

UDK 622.691.6
UDC 622.691.6

Stručni rad
Professional paper

Jezik/Language: Hrvatski/Croatian

BRODOVI ZA UKAPLJENI PRIRODNI PLIN

LIQUIFIED NATURAL GAS (LNG) CARRIERS

DANIEL POSAVEC, KATARINA SIMON, MATIJA MALNAR

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Ključne riječi: ukapljeni prirodni plin (UPP), prijevoz, brod za ukapljene prirodne plinove

Key words: liquefied natural gas (LNG), transportation, LNG carrier

Sažetak

Moderni brodovi za prijevoz ukapljenog prirodnog plina su brodovi s dvostrukim dnom čija se klasifikacija vrši prema tipu spremnika. Spremnici su posebno projektirani budući da se u njima skladišti prirodni plin ohlađen na $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, što je temperatura vrelišta metana. Bitna karakteristika ukapljenog prirodnog plina je visoka zapaljivost, o čemu treba voditi računa pri projektiranju i rukovanju brodom. Razvoj brodova za ukapljeni prirodni plin započeo je sredinom dvadesetog stoljeća. Veličina skladišnog prostora tih brodova stupnjevito je rasla do današnje maksimalne veličine od oko 260000 m^3 . Svjetska flota brodova za ukapljeni prirodni plin danas broji više od 300 plovila.

Abstract

Modern liquefied natural gas carriers are double-bottom ships classified according to the type of LNG tank. The tanks are specially designed to store natural gas cooled to $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, the boiling point of methane. Since LNG is highly flammable, special care must be taken when designing and operating the ship. The development of LNG carriers has begun in the middle of the twentieth century. LNG carrier storage space has gradually grown to the current maximum of 260000 m^3 . There are more than 300 LNG carriers currently in operation.

Uvod

Ideja o prijevozu ukapljenog prirodnog plina brodovima javlja se već 1915. godine, kada je Godfrey L. Cabot u Bostonu patentirao teglenice posebno konstruirane za prijevoz ukapljenog plina rijekama, ali ta ideja nije provedena u djelo (Tusiani, Shearer, 2007). Prvi brod za ukapljeni prirodni plin bio je *Methane Pioneer*. Imao je skladišni prostor od 5000 m^3 , a nastao je pretvorbom američkog teretnog broda *Normati*, 1958. godine (Tusiani, Shearer, 2007). Teretni se prostor sastojao od pet aluminijskih samonosivih prizmatskih spremnika, koji su bili toplinski izolirani drvenim pločama. Postojala je i sekundarna zaštitna pregrada za slučaj istjecanja ukapljenog plina. *Methane Pioneer* je započeo svoju prvu plovidbu u siječnju 1959. godine. U svom je radnom vijeku obavio trideset plovidbi, a 1972. godine povučen je iz uporabe i pretvoren u spremnik za ukapljeni prirodni plin (www.shipbuildinghistory.com).

Methane Princess i *Methane Progress* su prvi komercijalni brodovi za ukapljeni prirodni plin.

Sagrađeni su 1964. godine u britanskim brodogradilištima (Tusiani, Shearer, 2007). Oba su broda bila u vlasništvu tvrtke Conch International Methane i svaki je imao po devet prizmatskih spremnika izrađenih prema projektu iste tvrtke, ukupnog obujma 27400 m^3 (www.shipbuildinghistory.com). Prevozili su ukapljeni plin za tvrtku British Gas od Alžira do otoka Canvey na rijeci Temzi. *Methane Princess* je obavio više od petsto plovidbi i povučen je iz upotrebe tek 1998. godine dok je *Methane Progress* plovio četriristo šezdeset i sedam puta, a otpisan je 1992. godine (www.shipbuildinghistory.com).

Nakon 1970. godine došlo je do velikog razvoja tehnologije izgradnje brodova što je rezultiralo pojavom brodova za ukapljeni prirodni plin velike zapremine, a mnogo je brodogradilišta počelo graditi takve brodove za pojedine projekte.

Tipovi spremnika

Spremnik za prijevoz ukapljenog prirodnog plina mora imati sljedeće karakteristike:

- biti plinotijesan kako bi se spriječilo miješanje plina sa zrakom, kao i gubitak ukapljenog plina;
- biti toplinski izoliran kako bi se, u što je moguće većoj mjeri, spriječilo zagrijavanje ukapljenog prirodnog plina odnosno hlađenje trupa broda, što povećava krtošć čelika i može uzrokovati kolaps unutarnje strukture broda;
- spremnik mora biti dovoljno velike čvrstoće da podnese hidrostatski tlak ukapljenog prirodnog plina i mali pretlak koji se javlja unutar spremnika, te kako bi podnio eventualne sudare s drugim brodovima ili kopnom.

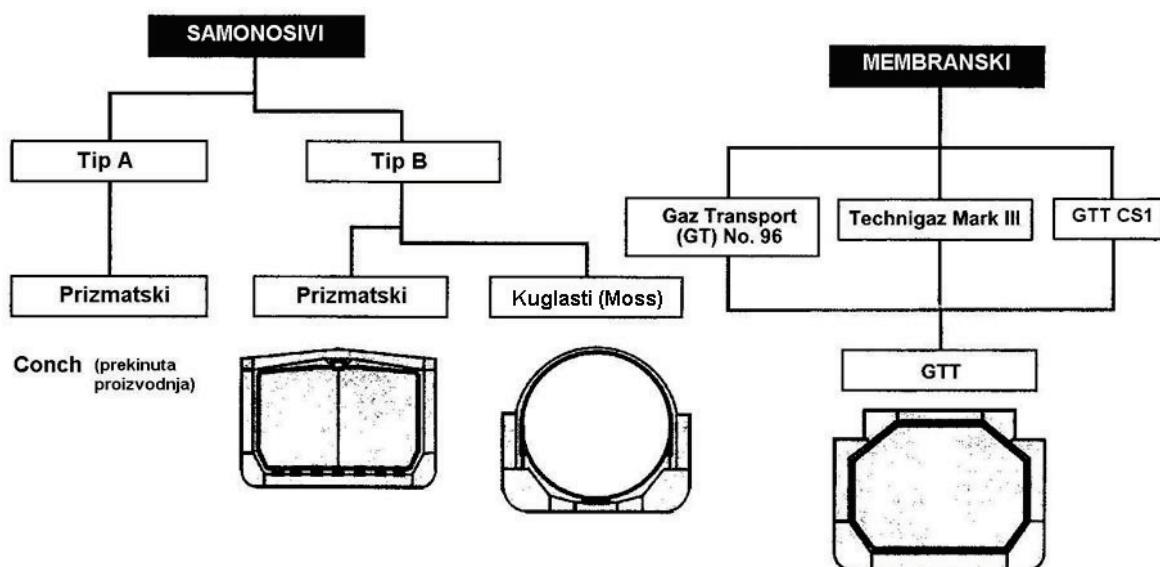
Naročitu pozornost pri konstrukciji spremnika za prijevoz ukapljenog prirodnog plina treba pridati zapljuskivanju fluida unutar spremnika. Naime, tijekom plovidbe brod se nagnje, a gibanje se prenosi na fluid unutar spremnika koji udara o stijenke spremnika. Na mjestima udara javlja se povećani tlak koji može oštetiti stijenku ili čak toplinsku izolaciju spremnika (Shin et al., 2003). Svaki tip spremnika zato prolazi zahtjevna ispitivanja na propuštanje i čvrstoću prije puštanja broda u uporabu.

Tijekom razvoja tehnologije prijevoza ukapljenog prirodnog plina, javile su se mnoge eksperimentalne konstrukcije spremnika, no industrija je ubrzo isključila iz primjene složene i zahtjevne projekte pa su se zadržala dva tipa spremnika: samonosivi neovisni i

membranski spremnici. Podjela spremnika za skladištenje ukapljenog prirodnog plina prikazana je na slici 1.

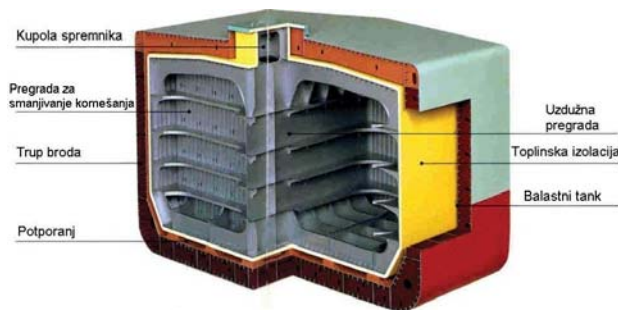
Samonosivi, neovisni spremnici

Samonosivi, neovisni spremnici su teške, čvrste strukture, izrađene tako da mogu izdržati tlakove pri prijevozu ukapljenog prirodnog plina. Mogu biti oblika prizme ili kugle. Trup broda je osmišljen tako da podržava masivne spremnike. Samonosivi znači da stijenka spremnika u potpunosti preuzima opterećenja koja se unutar spremnika javljaju zbog tlakova, a neovisni znači da se grade neovisno o trupu broda i da trup broda služi samo za preuzimanje njihove težine. Projektirani su da u plinskom dijelu spremnika izdrže pretlak od 0,7 bar (Huang et al., 2007). U praksi se, međutim, pretlak unutar spremnika održava ispod 0,25 bar. Dijele se na dva tipa: tip A i tip B. Spremnici tipa A bio je potreban potpuni sekundarni zaštitni zid oko spremnika, budući da analize napreznja nisu bile precizno izrađene. Spremnici ovog tipa su bili ugrađeni u brodove *Methane Princess* i *Methane Progress*, a izradila ih je, kao i brodove, tvrtka Conch. Oba su broda imala probleme s istjecanjem ukapljenog plina prilikom testiranja. Ti su problemi, zajedno s potpuno promašenom konstrukcijom trećeg broda, uzrokovali prestanak izrade prizmatskih Conch spremnika (Huang et al., 2007). Spremnici tipa B se dijele na prizmatske i kuglaste (tzv. Moss spremnike). Na tim su spremnicima obavljene sveobuhvatne analize napreznja, pa oko spremnika nije potreban potpuni sekundarni, već samo djelomični zaštitni zid u obliku posude za skupljanje ukapljenog plina u slučaju istjecanja, koja se nalazi ispod spremnika.



Slika 1. Podjela spremnika (Huang et al., 2007)
Figure 1 Tank overview (Huang et al., 2007)

Prizmatški spremnici (tip B). U postojećoj svjetskoj floti brodova za ukapljeni prirodni plin, samo dva broda imaju prizmatške spremnike tipa B. To su brodovi Polar Eagle i Arctic Sun. Oba su sagrađena 1993. godine i plove između Aljaske i Japana (Huang et al., 2007). Spremnici su izrađeni od slitine aluminija ili od nehrđajućeg čelika. Unutar spremnika se nalaze pregrade načinjene od ploča povećane krutosti. Jedna pregrada podudara se s uzdužnom osi broda, a druga je okomita na nju i zadaća joj je smanjivanje zapljuskivanja ukapljenog plina tijekom plovidbe. U tu svrhu su na unutarnjoj strani stijenke zavarena rebra za učvršćenje konstrukcije (Huang et al., 2007). Presjek prizmatškog spremnika tipa B prikazan je na slici 2. Spremnici leže na potpornjima koji preuzimaju vertikalno opterećenje uslijed težine spremnika. Postoje i bočni potpornji koji preuzimaju bočno opterećenje koje se javlja kada se brod naginje na stranu. Tijekom utovara i istovara ukapljenog prirodnog plina, mijenja se temperatura spremnika, što je uzeto u obzir pri konstrukciji, pa je omogućeno termičko širenje i stezanje spremnika.



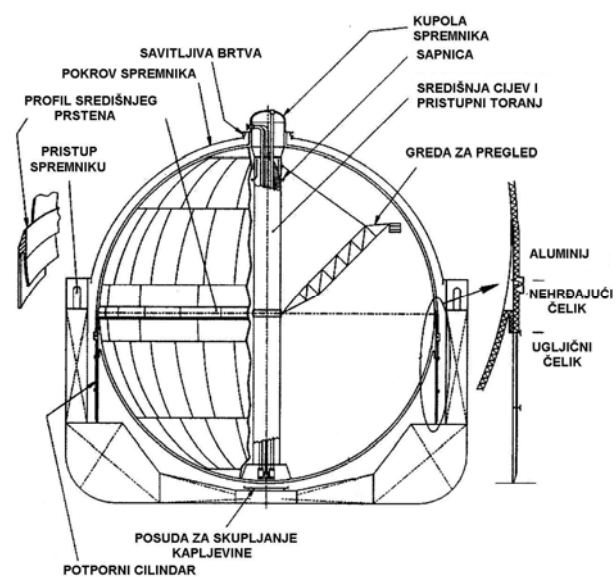
Slika 2. Presjek prizmatškog spremnika tipa B (www.eagle.org; Huang et al., 2007)
Figure 2 Cross section of a prismatic type B tank (www.eagle.org; Huang et al., 2007)

Kuglasti spremnici (Mossovi spremnici).

Brodogradilište Moss Rosenberg Verft patentiralo je 1979. godine tehnologiju izrade samonosivih, neovisnih, kuglastih spremnika. Finsko je brodogradilište Kvaerner Masa nakon toga kupilo licencu za izgradnju brodova s ovim tipom spremnika, te se od tada ovi spremnici nazivaju i Kvaerner-Moss spremnici (Tusiani, Shearer, 2007). Brodovi s Mossovim spremnicima nemaju, zbog sferičnog oblika spremnika, u potpunosti iskorišten prostor u trupu broda. To je negativno sa stajališta ekonomičnosti prijevoza, no ima i pozitivnu stranu zbog jednostavnosti pregleda spremnika izvana. Kuglasti Mossovi spremnici su izrađeni od ploča legure aluminija te ploča čelika s 9% nikla, velikih debljina stijenke (Yuasa et al., 2001).

To su samonosivi spremnici koji imaju dvostruku stijenku i središnji prsten koji osigurava integritet spremnika. Središnji prsten preuzima bočno

opterećenje, a cilindar navaren na prsten preuzima vertikalno opterećenje. Gornji dio cilindra je od legure aluminija, a donji dio od čelika. Donji je dio cilindra navaren na trup broda. Gornji aluminijski i donji čelični dio cilindra spojeni su eksplozivnim varom. Toplinska se izolacija sastoji od sloja izolacijskih ploča koje su pričvršćene na vanjsku stijenku zakovicama. Ploče su načinjene od pjenaste smole fenola i poliuretanske pjene. Vanjska je strana izolacije obložena tankim aluminijskim pločama (Huang et al., 2007). Presjek kuglastih spremnika prikazan je na slici 3.

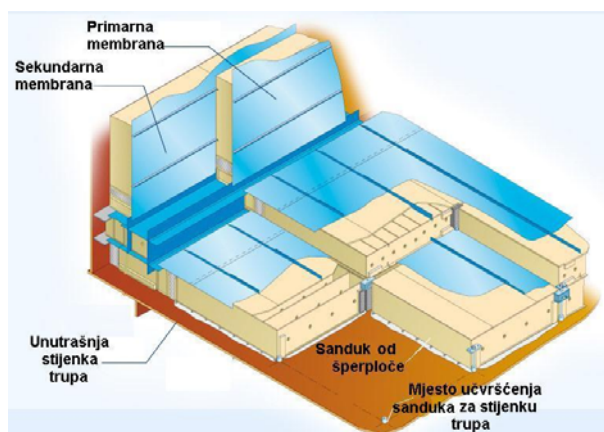


Slika 3. Kuglasti (Mossov) spremnik (Huang et al., 2007)
Figure 3 Spherical (Moss) tank (Huang et al., 2007)

Tip spremnika GT No. 96.

Tip spremnika GT No. 96 se sastoji od: dva sloja sanduka od šperploče u kojima se nalazi materijal za toplinsku izolaciju (perlit); i dvije metalne membrane. Uloga metalnih membrana je da služe kao primarna i sekundarna prepreka istjecanju ukapljenog plina. Slojevi metala i šperploče se izmjenjuju, tako da je primarna membrana u kontaktu s ukapljenim plinom, iza nje je sloj sanduka od šperploče, zatim sekundarna membrana, te na kraju drugi sloj sanduka od šperploče koji je pričvršćen za trup broda. Metalne membrane, debljine 0,7 mm, načinjene su od Invara, legure željeza i nikla, s udjelom željeza 64% i nikla 36%. Ova je legura izabrana zbog svojeg vrlo malog koeficijenta termičkog rastezanja (Huang et al., 2007).

Presjek spremnika GT No. 96 prikazan je na slici 4.

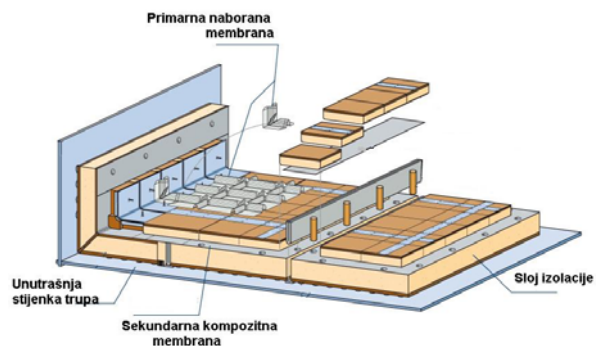


Slika 4. Spremnik GT No. 96 (www.gtt.fr)
Figure 4 GT No. 96 tank (www.gtt.fr)

Tip spremnika Technigaz Mark III

Spremnici Technigaz Mark III se sastoje od primarne i sekundarne membrane, te toplinske izolacije. Raspored membrana i slojeva izolacije je jednak onom kod tipa GT No. 96. Primarna je membrana izrađena od nehrđajućeg čelika i naborana je kako bi se omogućilo termičko rastezanje i skupljanje membrane. Debljina joj je 1,2 mm (Huang et al., 2007). Toplinska izolacija iza primarne membrane izrađena je od slojeva sanduka od

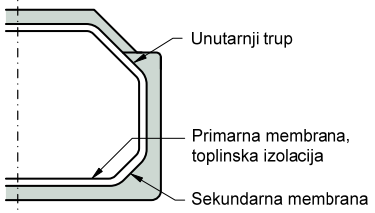
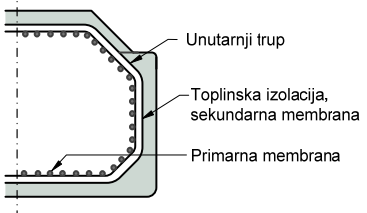
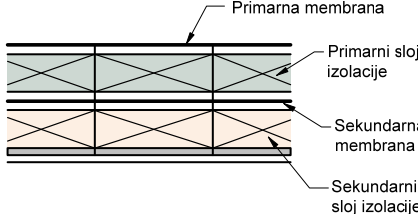
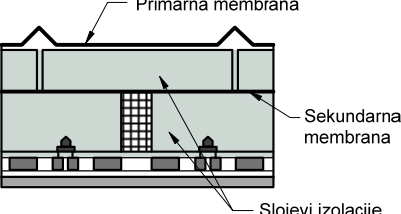

šperploče unutar kojih se nalazi armirana poliuretanska pjena. Unutar izolacije nalazi se sekundarna membrana, koja je zapravo kompozitni materijal načinjen od aluminijske folije i vlakana od fiberglasa (Huang et al., 2007). Presjek spremnika Technigaz Mark III prikazan je na slici 5.



Slika 5. Spremnik Technigaz Mark III (www.gtt.fr)
Figure 5 Technigaz Mark III tank (www.gtt.fr)

U tablici 1. prikazane su karakteristike membranskih spremnika GT No. 96 i Technigaz Mark III.

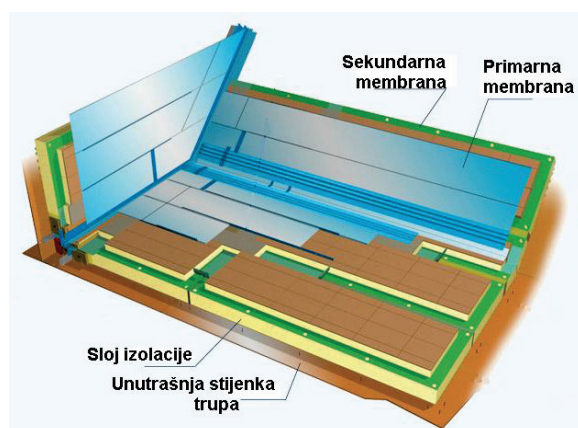
Tablica 1. Karakteristike membranskih spremnika GT No. 96 i Technigaz Mark III (Yuasa et al., 2001)
Table 1 Characteristics of GT No. 96 and Technigaz Mark III tanks (Yuasa et al., 2001)

	Membranski spremnici	
	Gaz Transport No.96	Technigaz Mark III
Oblik spremnika		
Struktura toplinske izolacije		
Materijal primarne membrane	Invar	Nehrdajući čelik
Mjere protiv toplinskog širenja i stezanja	Mjere nisu potrebne zbog malog koeficijenta termičkog rastezanja	Širenje i stezanje membrane 
Toplinska izolacija	Drveni sanduci punjeni perlitom	Drveni sanduci punjeni armiranom poliuretanskom pjenom
Debljina sloja izolacije (mm)	470~550	250~350
Materijal sekundarne membrane	Invar	Kompozit aluminijske folije i vlakana fiberglasa

Tip spremnika GTT CS1

Tip spremnika CS1 (Combined System 1), kojeg je projektirala tvrtka GTT, ne donosi ništa revolucionarno u pogledu konstrukcije membranskih spremnika, već ujedinjuje karakteristike spremnika No. 96 i Mark III. Primarna membrana koja je u doticaju s ukapljenim prirodnim plinom je izrađena od Invara, debljine 0,7 mm. Izolacija se sastoji od dva sloja, između kojih se nalazi sekundarna membrana. Izolacija je izrađena od drvenih sanduka ispunjenih poliuretanskom pjenu. Sekundarna membrana je kompozitni materijal načinjen od dva sloja mreže od staklenih vlakana između kojih se nalazi aluminijska folija (www.gtt.fr). Na slici 6 prikazan je presjek spremnika GTT CS1.

U tablici 2. prikazane su osnovne karakteristike spremnika.



Slika 6. Spremnik GTT CS1 (www.gtt.fr)
 Figure 6 GTT CS1 tank (www.gtt.fr)

Tablica 2. Karakteristike pojedinih vrsta spremnika
 Table 2 Characteristics of different types of tanks

	Membranski			Samonosivi	
	GTT Mark III	GTT No. 96	GTT CS-1	Kuglasti (Moss)	Prizmatski (tip B)
Oblik spremnika					
Stijenka spremnika	Nehrđajući čelik	Invar (36% nikla)	Invar (36% nikla)	Legura aluminija, nehrđajući čelik	Legura aluminija, čelik s 9% nikla
Debljina stijenke (mm)	1,2	0,7	0,7	50	10~25
Toplinska izolacija	Armirana poliuretanska pjena	Perlit	Armirana poliuretanska pjena	Poliuretanska pjena	Poliuretanska pjena
Debljina toplinske izolacije (mm)	250~350	470~550	250~350	250	250

Pogon brodova za ukapljeni prirodni plin

Konvencionalni pogon brodova za ukapljeni prirodni plin je parni stroj. Parni su strojevi dokazani i vrlo pouzdani, te imaju nisku cijenu održavanja. Koriste se za pogon brodova za ukapljeni prirodni plin zbog toga što im kao gorivo može služiti dio plina koji zbog priljeva topline u spremnik tijekom prijevoza ispari (Curt, 2004). Nedostatak parnog stroja je njegova mala učinkovitost. Za pogon se danas, također, koriste diesel motori koji mogu trošiti isključivo diesel gorivo (u tom se slučaju u brod mora ugraditi sustav za ponovno

ukapljivanje isparenog plina) i diesel motori kojima kao gorivo može služiti i diesel gorivo i ispareni plin. Budući da je diesel motor učinkovitiji od parnog stroja, u kombinaciji sa sustavom za ponovno ukapljivanje (Simon et al., 2009.), ostvaruju se velike uštede. Postoji i mogućnost ugradnje plinske turbine kao pogona broda, no to je rijedak slučaj jer je potrebno iskoristiti otpadnu toplinu za stvaranje vodene pare koja pokreće dodatnu turbinu, kako bi se povećala učinkovitost turbine (Yuasa et al., 2001). Pregled različitih pogonskih sustava brodova za ukapljeni prirodni plin je prikazan u tablici 3.

Tablica 3. Pregled različitih pogonskih sustava (Yuasa et al., 2001)
Table 3 Overview of different propulsion systems (Yuasa et al., 2001)

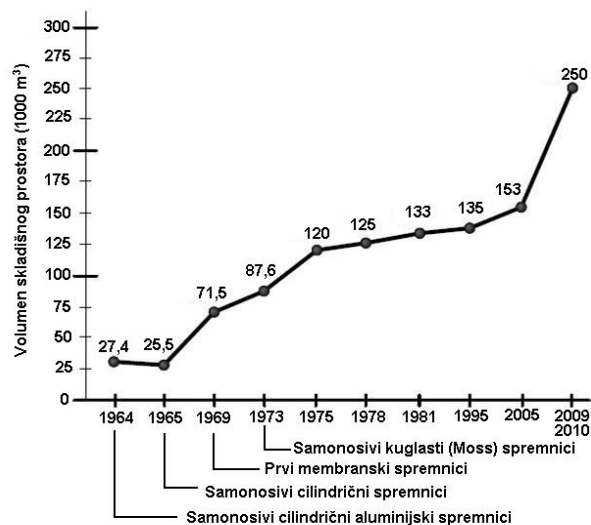
Pogon	Parni stroj	Diesel + plin	Diesel s ukapljivanjem	Kombinirani ciklus
Schema sustava				
Prednosti	Vrlo pouzdan sustav, pogoni većinu brodova za transport UPP, izgara 100% isplinjelog plina	Veća učinkovitost, isp. plin se koristi kao gorivo	Veća učinkovitost, odvojenost spremnika i pogonskog sustava	Veća učinkovitost od parnog stroja
Nedostaci	Mala učinkovitost	Nužno korištenje diesel goriva	Visoka potrošnja diesel goriva, električna en. nužna za pokretanje pogona za ukapljivanje	Nemoguće korištenje više vrsta goriva

Veličina skladišnog prostora brodova za ukapljeni prirodni plin

Veličina skladišnog prostora brodova za ukapljeni prirodni plin se povećavala od početka gradnje tih brodova. Nakon što je 1970. godine zatvoren Sueski kanal, počeo je razvoj i izgradnja većih brodova zbog toga što je prijevoz plina brodovima isplativiji na veće udaljenosti. Uz to se i potražnja za ukapljenim prirodnim plinom jako povećavala. U tom je razdoblju skladišni prostor sa 70000 m³ povećan na 140000 m³, što je sve do nedavno ostala gornja granica. Veličina broda je određena i lukom u kojoj se istovaruje ukapljeni plin. Tako je brod nove generacije zapremnine 210000 m³, tip Q-flex, prilagođen za pristajanje u gotovo svim većim lukama gdje se nalaze terminali za uplinjavanje ukapljenog prirodnog plina, pa mu otuda i naziv „flex“ od engleske riječi „flexible“ (Greer et al., 2005). U svijetu trenutno postoji dvadeset i osam Q-flex brodova, a ugovorena je izgradnja još jednog do 2012. godine (www.shipbuildinghistory.com). Svi Q-flex brodovi su u vlasništvu katarskih tvrtki. Q-flex brodovi pogonjeni su diesel motorima. Opremljeni su sustavom za ponovno ukapljivanje isparenog plina. Tip spremnika u Q-flex brodovima je membranski. Veličina skladišnog prostora im je između 209000 m³ i 217000 m³ (Al-Kubaisi, 2008).

Brodovi za ukapljeni prirodni plin tipa Q-max također su u vlasništvu katarskih tvrtki, a dosad ih je izgrađeno devet. Veličina Q-max brodova ograničena je veličinom luke Ras Laffan u Kataru. Još je pet Q-max brodova naručeno (www.shipbuildinghistory.com). Skladišni prostor im je između 255000 m³ i 266000 m³ (Greer, 2005). Spremnici su membranski, a brodovi se

pogone diesel motorima. Također su opremljeni sustavom za ponovno ukapljivanje isparenog plina.



Slika 7. Povećanje volumena skladišnog prostora (Wang, Economides, 2009)

Figure 7 Increase in storage capacity (Wang, Economides, 2009)

Na slici 7. prikazano je povećanje volumena skladišnog prostora brodova za ukapljeni prirodni plin s vremenom, a u tablici 4., podjela brodova za ukapljeni prirodni plin ovisno o veličini skladišnog prostora za membranske i kuglaste tipove spremnika.

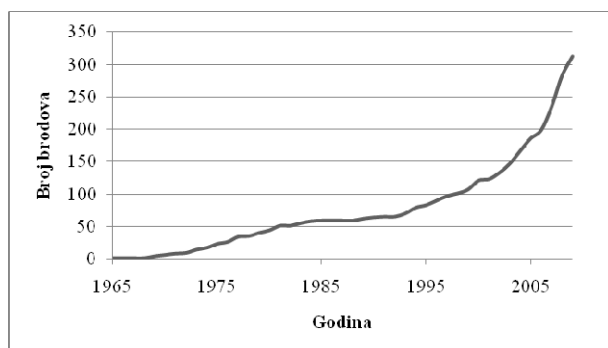
Tablica 4. *Podjela brodova za ukapljeni prirodni plin po veličini skladišnog prostora za membranske i kuglaste tipove spremnika
Table 4 Comparison of LNG carriers arranged according to their storage capacity (for membrane and spherical tanks only)

Veličina skladišnog prostora (10 ³ m ³)	18 – 50	65 – 90	120 – 135	137 – 145	209 – 217 (Q-flex)	255 – 266 (Q-max)
Bruto nosivost (10 ³ t)	10 – 22	50 – 60	67,5 – 73	68,6 – 76,2	~101	~122
Duljina broda (m)	130,0 – 207,0	216,0 – 250,0	280,5 – 293,5	276,0 – 290,0	~315	~345
Širina broda (m)	26,0 – 29,5	34,0 – 40,0	41,5 – 43,5	42,5 – 46,6	50,0	55,0
Gaz broda (m)	7,0 – 9,5	9,5 – 10,5	11,0 – 12,0	11,0 – 12,0	12,0	12,0
Maksimalna brzina (čv)	14,5 – 16,5	17,5	18,5	18,5 – 19,5	~19	~19
Količina isparenog plina (%volumena/dan)	0,26 – 0,24	0,21 – 0,18	0,25 – 0,15	~0,15	-	-
Broj članova posade	16 – 22	~27	28 – 34	28 – 34	~34	~34

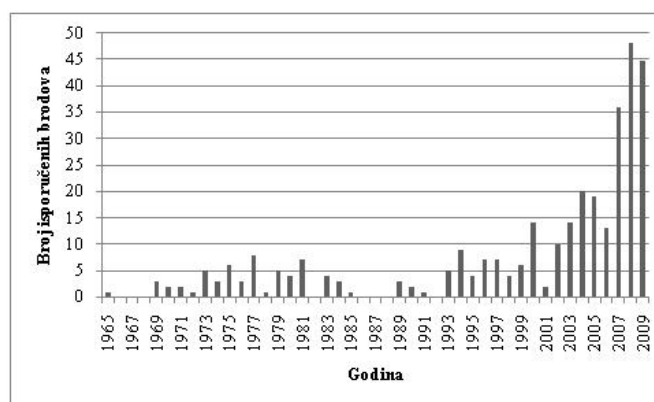
*Navedeni se podaci temelje na različitim izvorima. Svako brodogradilište ima neznatno različite specifikacije, koje se mijenjaju ovisno o tipu spremnika. Svi Q-flex i Q-max brodovi imaju ugrađen sustav za ponovno ukapljivanje isparenog plina, pa za njih nije navedena količina isparenog plina.

Veličina flote za prijevoz ukapljenog prirodnog plina

Svjetskim morima, zaključno s 26. studenog 2009. godine plovi ukupno 327 brodova za ukapljeni prirodni plin, a naručeno ih je još 42, koji će biti izgrađeni do 2012. godine (www.shipbuildinghistory.com). Kako bi se dobila predodžba o povećanju flote za prijevoz ukapljenog prirodnog plina, treba spomenuti da je 2006. godine plovilo samo 199 brodova, a u prilog brzorastućem razvoju govore i slike 8. i 9. na kojima je prikazano povećanje broja brodova za ukapljeni prirodni plin i broj isporučenih brodova s vremenom.



Slika 8. Broj brodova za ukapljeni prirodni plin (Tusiani, Shearer, 2007; shipbuildinghistory.com)
Figure 8 The number of LNG carriers (Tusiani, Shearer, 2007; shipbuildinghistory.com)



Slika 9. Broj isporučenih brodova za ukapljeni prirodni plin (Tusiani, Shearer, 2007; shipbuildinghistory.com)
Figure 9 The number of LNG carrier deliveries (Tusiani, Shearer, 2007; shipbuildinghistory.com)

Zaključak

Industrija ukapljenog prirodnog plina razvija se velikom brzinom. U zadnjih se deset godina broj brodova za ukapljeni prirodni plin više nego udvostručio. Rastuća potreba za energijom profilira ukapljeni prirodni plin kao idealan energent zbog razvijenosti tržišta ukapljenog prirodnog plina i mogućnosti nabave iz više zemalja proizvođača. U svijetu političkih ucjena energentima, trgovina ukapljenim prirodnim plinom omogućuje bilo kojoj državi s terminalom za ponovno uplinjavanje sigurnost opskrbe prirodnim plinom. Iako je prijevoz prirodnog plina cjevovodima na udaljenostima do 4000 km jeftiniji, baš ta raspoloživost i dostupnost uzrokuju golem rast industrije ukapljenog prirodnog plina (Huang et al., 2007). Aktualnost ove tematike kod nas povećana

je i dilemom između sigurne opskrbe prirodnim plinom s jedne strane i ostvarenjem prihoda od turizma i očuvanjem percepcije hrvatske obale kao ekološki netaknute regije, s druge strane.

Rad je izrađen u okviru projekta 195-1951390-1397 "Razvoj i primjena novih tehnologija pri izradi i opremanju bušotina", koji financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

Accepted: 20.10.2010.

Received: 03.10.2010.

Literatura

- Curt, B. (2004): Marine Transportation of LNG, Intertank Conference, Ras Laffan, Qatar: Qatargas II Development.
- Greer, M. N., Richardson, A. J., Sandström, R. E. (2005): Large LNG Ships – The New Generation, International Petroleum Technology Conference - IPTC 10703, Doha
- Huang, S., Chiu, C., Elliot, D. (2007): LNG: Basics of Liquefied Gas. The University of Texas at Austin, Austin
- Ishimaru, J., Kawabata, K., Morita, H., Ikkai, H., Suetake, Y. (2004): Building of Advanced Large Sized Membrane Type LNG Carrier. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, Technical Review Vol. 41 No. 6, Tokyo
- Al-Kubaisi, A. K. (2008): An Insight into the World's Largest LNG Ships, International Petroleum Technology Conference - IPTC 12445, Doha
- Shin, Y., Kim, J. W., Lee, H., Hwang, C. (2003): Sloshing Impact of LNG Cargoes in Membrane Containment in the Partially Filled Condition, Proceedings of The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, American Bureau of Shipping, Houston
- Simon, K., Malnar, M., Vrzic, V. (2009): Pregled procesa ukapljivanja prirodnog plina, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 21, Zagreb, prosinac 2009, p. 93-102.
- Tusiani, M. D., Shearer, G. (2007): LNG: A Nontechnical Guide. USA: PennWell Corporation, Tulsa
- Wang, X., Economides, M. (2009): Advanced Natural Gas Engineering. Gulf Publishing Company, Houston
- Yuasa, K., Uwatoko, K., Ishimaru, J. (2001): Key Technologies of Mitsubishi LNG Carriers – Present and Future. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Technical Review Vol. 38 No. 2, Tokyo

Internetski izvori podataka:

<http://www.gtt.fr/content.php?cat=34&menu=60>

<http://shipbuildinghistory.com/today/highvalueships/Ingorderbook.htm>

<http://shipbuildinghistory.com/today/highvalueships/Ingactivefleet.htm>

<http://shipbuildinghistory.com/today/highvalueships/Ingwithdrawn.htm>

Internetski izvori slika:

www.eagle.org; www.gtt.com

Liquefied natural gas (LNG) carriers

Methane Pioneer was the first LNG carrier in existence and it had 5000 m³ storage space. The storage space was comprised of five self-supporting aluminum prismatic tanks insulated by wooden planks. It was built in 1959. *Methane Princess* and *Methane Progress* were the first commercial LNG carriers. They were built in 1964 and had worked for British Gas on the Algeria – Canvey Island route.

There are certain requirements which have to be met while designing an LNG tank, regarding the characteristics of LNG and sea travel, e.g. tank gas-tightness, adequate tank insulation, tank strength and sloshing. There are two different ways an LNG tank may be constructed which allows for two types of LNG tanks – self-supporting and membrane. Self-supporting tanks are those tanks which withstand all pressures generated within them on their own and transmit only the weight of the tank to the ship's hull. On the other hand, membrane type tanks transmit all forces generated by the pressures of the fluid inside them through the insulation to the ship's hull. Self – supporting tanks are divided into two groups: prismatic (type B) and spherical (Moss) tanks. Membrane tanks are divided into three groups: No. 96, Mark III and CS1, all made by the French company GTT.

There are four different possible propulsion systems in an LNG carrier. Namely, the steam turbine, diesel engine, diesel engine coupled with a reliquification plant & gas turbine. Each propulsion system deals with boil-off gas in a different manner.

LNG carrier storage space has been increasing since the very beginning of the industry in the middle of the 20th century. After the shutting of the Suez Channel in the 1970s, LNG carrier storage space size had doubled from 70000 m³ to 140000 m³. The latest increase in size have been the Qatari Q-flex and Q-max ships, with storage space of around 210000 m³ and around 260000 m³, respectively.

The increase in size of the LNG carrier fleet has been substantial since the beginning of the industry and there are more than 300 LNG carriers currently active in the world. It is meritorious to mention that the number of LNG carriers in the world has more than doubled in the last 10 years.