

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**POSLIJEDIPLOMSKI STUDIJ
"TEHNOLOŠKI SUSTAVI U POMORSKOM PROMETU"**

Bernard Luka BARAKA

**OPTIMIRANJE RASHLADNOG SUSTAVA NA
TERMINALU ZA SKLADIŠTENJE I MANIPULACIJU
UKAPLJENOG NAFTNOG PLINA**

MAGISTARSKI RAD

Zadar, rujan 2007.

SAŽETAK

S obzirom na opće prisutni razvoj društva s aspekta načina života, odnosno trenda potrošnje energije i evolucije svijesti (kako pojedinca, tako i cijele zajednice), energetika je privredna i znanstvena grana koja se progresivno razvija i sve više participira u svakodnevnom životu. Cilj je razvijanje svijesti društva o energiji na način da se optimizira potrošnja energenata i zaštititi okoliš. U skladu s tim, ukapljeni naftni plin (u daljnjem tekstu UNP) zauzima sve veće mjesto kako na industrijskom tržištu, tako i svakodnevnoj upotrebi ljudi (kućanstva, automobili....) radi toga, jer je energent koji ima dobru ogrijevnu moć, lako je primjenjiv u svakodnevnom životu, nije skup i s aspekta ekologije (ukoliko se njime rukuje kako je propisano) je prihvatljiv.

Sukladno povećanoj potrošnji, prisutna je i povećana potreba za skladištenjem i manipulacijom UNP-a. Zbog toga je sve tehnološke procese u sklopu skladištenja i manipulacije UNP-a potrebno optimizirati na način da ukupni troškovi budu što manji. Kako investicijski, tako i proizvodni troškovi su posljedica odabranog načina skladištenja, te radnih parametara koji utječu na proces skladištenja.

Ukoliko se definiraju svi parametri koji djeluju u procesu, te se analizira na koji način definirani parametri utječu na promatni proces, moguće je sustav za skladištenje i manipulaciju UNP-a vezati u jednu funkcionalnu cjelinu s parametrima koji utječu na njega. Kada se to uradi, tada je moguće optimizirati promatrani sustav. Na taj način se mogu sniziti ukupni troškovi skladištenja i manipulacije UNP-a, što u konačnici za posljedicu ima nižu cijenu energenta za krajnjeg potrošača (a samim tim i veći broj potrošača kojima je taj energent dostupan) i manji trošak energije potrebne za realizaciju procesa za skladištenje i manipulaciju UNP-a. Pristup razmatranju problema optimizacije terminala za skladištenje i manipulaciju UNP-a osim nižih troškova rezultira i kvalitetnijim odnosom pri razmatranju ekološke strane procesa, jer je tada i potrošnja energije potrebne za realizaciju istoga niža.

Ovakav način rješavanja problema, ima sve širu upotrebu, jer je produktivan i za investitore, i za potrošače, a najviše za čovjeka kao pojedinca i okoliš. Također, na ovakav način razmišljanja se razvija svijest o sebi i razvijanju svoje budućnosti. Iako (generalno gledajući), mi nismo društvo koje je na tom stupnju razvoja, odnosno svijesti, ovaj rad može biti jedan od koraka na tom putu.

Magistarski rad se sastoji od 6 poglavlja koja govore o terminalu za ukapljeni naftni plin. Da bi se jednostavnije shvatila problematika skladištenja, manipulacije UNP-a objašnjena su termodinamska svojstva UNP-a, prikazani su tehnološki procesi manipulacije i skladištenja UNP-a, prikazane su vrste terminala za skladištenje UNP-a s pripadajućom opremom, načini skladištenja UNP-a, razni rashladni procesi, te matematički modeli odabira optimalne izolacije, optimalnog kuglastog spremnika i cjevovoda, te parametri koji utječu na realizaciju rashladnog učina. Na kraju magistarskog rada prikazani su zaključci istraživanja. Na taj način je provedeno sustavno i kontinuirano istraživanje predmetne problematike.

Prilikom izrade ovog magistarskog rada jako dugo sam lutao i tražio se, puno sam se mučio, ali sam bio uporan. Stoga ovu radnju posvećujem svojoj baki Nedjeljki Džeparovski, koja mi je poklonila svoju nesebičnu ljubav i koja mi je kroz odgoj usadila upornost. Također se zahvaljujem svima koji su mi pomogli (neki svojim pomaganjem, a neki svojim odmažanjem) prilikom izrade ovog magistarskog rada.

KLJUČNE RIJEČI: UNP, parametri, terminal, kompresor, isparivač, regulacija, cjevovod, trošak, skladištenje, manipulacija, rashladni procesi, temperatura, tlak, stanje okoline, izolacija, električna energija, kuglasti spremnik, ukapljivanje

SUMMARY

In consideration of general presence of social development from the aspect of living and energy spending trend and conscience evolution (as an individual, also as all community), energetics is public economy and scientific branch which development is progressive and it participate more and more in everyday living. The final cause (intent) is development of social conscience about energy on the way of optimizing spending of energy generating products and environment protection. According that LPG holds big space on industrial market and in everyday living (households, cars) because that is energy generating product with good burning power, it is easy to use in everyday living, it is not expensive and from the aspect of ecology (if handled properly) it is acceptable. Because the needs increasing necessities for storing and handling LPG are also bigger. That is why all technical processes, which regards storing and handling LPG has to be optimized by reducing entire expenses. Investment and production expense are result of storing way choice and working parameters which has influence on the process of storing. If all parameters, which act in the process, are defined and if it is analyzed on which way defined parameters influence on observed system, it is possible to connect the system for storing and handling LPG in one functional entirety with parameters that has influence on it. When that is done it is possible to optimize the observed system. In that way the entire expense of storing and handling LPG would be reduced which finally results with lower price of energy generating product (EGP) for consumer (and bigger number of consumers who find that EGP attainable) and lower expense of energy needed for realization of handling and storing LPG process. In consideration of the optimization of the storing terminal and handling of the LPG beside lower expenses also results with higher quality relation considering ecological part of the process because the expense of energy needed for realization is lower. This way of solving the problem has wider usage because it is productive for the investors, consumers, environment, and mostly for human as an individual. Also, thinking this way we are developing self conscience about our future. Even if (generally) we are not society on that level of conscience development, this work can be one step on that way.

Master Work contains 6 chapters that converse about LPG terminal. To understand the problem of storing and handling LPG more simple, thermodynamic attributes of LPG are explained, technological process of handling and storing LPG are presented, the sorts for storing terminal for storing LPG with belonging equipment, the way to store LPG, different cooling processes and mathematical model of choosing optimal isolation, optimal spherical vessel and parameters that has influence on realization of cooling effect.

Conclusions of examination are on the very end of my Master Work.

On my way of creating this project I was lost for a long time and I was looking for my way out. It was very difficult but I was persistent. That is why my Master Work I am devoting to my Grandmother Nedjeljka Džeparovski who gave me all her unselfish love and made me learn the importance of persistence. Also I thank to all the people who helped me (some of them by helping me, and some of them unhelping me) during creating this Master Work.

KEY WORDS: LPG, LNG, parameter, terminal, compressor, evaporator, regulation, pipe, costs, storing, manipulation, cooling process, temperature, pressure, environment condition, isolation, electrical energy, spherical vessel, liquefaction

1.	UVOD	1
1.1.	Problem istraživanja	1
1.2.	Predmet istraživanja	2
1.3.	Cilj istraživanja	2
1.4.	Korištene metode	3
1.5.	Struktura rada	3
2.	TERMODINAMSKA ANALIZA UNP-a.....	4
2.1.	Ugljikovodici koji čine smjesu UNP-a.....	4
2.1.1.	Kemijska struktura ugljikovodika koji čine smjesu UNP-a	4
2.1.2.	Zasićeni i nezasićeni ugljikovodici	5
2.1.2.1.	Zasićeni ugljikovodici	5
2.1.2.2.	Nezasićeni ugljikovodici	5
2.1.3.	Kemijska svojstva ugljikovodika koji čine smjesu UNP-a	6
2.1.4.	Fizikalna svojstva plinovitih ugljikovodika koji čine smjesu UNP-a....	6
2.1.5.	Kritična temperatura i tlak	8
2.1.6.	Tlak zasićenih para	8
2.1.7.	Entalpija	8
2.1.8.	Agregatna stanja – krutine, tekućine i plinovi	9
2.1.9.	Gustoća tekuće i parne faze	9
2.1.9.1.	Gustoća tekuće faze	9
2.1.9.2.	Gustoća parne faze.....	10
2.1.10.	Formiranje hidrata.....	10
2.1.11.	Podmazivanje.....	11
2.2.	UNP kao plinska mješavina.....	11
2.2.1.	Neki općeniti pojmovi vezani uz plinsku mješavinu	12
2.2.2.	Tlak zasićenja UNP-a.....	14
2.2.3.	Gustoća, relativna gustoća i ovisnost volumena o temperaturi	14
2.2.4.	Kemijska svojstva UNP-a	14
2.2.5.	Fizikalna svojstva UNP-a.....	15
2.3.	Zapaljivost UNP-a.....	16
2.3.1.	BLEVE.....	16
2.3.2.	Zapaljiva smjesa	17
2.3.2.1.	Temperatura stvaranja zapaljive smjese	17
2.3.2.2.	Temperatura samozapaljenja.....	17
2.3.2.3.	Energija paljenja	18
2.3.2.4.	Zapaljivost unutar oblaka parne faze	18
2.3.2.5.	Sprečavanje zapaljivosti pomoću inertnog plina	18
2.4.	Štetnost UNP-a na okoliš	20
3.	TEHNOLOŠKI PROCESI PRI MANIPULACIJI UNP-a	22
4.	OPIS TERMINALA ZA SKLADIŠTENJE UNP	26
4.1.1.	Skladištenje u nadzemnim sferama ili cilindrima.....	26
4.1.2.	Skladištenje UNP-a u nasutim cilindričnim spremnicima	28
4.1.3.	Podzemna skladišta.....	28
4.2.	Polupothlađeni spremnici	30
4.3.	Potpuno pothlađeni spremnici (pri atmosferskom tlaku)	31
4.3.1.	Spremnici s jednostrukim plaštom.....	31
4.3.2.	Spremnici s dvostrukim plaštem (za skladištenje UNP-a i UPP-a).....	32
4.3.3.	Dvostruki skladišni spremnik s dvostrukim oplošjem	33
4.3.4.	Podzemni spremnici za skladištenje UPP-a	34
4.4.	Konstrukcija i konstrukcijski materijali	35

4.5.	Oprema terminala za skladištenje ukapljenog plina	36
4.5.1.	Sustavi za prekrcaj ukapljenog plina	36
4.5.1.1.	Fleksibilne (savitljive) cijevi	37
4.5.2.	Prekrcajne ruke	38
4.5.3.	Povrat pare	41
4.5.4.	Izolirajuće prirubnice	43
4.6.	Pomoćna oprema	43
4.6.1.	Prekotlačni ventili	43
4.6.2.	Cjevovodi i ventili	45
4.6.2.1.	Norme za projektiranje cjevovoda	45
4.6.2.2.	Dimenzioniranje cjevovoda	45
4.6.2.3.	Polaganje usisnih vodova	46
4.6.2.4.	Hidraulički i pneumatski udari	46
4.6.3.	Pumpe tereta	47
4.6.3.1.	Vertikalne uronjive pumpe	48
4.6.3.2.	Uronjene pumpe	49
4.6.3.3.	Karakteristike pumpi	50
4.6.4.	Kompresori	50
4.6.4.1.	Stapni kompresori	50
4.6.4.2.	Vijčani kompresori	52
4.6.5.	Zaštita od požara	53
4.6.5.1.	Voda	53
4.6.5.2.	Pjena	54
4.6.5.3.	Suhi prah	54
4.6.5.4.	CO ₂ (Ugljični dioksid)	55
5.	RASHLADNI PROCES I NAČINI NJEGOVE OPTIMIZACIJE	56
5.1.	Termodinamičke osnove procesa hlađenja	56
5.1.1.	Proces prirodnog hlađenja	57
5.1.2.	Proces tehničkog hlađenja	57
5.1.3.	Realni proces hlađenja	59
5.2.	Parni procesi hlađenja	60
5.2.1.	Carnotov proces	61
5.2.2.	Prigušivanje kondenzata	62
5.2.3.	Pothlađivanje kondenzata	63
5.2.4.	Suho usisavanje	64
5.3.	Višestupanjska kompresija	65
5.3.1.	Kriterij za prijelaz na višekratnu kompresiju	65
5.3.1.1.	Promjena temperature hlađenja	65
5.3.1.2.	Promjena temperature okoline	66
5.3.1.3.	Kombinirani porast temperature okoline i pad temperature hlađenja	67
5.3.2.	Višestupanjska kompresija i prigušivanje s međuhladnjakom	68
5.3.3.	Višestupanjska kompresija i prigušivanje s međuhladnjakom – miješalištem	70
5.3.3.1.	A – Dvostupanjska kompresija i jednostupanjsko prigušivanje	70
5.3.3.2.	B – Dvostupanjska kompresija i dvostupanjsko prigušivanje s međuhladnjakom - miješalištem	72
5.3.3.3.	C – Dvostupanjska kompresija s jednostupanjskim prigušivanjem duboko pothlađenog kondenzata	74
5.3.3.4.	D – Dvostupanjska kompresija s jednostupanjskim prigušivanjem umjereno pothlađenog kondenzata	76

5.4.	Rashladni učin kompresora	78
5.4.1.	Dimenzioniranje kompresora	79
5.4.2.	Uravnoteženje kompresora i isparivača	79
5.4.3.	Temperatura hlađenja regulirana termostatom	81
5.4.4.	Rad i snaga kompresora	82
5.4.4.1.	Promjena snage kompresora u ovisnosti o temperaturi isparivanja	84
5.4.4.2.	Promjena snage kompresora u ovisnosti o temperaturi kondenzacije	85
5.5.	Upravljanje rashladnim sustavom	85
5.5.1.	Intermitirajući pogon	86
5.5.2.	Promjena učina isparivača	87
5.5.3.	Promjena učina kompresora	88
5.5.3.1.	Sustavi s više kompresora	89
5.5.4.	Elementi regulacijske i sigurnosne armature	89
5.5.4.1.	Termostat	89
5.5.4.2.	Presostat	90
5.5.4.2.1.	Presostat visokog tlaka (tlaka kondenzacije) – PVT	90
5.5.4.2.2.	Presostat niskog tlaka (tlaka isparivanja) - PNT	91
5.5.4.2.3.	Diferencijalni presostat – DP	91
5.5.4.2.4.	Presostat s neutralnom zonom - PNZ	92
5.6.	Spajanje kompresora	93
5.6.1.	Spajanje kompresora na usisni vod	93
5.6.2.	Polaganje tlačnih vodova	94
5.6.3.	Odvajači ulja za podmazivanje	95
5.6.3.1.	Povezivanje kompresora i odvajača ulja	96
5.7.	Proračun rashladnog učina sustava UNP-a	97
5.7.1.	Proračun količine rashladnog djelovanja ovisno o tipu i parametrima pogonskog postojenja	97
5.7.1.1.	Jednostupanjski proces ukapljivanja propana	97
5.7.1.2.	Dvostupanjski proces ukapljivanja propana	100
5.7.2.	Proračun rashladnog učina	103
5.7.3.	Cjevovod	104
5.7.3.1.	Ovisnost prijelaza topline kroz stijenke cjevovoda o promjeru cjevovoda i debljini stijenke cjevovoda	107
5.7.3.2.	Optimalna debljina izolacije cjevovoda s obzirom na trošak izolacije i trošak električne energije potrebne za realizaciju rashladnog učina	107
5.7.3.3.	Ovisnost prijelaza topline kroz stijenke cjevovoda o brzini strujanja (vjetra) s vanjske strane cjevovoda, okomito na stijenku uz konstantnu debljinu i vrstu izolacije	110
5.7.3.4.	Odabir optimalnog cjevovoda s aspekta troškova ugradnje čelika, izolacije, te električne energije potrebne za hlađenje i zarade skladištenjem	111
5.7.3.5.	Ovisnost prolaza topline kroz stijenke cjevovoda o duljini cjevovoda	114
5.7.3.6.	Ovisnost prolaza topline kroz stijenke cjevovoda o razlici između temperature okoliša i temperature u cjevovodu	114
5.7.4.	Kuglasti spremnik	115
5.7.4.1.	Optimalna debljina izolacije kuglastog spremnika s obzirom na trošak izolacije i trošak električne energije potrebne za realizaciju rashladnog učina	118

5.7.4.2.	Odabir optimalnog kuglastog spremnika s aspekta troškova ugradnje čelika, izolacije, te električne energije potrebne za hlađenje i zarade skladištenjem	121
5.7.4.3.	Odabir optimalnog cjevovoda i optimalnog kuglastog spremnika s aspekta troškova ugradnje čelika, izolacije, te električne energije potrebne za hlađenje i zarade skladištenjem	124
5.7.4.4.	Ovisnost prijelaza topline kroz stijenke sfernog spremnika o razlici između temperature okoliša i temperature u kuglastom spremniku ...	124
6.	ZAKLJUČAK	125
	POPIS SLIKA	127
	POPIS TABLICA	131
	POPIS KORIŠTENIH SKRAĆENICA	133
	PRILOG - REZULTATI PRORAČUNA	138
	LITERATURA	172