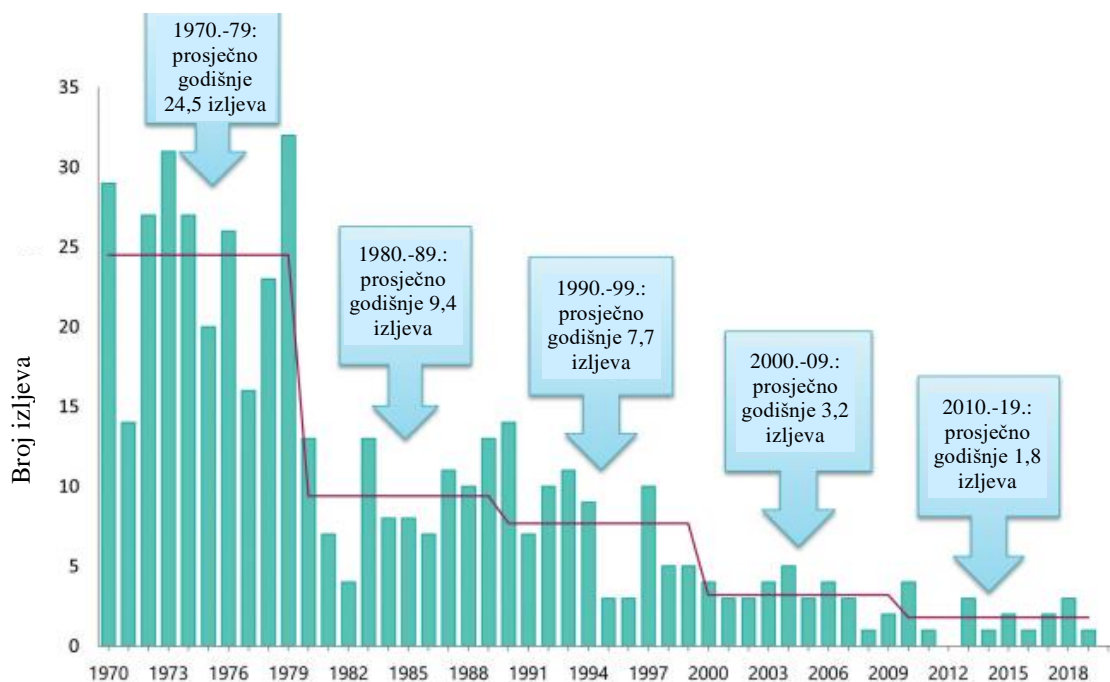


Izvor: Oil Tanker Spill Statistics 2020, ITOPF, 2021., p. 6., https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_publication_2020.pdf (12. 08. 2021.)

Nesreće brodova na moru događaju se, ali više od 99,99 % nafte koja se prevozi morem sigurno dolazi u destinaciju. Podaci prezentirani na Grafikonu 1. ukazuju na značajno smanjenje broja izljevanja nafte i naftnih derivata iz tankera. Promatrano po pojedinim dekadama, vidljivo je da je u razdoblju od 1970. do 1980. godine bilo prosječno godišnje 78,8 izljeva, a u sljedećim dekadama dolazi do značajnog smanjenja, da bi u razdoblju od 2010. do 2020. godine broj prosječnih godišnjih izljeva bio sveden na 6,3. Vidljivo je, također da se broj velikih izljevanja (> 700 tona) značajno smanjio u posljednjih nekoliko desetljeća (Grafikon 2). Godišnji prosjek zabilježen u 2010. godini bio je 1,8 izljeva, što je manje od desetine prosjeka zabilježenog u 1970.-im godinama. U 2020. godini nisu zabilježena velika izljevanja nafte s tankera. Ukupna količina izgubljene nafte u okolišu iz tankera izljevanjem u 2020. godini iznosila je oko 1.000 tona.²¹

²¹ Oil Tanker Spill Statistics 2020, ITOPF, 2021., p. 6., https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_publication_2020.pdf (12. 08. 2021.)

Grafikon 2. Broj izljevna nafte (većih od 7 tona) s tankera u morski okoliš u razdoblju od 1970.-2019. godine



Izvor: Oil Tanker Spill Statistics 2020, ITOPF, 2021., p. 6., https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_publication_2020.pdf (12. 08. 2021.)

U tablici 4 dan je prikaz 20 najvećih izlijevanja nafte koja su se dogodila od nesreće *Torrey Canyon* 1967. godine.

Tablica 4. Pregled 20 najvećih izlijevanja nafte od 1967. godine

R.b.	Ime broda	Godina	Lokacija	Veličina izljevna (tone)
1.	Atlantic Empress	1979.	Izvan Tobaga, Zapadna Indija	287.000
2.	ABT Summer	1991.	700 nautičkih milja od Angole	260.000
3.	Castillo De Bellver	1983.	Izvan Saldanha Bay, Južna Afrika	252.000
4.	Amoco Cadiz	1978.	Izvan Britanije, Francuska	223.000
5.	Haven	1991.	Genova, Italija	144.000
6.	Odyssey	1988.	700 nautičkih milja od Nove Škotske, Kanada	132.000
7.	Torrey Canyon	1967.	Scilly Isles, Velika Britanija	119.000
8.	Sea Star	1972.	Omanski zaljev	115.000
9.	Sanchi	2018.	Izvan Shangaja, Kina	113.000
10.	Irenes Serenade	1980.	Navarino Bay, Grčka	100.000
11.	Urquiola	1976.	La Coruna, Španjolska	100.000
12.	Hawaiian Patriot	1977.	300 nautičkih milja od Honolulu	95.000
13.	Independenta	1979.	Bospor, Turska	95.000
14.	Jakob Maersk	1975.	Oporto, Portugal	88.000
15.	Braer	1993.	Šetlandski otoci, Velika Britanija	85.000
16.	Aegean Sea	1992.	La Coruna, Španjolska	74.000
17.	Sea Empress	1996.	Milford Haven, Velika Britanija	72.000
18.	Khark 5	1989.	120 nautičkih milja od Atlantske obale Maroka	70.000
19.	Nova	1985.	Izvan Karg Island, Iranski zaljev	70.000
20.	Katina P	1992.	Izvan Maputo, Mozambik	67.000

Izvor: Oil Tanker Spill Statistics 2020, ITOPF, 2021., p. 6., https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_publication_2020.pdf (12. 08. 2021.)

Prema podacima u Tablici 4., 19 od 20 izlijevanja dogodilo se prije 2000. godine. *Sanchi* je jedino veliko izlijevanje nepostojane nafte nakon 2000. godine, ali sa znatno manjim učincima na okoliš u odnosu na neka izlijevanja sirove nafte navedena u tablici. Najveće izlijevanje nafte u razdoblju od 1967. godine dogodilo se s broda *Atlantic Empress* 1979. godine, izvan teritorijalnih voda Tobaga u Zapadnoj Indiji. U more se u toj pomorskoj nesreći izlilo 287.000 tona nafte.

U okviru istraživanja nafte u moru među najistaknutijim onečišćenjima mora uljem navode se izlijevanje nafte *Exxon Valdez* i izlijevanje nafte *Deepwater Horizon*.²²

Izlijevanje nafte *Exxon Valdez* dogodilo se 24. ožujka 1989. godine, a odlaganje sanacije i neodgovarajuće znanje te primjena neispravne prakse uzrokovali su zadržavanje nafte na grebenu *Bligh Reef* u *Prince William Soundu*, Aljaska. Izlijevanjem je oslobođeno više od 42.000 tona sirove nafte *Prudhoe Bay*, 11 milijuna litara, na površini od 28.000 km². Opseg proliferacije nafte bio je rezultat udaljenog mjesta izlijevanja nafte i odgođenog odgovora zbog lošeg vremena koje je omogućilo kontaminaciju 782 km *Princa Williama Sounda* i 1.315 km Aljaškog zaljeva. Ekološki utjecaji *Exxon Valdeza* bili su drastični i dugotrajni, negativno utječući na svu biotu svih razina, od mikroorganizama i algi do pelagičnih riba, morskih beskralježnjaka, sisavaca i morskih ptica, morskih sisavaca od kitova do vidri te beskralježnjaka i algi. Najznačajniji ekološki učinci bili su izravna smrtnost velikih količina biote na svim razinama, s različitim stupnjevima i stopama oporavka. Ekonomski i kasniji društveni utjecaji izlijevanja također su bili veliki, svjedočeći kolapsu ribolovne industrije i šteti po turizam s pomoćnim industrijama, kao i posljedicama po zdravlje i život u zajednici, osobito među domaćim stanovništvom.²³

Do izlijevanja nafte *Deepwater Horizon* došlo je 20. travnja 2010. godine, kada su mehanički kvar i naknadna eksplozija na platformi za bušenje nafte DWH 22. travnja uzrokovali kolaps i pucanje krila, što je rezultiralo najvećim izlijevanjem nafte u zabilježenoj povijesti. DWH je bušio u naftnom polju *Macondo* na kontinentalnom pojasu Meksičkog zaljeva. Posljednja kontrolna bušotina završena je 19. rujna 2010., a tijekom tog vremena ispušteno je između 430.000 i 500.000 tona nafte, najveće izlijevanje u povijesti naftne industrije. Procjenjuje se da je zahvaćen prostor od 180.000 km² oceana. Nafta je ispuštana

²² Zhang, B. et. al.: op. cit., p. 399., doi:10.1016/b978-0-12-805052-1.00024-3 (13. 08. 2021.)

²³ Ibidem, p. 399.

s dubine 1.522 marketing, što je omogućilo opsežan zahvat i interakciju s vodenim stupom formirajući vodene slojeve bogate ugljikovodicima koji su se bočno širili po dubokim vodama. Neka se nafta pojavila kako bi se spojila u površinske mrlje, koje su kumulativno dosegle veličinu od 112.000 km², dok su neki produkti bili u interakciju sa sedimentima u Zaljevu i stvorili zaostatke katrana, koji su potonuli na morsko dno.

Mjerama sanacije onečišćenog mora, 25% prikupljene ukupne ispuštene nafte spaljeno je ili obrano prije velikih utjecaja na okoliš. Ostatak je raspršen prirodnim putem (13 %), kemijski raspršen Corexitom (16 %), isparen ili otopljen (23 %), te zadržan drugim metodama poput taloženja, potonuća, sakupljanja na obalama (23 %). Međutim, procjenjuje se da je 50 % -55 % bruto volumena nafte ostalo u vodenom stupcu, često na dubinama od 1.100 m. Nafta zahvaćena u vodenom stupcu i površinska nafta istjerana je prema obali gdje je zahvatila više od 2.100 km obalne linije, uključujući staništa na plažama, močvarama, močvarama i ušću, gdje se nalazila većina regionalne gospodarske ispravnosti i produktivnosti ribarstva.²⁴

2.3. SVOJSTVA ONEČIŠĆENJA MORA ULJIMA

Svojstva izljeva ulja su važne za određenje opsega štete nastale izljevom. Izljev velike količine visoko postojanih ulja, poput teških naftnih produkata, potencijalni je uzročnik štete u širokom razmjeru u obalnim zonama, gušenjem morskih organizama. Toksični učinci su manji kod teških naftnih derivata ili drugih visoko viskoznih ulja koja imaju nisku razinu topivosti u vodi, zbog niske biološke dostupnosti kemijskih komponenti tih ulja. Ulje ugrađeno u asfaltni kolnik također je manje bio-dostupno, bez obzira na njegovo zadržavanje na obali, i neizravnim štetama koje može prouzročiti promjenama staništa morskih organizama. S druge strane kemijske komponente kerozina ili drugog lakog ulja imaju visoku biološku dostupnost, te je veća vjerojatnost da će štete od izljeva ovog ulja manifestirati kroz toksičnost morskih organizama. Međutim, brzo nestajanje kroz isparavanje i raspršivanje izljeva, znači da laka ulja mogu biti manje štetna, sve dok su osjetljivi resursi dovoljno udaljeni od mjesta izlijevanja ulja.

²⁴ Ibidem, p. 403.

U slučaju kada su je razrjeđivanje onečišćenja usporeno, primjerice kada se zagađivač zarobi u muljevitim sedimentima ili u zatvorenom području, primjerice, u plitkim lagunama sa slabom izmjenom vode, može se očekivati visoka razina onečišćenja te dugotrajan proces sanacije područja onečišćenja. Pri razini izloženosti morskim organizama nižoj od one dovoljne za izazivanje smrtnosti, prisutnost toksičnih komponente može dovesti do sub-smrtonosnih učinaka, poput oslabljene prehrane ili reprodukcije morskih organizama.

2.4. EKOLOŠKI I EKONOMSKI UČINCI ONEČIŠĆENJA MORA ULJEM

Ekološki učinci izlivanja nafte su vrlo dalekosežni i različiti ovisno o prirodi oslobođenog materijala, njegovom volumenu, količini energije u fizičkom okolišu koja utječe na razgradnja ugljikovodika ili miješanju s vodom ili talogom te sredstvu kojim se transportira. Štetni učinci su univerzalni po geografskom pojavljivanju, iako su više fokusirani u područjima s intenzivnijom ekstrakcijom i transportnom aktivnošću.²⁵

Eksploatacija nafte iz morskog dna većinom se odvija u ekološki osjetljivim područjima, u unutarnjim morskim bazenima ili u kontinentalnom pojasu, staništu mnogih bentoskih organizama u moru. Istraživanja nafte odvijaju se na sve udaljenijim lokacijama od kopna s povećanjem nedaća i ozbiljnim očekivanim vremenskim uvjetima, što komplicira uspješnost vađenja i transporta nafte bez pojave nesreća. Nesreće prilikom transporta su česte. Mnoga područja u kojima se nesreće događaju su mjesta na kojima se koncentriraju brodske rute zbog fizičkih ograničenja, često povezanih sa sve osjetljivijim okruženjem, što dodatno na tim lokacijama pogoršava negativne učinke nesreća na okoliš. Druga brojna, manje dramatična ispuštanja ulja redovito se događaju u malim količinama koja otežavaju njihovo detektiranje, iz ventila koja cure do pražnjenja balastne vode, a većina oslobođenih naftnih produkata na kraju nađe svoj put do lokacija koje obiluju osjetljivim morskim

²⁵ Lee, K. et al.: The behaviour and environmental impacts of crude oil released into aqueous environments, The Royal Society of Canada, Ottawa, 2015., prema: Zhang, B. et al.: op. cit., p. 395.

biotima, kako na kontinentalnom pojasu, tako i u primorju. Utjecaj nafte na okoliš može se manifestirati na jedan od sljedećih načina:²⁶

- fizičko gušenje s učincima na fiziološke funkcije,
- kemijska toksičnost koja dovodi do smrtonosnih ili sub-smrtonosnih učinaka ili uzrokuje oštećenje staničnih funkcija,
- ekološke promjene, primarno gubitak ključnih organizama iz zajednica te preuzimanje staništa oportunističkim vrstama,
- indirektni učinci, kao što je gubitak staništa ili skloništa i posljedično eliminacija ekološki važnih vrsta.

Toksičnost ulja je različita kod različitih vrsta ulja, ovisno o njegovom podrijetlu. Sirova nafta sadrži značajne koncentracije policikličnih aromatskih ugljikovodika (skr. PAH), kao i mnoge teške metale, što predstavlja veliku opasnost za ljude i morski biljni i životinjski svijet. Različiti stupnjevi tretiranja ulja imaju različite razine toksičnosti i hlapljivosti, pri čemu se toksičnost povećava s povećanjem hlapljivosti. Općenito, razina toksičnosti ulja odgovara gustoći ulja. Lagana ulja imaju veću toksičnost. Učinci toksičnosti ulja ovisni su o subjektu u interakciji s uljem. Primjerice, štetne posljedice za ptice nastaju ako ptice unose ulje u organizam, ili ako im se perje zaulji te im je onemogućena sposobnost letenja. Ribe i veliki morski sisavci podložni su slučajnom gutanju ili udisanju ulja ili proizvodima njegovog vremenskog trošenja, poput katrana i obalnih kuglica katrana, koji se mogu zaglaviti u dišnim putovima velikih sisavaca. Bentoski organizmi, posebice beskralježnjaci i rakovi, posebno su osjetljivi na zadržavanje ulja u njihovim rupama i na sedimentu, što ozbiljno ograničava njihovu zonu staništa. Nakon izlivanja nafte *Deepwater Horizon* akutna toksičnost ulja Macondo pronađena je u populaciji rakova i škampa.²⁷ Osim akutnih učinaka, kaskadni učinci koji oni stvaraju, postojanost nafte u okolišu može uzrokovati nastavak smrtnosti, te ometati sposobnost vrsta da se uspješno regrutiraju u zagađena područja. Na Slici 8 prikazani su tipični učinci zagađenja naftom na morske organizme u spektru, od toksičnosti do gušenja, u ovisnosti od vrste nafte i naftnih produkata.

²⁶ Effects of oil pollution on the marine environment, ITOPF, Technical information paper, London, 13, p. 4., https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_13_Effects_of_Oil_Pollution_on_the_Marine_Environment.pdf (11. 08. 2021.)

²⁷ Zhang, B. et al.: op. cit., p. 396.



Slika 8. Spektar učinaka pojedinih vrsta nafte i naftnih derivata, od toksičnosti do gušenja

Izvor: Effects of oil pollution on the marine environment, ITOPF, Tehnical information paper, London, 13, p. 4., https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_13_Effects_of_Oil_Pollution_on_the_Marine_Environment.pdf (11. 08. 2021.)

Na štetne učinke nafte i naftnih derivata morski svijet je posebno osjetljiv. Mnogi značajni učinci javljaju se u međuplimnoj zoni gdje su tipično koncentrirane velike količine nafte. U tim su područjima posebno ugrožene vrste kitnjaka, iako su osjetljive i vrste koje se sezonski oslanjaju na plaže za gniježđenje ili razmnožavanje, poput kornjača. Posljedice su promjene staništa mrijesta.

Mangrove šume su posebno osjetljive na onečišćenje uljima. Dok su, primjerice, za oporavak planktona potrebni tjedni ili mjeseci, za mangrovu šumu je potrebno 10 i više godina (Tablica 4). Mangrove su guste šumske zajednice karakteristične za bočate i plitke estuarije, koje se sastoje od cvjetnica koje dominiraju ekosustavom u sredinama između 30° sjeverne u južne geografske širine. U posljednjih 60 godina u svijetu je bilo najmanje 238 značajnih izlivanja nafte uz obale u kojima dominiraju mangrove. Ti su događaji uključivali izravno ispuštanje preko 5,5 mil. tona nafte, što je utjecalo na približno 1,94 mil. ha staništa mangrova, a uništeno je najmanje 126.000 ha mangrovih ekosustava od 1958. godine.²⁸ Mangrovi su posebno osjetljivi na naslage ulja kao i ostatke katrana koji se talože na osjetljivim površinama biljaka, utječući na kemijska svojstva tla i propusnost, što dovodi do uništenja mangrova.

²⁸ Ibidem.

Tablica 5. Indikativno razdoblje oporavka nakon zagađenja mora za različite vrste staništa

Staništa	Razdoblje oporavka
Planktoni	Tjedni/mjeseci
Pješčane plaže	1 - 2 godine
Otkrivene stjenovite obale	1 - 3 godine
Zaklonjene stjenovite obale	1 - 5 godina
Slane močvare	3 - 5 godina
Mangrove	10 godina i više

Izvor: Effects of oil pollution on the marine environment, ITOPF, Tehnical information paper, London, 13, p. 4., https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_13_Effects_of_Oil_Pollution_on_the_Marine_Environment.pdf (11. 08. 2021.)

Istraživanja su ukazala i na štetne posljedice izloženosti morskih beskralježnjaka uljnom onečišćenju mora, te gubitak staništa i biološke raznolikosti. U kontaktu s naftom, također se događaju velika oštećenja i nestanak koralja. Istraživanja pokazuju da s povećanim količinama zauljenja dolazi do smanjenja broja koralja, ukupnog pokrova koralja i raznolikosti vrsta.²⁹ Izlaganje morskih ptica izlivanju nafte često rezultira smrtnim ishodom. One su posebno ranjive jer njihov kontakt s uljem onemogućava letenje i izolacijske sposobnosti. Naknadno unošenje nafte u organizam kroz pokušaj hranjenja i konzumacije kontaminirane hrane, kao i udisanje i česta interakcija sa sučeljem zauljene vode rezultira unutarnjim trovanjem i visokom stopom smrtnosti. Promatrano kroz povijest mogu se uočiti česta bilježenja smrtnost morskih ptica, no najznačajniji događaj je Exxon Valdez. Tijekom tog izlivanja nafte, procjena izravne smrtnosti odnosila se na 250.000 morskih ptica.³⁰

Velika prijetnja izlivanja ulja u more je i za morske sisavce. Fizički kontakt s naftom pokazao je znatne negativne i smrtonosne učinke na mnoge sorte morskih sisavaca, a prisutni su i negativni učinci konzumiranja naftnih izvora hrane. Kornjače su iznimno osjetljive na posljedice izlivanja nafte. Uhvaćene u izlivanju nafte održavaju produženi fizički kontakt s plutajućim uljem, udišući zrak koji je uglavnom zasićen naftnim parama, te unoseći hranu kontaminiranu uljima ili samim lopticama katrana. Primarne opasnosti za morske sisavce su njihova nemogućnost da otkriju prisutnost mrlja od ulja, njihova konzumacija kontaminirane

²⁹ Haapkylä, J., Ramade, F., Salvat, B.: Oil pollution on coral reefs: a review of the state of knowledge and management needs, *Vie et milieu*, 57, 2007., 1/2, p. 92.

³⁰ Zhang, B. et al.: op. cit., p. 396.

hrane, slučajna konzumacija ostataka morskog katrana i fizički kontakt sa samim uljem što podrazumijeva prijanjanje ulja na kožu, oči i druga osjetljiva tijela dijelova kao i udisanje hlapljivih ugljikovodika pri probijanju.³¹

Nisu zanemarivi ni negativni učinci na mikrobne zajednice koje zbog svog raznolikog sastava pokazuju širok raspon učinaka na dodir s uljem. Uočeno je da mikrobne zajednice podvrgnute ulju imaju veći stupanj oporavka i sintezu proteina u sprezi s kompostom, čija povećana organska aktivnost rezultira povećanjem uklanjanja ulja do 88 % u odnosu na prirodne stope razgradnje. Dodatno tome, biorazgradnja je glavni čimbenik trošenja ulja u turbulentnim okruženjima. Kapljice ulja koje nastaju, osobito male kapljice u uzburkanoj vodi, pokazuju povećanu stopu biorazgradnje. Mikrobi koji razgrađuju ulje često se privlače i razmnožavaju na sučelju kapljice ulja i vode, što može dati biosurfaktante koji pospješuju stvaranje kapljica. Također mogu spriječiti koalescenciju i tako stabilizirati ulje.³² No, tehnike sanacije izlijevanja ulja mogu nanijeti štetu mikrobnim zajednicama, osobito metode štetnog djelovanja kemikalija na okoliš i fizički abrazivne tehnike pranja pod visokim tlakom koje se koriste za istiskivanje ulja.

Učinke izlijevanja nafte potrebno je razlikovati u hladnim i toplim predjelima. Ponašanje nafte u dodiru s morskom površinom u arktičkom okruženju donekle se razlikuje od ponašanja nafte u tropskim regijama, te je onečišćenja naftom teže sanirati. Arktik je nepovoljniji za procese čišćenja i karakterizira ga veća energija, što rezultira povećanim miješanjem morske vode i ulja i povećanjem transporta nafte valovima. Tropske uvjete karakterizira aktivniji raspad ugljikovodika, pa se može očekivati da će arktičko okruženje zadržati naftu dulje zbog nižih temperatura i intenziteta sunčeve svjetlosti. Osim toga, arktičko okruženje ima posebno jake valove i zamućenost, što omogućava značajne procese prirodne disperzije, kao i pojačane procese prirodne disperzije u vodenom stupcu. Postoji i otežana učinkovitost procesa koji ovise o sunčevoj energiji, poput fotooksidacije, biorazgradnje i isparavanja. U nekim područjima oni mogu biti ograničeni ili nepostojeći, dio ili cijelu godinu.³³

Ledene površine u Arktičkom oceanu svake se godine sve više smanjuju, što ukazuje na vrlo veliku osjetljivost ovog područja. Gubitak višegodišnjeg morskog leda rezultirao je povećanjem dostupnosti područja za vađenje nafte s otvaranjem mnogo sjevernijih kanala

³¹ Ibidem, p. 397.

³² Ibidem.

³³ Wang, S.D. et al.: **Three-dimensional numerical simulation for transport of oil spills in seas**, Ocean Engineering, 35, 2008., 5-6, p. 503., doi:10.1016/j.oceaneng.2007.12.00 (4. 08. 2021.)

za transport kroz Arktik. Izlivanje nafte u ovim područjima izazvanim klimatskim promjenama, promjenama okoliša i ekološkim razvojem bilo bi razorno za ove osjetljive i promjenjive ekosustave.

Uljna onečišćenja mora izazivaju i ekonomske i društvene štete. Ekonomski učinak se prvenstveno manifestira kroz trenutni gubitak vrijednosti prolivenog sadržaja, ali postoje i ekonomske štete povezane s procesom izlivanja (npr. mehanički kvar, oštećenje broda/ istjecanje na obalu), kao i izravni troškovi čišćenja pri pokušaju saniranja izgubljene nafte. Taj trošak varira ovisno o volumenu prolivene nafte i količini migracije ili širenja koja se javlja iz površinskih ili podzemnih struja i energije valova. Različite vrste ulja također će imati različite količine interakcije s okolišem i različite stope vremenskih utjecaja što utječe na njihove kasnije troškove čišćenja. Ono što će se s naftnim produktom događati u budućnosti ima veliki utjecaj na cijenu sanacije, primjerice, je li taj produkt u interakciji sa sedimentom ili je premješten, pa je čišćenje problematičnije od produkta koji je ostao u blizini mjesta izlivanja. Troškovi će također varirati ovisno o tome je li prošao opsežne prirodne procese prirodnog vremenskog trošenja ili se brzo sekvstrirao ili uvukao u vodeni stup ili sediment. Troškovi čišćenja izlivanja nafte dodatno se povećavaju kako vrijeme prolazi, a ulje se može širiti i utjecati na više područja, ističući važnost mjera brzog reagiranja.³⁴

Ekonomski učinci se mogu povećati odgađanjem sanacijskih aktivnosti. Time je, naime, omogućen razvoj postojanijih naftnih agregata i usitnjavanje unutar obala, što je izuzetno skupo i teško se uklanja, a ima dugoročne geomorfne posljedice za hidrodinamiku obalne crte.³⁵ Agregati i ostaci katrana pridonose produljenom oslobađanju otrovnih ugljikovodika, što rezultira produljenjem ekoloških utjecaja.

Izlivanje nafte može izazvati i velike gospodarske posljedice. Naime, obale su glavni izvor gospodarskih resursa, ali i područja stanovanja ljudi i turističkih aktivnosti, što pruža veliki gospodarski potencijal. Izlivanje nafte i njihovi učinci mogu imati katastrofalne gospodarske posljedice za ribarstvo i druge pomorske industrije, poput turizma, te imati zdravstvene posljedice za ljude koji dolaze u kontakt s uljnim zagađenjem mora.

Ekonomski učinci se mogu promatrati s kroz dva aspekta, neposredni troškovi povezani sa sanacijom i odgovorom na događaj izlivanja te produljenim društvenim

³⁴ Lee, K. et al.: op. cit., prema: Zhang, B.: op. cit., p. 399.

³⁵ Ibidem.

troškovima koje stanovnici imaju, a koji ovise o ekosustavima uzrokovanim izlivanjem. Troškovi nastali kroz mjere sanacije i odgovora obično s vremenom ublažavaju društveno nastale troškove. Potrebno je, međutim istaknuti da nije moguće izvesti temeljitu sanaciju posljedica izlivanja nafte, a neki kasniji ekološki i društveni troškovi su neizbježni. Naftne bušotine su obično spremne za eventualna izlivanja nafte te imaju plan njihova otklanjanja i obično se nalaze na relativno udaljenim lokacijama, smanjujući njihov izravan gospodarski utjecaj u usporedbi s izljevima tankera i izlivanjima u tranzitu.

Najveći utjecaj na troškove sanacije ima lokacija, jer izlivanje koje se dogodi blizu obale ima daleko veći potencijal da će uzrokovati ekonomske gubitke te skuplje za čišćenje od onih izliva koji ostaju na moru. Kao primjeri mogu se navesti izljevi nafte koji su se dogodili 1979. odnosno 1991. godine, izlivanje *ABT Sumner* i izlivanje *Atlantic Empress*, pri čemu su oba izliva iznosila oko 250.000 tona nafte.³⁶ Ni jedan ni drugi izjev nije imao dugotrajne društvene troškove za ljudsko društvo zbog udaljenog mjesta izlivanja stotina kilometara od obale. No, istovremeno je teže sanirati veliko izlivanje nafte na udaljenijem području zbog njegove udaljenosti od kopna, te su troškovi uklanjanja su znatno veći i variraju između 300.000 USD po toni, dok čišćenje izlivanja u blizini obale iznosi 29.000 USD po toni.³⁷ Čišćenje nafte s obalnog sedimenta i stijena pokazalo se 4-5 puta skupljim od skupljanja nafte na moru. Najekonomičnija opcija je ispumpavanje nafte iz oštećenog plovila, čiji su troškovi 100 puta manji od čišćenja obale. Količina prolivene nafte povećava troškove čišćenja za 0,718 milijuna USD za svaki 1 % povećanja količine izlivanja. Događaji izlivanja koji su dugotrajni i uzrokuju kontinuirano oslobađanje ugljikovodikovog materijala skuplji su, primjerice oni iz eksplozija bušotine ili kada je brod imobiliziran i neprestano curi. Kao primjeri se mogu navesti izlivanje *Deepwater Horizon* koje je trajalo mjesecima ili *The Prestige* i *Betelgeuse*, primjeri izlivanja imobiliziranih brodova koji su mjesecima ispuštali naftu. U oba slučaja bilo je potrebno ponavljati mjere čišćenja.

Ekonomске štete koje su ljudskom društvu uzrokovane izlivanjem nafte kao posljedicom dugotrajne ekološke štete, prvenstveno se vide u ribarstvu kao i u turizmu.

³⁶ Zhang, B. et al.: op. cit., p. 399.

³⁷ Kontovas, C.A., Psaraftis, H.N., Ventikos, N.P.: **An empirical analysis of IOPCF oil spill cost data**, Marine Pollution Bulletin, 60, p. 1455-1466., prema: Zhang, B. et al.: op. cit., p. 399.

3. TEHNOLOGIJE UKLANJANJA ULJNIH ONEČIŠĆENJA S MORA

Kako bi uklanjanje uljnih onečišćenja bilo učinkovito nužno je poznavanje karakteristika uljnog onečišćenja, kao i tehnologija koje se mogu primijeniti u određenim situacijama. Kako bi se primijenile odgovarajuće metode uklanjanja uljnih onečišćenja s mora i s obale potrebno je, prethodno, utvrditi onečišćenje mora uljima.

3.1. POSTUPCI UTVRĐIVANJA ONEČIŠĆENJA MORA ULJIMA

U primjeni je veći broj postupaka mjerenja onečišćenja mora, a koriste se u skladu s prirodom onečišćenja. Razlikuju se dvije vrste onečišćenja:³⁸ prvo, onečišćenje zauljenim vodama iz brodskih sustava i drugo, elementima štetnim ili toksičnim za morske organizme. Kod onečišćenje zauljenim vodama iz brodskih sustava primjenjuju se međunarodne konvencije, te se odgovarajuća oprema mjerenja onečišćenja mora ugrađuje u brodske sustave i druga plovila. Konvencijama su propisane dopuštene koncentracije ulja u vodama koje se mogu ispuštati u more. Za razliku od ovog oblika onečišćenja, kod kojeg je situacija poprilično jasna, a onečišćenje definirano pravnom regulativom, kod onečišćenja elementima koji mogu biti štetni ili toksični za ekosustav situacija je kompleksnija. Teški metali koji ulaze u oligoelemente mogu se odrediti u laboratoriju na više načina, primjenom odgovarajućih kemijskih i fizikalnih postupaka. No, elementi “on-line” se mogu nešto teže odrediti.

Kod određivanja stupnja onečišćenja uljima najčešće se koristi oprema na principu mjerenja intenziteta optičkog fluoresciranja zauljenih voda.³⁹ Pri tome se koristi spektrometar. Metoda optičke fluorescencije se široko primjenjuje.

Kod onečišćenja mora metalima mjerni postupak se zasniva na elementnoj analizi uzoraka, koja se provodi spektroskopijom karakterističnog rendgenskog zračenja.⁴⁰ Rendgenski spektri se sastoje od linijskog i kontinuiranog spektra koji nastaju kao posljedica

³⁸ Dobrinić, J.: **Onečišćenje mora uljima i elementima u tragovima**, Pomorski zbornik, 38, 2000., 1, p. 340.

³⁹ Ibidem, p. 340.

⁴⁰ Ibidem, p. 341.

relaksacije atomskih elektrona u uzorku, a koji se dovode u pobuđeno stanje izabranim pobudnih mehanizama, kao što su upadni ubrzani elektrodi iz katode ili zračenje iz nekog radioaktivnog izvora. Potrebno je znati da svaki element ima svojstven linijski rendgenski spektar elemenata. Na tome se zasniva metoda tzv. "otiska prsta".⁴¹ Pri tome je dovoljno na neki od odgovarajućih načina pobuditi atome, a zatim snimiti rendgenski fluorescencijski spektar te na kraju kvalitativno i kvantitativno analizirati uzorak. U slučaju kvalitativne analize treba izvršiti energetska baždarenje, a u slučaju kvantitativne analize koristiti odgovarajuće standarde količine.

3.2. METODE UKLANJANJA ULJNIH ONEČIŠĆENJA S MORA

Izlijevanja nafte razlikuje se po ozbiljnosti i opsegu štete koju uzrokuju, a što ovisi o vrsti ulja, mjestu izlijevanja i prisutnim vremenskim uvjetima. Osim toga, kako je već istaknuto, širenje i ponašanje prolivene nafte u morima ovisi o različitim kemijskim, fizičkim i biološkim procesima. Nakon izlijevanja, nafta ima tendenciju širenja po morskoj površini i započinju prirodni procesi isparavanja, emulzifikacije (stvaranja emulzije) i disperzije.⁴² Vrijeme u kojem će nafta ispariti ovisi o temperaturi i morskim uvjetima te veličini izljeva. Kod lakših produkta potrebno je dva dana da nafta ispari s površine morske vode, kod težih taj je rok 2-5 dana, a kod srednje teških 5-10 dana. Teški naftni produkti vrlo sporo isparavaju, no s vremenom ipak će ispariti s površine morske vode. Za prirodni proces nestajanja ulja u moru potrebno je određeno vrijeme, a tijekom tog razdoblja, u ovisnosti o dimenzijama zagađenja, mogu nastati velike ekološke štete na morski okoliš, pa se primjenjuju odgovarajuće metode uklanjanja kako bi se suzbile prijetnje koje izlijevanje nafte može predstavljati morskom ekosustavu. Upotreba odgovarajuće metode ovisi o slučaju do slučaja. Poznavanjem karakteristika onečišćenja mora uljem i tehnologije za uklanjanje uljnih onečišćenja, te pravovremenim reagiranjem na onečišćenja mogu se negativni učinci onečišćenja svesti na minimum.

⁴¹ Ibidem, p. 341.

⁴² Vrančić, T.: **Zagađivanje mora naftom i naftnim derivatima**, Građevinar, 63, 2010., 8., p. 759.

Nakon izlivanja ulja u mora proces kontrole i sanacije potrebno je provesti u što kraćem vremenu, ovisno o klimatskim i geografskim uvjetima, svojstvima izljeva nafte i dr. čimbenicima. Na temelju prikupljenih podataka o izljevu nafte, organizira se potrebna oprema i stručni kadar koji će rukovoditi izljevom. Izljev je potrebno lokalizirati, a potom na temelju podataka o vjetru, morskim strujama, valovima i drugim uvjetima na moru, definirati smjer kretanja ulja. Tehnologiju koja će se primijeniti određuje veći broj čimbenika, među kojima su geografski položaj, klimatski uvjeti, raspoloživa oprema, stručno osoblje, financijska sredstva i dr. Proces uklanjanja uljnih onečišćenja mora odvijati se kroz nekoliko faza. Prva faza podrazumijeva uklanjanje samog izvora onečišćenja, zatim slijedi sprječavanje daljnjeg širenja onečišćenja i sanacija zahvaćenog dijela površinskog sloja mora. U slučaju ako su štete od izljeva ulja u morski okoliš došle do obale onda je potrebna i njena sanacija. Prikupljeni otpad nastao sanacijom morskog okoliša i obale od izljeva ulja u more potrebno je, na kraju, adekvatno zbrinuti.

Kako bi se prevenirala izlivanja nafte iz tankera propisani su uvjeti koje tanker mora zadovoljiti određenje konstrukcijske i sigurnosne uvjete da bi mogao biti sposoban za plovidbu i prijevoz nafte. U slučaju nezgoda koje uzrokuju tankeri potrebno je u prvom redu spriječiti daljnji izljev nafte, lokalizirati područje i potom ga sanirati. Ako je izvor onečišćenja oštećeni tank, onda je potrebno mjesto curenja zatvoriti a teret prebaciti u druge, neoštećene tankove. Potom je potrebno brod teglenicama udaljiti s mjesta nesreće. Izljev se, u skladu s vremenskim prilikama, treba lokalizirati, odnosno potrebno je spriječiti njegovo daljnje širenje i omogućiti prikupljanje izljeva. Tehnologije koje se pri tome primjenjuje najčešće su kombinirane, a prikupljenu naftu je potrebno skladištiti i, ako je moguće, odvojiti je od vode, kako bi se dio nafte mogao upotrijebiti.

3.2.1. Prirodni oporavak

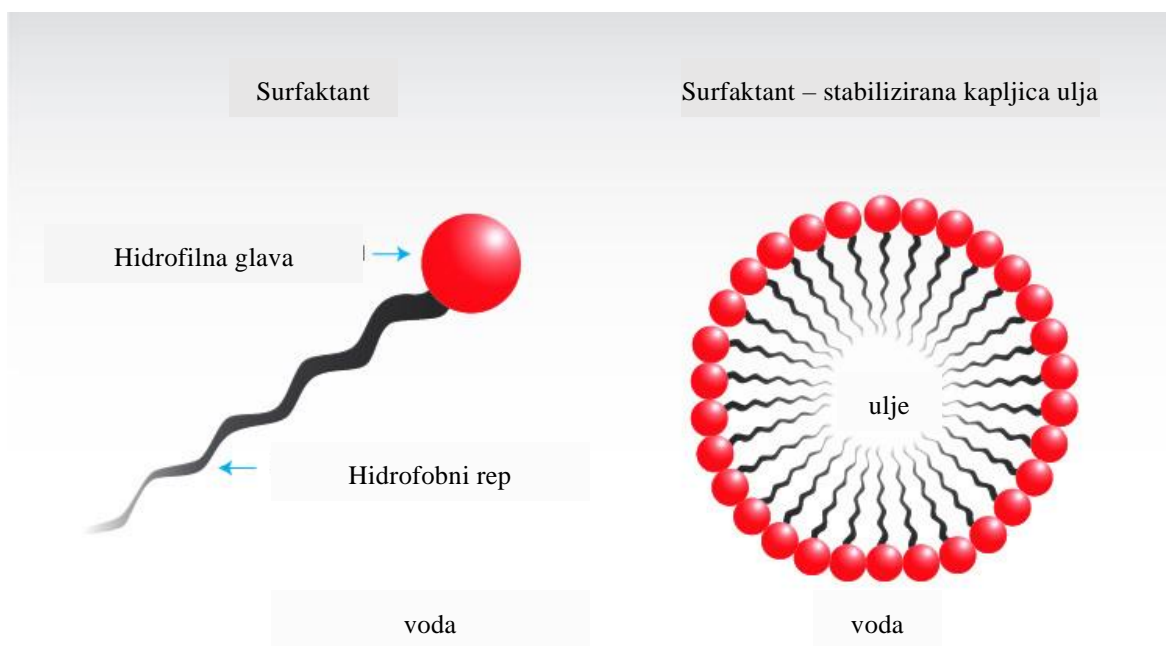
Prirodni oporavak podrazumijeva da nema pokušaja uklanjanja nasukanog ulja niti se radi smanjenja utjecaja na okoliš niti zbog toga što ne postoji učinkovita metoda čišćenja. Ulje se jednostavno ostavlja na mjestu kako bi se prirodno razgradilo. Primjenjuje se kada su brzine prirodnog uklanjanja ulja velike, npr. kod isparavanja benzina, visokoenergetskih obala, kad je stupanj zauljenja nizak ili kada će aktivnosti čišćenja imati veće štete od prirodnog oporavka

3.2.2. Kemijske i biološke metode

Kemijske metode uklanjanja uljnih onečišćenja mora uključuju: metodu raspršivanja i demulgatore (razbijanje emulzije ulja). Ove metode djeluju na molekularnoj razini. Biološki agensi imaju potencijal pomoći u oporavku u osjetljivim područjima, poput obala i močvara.

3.2.2.1. Raspršivači

Raspršivači ulja su kemijska sredstva koja djeluju na isti način kao i tekućine za pranje posuđa. U jednim i drugima su sadržane molekule površinski aktivnih tvari, odnosno molekula koje imaju hidrofilnu glavu koju privlače molekule vode i hidrofobni rep koji odbija vodu i istovremeno se veže za ulje i mast (Slika 9.). Rezultat ovih suprotnih sila je da se ulje razbije u sitne kapljice suspendirane u vodi.



Slika 9. Djelovanje raspršivača ulja na uljni izljev u moru

Izvor: Science Learning Hub, Surfactants, <https://www.sciencelearn.org.nz/images/1291-surfactants> (18. 08. 2021.)

Raspršivači smanjuju međufaznu napetost ulja i vode, olakšavajući valovima razbijanje ulja na veći broj manjih čestica. Također sprječavaju ponovno raspršivanje raspršenih čestica i stvaranje većih, živahnijih kapljica koje isplivaju na površinu, ponovno stvarajući sjaj.

Raspršivači u biti, pomažu prirodno raspršivanje ulja na još manje čestice koje se razgrađuju u vodi. Naime, sva okruženja sadrže prirodno prisutne mikrobe koji se hrane i razgrađuju sirovu naftu. Iako se time čestice ulja ne uklanjaju, raspršivači pomažu biorazgradnju stvaranjem sitnih kapljica ulja (<100 mikrona), čineći ih dostupnima za razgradnju mikroba, te pružaju mjeru zaštite za osjetljiva staništa ugrožena površinskom mrljom ulja. Vjetar, struja, djelovanje valova i drugi oblici turbulencije pomažu procesima raspršivanja i razgradnje ulja. Učinkovitost se smanjuje širenjem mrlje i s promjenama vremenskih prilika.

Ulja manje viskoznosti podložnija su prirodnom i kemijskom raspršivanju u odnosu na ulja veće viskoznosti, kao što je primjerice lož ulje.⁴³ Korištenje kemijskih raspršivača kao alata za čišćenje izlivanja nafte obrazlaže se time što se tako smanjuje transport nafte vjetrom do gospodarski važnih obalnih voda i osjetljivih staništa razbijanjem površinske mrlje ulja u male kapljice kako bi se olakšao transport ulja u vodeni stup. Tako se smanjuje izloženost površinskih morskih organizama izljevu ulja (primjerice, morskih ptica). Osim toga, u vodenom stupcu ulje se može razrijediti do koncentracije ispod graničnih granica toksičnosti rezidentne biote.⁴⁴ Mikrobni napad ulja događa se na sučelju ulje-voda, pa stvaranje kapljica također povećava stope biološke razgradnje zaostalog ulja.

Jedan od oblika prirodne disperzije prisutan je kada mikroorganizmi, osobito razgrađivači alkana, proizvode vlastite bio-surfaktante, koji su po načinu djelovanja slični sintetskim tenzidima u kemijskim raspršivačima, čime se smanjuje međufazna napetost između ulja i vode, otapaju ugljikovodici i tako olakšava njihov unos preko membrane u stanicu u metaboličke svrhe.⁴⁵

Posebno formulirani proizvodi koji sadrže površinski aktivne tvari raspršuju se (u koncentracijama 1–5 posto volumena ulja) iz zrakoplova (Slika 10.) ili čamaca na mrlje.

⁴³ Boufadel, M. et al.: op. cit., p. 217.

⁴⁴ Ibidem, p. 217.

⁴⁵ Ibidem, p. 218.



Slika 10. Djelovanje kemijskim raspršivačima na uljne mrlje iz zraka

Izvor: Boufadel, M. et al.: The Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into Aqueous Environments, The Royal Society of Canada, The Academies of Arts, Humanities and Sciences of Canada, Ottawa, 2015., p. 218.

Većina je kemijskih raspršivača formulirana za upotrebu na moru, budući da su otopljeni dvovalentni kationi u morskoj vodi (osobito kalcij i magnezij) dio učinkovitosti raspršivanja. Posljednjih godina se razvijaju i nove tehnike raspršivanja, kao što je podmorsko ubrizgavanje raspršivača. Ova se tehnika koristila kako bi se pristupilo sanaciji izlivanja nafte *Deepwater Horizon*, te je imala važnu ulogu ne samo u zaštiti okoliša već i u očuvanju zdravlja i sigurnosti radnika na plovilima koja su djelovala na obuzdavanju izljeva.

3.2.2.2. *Demulgatori*

Kemijskom demulgacijom se uvodi kemijska tvar u emulziju koja odvaja vodu od ulja “razbijanjem” emulzije. Površinski aktivni spojevi migriraju na sučelje ulje-voda, puknu ili oslabe film te povećaju koalescenciju.⁴⁶ Dodavanjem demulgatora u niskim koncentracijama može se olakšati odvajanje ulja i vode jer suzbijaju učinke emulgatora koji su prirodno

⁴⁶ DeCola, E., Hall, A., Popovich, M.: Assessment of Demulsification and Separation Technologies for Use in Offshore Oil Recovery Operations, Report to Bureau of Safety and Environmental Enforcement, Washington, 2018., p. 26.

prisutni u ulju.⁴⁷ Tako se sprječava nastanak emulzije vode u ulju. Stvaranje emulzije vode u ulju može doći do problema u čišćenju izljeva nafte, jer se emulzijom stvara i do tri puta više materijala koji je potrebno sakupiti, odložiti i skladišti, a time se povećavaju troškovi čišćenja izljeva nafte u more. Osim toga viskoznost emulzije vode u ulju može biti takva da ih sakupljači i pumpe ne mogu obraditi. Primjenom emulgatora na separatorima ulja i vode smanjuje se količina prikupljene vode, čime se poboljšava učinkovitost prikupljanja ulja. Međutim, učinkovitost uporabe emulgatora uvelike ovisi o svojstvima ulja, uvjetima okoliša, metodi primjene i vremenu izlijevanja ulja u morski okoliš.

3.2.2.3. Bioremedijacija

Bioremedijacija se može shvatiti kao iskorištavanje sposobnosti mikroorganizama onečišćene tvari, poput naftnih ugljikovodika, pretvore u biomasu, ugljični dioksid, vodu i bezopasne krajnje oksigenirane produkte.⁴⁸ Prirodni mikroorganizmi su širom rasprostranjeni u morskom okruženju, pa je njihov kapacitet u razgradnji naftnih ugljikovodika ogroman.⁴⁹ Dodavanjem mikrobnih zajednica u ulje postiže se njegova razgradnja. Mnogi su ugljikovodici biorazgradivi u aerobnim uvjetima, pa je bioremedijacija održiva tehnika čišćenja izljeva nafte u more, pri čemu je potrebno voditi računa da se laka sirova nafta lakše biorazgrađuje od razrijeđenog bitumena i teških rafiniranih proizvoda, poput lož ulja. Tijekom povijesti, evolucija brojnih različitih mikroba razvila je sposobnost katabolizacije naftnih ugljikovodika koji se koriste kao izvor ugljika i energije za stvaranje i rast novih mikrobnih stanica. Autohtone bakterijske populacije u morskim ekosustavima mogu napasti većinu kemijskih spojeva sadržanih u sirovoj nafti. Dok jedni mikroorganizmi razgrađuju alkane i druge zasićene ugljikovodike, drugi razgrađuju aromatične ugljikovodike, treći policikličke aromatske ugljikovodike veće molekulske mase, četvrti višu klasu ugljikovodika.⁵⁰ Ulaskom nafte u morsko okruženje, konzorcij različitih bakterijskih vrsta djeluje zajedno razbijajući zagađujuću kompleksnu smjesu ugljikovodika na ugljikov dioksid, vodu i neaktivne sastojke.

⁴⁷ Ivshina, I.B. et al.: Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies, *Environmental Science: Process & Impacts*, 17, 2015., 7., p. 1207.

⁴⁸ Boufadel, M. et al.: op. cit., p. 209.

⁴⁹ Ivshina, I.B. et al.: op. cit., p. 1209.

⁵⁰ Ibidem, p. 1209.

Biorazgradnja u mnogim slučajevima može dovesti do ublažavanja toksičnih učinaka izljeva ulja, no uvjeti okoliša nije uvijek takvi da dovedu do brze reakcije biorazgradnje. U slučajevima velikih izlivanja nafte s tankera i eksplozije bušotina, biološka razgradnja ugljikovodika je prespora da bi se spriječile ekološke štete. No, bioremedijacijom taj je proces moguće ubrzati.

U bioremedijaciji se koriste dva primarna pristupa: bioaugmentacija i biostimulacija.⁵¹ Bioaugmentacija je dodavanje egzogene zalihe mikroorganizama koji razgrađuju ulje (uzgojenih izvan mjesta ili u laboratoriju) u okoliš pod utjecajem ulja kako bi se nadopunili (povećali) postojeći mikrobne populacije i ubrzavalo biorazgradnju. Pri tome se formulacije koje sadrže specifične mikrobe koji razgrađuju ugljikovodike dodaju u nauljeno područje jer ima malo autohtonih razgraditelja ugljikovodika ili oni koji su prisutni ne mogu učinkovito razgraditi ulje. Budući da mikrobi zahtijevaju dušik i fosfor za pretvaranje ugljikovodika u biomasu, pripravci koji sadrže te razgraditelje ulja moraju također sadržavati odgovarajuće hranjive tvari. U znanstvenoj literaturi nije dokazano da je bioaugmentacija učinkovita u slučaju izlivanja nafte kada se primjenjuje na terenu. Maksimalni broj mikrobioloških organizama koji se može postići odredit će najveću brzinu biorazgradnje. Ako je dodatak hranjivih tvari dovoljan za povećanje te stope, bioaugmentacija neće dodatno povećati stopu biološke razgradnje. To navodi na zaključak da je bioaugmentacija manje učinkovita od biostimulacije jer: 1) su razgraditelji ugljikovodika sveprisutni u prirodi, a kad dođe do izlivanja nafte, priljev nafte uzrokovat će trenutno pojačan odgovor u populaciji koja razgrađuje ugljikovodike, ali, 2) ako je hranjivih tvari u ograničenoj opskrbi, brzina biorazgradnje ulja bit će manja od optimalne, stoga će 3) opskrba hranjivim tvarima poboljšati proces koji je započeo izlivanjem, ali dodavanje mikroorganizama neće, jer im još uvijek nedostaje dušika i fosfora za potporu rastu.⁵²

Biostimulacijom se opisuje dodavanje hranjivih tvari ili drugih kemikalija koje ograničavaju rast, poput akceptora elektrona, kako bi se ubrzala biorazgradnja od strane autohtonih mikrobnih zajednica koje su već prisutne. U ovom slučaju tekući proizvodi se razrjeđuju u vodi i nanose prskanjem ili sustavima za ubrizgavanje. Suhi proizvodi mogu se

⁵¹ Boufadel, M. et al.: op. cit., p. 209.

⁵² Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, 2010., p. 36., <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/resources/characteristics-response-strategies.html> (8. 08. 2021.)

nanositi ručno ili sustavima za prskanje u prahu. Oleofilna gnojiva uredno se prskaju izravno na nauljenu površinu. Učestalost dodavanja hranjivih tvari određuje se praćenjem pore vode tako da su koncentracije nitrata-N u rasponu od ~ 2-10 mg/L. Primjenjuje se samo onda kada hranjive tvari ograničavaju stope prirodne biorazgradnje.

Bioremedijacija je korištena u slučaju čišćenja obala zahvaćenih izlivanjem nafte *Exxon Valdez*. Pri tome se u bioremedijaciji koristilo gnojivo za povećanje koncentracije dušika i fosfora kojima je morska voda slaba, a koji su potrebni za rast mikroorganizama. Korištenje bioremedijacije poboljšane gnojivom nadopunilo je fizičko čišćenje nafte, te je nanoseno na površinske i podzemne porozne sedimente. Proces mikrobne obrade razvijen bioremedijacijom prvi je put primijenjen u slučaju izlivanja *Exxona Valdeza* u punom opsegu. U razdoblju od 1989. do 1991. godine upotrijebljeno je 48.400 kg dušika i 52.000 kg fosfora, što je uključivalo 2.237 zasebnih primjena gnojiva na obali. Monitoring je pokazao srednji gubitak mase zastale nafte od oko 28 % godišnje na površinska ulja i 12 % godišnje za podzemno ulje.⁵³

Značajke bioremedijacije ukazuju da je riječ o zelenoj tehnologiji uklanjanja uljnih onečišćenja s mora.

3.2.3. Spaljivanje

Tehnika spaljivanja (*in-situ*) koristi se u hitnim intervencijama za brzo smanjenje mase izljeva nafte na mjestu, uključujući kontrolirano sagorijevanje nafte koja se izlila u morski okoliš.⁵⁴ Tijekom spaljivanja ulja na moru, ulje na površini mora hvata se vatrootpornu plutajuću branu koju vuku dva broda u nekonfiguraciji i pali se pomoću upaljača (Slika 11.). Upaljači mogu biti visoko specijalizirani do vrlo jednostavnih uređaja koji se mogu izraditi na licu mjesta od općenito dostupnih dijelova. Među najsofisticiranijima su uređaji za helikoptere koji ispuštaju pakete sagorijevanja, geliranog goriva i proizvode temperaturu od 800°C.

⁵³ Ivshina, I.B. et al.: op. cit., p. 1209.

⁵⁴ Boufadel, M. et al.: op. cit., p. 207.



Slika 11. Sagorijevanje plutajućeg ulja kao mjera kontrole izlivanja ulja

Izvor: Boufadel, M. et al.: The Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into Aqueous Environments, The Royal Society of Canada, The Academies of Arts, Humanities and Sciences of Canada, Ottawa, 2015., p. 208.

Učinkovitost gorenja vrlo je promjenjiva i uvelike je funkcija debljine ulja. Za sagorijevanje ulja na vodi mrlje moraju biti deblje od 1-2 mm. Mrlja ulja od 2 mm koja gori do 1 mm, sagorijeva manje učinkovito nego mrlja ulja debljine 20 mm koja gori do 1 mm. Tijekom sagorijevanja ne izgara samo tekućina, već se zapale i izgore pare ulja. Kad je sloj ulja tanji od ~1 mm, voda gubi toplinu, ne oslobađa se dovoljno para i sagorijevanje prestaje. Spaljivanje *in-situ* je preporučljivo koristiti u relativno mirnim uvjetima, jer nemirno more može potpuno ugasiti vatru. Kad je struja jača od oko jednog čvora, grana ne može sadržavati ulje koje prska iznad nosača ili provlači se ispod njega. To se obično događa kada se grane postavljaju okomito na protok vode. U slučaju kad je emulzija voda u ulju preko 50 %, spaljivanje će biti spriječeno, čak i kod lakih sirovih proizvoda ili rafiniranih proizvoda, a za teže sirove tvari je potrebno i dvostruko manja količina emulzije.

Pod povoljnim uvjetima spaljivanje je brz, učinkovit i relativno jednostavan način uklanjanja prolivenog ulja iz vode kako bi se minimizirao štetan utjecaj plutajućeg ulja na okoliš. Nadalje, uvelike smanjuje potrebu za skladištenjem i odlaganjem prikupljene nafte i otpada koji stvara. Nedostaci ove tehnike uklanjanja izljeva ulja vide se u tome što sagorijevanjem ulja nastaju ostaci (otprilike 1-5% početnog ulja) iz nepotpuno sagorjelog

ulja i emisije plinova u atmosferu, što može imati štetne posljedice na okoliš, posebice u slučaju potonuća taloga.

3.2.4. Mehaničke metode

Mehaničke metode su primarna linija obrane od izlivanja nafte. Mehaničkom uporabom se najčešće može postići funkcionalna učinkovitost od 10 do 30 %, pri čemu se povremeno postižu razine od 50 % i veće (78 % u izlivanju *Julie N*, do 95 % u izlivanju *Burnaby* 2007. godine u Britanskoj Kolumbiji.⁵⁵

Oprema za zadržavanje i uporabu uključuje razne plutajuće brane, sakupljače, kao i prirodne i sintetičke upijače materijale.

3.2.4.1. Plutajuće brane

Brane su privremene plutajuće barijere koje se koriste kako bi se zadržalo izlivanje ulja u more. Smatraju se prethodnicom kontrole izlivanja. Plutajuća brana se postavlja na vodu, u svrhu:⁵⁶

- zadržavanja ulja – upotreba brane za zadržavanje i koncentraciju ulja dok se ne ukloni,
- otklanjanja ulja - podrazumijeva odmicanje ulja od osjetljivog područja,
- preusmjerenja ulja – preusmjerenjem se nafta kreće prema mjestima za uporabu koja imaju sporiji protok, bolji pristup i dr.,
- izuzimanje ulja – postavljanje brane kako bi se spriječilo da ulje dopre do osjetljivog područja.

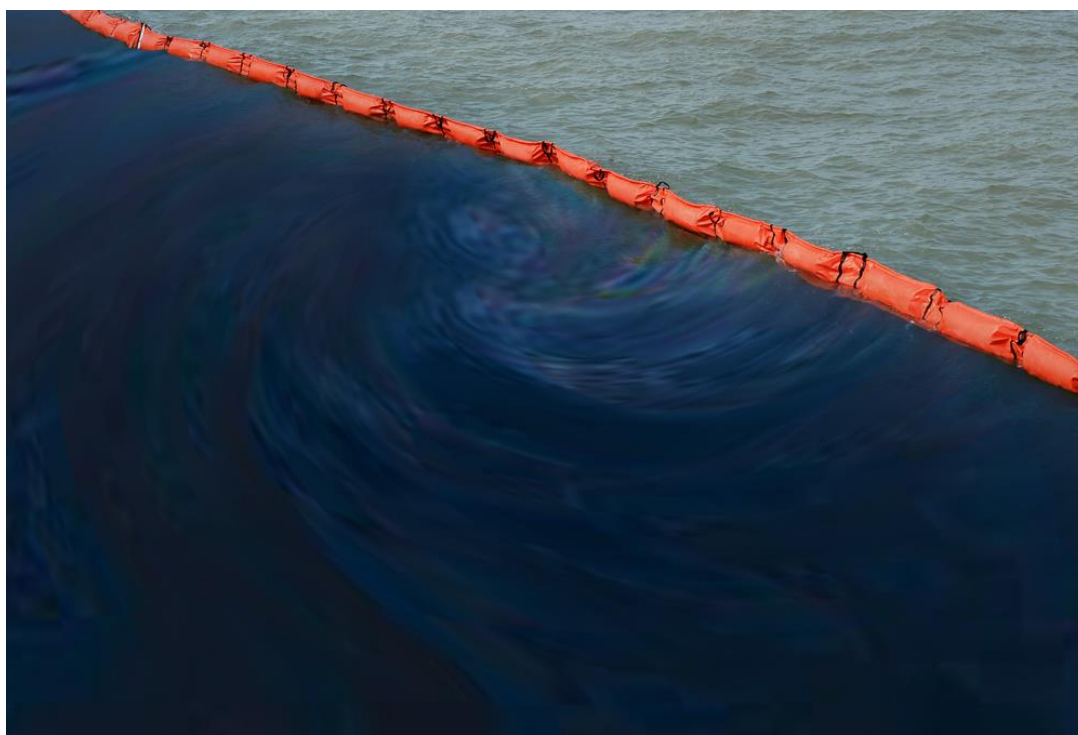
⁵⁵ Ibidem, p. 196.

⁵⁶ Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments, op. cit., p. 39.

Grane se obično razlikuju po dizajnu, ali sve obično sadrže sljedeće:⁵⁷

- branu iznad površine vode za zadržavanje ulja i prevenciju zapljuskivanja valova po vrhu uljne mrlje,
- plutajući uređaj,
- suknu ispod površine vode koja zadržava ulje i minimalizira gubitke ulja ispod brane,
- uzdužnu podršku, poput lanca ili kabela za ojačanje brane od djelovanja valova i vjetra.

Plutajuće brane se izrađuju od plastike (obično morski PVC ili uretan s oblikovanom polietilenskom školjkom), metala (za sagorijevanje na licu mjesta), upijajućih materijala ili drugog materijala koji imaju cilindrični plovak na vrhu s ponderiranom suknom ispod vode, koja usporava i hvata ili zadržava širenje ulja (Slika 12.). Brane mogu biti različitih oblika i veličina, od kojih su mnoge prikladne za posebne vrste uvjeta na moru. Obično se postavljaju pomoću sustava za vezivanje, kao što su sidra.



Slika 12. Plutajuća brana

⁵⁷ Ivshina, I.B. et al.: op. cit., p. 1209.

U primjeni su sljedeće brane:⁵⁸

- otklanjajuće brane – koriste se za odvlačenje nafte s osjetljivih mjesta, poput staništa školjki ili plaža koje ptice koriste za gniježđenje,
- brane za spaljivanje ulja – koriste se za skupljanje uljnih mrlja i njihovu koncentraciju u debljine prikladne za gorenje. Obično se izrađuju s plutajućim metalnim cilindrom na vrhu koji podržavaju nosač i suknu izrađene od vatrootpornog materijala
- upijajuće brane poznate i kao 'špageti' ili 'kobasice', koriste se za skupljanje gustog ulja u tekućim vodama. Sastoje se od upijajućih traka u unutrašnjosti nosača koje sadrže mreže otvorenih ćelija. Ova vrsta brana omogućuje ulju dublje prodiranje u unutrašnjost, što povećava upijanje i sprječava širenje s mjesta izlijevanja.

Većina brana dobro se ponaša na mirnom moru, no probleme im stvaraju valovi veći od 1-1,5 metara i plime brže od jednog čvora na sat. Pod tim uvjetima dolazi do smanjenja učinkovitosti primjene plutajućih brana, zbog prodora vode preko brane ili mogućeg izlaska ulja ispod brane. Osim toga, ako brzina vuče brane ili količina koncentriranog ulje, ili oboje, prelazi određene kritične vrijednosti, kondenzirano ulje će iscuriti ispod plutajuće brane. Nove izvedbe otvorenih oceanskih brana sposobne su zadržati naftu pri brzinama vuče većim od tri čvora.

3.2.4.2. Sakupljači ulja

Sakupljači ulja (*skimeri*) su čamci i drugi uređaji (npr. brane) namijenjeni za uporabu nafte s površine mora (Slika 13.). Svaka vrsta sakupljača ulja ima svoje karakteristike i ograničenja u postupanju u odnosu na viskoznost, stanje mora i krhotine. Obično se koriste u kombinaciji s branama. U tom slučaju dva čamca vuku branu za prikupljanje radi

⁵⁸ Boufadel, M. et al.: op. cit., p. 197.

koncentriranja ulja radi lakše uporabe. Visoki valovi mogu ugroziti sposobnost zadržavanja brana i sakupljača ulja da ostanu u kontaktu s uljem.



Slika 13. Sakupljač uljnog izljeva nakon *Deepwater Horizon*

Izvor: Boufadel, M. et al.: The Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into Aqueous Environments, The Royal Society of Canada, The Academies of Arts, Humanities and Sciences of Canada, Ottawa, 2015., p. 208.

Uobičajeno su u uporabi tri vrste sakupljača ulja:⁵⁹

- *weir* sakupljači – skloni su zaglavljivanju ili začepljenju plutajućim krhotinama,
- oleofilni sakupljači – imaju pojaseve ili kontinuirane lance napravljene od oleofilnih materijala koji uklanjaju ulje s vodene površine i učinkoviti su u prisustvu krhotina ili leda,
- usisni sakupljači – djeluju slično usisavaču, pa su skloni začepljenju.

Sakupljači poput *weir* sakupljača mogu biti učinkovitiji za ulja visoke viskoznosti, poput razrijeđenog bitumena, dok sakupljači s premazima koji privlače ulje mogu biti prikladniji za konvencionalna izlivanja sirove nafte. *Weir* sakupljači zahvaćaju velike količine vode, pa su prikladni za ulja veće viskoznosti. Oni koriste drugačiju metodu prikupljanja ulja od drugih sakupljača. Sakupljači plutaju bliže površinskoj mrlji na kojoj

⁵⁹ Ivshina, I.B. et al.: op. cit., p. 1209.

weir prikuplja naftu, a još uvijek dopušta protok vode. Neki sakupljači za brane koriste flotacijski sustav s četiri ravnomjerno raspoređena plovka koji pomažu da se gudala prilagode promjenjivoj razini vode. Ova vrsta sakupljača može se povezati s pumpom ili vakuumskim sustavom za brzo odvajanje i uklanjanje plutajućeg ulja. *Vortex* sakupljači koriste inducirani vrtlog za odvajanje ulja od vode na temelju njihovih razlika u gustoći.⁶⁰

Potrebno je istaknuti da viskoznost utječe na učinkovitost gotovo svih uređaja za uporabu, pa će korištenje demulgatora značajno poboljšati učinkovitost sakupljanja nafte. Uobičajeno, *weir*, *vortex*, oleofilna užad i diskovi obično su ograničeni na uporabu s uljima najveće viskoznosti 10.000 cSt, dok su vijčani, remenski i zračni transportni uređaji mogu raditi s uljem viskoznosti do 100.000 cSt.⁶¹

Ograničenje sakupljačima u sakupljanju nafte iz izljeva čine visoki valovi, turbulencije i drugo.

3.2.4.3. *Uljni upijači*

Uljni upijači (*sorbenti*) su oleofilni materijali koji upijaju ulje i odbijaju vodu. Postoje tri klase upijača:⁶²

- 1) organski (otpadni poljoprivredni proizvodi),
- 2) mineralni (vermikulit, zeoliti, aktivni ugljen i organo-gline),
- 3) sintetički (polipropilen i poliuretan).

Međusobno se razlikuju po mogućnosti recikliranja, vlažnosti, gustoći, geometriji i sposobnosti apsorpcije.

Prirodni organski upijači uključuju tresetnu mahovinu, slamu, sijeno, piljevinu, mljevene klipove kukuruza, perje i druge lako dostupne proizvode na bazi ugljika.⁶³ Organski upijači mogu adsorbirati između 3 i 15 puta veću težinu u ulju, ali postoje nedostaci u njihovoj uporabi. Neki organski upijači imaju tendenciju adsorbirati vodu kao i ulje,

⁶⁰ Ibidem, p. 1209.

⁶¹ Ibidem, p. 1209.

⁶² Ivshina, I.B. et al.: op. cit., p. 1210.

⁶³ Mechanical Containment and Recovery, <https://web.archive.org/web/20100507135220/http://www.mms.gov/tarprojectcategories/mechanic.htm> (11. 08. 2021.)

uzrokujući potapanje upijača. Mnogi organski upijači su labave čestice poput piljevine i teško ih je sakupiti nakon što se razliju po vodi. Ovi se problemi mogu ublažiti dodavanjem plutajućih uređaja, kao što su prazni bubnjevi pričvršćeni na balama sijena kako bi ih održali na površini, te omotavanjem rastresitih čestica u mrežu za lakše prikupljanje.

Prirodni anorganski upijači se sastoje od materijala poput gline, perlita, vermikulita, staklene vune, pijeska ili vulkanskog pepela. Oni mogu apsorbirati 4 do 20 puta veću težinu u ulju. Anorganski upijači poput organskih upijača, jeftini su i lako dostupni u velikim količinama. Ove vrste upijača se ne koriste na površini vode.

Sintetički upijači uključuju umjetne materijale koji su slični plastici, poput poliuretana, polietilena i polipropilena dizajniranih za adsorpciju tekućina na njihovu površinu poput spužve. Ostali sintetički upijači uključuju umrežene polimere i gumene materijale, koji upijaju tekućine u svoju čvrstu strukturu, uzrokujući bubrenje upijajućeg materijala. Većina sintetičkih upijača može upiti 70 puta vlastitu težinu u ulju

Problem s upijačima je u tome što njihova upotreba može biti naporna i dugotrajna. Povećanje gustoće ulja i emulzije s vremenom će značajno smanjiti razliku u uzgonu između prolivenog proizvoda i morske vode, a kasnije će se smanjiti uzgon upijača. Nadalje, promjene u viskoznosti emulzije, koje su posljedica isparavanja ulja i emulgiranja, ometaju učinkovitost upijača.

3.3. UKLANJANJE ULJNIH ONEČIŠĆENJA S OBALE

Uklanjanje uljnih onečišćenja s obale razlikuje se od uklanjanja uljnih onečišćenja s mora, jer: nasukano ulje općenito ostaje na mjestu ili se relativno sporo kreće te aktivnosti na kopnu obično manje ovise o vremenskim prilikama od aktivnosti na vodi, a postoje i različiti čimbenici sigurnosti i izvedivosti koje treba uzeti u obzir. Uklanjanje uljnih onečišćenja s obale može biti dugotrajno (dani-tjedni-mjeseći), pa je uobičajena praksa integriranje i kombiniranje više mogućnosti zaštite i čišćenja obale u strategije koje se provode istovremeno (obuzdavanje i oporavak često se odvijaju uz različite metode čišćenja obale).

Osnovni cilj zaštite obale je spriječiti ili svesti na najmanju moguću mjeru kontakt između nafte i obalnog područja (ili ugroženog resursa u zoni). U tu svrhu kombiniraju se aktivnosti, tehnike i oprema za:⁶⁴

- uklanjanje prljavštine s obale prije nego što se ulje ispere na obalu,
- zadržavanje i uporaba plutajuće nafte prije udara u obalu,
- odbacivanje nafte dalje od obale,
- hvatanje ili zadržavanje i sakupljanje nafte na obali,
- sprječavanje da se nasukano ulje ponovno ulije u more i utječe na susjedna područja, i
- sprječavanje ispiranja nafte preko plaže u lagunu ili obalno područje.

Za nauljenu obalu, glavni cilj oporavka često je vraćanje nauljene obalne zone u stanje “čistog” prije izlijevanja. No, definiranje određene razine “čistoće” za svako izlijevanje je različito (ili čak različito za različite faze unutar pojedinih sanacija) i, iako oporavak obično uključuje uklanjanje dijela ulja i dok se preostali dio ulja ili ostatak prepušta prirodnoj razgradnji, može se dogoditi i da je prirodna razgradnja najbolji način djelovanja. Osim toga, konačne razine dopuštenih koncentracija ulja mogu se i trebaju odrediti konsenzusom (uzimajući u obzir ukupne posljedice na okoliš) tijekom planiranja nepredviđenih situacija i mapiranja osjetljivosti prije bilo kakvog izlijevanja. Kroz taj proces je potrebno uravnotežiti sukobljene ekološke i društveno-ekonomske čimbenike. Smanjenje ukupnih posljedica na okoliš na učinkovit i učinkovit način obično zahtijeva kombinaciju tehnika, uključujući:⁶⁵

- prirodni oporavak,
- fizičko pranje/ispiranje,
- fizičko uklanjanje,
- fizički *in-situ* tretman (uključujući spaljivanje),
- kemijski ili biološki tretman.

⁶⁴ Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments, op. cit., p. 71.

⁶⁵ Ibidem, p. 38.

4. PRAVNI OKVIR ZAŠTITE MORA OD ONEČIŠĆENJA ULJEM

Opasnosti prouzročene velikim brojem čimbenika, a posebice rastom broskog prometa i istraživanja nafte u morskom okruženju, utjecale su da se vlade širom svijeta odluče na pravnu regulaciju zaštite svog teritorijalnog mora, ali i da na globalnoj razini sudjeluju u donošenju odgovarajućeg pravnog okvira za zaštitu mora od daljnjih štetnih djelovanja.

4.1. ZAKONSKA REGULATIVA U REPUBLICI HRVATSKOJ

U Hrvatskoj se dogodilo nekoliko većih izljeva ulja u more. Među najtežima su ispuštanje stirena s broda u luci Gaženica, istjecanje ugljikovodika u Soliku, pucanje cjevovoda i izlivanje mazuta iz Polikema u Zadru, istjecanje mazuta iz Dalmacijacementa u Kaštel Sućurcu i dr.⁶⁶

Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj koja uređuje pitanje očuvanja morskog okoliša u Republici Hrvatskoj odnosi se na cijeli niz propisa koji su donijeti na temelju ratifikacija relevantnih međunarodnih konvencija, među kojima su: Zakon o zaštiti okoliša, Pomorski zakonik te Zakon o pomorskom dobru i morskim lukama.

Uredbom o standardu kakvoće vode uređuju se kakvoća površinske vode, uključujući i priobalne vode i vode teritorijalnog mora te podzemne vode, posebni ciljevi zaštite voda, kriteriji za utvrđivanje ciljeva zaštite voda, uvjeti za produženje rokova za postizanje ciljeva zaštite voda, elementi za ocjenjivanje stanja voda, monitoring stanja voda i izvještavanje o stanju voda.⁶⁷ U svrhu preventivnog djelovanja na zaštitu morskog okoliša, Hrvatska je na međunarodnih konvencija, Zakona o zaštiti okoliša i Pomorskog zakonika donijela Plan intervencija kod iznenadnih onečišćenja mora 2008. godine, kao dokument održivog razvoja i zaštite okoliša u kojem se utvrđuju postupci i mjere predviđanja, sprječavanja, ograničavanja, spremnosti za i reagiranja na iznenadna onečišćenja mora i na izvanredne

⁶⁶ Vrančić, T.: op. cit., p. 757.

⁶⁷ Uredba o standardu kakvoće vode, Narodne novine, 58, 2019., 96, čl. 1.

prirodne događaje u moru u svrhu zaštite morskog okoliša.⁶⁸ Ovaj Plan je potrebno uskladiti s Pomorskim zakonikom s obzirom na njegove izmjene u 2019. godini.

4.2. MEĐUNARODNE KONVENCIJE O ZAŠTITI MORA OD ONEČIŠĆENJA ULJEM

Konvenciji Ujedinjenih naroda o pravu mora iz 1982. (UNCLOS), definira onečišćenje morskog okoliša kao “čovjekovo izravno ili neizravno unošenje tvari ili energije u morski okoliš, uključujući estuarije (ljevkastu zaljev na ušću rijeke široko otvoren prema moru), koje uzrokuje ili može prouzročiti pogubne posljedice kao što su šteta živim bogatstvima i životu u moru, ugrožavanje ljudskog zdravlja, ometanje pomorskih djelatnosti, uključujući ribolov i druge zakonite upotrebe mora, pogoršanje upotrebne kvalitete morske vode i umanjenje privlačnosti morskog okoliša”⁶⁹.

Godine 1976., 16 je zemalja Sredozemlja i Europske zajednice potpisalo *Konvenciju za zaštitu Sredozemnog mora*, tzv. *Barcelonsku konvenciju*, izmijenjenu i dopunjenu 1995. godine u *Konvenciju o zaštiti morskog okoliša i obalnog područja Sredozemlja*. Ona je okvir za rad *Mediterranskog akcijskog plana*, čiji je cilj osigurati kvalitetniji život stanovnicima zemalja koje okružuju Sredozemno more. U fokusu mu je zaštita okoliša i promicanje održivog razvoja.

Među najznačajnijim međunarodnim konvencijama koja ima za svrhu zaštitu morskog okoliša od brodova je *Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja* (engl. International Convention for the Prevention of Pollution, MARPOL 73/78). Prema ovoj konvenciji svaki tanker veći od 150 BRT mora biti podvrgnut pregledima radi provjere njegove sigurnosti vezano za onečišćenje. Nakon obavljenoga pregleda sukladno Prilogu I. MARPOL-a tankeru se izdaje Međunarodna svjedodžba o sprječavanju onečišćenja mora uljem (International Oil Pollution Prevention Certificate), a nakon obavljenog pregleda koji je potrebno obaviti sukladno Prilogu II MARPOL-a koji se odnosi na sprječavanje onečišćenja mora štetnim tvarima koje se prevoze u razlivenom stanju brodu se izdaje:

⁶⁸ Izvješće o obavljenoj reviziji učinkovitosti upravljanja intervencijama kod iznenadnih onečišćenja u Jadranskom moru, Državni ured za reviziju Republike Hrvatske, Rijeka, 2021., p. 24.

⁶⁹ Ibidem, p. 5.

Međunarodna svjedodžba o sprječavanju onečišćenja pri prijevozu štetnih razlivenih tekućina (engl. International Pollution Prevention Certificate for the Carriage of Noxious Liquid Substances in Bulk – NLS Certificate).

MARPOL-u je prethodila *Međunarodna konvencija o sprečavanju onečišćenja mora naftom* (OILPOL) iz 1954. godine. Temeljem ove Konvencije brodovima je “zabranjeno ispuštanje vode onečišćene naftom na određenim udaljenostima od najbliže obale, odnosno potpuno zabranila ispuštanja u zaštićenim područjima te propisala obvezu vođenja dnevnika o prijevozu ulja i njihovih prerađevina”.⁷⁰

Iz navedenog je vidljivo da međunarodni i nacionalni propisi uređuju zaštitu morskog okoliša od izlivanja ulja s brodova i drugih aktivnosti na kopnu i moru.

⁷⁰ Ibidem, p. 6.

5. ZAKLJUČAK

Izlijevanje ulja često se odnosi na ispuštanje tekućih naftnih ugljikovodika u oceane ili obalna područja zbog ljudskih aktivnosti. Ono uključuje ispuštanje sirove nafte iz tankera, priobalnih platformi, bušilica i bušotina, zatim izlijevanje rafiniranih naftnih derivata (poput benzina i dizela) i nusproizvoda, težih goriva koja koriste veliki brodovi, poput goriva u bunkerima, te izlijevanje bilo kojeg uljastog bijelog otpada ili otpadnog ulja. Izlijevanje nafte uobičajeno je u morskom okruženju, a mnoga mala izlijevanja se ne prijavljuju, osobito u područjima gdje su ekološki standardi ili propisi minimalni, neprovedivi ili nepostojeći. Izlijevanje se može dogoditi iz mnogo razloga tijekom procesa istraživanja, vađenja i transporta, kao što su prekomjerni tlak, mehanički kvar, korozija cjevovoda, sudar broda, između ostalih.

Izlijevanje nafte u moru ima značajne štetne učinke na okoliš. Ti utjecaji počinju pri ispuštanju, a ovisi o volumenu, prirodi ispuštanja, sastavu i trajanju ispuštanja ulja. Svojstva ulja i procesi vremenskog trošenja nafte na okoliš, oslabljeni učinkovitošću i brzinom provedenih sanacijskih mjera, odredit će opseg nastale štete. Ključ za rješavanje učinaka izlijevanja nafte u okoliš uključuje sprječavanje, razumijevanje učinaka nafte nakon ispuštanja u okoliš i učinaka nafte na morsku biotu i ekosustave, kao i strukturnih značajki kao što su obale i morsko dno. Štetne učinke izlijevanja nafte u morski okoliš moguće je smanjiti uz primjerenu uporabu odgovarajućih tehnologija za uklanjanje uljnih onečišćenja.

U primjeni su različite tehnologije koje se primjenjuju u uklanjanju uljnih onečišćenja, od jednostavnih sustava za sakupljanje ulja do kemijskih i bioloških sredstava kojima se potiču odgovarajući procesi razgradnje nafte. Brane i sakupljači su obično prva metoda koja se primjenjuje kao odgovor na izlijevanje ulja u morskom okolišu. Kako se ovim metodama tek manji dio zagađenog područja sanira primjenjuju se druge tehnologije, koje povećavaju učinkovitost uklanjanja uljnih onečišćenja na moru i na obali mora. Učinkovitost primjene odgovarajućih tehnologija ovisi o većem broju čimbenika, među kojima su volumen izljeva ulja, svojstva uljne mrlje, vremenske prilike, valovi, turbulentnost mora. Svojstva uljne potrebno je poznavati kako bi se mogao predvidjeti smjer kretanja uljnog izljeva te primijeniti odgovarajuću metodu kojom će se u što većem udjelu ukloniti uljni izljev uz što manje štete na morske organizme.

POPIS LITERATURE

1. Boufadel, M. et al.: The Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into Aqueous Environments, The Royal Society of Canada, The Academies of Arts, Humanities and Sciences of Canada, Ottawa, 2015.
2. Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, 2010., <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/resources/characteristics-response-strategies.html> (8. 08. 2021.)
3. DeCola, E., Hall, A., Popovich, M.: Assessment of Demulsification and Separation Technologies for Use in Offshore Oil Recovery Operations, Report to Bureau of Safety and Environmental Enforcement, Washington, 2018.
4. Dobrinić, J.: Onečišćenje mora uljima i elementima u tragovima, Pomorski zbornik, 38, 2000., 1, p. 333-348.
5. Effects of oil pollution on the marine environment, ITOPF, Tehnical information paper, London, 13, https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_13_Effects_of_Oil_Pollution_on_the_Marine_Environment.pdf (11. 08. 2021.)
6. Energy Insights, API gravity, <https://www.mckinseyenergyinsights.com/resources/refinery-reference-desk/api-gravity/> (16. 08. 2021.)
7. Fate of Oil Spills, <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/fate-of-oil-spills/> (10. 08. 2021.)
8. Haapkylä, J., Ramade, F., Salvat, B.: Oil pollution on coral reefs: a review of the state of knowledge and management needs, *Vie et milieu*, 57, 2007., 1/2, p. 91-107.
9. Hrvatska enciklopedija, Natuknica nafta, online izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=42761> (14. 08. 2021.)
10. Hrvatska enciklopedija, Natuknica Plamište, online izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=48567> (14. 08. 2021.)
11. IB006. Viscosity classification, <http://opt-max.com/wp-content/uploads/2015/05/8.-IB006-Viscosity-Classifications.pdf> (4. 08. 2021.)

12. Ivshina, I.B. et al.: Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies, *Environmental Science: Process & Impacts*, 17, 2015., 7., p. 1201-1219.
13. Izvješće o obavljenoj reviziji učinkovitosti upravljanja intervencijama kod iznenadnih onečišćenja u Jadranskom moru, Državni ured za reviziju Republike Hrvatske, Rijeka, 2021.
14. Mechanical Containment and Recovery, <https://web.archive.org/web/20100507135220/> (11. 08. 2021.)
15. Oil Tanker Spill Statistics 2020, ITOPF, 2021., p. 6., https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_publication_2020.pdf (12. 08. 2021.)
16. Oil Viscosity Index and Viscosity Temperature Relation, <https://www.tribonet.org/wiki/oil-viscosity-index-and-viscosity-temperature-relation/> (2. 08. 2021.)
17. Plan intervencije kod iznenadnih onečišćenja mora, *Narodne novine*, 54, 2008., 92.
18. Seos, Marine Pollution, <https://seos-project.eu/marinepollution/marinepollution-c02-s13-p01.html> (11. 08. 2021.)
19. Stoekel, D. et al.: Arctic Oil Spill Response Technology – Joint Industry Programme, Environmental Impacts of Arctic Oil Spills and Arctic Oil Spill Response Technologies, Literature Review and Recommendations, 2014., <https://neba.arcticresponsetechnology.org/assets/files/Environmental%20Impacts%20of%20Arctic%20Oil%20Spills%20-%20report.pdf> (1. 08. 2021.)
20. Uredba o standardu kakvoće vode, *Narodne novine*, 58, 2019., 96.
21. Vrančić, T.: Zagađivanje mora naftom i naftnim derivatima, *Građevinar*, 63, 2010., 8., p. 755-762.
22. Wang, S.D. et al.: Three-dimensional numerical simulation for transport of oil spills in seas, *Ocean Engineering*, 35, 2008., 5-6, p. 503-510., doi:10.1016/j.oceaneng.2007.12.00 (4. 08. 2021.)
23. Zhang, B. et. al.: Marine Oil Spills – Oil Pollution, Sources and Effects, *World Seas: An Environmental Evaluation*, 2019., p. 391-406., doi:10.1016/b978-0-12-805052-1.00024-3 (13. 08. 2021.)

POPIS TABLICA

Redni broj	Naslov tablice	Stranica
Tablica 1.	Klasifikacija ulja prema <i>American Petroleum Institute</i>	6
Tablica 2.	Klasifikacija indeksa viskoznosti ulja	7
Tablica 3.	Kratkotrajni fizikalni i kemijski učinci učinaka vremenskih procesa na svojstva ulja	17
Tablica 4.	Pregled 20 najvećih izlivanja nafte od 1967. godine	20
Tablica 5.	Indikativno razdoblje oporavka nakon zagađenja mora za različite vrste staništa	26

POPIS SLIKA

Redni broj	Naslov slike	Stranica
Slika 1.	Odnos viskoznosti i temperature ulja	7
Slika 2.	Postojano i nepostojano ulje u morskom okolišu	10
Slika 3.	Vremenski procesi ulja u morskom okolišu	11
Slika 4.	Vremenski procesi kod tipičnog izlivanja sirove nafte u morski okoliš	12
Slika 5.	Raspršivanje mrlje pod utjecajem valova i turbulencije na površini mora	14
Slika 6.	Emulzija vode u ulju (odatak) i prikaz emulgiranog mazuta	14
Slika 7.	Tipična katranska mrlja na obali mora uzrokovana oksidacijom ulja	16
Slika 8.	Spektar učinaka pojedinih vrsta nafte i naftnih derivata, od toksičnosti do gušenja	25
Slika 9.	Djelovanje raspršivača ulja na uljni izljev u moru	33
Slika 10.	Djelovanje kemijskim raspršivačima na uljne mrlje iz zraka	35
Slika 11.	Sagorijevanje plutajućeg ulja kao mjera kontrole izlivanja ulja	39
Slika 12.	Plutajuća brana	41
Slika 13.	Sakupljač uljnog izljeva nakon <i>Deepwater Horizon</i>	43

POPIS GRAFIKONA

Redni broj	Naslov tablice	Stranica
Grafikon 1.	Broj izlijeva nafte (većih od 7 tona) s tankera u morski okoliš u razdoblju od 1970.-2020. godine	19
Grafikon 2.	Broj izlijeva nafte (većih od 7 tona) s tankera u morski okoliš u razdoblju od 1970.-2019. godine	20