

# PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA NAFTNIM PLATFORMAMA

---

Šincek, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:059285>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-22**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Luka Šincek

# **PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA NAFTNIM PLATFORMAMA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional undergraduate study of Safety and Protection

Luka Šincek

# **WASTEWATER TREATMENT ON OIL PLATFORMS**

Final paper

Karlovac, 2021.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Luka Šincek

# **PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA NAFTNIM PLATFORMAMA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc. Ines Cindrić

Karlovac, 2021



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Stručni studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2021.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Luka Šincek

Matični broj: 0416617003

Naslov: **PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA NAFTNIM  
PLATFORMAMA**

Opis zadatka: U Završnom radu pod nazivom *Pročišćavanje otpadnih voda na naftnim platformama* objasniti što su otpadne vode i koje vrste i izvori nastajanja otpadnih voda postoje. Također, opisati što je nafta, što su naftne platforme i koji su procesi pročišćavanja otpadnih voda na naftnim platformama, te zašto su oni važni. Za pisanje završnog rada prikupiti i proučiti stručnu literaturu te istražiti Zakonske odredbe o otpadnim vodama. Završni rad uskladiti ću s Pravilnikom o pisanju Završnih i Diplomskih radova Veleučilišta u Karlovcu.

Mentor: dr.sc Ines Cindrić

Predsjednik Ispitnog povjerenstva: dr.sc. Jasna Halambek

|

## **PREDGOVOR**

Završni rad s temom *Pročišćavanje otpadnih voda na naftnim platformama* nastao je u suradnji s mentoricom profesoricom Ines Cindrić kojoj se ovim putem zahvaljujem na povjerenju, uloženom trudu i vremenu te svim korisnim savjetima tijekom pisanja rada.

Zahvaljujem se i Veleučilištu u Karlovcu i svim profesorima na kvalitetom znanju stečenom kroz ove tri godine.

Mojoj obitelji zahvaljujem se na trudu, strpljenju, pomoći i velikoj podršci tijekom cijelog studiranja.

## SAŽETAK

Tema završnog rada je *Pročišćavanje otpadnih voda na naftnim platformama*. Svaka voda koja je jednom korištena u neku svrhu, postaje otpadna voda. Da bi pročišćavanje otpadnih voda bilo što učinkovitije, važno je poznavati sastav otpadnih voda, izvore onečišćenja otpadnih voda na naftnim platformama, utjecaj otpadnih voda na ekosustav i metode pročišćavanja.

Prvi dio rada opisuje općenite onečišćivače vodotokova, vrste otpadnih vode s obzirom na podrijetlo nastanka s njihovim osnovnim karakteristikama.

Drugi dio rada odnosi se na zakonske odredbe otpadnih voda, odnosno na granične vrijednosti koje određuju sastav otpadnih voda prije nego što ih se smije ispuštati u sustave javne odvodnje.

Glavni dio završnog rada opisuje važnost nafte u suvremenom svijetu i ukratko daje pregled vrsta crpilišta naftnih platforma. Naglasak ovog rada je na stvaranju otpadnih voda na naftnim platformama te mogućnostima njihovog pročišćavanja.

**Ključne riječi:** naftne platforme, otpadne vode, pročišćavanje otpadnih voda na naftnim platformama.

## SUMMARY

The topic of this final paper is *Wastewater treatment on oil platforms*. Any water that is once used for a purpose becomes wastewater. In order for wastewater treatment to be as efficient as possible, it is important to know the composition of wastewater, the sources of wastewater pollution on oil platforms, the impact of wastewater on the ecosystem and the methods of treatment.

The first part of the paper describes general pollutants of watercourses, types of wastewater with regard to the origin and their basic characteristics.

The second part of the paper refers to the legal provisions of wastewater, limit values that determine the composition of wastewater before it can be discharged into public sewerage systems.

The main part of the final paper describes the importance of oil in the modern world and gives a brief overview of oil rigs types. The emphasis of this final paper is on the creation of wastewater on oil rigs and the possibilities of their treatment.

**Keywords:** oil rigs, wastewater, wastewater treatment on oil rigs.



<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Predmet i cilj rada</b> .....	1
<b>2. OTPADNE VODE</b> .....	2
<b>2.1. Podjela otpadnih voda</b> .....	3
<b>2.1.1 Kućanske otpadne vode</b> .....	3
<b>2.1.2. Industrijske otpadne vode</b> .....	4
<b>2.1.3. Poljoprivredne otpadne vode</b> .....	4
<b>2.1.4. Oborinske otpadne vode</b> .....	5
<b>2.1.5. Procjedne otpadne vode</b> .....	5
<b>2.2. Utjecaj otpadnih voda na okoliš</b> .....	5
<b>3. ZAKONSKE ODREDBE O OTPADNIM VODA</b> .....	8
<b>4. NAFTA</b> .....	9
<b>4.1. Onečišćenja na naftnim platformama</b> .....	11
<b>5. NAFTNE PLATFORME</b> .....	13
<b>5.1. Stabilne platforme</b> .....	14
<b>5.2. Poluuronjive platforme</b> .....	15
<b>5.3. Podizne bušaće platforme</b> .....	15
<b>5.4. Bušaći brodovi</b> .....	15
<b>6. OTPADNE VODE NA NAFTNIM PLATFORMAMA</b> .....	16
<b>7.1. Gravitacija i pojačana gravitacijska sedimentacija</b> .....	21
<b>7.2. Hidrocikloni</b> .....	22
<b>7.3. Flotacija plina</b> .....	23
<b>7.4. Mikrofiltracija / ultrafiltracija</b> .....	24
<b>7.5. Filtracija medija</b> .....	24
<b>7.6. Biološki prozračni filteri</b> .....	25
<b>7.7. Adsorpcija</b> .....	25
<b>7.8. Tehnologija ionske izmjene</b> .....	26
<b>7.9. Precipitacija</b> .....	26

<b>7.10. Kemijska oksidacija .....</b>	<b>26</b>
<b>7.11. Otapanje: AltelaRain postupak .....</b>	<b>27</b>
<b>7.12. Makroporozna tehnologija ekstrakcije polimera .....</b>	<b>28</b>
<b>7.13. Tehnologija cijevnog odvajanja .....</b>	<b>29</b>
<b>7.14. Koalescencija kombiniranih vlakana .....</b>	<b>29</b>
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>31</b>
<b>9. LITERATURA .....</b>	<b>32</b>
<b>10. PRILOZI .....</b>	<b>34</b>
<b>10.1. Popis simbola .....</b>	<b>34</b>
<b>10.2. Popis slika .....</b>	<b>34</b>

# 1. UVOD

## 1.1. Predmet i cilj rada

Sve veća potreba za različitim vrstama energije povećana je uslijed intenzivne industrijske proizvodnje, a posljedično s time svijet se suočava s problemima koje donosi onečišćenje proizašlo iz njihovih tehnoloških procesa. Jedan od bitnijih onečišćenja pripada upravo otpadnim vodama čiju je emisiju potrebno svesti na minimum i pridržavajući se postojećeg zakona o graničnim vrijednostima ispuštanja otpadnih voda u okoliš. Današnji svijet nezamisliv je bez nafte i plina jer su kao i mnogi drugi izvori energije unaprijedili način života ljudi. Nafta je glavni izvor energije i važan je prihod mnogih zemalja. Iako je nafta vrlo značajna za čovječanstvo, njena proizvodnja ujedno uzrokuje velike količine onečišćenja, prije svega na zrak i vodu. Otpadne vode nastale prilikom eksploatacije nafte i proizvodnje naftnih derivata nose štetniji spojevi za okoliš od same sirove nafte. Ukoliko bi došlo do ispuštanja takve otpadne vode u okoliš, njezini spojevi s povišenom koncentracijom štetnih tvari stvorili bi izuzetno veliki pritisak na prirodni okoliš i žive organizme.

Kako bi se zadovoljili sve stroži propisi o zaštiti okoliša ulaže se znatan trud u razvoj novih i učinkovitijih tehnologija obrade otpadnih voda koje se koriste na naftnim platformama. Postoje više procesa pročišćavanja otpadnih voda na naftnim platformama, a jedni od najučinkovitijih procesa za pročišćavanje su proces membranske filtracije i tehnologija makroporozne ekstrakcije polimera.

Predmet ovog rada je istražiti dostupnu literaturu vezanu uz pročišćavanje tehnoloških otpadnih voda nastalih na naftnim platformama.

## 2. OTPADNE VODE

Otpadne vode nastaju upotrebom vode iz raznih sustava kao što su stambeni objekti, mali obrti i industrijski pogoni i poljoprivredne površine. U procesu nastajanja otpadnih voda dolazi do promjene fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstva vode. Na slici 1. prikazani su navedeni izvori onečišćenja vode. Ispuštanjem otpadnih voda putem kanalizacije ili izravnim ispiranjem tla (oborinske otpadne vode) u površinske kopnene vode (rijeka, jezera) ili mora, može doći do onečišćenja i smanjene vrijednosti vodenoga sustava [1]. Neke otpadne vode moguće je ponovno koristiti za istu ili sličnu namjenu uz prethodnu kvalitetnu tehnološku obradu, odnosno pročišćavanje [2].



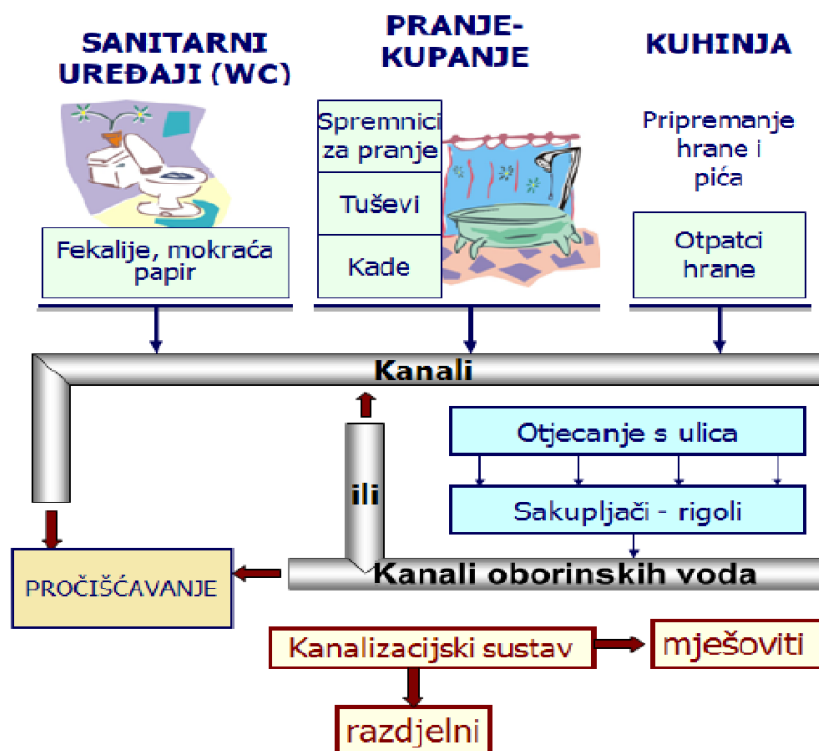
Slika 1. Izvori onečišćenja vode [3]

## 2.1. Podjela otpadnih voda

Prema mjestu nastanka razlikujemo nekoliko vrsta otpadnih voda: kućanske otpadne vode, industrijske otpadne vode, poljoprivredne otpadne vode, oborinske otpadne vode i procjedne vode [2].

### 2.1.1 Kućanske otpadne vode

Kućanske otpadne vode sličnih su karakteristika u većini razvijenih zemalja. Sadrže biorazgradive tvari: proteine, ugljikohidrate i lipide, zatim suspendirane tvari i veliki broj mikroorganizama. Glavni pokazatelji kućanskih otpadnih voda su: veliki sadržaj organske tvari, suspendirane tvari, te veliki broj patogenih mikroorganizama. Količina tih tvari koje će se nalaziti u otpadnoj vodi ovisi o kulturološkim značajkama stanovništva, klimatskim uvjetima i ekonomskoj razvijenosti zajednice [2]. Na slici 2. prikazana su mjesta nastanka kućanskih otpadnih voda i njihov tijek do pročišćavanja.



Slika 2. Otpadne vode iz kućanstva [4].

### **2.1.2. Industrijske otpadne vode**

Industrijske otpadne vode razlikuju se ovisno o tehnološkom procesu iz kojeg su proizašle. Parametri koji omogućuju njihovo razlikovanje ovisno o stupnju biorazgradljivosti su: organske tvari (biokemijska potrošnja kisika, kemijska potrošnja kisika, ukupni organski ugljik), mikroorganizmi i pojedinačne tvari koje su posljedica tehnološkog procesa u industrijskom postrojenju (ulja i masti, teški metali, radioaktivne tvari i dr.).

Industrijske otpadne vode mogu se podijeliti:

- s obzirom na tip tehnološkog procesa iz kojega nastaju: organske otpadne vode, anorganske i vode iz rashladnih i energetskih postrojenja
- s obzirom na razgradivost/nerazgradivost: kompatibilne i nekompatibilne industrijske otpadne vode. Kompatibilne industrijske vode biološki su razgradive, odnosno miješaju se s kućanskim otpadnim vodama. Nekompatibilne industrijske otpadne vode biološki su nerazgradive vode te su onečišćene otrovnim, postojanim i opasnim tvarima i ne smiju se ispuštati u sustave javne kanalizacije, odnosno u isti sustav kojim se odvođe kućanske otpadne vode bez da se prije tog obrade i dovedu u "kompatibilno" stanje [2].

### **2.1.3. Poljoprivredne otpadne vode**

Sustavi za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta nemaju potrebnu količinu vode za određene agrokulture na nekim zemljištima. Dovedena voda koja ne može ispariti ili ishlapiti s mjesta dovođenja, procijedit će se u dubinu podzemnih voda ili otjecati do obližnjih površinskih voda i predstavljati poljoprivredne otpadne vode. Poljoprivredne otpadne vode treba što bolje obraditi kako bi se što više iskoristile u idućem ciklusu navodnjavanja zemljišta. Sastav poljoprivrednih otpadnih voda ovisi o primijenjenoj tehnologiji obogaćivanja zemljišta gnojivom, herbicidima, biocidima, fungicidima, hranjivim tvarima i poljoprivrednim kulturama koje su na tom području zastupljene [2].

#### **2.1.4. Oborinske otpadne vode**

Oborinske otpadne vode nastaju od oborina koje se više ili manje onečišćuju kada dođu u doticaj s nižim slojevima atmosfere, krovovima ili površinama tla. Takve otpadne vode ne mogu se prihvatiti u sustav kanalizacije ni ti se mogu smatrati čistim vodama (crvene ili žute kiše koje nastaju posljedicom ispiranja pustinjske prašine i kisele kiše koje uzrokuju štetu u šumama). Onečišćenje oborinskih voda ovisi o mnogo čimbenika: vrsti i količini prometa, utjecaj industrije, vrsti površinskog pokriva, o onečišćenosti zračnog bazena, o trajanju sušnog perioda, te o količini kiše. Voda nastala od topljenja snijega također se smatra onečišćenom vodom i spada u oborinske otpadne vode [2].

#### **2.1.5. Procjedne otpadne vode**

Procjedne otpadne vode su čiste, podzemne vode, filtrirane prolaskom kroz slojeve tla. Kod objekata koji se nalaze na padini brda ili kod dubokih podruma, podzemne vode se procjeđuju i prikupljaju posebnim kanalizacijskim sustavom (drenažom) i spajaju se u zajednički odvodni sustav [5].

### **2.2. Utjecaj otpadnih voda na okoliš**

Otpadne vode različito djeluju na okoliš, ovisno o količini otpadnih tvari i svojstvu otpadnih voda. Neki od čimbenika koji utječu na ekosustav su površinski onečišćivači, krutine, temperatura vode, hranjive soli, postojeane tvari, otrovni onečišćivači, mikroorganizmi i radioaktivne tvari [2].

U površinske onečišćivače svrstavamo: papir, krpe, plastične otpatke, kore od voća te ulja i masti (izuzev nafte i naftnih derivata). Krupni površinski onečišćivači nemaju veliki ekološki značaj. Mineralna ulja se teško razgrađuju, a veće količine masnoće mogu ometati biološke procese i stvarati problem oko održavanja kanala i uređaja za čišćenje [6].

Krutine su tvari organskog i anorganskog porijekla koje se nalaze u otpadnim vodama u tri različita stanja: otopljeno, koloidno i suspendirano stanje. Otopljene i

koloidne tvari uzrokuju promjenu boje voda, dok koloidi i suspendirane tvari uzrokuju mutnoću vode. Promjena boje u vodi veliki je pokazatelj promjena u ekološkom sustavu. Mutnoća vode onemogućuje prodiranje svjetlosti i tako se usporava fotosinteza, smanjuje se količina kisika u većim dubinama, a povećava se zona anaerobne razgradnje i stvaraju se plinovi neugodnog mirisa. Osim anaerobnom razgradnjom, neugodan miris može nastati i od pojave nekih kemijskih spojeva, osobito kada se uključuju industrijske otpadne vode [6].

Temperatura vode bitna je za održavanje životnog ciklusa, pogotovo kod onih organizama koji nisu sposobni održavati unutarnju temperaturu unutar granica (termoregulacija). Ispuštanjem rashladnih voda, termoelektrane i nuklearne elektrane mijenjaju temperaturu vode čime uzrokuju manju količinu otopljenog kisika i ubrzavaju metabolizam kod živih organizama. Povišenjem temperature organizmi brže troše kisik i samim time smanjuju količinu kisika što dovodi do čestih promjena staništa i nestajanja organizama kojima je potrebno više kisika [6].

Hranjive soli su biogene soli (soli ugljika, dušika, fosfora) koje su važne za razvoj fitoplanktona i zelenih biljaka. Slabija izmjena vode u vodnom sustavu te manja svjetlost i temperatura uzrokuje povećanu proizvodnju fitoplanktona što dovodi do cvjetanja otrovnih algi. Povećana proizvodnja biomase korisna je za razvoj ribarstva, ali takve vode nisu namijenjene za ljudsko korištenje. Ispuštanjem poljoprivrednih otpadnih voda u podzemne vode stvara se velika količina nitrata koja nije pogodna za korištenje, pogotovo za malu djecu [6].

Organske ili sintetske biološki nerazgradljive ili teško razgradljive tvari tijekom svoje razgradnje loše djeluju na živi svijet vodnog sustava i nastanjuju se u organizmima. Takve tvari nazivaju se postojane tvari u koje se ubrajaju: mineralna ulja, nafta i naftni derivati, nerazgradivi deterdženti, pesticidi i druge površinski aktivne tvari i plastične tvari. U poljoprivrednim i industrijskim vodama najčešće ćemo naći najopasnije pesticide i druga sredstva koja se koriste u poljoprivredi. Mineralna ulja ulaze u vodne sustave s otpadnim vodama i na površini vode stvaraju tanki sloj koji umanjuje mogućnost korištenja vode. U toplim dijelovima Zemlje



mineralna ulja su biološki razgradljiva, dok je u hladnim područjima njihova razgradnja vrlo spora. Za uklanjanje mineralnih ulja koriste se površinski aktivne tvari koje su otrovne i za biljke i životinje. Deterdženti se dijele na tvrde i meke, a nalaze se u industrijskim i kućanskim otpadnim vodama. Biološka razgradnja tvrdih deterdženata je izrazito spora, te je u mnogim zemljama zabranjena proizvodnja takvih deterdženata (razgradnja manja od 80%) zbog ugrožavanja životnih zajednica. Meki deterdženti brže se razgrađuju, ali su dva do četiri puta otrovniji od tvrdih. Upotrebom deterdženata unosi se velika količina fosfata što uzrokuje bržu eutrofikaciju (starenje vodenih ekosustava). Plastične tvari (mrežica, vrećica, konac) nalaze se u industrijskim i kućanskim otpadnim vodama [6].

Svaka tvar koja prema svojim svojstvima ili količini ima nepovoljan utjecaj na živi organizam, kancerogene i genetičke promjene, fiziološke smetnje, fizičke deformacije i smrt naziva se otrovni onečišćivač. Dijele se na dvije grupe; jednu čine teški metali (nikal, mangan, olovo, cink, bakar, željezo, krom), a drugu: kromati, fluoridi i cijanidi. Teški metali se u velikoj količini nalaze u industrijskim otpadnim vodama, a u manjoj količini mogu se pronaći i u ostalim otpadnim vodama. Male količine nekih metala potrebne su za razvoj organizama, ali u većim mjerama imaju štetne posljedice i postaju otrovne tvari (otrov za ribe). Druga grupa otrovnih onečišćivača pojavljuje se u industrijskim otpadnim vodama. Učinak otrovnih tvari definira se testovima toksičnosti prema kojima su određene sigurnosne koncentracije koje nisu u svim zemljama jednake [6].

Mikroorganizmi se dijele na razlagače i na mikroorganizme iz probavnog trakta ljudi i životinja. Nalaze se u svim otpadnim vodama i vidljivi su samo pod mikroskopom. Mikroorganizmi iz probavnog trakta ljudi i životinja najčešće su prisutni u industrijskim i poljoprivrednim otpadnim vodama. Korištenjem nečiste vode (kupanje, konzumiranje vode ili proizvoda iz vode) može doći do raznih bolesti i zaraza (tifusa, paratifusa, kolere, tuberkuloze, hepatitisa i dr.). Kada se ovi mikroorganizmi pojave u okolišu, dolazi do postepenog nestajanja zbog drugačijih uvjeta za preživljavanje (temperatura, osmotski tlak, ultravioletno zračenje,

koncentracija vodikovih iona). Vrijeme nestajanja nije jednako za sve mikroorganizme, a ovisi o sadržaju otopljenih soli u vodi [6].

Radioaktivne tvari koje se nalaze u vodi mogu dospjeti u vodotokove prirodnim ili umjetnim putem. Prirodnim izvorima smatraju se: zemaljska zračenja, radioaktivni elementi u našem organizmu i dr. U umjetne ubrajamo: nuklearne elektrane i industrijske pogone. Živi organizmi prilagođeni su životu uz kozmička zračenja i radioaktivne elemente Zemljine kore, dok umjetna zračenja mogu uzrokovati smrt, kancerogene bolesti, genetičke promjene i neplodnost [6].

### **3. ZAKONSKE ODREDBE O OTPADNIM VODA**

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike je putem Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) propisalo granične vrijednosti emisije onečišćujućih tvari u industrijskim otpadnim vodama prije njihovog ispuštanja u sustav javne odvodnje.

Granične vrijednosti emisija otpadnih voda utvrđuju se dozvoljenim koncentracijama onečišćujućih tvari ili opterećenjima u otpadnim vodama, te one u pravilu vrijede na izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda ili iz postrojenja u kojem nastaju otpadne vode, neovisno o razrjeđenju u prijamniku. Kod neizravnih ispuštanja u vodu, pri određivanju granične vrijednosti emisije, može se uzeti u obzir učinak uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, pod uvjetom da se osigura jednaka razina zaštite okoliša u cjelini te da to ne dovodi do više razine onečišćenja okoliša [7].

Okvirna direktiva EU o vodama usvojena 2000. godine obvezala se na „nultog ispuštanje“ kao odgovor na potrebu za zaštićenijim sustavom za suzbijanje onečišćenja vode. Norveško udruženje naftne industrije razvilo je faktor utjecaja na okoliš koji uzima u obzir sva onečišćenja u otpadnoj vodi kako bi mogli provesti nultog ispuštanje u okoliš. Naftne i plinske tvrtke širom svijeta rade na primjeni "nultog ispuštanja" onečišćenja u proizvedenoj vodi [8].

Industrijske otpadne vode koje se ispuštaju u sustav javne odvodnje moraju se pročistiti tako da:

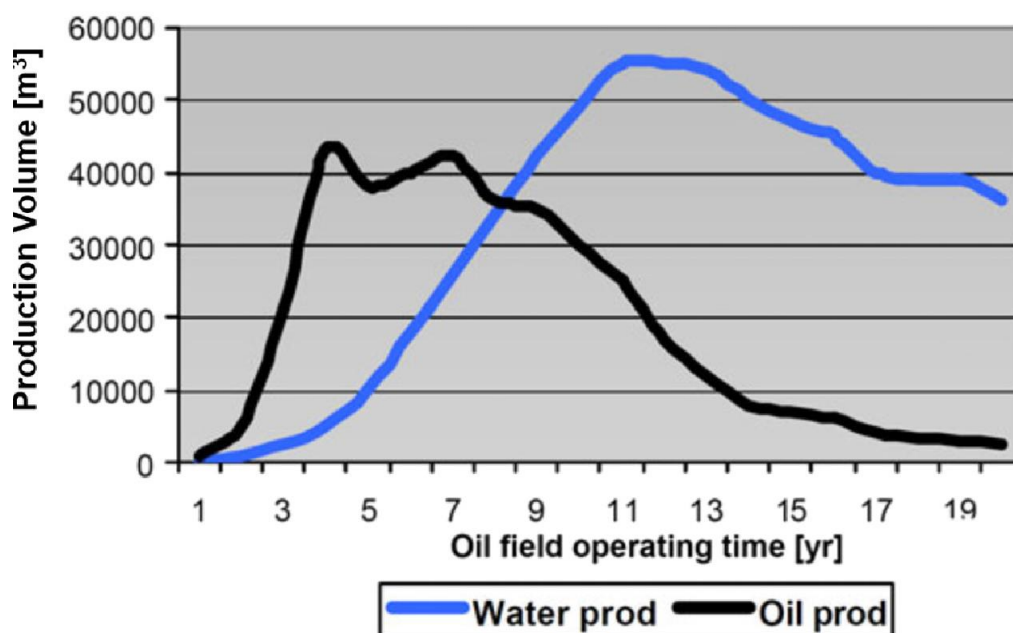
- sprječavaju oštećenje sustava javne odvodnje
- ne ometaju rad uređaja za pročišćavanje otpadnih voda
- osiguravaju da ispuštanja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda nema štetan utjecaj na okoliš
- osiguravaju uporabu /ili zbrinjavanje mulja na ekološki prihvatljiv način
- osiguravaju zaštitu zdravlja radnika koji rade u tom sustavu [7].

#### **4. NAFTA**

Nafta je tekućina posebnog mirisa i svjetložute do tamnosmeđe boje. Po kemijskom sastavu to je smjesa tekućih ugljikovodika, a u malim količinama zastupljene su i neugljikovodične komponente. To je zajednički naziv za prirodne smjese plinovitih, tekućih ili čvrstih ugljikovodika. Rafinerijski plin, ukapljeni plin, benzini, petrolej, plinska ulja, loživa ulja, maziva i motorna ulja spadaju u naftne prerađevine. Dubina naftnih ležišta iznosi od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara [9]. Nafta na moru čini više od 30% ukupne svjetske proizvodnje nafte. Saudijska Arabija je vodeći proizvođač nafte na moru, a ostali veliki proizvođači su: Ujedinjeno Kraljevstvo, Meksiko i Sjedinjene Američke Države.

Nafta se pronalazi u ležištima nafte koja se pod određenim tlakom istisne u bušotine, a kroz njih na površinu zemlje u sabirne stanice, koje se sastoje od odjeljivača i spremnika u kojima se sakuplja nafta. Plinska faza se plinovodom otprema do potrošača kao zemni plin ili se pomoću kompresora upumpava u bušotinu da bi se povećao tlak. Tekuća faza (nafta i voda) odvodi se u postrojenje za odvodnju te se u tom postrojenju zagrijava na 60 - 90°C. Nakon toga se dodaje sredstvo za razbijanje emulzije i odvodi se u spremnike. U spremnicima se voda stajanjem odvaja i ispušta u sustave otpadnih voda [10].

Ocean je poznat po bogatim resursima nafte i plina. Proizvedena voda koja sadrži različite topive i netopive organske i anorganske spojeve je veliki nusproizvod u proizvodnji nafte i plina na većini priobalnih platformi. Od 1990. do 2015. godine količina proizvedene vode povećala se s manje od 30.000.000 barela dnevno na gotovo 100.000.000 barela dnevno. Omjer vode i nafte također se značajno povećava s povećanjem starosti bušotine (slika 3.). Sadržaj vode u proizvedenim tekućinama iz naftnih polja na moru su približno 75% do 80%.



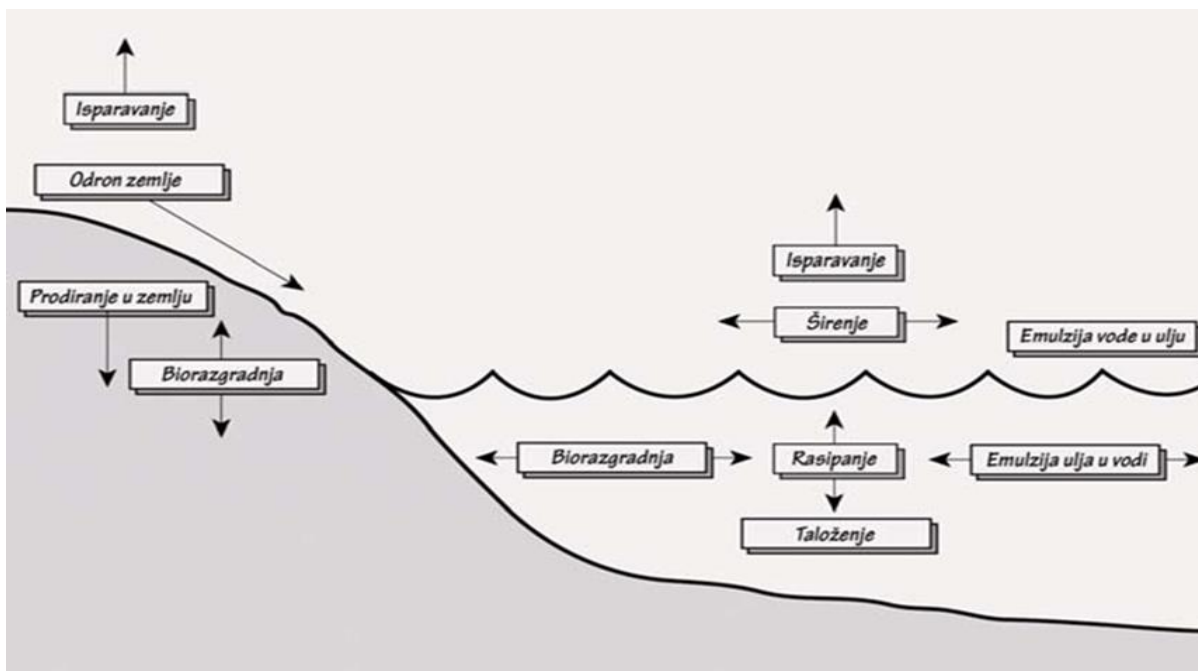
**Slika 3.** Omjer vode i nafte [11]

Od razvoja globalne industrije nafte i plina, proizvedena voda značajno doprinosi onečišćenju morskog okoliša naftom u blizini platformi. Tretiranje organskih onečišćujućih tvari u kojima dominiraju ugljikovodici u proizvedenoj vodi ili postupak uklanjanja proizvedene vode važan je zadatak za smanjenje onečišćenja biljnog i životinjskog svijeta u moru tijekom proizvodnje nafte i plina. S ekonomske perspektive, troškovi upravljanja vodama mogu činiti 5% do 15% troškova bušenja tako da je odabir kvalitetnog procesa i tehnologije obrade proizvedene vode važan za proizvodnju nafte i plina. Da bi se proizvedena voda kvalitetno i učinkovito

sanirala, važno je razumijevanje njenih osnovnih fizikalnih i kemijskih karakteristika [11].

#### **4.1. Onečišćenja na naftnim platformama**

Sirova nafta po kemijskom sastavu smjesa je velikog broja organskih spojeva. Ugljikovodici čine najveći dio (75%), dok manji dio čine različite sumporovi, kisikovi i dušikovi spojevi. U nafti prevladavaju ugljikovodici alkanske, cikloalkanske i aromatske vrste. Godišnje se u svjetska mora izlije oko 6 milijuna tona nafte i njezinih prerađevina što je oko 0,25% godišnje svjetske proizvodnje. Najveća naftna onečišćenja smatraju se izravna i neizravna onečišćenja koja dolaze s kopna (59%), zatim tankerske nezgode (12%) te prirodni morski izvori na rubovima tektonskih ploča (7,7%). Tankerske nezgode nisu najveći izvor onečišćenja mora naftom, ali na mjestima na kojima se dogode uzrokuju katastrofe, pogotovo ako su u pitanju zatvorena i poluzatvorena mora. Neželjeni incidenti donose ogromne ekološke i ekonomske štete te se veća pozornost danas posvećuje sigurnosti tankerskog transporta nafte i prevenciji mogućih ekoloških katastrofa [12]. Onečišćenje naftom zahtijeva posebnu pozornost u procesu vađenja nafte i plina na moru zbog sveprisutne opasnosti. Slučajno izlivanje ulja i ispuštanje nafte koja sadrži proizvedenu vodu tijekom proizvodnje dvije su glavne vrste onečišćenja naftom u naftnoj i plinskoj industriji na moru. Nakon izlivanja, nafta se širi po morskoj površini i započinju prirodni procesi isparavanja, disperzije i emulzifikacije (stvaranja emulzije). Lakši produkti će pri povoljnim uvjetima ispariti s površine u roku od 2 dana, teži za 2-5 dana, a srednje teški kroz 5-10 dana (zavisno o morskim uvjetima, količini izljeva i temperaturi) (slika 4). Ukoliko se izlivanje nafte dogodi blizu obale, vjetar može nositi naftnu mrlju prema obali, pa je iznimno važno brzo reagirati [13].



**Slika 4.** Prikaz razgradnje istjecanja nafte na kopnu i moru [13]

Izlijevanje nafte Deepwater Horizon (DWH) u Meksičkom zaljevu u Sjevernoj Americi 2010. godine uzrokovalo je ozbiljno onečišćenje. Ispušteno je 4 milijuna barela nafte tijekom 87 dana, od 20. travnja do 15. srpnja 2010. godine. Za kontrolu količine naftnih onečišćujućih tvari ispuštenih u ocean i mora, potrebno je strogo kontrolirati sadržaj ulja u proizvedenoj vodi i količinu proizvedene vode. Onečišćenje se povećava s dubinom vode, pri čemu dodatna dubina od 30 m povećava vjerojatnost za 8,5%. Zbog sigurnosti, zaštite okoliša i produktivnosti, intelektualizacija i automatizacija bit će budućnost naftne i plinske industrije na moru. Nakon izlijevanja ulja Deepwater Horizon pojavili su se veći zahtjevi za pregledavanje i održavanje platforma [14].

Izrazito je važno unaprijed imati pripremljen plan saniranja ako dođe do izlijevanja nafte, te je važno uspostaviti suradnju industrije i vlasti radi kvalitetnog čišćenja. Također, nužno je provoditi vježbe radi provjere opreme i osposobljenosti osoblja. Za naftna izlijevanja na moru najčešće je odgovorna vladina organizacija koja je uključena u pomorske poslove (obalna straža ili mornarička vojna snaga).

S obzirom na to da se odgovornost tih službi rijetko tiče i obalnih područja, čišćenje obalnih voda i obale pripada lučkim upravama i lokalnoj vlasti [13].

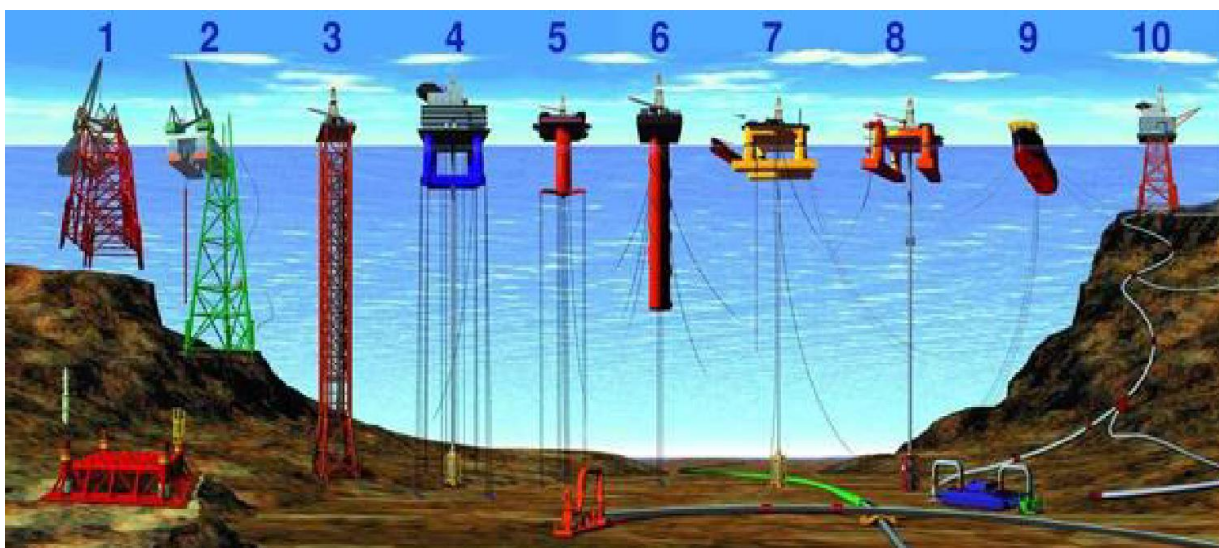
## **5. NAFTNE PLATFORME**

Naftna platforma služi za istraživanje, crpljenje, preradu i/ili privremeno spremanje nafte i zemnog plina. Pričvršćuje se na dno nekog dijela jezera, mora ili oceana i tako stvara umjetni otok ili pluta i održava svoje ustaljeno mjesto koristeći sidra, pupčane cijevi i pogonske motore. Neke od najranijih platformi podignute su u plitkim vodama (Zaljev u Meksiku, jezero Maracaibo u Venezueli). Godine 1842. podignuta je platforma ukupne visine 890 stopa i težine od 899000 tona koja se tada smatrala najtežim objektom koji je napravio čovjek. Platforma je nazvana Statfjord B i nalazila se u vodi na obali Norveške. Ovisno o nepropusnosti stijena koje sadrže naftu, može se izbušiti više od 30 bušotina za proizvodnju nafte i plina iz jedne platforme. Također, mogu se izbušiti dodatne bušotine za ponovno ubrizgavanje plina povezanog s proizvodnjom nafte i za ubrizgavanje vode radi održavanja tlaka u ležištu. Platforma se uglavnom sastoji od dvije komponente: postrojenja za bušenje i rad i noseće konstrukcije i njezinih temelja. Na vrhu se nalaze platforme za bušenje, oprema za preradu nafte i plina, transportne pumpe te komunalije i stambeni prostori za čak 300 radnika. Nakon prerade nafte, nafta se ili pumpa izravno na obalu podmorskim cjevovodom ili skladišti dok se ne može prenijeti u spremnike. U tom slučaju potrebno je osigurati dovoljno skladišta kako bi sve radilo kontinuirano, bez potrebe za ograničavanjem protoka iz bušotina. Najveća inovacija kod platforma je noseća konstrukcija. Takve konstrukcije moraju osigurati gornje objekte od naleta vjetrova, valova, struja i potresa. Glavne ekološke sile koje također treba uzeti u obzir su one koje proizlaze iz energije valova. Značajan izuzetak su platforme koje se moraju izgraditi uz zapadnu obalu SAD -a, gdje su seizmičke sile glavni problem [15].

Platforme mogu biti: fiksne (učvršćene za morsko dno) i pomične (pričvršćene su za dno sidrenim lancima, cijevima ili se dinamički pozicioniraju). Pomične

platforme koriste se za veće dubine i mogu se premještati. Na veličinu i tip platformi utječe: dubina mora, uvjeti dna i meteorološki faktori (opterećenje valova) te veličina ležišta i broj bušotina. Slika broj 5 prikazuje 10 vrsta odobalnih naftnih platformi:

- 1., 2. i 10. - Konvencionalne fiksne platforme
- 3. Rešetkasta platforma s fleksibilnim tornjem
- 4. i 5. Okomito privezana zatezna noga i mini-napeta platforma za noge
- 6. Spar platforma
- 7. i 8. Poluuronjena naftna platforma
- 9. FPSO postrojenje [16]



**Slika 5.** Prikaz 10 različitih tipova odobalnih naftnih platformi [16]

### 5.1. Stabilne platforme

Stabilne naftne platforme su platforme koje se koriste za vađenje plina i nafte iz mora. Te naftne platforme su izgrađene na betonskim i/ili čeličnim stupovima koji su izravno usidreni u morsko dno tako da podupiru palubu s prostorom za bušuću platformu, prostorom za posadu i proizvodnim pogonom. Isplative su samo u plitkim



vodama i to na dubini do 150 m, a dizajnirane su za dugoročnu upotrebu i otporne su na kretanje vode i vjetra [17].

## **5.2. Poluuronjive platforme**

Poluuronjive platforme su platforme koje se oslanjaju na pontonske stupove koji su uronjeni ispod površine mora i mogu bušiti na dubini od 500 m, a usidrene su sa šest do dvanaest sidra privezanih lancima i žičanim kablovima. Takve platforme su izrazito stabilne jer su uzdignute 100 m ili više iznad površine more te se tako smanjuje opterećenje od valova i vjetra. Poluuronjive platforme mogu plutati na površini vode te je time njihov tranzit s jednog mjesta na drugo mjesto izrazito olakšan. Neke platforme se premještaju putem brodova kao što su tegljači dok druge imaju vlastiti pogon [18,19].

## **5.3. Podizne bušaće platforme**

Podizne bušaće platforme su platforme koje se sastoje od bušaćeg dijela koji ima nekoliko pokretnih nogu pomoću kojih se platforma uzdiže iznad površine mora. Noge se upiru u morsko dno, a zatim se osiguraju tako da ne prodiru u morsko dno i postepeno podižu bušaći dio iznad površine mora na zadanu visinu.

Kada je platforma podignuta na zadanu visinu opterećenje od valova, plime i oseke ne djeluje na samu platforme već jedino na njene noge. Podizne naftne platforme mogu bušiti na dubinama od 150 do 190 m [20, 21].

## **5.4. Bušaći brodovi**

Bušaći brodovi su brodovi koji su modificirani za vađenje nafte i plina iz mora. Oprema za bušenje se propušta kroz rupu u srednjem dijelu broda i spaja se s opremom za bušenje pomoću usponske cijevi. Iako su bušaći brodovi sposobni bušiti u dubokim vodama – od 610 do 3000 m dubine njihov nedostatak je što su osjetljivi na valove, vjetar i morsku struju. Kada brod buši u plićim vodama, usidreni su sa šest do dvanaest sidra, ali kada buši u dubokim vodama brod se mora oslanjati na sustav dinamičkog pozicioniranja kako bi brod ostao na mjestu tijekom bušenja.

Sustav dinamičkog pozicioniranja se oslanja na nekoliko potisnika koji se nalaze na prednjem, srednjem i stražnjem dijelu broda koji su povezani s brodskim računalom koje nadgleda vjetrove i valove kako bi prilagodilo potisnike da brod ostane na mjestu [22].

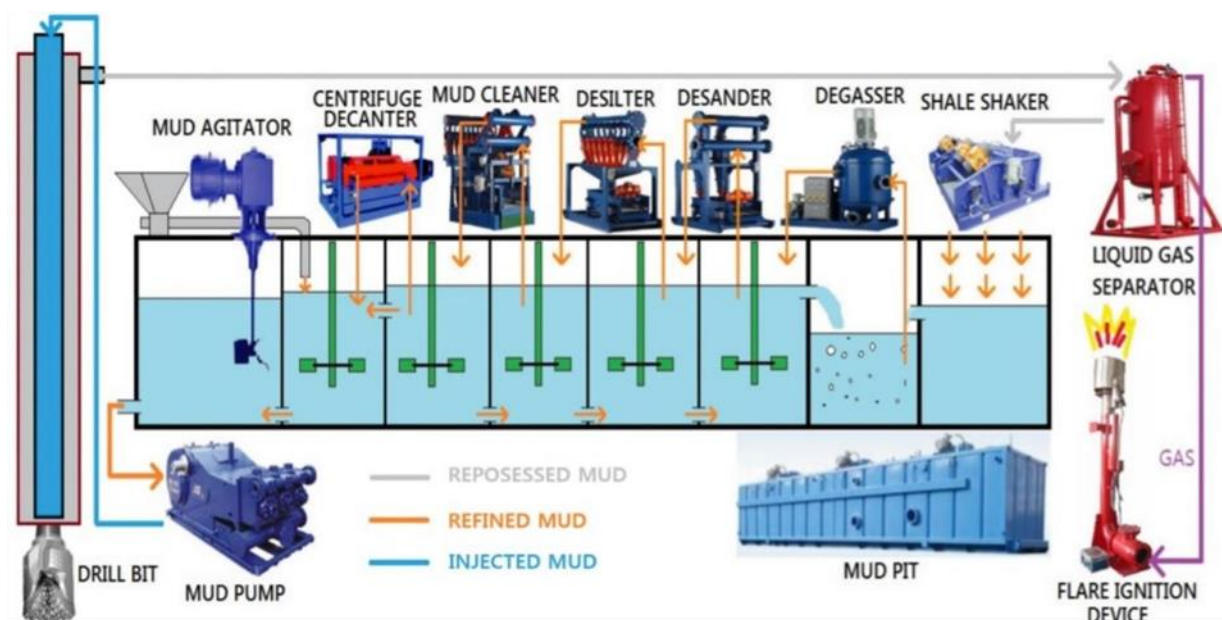
## **6. OTPADNE VODE NA NAFTNIM PLATFORMAMA**

Tipovi otpadnih voda koje se obrađuju na naftnim platformama dijele se na procesne otpadne vode (sulfidne, lužnate i zauljene) i oborinske otpadne vode. Također, postoji više izvora otpadnih voda: Rashladna voda, Otpadna voda iz procesnih jedinica i Balastna voda. Rashladna voda nastaje iz procesnih tokova koji obuhvaćaju različite ugljikovodike i potrebno je ukloniti velike količine topline. U starijim rafinerijama koriste se protočni sustavi s jednim prolaskom rashladne vode, a količina nastale otpadne vode kreće se oko 30 m<sup>3</sup>/T sirove nafte. Moderne rafinerije koriste zračno hlađenje ili recirkulirajući sustav rashladne vode pri čemu je količina nastale otpadne vode manja od 0,1 m<sup>3</sup>/T obrađene sirove nafte. Balastne vode koriste brodovi kako bi osigurali sigurnu plovidbu u slučajevima kada ne prevoze teret. Ona sadrži: planktone, patogene bakterije, strane morske organizme, otpadnu nečistu vodu, viruse, kanalizacijski otpad, razne kemikalije i toksične alge. Zbog povećanog pomorskog prometa, ispušta se znatna količina balastnih voda i stvara onečišćenje u okolišu. Kišnica koja se skuplja na betoniranim područjima u procesnim jedinicama ili u stanicama za utovar rafinerijskih proizvoda, slijeva se u more ili ocean i sadrži manje količine derivata zbog razlijevanja [23].

Na naftnim platformama, u stambenim kompleksima, pojavljuju se sive i crne otpadne vode. Izvori sivih otpadnih voda su tuš kabine, kade, umivaonici, perilice za suđe i rublje. Crna voda je otpadna voda iz toaleta koja prolazi kroz bio disk gdje se tretira kemijski i bakterijama do stupnja prihvatljivosti ispuštanja u more. To su uglavnom vode s malim utjecajem na okoliš.

Da bi se tehnološki i energetske procesi mogli odvijati, koriste se velike količine vode. Ovisno o vrsti procesa, voda se dijelom koristi u sirovom stanju, zatim djelomično obrađena kao dekarbonizirana (filtrirana) i na kraju kao tehnički potpuno obrađena (demineralizirana voda). U tehnološkim i energetske procesima, prikladne količine pojedinog tipa vode uzimaju se iz toka sirove vode, a nakon samog procesa iste te količine završavaju ili u tokovima tehnoloških (procesnih) otpadnih voda ili u okolnom zraku, kao hlapivi dio s rashladnih tornjeva ili kao gubitak na vodenoj pari zbog propuštanja. Tipovi tehnoloških (procesnih) voda su: cirkulacijska voda (rashladna voda), demineralizirana voda, dekarbonizirana voda, tehnološke otpadne vode i sirova voda. Tehnološke otpadne vode koje sadrže kemikalije, ulja i maziva te uljnu isplaku mogu se pojaviti u strojarnici, na radnom prostoru bušaće garniture, u pumpaoni i na palubi. Sistem uljne isplake je zatvoreni sistem koji onemogućava nekontrolirano ispuštanje u okoliš. Iz pumpaone isplake ide u prostor gdje se odvija bušenje, a nakon toga slijedi utiskivanje u bušotinu. Sustav za pročišćavanje isplake i krhotina razrušenih stijena na naftnoj platformi prikazan je na slici broj 6, a sastoji se od separatora pijeska, dva vibratora, separatora mulja, uređaja za čišćenje isplake i centrifuge za odvajanje barita i fino pročišćavanje isplake. Kemikalije, barit i bentonit dodaju se isplaci kroz sustav doziranja stlačenim zrakom i cjevovodima koji se nalaze u zatvorenim prostorima radi onemogućavanja nekontroliranog ispuštanja u okoliš uslijed vjetra ili prosipanja. Svi su prostori opremljeni zatvorenim ventilacijskim sustavima s filterima i taložnicima. Proliveni dio isplake zbog zaštite ostaje u prostoru bušenja te se skuplja u spremniku ispod prostora za bušenje i nakon toga vraća se u pumpaonu. Sve palube na platformama ograđene su plosnatim profilima koji su montirani zavarivanjem na svim rubovima prostora koji onemogućuju bilo kakvo nekontrolirano istjecanje u more. U svim prostorima strojarnice i pumpaone postoje sabirne jame koje skupljaju sve ispuštene fluide. Sve te površine su povezane drenažnim cjevovodima i svi takvi izmiješani fluidi odvođe se do jedinice za fizičko odvajanje ulja i sličnih kemikalija od vode. Kada pročišćena voda sadrži manje od 3 mg/L ulja, ispušta se u more. Sakupljeno ulje se sprema u 200 litarske bačve kod manjih jedinica, a kod većih bušaćih jedinica

u posebni tank otpadnih tekućina. Zatim se transportira na kopno za kontrolirano odlaganje ili u bačvama ili prepumpavanjem u posebne brodove koji su namijenjeni za prihvata i prijevoz otpadnih tekućina [24-26].



**Slika 6.** Shematski prikaz spremnika isplake [25]

Kada se koristi isplaka na bazi vode, pojavljuje se samo ograničena šteta za okoliš, ali kada se upotrebljava isplaka na bazi nafte na dubljim dijelovima bušotina, nastala hrpa krhotina stvara oštećena područja u morskom dnu i na području ispod i uz platforme. Velike količine krhotina na bazi nafte utječu na lokalni ekosustav na tri načina: gušenjem organizama, direktnim toksičnim učinkom otpada, te aerobnim uvjetima uzrokovanim mikrobiološkom razgradnjom organskih sastojaka u otpadu. Osim isplake, koja je glavni potencijalni onečišćivač na prostoru bušenja i tijekom procesa bušenja, postoji mogućnost onečišćenja raznim drugim kemikalijama koje se dodaju tijekom operacija obrade bušotine. Sve veća proizvodnja i prerada nafte dovodi do porasta količine zauljenih otpadnih voda i nepovoljno utječe na sve dijelove ekosustava [27].

Specifičnosti otpadnih voda na naftnim platformama su: temperatura, pH vrijednost, kemijski utrošak kisika (KPK), biološki utrošak kisika u pet dana (BPK<sub>5</sub>),

ukupni organski ugljik(TOC), ukupne suspendirane tvari, fenoli, ugljikovodici, dušikovi spojevi, teški metali, ukupni fosfor, amonijak, sulfidi i dr. [5,28].

1. Kemijska potrošnja kisika (KPK) je veličina koja označava količinu organskih otpadnih tvari u otpadnoj vodi koje mogu oksidirati u vrućoj smjesi kromne i sulfatne kiseline. Kada proces oksidacije završi, količina utrošenog bikromata se određuje titrimetrijski ili kolorimetrijski.
2. Biokemijska potrošnja kisika (BOD) je veličina koja označava količinu kisika (izraženu u mg/L) koja je potrebna da se organska tvar razgradi u 1L otpadne vode uz aerobne bakterije. Proces se odvija pri konstantnoj temperaturi od 20°C i traje pet dana. Najčešće se određuje biokemijska potrošnja kisika u vremenu inkubacije od 5 (BPK<sub>5</sub>) ili 20 (BPK<sub>20</sub>) dana. Za određivanje ove vrijednosti koristiti se biološki rafinerijski mulj.
3. Ugljikovodici u otpadnim vodama određuju se standardnim metodama, ovisno o tome jesu li otopljeni ili suspendirani. Otopljeni ugljikovodici određuju se u uzorku vode nakon prolaza kroz filter, a suspendirani ugljikovodici se određuju na način da se izračuna razlika ukupno određenih ugljikovodika i otopljenih ugljikovodika. Benzin i dizelsko gorivo lakše se dispergiraju u vodi i time su toksičniji za prisutne organizme, ali su lako hlapljivi i ne zadržavaju se dugo u okolišu. Sirova nafta i policiklički aromatski ugljikovodici imaju manju toksičnost, ali su teže hlapljivi se zbog toga stvaraju veću štetu za okoliš.
4. Najveći dio spojeva fenola nastaje od procesa krekiranja te se njegova biorazgradnja do ugljik dioksida odvija relativno lagano. Ukoliko koncentracija fenola iznosi oko 0,5 mg/L, mala je opasnost od akutne toksičnosti za živi morski svijet.
5. Sulfidi su štetni za ribe i druge žive organizme zbog svoje korozivnosti i toksičnosti. U rafinerijskim otpadnim vodama imamo dva oblika sulfida: NH<sub>4</sub>HS u FCC kondenzatima i Na<sub>2</sub>S u lužnatim tokovima. Njihova obrada je različita zbog hlapljivosti NH<sub>4</sub>HS i visoke topljivosti Na<sub>2</sub>S.

6. Najčešći dušikov spoj u otpadnim vodama tijekom proizvodnje nafte i naftnih derivata je  $\text{NH}_4^+$  ion koji ima relativno malu toksičnost, dok su amonijak i nedisocirani amonijev hidroksid relativno toksični.
7. Teški metali otopljeni u vodi mogu se pronaći u obliku hidroksida, oksida, halogenida ili drugih kompleksa koji su ovisni o pH vrijednosti. Njihovo postojanje nije poželjno zbog visoke toksičnosti za žive organizme [23].

Prije nego što se otpadne vode ispuste u more, važno ih je dobro pročistiti zbog:

- kontroliranja toksičnih i postojanih tvari koji se stvaraju u živim organizmima i onemogućuju biološku razgradnju
- odvajanja korozivnih, zapaljivih i eksplozivnih tvari koje oštećuju kanalizacijske cijevi
- povećane koncentracije kloriranih organskih spojeva i policikličnih ugljikovodika koji su opasni zbog sadržavanja mutagenih i kancerogenih tvari
- velikog povećanja koncentracije fitoplanktona (eutrofikacija)
- promjene u sastavu organizama u moru, biljnog i životinjskog svijeta
- uvećane koncentracije spojeva teških metala koji su nedovoljno biorazgradivi ili uopće nisu biorazgradivi
- sastojka koji su otrovni ili teško razgradivi te se miješaju sa živim svijetom okoliša (kisljine, lužine, teške kovine, nafta i naftni derivati, masti i mineralna ulja, sintetički kemijski spojevi i radioaktivni izotopi) [5, 28].

## **7. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA NA NAFTNIM PLATFORMAMA**

Otpadne vode u naftnoj industriji zahtijevaju neki postupak obrade prije ispuštanja u prirodne recipijente. Neki od postupaka obrade otpadne vode su: gravitacija i pojačana gravitacijska sedimentacija, obrada pomoću hidrociklona, flotacija plina, mikrofiltracija i ultrafiltracija, filtracija medija, biološki prozračni filter, adsorpcija, precipitacija, tehnologija ionske izmjene, kemijska oksidacija, otapanje, makroporozna tehnologija ekstrakcije polimera, tehnologija cijevnog odvajanja te koalescencija kombiniranih vlakana. Bilo koji od navedenih načina obrade mora zadovoljavati zahtjeve i zakonske odredbe bez obzira na cijenu. Za odvajanje komponenti po stupnju njihove toksičnosti odvija se proces primarne separacije kojom se odvajaju vodeni od organskih tokova. Prilikom proizvodnje nafte i naftnih derivata bitno je pravilno postupati s otpadom tako da se smanji volumen otpadnih tokova i maksimalno poveća njegovo ponovno korištenje [23].

### **7.1. Gravitacija i pojačana gravitacijska sedimentacija**

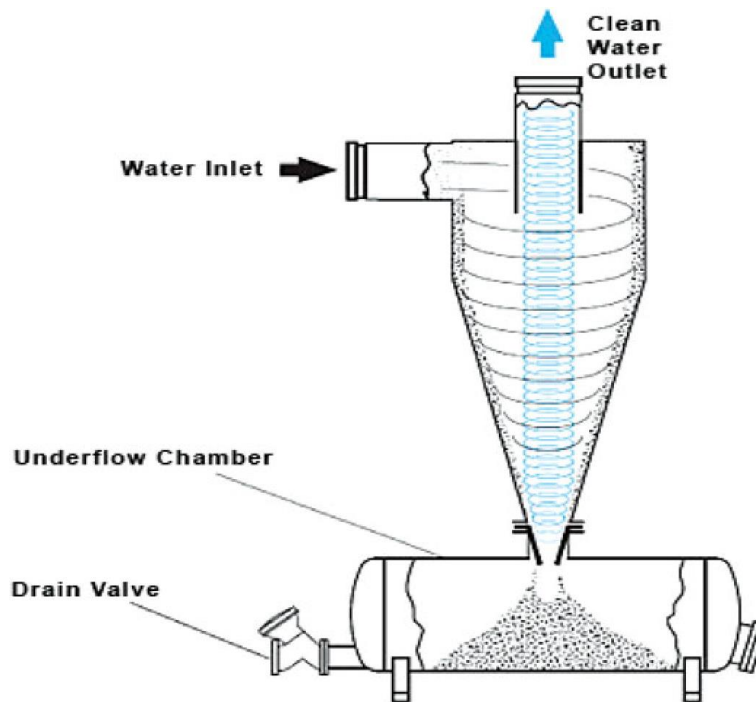
Gravitacijsko taloženje je najprikladnija i najjednostavnija tehnologija u usporedbi s drugim tehnologijama obrade vode. Osim korištenjem kemijskih sredstava, učinak tretmana može se poboljšati upotrebom ultrazvučnih valova, mikrovalova, električnih polja i temperaturnih polja, kao i dodavanjem unutarnjih komponenti za pojačanu gravitacijsku sedimentaciju. Poboljšana tehnologija gravitacijskog taloženja jača proces odvajanja ulja od vode uporabom valovitih, nagnutih i paralelnih ploča koje su spojene s principom plitkog bazena. Oprema temeljena na Stokesovom zakonu s načelom koalescencije i plitkog bazena, zajednički se naziva kosim separatorom ploča te joj je cilj poboljšati postupak odvajanja ulja od vode. Za projektiranje komponenti koje su važne za ovaj proces, uzima se u obzir prostor za plinsku fazu, položaj sučelja ulje-voda i rezidentno vrijeme kontinuirane faze. Učinkovitost uklanjanja kapljica ulja povezana je s promjerom kapi ulja, fizičkim svojstvima ulja i vode, kapacitetom obrade i plutajućim područjem, te je neovisna o plutajućoj visini. Niska plutajuća visina i višeslojne ploče

mogu se koristiti za povećanje plutajućeg područja i poboljšanje učinkovitosti odvajanja u kosim separatorima ploča. Tekućina može održavati stanje laminarnog toka pri velikoj brzini protoka, što pogoduje flotaciji kapljica ulja. Osim toga, spajanje ploča također može poboljšati učinkovitost odvajanja. Što je veći broj slojeva, manji je minimalni promjer kapljica ulja koje se mogu odvojiti u nagnutom separatoru ploča pod istim kapacitetom prerade. Razmak između ploča takvih uređaja najčešće je u rasponu od 40 mm do 60 mm. Oprema za gravitaciju i pojačano sedimentiranje gravitacije neophodna je na priobalnim platformama [11].

## **7.2. Hidrocikloni**

Hidrocikloni koriste fizikalnu metodu za odvajanje krutina od tekućine na temelju gustoće krutina koje se odvajaju. Izrađeni su od metala, plastike ili keramike, a obično imaju cilindrični vrh i stožastu podlogu bez pokretnih dijelova kao što je prikazano na slici broj 9. Učinak hidrociklona određen je kutom njegova stožastog presjeka. Hidrocikloni mogu uklanjati čestice veličine od 5-15  $\mu\text{m}$ . Gotovo osam milijuna barela otpadne vode dnevno se može tretirati hidrociklonima. Koriste se u kombinaciji s drugim tehnologijama kao postupak predobrade i ne zahtijeva kemijsku upotrebu ili prethodnu upotrebu pročišćene vode [8].





**Slika 7.** Shema protokola hidrociklona i način rada[8]

### 7.3. Flotacija plina

Flotacijska tehnologija koristi se za obradu vode koja se proizvodi od konvencionalnih naftnih polja. Ovaj postupak koristi fine mjehuriće plina za odvajanje suspendiranih čestica koje se taloženjem ne mogu lako odvojiti. Kada se plin ubrizga u proizvedenu vodu, suspendirane čestice i kapljice ulja pričvršćuju se na mjehuriće zraka dok se diže i to rezultira stvaranjem pjene na površini vode. Postoje dvije vrste flotacije plina (flotacija otopljenog plina i inducirana flotacija plina) koje se temelje na metodi stvaranja plinskih mjehurića i rezultirajućom veličinom mjehurića. U jedinicama za flotaciju otopljenog plina, plin se uvodi u flotacijsku komoru vakumom ili stvaranjem pada tlaka, a mehaničko smicanje i elise koriste se u induciranim plinskim flotacijskim jedinicama. Plutanjem plina mogu se ukloniti čestice od 25  $\mu\text{m}$ , a mogu se ukloniti i onečišćenja do 3  $\mu\text{m}$  ako se koristi koagulacija kao postupak predobrade, ali ne mogu se ukloniti topljivi sastojci ulja iz vode.

Flotacija je najučinkovitija kada je veličina mjehurića plina manja od veličine kapljica ulja, a očekuje se da će najbolje raditi pri niskim temperaturama. Flotacija se može koristiti za uklanjanje masti i ulja, prirodnih organskih tvari, hlapljivih organskih sastojaka i sitnih čestica iz proizvedene vode. Procjena troška za flotacijsku obradu iznosi 0,60 \$/m<sup>3</sup> proizvedene vode [8].

#### **7.4. Mikrofiltracija / ultrafiltracija**

Membrane se već dugo godina koriste za pročišćavanje otpadnih voda na kopnu. Mogu se klasificirati na mikrofiltracijsku membranu (50–500 nm), ultrafiltracijsku membranu (2–50 nm), membranu s nanofiltracijom (0,6–2 nm) i membranu reverzne osmoze (0,3–0,6 nm) na temelju veličine pora. Mikrofiltracija se najčešće koristi za uklanjanje suspendiranih krutina i smanjenje zamućenja. Ultrafiltracija je najučinkovitija metoda za uklanjanje ulja iz proizvedene vode u usporedbi s tradicionalnim metodama odvajanja i učinkovitija je od mikrofiltracije za uklanjanje ugljikovodika, suspendiranih krutina i otopljenih sastojaka iz vode proizvedene na naftnim poljima. Oba postupka djeluju pri niskom transmembranskom tlaku i mogu poslužiti kao predobrada za desalinizaciju, ali ne mogu ukloniti sol iz vode [8].

#### **7.5. Filtracija medija**

Tehnologija filtracije medija intenzivno se koristi za uklanjanje ulja i masti te ukupnog organskog kisika iz proizvedene vode. Filtracija se može postići upotrebom različitih vrsta medija kao što su pijesak, šljunak, antracit, ljuske oraha i dr. Primjena tehnologije filtracije medija u obalnoj obradi nafte i plina uglavnom se odnosi na uklanjanje nafte i suspendiranih krutih tvari.

Filteri od ljuske oraha obično se koriste za obradu proizvedene vode. Na ovaj postupak ne utječe slanost vode i može se primijeniti na bilo koju vrstu proizvedene vode. Tehnologija filtriranja medija ima visoku učinkovitost pri uklanjanju ulja i masti, a zabilježena je učinkovitost veća od 90%. Učinkovitost se može povećati ako se koagulanti dodaju u proizvedenu vodu prije filtracije. Regeneracija medija i odlaganje čvrstog otpada predstavljaju prepreke u ovom procesu. S razvojem ove tehnologije

postupno su primijenjeni višemedijski filtri s različitim značajkama, poput automatskog ispiranja i visoke brzine filtracije [8,11].

## **7.6. Biološki prozračni filteri**

Biološki prozračni filter je biološka tehnologija koja se sastoji od propusnih medija koji koristi aerobne uvjete za olakšavanje biokemijske oksidacije i uklanjanje organskih sastojaka u otpadnoj vodi. Biološki prozračni filter može iz otpadne vode ukloniti ulje, amonijak, suspendirane krute tvari, dušik, kemijsku potrošnju kisika (KPK), biološku potrošnju kisika (BPK), teške metale, željezo, topivu organsku tvar, organske ostatke u tragovima i sumporovodik. Ovaj postupak zahtjeva taloženje uzvodno i nizvodno kako bi se maksimalno iskoristio puni sloj filtera. Tretman biološkog prozračnog filtera ima učinkovitost uklanjanja od 70% dušika, 80% ulja, 60% KPK, 95% BPK i 85% suspendiranih krutih tvari. Postupak pročišćavanja iznosi gotovo 100% jer se stvoreni otpad uklanja u krutom obliku. Krutine odložene u taložni bazen omogućuju nakupljanje mulja i mogu činiti do 40% troškova ove tehnologije [8].

## **7.7. Adsorpcija**

Adsorpcija se obično koristi kao korak u procesu obrade, a ne kao samostalna tehnologija, jer se adsorbenti lako mogu preopteretiti organskim materijama. Koristi se za uklanjanje mangana, željeza, ukupnog organskog kisika (TOC), mješavine benzena, toluena i tri izomera ksilena (BTEX), ulja i više od 80% proizvedenih metala iz proizvedene vode. Postoje razni adsorbenti kao što su aktivni ugljen, organogлина, aktivna glinica i zeolit. Postupak adsorpcije primjenjiv je na obradu vode bez obzira na njenu slanost. Potrebna je posuda koja sadrži medij i pumpe za povratno ispiranje koje se povremeno događa kako bi se uklonile čestice zarobljene u prazninama medija. Zamjena ili regeneracija može biti potrebna ovisno o kvaliteti pročišćene vode i vrsti medija. Stopa upotrebe medija jedan je od glavnih operativnih troškova adsorpcijske tehnologije. Kemikalije se koriste za regeneraciju medija kada su

blokirana sva aktivna mjesta, što često rezultira odlaganjem tekućeg otpada, a zamjena medija rezultira gospodarenjem čvrstog otpada [8].

### **7.8. Tehnologija ionske izmjene**

Ionska izmjena je široko primjenjiva tehnologija u industrijskim operacijama za razne svrhe, uključujući upotrebu za pročišćavanje proizvedene vode. Posebno je korisna za uklanjanje monovalentnih i dvovalentnih iona i metala iz proizvedene vode. Tehnologija ionske izmjene ima životni vijek od osam godina i zahtjeva mogućnost predtretmana za uklanjanje krutih tvari. Također, potrebna je upotreba kemikalija za regeneraciju i dezinfekciju smola. Operativni troškovi čine više od 70% ukupnih troškova ove tehnologije [8].

### **7.9. Precipitacija**

Precipitacijom nastaju spojevi netopivi u vodi. Najzastupljeniji postupci precipitacije su precipitacija magnezijevog i kalcijevog bikarbonata, te dvovalentnih i trovalentnih metala u obliku hidroksida i sulfida. Postupkom precipitacije talože se aluminijski i željezni hidroksidi, željezni sulfidi te alkaliteti uz metiloranž. Alkaliteti uz metiloranž nastaju tijekom uklanjanja bikarbonata iz vode pomoću vapna ili natrijeve lužine [23].

### **7.10. Kemijska oksidacija**

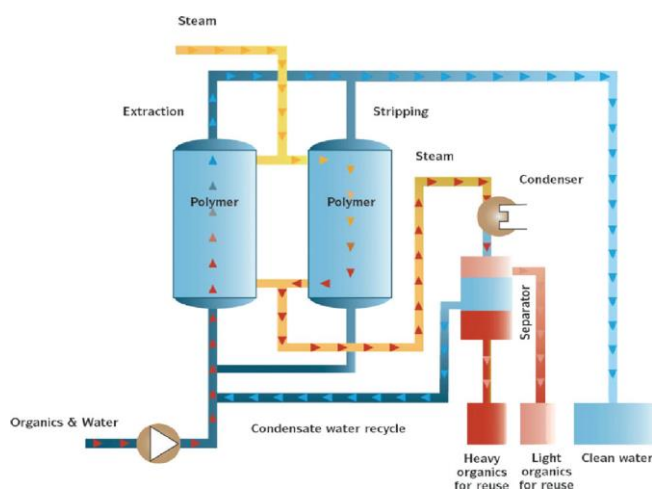
Kemijska oksidacija je učestala i pouzdana tehnologija za uklanjanje boje, mirisa, KPK, BPK, organskih sastojaka i nekih anorganskih spojeva iz proizvedene vode. Obrada ove tehnologije ovisi o reakcijama oksidacije, odnosno redukcije koje se odvijaju zajedno u proizvedenoj vodi jer slobodni elektroni ne mogu postojati u otopini. Oksidansi koji se često koriste uključuju ozon, peroksid, permanganat, kisik i klor. Oksidansi se miješa s onečišćivačima i uzrokuje njihovu razgradnju. Brzina oksidacije ove tehnologije ovisi o kemijskoj dozi, vrsti upotrijebljenog oksidansa, kvaliteti sirove vode i vremenu kontakta između oksidansa i vode. Potrošnja energije čini 18% ukupnih troškova operacije i održavanja ove tehnologije. Životni vijek ove



## 7.12. Makroporozna tehnologija ekstrakcije polimera

Makroporozna tehnologija ekstrakcije polimera (MPPE) jedna je od najboljih dostupnih tehnologija zaštite okoliša za upravljanje otpadnom vodom na naftnim i plinskim platformama u moru. To je tehnologija ekstrakcije tekućina-tekućina gdje se ekstrakcijska tekućina imobilizira u makroporoznim česticama polimera. Te čestice imaju promjer 1000  $\mu\text{m}$ , veličinu pora od 0,1-10  $\mu\text{m}$  i poroznost od 60-70%. Polimeri su u početku bili namijenjeni za adsorpciju ulja iz vode, ali su kasnije primijenjeni na pročišćavanje otpadnih voda. Prva komercijalna jedinica MPPE na platforme u nizozemskom dijelu Sjevernog mora instalirana je 2002. godine. MPPE je korištena za uklanjanje otopljenih i raspršenih ugljikovodika.

U jedinici MPPE proizvedena voda prolazi kroz kolonu napunjenu česticama MPPE koje sadrže specifičnu tekućinu za ekstrakciju, te imobilizirana tekućina ekstrakcije uklanja ugljikovodike iz proizvedene vode. MPPE proces prikazan je na slici 9. Ova se tehnologija u osnovi koristi za smanjenje toksičnosti sadržaja otpadnih voda, a može primiti proizvedenu vodu koja sadrži sol, metanol, glikole, inhibitore korozije, kamenac, sredstva za uklanjanje pjene i otopljene teške metale. MPPE ima visoku učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda od 90-99,99%. Budući da međunarodno zakonodavstvo traži „nulto ispuštanje“ onečišćenja u okoliš, MPPE će u budućnosti biti glavna proizvodna tehnologija za obradu otpadnih voda [8].



**Slika 9.** Shematski prikaz MPPE postupka [8]

### **7.13. Tehnologija cijevnog odvajanja**

Tehnologija cijevnog odvajanja, kojoj se posljednjih godina posvećuje velika pozornost, jedan je od tipičnih predstavnika nove trofazne tehnologije odvajanja s malim prostorom i različitim vrstama. Veliki prostor i težina istaknuti su nedostaci konvencionalnog trofaznog separatora. Razvoj kompaktnih i lakih trofaznih tehnologija razdvajanja važan je budući smjer predtretmana. Cijevni separatori, koji bi mogli probiti granicu tlaka vode, postavljaju se na dno oceana integracijom cjevovoda. Investicijska izgradnja na platformi može se smanjiti ugradnjom cijevnih separatora. Mehanizam cijevnog odvajanja koristi silu teže ili centrifugalnu silu za brzo pred odvajanje tri faze ulja-voda-plin na temelju njihovih razlika u gustoći.. Cjevasti separator pokazuje dobre performanse na nekim naftnim poljima s lakom sirovom naftom. Nestabilnost učinkovitosti cijevnog odvajanja glavni je problem zbog nestabilnih faza nafta-plin-voda i strujanja mulja u transportnim cjevovodima. Cijevni separatori s visokom prilagodljivošću protiv fluktuacija trebaju se razmotriti u budućnosti. Konvencionalni trofazni separatori i dalje su neophodni zbog velike fleksibilnosti rada, posebno kada proizvedena voda sadrži nečistoće ili ako je ulje visoke viskoznosti. Međutim, pojava cijevne separacije pružit će nove mogućnosti u procesu predtretmana [11].

### **7.14. Koalescencija kombiniranih vlakana**

Presretači s nagnutim pločama, hidrociklon i oprema za flotaciju obično se primjenjuju u standardnom procesu obrade. Izum novih tehnologija obrade koje mogu zamijeniti dvostupanjsku metodu tretmana omogućuju bolju proizvodnju na starim platformama na moru, te smanjuju troškove za izgradnju novih platformi na moru. Nova metoda modularne kombinacijske separacije, koja se temelji na frakcijskom odvajanju čestica kapljica ulja, koristi se kako bi se zadovoljilo ograničenje prostora i težine na offshore platformama. Modul za brzo taloženje i CFC modul dizajnirani su za odvajanje disperzivnog i emulgiranog ulja. Metoda koristi CFC module, čiji su slojevi vlakana utkani određenim udjelom hidrofilnih i hidrofobnih vlakana u određenoj konfiguraciji koji djeluju kao jezgra. Postavljen je teoretski

model koji bi mogao pomoći u kvantitativnom projektiranju separatora kako bi se odredile performanse razdvajanja na temelju mehanizma koalescencije vlakana, računske dinamike fluida i eksperimentalne provjere. CFC je prethodno primijenjen na offshore platformama za tretman proizvedene vode. Dvostupanjski hidrociklonski i zračni flotacijski spremnik u izvornom procesu obrade mogao bi se ukloniti nakon ugradnje jednostupanjskog CFC separatora. U usporedbi s konvencionalnim dvostupanjskim serijskim postupkom, CFC pokazuje veću učinkovitost odvajanja u kompaktnom prostoru. Prema sadašnjim istraživanjima, tehnologija može zadovoljiti zahtjeve tretmana konvencionalnih naftnih i plinskih polja na moru. Međutim, i dalje postoji problem nedovoljnog odvajanja visoko emulgirane proizvedene vode koja sadrži površinski aktivne tvari u kojem ulje ima veću viskoznost i gustoću. Primjena CFC-a, koja je još u ranim fazama razvoja, pruža novi izbor za proces pročišćavanja [11].



## 8. ZAKLJUČAK

Otpadne vode sadrže čestice krupnog i sitnog komunalnog otpada, pijesak, masnoće, organske tvari, visoku razinu fosfora i dušika. Kroz tri stupnja pročišćavanja (mehaničko, biološko i kemijsko) uklanja se otpad iz onečišćene vode. Primjenjuju se ovisno o svojstvima vode i o potrebnom stupnju pročišćavanja. Onečišćena voda utječe na okoliš, biljke, životinje i na zdravlje i život ljudi. Europska Unija, Sjedinjene Američke Države, Australija i Kina imaju različite dopuštene koncentracije ispuštanja ulja i masti, ali svi teže istom cilju, a to je „nulto ispuštanje“ onečišćenja. Otpadna voda može biti vrlo korisna ako se koristi pravilna tehnologija pročišćavanja. Pročišćena otpadna voda može se koristiti kao produkt za kvalitetniju proizvodnju nafte i kao voda za piće.

Membranske tehnologije pročišćavanja na naftnim platformama smatraju se jednom od najboljih tehnologija za obradu vode zbog membranskih separacija kojima se iz vode uklanjaju organske i anorganske tvari. S obzirom na to da zakonodavstvo traži program „nultog ispuštanja“ onečišćenja budućnost pročišćavanja otpadnih voda na platformama je u tehnologiji makroporozne ekstrakcije polimera jer je njena učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda veća od 90%.

Naftne platforme i proizvodnja naftnih derivata imaju veliku ulogu u životu ljudi, ali također su veliki onečišćivači voda. Statistički je dokazano da su tankeri koji prenose naftu veći onečišćivači voda nego same naftne platforme. Svaka kompanija koja ima svoju naftnu platformu ulaže maksimalne napore i investira u istraživanja i nove tehnologije kako bi smanjili onečišćenje na minimum. S obzirom na to da je kvaliteta vode i mogućnost prerade otpadnih voda za ponovno korištenje vrlo važno, jedna od glavnih zadaća društva je kontinuirana želja za što bržim napretkom tehnologija pročišćavanja otpadnih voda.

## 9. LITERATURA

- [1.] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=45899> - pristupljeno 08.07.2021.
- [2] Jurac, Z.: Otpadne vode, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, (2009.), ISBN:978-953-7343-24-8
- [3] Malus, D.: Zaštita voda. Nastavni materijali, Građevinski fakultet, Zagreb, (2007.)
- [4] Štrkalj, A.: Onečišćenje i zaštita voda. Nastavni materijali, Metalurški fakultet, Sisak, (2014.)
- [5] Tušar, B.: Pročišćavanje otpadnih voda, Kigen d.o.o. Zagreb, (2009.), ISBN:978-953-6970-65-0
- [6] [https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/otpadne\\_vode.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/otpadne_vode.pdf) - pristupljeno 14.07.2021.
- [7] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020) – pristupljeno 14.07.2021
- [8] Igunnu T. E., Chen Z. G.: Produced water treatment technologies, Faculty of Engineering, Department of Chemical and Environmental Engineering, and Energy and Sustainability Research Division, University of Nottingham – pristupljeno 14.07.2021
- [9] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=42761> – pristupljeno 27.08.2021.
- [10] Cerić E.: Nafta, procesi i proizvodi, Kigen d.o.o. Zagreb, (2006.), ISBN:953-7049-35-3
- [11] Liu Y., Lua H., Li Y., Xub H., Pana Z., Dai P., Wang H., Yang Q.: A review of treatment technologies for produced water in offshore oil and gas fields – pristupljeno 30.08.2021.

- [12] Milosavljević F.: Utjecaj naftnog zagađenja na površinski mikrosloj mora, Institut Ruđer Boškovića, Zavod za istraživanje mora i okoliša – pristupljeno 29.08.2021
- [13] <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-62-2010-08-07.pdf> - pristupljeno 28.08.2021.
- [14] Ellers S. F.: Advanced Offshore Oil Platforms – pristupljeno 29.08.2021
- [15] <https://www.voda.ba/uimages/Amra%20Serdarevic%20ZR.pdf> – pristupljeno 15.07.2021
- [16] [https://en.wikipedia.org/wiki/Oil\\_platform](https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_platform) - pristupljeno 29.08.2021.
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/Fixed\\_platform](https://en.wikipedia.org/wiki/Fixed_platform) - pristupljeno 19.07.2021
- [18] [https://en.wikipedia.org/wiki/Semi-submersible\\_platform](https://en.wikipedia.org/wiki/Semi-submersible_platform) - pristupljeno 19.07.2021
- [19] <https://glossary.oilfield.slb.com/en/terms/s/semisubmersible> - pristupljeno 19.07.2021
- [20] [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Jackup\\_rig](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Jackup_rig) - pristupljeno 19.07.2021
- [21] [https://www.monitor-systems-engineering.com/jack\\_up\\_rigs.html](https://www.monitor-systems-engineering.com/jack_up_rigs.html) - pristupljeno 19.07.2021
- [22] [https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight\\_id=306&c\\_id=](https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=306&c_id=)  
- pristupljeno 19.07.2021.
- [23] [https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/2a\\_17-12-18\\_Predavanje\\_-\\_ZOPN\\_2ppt.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/2a_17-12-18_Predavanje_-_ZOPN_2ppt.pdf) - pristupljeno 22.09.2021
- [24] [https://mingor.gov.hr/UserDocImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/22\\_05\\_2019\\_Elaborat\\_Becic.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/22_05_2019_Elaborat_Becic.pdf) - pristupljeno 09.09.2021.

[25] <https://www.slideshare.net/EngElsayedAmer/rig-components-86164430> - pristupljeno 09.09.2021.

[26] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike; KLASA: UP/I-351-03/16-02/101, URBROJ: 517-06-2-1-2-17-22

[27] <https://repozitorij.rgn.unizg.hr/islandora/object/rgn%3A304> – pristupljeno 10.09.2021.

[28] [https://www.voda.hr/sites/default/files/pdf\\_clanka/hv\\_86\\_2013\\_311-320\\_mrsahaber-et-al.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/pdf_clanka/hv_86_2013_311-320_mrsahaber-et-al.pdf) - pristupljeno 10.09.2021.

## **10. PRILOZI**

### **10.1. Popis simbola**

KPK – kemijska potrošnja kisika

BPK – biokemijska potrošnja kisika

TOC – ukupni organski kisik

BTEX – mješavina benzena, toluen i tri izomera ksilena

MPPE – makroporozna tehnologija ekstrakcije polimera

CFC – Koalescencija kombiniranih vlakana

FPSO - Plutajuća proizvodna jedinica za skladištenje i istovar

### **10.2. Popis slika**

Slika br 1 – Izvori onečišćenja vode[3].....	2
Slika br. 2 – Otpadne vode iz kućanstva[4].....	3
Slika br. 3 – Omjer vode i nafte[11].....	10
Slika br. 4 – Prikaz razgradnje istjecanja nafte na kopnu i moru[13].....	12
Slika br. 5 – Prikaz 10 različitih odobalnih naftnih platformi[16].....	14
Slika br. 6 – Shematski prikaz spremnika isplake[24].....	18
Slika br. 7 - Shema protokola hidrociklona i način rada[8].....	23
Slika br. 8 - Shematski prikaz AltelaRain postupka[8].....	27
Slika br. 9 - Shematski prikaz MPPE postupka[8].....	28