

Spremnici za skladištenje ugljikovodika

Čorak, Patrik

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:911059>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-30**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij naftnog rudarstva

SPREMNICI ZA SKLADIŠTENJE UGLJIKOVODIKA

Završni rad

Patrik Čorak

N4345

Zagreb, 2020.

SPREMNICI ZA SKLADIŠTENJE UGLJIKOVODIKA

Patrik Čorak

Završni rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Spremnici za skladištenje ugljikovodika su važna sastavnica između procesa proizvodnje i krajnje distribucije ugljikovodika. Skladištenje ugljikovodika je proces koji može trajati kraći ili duži vremenski period ovisno o potrebama tržišta. Spremnici za skladištenje ugljikovodika osiguravaju stabilnost između ponude i potražnje na tržištu na način da omoguće dovoljnu količinu slobodnog kapaciteta u slučaju novih otkrića ili smanjene potražnje, a isto tako i dovoljnu količinu uskladištenih ugljikovodika u slučaju smanjene proizvodnje ili povećane potražnje. U završnom radu je prikazana i opisana podjela spremnika za skladištenje nafte i prirodnog plina.

Ključne riječi: Skladištenje ugljikovodika, spremnici za skladištenje nafte, spremnici za skladištenje prirodnog plina

Završni rad sadrži: 25 stranica, 27 slika, 1 tablicu i 8 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGN fakulteta

Ocjenjivači: Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGN fakulteta
Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGN fakulteta

Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGN fakulteta

Datum obrane: 22.9.2020.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. SPREMNICI ZA SKLADIŠTENJE NAFTE	2
2.1. Spremnici bez krova	2
2.2. Spremnici s fiksnim krovom	3
2.3. Spremnici s plutajućim krovom	6
3. SPREMNICI ZA SKLADIŠTENJE PRIRODNOG PLINA	12
3.1. Spremnici ukapljenog prirodnog plina	12
3.2. Spremnici stlačenog prirodnog plina	18
3.3. Spremnici ukapljenog naftnog plina	22
4. ZAKLJUČAK	24
5. LITERATURA	25

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Karakteristike spremnika stlačenog prirodnog plina	20
---	----

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Vrste spremnika.....	2
Slika 2-2. Spremnik bez krova	3
Slika 2-3. Spremnik s fiksnim krovom	3
Slika 2-4. Podupirući konusni krov	5
Slika 2-5. Samopodupirući konusni krov.....	5
Slika 2-6. Samopodupirući krov u obliku kupole.....	6
Slika 2-7. Spremnici s plutajućim krovom.....	6
Slika 2-8. Plutajući krov s jednostrukom palubom.....	7
Slika 2-9. Karakteristične razine spremnika.....	8
Slika 2-10. Smjerovi djelovanja opterećenja na spremnik.....	9
Slika 2-11. Zglobno povezane cijevi za odvodnju.....	10
Slika 2-12. Fleksibilni sustav cijevi.....	11
Slika 2-13. Shema spremnika sa svim pripadajućim sistemima neophodnim za rad	11
Slika 3-1. Podzemni spremnik ukapljenog prirodnog plina.....	13
Slika 3-2. Podzemno skladište ukapljenog prirodnog plina u Japanu	13
Slika 3-3. Nadzemni spremnik za ukapljeni prirodni plin s jednostrukom zaštitom.....	14
Slika 3-4. Nadzemni spremnik ukapljenog prirodnog plina s jednostrukom zaštitom.....	15
Slika 3-5. Nadzemni spremnik za ukapljeni prirodni plin s dvostrukom zaštitom.....	16
Slika 3-6. Nadzemni spremnik za ukapljeni prirodni plin s potpunom zaštitom	16
Slika 3-7. Raspodjela slojeva različite gustoće u spremniku prilikom punjenja.....	17
Slika 3-8. Sustav pripreme stlačenog prirodnog plina za prodaju na benzinskoj postaji.....	19
Slika 3-9. Cilindrični i sferični spremnik stlačenog prirodnog plina.....	19
Slika 3-10. Spremnik Tip 2	21
Slika 3-11. Spremnik Tip 3	21
Slika 3-12. Različite izvedbe spremnika ukapljenog naftnog plina	22
Slika 3-13. Dijelovi spremnika za ukapljeni naftni plin	23
Slika 3-14. Oštećenja spremnika za ukapljeni naftni plin.....	23

1. UVOD

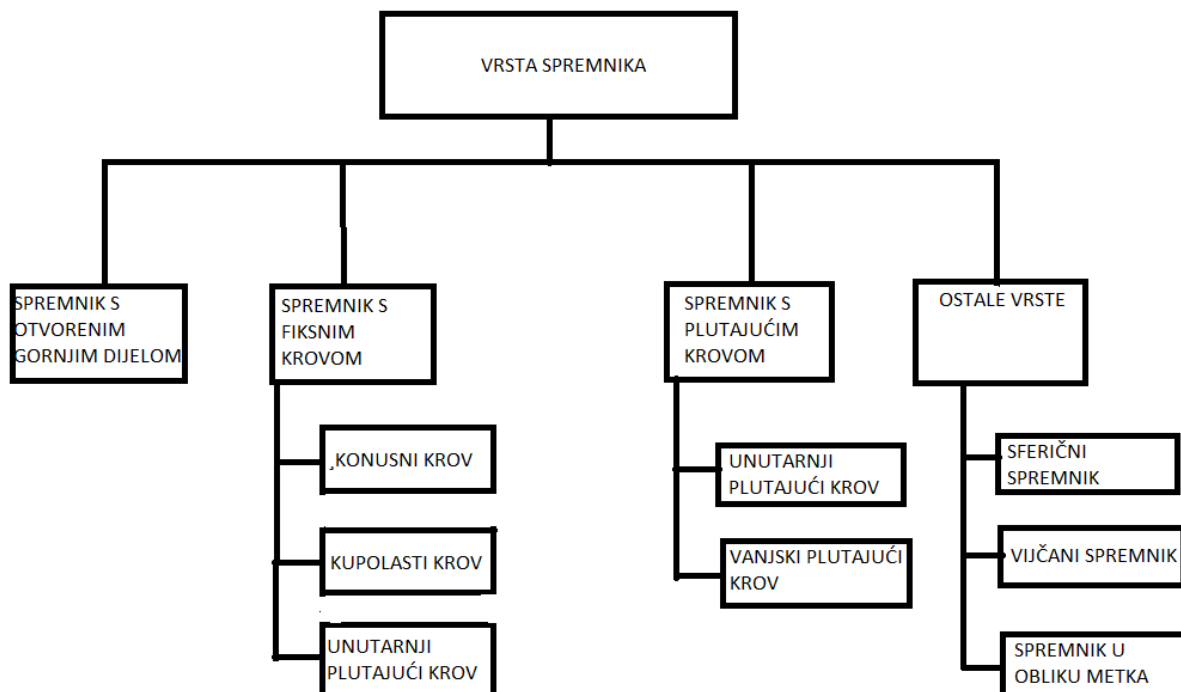
Spremnici su objekti koji služe za skladištenje fluida, a mogu biti pod atmosferskim tlakom ili pod nekim točno zadanim tlakom. Primarna funkcija im je skladištenje, međutim mogu služiti i kao spremnici za sedimentaciju tj. odvajanje faza na principu djelovanja gravitacije zbog različitih gustoća. Međutim, tema ovog rada će biti spremnici kojima je glavna funkcija skladištenje te se mogu primjenjivati u mnogim tipovima industrije, ali su najznačajniju primjenu pronašli u naftnoj industriji – na proizvodnim naftnim poljima, na naftnim terminalima, u rafinerijama nafte i petrokemijskoj industriji. Od iznimne važnosti je da ti spremnici budu izrađeni po određenim standardima i sigurnosnim kriterijima kako bi se smanjio broj kvarova te samim time i nesreća koje mogu imati posljedice pogubne po čovjeka i gotovo su uvijek štetne za okoliš.

Spremnici za skladištenje nafte i ukapljenog prirodnog plina su najčešće velikih dimenzija odnosno velikih volumena dok se za skladištenje stlačenog prirodnog plina, ukapljenog naftnog plina i sl. koriste spremnici manjih volumena. Bez obzira na volumen, spremnici se izrađuju prema važećim standardima. Spremnici velikih volumena izrađuju se na terenu i u fazama projektiranja i izgradnje sudjeluju stručnjaci različitih znanstvenih disciplina. Spremnici manjih volumena obično se izrađuju u tvornici i isporučuju naručitelju koji je odgovoran za njihovo postavljanje na željenoj lokaciji. Nakon izgradnje odnosno postavljanja, spremnici se ispituju, a nadležne inspekcije provjeravaju rizike za okoliš i ljude u slučaju havarije (npr. eventualnog požara, eksplozije ili propuštanja spremnika) i izdaju potvrdu o početku korištenja. Spremnici mogu biti nadzemni i podzemni ovisno o lokaciji na kojoj se planira gradnja. Što se tiče oblika, mogu biti vertikalni cilindrični, horizontalni cilindrični, sferični ili rjeđe pravokutni. Vertikalni cilindrični je najčešći oblik, a može biti u najviše varijanti izvedbe s tim da su neke od njih: bez krova, s fiksnim krovom, s vanjskim plutajućim krovom ili unutarnjim plutajućim krovom, s jednostrukom, dvostrukom i potpunom zaštitom itd.

Na samim počecima razvoja spremnika dolazilo je do čestih nesreća koje su bile izazvane tehničkim nedostacima spremnika te je bilo najbitnije svakoj nesreći pronaći uzrok i pokušati spriječiti daljnje ponavljanje istih pogrešaka. Sve je to rezultiralo povećanjem razine sigurnosti tijekom korištenja spremnika.

2. SPREMNICI ZA SKLADIŠTENJE NAFTE

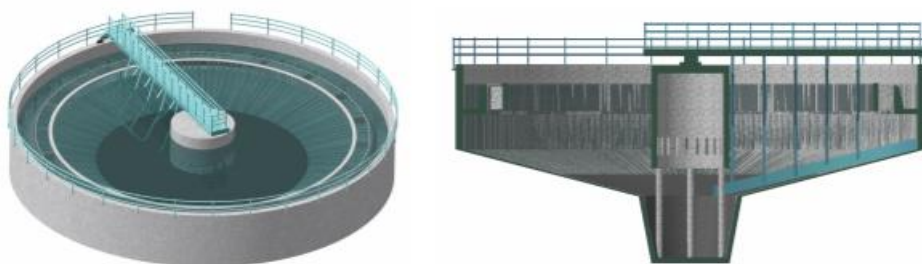
Postoje različiti tipovi spremnika koji se koriste ovisno o potrebama pojedinih projekata. Podjela spremnika prema vrsti izvedbe prikazana je na slici 2-1.



Slika 2-1. Vrste spremnika (Kuan, Siew Yeng, 2009)

2.1. Spremnici bez krova

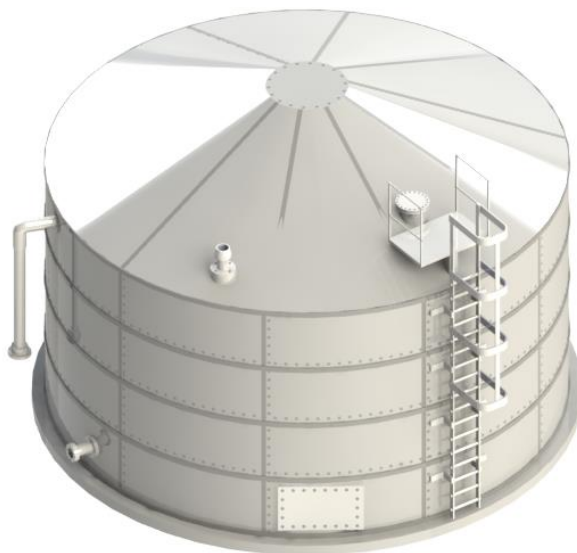
Sadržaj spremnika bez krova izložen je atmosferskim uvjetima pa se zato u spremnicima tog tipa ne mogu skladištiti naftni proizvodi. Namijenjen je prvenstveno za skladištenje rashladne i protupožarne vode, a uvelike se primjenjuju kod prikupljanja i pročišćavanja otpadnih voda (slika 2-2.). Konstrukcijski su ovi spremnici jednostavniji od spremnika koji moraju biti zaštićeni od djelovanja atmosferilija i koji moraju spriječiti isparavanje.



Slika 2-2. Spremnik bez krova (Kitanović, 2012)

2.2. Spremnici s fiksnim krovom

Danas se za skladištenje nafte na eksploatacijskom polju najčešće koriste vertikalni čelični spremnici s fiksnim krovom (slika 2-3.). Služe za skladištenje kapljevine čiji je tlak jednak atmosferskom, a temperatura jednaka ili gotovo jednaka temperaturi okoline. Kao i za gotovo sve elemente koji se koriste u naftnoj praksi, tako i za naftne spremnike, postoje standardi koji uvjetuju konstrukciju samog spremnika. Najčešće se primjenjuje API standard od engl. American Petroleum Institute. Usto, definirani su i uvjeti kojima spremnici moraju udovoljavati ukoliko se primjenjuju u područjima visoke seizmičke aktivnosti i visokih temperatura. Također, API standardima su definirani načini rukovanja kao i propisani redovni pregledi i održavanje spremnika.



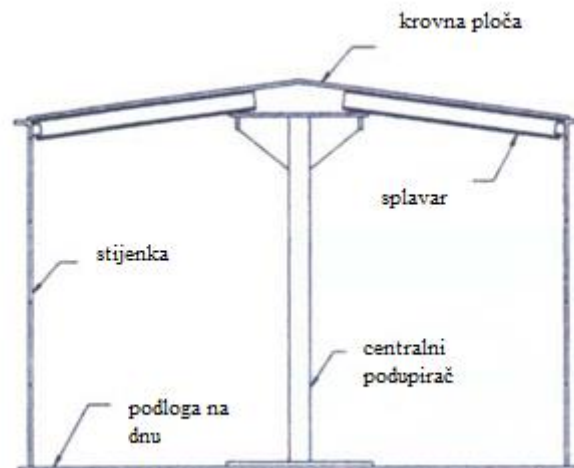
Slika 2-3. Spremnik s fiksnim krovom (Renz John Umadhay, 2019)

Na naftnom polju (sabirnoj ili otpremnoj stanici) najčešće se grade čelični spremnici volumena od 1000 m³ do 10 000 m³. U spremnicima se zapravo odvija zadnji stupanj separacije nafte i plina jer u njima vlada relativno nizak tlak. Nafta iz separatora ulazi u spremnik pod tlakom separatora (tlak zadnjeg stupnja separacije) zbog čega u nafti ostaje otopljena određena količina plina koji će se uslijed dodatnog smanjenja tlaka izdvajati u spremniku. Zbog izloženosti velike površine tekućine, u spremniku s fiksnim krovom se javljaju značajni gubici zbog isparavanja i povećava se mogućnost stvaranja eksplozivne atmosfere. Zbog toga su spremnici opremljeni dihajućim sustavom koji po potrebi ispušta višak oslobođenog plina ili u obratnom slučaju upušta u spremnik zrak. Ovisno o vrsti spremnika, izdvojeni plin se može usmjeriti kroz tlačne ventile direktno na otvor ili na baklju. Alternativno, može se instalirati kompresor u koji se usmjerava plin koji se tlači i šalje u plinski transportni sustav. U sustavu dišnog ventila je i vakuum ventil kako bi se spriječila pojava vakuuma uslijed disanja i pražnjenja spremnika.

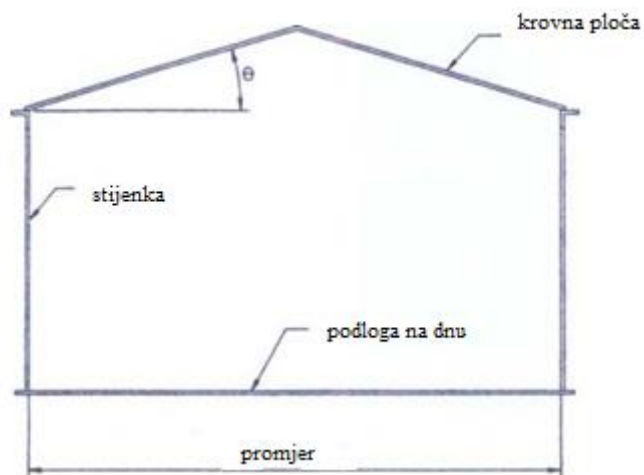
API 650 (Podpoglavlje 3.1.5.9.) klasificira krovove spremnika u dvije kategorije, podupiruće i samopodupiruće. Podupirući krovovi su konusni krovovi u kojima su krovne ploče podržavane pomoću rogova i nosača, sa ili bez stupova. Debljina ploča podupirućih krovova je obično 4,7625 mm (0,1875 in) uvećana za iznos debljine pokrovne ploče koji može biti ugrožen korozijom, a treba ga specificirati naručitelj spremnika. Ovisno o tipu krova i promjeru spremnika. Prema API 650, samopodupirući krov može biti konusnog ili kupolastog oblika ili oblika kišobrana koji su poduprti samo obodno (slike 2-4., 2-5. i 2-6.). Debljina stijenke pokrovne ploče je između 4,7625 i 12,7 mm (0,1875 i 0,5 in). Za ove tipove krova, ukupno opterećenje krova uključuje statička i dinamička opterećenja koja zajedno moraju biti manja od 2154,62 N/m² bar. Većina krovova je dizajnirana za dinamičko opterećenje od 1197 N/m², što je minimalno dopušteno opterećenje prema API standardu 650. To dinamičko opterećenje se odnosi na vodu ili snijeg koji se nakupljaju na krovu, te adekvatnog dizajna za mogućnost hodanja po krovu. Ukoliko se smatra da minimalna vrijednost nije dovoljna, potrebno opterećenje treba specificirati naručitelj spremnika.

Spremnici s fiksnim krovom bi trebali imati brzo otvarajući mjerni otvor na krovu, koji omogućuje operateru pristup spremniku zbog određivanja da li je u spremniku prisutna voda, mjerenja visine razdjelnice nafta/voda i za uzimanja uzoraka sirove nafte. Svi su opremljeni sustavom za gašenje požara.

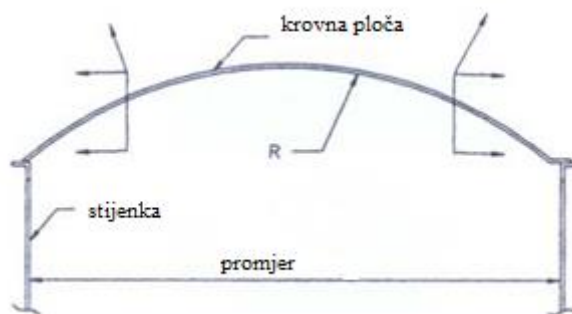
Spremnik se nalazi na betonskim temeljima, okružen betonskom sigurnosnom ogradom – tankvanom čiji je volumen barem jednak volumenu spremnika ili veći od njega za 10 do 15%.



Slika 2-4. Podupirući konusni krov (Sunil Pullarcot, 2015)



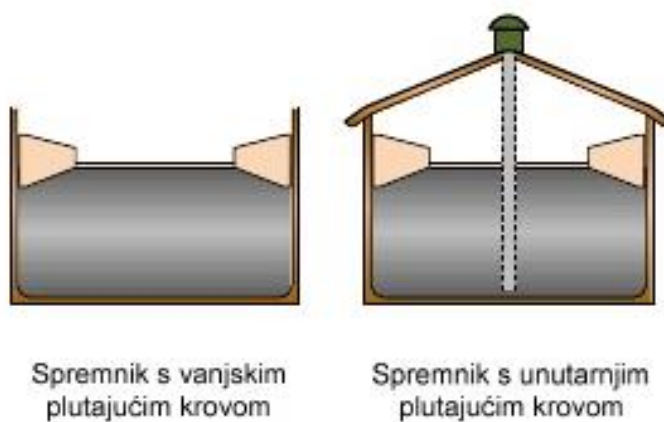
Slika 2-5. Samopodupirući konusni krov (Sunil Pullarcot, 2015)



Slika 2-6. Samopodupirući krov u obliku kupole (Sunil Pullarcot, 2015)

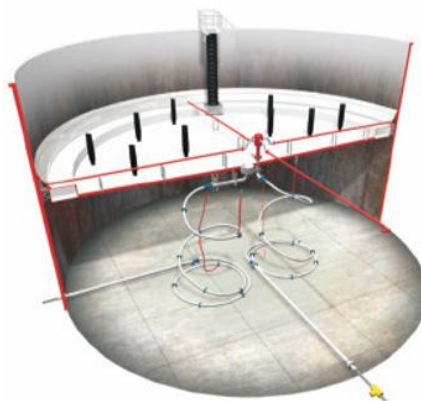
2.3. Spremnici s plutajućim krovom

Spremnici s plutajućim krovom su cilindrični čelični spremnici kod kojih krov pluta na vrhu fluida. Postoje dva tipa spremnika s plutajućim krovom, a to su spremnici s unutarnjim i vanjskim krovom (slika 2-7.). Kod vanjskog plutajućeg krova, plutajući krov pluta na površini fluida te je izložen atmosferi jer se iznad njega ne nalazi dodatni pokrov. U slučaju spremnika s unutarnjim plutajućim krovom, unutar spremnika s fiksnim krovom nalazi se unutarnji plutajući krov na površini fluida. Plutajući krov se definira kao kruto tijelo koje ima svrhu spriječiti ulazak vode i nečistoća u spremnik te spriječiti isparavanje kapljevine iz spremnika.



Slika 2-7. Spremnici s plutajućim krovom (Kuan, Siew Yeng, 2009)

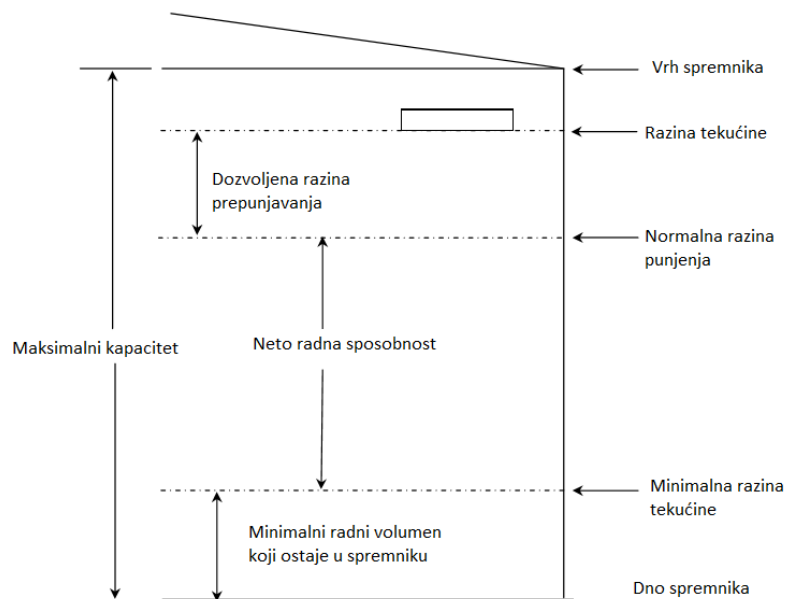
Razvijeni su nakon Prvog svjetskog rata sa svrhom da smanje isparavanje nafte iz tadašnjih spremnika s fiksnim krovom i na taj način smanje gubitak fluida. Smanjenje isparavanja ujedno znači i smanjenje zagađenje zraka. Do propuštanja para može doći samo iz područja brtve odnosno uz rub spremnika i to ovisno o kvaliteti odabira brtve. U samom početku gradnje ove vrste spremnika bilo je poteškoća s preciznošću izgradnje tih spremnika jer jako je važno da krov bude točno zadanih dimenzija kako bi odgovarao otvoru spremnika. Promjer krova je oko 0.4 metra manji od unutarnjeg promjera spremnika te se na taj način omogućava djelomično odstupanje dimenzija tijekom izgradnje spremnika velikog promjera. Taj međuprostor omogućava da se plutajući krov podiže i spušta bez dodirivanja zida spremnika. Kako bi se spriječilo isparavanje nafte u atmosferu i ulazak kišnice u spremnik kroz prazninu između krova i stijenke spremnika, praznina je zatvorena pomoću fleksibilne brtve. Krov može biti izveden u dvije verzije - s jednostrukom palubom (slika 2-8.) - koja se obično koristi za promjere spremnika do 65 m zbog fleksibilnosti palube i s dvostrukom palubom - koristi kod spremnika većeg promjera jer je krući i stabilniji.



Slika 2-8. Plutajući krov s jednostrukom palubom (Kuan, Siew Yeng, 2009)

U samom početku dizajniranja spremnika ključno je odrediti količinu fluida koja se planira skladištiti u spremnicima te sukladno tome odrediti zadovoljavajući kapacitet spremnika. Svaki spremnik je definiran svojim radnim volumenom odnosno količinom fluida koja će se akumulirati u spremniku. Dio fluida ostaje „zarobljen“ u spremniku iz razloga što postoji minimalna razina tekućine u spremniku koja se naziva neaktivni dio fluida u spremniku. Neto radna sposobnost je obujam raspoloživog fluida, pri normalnim uvjetima rada, koji se nalazi između minimalne razine tekućine i normalne razine tekućine. Maksimalni ili ukupni kapacitet je zbroj minimalne razine tekućine, neto radne sposobnosti

i dozvoljene razine prepunjavanja. Slika 2-9. prikazuje raspodjelu karakterističnih razina spremnika.



Slika 2-9. Karakteristične razine spremnika (Kuan, Siew Yeng, 2009)

Osnovni segmenti spremnika od kojih je spremnik sastavljen i koji se analiziraju na naprezanja su:

- Dno spremnika
- Stijenka spremnika
- Krov spremnika

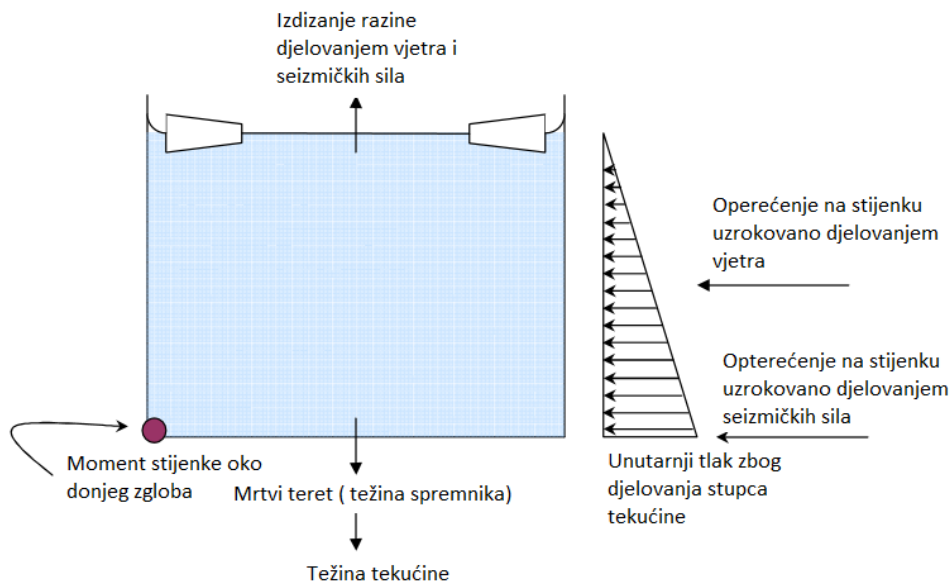
Podloga na kojoj će biti izgrađen spremnik je izrazito bitna jer mora moći podnijeti veliku težinu tereta. Slijeganje tla je čest problem u mekanim tlima i uzrokuje velike probleme kod ovakve vrste spremnika. Spremnici su velike i masivne konstrukcije, ali ujedno i vrlo fleksibilni zbog svoje dimenzije te će u slučaju slijeganja tla, doći do pomaka dna i stijenki u smjeru slijeganja podzemlja. Kapljevina u spremniku će dodatno pripomoći slijeganju tla ispod spremnika.

Stijenka spremnika je dio spremnika koji zahtjeva dublju analizu izmjeničnog djelovanja vanjskog i unutarnjeg opterećenja. Slika 2-10. prikazuje smjerove djelovanja opterećenja na spremnik.

Glavni čimbenik kod spremnika s plutajućim krovom koji određuje debljinu stijenke spremnika je unutarnje opterećenje zbog visine stupca fluida unutar spremnika. Unutarnji tlak na stijenku najveći je na dnu stijenke spremnika i smanjuje se linearno duž svoje visine.

Kod vanjskih opterećenja u obzir se uzimaju:

- Vanjski tlak
- Opterećenje uzrokovano djelovanjem vjetra
- Seizmička opterećenja
- Lokalizirano opterećenje koje nastaje djelovanjem mlaznica, priključaka, ljestvi....



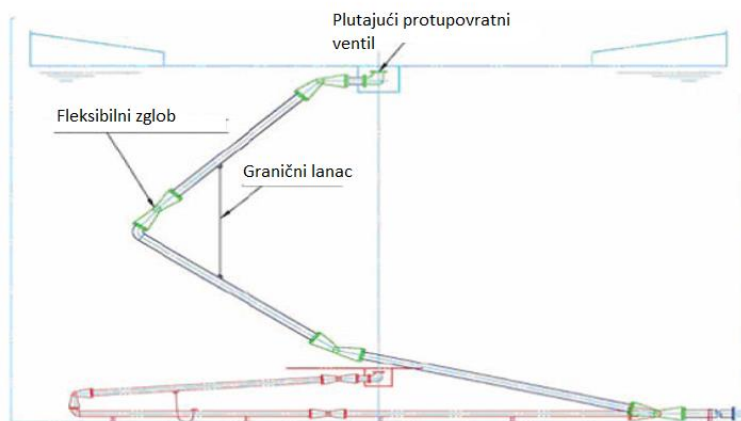
Slika 2-10. Smjerovi djelovanja opterećenja na spremnik (Kuan, Siew Yeng, 2009)

Za ispravan rad spremnika s plutajućim krovom, potrebno je mnogo dodatne opreme kako bi se osigurao pravilan rad krova, osigurala kvalitetna odvodnja s krova, omogućio pristup vrhu spremnika i sl.

Podupiruće noge služe kao potporni elementi za plutajući krov u slučaju kada krov dođe u najniži položaj. Na dnu spremnika instalirana je oprema za zagrijavanje spremnika, propeler miješalice i sl. te je iz tog razloga potrebno postaviti podupiruće noge koje zaustavljaju krov na najnižoj određenoj visini kako bi se osigurao potreban prostor za

smještaj spomenute opreme. Područje na dnu spremnika na koje noge prenose opterećenje mora biti ojačano zavarenom dvostrukom pločom kako ne bi došlo do potonuća noge.

Kod spremnika s plutajućim krovom, krovna odvodnja je ključna kako ne bi došlo do narušavanja rada spremnika i zagađenja uskladištene kapljevine. Krovna odvodnja mora spriječiti zadržavanje oborina na krovu. Plutajući krov je dizajniran u konusnom obliku tako da se sve oborine s njegove površine usmjeravaju prema sredini krova. Daljnji sustav cijevi unutar spremnika je fleksibilan te omogućava kretanje krova. Sustav cijevi kroz spremnik može biti izveden pomoću zglobnih ili fleksibilnih cijevi. Zglobni sustav cijevi sastavljen je od čeličnih cijevi koje su međusobno povezane zglobovima te na taj način odvede vodu s površine krova do dna spremnika. Slika 2-11. prikazuje dijelove sustava odvodnje s krova.



Slika 2-11. Zglobno povezane cijevi za odvodnju (Kuan, Siew Yeng, 2009)

Fleksibilni sustav cijevi (slika 2-12.) se postavlja tako da se odredi potrebna duljina da, dno spremnika i plutajući krov u svom maksimalno odmaknutom položaju, ostanu i dalje povezani. Izveden je na način da ne ometa rad opreme postavljene unutar spremnika. Sastoji se od gumenog crijeva ili čelične cijevi, međutim guma može s vremenom gubiti svoja svojstva u kontaktu s ugljikovodicima te se njena primjena izbjegava.

3. SPREMNICI ZA SKLADIŠTENJE PRIRODNOG PLINA

U nastavku rada obradit će se sljedeći spremnici:

- Spremnici za ukapljeni prirodni plin
- Spremnici stlačenog plina
- Spremnici za ukapljeni naftni plin

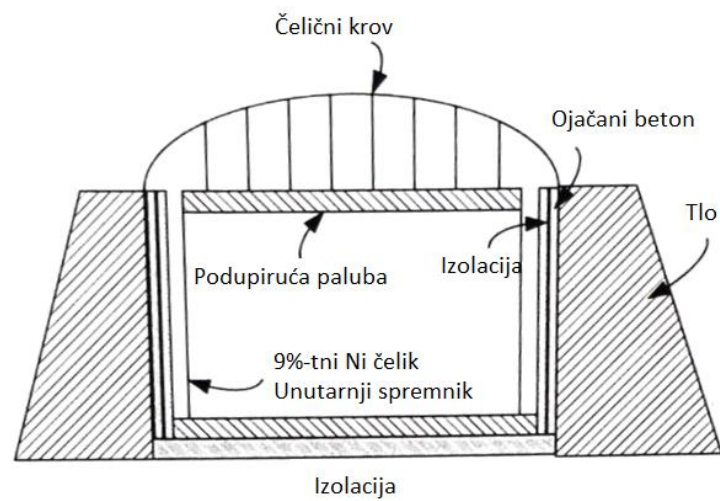
3.1. Spremnici ukapljenog prirodnog plina

Prirodni plin u plinovitom stanju zauzima 600 puta veći volumen nego u tekućem stanju. Zbog tog svojstva može se u ukapljenom stanju prevoziti brodovima na velike udaljenosti. Da bi prešao u tekuću fazu hladi se pri atmosferskom tlaku na temperaturu oko -162 °C.

Ukapljeni prirodni plin se nakon ukapljivanja, tijekom transporta i prije uplinjavanja skladišti na atmosferskom tlaku u posebno konstruiranim spremnicima. Brodski spremnici su manjeg volumena i specifične konstrukcije pa će ovdje biti opisani samo kopneni spremnici za skladištenje ukapljenog plina. Volumen takvih spremnika može biti i 200 000 m³. Bez obzira na volumen, svim spremnicima je unutarnja stijenka, koja je u neposrednom kontaktu s kriogenom tekućinom, izrađena od čelika s udjelom nikla od 9%. Izolacija je ključan dio spremnika jer sprječava prodor topline u spremnik. Prosječna dnevna količina otparenog plina je oko 0,05% ukupnog volumena spremnika.

Spremnici ukapljenog prirodnog plina mogu biti podzemni ili nadzemni. Podzemni su razvijeni od strane japanske kompanije Tokyo Gas Engineering početkom 1970-ih. Takvi spremnici također ima dvije razine zaštite; unutarnju stijenkku izrađenu od nehrđajućeg čelika koju s vanjske strane podupire izolacijski sloj poliuretanske pjene u čvrstom stanju. Vanjska stijenka spremnika je oslonjena na armirani betonski keson, koji spremniku daje čvrstoću i stabilnost. Krov se sastoji od kupolasto oblikovane čelične konstrukcije oslonjene na palubu koja je izolirana staklenom vunom. Ovaj tip spremnika gradi se u seizmički osjetljivim područjima pa ih se osim u Japanu može naći i na terminalima za uplinjavanje u Tajvanu i Južnoj Koreji. Osim otpornosti na potrese, prednost im je i da udaljenost između spremnika može biti manja nego kod nadzemnih, pa je za izgradnju više spremnika potrebna manja površina. Osim toga, budući se nalaze u tlu praktički nisu vidljivi s površine te samim time nisu meta terorističkih napada. Nedostatak im je dugotrajnija i skuplja izgradnja u odnosu

na nadzemne spremnike. Na slici 3-1. je prikazan podzemni spremnik ukapljenog prirodnog plina.



Slika 3-1. Podzemni spremnik ukapljenog prirodnog plina (Mokhatab et al., 2014)

Na slici 3-2. je prikazano podzemno skladište ukapljenog prirodnog plina u Japanu.



Slika 3-2. Podzemno skladište ukapljenog prirodnog plina u Japanu

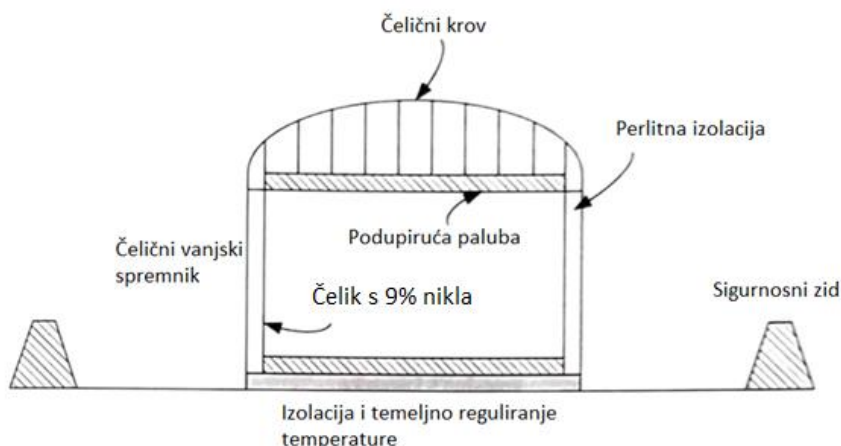
(https://www.shimz.co.jp/en/works/jp_ene_199308_tokyogassodegaura03.html)

Nadzemni spremnik ukapljenog prirodnog plina također ima dva stupnja zaštite s tim da je ukapljeni plin u kontaktu s primarnom stijenkom spremnika (prvi stupanj zaštite) koja osigurava zadržavanje ukapljenog prirodnog plina unutar spremnika. Sekundarni stupanj zaštite je izveden kao nasip, betonski zid ili „oklop“ uokolo spremnika. Spremnici su toplinski izolirani, kako bi se spriječilo prodiranje topline u spremnik te samim time prelaska plina u plinovito stanje. Toplinska izolacija nalazi se između primarne stijenke (9% nikal – čelik) i sekundarne stijenke (ugljični čelik).

Postoje tri vrste izvedbe nadzemnih spremnika:

- S jednostrukom zaštitom
- S dvostrukom zaštitom
- S potpunom zaštitom

Spremnik s jednostrukom zaštitom (slika 3-3) se sastoji od unutarnjeg samonosivog cilindričnog spremnika (primarna stijenka), izrađenog od čelika s 9% nikla, i vanjskog spremnika izrađenog od ugljičnog čelika (sekundarna stijenka). Između ta dva spremnika, u prstenastom prostoru, se nalazi izolacijski materijal perlit. Perlit je anorganski vulkanski pijesak. Jednostruki spremnik je okružen sigurnosnim zidom u obliku nasipa, koji će u slučaju propuštanja primarnog spremnika zadržati tekuću fazu, dok će plinovita slobodno isparavati. Ovo je najjeftinija izvedba nadzemnih spremnika za ukapljeni prirodni plin koja se dugi niz godina uspješno primjenjuje u praksi. Međutim, zbog veće mogućnosti oštećenja, premije osiguranja za takve spremnike su veće pa se često gube prednosti jeftinije izrade u odnosu na ostale tipove spremnika.



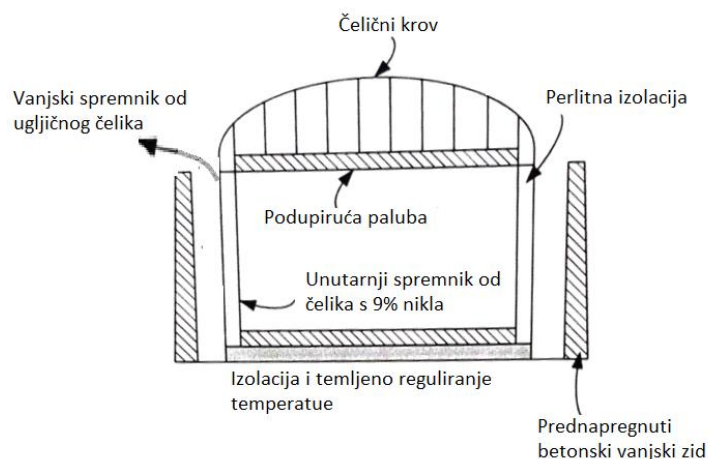
Slika 3-3. Nadzemni spremnik za ukapljeni prirodni plin s jednostrukom zaštitom (Mokhatab et al., 2014)

Na slici 3-4. je prikazan nadzemni spremnik ukapljenog prirodnog plina s jednostrukom zaštitom



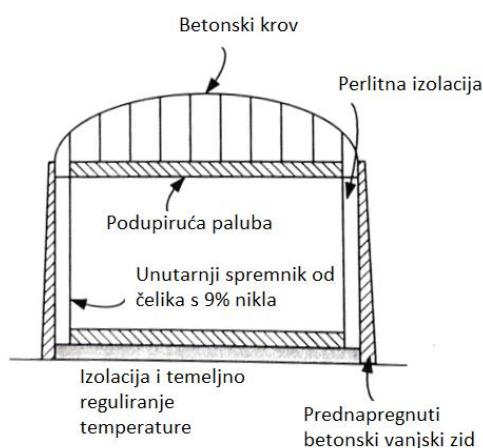
Slika 3-4. Nadzemni spremnik ukapljenog prirodnog plina s jednostrukom zaštitom
(<http://www.guangriben.com/chanpin/167.html>)

Spremnik s dvostrukom zaštitom (slika 3-5.) je sličan jednostrukom spremniku, s razlikom što se sekundarni sloj zaštite umjesto nasipa predstavlja betonski zid u visini oplošja spremnika. Taj sekundarni zid je također izrađen da može zadržati kriogeničnu tekućinu. Jedina je razlika u odnosu na spremnik s jednostrukom zaštitom ograničenje disperzije isparenog ukapljenog plina. Izgradnja zida povećava cijenu izrade spremnika, ali zbog izostanka nasipa, spremnik zahtijeva manji prostor.



Slika 3-5. Nadzemni spremnik za ukapljeni prirodni plin s dvostrukom zaštitom (Mokhatab et al., 2014)

Spremnik s potpunom zaštitom (slika 3-6.) je spremnik koji ima dva stupnja zaštite. Prvi predstavlja primarna stijenka od čelika s 9% nikla između, a drugi „oklop“ oko primarnog spremnika od prednapregnutog betona od kojeg je i krov spremnika. Većina novijih spremnika za ukapljeni prirodni plin je ovog tipa jer osigurava najveću sigurnost od propuštanja. U slučaju da dođe do propuštanja primarnog spremnika, sekundarni spremnik će zadržati i ukapljeni prirodni plin i ispareni plin. Ova vrsta spremnika je između 10 i 20% skuplja od spremnika s jednostrukom zaštitom, ali ovaj spremnik osigurava dodatnu zaštitu u slučaju vatre, eksplozije i atmosferskih utjecaja.



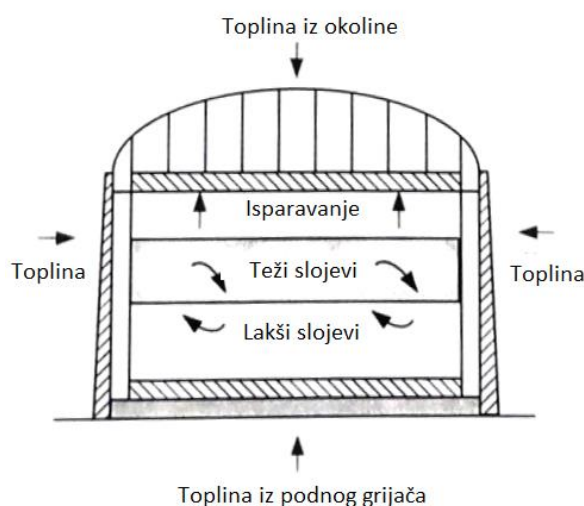
Slika 3-6. Nadzemni spremnik za ukapljeni prirodni plin s potpunom zaštitom (Mokhatab et al., 2014)

Tijekom iskrcaja plina u spremnik, plin se u spremnik može ulijevati s gornje ili donje strane spremnika. Ako se ulijeva u spremnik s gornje strane koristi se uređaj za raspršivanje preko prskajuće ploče kako bi se pospješilo miješanje dodanog ukapljenog prirodnog plina s ukapljenim prirodnim plinom u spremniku. Ako se spremnik puni s donje strane koristi se cijev koja usmjerava tekućinu prema dnu spremnika. U pravilu se ukapljeni prirodni plin manje gustoće dodaje u spremnik kroz ulaz na dnu, a onaj veće gustoće utiskuje se kroz opremu na vrhu spremnika.

Prije istovara ukapljenog plina s broda obično se obavlja hlađenje spremnika kako bi se tijekom istovara minimiziralo izdvajanje pare. Rezervoar se mora ohladiti ispod $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$, prije nego što se krene s upuštanjem ukapljenog plina u spremnik. Prekomjerno hlađenje može uzrokovati vakuum u spremniku te tako oštetiti strukturu spremnika, pa se temperatura i tlak tijekom hlađenja spremnika moraju kontrolirati.

U slučaju kada se u spremniku nalazi više vrsta ukapljenog prirodnog plina različite gustoće (slika 3-7.), treba izbjegavati punjenje spremnika do vrha jer u izvanrednim okolnostima može doći do zamjene slojeva u spremniku (engl. *rollover*).

Isto tako slučaju da je ukapljeni plin dulje vrijeme uskladišten u spremniku, uslijed otparavanja, povećava se gustoća gornjeg sloja pa i to može dovesti do zamjene slojeva. Rezultat toga je oslobađanje značajne količine plinovite faze i povećanje tlaka u spremniku što rezultira otvaranjem sigurnosnih ventila i gubljenjem sadržaja spremnika.



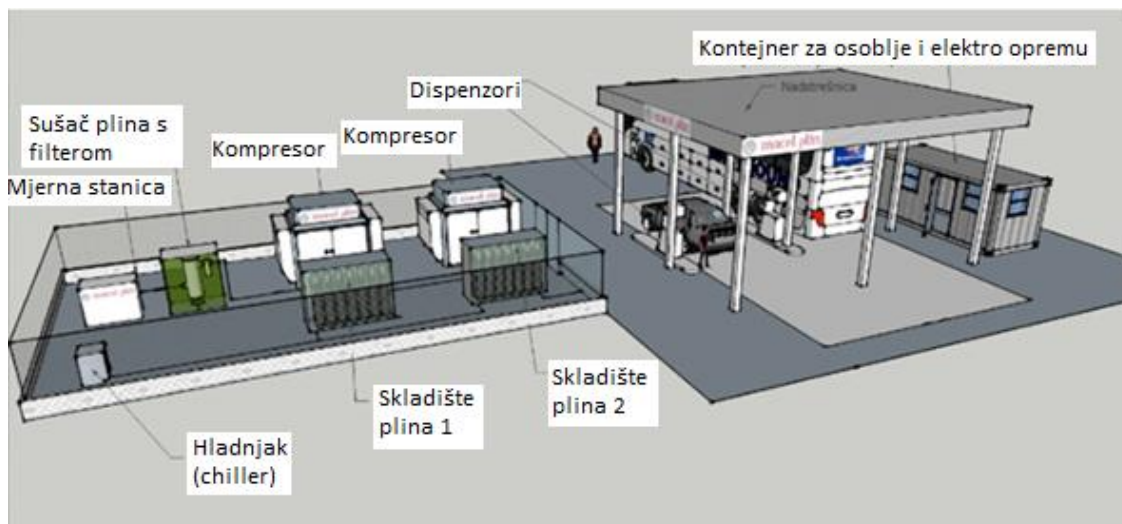
Slika 3-7. Raspodjela slojeva različite gustoće u spremniku prilikom punjenja (Mokhatab et al., 2014)

Mjere sprječavanja zamjene slojeva u spremniku su:

- Tekućine različite gustoće skladištiti u različitim spremnicima
- Za punjenje spremnika upotrijebiti mlaznice zbog boljeg miješanja
- Koristite cijevi za punjenje na odgovarajućoj razini u spremniku
- Prije istovara nadgledati gustoću i temperaturu ukapljenog prirodnog plina
- Kontrolirati temperaturu i tlak u spremniku
- Kontrolirati razinu otparenog plina u spremniku
- Povremeno uključiti niskotlačnu pumpu u spremniku zbog miješanja ukapljenog prirodnog plina

3.2. Spremnici stlačenog prirodnog plina

Korištenje stlačenog plina je među najbrže rastućim primjenama koja uključuju uporabu prirodnog plina. Prirodni plin se tlači na tlak od 20 do 25 MPa, zbog čega zauzima manje od 1% volumena koji zauzima pri standardnom atmosferskom tlaku. Postizanje tako visokih tlakova ostvaruje se višestupanjskom kompresijom. Stlačeni prirodni plin je pronašao široku primjenu kao gorivo kod vozila koja bilježe visoku dnevnu kilometražu, poput autobusa, kamiona za prikupljanje otpada i taksija. Sve je više benzinskih postaja u čijem se sklopu nalaze i punionice stlačenog prirodnog plina. Plin iz mreže dolazi do benzinske postaje gdje ga se tlači kompresorima na 20 do 25 MPa i zatim se skladišti u spremnicima stlačenog prirodnog plina. Na izlazu iz spremnika tlak se korigira ovisno o tipu vozila. Transportna vozila i autobusi koriste plin pri tlaku od 22 MPa, a osobna vozila pri tlaku od 20 MPa. Svaki tip vozila, koji koristi stlačeni prirodni plin kao pogonsko gorivo, je opremljen karakterističnom vrstom spremnika ovisno o kategoriji vozila. Spremnici se mogu razlikovati po volumenu, obliku, materijalu izrade, i sl. Spremnici za stlačeni prirodni plin koriste se za skladištenje pri prodaji prirodnog plina za motorna vozila na benzinskim postajama. Svaka benzinska postaja koja ima mogućnost prodaje stlačenog prirodnog plina opremljena je sustavom prikazanom na slici 3-8.



Slika 3-8. Sustav pripreme stlačenog prirodnog plina za prodaju na benzinskoj postaji

(<http://www.energetika-net.com/specijali/projekt-prica/buducnost-je-u-plinu-18440>)

Ekvivalent energije pohranjen u 1 m^3 stlačenog prirodnog plina odgovara onom u $0,42\text{ m}^3$ ukapljenog prirodnog plina, iz čega se može zaključiti da ukapljeni prirodni plin zauzima dvostruko manji volumen od plina u plinovitom stanju.

Spremnici moraju biti zaobljeni da se postigne jednoliko tlačenje plina i zato su spremnici cilindričnog i sferičnog oblika (slika 3-9.).



Slika 3-9. Cilindrični i sferični spremnik stlačenog prirodnog plina

(<https://cngcenter.com/cng-storage-cng-vessels-cng-spheres/>)

Spremnici stlačenog prirodnog plina izrađuju se od različitih materijala poput metala, staklenih vlakana i ugljika pa se prema vrsti materijala od kojih su izrađeni dijele na četiri skupine (tablica 3-1.).

Tablica 3-1. Karakteristike spremnika stlačenog prirodnog plina

Vrsta spremnika	Kapacitet (litara)	Duljina spremnika (mm)	Promjer spremnika (mm)	Masa spremnika (kg)	Najveći broj povezanih spremnika
Tip 1	50-120	-	-	-	-
Tip 2	140	1690	365	95,2	8 komada 1120 litara
Tip 3	170	1690	387	71,4	8 komada 1360 litara
Tip 4	155	1690	370	<70	8 komada 1240 litara

Spremnik Tip 1 u potpunosti je izrađen od čelika i primjenjuje se u preko 90% slučajeva. Ostvario je dobre rezultate zbog povoljnije cijene u odnosu na ostale izvedbe spremnika. Najveći nedostatak mu je velika masa, a prednost mu je velika otpornost na deformiranje. Ostale vrste spremnika su izrađene od kombinacije metala i kompozitnih materijala. Kompozitni materijali su materijali koji su građeni od čvrsto spojenih različitih materijala radi dobivanja novog materijala s određenim fizikalnim i kemijskim svojstvima.

Spremnik Tip 2 (slika 3-10.) je napravljen od čelika obloženog stakloplastikom tzv. fibre – glassom. Stakloplastika je složeni materijal od staklenih niti koje su međusobno povezane sintetskom smolom. Primjenjuje se zbog postizanja dobrih mehaničkih svojstava i otpornosti na kemijske utjecaje.



Slika 3-10. Spremnik Tip 2 (Popović, 2015)

Spremnik Tip 3 (slika 3-11.) izrađuje se od čelika obloženog ugljikovim vlaknima.



Slika 3-11. Spremnik Tip 3 (Popović, 2015)

Spremnik Tip 4 se izrađuje od aluminija koji je obložen ugljičnim vlaknima. Spremnik Tip 4 je u cijelosti izrađen od kompozitnih materijala što rezultira smanjenjem mase. Međutim, smanjenje mase često ima za posljedicu slabljenje samog spremnika i smanjenu otpornost na toplinska i mehanička opterećenja. Samim time spremnici postaju podložniji oštećenjima. Zbog visoke cijene izrade spremnici Tip 4 se rijetko primjenjuju.

Spremnici su opremljeni s glavnim ventilom, sigurnosnim ventilom, priključkom za punjenje spremnika, zapornim ventilom, čistačem plina, isparivačem, regulatorom tlaka, zaštitnim kućištem, plinskim ventilom, vodovima, vodovima za sredstvo za grijanje

3.3. Spremnici ukapljenog naftnog plina

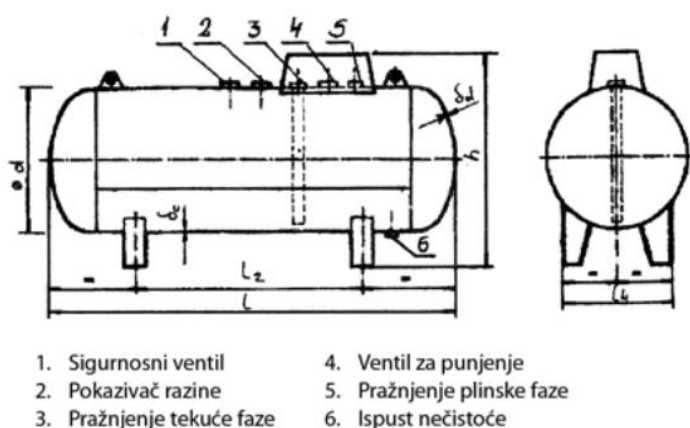
Ukapljeni naftni plin je mješavina ukapljenih ugljikovodika nastalih prilikom prerade nafte. Sastoji se uglavnom od propana i butana u različitim omjerima. Pri atmosferskom tlaku su to plinovi, a pri povećanju tlaka prelaze u tekuće stanje. Tlak pri kojem dolazi do prelaska u kapljevinu varira o sastavu smjese. Tlak pretvaranja butana u kapljevinu je 0,22 MPa, dok je tlak potreban za ukapljivanje propana 2,2 MPa. Spremnici ukapljenog naftnog plina pronašli su široku primjenu u industriji, ali i u područjima u kojima zbog udaljenosti od magistralnog plinovoda nije isplativo dovesti plinovod, a ima potrošača koji trebaju plin. Nameću se kao najkvalitetnije rješenje za manja naselja, individualne objekte, manji stambeni skup jedinica, itd. Najširu primjenu su pronašli spremnici do 5 m³ koji se koriste u kućanstvima za svakodnevne poslove. Dva osnovna oblika su valjkasti i kuglasti. Kuglasti se obično koriste za skladištenje većih količina u rafinerijama, petrokemijskoj industriji ili kod velikih potrošača ukapljenog naftnog plina. Kuglasti spremnici imaju mnogo prednosti u odnosu na valjkaste, a neki od njih su npr. bolji raspored tlaka, smanjen broj zapornih ventila, potrebno manje površine za smještanje nego za valjkasti spremnik istog kapaciteta. Plinske boce su najrašireniji primjer valjkastog spremnika za skladištenje i prijevoz ukapljenog naftnog plina. Na slici 3-12. su prikazane različite izvedbe spremnika ukapljenog naftnog plina.



Slika 3-12. Različite izvedbe spremnika ukapljenog naftnog plina

(Đuro Đaković- zavarene posude, 2020)

Dijelovi spremnika za ukapljeni naftni plin su prikazani na slici 3-13.



Slika 3-13. Dijelovi spremnika za ukapljeni naftni plin

(<https://metacomm-bih.com/mali-nadzemni-spremnik/>)

Postoje nadzemni i podzemni spremnici. Bez obzira na to, mogu biti u horizontalnoj i vertikalnoj izvedbi. Kao kod svih nadzemnih spremnika glavna prednost je jednostavnost ugradnje i jeftinija izvedba. Podzemni spremnici mogu biti potpuno ukopani ili postavljeni u komore, najmanje 60 cm ispod terena. Poluukopani ili djelomice ukopani se smatraju nadzemnim spremnicima. Iznad podzemnog spremnika se ne smije izgrađivati bilo kakva građevina. Nadzemni spremnici ukapljenog naftnog plina su pod utjecajem atmosferilija te su česti problemi s korozijom i slijeganjem terena. Neka od mogućih oštećenja su prikazana na slici 3-14. Podzemni spremnici, osim estetske prednosti, imaju svojstvo konstantnog isparavanja bez obzira na utjecaj temperature okoline.



Slika 3-14. Oštećenja spremnika za ukapljeni naftni plin (<http://e-glasnik.tuv-croatia.hr/index.php/tehnicka-inspekcija/item/205-unp-spremnici>)

4. ZAKLJUČAK

Spremnici za skladištenje ugljikovodika su ključni dio lanca proizvodnje, prerade i prodaje krajnjem potrošaču. U trenutku kada ugljikovodici izađu iz bušotine u površinski sustav cjevovoda, glavno pitanje je gdje ih skladištiti. Rafinerijskim i separacijskim procesima dobiva se mnogo različitih produkata, koji su različiti po kemijskom sastavu i iziskuju različite uvjete (tlak, temperatura) i vrstu spremnika za skladištenje. Samim time je razvoj spremnika za skladištenje ugljikovodika, dok se nije postigla današnja kvaliteta i razina sigurnosti skladištenja ugljikovodika, bio dugotrajan i zahtjevan. Naftna industrija je jedna od grana industrije koja je zaslužna za mnogobrojna tehnološka postignuća u tom području. Jedno od njih su svakako spremnici za skladištenje ugljikovodika. Kao što i sam naziv kaže, prvotna namjena im je skladištenje ugljikovodika i zbog toga su razvijeni. Spremnici tolikih kapaciteta do tada nisu bili poznati svijetu. Iz tog razloga, sam proces razvoja tehnologije spremnika je nailazio na brojne poteškoće i nedoumice jer kada se nešto prvi put projektira, ne mogu se pretpostaviti svi utjecaji i faktori koji mogu utjecati na rad spremnika. Učenje iz pogrešaka i akcidenata, dovelo je spremnike na visoku razinu sigurnosti. Naftni i plinski spremnici kakve danas svijet poznaje su prvenstveno ekološki sigurni. Vrlo su rijetki slučajevi da dođe do propuštanja spremnika, a da je za to kriv sustav upravljanja spremnicima, već je to uglavnom ljudski faktor. Jedna od najvažnijih stvari o kojoj treba voditi računa je pravilno i redovito održavanje i servisiranje spremnika. Razvoj spremnika je dostigao visoku razinu te će se njihov daljnji razvoj u budućnosti temeljiti uglavnom na poboljšavanju automatiziranog sustava upravljanja.

5. LITERATURA

1. **Kuan, Siew Yeng:** Design, Construction and Operation of the Floating Roof Tank, University of Southern Queensland, 2009
2. **Mario Arić:** Ukapljeni naftni plin, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Odjel Sigurnosti i zaštite, 2017
3. **Marko Popović:** Skladištenje i transport prirodnog plina i naftnih plinova u spremnicima, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 2015
4. **Roar Gronhaug and Marielle Christiansen:** Supply Chain Optimization for the Liquefied Natural Gas Business, Norwegian University of Science and Technology, 2009
5. **Saeid Mokhatab, Ivan Y. Mak, Jaleel V. Valappil, David A. Wood:** Handbook of liquefied natural gas, Gulf Professional Publishing, 2014
6. **Sunil Pullarcot:** Above Ground Storage Tanks, CRC Press, 2015

Web izvori

7. **Web link:** <http://e-glasnik.tuv-croatia.hr/index.php/tehnicka-inspekcija/item/205-unp-spremnici>
8. **Web link:** <http://www.energetika-net.com/specijali/projekt-prica/buducnost-je-u-plinu-18440>

Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno temeljem znanja stečenog na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenim referencama.

Patrik Čorak

Patrik Čorak



KLASA: 402-04/20-01/112
URBROJ: 251-70-03-20-3
U Zagrebu, 01.09.2020.

Patrik Čorak, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/112, UR.BROJ: 251-70-12-20-1 od 28.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

SPREMNICI ZA SKLADIŠTENJE UGLJIKOVODIKA

Za voditeljicu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditeljica

(potpis)

Prof. dr. sc. Katarina Simon

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za završne i diplomske ispite

(potpis)

Doc. dr. sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)