Utjecaj na okoliš odobalnih i kopnenih postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina

Radimiri, Sven

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:452734

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

UTJECAJ NA OKOLIŠ ODOBALNIH I KOPNENIH POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

Diplomski rad

Sven Radimiri
N-192

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

UTJECAJ NA OKOLIŠ ODOBALNIH I KOPNENIH POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

Sven Radimiri

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Prirodni plin, kao najčišće fosilno gorivo, preuzima sve veći udio na energetskom tržištu, što kao posljedicu ima razvoj sve više odobalnih postrojenja za obradu plina. Utjecaj na okoliš odobalnih i kopnenih postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina predmet su brojnih studija. U ovom diplomskom radu će biti opisani i analizirani uloga ukapljenog prirodnog plina u energetskom sektoru, potreba za zaštitom okoliša marinskih područja te potencijalni utjecaji odobalnih i kopnenih postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina na okoliš.

Ključne riječi: ukapljeni prirodni plin, odobalno postrojenje, ukapljivanje plina, utjecaj na okoliš

Diplomski rad sadrži: 56 stranica, 10 tablica, 10 slika i 16 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica RGNF
2. Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNF
3. Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF

Datum obrane: 23. veljače 2017., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master thesis

ENVIRONMENTAL IMPACT OF FLOATING AND ONSHORE NATURAL GAS LIQUEFICATION UNITS

Sven Radimiri

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Abstract

Natural gas, as the cleanest fossil fuel, is getting more notable share on energy market, which leads to the development of floating natural gas processing units. Environmental impact of floating and onshore natural gas units has been subject of many studies. The role of liquefied natural gas in energy sector, need for environmental protection of marine systems along with potential environmental impact of floating and onshore natural gas processing units will be discussed and analysed in this Master thesis.

Key words: liquefied natural gas, floating unit, natural gas processing, environmental impact

Thesis contains: 56 pages, 10 tables, 10 figures and 16 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Mentor: Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD

Reviewers: 1. Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD
2. Full Professor Katarina Simon, PhD
3. Assistant Professor Vladislav Brkić, PhD

Thesis defence date: February 23rd 2017, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA I
POPIS TABLICA II
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I KRATICA III

1. UVOD 1
2. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN – UPP 3
2.1. PRIRODNI PLIN I UKAPLJENI PRIRODNI PLIN 3
2.2. POTREBA ZA UKAPLJENIM PRIRODNIM PLINOM 4
2.3. LANAC OPSKRBE UPP-A 5
2.4. TRŽIŠTE UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA 5
3. UTJECAJ UPP-A NA OKOLIŠ 7
3.1. UTJECAJ NA ATMOSFERU 7
3.1.1. Kategorije emisija prema izvoru 8
3.1.2. Kategorije izvora emisija prema vrsti operacija kod UPP-a 9
3.1.3. Emisije stakleničkih plinova kod UPP operacija 14
3.2. UTJECAJ NA MORSKI OKOLIŠ 17
3.3. OSTALI UTJECAJI 19
4. ODOBALNA POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA 20
4.1. PRELUDE FLNG 20
4.1.1. Tehničke i tehnološke karakteristike Prelude FLNG postrojenja 21
4.1.1.1. Postupci obrade plina na Prelude postrojenju 22
4.1.2. Utjecaj na okoliš Prelude FLNG postrojenja 24
4.1.2.1. Fizički utjecaji 25
4.1.2.2. Svjetlosni utjecaji 26
4.1.2.3. Utjecaj podvodne buke 27
4.1.2.4. Utjecaj krutog otpada 28
4.1.2.5. Utjecaj tekućeg otpada 29
4.1.2.6. Utjecaj emisija u atmosferu 30
4.1.2.7. Utjecaj neplaniranih događaja 33

4.1.2.8. Socioekonomski utjecaji 34
4.1.2.9. Kumulativni utjecaji 34
4.1.2.10. Pregled ukupnih utjecaja Prelude FLNG postrojenja 35
5. KOPNENA POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA 38
5.1. PROJEKT SAKHALIN II 38
5.2. TEHNIČKE I TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE SAKHALIN II POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA 40
5.3. POSTUPCI OBRADE PLINA NA SAKHALIN II POSTROJENJU 41
5.4. UTJECAJ NA OKOLIŠ SAKHALIN II UPP POSTROJENJA 43
5.4.1. Utjecaj na atmosferu 43
5.4.2. Utjecaj buke 46
5.4.3. Utjecaj na kopnene vodene resurse 46
5.4.4. Utjecaj na more 47
5.4.5. Utjecaj na biljni svijet 47
5.4.6. Utjecaj na ptice 47
5.4.7. Utjecaj na kopnene životinje 48
5.4.8. Utjecaj na bentičku floru i faunu 48
5.4.9. Utjecaj na ribe 49
5.4.10. Utjecaj na morske sisavce 49
5.4.11. Utjecaj neplaniranih događaja 50
5.4.12. Ostali utjecaji 51
5.4.13. Pregled ukupnih utjecaja Sakhalin II LNG postrojenja 51
6. ZAKLJUČAK 53
7. LITERATURA 55

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Odnos volumena prirodnog plina u plinovitom i tekućem stanju 4
Slika 2-2. Shematski prikaz lanca opskrbe UPP-a 5
Slika 2-3. UPP tanker na Bontang LNG terminalu za ukapljivanje 6
Slika 4-1. Shema podvodne instalacije Prelude FLNG postrojenja 21
Slika 4-2. Prelude FLNG 24
Slika 4-3. Emisije stakleničkih plinova za Prelude FLNG prema izvoru 31
Slika 4-4. Grafički prikaz usporedbe intenziteta emisija stakleničkih plinova 32
Slika 5-1. Karta Sakhalin II projekta 39
Slika 5-2. Shema procesa obrade plina na postrojenju Sakhalin II 41
Slika 5-3. Sakhalin II postrojenje za UPP 42

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Kategorizacija emisija od sagorijevanja u UPP lancu operacija 11
Tablica 3-2. Kategorizacija emisija pri ispuštanju kroz ispušne otvore u UPP lancu operacija 12
Tablica 3-3. Kategorizacija fugitivnih emisija u UPP lancu operacija..... 13
Tablica 3-4. Kategorizacija emisija koje se javljaju pri transportu UPP-a..... 14
Tablica 3-5. Potencijali globalnog zatopljenja (GWP) stakleničkih plinova 16
Tablica 4-1. Matrica procjene značaja utjecaja 25
Tablica 4-2. Potencijalni utjecaji na okoliš Prelude FLNG postrojenja..... 35
Tablica 5-1. Modelirani slučajevi emisija 44
Tablica 5-2. Inventar modeliranih emisija..... 45
Tablica 5-3. Potencijalni utjecaji na okoliš Sakhalin II LNG postrojenja..... 51

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I KRATICA

API – Američki naftni institut; engl. *American Petroleum Institute*;

DMR – dvostruko miješano rashladno sredstvo; engl. *Dual Mix Refrigerant*;

FLNG – plutajuće postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina; engl. *Floating LNG*;

GWP – potencijal globalnog zatopljenja; engl. *Global Warming Potential*;

IPCC – Međuvladino tijelo o klimatskim promjenama; engl. *Intergovernental Panel on Climate Change*;

LNG – ukapljeni prirodni plin; engl. *Liquefied Natural Gas*;

MDEAa – aktivirani metildietanolamin;

MMBtu – milijun britanskih termalnih jedinica; engl. *Million British Thermal Unit*;

OPF – kopneno postrojenje za obradu prirodnog plina; engl. *Onshore Processing Facility*;

ppm – dijelova u milijunu; engl. *parts per million*;

UNP – ukapljeni naftni plin;

UPP – ukapljeni prirodni plin;

WHO – Svjetska zdravstvena organizacija; engl. *World Health Organization*

1. UVOD

Globalni ekonomski rast popraćen je sve većom potražnjom za energijom. Iako je stopa rasta potrošnje primarne energije od 1% u 2015. godini ispod desetogodišnje prosječne stope rasta od 1,9%, potreba za energijom iz godine u godinu sve je veća. Shodno tome, i proizvodnja prirodnog plina bilježi lagani rast (povećanje 1,7%). Unatoč povećanju proizvodnje, zbog trenutne relativno niske cijene plina od otprilike 3 $/MMBtu (0,11 $/$m^3$), proizvođači su primorani tražiti što isplativija rješenja za svoje projekte. Mnogi proizvođači velika sredstva ulažu u projekte vezane za ukapljeni prirodni plin, UPP, za koji određene projekcije ukazuju na povećanje proizvodnje od 4,4% godišnje do 2030. godine, što je dvostruko više od ukupnog rasta proizvodnje prirodnog plina od 2,1% u istom razdoblju. S trendom povećanja potražnje za energijom i težnjom za „čišćom" energijom, prirodni će plin imati ključnu ulogu u lancu opskrbe energijom. Inovacije i unaprjeđenje postojeće tehnologije dovesti će do razvoja odobalne proizvodnje ukapljenog prirodnog plina (BP, 2016).

Usporedno s povećanjem potražnje za energijom, jača svijest o potrebi za očuvanjem okoliša i smanjenju negativnih učinaka koje globalizacija i razvoj industrije imaju na okoliš, koji se nastojao u potpunosti podrediti i prilagoditi ljudskim potrebama. Ljudsko djelovanje na okoliš očituje se također i u izravnim negativnim posljedicama na ekološki sustav, floru i faunu te izravnim i neizravnim posljedicama po ljudsko zdravlje i kvalitetu ljudskog života. Sedamdesetih godina prošlog stoljeća, nakon prepoznavanja problema globalnog zatopljenja i klimatskih promjena, došlo je do podizanja globalne ekološke svijesti, zbog čega su vodeće ekonomske sile počele poduzimati odlučnije korake ka smanjenju emisija štetnih plinova (Hrnčević, 2014). Zbog toga, propisi i procedure u industriji postaju sve rigorozniji i orijentirani prema očuvanju okoliša, te zaštiti biljnog i životinjskog svijeta na kojeg svi segmenti industrije mogu imati određeni učinak. Stoga su studije utjecaja na okoliš ključni dokumenti kod razvoja svakog novog projekta te se analitički izrađuju i vrlo sistematično obrađuju svaki potencijalni utjecaj koji projekt može imati na okoliš. Jedna takva studija, za prvo svjetsko odobalno postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina, Shell-ov *Prelude*, biti će analizirana i opisana u ovom radu.

Odobalna postrojenja za preradu prirodnog plina mogu imati značajan utjecaj na marinske sustave u kojima se nalaze. Iako marinski sustavi mogu biti izrazito osjetljivi, to ne znači da je realizacija određenih projekata u takvim sustavima nemoguća. Uz pomno planiranje i svođenje utjecaja na okoliš na najmanju moguću razinu, moguće je instalirati postrojenja za obradu prirodnog plina unutar osjetljivih marinskih sustava, bez značajnijeg negativnog utjecaja na te sustave. Kao primjer valja spomenuti obustavljeni projekt *Browse FLNG* koji je bio predviđen na vrlo osjetljivom području grebena Scott, tristotinjak kilometara od sjeverozapadne obale Australije, a odobren od strane australskog Ministarstva zaštite okoliša.

U ovome radu će, na temelju izrađenih studija utjecaja na okoliš postojećih projekata odobalnih i kopnenih postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina biti opisani i analizirani mogući utjecaji tih postrojenja na okoliš te načini na koje bi se izbjegle potencijalne negativne posljedice njihovog djelovanja na marinske sustave.

2. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN – UPP

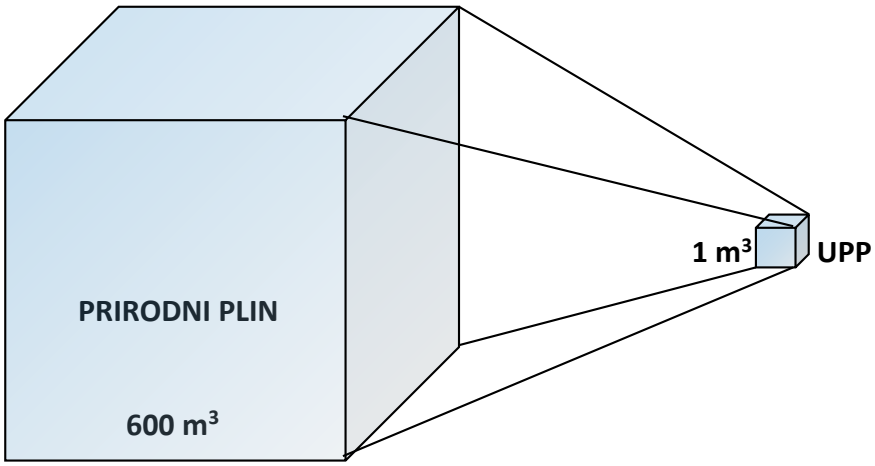
2.1. PRIRODNI PLIN I UKAPLJENI PRIRODNI PLIN

Prirodni plin je fosilno gorivo koje se prirodno pojavljuje u podzemnim geološkim formacijama. Prirodni plin se sastoji primarno od metana, najjednostavnijeg ugljikovodika, i težih i složenijih ugljikovodika poput etana, propana, butana i pentana. Prirodni plin još može sadržavati i određene udjele dušika, ugljičnog dioksida, vodene pare te sumporovodika, koje je zbog sigurnosti, ekonomičnosti iskorištavanja prirodnog plina i sprječavanja štetnih emisija potrebno odstraniti. Proizvedeni prirodni plin se obrađuje kako bi se dobio prirodni plin za uporabu u kućanstvima i industriji te kao takav sadrži barem 90% metana s manjim udjelima etana i drugih tekućih ugljikovodika (Shively et al., 2010).

Prirodni plin je najčišće dostupno fosilno gorivo pošto pri njegovom izgaranju nastaju najmanje količine ugljičnog dioksida i vodena para, te male količine dušikovog oksida i ugljikovog monoksida, u odnosu na druga fosilna goriva. U usporedbi s ostalim fosilnim gorivima, količina ugljika koja nastaje pri izgaranju prirodnog plina je relativno mala. Prirodni plin se često naziva tzv. „mostnim gorivom“ (engl. „*bridge fuel*“), što znači da je trenutno široko dostupno gorivo s najmanje štetnim utjecajem na okoliš, dok se više ne razviju obnovljivi izvori energije. Udio prirodnog plina u svjetskoj potrošnji primarne energije iznosi 23,8% te se očekuje da će zadržati svoju ulogu u doglednoj budućnosti (Shively et al., 2010).

Prirodni plin je u svom prirodnom stanju pri atmosferskom tlaku i standardnoj temperaturi (15 °C) u plinovitom stanju. Transport prirodnog plina obavlja se plinovodima pošto mu je volumen prevelik da bi ga se ekonomično transportiralo kamionima ili brodovima u plinovitom stanju. Pri hlađenju prirodnog plina pri atmosferskom tlaku, na temperaturu ispod -161° C, on prelazi u tekuće agregatno stanje, a volumen mu se smanjuje oko 600 puta (Shively et al., 2010). Dobivena tekućina, koja je bez boje i mirisa, naziva se ukapljeni prirodni plin, UPP (engl. *liquefied natural gas*, LNG). Za razliku od ostalih plinova, prirodni plin nije potrebno stlačivati kako bi ostao u tekućem stanju. Ukapljeni prirodni plin je gotovo u potpunosti čisti metan, pošto se većina primjesa i nečistoća uklanja prilikom hlađenja. Ukapljeni prirodi plin ne sagorijeva, već pri zagrijavanju isparava u gorivi plin. Ukapljeni

prirodni plin, pošto mu je volumen značajno smanjen u odnosu na prirodni plin u plinovitom stanju, moguće je ekonomično transportirati brodovima ili kamionima, ili pohraniti u spremnike (Shively et al., 2010).



Slika 2-1. Odnos volumena prirodnog plina u plinovitom i tekućem stanju (www.marinefirefighting.com)

2.2. POTREBA ZA UKAPLJENIM PRIRODNIM PLINOM

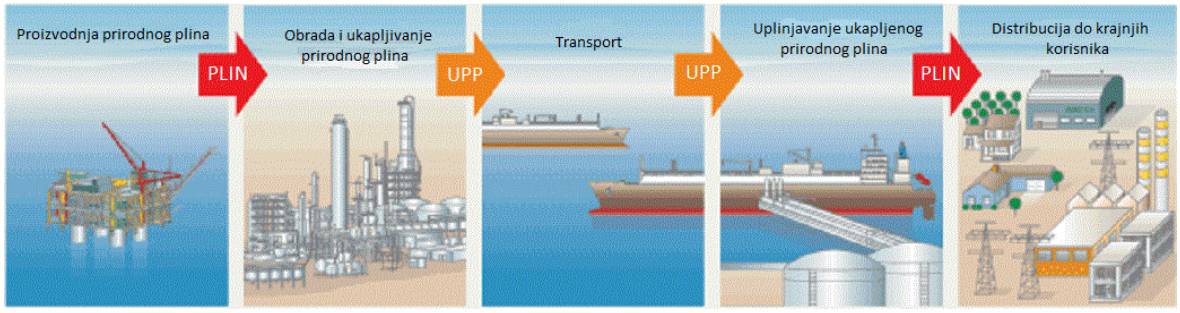
Najekonomičniji način transporta plina od mjesta proizvodnje do krajnjih korisnika je visokotlačnim plinovodima, u slučajevima kada su mjesto proizvodnje i korisnici na istom kontinentu. Međutim, ako je udaljenost između krajnjih korisnika i mjesta proizvodnje prilično velika (uglavnom preko 1600 km) i ukoliko su geografski odvojeni vodenim površinama, transport plina može biti ekonomičniji ukoliko se plin ukaplji i prevozi brodovima (Shively et al., 2010).

Ukapljeni prirodni plin često se koristi za skladištenje prirodnog plina. Zahvaljujući smanjenom volumenu, ukapljeni prirodni plin moguće je ekonomično pohraniti u nadzemne spremnike. Takve zalihe često se koriste za pokrivanje vršne potrošnje plina, naročito u područjima gdje ne postoje podzemna skladišta plina. Za potrebe skladištenja, u sustav opskrbe se postavlja malo postrojenje za ukapljivanje u kojem se višak plina u razdobljima slabije potrošnje ukapljuje i skladišti. U razdoblju vršne potrošnje, ukapljeni prirodni plin se zagrijava i u plinovitom stanju otprema u distribucijski sustav kako bi se zadovoljila potražnja (Shively et al., 2010).

Proizvođači u područjima s viškom zaliha prirodnog plina, kao što je npr. Katar, u ukapljenom prirodnom plinu vide mogućnost izlaska na globalna tržišta. UPP omogućuje proizvođačima zaradu na višku zaliha tako da plin prodaju u područja u kojima potražnja nadmašuje proizvodnju ili gdje proizvodnja nije ekonomski isplativa. Za korisnike u takvim područjima, UPP se nameće kao ekonomski najisplativiji način opskrbe prirodnim plinom (Shively et al., 2010).

2.3. LANAC OPSKRBE UPP-A

Lanac opskrbe ukapljenog prirodnog plina sastoji se od pet glavnih segmenata: proizvodnja prirodnog plina, obrada plina i ukapljivanje, transport UPP-a (brodovima), prihvat i uplinjavanje plina, te distribucija do krajnjih korisnika.



Slika 2-2. Shematski prikaz lanca opskrbe UPP-a (ExxonMobil, 2005)

2.4. TRŽIŠTE UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

Ukupni promet ukapljenim prirodnim plinom u 2015. godini je iznosio 244,8 × 10^6 tona, što je najviše zabilježeno u povijesti. Prosječna cijena UPP-a na spot tržištu sjeveroistočne Azije iznosila je 7,83 $/MMBtu (720,33 $/t). Ukapljeni prirodni plin u 2015. godini izvozilo je 17 zemalja, među kojima prednjači Katar sa 77,8 × 10^6 tona/god UPP-a. Zemalja uvoznica UPP-a bilo je 33, a najveći uvoznik bio je Japan sa 85,6 × 10^6 t/god uvezenog ukapljenog prirodnog plina. Ukupni kapacitet ukapljivanja prirodnog plina na globalnoj razini na početku 2016. godine iznosio je 301,5 × 10^6 t/god, što je povećanje od 3,6 % u odnosu na 2014. godinu. Na Petronas-ovom PFLNG 1 postrojenju krajem 2016. proizvedene su prve količine ukapljenog prirodnog plina na odobalnom postrojenju, a još tri velika projekta su u fazi izgradnje, od kojih bi Shell-ov Prelude 2017. godine trebao početi s radom. Njihov ukupni predviđeni kapacitet iznosi 8,7 × 10^6 t/god. Ukupni kapacitet postrojenja za

ukapljivanje prirodnog plina krajem 2015. godine iznosio je 757 × 10^6 t/god, što je povećanje od 3,3 % u odnosu na 2014. godinu, zahvaljujući otvaranju novih tržišta u Egiptu, Jordanu, Pakistanu i Ujedinjenim Arapskim Emiratima. Udio odobalnih postrojenja za uplinjavanje prirodnog plina iznosio je 10,2 % ukupnog kapaciteta, odnosno 77 × 10^6 t/god. Globalnu flotu brodova za prijevoz UPP-a sačinjavalo je 410 plovila ukupnog kapaciteta 60 × 10^6 m^3 (IGU, 2016).

Slika 2-3. UPP tanker na Bontang LNG terminalu za ukapljivanje (www.geology.com)

3. UTJECAJ UPP-A NA OKOLIŠ

U fazi izgradnje infrastrukture, kako za ukapljeni prirodni plin, tako i kod konvencionalnih plinovoda, dolazi do utjecaja na okoliš. Utjecaji UPP-a na okoliš su prilično lokalni, uglavnom se odnose na marinske sustave, dok plinovodi imaju veći opseg utjecaja, uglavnom u kopnenim područjima, zahvaćajući širi spektar sastavnica okoliša i geografskih područja. Sukladno tome, utjecaji UPP na okoliš su prividno manjeg razmjera od utjecaja sustava plinovoda. Međutim, terminali za UPP također zahtijevaju izgradnju plinovoda za dobavu plina na tržište, pa ako se sagleda šira slika, utjecaji plinovoda na okoliš prisutni su i kod projekata vezanih za ukapljeni prirodni plin. Kompjuterskim modeliranjem potencijalnih učinaka pojedinih operacija moguće je umanjiti očekivane utjecaje (Cameron, 2008).

3.1. UTJECAJ NA ATMOSFERU

Pojam „atmosfera“ odnosi se na sloj zraka iznad Zemljine površine, debljine otprilike 10 km, tipično karakteriziran s tri komponente: klimom, kvalitetom zraka i kvalitetom zvuka (bukom). Utjecaji na klimu odnose se prvenstveno na promjene temperature, učestalost oborina, vjetar i razinu mora kao posljedice emisija stakleničkih plinova, najznačajnijeg čimbenika globalnih klimatskih promjena (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Procesi i uređaji koji se koriste u UPP lancu operacija sastoje se od opreme, koja se koristi i u drugim djelatnostima naftne industrije, kao i od specijalne opreme za ukapljivanje, skladištenje, utovar, prijevoz, istovar i uplinjavanje prirodnog plina. Obujam emisija stakleničkih plinova u UPP sektoru prvenstveno se odnosi na kvalitetu i količinu goriva utrošenog u tehnološkim procesima, toplinsku učinkovitost procesa, količinu otparka i obujam povratnih isparenih plinova nastalih pri zagrijavanju ohlađenog plina. Stoga na emisije utječu i hlapljivost korištenih smjesa, inspekcijski pregledi i operacije održavanja te dizajn kontrolne opreme (API, 2015).

3.1.1. Kategorije emisija prema izvoru

Prema naputcima Ujedinjenih Naroda, sve emisije koje ne potječu od sagorijevanja goriva u procesima, kao što su emisije od spaljivanja na baklji i emisije zbog ispuštanja kroz ispušne otvore, definirane su kao fugitivne emisije. Međutim, ta definicija je u suprotnosti s utvrđenim propisanim definicijama za kontrolu emisija hlapljivih organskih spojeva u mnogim državama. Stoga će u radu, prema API standardima emisije nastale sagorijevanjem na baklji biti razmatrane zajedno s ostalim emisijama koje nastaju pri sagorijevanju, a fugitivne emisije bit će izuzete iz emisija koje nastaju ispuštanjem. Prema tome, emisije iz izvora u lancu UPP operacija mogu se razvrstati u sljedeće glavne kategorije (API, 2015):

• **emisije od sagorijevanja –** emisije koje nastaju prvenstveno kao posljedica sagorijevanja goriva. To se odnosi na sagorijevanje goriva u strojevima i turbinama koje proizvode energiju za stlačivanje plinova, fluida u pumpama ili za proizvodnju električne energije te na sagorijevanje goriva u grijačima i kotlovima. Sagorijevanje plinova na baklji i u pećima je prema API standardima obuhvaćeno emisijama nastalim sagorijevanjem, ali je uobičajeno da se prikazuju kao emisije zbog ispuštanja kroz ispušne otvore, u skladu sa preporukama IPCC-a.

• **emisije nastale ispuštanjem kroz ispušne otvore** – emisije koje nastaju ispuštanjem metana i/ili ugljičnog dioksida. Ove emisije se također javljaju u operacijama kao što su ispuhivanje iz kompresora ili druge opreme (tzv. „*bleed down*“) radi održavanja ili izravno ispuštanje plina korištenog za pokretanje uređaja kao što su pneumatski kontroleri. Prema preporukama IPCC-a za nacionalne količine stakleničkih plinova, ova kategorija obuhvaća i svo spaljivanje plina u hitnim slučajevima kada ispušteni plin nije preusmjeren na baklju.

• **fugitivne emisije –** emisije do kojih dolazi nenamjerno, a ne prolaze kroz baklju, ispušne vodove, dimnjake, ispušne ventile ili ostale otvore namijenjene u tu svrhu. Te emisije su izravna posljedica nehermetičnosti opreme, a javljaju se na ventilima, spojnicama, brtvećim elementima i spremnicima.

3.1.2. Kategorije izvora emisija prema vrsti operacija kod UPP-a

Izvori stakleničkih plinova iz pojedinih operacija vezanih uz ukapljeni prirodni plin biti će navedeni u nastavku. Kategorizacija pojedine opreme kod koje dolazi do emisija, u svakom segmentu lanca operacija, ovisi o samom dizajnu postrojenja. Na primjer, neke segmente obrade prirodnog plina je teško odvojiti od procesa ukapljivanja prirodnog plina, zbog zajedničkog dizajna i načina djelovanja, kao što je slučaj i sa proizvodnjom energije na postrojenjima za uplinjavanje (API, 2015).

• **Ukapljivanje** – izvori emisija se prvenstveno odnose na emisije pri sagorijevanju fosilnih goriva za pogon turbina, generatora i ostalih pogonskih motora. Osim toga emisije od sagorijevanja javljaju se i kod grijača, na baklji te kod ostalih izvora kod kojih se generira toplinska energija. U ovu kategoriju još spadaju i emisije iz procesa izdvajanja ugljičnog dioksida, emisije kod odzračivanja kompresora za kriogeno hlađenje, odzračivanje iz dvostupanjskog izmjenjivača topline (engl. „*cold box*“) na mjestima ukapljivanja, fugitivne emisije iz pumpi i kompresora, odzračivanje spremnika za ukapljeni prirodni plin te fugitivne emisije kod prirubnica, ventila, i ostalih dijelova opreme. U slučaju integrirane proizvodnje prirodnog plina na postrojenju za ukapljivanje, dodatni izvori emisija stakleničkih plinova iz postupaka proizvodnje plina moraju se uzeti u obzir pri razmatranju ukupnih emisija tog postrojenja.

• **Skladištenje** – izvori obuhvaćaju spaljivanje i ispuštanje viška isparenog plina iz spremnika, emisije od sagorijevanja i odzračivanja kompresora pri obradi isparenog plina, te fugitivne emisije iz kompresora.

• **Utovar i istovar** – emisije od sagorijevanja pri proizvodnji energije potrebne za snabdijevanje brodskih teretnih pumpi električnom energijom, emisije pri ispuštanju kod prekida pretovarne veze između broda i postrojenja, fugitivne emisije kod cijevnih prirubnica, ventila i ostalih dijelova opreme.

• **Transport** – emisije pri ispuštanju neiskorištenog i neukapljenog isparenog plina tijekom puta, emisije od sagorijevanja pri proizvodnji energije i odzračivanju kompresora kod obrade isparenog plina, fugitivne emisije kod kompresora, emisije od sagorijevanja brodskog

pogonskog goriva (ili drugih prijevoznih sredstava), emisije od sagorijevanja pri proizvodnji energije potrebne za rad ostalih brodskih sustava, npr. stambene jedinice.

• **Uplinjavanje** – obuhvaća fugitivne emisije kod prirubnica, ventila, cijevi i ostalih dijelova opreme koji se koriste na terminalu za uplinjavanje, emisije kod odzračivanja pumpi za plin pri održavanju, emisije od sagorijevanja kod spaljivanja isparenog plina iz spremnika za vrijeme istovara s brodova, emisije od sagorijevanja u procesima isparavanja, emisije kod odzračivanja iz procesa isparavanja pri održavanju, emisije kod odzračivanja kompresora za ispareni plin pri održavanju te fugitivne emisije kod kompresora. U slučaju integrirane proizvodnje energije na postrojenju za uplinjavanje, dodatni izvori emisija stakleničkih plinova iz postupaka proizvodnje energije se moraju uzeti u obzir pri razmatranju ukupnih emisija tog postrojenja.

Navedene emisije su kategorizirane u tablicama koje slijede. U tablici 3-1. navedeni su mogući izvori emisija pri UPP operacijama. Za većinu tih izvora, procjene se izvode prema metodama u skladu s preporukama API. U tablicama 3-2. i 3-3. navedeni su izvori stakleničkih plinova kod UPP operacija za emisije pri ispuštanju kroz ispušne otvore i fugitivne emisije. Izvori emisija u tablici 3-2. kategorizirani su prema preporukama API, u kojima su navedene i smjernice za određivanje ostalih srodnih izvora emisija. Neke od smjernica su (API, 2015):

- emisije stakleničkih plinova iz navedenih izvora sastoje se primarno od metana;
- ispuštanje ugljičnog dioksida ovisi o njegovoj količini u ulaznom plinu i o primijenjenim postupcima obrade kiselih plinova kojima se ugljični dioksid (CO_2) ili ispušta ili utiskuje u utisne bušotine;
- ukoliko se emisije od spaljivanja na baklji i u pećima razmatraju kao emisije pri ispuštanju kroz ispušne otvore te će emisije pretežno sadržavati ugljikov dioksid.

Tablica 3-1. Kategorizacija emisija od sagorijevanja u UPP lancu operacija (API, 2015)

Kategorija izvora	Potencijalni izvori emisija	Ukapljivanje	Skladištenje	Transport	Uplinjavanje
kotlovi/grijači	Procesni grijači • uplinjivači s potopljenim izgaranjem • vodeno-glikolni grijači	X			X
	cijevni grijači		X		X
	grijači vode				X
kompresori	kompresori pogonjeni plinskom turbinom	X	X	X	X
	kompresori pogonjeni motorom	X	X	X	X
generatori	generatori s motorom s unutarnjim sagorijevanjem	X	X	X	X
	turbinski generatori	X	X	X	X
baklje i peći	baklje	X	X		X
	termički oksidatori	X	X	X	X
	katalitički oksidatori	X	X	X	X
razno	protupožarne pumpe za vodu (diesel)	X		X	X
	proizvodnja energije	X	X	X	X

Tablica 3-2. Kategorizacija emisija pri ispuštanju kroz ispušne otvore u UPP lancu operacija (API, 2015)

Kategorija izvora	Potencijalni izvori emisija	Ukapljivanje	Skladištenje	Transport	Uplinjavanje
pumpe i kompresori	odzračivanje i pražnjenje kompresora	X	X	X	X
	odzračivanje i pražnjenje pumpi	X	X	X	X
	pokretanje kompresora	X	X	X	X
procesni odušci	CH_4	X			X
	CO_2	X			
	kriogeni izmjenjivači topline	X			X
	isparavanje				X
spremnici	ispuštanje isparenog plina	X	X	X	X
	jedinice za obradu pare	X	X	X	X
pristajanje plovila	spojnice		X	X	
sigurnost	odušni ventili	X	X	X	X
	sigurnosni ventili	X	X	X	X
ostali odušci	uzorkovanje i analiza plina	X	X		X

Tablica 3-3. Kategorizacija fugitivnih emisija u UPP lancu operacija (API, 2015)

Kategorija izvora	Potencijalni izvori emisija	Ukapljivanje	Skladištenje	Transport	Uplinjavanje
kompresori	brtve	X	X	X	X
pumpe	mehaničke brtve	X			
	brtve za fluide	X			
ventili	plin	X	X	X	X
	laki fluidi	X	X	X	X
	teški fluidi			X	
otpuštanje tlaka	ventili za otpuštanje tlaka	X	X	X	X
	ostala oprema	X	X	X	X
jedinice za odvajanje zraka	prirubnice	X		X	X
hlađenje i klimatizacijski sustavi	prirubnice	X	X	X	X
instrumenti	mjerni uređaji	X	X	X	X
	mjerno-regulacijske stanice		X		X
mrlje od curenja	pokretanje i zaustavljanje	X	X	X	X
	slučajne	X	X	X	X

U navedenoj tablici, emisije stakleničkih plinova su prvenstveno emisije metana.

U tablici 3-4. su kategorizirane emisije koje se javljaju pri transportu ukapljenog prirodnog plina.

Tablica 3-4. Kategorizacija emisija koje se javljaju pri transportu UPP-a (API, 2015)

Kategorija izvora	Potencijalni izvori emisija	Ukapljivanje	Skladištenje	Transport	Uplinjavanje
UPP tankeri	• pogonski sustavi • brodski uređaji za proizvodnju energije			X	
čamci za spašavanje	pogonski sustavi		X	X	X
pratnja obalne straže	pogonski sustavi		X	X	X
pomoćna plovila	pogonski sustavi		X	X	X
helikopteri	pogonski sustavi			X	X
teglenice	pogonski sustavi		X	X	X
batimetrijski istraživački brodovi	pogonski sustavi		X	X	
strojevi za iskopavanje	pogonski sustavi		X	X	

U navedenoj tablici emisije stakleničkih plinova su prvenstveno emisije ugljikovog dioksida, a kod nekih motora i katalizatora prisutne su i određene emisije metana i dušikovog dioksida (NO_2) i didušikovog oksida (N_2O).

3.1.3. Emisije stakleničkih plinova kod UPP operacija

Najprepoznatljiviji i najzastupljeniji staklenički plinovi u ukupnim svjetskim emisijama su obuhvaćeni Kyoto protokolom (API,2015):

a) ugljikov dioksid (CO_2),
b) metan (CH_4),
c) didušikov oksid (N_2O),
d) hidrofluorougljici (HFC),
e) perfluorougljici (PFC),
f) sumporov heksafluorid (SF_6).

Emisije stakleničkih plinova iz djelatnosti vezanih za UPP su ponajprije emisije CO_2, CH_4 i N_2O. Udio emisija ostalih stakleničkih plinova je gotovo zanemariv. Glavni izvori emisija pojedinih stakleničkih plinova su (API, 2015):

- **CO_2** – pri sagorijevanju fosilnih goriva u motorima, kotlovima, grijačima, turbinama i kompresorima te iz procesa izdvajanja CO_2 iz struje plina;
- **CH_4** – pri ispuštanju kroz ispušne otvore i pri propuštanju opreme u svim segmentima UPP operacija;
- **N_2O** – pri sagorijevanju goriva, prvenstveno kod stacionarnih motora i turbina.

Određivanje količine emisija stakleničkih plinova iz pojedinih izvora, u pojedinim segmentima UPP operacija, navedenim u tablicama 3-1, 3-2, i 3-3, može biti prilično složeno zbog raznolikosti operacija na postrojenju i potencijalnog nedostatka informacija o količini i kvaliteti korištenih goriva, pogotovo jer neka goriva nastaju prilikom obrade plina ili kao otparak pri skladištenju i transportu. U većini slučajeva, dolazi do njihovog preusmjeravanja prema uređajima za izgaranje na postrojenju, ili se, u rijetkim slučajevima, preusmjeravaju i spaljuju na baklji ili ispuštaju kroz oduške kao mjere sigurnosti. Takva su goriva uglavnom promjenjivog sastava, zbog čega je prilično teško odrediti njihove emisije stakleničkih plinova korištenjem prosječnih emisijskih faktora temeljenih na prosječnom sastavu određenog goriva (API, 2015).

Slično kao i u drugim sektorima naftno – plinske industrije, emisije ugljikovog dioksida iz uređaja za izgaranje čine najveći udio ukupnih emisija stakleničkih plinova kod UPP lanca operacija. Potom slijede emisije metana, koje iako su količinski manje, imaju značajnu ulogu zbog metanovog visokog potencijala globalnog zatopljenja (engl. *Global Warming Potential* – GWP). Ostali staklenički plinovi s visokim potencijalom globalnog zatopljenja kao sumporov heksafluorid, hidrofluorougljici i perfluorougljici također mogu imati značajnu ulogu ako na postrojenju dolazi do njihovih emisija (API, 2015).

Potencijal globalnog zatopljenja, GWP, je omjer učinkovitosti apsorbiranja Sunčevog infracrvenog zračenja 1 kg određenog stakleničkog plina u točno određenom vremenskom razdoblju (20, 100 i 500 godina) i učinkovitosti apsorbiranja Sunčevog infracrvenog zračenja 1 kg referentnog plina (CO_2), u tom istom razdoblju. GWP je moguće prikazati i jednadžbom koja slijedi (API, 2015):

$$GWP(x) = \frac{\int_0^{TH} a_x \cdot [x(t)]dt}{\int_0^{TH} a_{CO_2} \cdot [CO_2(t)]dt} \quad 3.1.$$

Kako bi se omogućila usporedba relativnog utjecaja emisija različitih stakleničkih plinova i kako bi se njihov utjecaj mogao sumirati, uvedena je međunarodna mjera tzv. „ekvivalent ugljikovog dioksida“, CO_{2e}, koja se za određeni plin računa tako da se pomnože ukupno emitirana količina određenog plina s njegovim potencijalom globalnog zatopljenja, a zatim se sumira za sve stakleničke plinove kako bi se odredile ukupne ekvivalentne emisije CO_2 (Hrnčević, 2014).

$$emisije(CO_2e) = \sum_i [m(GHG_i) \cdot GWP_i] \quad 3.2.$$

U tablici 3-5. navedeni su potencijali globalnog zatopljenja za stakleničke plinove iz IPCC-ovog drugog izvješća o klimatskim promjenama (SAR, 1995.) koji se trenutno koriste za izradu nacionalnih katastara stakleničkih plinova te preračunati potencijali globalnog zatopljenja iz IPCC-ovog četvrtog izvješća o klimatskim promjenama (4AR, 2007.) koji služe za usporedbu i za uporabu u lokalnim i regionalnim programima koji zahtijevaju njihovu uporabu.

Tablica 3-5. Potencijali globalnog zatopljenja (GWP) stakleničkih plinova (API, 2015)

Staklenički plin	SAR GWP	4AR GWP
ugljikov dioksid (CO_2)	1	1
metan (CH_4)	21	25
didušikov oksid (N_2O)	310	298
hidrofluorougljici		
HFC-23	11700	14800
HFC-32	650	675
HFC-125	2800	3500
HFC-134a	1300	1430
HFC-143a	3800	4470
HFC-152a	140	124
HFC-227ea	2900	3220
HFC-236fa	6300	9810
HFC-4310mme	1300	1640
perfluorougljici		
CF_4	6500	7390
C_2F_6	9200	12200
C_3F_8	7000	8830
C_4F_{10}	7000	8860
C_5F_{12}	7500	9160
C_6F_{14}	7400	9300
sumporov heksafluorid (SF_6)	23900	22800

3.2. UTJECAJ NA MORSKI OKOLIŠ

Morski okoliš obuhvaća svu floru i faunu i njihova staništa, uključujući i ugrožene vrste, na području gdje bi se trebale odvijati razne operacije vezane za ukapljeni prirodni plin. Potencijalni utjecaj na okoliš, osim standardnih operacija, moguć je i zbog akcidentnih situacija.

U marinskim sustavima značajan štetan utjecaj na ribe i beskičmenjake definiran je kao onaj koji rezultira smanjenjem populacije ili mijenjanjem raspodjela populacije promatrane vrste kroz jednu ili više generacija, pri čemu se prirodnim oporavkom stanje populacije ne vraća u svoje prvobitno stanje u jednoj generaciji. Značajan štetan utjecaj na staništa riba i beskičmenjaka je onaj koji rezultira nenadoknadivim gubitkom ribljih staništa. To se može odnositi na utjecaj taloga koji mijenja ekološku funkciju marinskog okoliša za ribe i beskičmenjake, a ne vrati se u prvobitno stane u roku od 5 godina. Značajan štetan utjecaj na zaštićene vrste odnosi se na gubitak jedne ili više jedinki iz populacije, ili na bilo kakvu promjenu u raspodjeli populacije, migraciji ili načinu ponašanja (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Kod izgradnje UPP terminala za ukapljivanje ili uplinjavanje, konstrukcija pristaništa za tankere ima potencijalni negativni utjecaj na morski okoliš, zbog bušenja, iskopavanja i niveliranja morskog dna za postavljanje potpornih stupova za dokove. U priobalnom području, negativan utjecaj može se javiti zbog miniranja kod izgradnje pristupnih cesta. Konstrukcija pristanišnih dokova može rezultirati zamućenošću vode, a iskopavanje dna može dovesti do uklanjanja bentičkih staništa i izumiranja bentičkih organizama (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Kod puštanja u pogon UPP terminala za ukapljivanje ili uplinjavanje potrebne su velike količine morske vode za hidrotestiranja i čišćenje sustava na postrojenju. Usisna cijev instalira se na pristanišnom doku, sa otvorom postavljenim nekoliko metara ispod razine najnižeg zabilježenog vala. Kako bi se spriječio ulazak riba i organizama u usisnu cijev, na otvoru se postavlja mreža. Voda korištena pri hidrotestiranjima može sadržavati ostatke metala, pa je prije njenog ispuštanja u more potrebno obaviti ispitivanje njene kvalitete i po potrebi njena obrada (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Tehnološka voda, koja se koristi u pojedinim sustavima na UPP postrojenju, nakon obrade se ispušta u more. Ispuštanje te vode može imati negativan utjecaj na populaciju morske trave na mjestu ispuštanja, no taj utjecaj nije značajan zbog miješanja svježe vode s morskim strujama što sprječava prodor svježe vode dalje od mjesta ispuštanja (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Po završetku rada postrojenja i njegovom napuštanju, pri uklanjaju pristanišnih dokova može doći do gubitka bentičkih staništa i bentičkih organizama koji su se nastanili na potpornim stupovima dokova i potencijalnog gubitka riba i ribljih staništa oko doka. Također, može doći do trenutne zamućenosti morske vode (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Opasnost po morski okoliš predstavljaju i potencijalne akcidentne situacije i ispuštanja koja mogu izravno uzrokovati smrtnost određene populacije ili jedinki te gubitak staništa. Konkretan utjecaj ukapljenog prirodnog plina pri kontaktu s morskom vodom nije u potpunosti poznat, jer se u povijesti takva vrsta akcidenta još nije dogodila. Pretpostavka je da bi se temperatura morske vode u kontaktu s UPP-om značajno smanjila pri površini, ali bi se s dubinom bi taj utjecaj smanjivao i pretpostavlja se da ne bi imao značajan utjecaj na riblja staništa. Pri površini, povećana razina metana mogla bi uzrokovati gušenje morskih sisavaca ili prouzročiti požar u prisustvu zapaljivog medija. U slučaju da izliveni UPP ne ispari i ipak dođe do obale, zbog utjecaja niskih temperatura moglo bi doći do uginuća određenih vrsta u priobalnim staništima. Unatoč tome, potencijalni negativni utjecaji akcidentnog izlijevanja UPP-a bili bi manje značajni i kratkotrajniji od drugih oblika opasnih izljeva, zbog toga što UPP pluta na površini vode i brzo isparava (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Sudari tankera s morskim sisavcima nisu vjerojatni zbog male brzine tankera potrebne za manevriranje i pristajanje. Propeleri ostalih morskih plovila povezanih s postrojenjem za UPP stvaraju buku, koja može utjecati na ponašanje riba i morskih sisavaca. Međutim, ti utjecaji su kratkotrajni i slični utjecajima buke iz drugih izvora u blizini. Uz beznačajan porast prometa, cjelokupni utjecaj tankerskog prometa na marinske sustave zadržao bi se u okvirima postojećeg stanja (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

3.3. OSTALI UTJECAJI

Osim već spomenutih, UPP operacije mogu imati utjecaj i na druge segmente okoliša, kao npr. podzemne vode ili kopnena područja. Pri planiranju novih UPP projekata, svaki od tih segmenata potrebno je detaljno analizirati i poduzeti određene mjere kako bi se negativan utjecaj UPP postrojenja i izvođenih operacija sveo na minimum.

Negativan utjecaj na podzemne vode očituje se u potencijalnom zagađenju i smanjenju kvalitete rezervi pitke vode u blizini postrojenja i cjevovoda, koje su od velike važnosti za lokalno stanovništvo. Također, negativan utjecaj može biti i smanjenje rezervi pitke vode iz vodonosnika (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Negativan utjecaj na kopnena područja odnosi se na trajnu promjenu krajobraza na mjestu izgradnje postrojenja te trajni gubitak kopnenih staništa na toj lokaciji. Pri izgradnji UPP postrojenja, izvodi se krčenje zemljišta, što može rezultirati smanjivanjem staništa, i iskopavanje zemlje te postavljanje cjevovoda što može predstavljati prepreke za kretanje pojedinih životinjskih vrsta u tom području. Prilikom izvođenja građevinskih radova nastaju prašina i buka koje mogu imati negativan utjecaj na okoliš. Također, za vrijeme spomenutih radova moguć je gubitak biljnih vrsta na lokaciji (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Ukoliko je lokacija na kojoj je planirano UPP postrojenje stanište određenih vrsta ptica, one također mogu biti ugrožene. Izgradnja postrojenja ima potencijalni negativan utjecaj zbog trajnog gubitka staništa važnih za gniježđenje ptica, njihovo hranjenje i selidbu. Svjetla i reflektori s postrojenja i vozila mogu dezorijentirati ptice koje se sele ili ih privući na lokaciju postrojenja (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

Utjecaj UPP postrojenja moguć je i na sektor komercijalnog ribolova u blizini planiranog postrojenja zbog povećanog prometa i opasnosti od potencijalnih akcidentnih situacija. Negativan utjecaj odnosi se na gubitak ribolovnih područja, čije posljedice najviše zahvaćaju lokalne ribare (New Brunswick Department of the Environment and Local Government, 2004).

4. ODOBALNA POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

U posljednjih nekoliko godina, kako se smanjivao broj prijedloga za projekte kopnenih postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina, rastao je broj prijedloga za projekte odobalnih postrojenja (engl. *Floating LNG*, FLNG). Četiri FLNG postrojenja, i to u Australiji (Shell Prelude), Maleziji (Petronas PFLNG1 i PFLNG2) i Kamerunu (Golar FLNG) u fazi su izgradnje, a planirano je da do 2018. godine sva četiri budu puštena u rad. Osim ta četiri projekta, postoje planovi za još 24 FLNG postrojenja ukupnog kapaciteta 171×10^6 tona/god, od kojih većina u SAD-u, Kanadi i Australiji (IGU, 2016).

Bazirani na nekoliko različitih koncepata razvoja, FLNG projekti teže komercijalizaciji udaljenih podmorskih rezervi prirodnog plina i smanjenju troškova projekata. Također, za takve projekte lakše se ishode sve potrebne dozvole nego za kopnene projekte. U odnosu na kopnene projekte, FLNG projekti su manjih razmjera, pa je procjena da su i troškovi manji. Pošto još ni jedan FLNG projekt nije započeo s radom, nije moguće točno odrediti ukupne troškove (IGU, 2016).

U nastavku ovog rada, kao ogledni primjer, biti će opisano prvo svjetsko FLNG postrojenje, Shell-ov Prelude i analiziran njegov utjecaj na okoliš.

4.1. PRELUDE FLNG

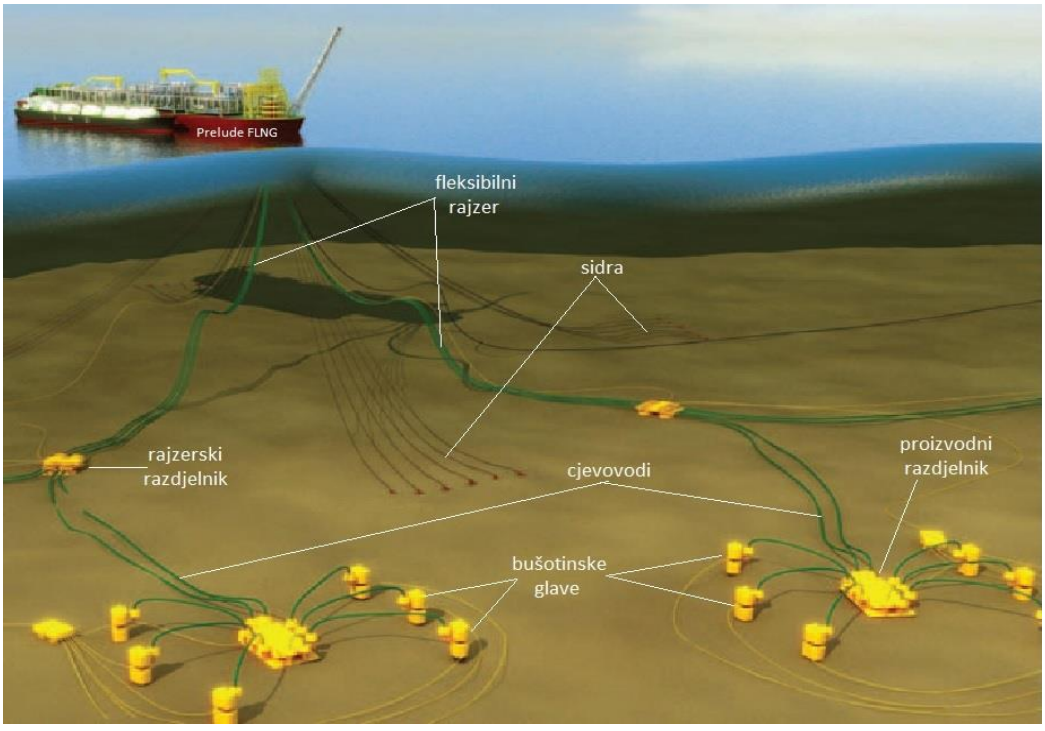
Shell je 2006. godine od australske vlade dobio dozvole potrebne za istražna bušenja u području North Browse Basin-a, udaljenog 200–400 km od sjeverozapadne obale Australije. To je područje sa značajnim, ali još uvijek neeksploatiranim rezervama prirodnog plina. Istražna bušenja su, godinu dana kasnije, 2007. godine, dovela do otkrića polja Prelude. Nakon otkrića, Shell je ispitao razne opcije kako polje privesti proizvodnji, uključujući i opciju da isto ne privede proizvodnji (tzv. „*do nothing*“), klasično kopneno UPP postrojenje i tehnološki inovativnu FLNG opciju. Nakon detaljne analize, odlučeno je da će se krenuti u razvoj FLNG projekta zbog manjeg utjecaja na okoliš, nižih troškova razvoja i mogućnosti premještanja FLNG postrojenja po potrebi na drugu lokaciju. Primjena FLNG tehnologije

otvorila je put razvoju drugih manjih, nepristupačnih plinskih polja koja su do tada bila komercijalno neisplativa za privođenje proizvodnji (Shell, 2009).

4.1.1. Tehničke i tehnološke karakteristike Prelude FLNG postrojenja

Prelude FLNG projekt objediniti će u cjelinu više segmenata UPP lanca opskrbe, od proizvodnje plina, njegove obrade, ukapljivanja i skladištenja do otpreme UPP-a putem tankera. Koncept cijelog FLNG projekta je postavljanje postrojenja za obradu i ukapljivanje prirodnog plina na plovećoj objekt, kako bi se plin mogao obraditi na mjestu samog nalazišta, umjesto da se putem podmorskih plinovoda otprema do konvencionalnih kopnenih postrojenja, gdje bi uslijedila njegova daljnja obrada. Kao takav, projekt ima znatno manji utjecaj na okoliš i stanovništvo u odnosu na utjecaj kakav bi imalo postavljanje cjevovoda i izgradnja postrojenja na obali.

Rokovi za puštanje u rad Prelude FLNG-a su prolongirani zbog trenutne cjelokupne ekonomske situacije u naftno-plinskoj industriji. Unatoč tome, Prelude FLNG je u završnoj fazi izgradnje. Na samoj lokaciji projekta, proizvodne bušotine su izbušene, a na morsko dno postavljena je kompletna proizvodna oprema koja uključuje proizvodne razdjelnike, cjevovode i rajzerske razdjelnike što je prikazano na slici 4-1.



Slika 4-1. Shema podvodne instalacije Prelude FLNG postrojenja (Shell, 2009)

FLNG postrojenje će obrađivati pridobiveni prirodni plin te će proizvoditi ukapljeni prirodni plin, ukapljeni naftni plin i kondenzat, koji će se skladištiti i otpremati tankerima za UPP prema tržištima. Oprema za obradu i pretovar bit će smještena na palubu plovila, dok će spremnici za UPP, UNP i kondenzat biti smješteni unutar dvostrukog trupa. Plovilo je dugačko 488 m, široko 74 m, a ukupna težina s instaliranom opremom iznosit će 600 000 tona. Kapacitet proizvodnje ukapljenog prirodnog plina iznositi će $3,6 \times 10^6$ t/god (Shell, 2009).

Kada stigne na lokaciju, FLNG postrojenje će biti trajno usidreno na morsko dno te će moći rotirati oko sidrene kupole kako bi se umanjio utjecaj vjetra i morskih struja. Tri propelera snage 5 MW osiguravat će pozicioniranje postrojenja tijekom pristajanja tankera (Shell, 2009).

4.1.1.1. Postupci obrade plina na Prelude postrojenju

Ulazna struja plina dolazi do Prelude postrojenja kroz rajzere do sidrene kupole. Proizvedeni fluid ulazi u trofazni separator, gdje se voda i tekući ugljikovodici odvajaju od plina, pri čemu se zasebno mjere količine plina i kondenzata. Proizvedena slojna voda se otprema na obradu, kako bi se, prije njenog ispuštanja, iz nje uklonili tekući ugljikovodici. Struja tekućih ugljikovodika se usmjerava prema jedinici za stabilizaciju kondenzata iz koje se dobiveni kondenzat otprema u spremnike. Struja plina se dalje usmjerava prema jedinici za izdvajanje kiselih plinova zajedno sa stlačenim plinom iz jedinice za stabilizaciju kondenzata (Shell, 2009).

Kiseli plinovi, ugljikov dioksid (CO_2) i tragovi sumporovodika (H_2S) se izdvajaju iz struje prirodnog plina u jedinici za izdvajanje kiselih plinova kako bi se spriječilo potencijalno zamrzavanje i čepljenje vodova u jedinici za ukapljivanje. Kiseli plinovi se izdvajaju kemijskom apsorpcijom u apsorberskim kolonama uz uporabu vodene otopine amina (MDEAa proces), gdje se kemijskom reakcijom koncentracija CO_2 svodi na manje od 50 ppm (Shell, 2009).

Prirodni plin očišćen od kiselih plinova zasićen je vodom, koju je potrebno ukloniti kako bi se spriječilo smrzavanje vode u jedinici za ukapljivanje. Struja plina prvo se hladi miješanim rashladnim sredstvom pri čemu dolazi do kondenzacije vode. Nakon toga se struja

plina usmjerava kroz molekularna sita, gdje se odvaja preostala voda na koncentraciju manju od 1 ppm (Shell, 2009).

Ispitivanja plina iz ležišta pokazala su da plin na polju Prelude ne bi trebao sadržavati živu. Unatoč tome, prema dizajnu postrojenja predviđena je ugradnja i jedinice za izdvajanje žive kako bi se spriječila potencijalna korozija aluminijskih dijelova kriogenog izmjenjivača topline. Izdvajanje žive predviđeno je u reaktoru s elementarnim sumporom kako bi se razina žive u struji plina svela na manje od 10×10^{-3} μg/m^3 (Shell, 2009).

Nakon izdvajanje žive u struji plina još ima visokomolekularnih ugljikovodika koje je potrebno izdvojiti. U jedinici za izdvajanje visokomolekularnih ugljikovodika iz struje plina se hlađenjem i prolaskom kroz turboekspander izdvajaju tekući ugljikovodici. Plin se zatim komprimira, a tekući ugljikovodici se frakcioniraju na etan, propan, butan i kondenzat (Shell, 2009).

Primjenom Shell-ovog DMR procesa, ukapljivanje prirodnog plina izvodi se u dva stupnja, prvo pri visokom tlaku u spiralnim izmjenjivačima topline sa prethlađenim miješanim rashladnim sredstvom, a zatim u glavnom kriogenom izmjenjivaču topline sa miješanim rashladnim sredstvom. Dobiveni ukapljeni prirodni plin se na temperaturi od -162 °C otprema u toplinski izolirane spremnike pri atmosferskom tlaku (Shell, 2009).

Za rashladne procese na postrojenju će se koristiti zatvoreni kružni sustav svježe vode. Morska voda služit će kao glavni rashladni medij u procesima izmjene topline. FLNG postrojenje će koristiti približno 50 000 m^3/h vode za hlađenje, koja će se crpiti kroz 8 rajzera s dubine od otprilike 150 m. Rashladna voda temperature od 39 °C do 42 °C će se ispuštati u more na dubini 10 do 17 m, što je za 7,5 °C do 16 °C više od temperature mora na mjestu ispuštanja i sadržavati će do 0,2 ppm hipoklorita (Shell, 2009).

Kako bi se spriječilo stvaranje hidrata u vodovima od bušotinskih glava prema postrojenju, koristit će se monoetilen glikol (Shell, 2009).

Proizvedeni kondenzat, UPP i UNP izravno će se otpremati u spremnike pri atmosferskom tlaku koji su smješteni u trupu plovila. Ukupno 6 membranskih spremnika smještenih u trupu postrojenja biti će u mogućnosti skladištiti 220 000 m^3 UPP-a, 90 000 m^3 UNP-a i 126 000

m^3 kondenzata. Unatoč debeloj izolaciji spremnika, male količina plina će isparavati te će biti komprimirane i korištene za grijanje i proizvodnju energije na postrojenju. UPP i UNP tankeri će pristajati i sidriti se paralelno s Prelude-om, a transfer UPP-a i UNP-a će se obavljati preko zglobnih cijevi za pretakanje, tzv. „pretakačkih ruku“. Tankeri za prijevoz kondenzata sidrit će se uz krmu plovila, a pretovar kondenzata obavljat će se kroz plutajuća crijeva (Shell, 2009).

Osim nabrojanih sustava, na plovilu se nalaze i pomoćni, a to su sustav za proizvodnju energije i električne energije, drenažni sustavi, sustavi za zbrinjavanje otpadnih voda, sustavi za regulaciju tlaka i dr. (Shell, 2009).

Na postrojenju će biti zaposleno 220 osoba, podijeljenih u dvije posade od 110 članova. Još 100-tinjak osoba raditi će u centru za tehničku i administrativnu podršku na kopnu. Stambeni dio za posadu i svi popratni sadržaji bit će smješteni na krmenom djelu broda, gdje će biti smješten i heliodrom i pristanište za brodove za opskrbu (Shell, 2009).

Slika 4-2. Prelude FLNG (www.shell.com)

4.1.2. Utjecaj na okoliš Prelude FLNG postrojenja

U ovom poglavlju će biti analizirani potencijalni utjecaji Prelude FLNG postrojenja na okoliš. Pri procjeni utjecaja, trebalo je razmotriti intenzitet utjecaja i vjerojatnost da će do utjecaja doći, kao posljedicu aktivnosti vezanih za FLNG postrojenje. Analizirani su

pozitivni i negativni utjecaji, kao i izravni, sekundarni, indirektni i kumulativni utjecaji. Značaj pojedinog utjecaja određuje se iz matrice procjene značaja utjecaja, koja je prikazana u tablici 4-1.

Tablica 4-1. Matrica procjene značaja utjecaja (Shell, 2009)

		vjerojatnost da će do utjecaja doći			
		slaba	moguća	vjerojatna	sigurna
intenzitet	nizak	malen	malen	umjeren	umjeren
	srednji	malen	umjeren	umjeren	velik
	visok	umjeren	umjeren	velik	kritičan

4.1.2.1. Fizički utjecaji

Potencijalni fizički utjecaji Prelude FLNG postrojenja na okoliš pojavit će se zbog fizičkih komponenata sustava, kao što su bušotine, instalacija opreme na morskome dnu, samo postrojenje te popratna plovila i letjelice (Shell, 2009).

Fizičkim utjecajima biti će izložena bentička fauna, kitovi, kornjače, ribe i ptice selice, koji su nastanjeni ili prolaze područjem na kojem će se nalaziti postrojenje.

Utjecaj na sedimentna staništa bit će posljedica njegova premještanja za vrijeme bušenja i instalacije podvodne infrastrukture. Također, kruti dijelovi postrojenja, kao što su rajzeri, predstavljati će podlogu za razvoj kolonija određenih marinskih organizama.

Dvije ugrožene vrste kitova i pet vrsta kitova koji prolaze područjem na kojem se nalazi postrojenje mogu biti zahvaćeni fizičkim utjecajem Prelude FLNG-a. Opasnost za kitove predstavljaju plovila s kojima je moguć kontakt, uslijed čega može doći do ozljeda ili uginuća kitova (Shell, 2009).

Od ptica selica na čijim se migracijskim rutama nalazi postrojenje, istraživanja su pokazala da je utjecaj moguć samo na jednu vrstu ptica, prugastog zovoja. Utjecaj na morske ptice odnosi se na mogućnost dugoročnih promjena u ponašanju ptica, kao što je gniježđenje na

postrojenju ili promjena hranidbenih navika u okolnome moru, što može dovesti do promjena u veličini i sastavu lokalnih zajednica morskih ptica. Također, opasnost za ptice predstavlja i mogućnost izravnog kontakta s helikopterima na danom području, međutim zbog dobre vidljivosti i buke koju helikopteri proizvode, ali i zbog relativno rijetkih letova helikoptera, do takvih udara vjerojatno neće doći (Shell, 2009).

Dvije vrste morskih kornjača mogu prolaziti kroz područje u kojem se nalazi postrojenje. To su golema (zelena) želva i ravnoleđna želva. Najveću opasnost za njih predstavlja mogućnost kontakta s plovilima, pogotovo u fazi izgradnje kada će i aktivnost plovila biti najveća. Unatoč tome, područja razmnožavanja, gniježđenja i hranjenja kornjača nisu ugrožena. Fiksirane i sporo ploveće površinske strukture na otvorenom moru, koje čine pogodna umjetna staništa i okolnu vodu obogaćuju nutrijentima, obično privlače određene vrste plave ribe (Shell, 2009).

Fizički utjecaj na okoliš u svim fazama razvoja Prelude FLNG projekta procijenjen je kao utjecaj malog značaja, osim potencijalnog utjecaja na morsko dno koji je okarakteriziran kao umjeren.

4.1.2.2. Svjetlosni utjecaji

Umjetna svjetlost sa postrojenja može potencijalno utjecati na morske životinje i ptice, pogotovo na vrste koje se koriste svjetlosnim znakovima za orijentaciju. Utjecaji umjetne svjetlosti sa Prelude FLNG postrojenja mogu uzrokovati (Shell, 2009):

- dezorijentaciju, privlačenje i odbijanje životinja
- poremećaje u prirodnom ponašanju i ciklusima, te
- sekundarne utjecaje kao što su pojačane aktivnosti grabežljivaca.

Umjetna svjetlost može imati negativan utjecaj na kornjače, ptice i ribe. Dvije vrste morskih kornjača mogu prolaziti kroz područje u kojem se nalazi postrojenje. To su golema (zelena) želva i ravnoleđna želva, od kojih je samo za golemu želvu poznato da se gnijezdi u značajnom obujmu na otoku Browse, udaljenom 43 km od postrojenja. Svjetlosno onečišćenje plaža na kojima se golema želva gnijezdi može dovesti do promjena u noćnom ponašanju kornjača. Istraživanja su pokazala da umjetna svjetlost može utjecati na odabir pozicije za polaganje jaja ženki kornjača. Također, određene studije su pokazale da umjetna

svjetlost može utjecati na promjene prirodnog kretanja mladunaca, jer ih odbija, pa mladunci kada se izlegnu ne kreću prema moru, kao što bi po prirodi trebali (Shell, 2009).

Neka istraživanja pokazala su da umjetna svjetlost sa odobalnih postrojenja privlači ptice. Ptice može izravno ili neizravno privući sama svjetlost s postrojenja, jer odobalne strukture mogu pridonositi bujanju morskog života te tako stvaraju dodatne izvore hrane za ptice. Također, umjetna svjetlost s postrojenja i baklji može pticama omogućiti potragu za hranom po noći. Negativni utjecaji umjetne svjetlosti na ptice su ograničeni, a uključuju mogućnost sudara s dijelovima infrastrukture i promjene u prirodnom ponašanju. Umjetna svjetlost može utjecati na ptice selice, čije migracijske rute prolaze u blizini postrojenja, jer ih privlači, pa one skreću sa svojih prirodnih ruta prema postrojenju (Shell, 2009).

Svjetlost izravno ili neizravno privlači ribe i zooplankton. Zbog svjetlosti s postrojenja, oko njega se skupljaju veće količine riba i planktona, koji predstavljaju veći izvor hrane za grabežljive vrste, pa se i njihov broj povećava u blizini postrojenja (Shell, 2009).

Nema dokaza koji bi upućivali na to da umjetna svjetlost utječe na migracijske, prehrambene ili reprodukcijske navike kitova, pošto se oni primarno navode prema zvučnim signalima (Shell, 2009).

Svjetlosni utjecaj na okoliš u svim fazama razvoja Prelude FLNG projekta je procijenjen kao utjecaj malog značaja.

4.1.2.3. Utjecaj podvodne buke

Zvučni signali važni su za morske životinje, pogotovo kitove, jer ih koriste za orijentaciju, komunikaciju i potragu za hranom. Podvodna buka s postrojenja Prelude može utjecati na morske organizme (Shell, 2009):

- uznemirujuće, što dovodi do promjena u ponašanju ili premještanja iz zahvaćenog područja;
- prikrivanjem ili interferiranjem sa drugim biološki važnim zvučnim signalima;
- fizičkim ozljedama slušnih i drugih organa, te
- neizravno, uzrokujući promjene u prirodnom ponašanju vrsta.

Razina utjecaja podvodne buke na morske životinje ovisiti će o frekvenciji i intenzitetu proizvedene buke te o biološkim karakteristikama zahvaćenih organizama.

Podvodna buka može imati negativan utjecaj na kitove, ribe, kornjače i ptice. Osjetilo zvuka kod kitova je dominantno osjetilo kojim se služe pri orijentaciji, komunikaciji i potrazi za hranom. Podvodna buka, koja se stvara za vrijeme operacija na i oko FLNG postrojenja, može onemogućiti kitovima raspoznavanje prirodnih zvukova. Kitovi za međusobnu komunikaciju koriste zvukove viših frekvencija od zvukova nastalih na postrojenju, pa je stoga utjecaj buke na njihovu komunikaciju malo vjerojatan. Do fizioloških ozljeda, kao što je gubitak sluha, moglo bi doći samo u neposrednoj blizini intenzivnih izvora zvuka, međutim zvukovi proizvedeni na postrojenju su ispod dopuštene granice intenziteta zvuka, koji bi mogao imati negativan utjecaj na kitove (Shell, 2009).

Ribe koriste zvučne signale za komunikaciju, lociranje plijena, prepoznavanje grabežljivaca i orijentaciju. Pokazalo se da ribe reagiraju na buku promjenama u ponašanju, udaljavanju od izvora buke, a u ekstremnim situacijama mogu postati dezorijentirane. Ribama, koje se skupljaju u blizini postrojenja, neće smetati razina buke s postrojenja za vrijeme uobičajenih operacija. Za kornjače i ptice ne postoje relevantni podaci koji bi ukazali na to kako podvodna buka utječe na njih (Shell, 2009).

Utjecaj podvodne buke na okoliš u svim fazama razvoja Prelude FLNG projekta procijenjen je kao utjecaj malog značaja.

4.1.2.4. Utjecaj krutog otpada

Kruti otpad će se stvarati tijekom svih faza Prelude FLNG projekta, a odnosi se na (Shell, 2009):

- krhotine od bušenja (približno 1000 m^3 po bušotini),
- bezopasne materijale iz proizvodnih procesa koji uključuju pijesak i šljunak iz operacija održavanja cjevovoda,
- razni bezopasni otpad koji uključuje papir, konopce, te drvenu, metalnu i plastičnu ambalažu,
- opasne materijale iz proizvodnih procesa, koji uključuje razne kemikalije, procesni pijesak i mulj, ulja za podmazivanje, molekularna sita, te

- razni opasni otpad koji uključuje ambalažu od sprejeva, baterije i uljne filtere.

Utjecaj krutog otpada može zahvatiti vrste koje su nastanjene ili prolaze područjem projekta, a to su: kitovi, uključujući i dvije ugrožene vrste (grbavi kit i plavi kit), kornjače (golema želva i ravnoleđna želva), ribe, uključujući i jednu ugroženu vrstu (kitopsina), morske ptice (prugasti zovoj) i bentička flora i fauna (Shell, 2009).

Odlaganje krhotina može prouzročiti zamućenje vode oko postrojenja. Također, krhotine mogu utjecati na karakteristike bentičkih staništa, što će najviše utjecati na organizme koji se hrane na morskome dnu. Utjecaj na kvalitetu vode zbog odlaganja krhotina procijenjen je kao umjeren. Zauljeni pijesak i šljunak iz pojedinih procesa se uklanjaju i otpremaju na zbrinjavanje na kopno, tako da neće imati utjecaj na okoliš na lokaciji postrojenja. Opasni kruti otpad, koji će se generirati na postrojenju, bit će adekvatno zbrinut u odgovarajuće spremnike te će se slati na kopno na daljnju obradu, stoga utjecaj neće biti značajan (Shell, 2009).

Utjecaj krutog otpada na okoliš u svim fazama razvoja Prelude FLNG projekta procijenjen je kao utjecaj malog značaja, osim potencijalnog utjecaja koji može imati odlaganje krhotina na morskome dnu koji je okarakteriziran kao umjeren.

4.1.2.5. Utjecaj tekućeg otpada

Tekući otpad u raznim količinama će se stvarati tijekom svih faza projekta, a sadržavati će i bezopasne i opasne tvari. Otpadni fluidi se odnose na isplaku (sintetičku i vodenu), fluide za hidrotestiranja, proizvedenu slojnu vodu, podvodne hidraulične kontrolne fluide, vodu za hlađenje, drenažne otpadne vode sa palube i postrojenja, slanu vodu iz postupaka desalinizacije te sanitarne otpadne vode (Shell, 2009).

Utjecaj tekućeg otpada može zahvatiti vrste koje su nastanjene ili prolaze područjem projekta, a to su: kitovi, uključujući i dvije ugrožene vrste (grbavi kit i plavi kit), kornjače (golema želva i ravnoleđna želva), ribe, uključujući i jednu ugroženu vrstu (kitopsina), morske ptice (prugasti zovoj) i bentička fauna i plankton. Izuzev ptica, sve navedene vrste izravno ovise o kvaliteti morske vode u kojoj žive, razmnožavaju se, hrane i kreću. Tekući

otpad može utjecati na fizikalna, kemijska i biološka svojstva morskog okoliša, što može predstavljati prijetnju za navedene vrste (Shell, 2009).

Do ispuštanja tekućeg otpada dolazit će tijekom različitih faza projekta. Kompjuterskim modeliranjem je ustanovljeno da će tekući otpad pri ispuštanju u more biti prilično brzo razrijeđen, dispergiran i stopljen s okolnom morskom vodom. Istraživanjima nisu dokazani mjerljivi utjecaji ispuštanja tekućeg otpada na kvalitetu morske vode, pa je ukupni utjecaj tekućeg otpada procijenjen kao utjecaj malog značaja (Shell, 2009).

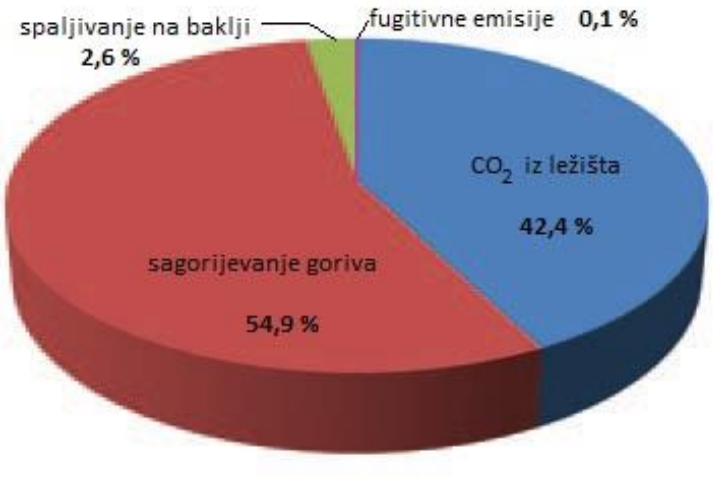
4.1.2.6. Utjecaj emisija u atmosferu

Proizvodnja UPP-a i UNP-a su energetsko intenzivni procesi sa značajnim emisijama stakleničkih plinova. Ipak, UPP ima znatno manju razinu emisija ugljikovog dioksida u odnosu na druga fosilna goriva, pogotovo ugljen. Emisije stakleničkih plinova u atmosferu iz Prelude FLNG projekta potječu iz brojnih aktivnosti kao što su (Shell, 2009):

- sagorijevanje goriva – za proizvodnju energije, za kompresore i spaljivanje na baklji,
- otpuštanje izdvojenog ležišnog ugljikovog dioksida,
- fugitivne emisije (sa spojnica i sl.),
- transport – plovila za opskrbu i teglenice, te
- diesel motori.

Operativna faza FLNG projekta generirat će najznačajniju količinu emisija u odnosu na ostale faze projekta. Stoga su procjene emisija rađene samo za tu fazu projekta pošto su emisije u drugim fazama cijelog projekta zanemarive.

Emisije od sagorijevanja na postrojenju potiču od pogonskog plina koji nije obrađen u jedinici za uklanjanje kiselih plinova, pa sadržava određene količine ležišnog CO_2. Struja izdvojenog ležišnog kiselog plina je gotovo čisti CO_2, sa udjelom metana manjim od 0,2%. Udio emisija od sagorijevanja plina čine više od 50 % cjelokupnih ekvivalentnih emisija ugljikovog dioksida (Shell, 2009).

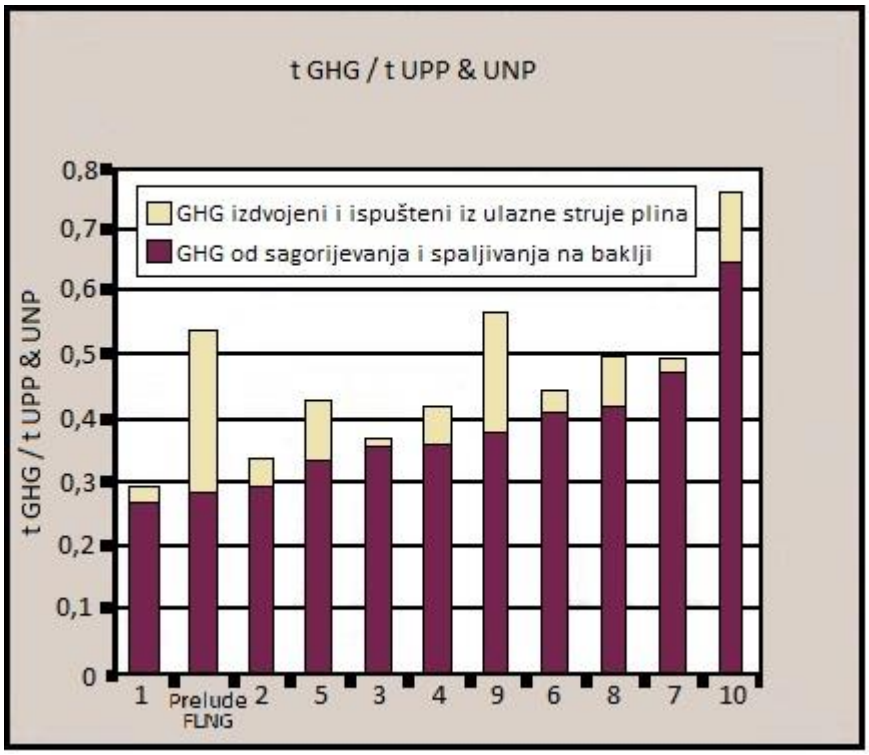


Slika 4-3. Emisije stakleničkih plinova za Prelude FLNG prema izvoru (Shell, 2009)

Glavni okolišni faktori koji imaju značajan utjecaj na emisije stakleničkih plinova FLNG postrojenja su (Shell, 2009):

- temperatura zraka na mjestu gdje se postrojenje nalazi i/ili temperatura vode ukoliko se koristi vodeno hlađenje,
- sastav ulazne struje plina:
  - CO_2 – veći udio CO_2 zahtijeva veći utrošak energije za njegovo odstranjivanje i veću količinu izdvojenog CO_2 koji se ispušta u atmosferu;
  - N_2 – veći udio dušika zahtijeva veći utrošak energije pri ukapljivanju;
  - UNP – veći udio UNP-a smanjuje utrošak energije pri ukapljivanju;
  - teže komponente – veća količina kondenzata zahtijeva veći utrošak energije za stabilizaciju.

Na slici 4-4. grafički je prikazan intenzitet emisija Prelude FLNG postrojenja u usporedbi sa 10 najvećih kopnenih postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina koja čine 70 % ukupnog globalnog kapaciteta ukapljivanja. Za navedena UPP postrojenja prikazane su emisije sa samih postrojenja, bez emisija sa proizvodnih platformi koje ih snabdijevaju plinom.



GHG – staklenički plinovi

Slika 4-4. Grafički prikaz usporedbe intenziteta emisija stakleničkih plinova (Shell, 2009)

Prelude FLNG postrojenje je više energetski učinkovito u odnosu na većinu kopnenih postrojenja za ukapljivanje, jer rashladnu vodu crpi sa dubine mora od 150 m, koristi dvostruko miješano rashladno sredstvo u procesu ukapljivanja i minimalizira isparavanje ukapljenog plina zahvaljujući kratkim pretakačkim rukama. Također, smanjuje potrebu za komprimiranjem plina, pošto se nalazi nad samim plinskim poljem. Iz slike 4-4. proizlazi da Prelude FLNG ima znatno manji intenzitet emisija nastalih pri sagorijevanju u odnosu na kopnena postrojenja, međutim zbog visokog udjela CO_2 u ležišnom plinu, prema ukupnim emisijama Prelude FLNG je ispred većine kopnenih postrojenja. Predviđeno je da će postrojenje pri proizvodnji ugljikovodika od 5,2 mt/god u atmosferu otpuštati 2,3 mt/god CO_{2e}. Utjecaj emisija Prelude FLNG postrojenja pridonijeti će ukupnim globalnim emisijama stakleničkih plinova, pa je teško odrediti samostalni učinak emisija samog postrojenja. Nadalje, u usporedbi s istraživanjem i eksploatacijom drugih fosilnih goriva, intenzitet emisija Prelude FLNG postrojenja mogao bi imati pozitivan učinak, ukoliko proizvedena goriva zamijene goriva s većim intenzitetom emisija (Shell, 2009).

Emisije ostalih zagađivača prvenstveno se odnose se na dušikove okside, ugljikov monoksid, sumporovodik i hlapljive organske spojeve. Udio emisija stakleničkih plinova Prelude FLNG-a u ukupnim australskim emisijama iznosit će 0,4 %. Efekti globalnog zatopljenja i klimatskih promjena predstavljaju ukupne efekte iz brojnih izvora diljem svijeta, koji su glavni pokretači klimatskih promjena. S tog gledišta, negativni utjecaji emisija stakleničkih plinova postrojenja procijenjeni su kao umjereni (Shell, 2009).

4.1.2.7. Utjecaj neplaniranih događaja

Neplanirani događaji odnose se na akcidentne izljeve ugljikovodika i ne-ugljikovodika, te na dolazak novih marinskih vrsta na područje postrojenja. Utjecaj ugljikovodika varira ovisno o njihovoj toksičnosti i konzistenciji. Toksičnost i fizikalne posljedice izlivenih ugljikovodika određeni su (Shell, 2009):

- hlapljivošću ugljikovodika,
- topivošću toksičnih komponenti u morskoj vodi,
- formiranjem i stabilnošću emulzija,
- tempom prirodne disperzije ugljikovodika,
- postojanošću,
- prianjanjem uz površinu i fizikalnim stanjem,
- stopom prirodne biodegradacije.

Izliveni ugljikovodici mogu utjecati na staništa i živi svijet tako da dovode do fizičkih i kemijskih promjena prirodnih staništa, do smrtnosti flore i faune, do promjena u ponašanju životinja zbog utjecaja ugljikovodika na staništa i dr. Kako se postrojenje nalazi na otvorenom moru, što uvelike pridonosi smanjenju potencijalnih negativnih utjecaja, najbliže potencijalno ugroženo kopneno stanište je otok Browse udaljen 40 km jugoistočno od postrojenja. Istraživanja su pokazala da u najgorem slučaju postoji 1 % vjerojatnosti da mrlja ugljikovodika dosegne obale otoka Browse. Isparavanje u atmosferu te degradacija zbog „starenja“ izlivenih ugljikovodika smanjuju postojanost ugljikovodika na morskoj površini, pa se i njihov utjecaj posljedično umanjuje. Stoga utjecaj mogućih izljeva ugljikovodika nije značajan (Shell, 2009).

Izlivene kemikalije mogu potencijalno dovesti do fizičkih i kemijskih promjena prirodnih staništa, uključujući i kvalitetu vode te do potencijalnih smrtonosnih toksičnih učinaka na

floru i faunu. Dizajn postrojenja obuhvaća mjere za sprječavanje takvih izljeva, pa je vjerojatnost da će do takvih akcidenata doći mala, a njihov ukupni utjecaj nije značajan (Shell, 2009).

Tijekom operacija na FLNG postrojenju može doći do pojave novih životinjskih i biljnih vrsta u staništima oko postrojenja, zbog obraštanja trupa plovila ili u balastnim vodama plovila. Međutim, nije vjerojatno da će se takve jedinke i trajno nastaniti u tom području, pa utjecaj takvih pojava nije značajan (Shell, 2009).

4.1.2.8. Socioekonomski utjecaji

Ukupni socioekonomski utjecaji projekta okarakterizirani su kao pozitivni. Negativni utjecaji nisu vjerojatni i nisu značajni. Ekonomski pozitivni učinci proizlaze iz potencijalnih 320 radnih mjesta za lokalno stanovništvo tijekom rada postrojenja u trajanju 25 godina. Također, za očekivati je i potencijalni pozitivan učinak zbog potrebe za popratnim sadržajima za radnike i postrojenje. Očekuje se i rast poreznih prihoda na lokalnoj razini (Shell, 2009).

Zbog udaljenosti postrojenja od kopna i male površine koju zauzima u odnosu na okolno područje, projekt neće imati utjecaj na komercijalni i rekreacijski ribolov, turizam, povijesna i kulturalna obilježja te neće negativno utjecati na morski promet (Shell, 2009).

4.1.2.9. Kumulativni utjecaji

Prelude FLNG projekt neće pridonijeti povećanju kumulativnih utjecaja na lokalnoj razini. Neznatni kumulativni socioekonomski utjecaj moguć je zbog Prelude-ovog doprinosa kretanju brodova i ljudi u danom području. Utjecaj emisija CO_2 okarakteriziran je kao umjeren na globalnoj razini. Projekt neće pridonijeti povećanju kumulativnih utjecaja na ugrožene životinjske i biljne vrste, na vrste koje se sele niti na marinske sustave
(Shell, 2009).

4.1.2.10. Pregled ukupnih utjecaja Prelude FLNG postrojenja

U tablici 4-2. sistematizirani su potencijalni utjecaji na okoliš Prelude FLNG postrojenja u svim fazama projekta.

Tablica 4-2. Potencijalni utjecaji na okoliš Prelude FLNG postrojenja (Shell, 2009)

UTJECAJ	RECEPTORI				OSJETLJIVOST RECEPTORA	
fizički	bentička flora i fauna				mala	
	ribe i plankton				mala	
	ptice				srednja	
	kitovi i kornjače				velika	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	negativni	lokalni	dugotrajno	slab	sigurna	umjeren
puštanje u rad	negativni	lokalni	dugotrajno	slab	slaba	mali
radni vijek	negativni	lokalni	dugotrajno	slab	slaba	mali
svjetlosni	kitovi				mala	
	ribe				srednja	
	ptice i kornjače				velika	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	moguća	mali
puštanje u rad	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	moguća	mali
radni vijek	negativni	lokalni	dugotrajno	slab	moguća	mali
podvodna buka	kornjače, ribe, ptice				mala	
	kitovi				velika	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	moguća	mali
puštanje u rad	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	moguća	mali
radni vijek	negativni	lokalni	dugotrajno	slab	moguća	mali

kruti otpad	kitovi, ribe, bentička flora i fauna				mala	
	kornjače, ptice				srednja	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	slaba (sigurna[1])	mali (umjeren[1])
puštanje u rad	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	slaba	mali
radni vijek	negativni	lokalni	dugotrajno	slab	slaba	mali
tekući otpad	marinske vrste				mala	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	slaba	mali
puštanje u rad	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	slaba	mali
radni vijek	negativni	lokalni	dugotrajno	slab	slaba	mali
emisije stakleničkih plinova	globalna klima i okoliš				velika	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	negativni	globalni	kratkotrajno	slab	vjerojatna	mali
puštanje u rad	negativni	globalni	kratkotrajno	slab	moguća	mali
radni vijek	negativni	globalni	dugotrajno	jak	vjerojatna	umjeren
neplanirani događaji	ribe				mala	
	kornjače i kitovi				srednja	
	ptice				srednja	
	otok Browse				velika	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	slaba	umjeren
puštanje u rad	negativni	lokalni	kratkotrajno	umjeren	slaba	mali
radni vijek	negativni	regionalni	kratkotrajno	slab	slaba	mali

ekonomski	industrija				mala	
	trgovina				mala	
	uprava				mala	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	pozitivni	regionalni	povremeno	slab	sigurna	umjeren
puštanje u rad	pozitivni	lokalni	kratkotrajno	slab	moguća	mali
radni vijek	pozitivni	nacionalni	dugotrajno	slab	sigurna	umjeren
socijalni	industrija				mala	
	trgovina				mala	
	uprava				mala	
Faza projekta	**Karakter utjecaja**	**Opseg utjecaja**	**Trajanje utjecaja**	**Intenzitet utjecaja**	**Vjerojatnost utjecaja**	**Značaj utjecaja**
izgradnja	negativni	lokalni	povremeno	slab	slaba	mali
puštanje u rad	negativni	lokalni	kratkotrajno	slab	slaba	mali
radni vijek	negativni	nacionalni	dugotrajno	slab	slaba	mali

[1]odnosi se samo na odlaganje krhotina za vrijeme bušenja

5. KOPNENA POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

Ukupni globalni kapacitet ukapljivanja prirodnog plina početkom 2016. godine iznosio je 301×10^6 t/god. Iako trenutno najveći udio kapaciteta za ukapljivanje prirodnog plina imaju zemlje srednjeg istoka, ponajprije Katar (77×10^6 t/god), predviđa se da će do kraja desetljeća najveći udio ukupnog globalnog kapaciteta za ukapljivanje prirodnog plina imati Australija zahvaljujući šest novih projekata (IGU, 2016).

Veliki troškovi ulaganja zbog povećanja zaliha UPP-a na tržištu i niske cijene sirove nafte predstavljanju najveću prepreku razvoju novih kopnenih projekata za ukapljivanje prirodnog plina. Također, ishođenje svih potrebnih dozvola može biti relativno dugotrajan i skup proces, čak i u razvijenim zemljama koje imaju dobro razrađenu zakonsku regulativu. Procjena troškova projekta u pacifičkoj regiji iznosi 1 011 $/t u 2015. godini s mogućnošću porasta na čak 1 611 $/t u narednih pet godina (IGU, 2016).

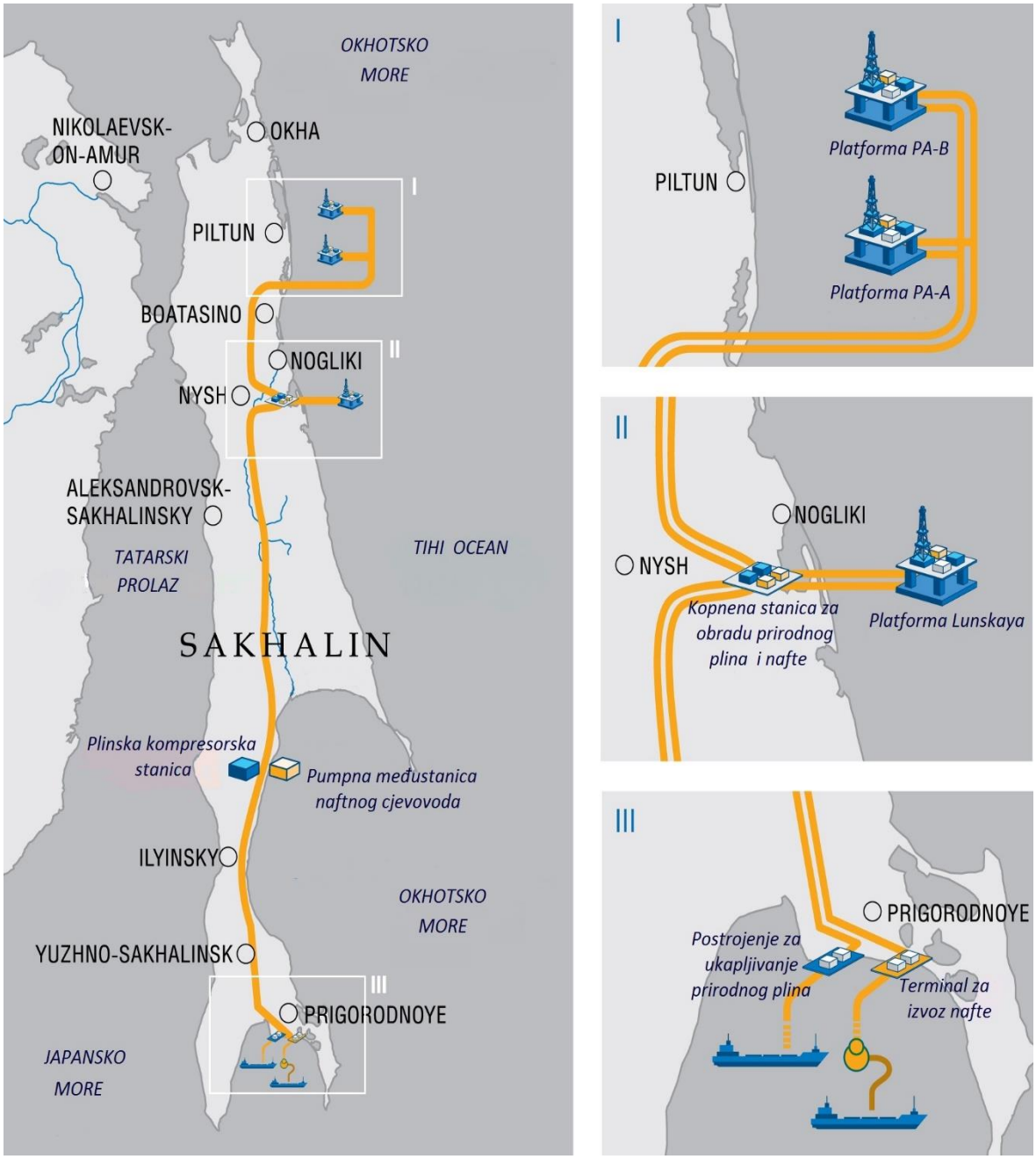
U nastavku ovog rada biti će opisano postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina *Sakhalin II* projekta na ruskom otoku Sakhalinu i analiziran njegov utjecaj na okoliš.

5.1. PROJEKT SAKHALIN II

Projekt Sakhalin II pobuhvaća proizvodnju nafte i prirodnog plina iz dva polja koja se nalaze sjeveroistočno od otoka Sakhalin. To su polja Piltun-Astokhskoye (P-A) i Lunskoye, iz kojih se nafta i prirodni plin crpe na dvije proizvodne platforme u P-A polju i jedne proizvodne platforme u polju Lunskoye (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Proizvedeni prirodni plin obrađuje se u kopnenom postrojenju za obradu (engl. *Onshore Processing Facility*, OPF) gdje mu se dehidracijom smanjuje temperatura rosišta i prilagođava se specifikacijama plinovoda. Plin se dalje otprema plinovodom preko kompresorskih stanica do postrojenja za ukapljivanje koje se nalazi u zaljevu Aniva na samom jugu otoka Sakhalin. Paralelno s plinovodom, postavljen je naftovod kojim se nafta transportira do terminala za utovar na tankere (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Kompleks u zaljevu Aniva sastoji se od kopnenog postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina i terminala za otpremu nafte koji su smješteni na području naselja Prigorodnoye, udaljenog 13 km istočno od Korsakova i 53 km južno od glavnog grada Yuzhno Sakhalinska. Cijeli kompleks prostire se na površini od 205 ha, a za potrebe izgradnje kompleksa raskrčeno je približno 185 ha vegetacije. Odobalni dijelovi postrojenja obuhvaćaju dok za pristajanje UPP tankera i utovar UPP-a te jedinicu za utovar nafte u tankere do koje se nafta transportira podmorskim naftovodom (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).



Slika 5-1. Karta Sakhalin II projekta (www.gazprom.com)

5.2. TEHNIČKE I TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE SAKHALIN II POSTROJENJA ZA UKAPLJIVANJE PRIRODNOG PLINA

Sakhalin II postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina prvo je takve vrste u Rusiji. Postrojenje je dizajnirano tako da je spriječena moguća veća šteta u slučaju potresa i osigurana je strukturna cjelovitost kritičnih elemenata sustava, kao što su sigurnosni ventili i kontrolna soba postrojenja. Postrojenje se sastoji od (Wikipedia, 2016):

- dva spremnika za UPP kapaciteta po 100 000 m^3,
- doka za pristajanje UPP tankera,
- dvije jedinice za ukapljivanje prirodnog plina, svaka kapaciteta $4{,}8 \times 10^6$ t/god,
- dva sferna spremnika za rashladna sredstva (propan i etan), svaki kapaciteta 1 600 m^3,
- sustav fluida za prijenos topline za opskrbu različitih procesnih jedinica,
- pet generatora pogonjenih plinskim turbinama ukupne snage 129 MW,
- sustav za obradu otpadnih voda te
- više pomoćnih sustava.

Proizvodni kapacitet postrojenja iznosi $9{,}6 \times 10^6$ tona ukapljenog prirodnog plina godišnje. S obzirom na vlažne borealne klimatske uvjete Shell je razvio postupak ukapljivanja s dva miješana rashladna sredstva (engl. *Dual Mixed Refrigerant*, DMR). Za skladištenje UPP-a koriste se spremnici s dvostrukom zaštitom. UPP se otprema preko 805 m dugačkog doka na kojem se nalaze četiri „pretakačke ruke“ od kojih su dvije za utovar UPP-a, jedna višenamjenska i jedna za povrat isparenog plina. Gornja platforma doka namijenjena je za kretanje osoblja i vozila te su na njoj postavljeni električni kabeli, dok su na donjoj platformi smješteni plinovod i komunikacijski kabeli. Dubina mora na pristanišnom dijelu doka iznosi 14 m. Pristanište je u mogućnosti prihvatiti UPP tankere kapaciteta od 18 000 do 145 000 m^3, a utovar ukapljenog prirodnog plina traje od 6 do 16 sati. Na postrojenju se ukapljenim prirodnim plinom utovari otprilike 160 UPP tankera godišnje (Wikipedia, 2016).

Postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina i terminal za transport nafte imaju zajedničke administracijske, operacijske i jedinice za održavanje. Postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina projektirano je za radni vijek od 20 godina, dok su terminal za transport nafte i pripadajući civilni objekti postrojenja projektirani za radni vijek od 30 godina. Postrojenje

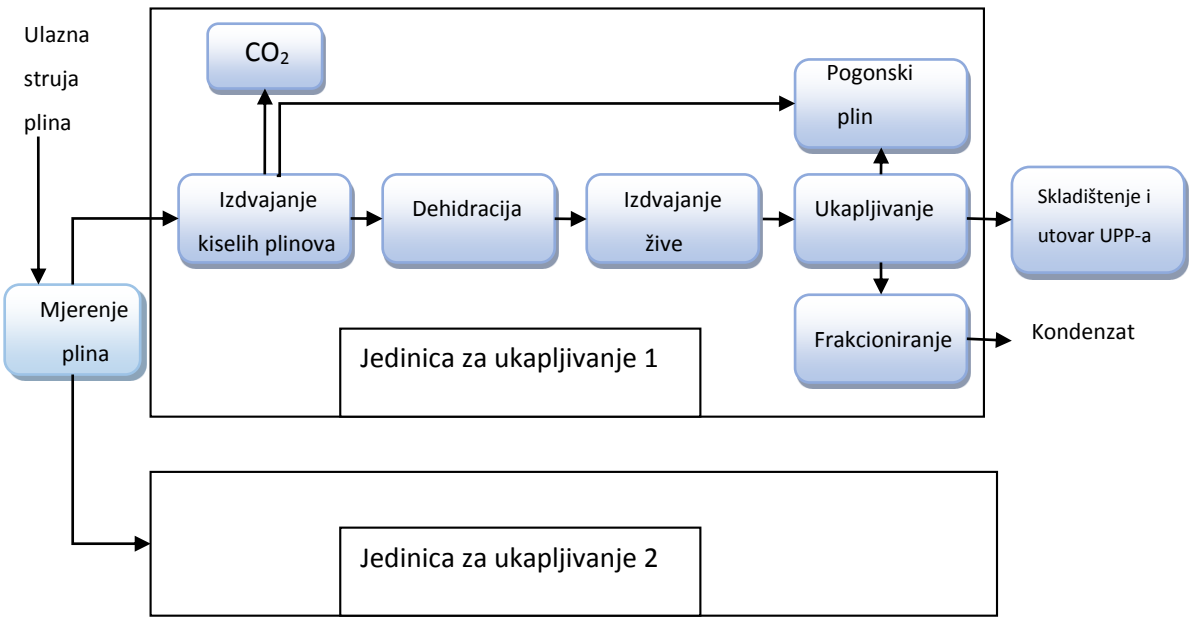
radi 332 dana godišnje, a održavanje traje otprilike mjesec dana godišnje (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Proizvedeni prirodni plin se obrađuje u 4 stupnja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003):

- predobrada plina (uklanjanje kiselih plinova, vode i žive),
- ukapljivanje u Shell-ovim DMR procesu,
- frakcioniranje i
- skladištenje.

5.3. POSTUPCI OBRADE PLINA NA SAKHALIN II POSTROJENJU

Ulazna struja prirodnog plina s mjerne stanice distribuira se prema dvije jedinice za ukapljivanje u kojima se prvo izdvajaju kiseli plinovi. U jedinici za izdvajanje kiselih plinova fizičkom apsorpcijom uz uporabu aminskog otapala Sulfinola-D izdvaja se gotovo sav CO_2. Ispitivanja su pokazala da u ulaznoj struji plina H_2S nije prisutan. Zasićena otopina amina nakon isplinjavanja odlazi u regeneracijsku niskotlačnu kolonu, a kiseli plin (prvenstveno CO_2) usmjerava se prema regenerativnom termičkom oksidatoru (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).



Slika 5-2. Shema procesa obrade plina na postrojenju Sakhalin II (Sakhalin Energy Investment Company, 2003)

Prije ukapljivanja, iz struje plina mora se ukloniti voda kako bi se spriječilo stvaranje hidrata koji mogu začepiti cjevovode i ventile. Nakon uklanjanja kiselih plinova, struja plina se hladi prethlađenim miješanim rashladnim sredstvom pri čemu dolazi do kondenzacije vode koja se uklanja. Plin zatim prolazi kroz molekularna sita koja apsorbiraju preostali udio vode, kako bi se udio vode u struji plina sveo ispod 1 ppm (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Radi uklanjanja mogućih tragova žive, struja plina se usmjerava u jedinicu za uklanjanje žive. Izdvajanje žive predviđeno je u reaktoru s elementarnim sumporom kako bi se razina žive u struji plina svela na manje od 10×10^{-3} µg/m^3. Aktivni ugljen, koji u procesu služi za izdvajanje elementarnog sumpora mijenja se svake 4 godine (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Prije procesa ukapljivanja, struja prirodnog plina prolazi kroz kolone za pročišćavanje u kojima se izdvajaju visokomoloekularni ugljikovodici (C_{5+}). Pročišćeni plin se usmjerava prema glavnom kriogenom izmjenjivaču topline gdje se u procesu s miješanim rashladnim sredstvom hladi do temperature od -153°C i ukapljuje. Dobivenom ukapljenom prirodnom plinu snižava se tlak te se takav UPP pumpama otprema u spremnike (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Slika 5-3. Sakhalin II postrojenje za UPP (www.sakhalinenergy.ru)

Jedinica za frakcioniranje sastoji se od četiri kolone. Struja plina prvo odlazi u demetanizer, gdje se izdvajaju lakše komponente kao dodatna struja plina koja se usmjerava u glavni kriogeni izmjenjivač topline na hlađenje i ukapljivanje. U deetanizeru i depropanizeru izdvajaju se etan i propan, od kojih se mali udio koristi kao rashladno sredstvo, a veći dio se utiskuje u UPP. Stabilizirani kondenzat s dna debutanizera odlazi na mjerenje i otprema se prema terminalu za transport nafte (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4. UTJECAJ NA OKOLIŠ SAKHALIN II UPP POSTROJENJA

U ovom poglavlju će biti opisani i analizirani potencijalni utjecaji na okoliš Sakhalin II UPP postrojenja. Pri procjeni utjecaja, trebalo je razmotriti intenzitet utjecaja i vjerojatnost da će do utjecaja doći kao posljedica aktivnosti vezanih za UPP postrojenje. Potencijalni utjecaji, za koje je u studiji o utjecaju na okoliš ustanovljeno da su vrlo malog ili bez značaja, neće biti spomenuti.

5.4.1. Utjecaj na atmosferu

Emisije dušikovog dioksida (NO_2), sumporovog dioksida (SO_2) i ugljikovog monoksida (CO) iz aktivnosti vezanih za Sakhalin II postrojenje za UPP primarni su izvor zagađenja atmosfere. Do tih emisija dolazi uslijed sagorijevanja fosilnih goriva te one mogu imati negativan utjecaj na ljudsko zdravlje (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Izgradnja Sakhalin II postrojenja trajala je otprilike 5 godina. U toj fazi projekta primarni izvori emisija bili su sagorijevanje fosilnih goriva u vozilima, generatorima i uređajima na postrojenju te emisije sitnih čestica (prašina) uslijed rukovanja otpadnim materijalom, iz pogona za proizvodnju betona i prolaskom vozila po neasfaltiranim prometnicama. Osam generatora snage 2 MW bili su glavni izvori emisija od sagorijevanja u fazi izgradnje postrojenja. Kako bi se smanjili potencijalni utjecaji, provedene su sljedeće mjere (Sakhalin Energy Investment Company, 2003):

- asfaltiranje pomoćnih prometnica ili zalijevanje i sađenje vegetacije na izloženim područjima u svrhu smanjenja utjecaja čvrstih čestica,
- uporaba goriva s niskim udjelom sumpora (do 0,05 %),
- uporaba odobrenih goriva i maziva te
- propisno održavanje strojeva i vozila.

Također, kako je zabranjeno spaljivanje bilo kakvog otpada, nije došlo do štetnih emisija uslijed spaljivanja otpada.

Tijekom puštanja postrojenja u rad, na baklji je kontinuirano u razdoblju od 10 dana sagorjelo 65 000 tona plina što je ekvivalentno otprilike 40 % ukupne količine plina koji sagori u pojedinoj jedinici za ukapljivanje prirodnog plina. Kako bi se umanjili potencijalni utjecaji spaljivanja plina na baklji, plin se usmjerava na baklju samo u nuždi (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Tijekom radnog vijeka postrojenja sastav ulazne struje plina ovisan je o godišnjem dobu. Modeliranje emisija izrađeno je za 12 različitih slučajeva, ovisno o godišnjem dobu, o tome jesu li u pogonu jedna ili obje jedinice za ukapljivanje prirodnog plina te o tome ima li ili nema prijenosa fluida s obale na plovila, što je prikazano u tablici 5-1.

Tablica 5-1. Modelirani slučajevi emisija (Sakhalin Energy Investment Company, 2003)

	Mirovanje	Utovar
Jedna jedinica	• standardni sastav plina[1]	• standardni sastav plina
	• ljetni sastav plina[1]	• ljetni sastav plina
	• zimski sastav plina[1]	• zimski sastav plina
Dvije jedinice	• standardni sastav plina	• standardni sastav plina
	• ljetni sastav plina	• ljetni sastav plina
	• zimski sastav plina	• zimski sastav plina

[1]Standardni sastav plina odnosi se na prosječni sastav plina i srednju godišnju temperaturu, ljetni sastav plina odnosi se na lakši plin i više temperature okoline, a zimski sastav plina odnosi se na bogatiji, teži plin i niže temperature okoline.

Modeliranja emisija izrađena su za četiri glavna zagađivača: ugljikovodike, dušikove okside (NO_x), sumporove okside (SO_x) i ugljikov monoksid (CO). Procijenjeno je da će najveći intenzitet emisija biti za vrijeme utovara fluida na tankere, u ljetnim mjesecima, s obje jedinice za ukapljivanje u pogonu. U tablici 5-2. prikazane su emisije glavnih zagađivača i njihovi izvori na postrojenju Sakhalin II (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Tablica 5-2. Inventar modeliranih emisija (Sakhalin Energy Investment Company, 2003)

Izvor	NO_x (kg/s)	SO_2 (kg/s)	CO (kg/s)
Frame 6 plinske turbine	0,0183	0,0001	0,0688
Frame 7 plinske turbine	0,0220	0,0002	0,0827
terminal za utovar nafte	neznatno	neznatno	neznatno
baklje	0,0001	0,0000	neznatno
UPP tankeri (utovar)	0,02565	0,01319	0,00014
tankeri (utovar)	0,041	0,0211	0,0027
teglenice (sidrenje)	0,041	0,0211	0,0027

Rezultati modeliranja pokazali su da je količina ispuštenih emisija dušikovog dioksida (NO_2) (67 μm^3) daleko ispod preporučenih dopuštenih količina prema WHO (400 μm^3). Da bi se emisije dušikovog oksida (NO_2) zadržale na tako niskoj razini, provedene su sljedeće mjere (Sakhalin Energy Investment Company, 2003):

- uporaba plamenika s niskim udjelom NO_x,
- izbjegavanje spaljivanja plina na baklji, osim kada je to neophodno,
- uporaba goriva s niskim udjelom sumpora (do 0,05 %) te
- smanjenje uporabe diesel goriva za generiranje električne energije.

Utjecaji emisija od sagorijevanja na postrojenju Sakhalin II procijenjeni su kao utjecaji umjerenog značaja.

5.4.2. Utjecaj buke

Tijekom izgradnje postrojenja Sakhalin II razmatran je utjecaj buke uslijed krčenja, iskopavanja, transporta, betoniranja itd. Utjecaju buke najviše su bili izloženi radnici koji su radili na izgradnji postrojenja. Kako bi se umanjio utjecaj buke u fazi izgradnje postrojenja, strojevi i vozila su bili redovito održavani, noćne aktivnosti ograničene su na aktivnosti koje ne proizvode značajnu količinu buke, a prostorije za odmor i spavaonice su na postrojenju smještene što dalje od izvora buke. Tijekom puštanja u rad, potencijalni izvor buke predstavljalo je spaljivanje plina na baklji. Tijekom rada postrojenja najveća predviđena razina buke iznosi 65 dB što je unutar dopuštenih granica. Utjecaji buke s postrojenja Sakhalin II procijenjeni su kao utjecaji malog do umjerenog značaja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.3. Utjecaj na kopnene vodene resurse

Podzemne vode na Sakhalinu nalaze se relativno plitko, pa većina utjecaja na njih posredno utječe i na površinske vode. Posljedično, učinci na kvalitetu površinskih voda posredno će utjecati na biološke karakteristike područja i dostupnost pitke vode. Potencijalni utjecaji na vodene resurse odnose se na kvalitetu i tok vodenih resursa. Najveći utjecaji na vodene resurse javili su se u fazi izgradnje postrojenja pri slijedećim aktivnostima (Sakhalin Energy Investment Company, 2003):

- priprema zemljišta za izgradnju postrojenja,
- izgradnja mosta, komunikacijske opreme i cjevovoda preko rijeke Goluboy,
- slučajni izljevi (npr. diesel goriva) pri transportu i uporaba kemikalija te
- izgradnja odvodnih kanala.

Izgradnja postrojenja utjecala je na promjene u hidrogeološkom režimu i režimu toka podzemnih voda u okolnom području. Povećanje razine sedimentnih čestica u vodotocima bitno utječe na vodene organizme, npr. negativne promjene u mriještenju riba ili izumiranje vodenih biljaka zbog smanjenja fotosinteze. Neke od mjera za sprječavanja negativnih utjecaja na vodene resurse su (Sakhalin Energy Investment Company, 2003):

- izbjegavanje kontakta strojeva i opreme sa vodenim tokovima,
- skladištenje opasnih kemikalija, goriva i maziva na udaljenosti većoj od 30 m od vodenih tokova te

- sprječavanje kontakta cementa i betona s vodenim tokovima.

Utjecaji na vodene resurse tijekom rada postrojenja odnose se na potencijalne akcidentne izljeve kemikalija, goriva ili otpadnih voda. Zahvaljujući poduzetim mjerama kao što su odgovarajuće sakupljanje otpadnih voda i svođenje mogućnosti izljeva kemikalija na najmanju moguću razinu, utjecaji na vodene resurse procijenjeni su kao utjecaji malog do umjerenog značaja. Iako je vjerojatnost da će do većeg izljeva doći izrazito mala, u takvoj situaciji utjecaji bi postali značajni (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.4. Utjecaj na more

Utjecaji na morsku vodu u svim fazama Sakhalin II projekta proizlaze prvenstveno iz ispuštanja balastnih voda i ostalih otpadnih voda s plovila. Kako bi se umanjili potencijalni utjecaji na morsku vodu sva plovila moraju se pridržavati MARPOL konvencije kako bi se spriječilo zagađenje mora naftom i otpadnim vodama. Iz toga proizlazi da su utjecaji na morsku vodu malog značaja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.5. Utjecaj na biljni svijet

Najveći utjecaji na biljni svijet bili su prisutni tijekom izgradnje postrojenja zbog rušenja stabala i pripreme zemljišta za građevinske radove. Najvažnija biljna vrsta na koju je moguć potencijalni utjecaj je sahalinska smreka (lat. *Picea glehnii*), međutim najbliži primjerci te vrste udaljeni su 800 m od postrojenja. Iako je u krugu 1 km od postrojenja pronađeno 11 ugroženih biljnih vrsta, uz odgovarajuće mjere negativni utjecaji Sakhalin II postrojenja svedeni su na minimum, pa je procjena da su utjecaji na biljni svijet u svim fazama projekta malog značaja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.6. Utjecaj na ptice

Najveći utjecaji na ptice bili su prisutni tijekom izgradnje postrojenja. Krčenje postojeće šume rezultiralo je gubitkom područja na kojem su se određene vrste ptica hranile, razmnožavale i boravile. Većina vrsta na koje projekt Sakhalin II ima određeni utjecaj su relativno česte i rasprostranjene. Jedina ugrožena vrsta na tom području je japanska šljuka, međutim broj jedinki na području postrojenja je relativno malen u odnosu na ukupnu

populaciju te vrste. Aktivnosti prilikom izgradnje postrojenja, pogotovo one kod kojih je prisutna veća razina buke mogu utjecati na ponašanje ptica. Aktivnosti prilikom izgradnje odobalnog terminala za utovar tankera mogu imati utjecaj na morske ptice. Tijekom rada postrojenja do najznačajnijih utjecaja može doći u slučaju izljeva nafte, pogotovo na morske ptice (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Kako bi se u što većoj mjeri sačuvala staništa za ptice, postojeća vegetacija bila je zaštićena uz sadnju dodatnih stabala u području oko samog postrojenja. Kako bi se izbjegao gubitak većeg broja ptica, krčenje stabala izvršeno je izvan sezone razmnožavanja. Uz dodatne mjere, kao što je sprječavanje potencijalnih izljeva nafte, potencijalni utjecaji postrojenja na ptice okarakterizirani su kao utjecaji malog značaja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.7. Utjecaj na kopnene životinje

Najveći utjecaji na kopnene životinje bili su prisutni tijekom izgradnje postrojenja. Krčenje postojeće šume rezultiralo je gubitkom područja na kojem su se određene vrste sisavaca (pretežno glodavaca), vodozemaca, gmazova i insekata hranile, razmnožavale i boravile, što je rezultiralo gubitkom određenog broja jedinki. Na području oko postrojenja nisu zabilježene jedinke ugroženih vrsta kopnenih životinja, a pronađene vrste rasprostranjene su duž cijelog otoka, pa im opstanak nije ugrožen izgradnjom postrojenja. Veće i pokretnije vrste sisavaca nastoje se udaljiti od područja na kojima se osjećaju ugroženo, pa je utjecaj postrojenja na kopnene životinje okarakteriziran kao utjecaj malog značaja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.8. Utjecaj na bentičku floru i faunu

Istraživanja su pokazala da su školjke najzastupljenija vrsta u zaljevu Aniva. Osim školjaka, na tom području prisutne su i određene vrste mnogočetinaša, bodljikaša i rakova. Zbog iskapanja u fazi izgradnje postrojenja preko $1{,}4 \times 10^6$ m^2 staništa biti će narušeno. Osim trenutačnog narušavanja staništa, sedimenti od iskopavanja suspendirani u vodenom stupcu mogu prekriti staništa na širem području. Gubitak bentičke biomase može dovesti do gubitka jedinki koje su ovisne o hranjenju u tom području. Ukupna površina bentičkih staništa zahvaćena izgradnjom postrojenja čini manje od 1 % ukupne površine zaljeva Aniva,

pa unatoč tome što će na lokalnoj razini utjecaji na bentičku floru i faunu biti značajni, ukupni utjecaji su okarakterizirani kao utjecaji malog značaja. Također, procijenjeno je da će se staništa regenerirati unutar razdoblja od 5 godina (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.9. Utjecaj na ribe

Najveći potencijalni utjecaj na ribe u zaljevu Aniva ima povećanje koncentracije suspendiranih čvrstih čestica do čega dolazi zbog iskapanja i odlaganja iskopanog tla. Osim toga, do utjecaja može doći zbog prisutnosti plovila, uslijed potencijalnih izljeva, zatim zbog buke koja se javlja za vrijeme izvođenja pojedinih operacija i zbog smanjenja kvalitete vode. Od ribljih vrsta na području projekta, najznačajniji je losos. S obzirom da su neki radovi izvođeni u proljetnim i ljetnim mjesecima, u razdoblju najveće osjetljivosti populacije lososa zbog migracije, utjecaji na ribe u tom kontekstu okarakterizirani su kao umjereni do značajni. Uz predviđene mjere, koje se odnose na pravilno odlaganje čvrstih čestica i smanjenje mogućih utjecaja buke na ribe, ukupni utjecaji na ribe ocijenjeni su kao utjecaji malog značaja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.10. Utjecaj na morske sisavce

U zaljevu Aniva redovito je prisutno 6 vrsta iz porodice kitova (Sakhalin Energy Investment Company, 2003):

- kit ubojica (lat. *Orcinus orca*),
- obični dupin (lat. *Delphinus delphis*),
- pacifički bijelobočni dupin (lat. *Lagenorhynchus obliquidens*),
- veliki dupin (lat. *Tursiops truncates*),
- Dallijeva pliskavica (lat. *Phocoenoides dalli*) i
- perajasta pliskavica (lat. *Phocoena phocoena*).

Brkati, pjegasti i prstenasti tuljani su najzastupljenije vrste perajara prisutne u zaljevu Aniva. U toplijim razdobljima godine, u zaljevu se mogu pojaviti i Stellerov morski lav i sjeverna morska medvjedica.

Do potencijalnog utjecaja na morske sisavce može doći zbog fizičke prisutnosti plovila, promjene u kvaliteti vode, potencijalnog gubitka staništa i hranilišta, nastale buke i izljeva. Budući da većina morskih sisavaca koristi zvučne signale za komunikaciju, u slučaju da zbog proizvedene buke dođe do dugotrajnog izbivanja morskih sisavaca s određenog područja, utjecaji mogu biti okarakterizirani kao značajni. Unatoč tome, određena ispitivanja su pokazala da većina morskih sisavaca relativno dobro podnosi razinu buke koja se stvara u aktivnostima na Sakhalin II postrojenju, pa su uz određene poduzete mjere za smanjenje buke i praćenje kvalitete vode ukupni utjecaji na morske sisavce okarakterizirani kao mali do umjereni (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.11. Utjecaj neplaniranih događaja

Kopnene i odobalne aktivnosti Sakhalin II projekta predstavljaju potencijalni rizik od akcidenata, koji mogu dovesti do izljeva nafte, kemikalija ili drugih fluida. Potencijalni utjecaj takvih izljeva ovisi o količini izlivene tvari, trenutnim meteorološkim uvjetima, lokaciji izljeva i osjetljivosti područja na kojem se izljev dogodi. Određena istraživanja su pokazala da su mali izljevi (do 1 t) najčešći od svih akcidentnih situacija (više od 90 %), a do njih dolazi zbog propuštanja, pretovara goriva i kapanja goriva sa baklje. Pojedine faze projekta imaju različite stupnjeve rizika za nastanak akcidentne situacije, pa su sukladno tome i provedene određene mjere, a neke od njih su uporaba tankera s dvostrukom oplatom i rutinski inspekcijski pregledi i održavanje pretovarnih crijeva. Također, cjevovodi imaju antikorozivnu zaštitu i zaštitu od fizičkih utjecaja tegljenja i leda. Mali izljevi mogu imati trenutačne negativne učinke, međutim kako se na području projekta proizvodi smjesa ugljikovodika s velikim udjelom lakših komponenti, dugotrajni učinci nisu vjerojatni zbog visoke hlapljivosti i prirodne disperzije prisutnih spojeva. Utjecaj takvih događaja okarakteriziran je kao utjecaj malog značaja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

Iako je vjerojatnost da će do većeg izljeva ugljikovodika doći vrlo mala, potencijalni utjecaji koji proizlaze iz takvog akcidenta okarakterizirani su kao umjereni do veliki. To se ponajprije odnosi na negativne učinke koje bi izliveni ugljikovodici mogli imati na morske sisavce koji obitavaju u tom području i ptice u osjetljivim obalnim područjima (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.12. Ostali utjecaji

Tijekom svih faza projekta moguća je pojava još nekih učinaka koji nisu spomenuti u prethodnim poglavljima. Utjecaj na tlo prisutan je u fazi izgradnje postrojenja zbog iskapanja te je moguć za vrijeme rada postrojenja zbog mogućih izljeva, a zahvaljujući poduzetim mjerama, isti je okarakteriziran kao malen. Utjecaj na krajobraz i vizualne karakteristike područja očitovao se u izgradnji postrojenja na području koje je prije bilo prekriveno vegetacijom. S obzirom na relativno malu udaljenost do najbližih stambenih objekata, vizualni utjecaji postrojenja okarakterizirani su kao umjereni. Tijekom radnog vijeka postrojenja u obližnjim marinskim staništima može doći do pojave novih biljnih i životinjskih vrsta iz balastnih voda plovila. Zahvaljujući propisanim naputcima za postupanje s balastnim vodama i izmjeni balastne vode prije uplovljavanja brodova u zaljev Aniva, utjecaj invazivnih vrsta na ekološke značajke tog područja okarakteriziran je kao utjecaj malog značaja. Kruti otpad stvara se u svim fazama projekta, a prema projektu odlaže se u za tu svrhu izgrađena odlagališta, pa je utjecaj krutog otpada okarakteriziran kao utjecaj malog značaja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003).

5.4.13. Pregled ukupnih utjecaja Sakhalin II LNG postrojenja

U tablici 5-3. sistematizirani su potencijalni utjecaji na okoliš Sakhalin II LNG postrojenja u svim fazama projekta.

Tablica 5-3. Potencijalni utjecaji na okoliš Sakhalin II LNG postrojenja (Sakhalin Energy Investment Company, 2003)

UTJECAJ	FAZA PROJEKTA	TRAJANJE UTJECAJA	ZNAČAJ UTJECAJA
NA ATMOSFERU	izgradnja	kratkotrajno	mali
	puštanje u rad	kratkotrajno	-
	radni vijek	dugotrajno	umjereni
BUKE	izgradnja	kratkotrajno	mali
	puštanje u rad	kratkotrajno	veliki
	radni vijek	dugotrajno	umjereni
NA KOPNENE VODENE RESURSE	izgradnja	dugotrajno	mali
	puštanje u rad	dugotrajno	-
	radni vijek	dugotrajno	umjereni

UTJECAJ	FAZA PROJEKTA	TRAJANJE UTJECAJA	ZNAČAJ UTJECAJA
NA MORE	izgradnja	kratkotrajno	mali
	puštanje u rad	kratkotrajno	mali
	radni vijek	povremeno	mali
NA BILJNI SVIJET	izgradnja	dugotrajno	mali
	puštanje u rad	-	-
	radni vijek	povremeno	mali
NA PTICE	izgradnja	kratkotrajno	mali
	puštanje u rad	kratkotrajno	-
	radni vijek	povremeno	mali
NA KOPNENE ŽIVOTINJE	izgradnja	kratkotrajno	mali
	puštanje u rad	-	-
	radni vijek	povremeno	mali
NA BENTIČKU FLORU I FAUNU	izgradnja	kratkotrajno	mali
	puštanje u rad	-	-
	radni vijek	dugotrajno	mali
NA RIBE	izgradnja	kratkotrajno	mali
	puštanje u rad	-	-
	radni vijek	povremeno	mali
NA MORSKE SISAVCE	izgradnja	kratkotrajno	mali
	puštanje u rad	-	-
	radni vijek	dugotrajno	mali/umjereni
NEPLANIRANIH DOGAĐAJA	sve faze	kratkotrajno	mali/umjereni/ velik

6. ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije i zahtjevi tržišta doveli su do razvoja brojnih novih projekata za eksploataciju prirodnog plina u posljednjih petnaestak godina. Promet ukapljenim prirodnim plinom posljednjih nekoliko godina čini približno 30 % ukupnog prometa prirodnim plinom. Zbog ekonomske isplativosti UPP projekata mnoge su velike tvrtke svoje poslovanje okrenule u tom smjeru. To je dovelo do razvoja mnogih kopnenih postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina te nekoliko tehnološki inovativnih projekata za odobalno ukapljivanje prirodnog plina. Izazovi koji prate tehnološki razvoj odnose se prvenstveno na zaštitu okoliša, zahvaljujući sve većoj globalnoj svijesti o potrebi za očuvanjem okoliša i smanjenju štetnih utjecaja koja svi segmenti industrije imaju na okoliš.

U ovom radu su na temelju izrađenih studija o utjecaju na okoliš opisani i analizirani potencijalni utjecaji dva postrojenja za ukapljivanje prirodnog plina. Prvo od njih, Prelude FLNG, predstavlja tehnološku inovaciju odobalnog ukapljivanja prirodnog plina na lokaciji samog plinskog polja Prelude od kuda se ukapljeni plin otprema na određena tržišta UPP tankerima. Drugo postrojenje, koje se nalazi na ruskom otoku Sakhalinu, dio je projekta Sakhalin II kojim se prirodni plin i nafta iz polja smještenih uz sjeveroistočnu obalu otoka proizvode, obrađuju i distribuiraju na tržište. Projekt Sakhalin II obuhvaća tri proizvodne platforme, sustav plinovoda i naftovoda i kopneno postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina na jugu otoka u zaljevu Aniva u sklopu kojeg se nalazi i terminal za transport nafte.

Iz provedenih studija proizlazi da odobalno postrojenje za ukapljivanje prirodnog plina ima potencijalni utjecaj na manji broj sastavnica okoliša u odnosu na kopneno postrojenje. To je posljedica smještanja odobalnog postrojenja na samo plinsko polje koje je udaljeno od najbližeg kopna, otoka Browse, 43 km, dok je kopneno postrojenje Sakhalin II udaljeno 13 km od najbližeg grada Korsakova. Također, odobalno postrojenje je projektirano kao plovilo dužine 488 m i širine 74 m, dok se spomenuto kopneno postrojenje prostire na ukupnoj površini od otprilike 5 km^2. Iz toga slijedi da odobalno postrojenje nema utjecaj na kopnenu vegetaciju, dok je za potrebe izgradnje kopnenog postrojenja moralo biti raskrčeno 185 ha vegetacije. Broj životinjskih i biljnih vrsta manji je na lokaciji odobalnog postrojenja, pa su i potencijalni utjecaji ograničeni na manji broj vrsta u odnosu na kopneno postrojenje. Velika udaljenost odobalnog postrojenja od najbližeg naselja u odnosu na kopneno postrojenje čini

potencijalni utjecaj na stanovništvo višestruko manji nego što je to slučaj kod kopnenog postrojenja. Emisije stakleničkih plinova od sagorijevanja i spaljivanja na baklji odobalnog postrojenja manje su u odnosu na emisije 10 najvećih kopnenih postrojenja za ukapljivanje, pa tako i od postrojenja Sakhalin II. Međutim zbog sastava ulazne smjese plina polja Prelude, u kojoj je prisutan veliki udio ugljikovog dioksida (CO_2) ukupne emisije odobalnog postrojenja veće su u odnosu na ukupne emisije postrojenja Sakhalin II.

Iz navedenog proizlazi da tehnološki inovativni projekti odobalnog ukapljivanja prirodnog plina potencijalno mogu imati mnogo manji utjecaj na okoliš u odnosu na kopnena postrojenja. Unatoč tome, uz pažljivo planiranje i dizajn postrojenja moguće je razvijati i kopnena i odobalna postrojenja, kod kojih će uz primjenu određenih mjera zaštite okoliša, postupanja prema međunarodnim konvencijama i poštivanju zakonske regulative potencijalni negativni učinci biti svedeni na najmanju moguću mjeru. Stoga je u razdoblju koje je pred nama za očekivati razvoj novih postrojenja, kako kopnenih, tako i odobalnih, jer je globalni ekonomski rast popraćen sve većom potražnjom za energijom.

7. LITERATURA

1. API, 2015. *Liqufied Natural Gas (LNG) Oerations Consistent Methodology for Estimating Greenhouse Gas Emissions*. API, Washington DC
2. BP, 2016. *BP Statistical Review of World Energy June 2016*. www.bp.com/statisticalreview
3. CAMERON, P. D., 2008. LNG: *Study on Interoperability of LNG facilities and Interchangeability of Gas and Advice on the Opportunity to set up an Action Plan for the Promotion of LNG Chain Investments - Part 2: Environmental and Sustainabilitiy Perspective*. Study for the European Commission DG TREN, Centre for Energy, Petroleum and Mineral Law and Policy, UK
4. ExxonMobil, 2005. *2005 Financial & Operating Review*
5. HRNČEVIĆ, L., 2014. *Problemi zaštite zraka i staklenički plinovi u naftnoj industriji*. Nastavni materijali iz kolegija Zaštita zraka, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
6. IGU, 2016. *2016 World LNG Report*. LNG 18 Conference & Exhibition Edition
7. NEW BRUNSWICK DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND LOCAL GOVERNMENT, 2004. *Summary of the Environmental Impact Statement (EIA Report) for the Irving Oil Limited Liquefied Natural Gas (LNG) Marine Terminal and Multi-Purpose Pier Project*.
8. SAKHALIN ENERGY INVESTMENT COMPANY, 2003: *Environmental Impact Assessment for the Phase 2 of Sakhalin II Project.*
9. SHELL DEVELOPMENT (AUSTRALIA), 2009. *Prelude Floating LNG Project Draft Environmental Impact Statement*
10. SHIVELY, B., FERRARE, J., PETTY, B., 2010. *Understanding Today's Global LNG Busines*. Enerdynamics Corp., Colorado, SAD

internetski izvori:

11. GAZPROM,
    URL: http://www.gazprom.com/f/posts/39/853008/sakhalin2_2_eng.jpg (04.01.2017.)
12. GULDNER, T. Liquid Natural Gas (LNG). Marine Firefighting Inc, Newsletter #19.
    URL: http://www.marinefirefighting.com/Pages/Newsletters/Newsletter%2019.htm (16.12.2016.)

13. KING, H. What is LNG – Liquefied natural gas?.
URL: http://geology.com/articles/lng-liquefied-natural-gas/lng-ship.jpg (27.12.2016.)
14. SHELL,
URL: http://www.shell.com/about-us/major-projects/prelude-flng/prelude-flng-an-overview/_jcr_content/pagePromo/image.img.1600.jpeg/1450175174135/digital-impression-of-shell-floating-liquefied-natural-gas-facility-design.jpeg (27.12.2016.)
15. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sakhalin-II (22.01.2017.)
16. URL: http://www.sakhalinenergy.ru/media/user/slider_index/foto001.jpg (07.01.2017.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno.

_____

Sven Radimiri