

Comparative characteristics of compressed natural gas CNG and wood biomass supply chains

Usporedne karakteristike lanaca snabdijevanja komprimovanim prirodnim gasom i drvnim gorivima

Srđan Vasković¹*, Dušan Kozić², Goran Ašonja³, Petar Gvero⁴, Aleksandar Munjić⁵

¹ Mašinski fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu

² "Prvo gasno društvo" D.O.O, Zvornik

³ Gas Promet, Pale

⁴ Mašinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

⁵ TERMOELEKTRO D.O.O, Brčko

ABSTRACT

In this paper, general characteristics related to the supply chain of compressed natural gas (eng. CNG - Compressed Natural Gas) are given. Compressed natural gas is stored in a compressed gas state in tanks (bottles), in contrast to liquefied natural gas (eng. LNG - Liquefied Natural Gas) in which natural gas is stored in liquid form. The production and storage of compressed natural gas is somewhat cheaper compared to liquid natural gas, with the fact that the storage volumes are different. From all of this, there is a need to analyze the supply chain with CNG from the aspect of the compression process, transportation and storage costs. This paper describes the process of exploitation of CNG as a fuel for the conditions of functioning of the supply chain in Bosnia and Herzegovina. Real data related to the process of compression, transportation and storage of natural gas were taken from the company: "Prvo gasno društvo" D.O.O. Zvornik. The paper analyzed the indicators of the chain like energy efficiency, CO₂ emissions and production cost reduced per 1 kWh of energy expressed in the lower heat value (LHV) of the distributed fuel. Also, a short comparison of the supply chains by CNG, wood pellets and chips as fuels is presented by the MCDM method. From the aspect of transport logistics, CNG has significantly better predispositions compared to other supply chains of pellets and wood chips, taking into account the energy efficiency of its process as well as the cost of supply logistics itself. However, CNG belongs to the category of fossil fuels.

Key words: CNG, indicators, wood chips, pellets, comparison

INTRODUCTION – Uvod

Zbog potreba industrijskih i komercijalnih potrošača za prirodnim gasom, a gdje ne postoji mogućnost priključivanja na gasovodnu mrežu, koristi se uskladišteni prirodni gas. Prirodni gas se može skladištiti kao tečan (TPG – Tečni Prirodni Gas, eng. LNG - Liquefied Natural

Gas) ili kao komprimovan (KPG – Komprimovani Prirodni Gas, eng. CNG - Compressed Natural Gas). Razlika je u tome što se u KPG rezervoarima prirodni gas skladišti u gasovitom stanju na pritisku od 200 do 250 bara, što predstavlja gustinu od oko 130 puta veću od gustine metana na atmosferskom pritisku, za razliku od TPG rezervoara u kojima se prirodni gas skladišti u tečnoj fazi.

Gustina metana u tečnom stanju je 610 puta veća od gustine metana pri normalnim uslovima pritiska i temperature. Proizvodnja i skladištenje komprimovanog prirodnog gasa je jeftinija u poređenju sa tečnim jer ne zahtijeva rashladne procese i kriogene temperature u rezervoarima, s tim što je za istu veličinu KPG i TPG rezervoara, masa komprimovanog gasa nešto manja.

Komprimovani prirodni gas se čuva pod visokim pritiskom (obično od 200 do 250 bara). Kako bi se uvećala količina skladištenog gasa unutar date zapremine, gas se sabija na izuzetno visoke pritiske i skladišti u specijalne boce. Sabijanje se vrši pomoću klipnih kompresora visokog pritiska i prirodni gas ostaje u gasovitom stanju tokom cijelog procesa sabijanja. Njegova priprema, odnosno čišćenje i komprimovanje, se odvija u okviru stanice za punjenje (punionice), gdje se i skladišti u posebne boce iz kojih se dalje vrši njegova distribucija (Ivošev, 2017; Semin and Abu, 2008; Todorović et al., 2017).

Proizvodnja komprimovanog prirodnog gasa

Proizvodnja komprimovanog prirodnog gasa predstavlja sabijanje prirodnog gasa iz transportnog ili distributivnog sistema prirodnog gasa, specijalnim kompresorima velikih snaga i radnog pritiska između 200 i 250 bara, na koje se sabija prirodni gas. Ovog trenutka značajniju proizvodnju komprimovanog prirodnog gasa u Bosni i Hercegovini radi preduzeće “Prvo gasno društvo” Zvornik i “Rafinerija nafte Brod a.d.” Brod. Na slici 1. prikazan je izgled kompresorskog postrojenja u preduzeću “Prvo gasno društvo” Zvornik.



Figure 1. The compressor plant in the company “Prvo gasno društvo” Zvornik

Slika 1. Izgled kompresorskog postrojenja u preduzeću “Prvo gasno društvo” Zvornik

Ovo preduzeće je osnovano 2017. godine, i ima proizvodni kapacitet od 5 000 m³/h. Djelatnost preduzeća je komprimovanje, prodaja i distribucija prirodnog gasa

(KPG) na teritoriji Bosne i Hercegovine, Srbije i Crne Gore. Postrojenje za komprimovanje prirodnog gasa, odnosno proizvodnju KPG-a, čine dvije cjeline (Ivošev, 2018):

1. kompresorsko postrojenje koje je instalirano u zatvorenom objektu, i
2. platforma sa paletama i bocama komprimovanog prirodnog gasa, koja se fizički nalazi u neposrednoj blizini kompresorske stanice.

Mega platforma (interni naziv za konstrukciju platforme) u koju se privremeno ubacuje komprimovani prirodni gas, nalazi se na otvorenom prostoru, u neposrednoj blizini kompresorskih postrojenja. Konstrukcija mega platforme čini jedno stabilno, slobodno postolje, na kome se nalaze palete koje mogu biti sa različitim brojem i kapacitetima boca za KPG. Napunjena mega platforma se relativno lako i brzo postavlja na odgovarajuće specijalno prevozno sredstvo (Slika 2).



Figure 2. The mega platform of the company “Prvo gasno društvo” Zvornik

Slika 2. Izgled mega platforme preduzeća “Prvo gasno društvo” Zvornik

Armatura komprimovanog prirodnog gasa (cijevi i ventili) koja povezuje boce visokog pritiska 200–250 bara, je prilagođena ispitnim i radnim pritiscima prirodnog gasa. U decembru 2021. godine, u “Rafineriji nafte Brod a.d.” Brod, puštena je u rad gasna kompresorska stanica. Rad gasne kompresorske stanice omogućen je dovodom prirodnog gasa gasovodom kojim je rafinerija spojena sa gasnim sistemom Hrvatske. Dužina gasovoda je 5,5 km, a kapacitet gasne kompresorske stanice je 40 m³ komprimovanog prirodnog gasa, koji se dostavlja u bocama. Na slici 3. prikazan je izgled kompresorske gasne stanice u “Rafineriji nafte Brod a.d.” Brod. Slike 1, 2 i 3 su lično napravili autori ovog teksta u pomenutim preduzećima.



Figure 3. The compressor gas station in "Oil Refinery Brod a.d." Brod

Slika 3. Izgled kompresorske gasne stanice u "Rafineriji nafte Brod a.d." Brod

Osnovne karakteristike transporta prirodnog gasa u komprimovanom stanju

Koncept transporta prirodnog gasa primjenom tehnologije komprimovanja (KPG), zasniva se na principu smanjenja njegove zapremine u prostoru posude, postupkom komprimovanja (sabijanja) u gasovitom stanju. Tehnologija se bazira na postupku da se, pri određenoj temperaturi i pritisku, prirodni gas u gasovitom stanju komprimuje (sabija) na viši pritisak. Na taj način se postiže da se u istu zapreminu smjesti veća količina gasa. Tehničko-tehnološka rješenja ove tehnologije relativno su jednostavna. Ona se može lako primjenjivati u komercijalne svrhe. Osnovne karakteristike ove tehnologije transporta gasa jesu: da je ona lako izvodljiva za praktičnu primjenu, jednostavna u procesu korišćenja i ekonomski prihvatljiva. Ona je mnogo prikladnija za praktičnu primjenu od TNG tehnologije. Pored osnovne tehnološke aktivnosti komprimovanja gasa, u procesu može da se primjeni i tehničko rješenje hlađenja gasa na niže temperature da bi se komprimovale veće količine gasa u isti prostor. To praktično znači da se ova tehnologija može realizovati na dva načina:

1. samo komprimovanjem zemnog (prirodnog) gasa,
2. smanjenjem njegove temperature i komprimovanjem.

Zapremina gasa, primjenom ove tehnologije, smanjuje se do 300 puta u odnosu na njegovu zapreminu u normalnim uslovima. U zavisnosti od temperature okoline i od pritiska, gas se najčešće transportuje na pritisku koji se kreće u rasponu između 82,7 i 241,3 bara. Visina temperature zavisi od metode koja se konkretno koristi za transport, ali i od tehničkih karakteristika prostora za skladištenje i kreće se u granicama od -40°C do 45°C . Komprimovani gas se može transportovati: brodovima,

kamionima i vozovima. Njihova sama konstrukcija može biti različitog tehničkog rješenja. Cjelokupna linija snabdijevanja gasa, tehnologijom komprimovanja, od proizvodnje gasa na kopnu do potrošača, realizuje se kroz faze: same proizvodnje gasa, pripreme gasa za prevoz (dehidracija, mjerenje, komprimovanje), dopreme do utovarnog mjesta, transporta gasa (brodovima, kamionima ili vozovima), prenosa gasa do procesnog postrojenja (i/ili skladišta), njegove pripreme za tržište i distribucije (Ramoo and Parthasarathy, 2011).

Autocisterne za prevoz KPG-a

Snabdijevanje i distribucija KPG-a do potrošača izvodi se putem trajlera ili baterija sa bocama, u koje se prirodni gas puni prečišćen i komprimovan u punionicama. Za prevoz komprimovanog prirodnog gasa koriste se dva tipa autocisterne. Prvi tip su kamioni sa prikolicom na čijoj se platformi prevoze baterije sa bocama. Ova vozila su kompaktnog tipa, odnosno baterije se mogu skinuti sa platforme, što se čini kada se boce pune i u trenutku kada su priključene na regulacionu stanicu. Trajleri su autocisterne tipa kamiona sa prikolicom, koja je opremljena konvencionalnim čeličnim bocama, koje su u kavezima fiksno vezane za platformu. Ovaj tip autocisterne se može priključiti i na redukcionu stanicu za potrebe nekog gorionika. Projektovanje i izrada ovih vozila se vrši prema standardu DIN EN ISO 11120/ADR/GGVS, a radni pritisak je 250 bara. Boce mogu biti postavljeni vertikalno ili horizontalno na platformama (prikolicama) autocisterne. Prevoz komprimovanog prirodnog gasa mora da zadovoljava dva osnovna principa:

1. blagovremena doprema KPG-a korisnicima, i
2. bezbjednost u saobraćaju.

Na slici 4. prikazan je izgled klasičnog kamiona za prevoz komprimovanog prirodnog gasa.



Figure 4. Classic truck for transporting compressed natural gas (Ivošev, 2018)

Slika 4. Klasični kamion za prevoz komprimovanog prirodnog gasa (Ivošev, 2018)

Način transporta komprimovanog prirodnog gasa mora biti usaglašen sa Evropskim sporazumom o međunarodnom transportu opasnih materija (skraćenica ADR – Evropski sporazum o međunarodnom drumskom pre-

vozu opasnih materija). Prema ovim odredbama koje se odnose na opasne materije i predmete regulišu se prevoz robe koja je deklarirana kao opasna materija (Todorović et al., 2017).

Boce za skladištenje komprimovanog prirodnog gasa

Na tržištu postoje četiri tipa posuda pod pritiskom u kojima se komprimovani prirodni gas skladišti i transportuje. Sva četiri tipa su cilindričnog oblika sa polusferničnim dancima na oba kraja. Ovakav strukturni oblik predstavlja najpovoljnije rješenje jer obezbeđuje ravnomjernu raspodjelu napona unutar cijele posude. Ključna razlika za svaki tip posude je u materijalu koji se koristi za njihovu izradu i u načinu njihove izrade. Ove karakteristike u suštini određuju ukupnu težinu i cijenu posuda, koje su i primarne pri njihovom odabiru.

Tehnički zahtjevi za KPG boce, zahtjevaju seriju poveznih sigurnosnih kriterijuma koji se odnose na kritični pritisak, vijek trajanja boce, otpornost na oštećenja i uticaj ekstremnih uslova. Standard za sve tipove boca podrazumijeva radni pritisak od 200 do 250 bar, mjereno pri tehničkim uslovima od 15 °C. Predviđeno je da rade efikasno na temperaturama od -40 do 65 °C, sa dozvoljenim mogućim rastom i do 82 °C. Kritični pritisak je uglavnom vezan za tip boce i minimalni faktor bezbjednosti od eksplozije varira u zavisnosti od standarda. Boce moraju izdržati predviđen radni vijek, koji u godini podrazumijeva najviše 1000 ciklusa godišnje punjenja u periodu od 20 godina (ISO 11439).

MATERIALS AND METHODS – Materijal i metode

U prethodnom izlaganju date su opšte karakteristike KPG kao energenta. Posebnu problematiku korištenja KPG ima njegova distribucija, transport do krajnjih korisnika i korištenje. Obzirom da organizovanje lanca snabdijevanja sa komprimovanim prirodnim gasom iziskuje određene količine potrošnje i isporuke gasa za koje se moraju imati ekonomska opravdanja za preduzeće koje se bavi isporukom ovog energenta. U tabeli 1. dati su podaci koji se odnose na proizvodnju i transport komprimovanog prirodnog gasa ustupljeni od preduzeća “Prvo gasno društvo” Zvornik. Vrijednosti u tabeli 1. preuzete su iz pomenutog preduzeća i dobijene iz prosječne godišnje statistike i bilansa koji se evidentiraju po pojedinim procesima posmatrano.

Table 1. Data on production and delivery of CNG to final consumers for “Prvo gasno društvo” Zvornik

Tabela 1. Podaci o proizvodnji i isporuci KPG krajnjim potrošačima za “Prvo gasno društvo” Zvornik

| | | |
|----------|--|--|
| k | Utrošak energije za komprimovanje, podaci o procesu | 0,076 kWh/m ³ |
| r | Utošak ljudskog rada u postrojenju za komprimovanje | 0,00409 EUR/m ³ |
| FC | Potrošnja goriva kamiona za transport, gasni motor | 60 m ³ /100 km |
| v | Cijena rada vozača kamiona u bruto iznosu | 0,00512 EUR/m ³ |
| TI | Uticaj vremena ležanja trajlera u ciklusu pražnjenja rezervoara na ukupnu cijenu | Ležanje trejlera duže od jednog dana se izbjegava. |
| cu | Cijena gasa pri ulazu u proces komprimiranja svedena po mjerenoj jedinici goriva | 450 EUR/1000 m ³ |
| ck | Cijena gasa na mjestu isporuke krajnjem korisniku svedena na jedinicu goriva | Zavisno od udaljenosti i brzine pražnjenja, kreće se u intervalu od 600 do 750 EUR/1000 m ³ . |
| NAPOMENA | | Gdje se m ³ odnosi se na standardni metar kubni, 1,01 bar i 15 °C. Cijena industrijske struje je 0,14 EUR/kWh. Prosječna efikasnost proizvodnje električne energije uzeta je 0,3. |

U skladu sa prethodnom tabelom može se uspostaviti formulijska zavisnost formiranja konačne cijene isporučene CNG u kWh krajnjem korisniku i dati odgovore na logističke izazove transporta ovog energenta. Nakon urađenih kalkulacija koje se odnose na lanac snabdijevanja KPG (CNG-om), dobija se sljedeća tabela 2. indikatora ovog lanca (K₁, K₂, K₃). Neke od korištenih formulacija za proračun date su u nastavku redosledno. Oznake korištene u formulama od (1) do (4) kao i njihove proračunske vrijednosti nalaze se u tabeli 3. Obzirom da postoji veliki broj formulacija, daju se samo osnovne za proračun indikatora (kriterijuma K₁ do K₃).

$$E_k = \frac{\left(\frac{V_l}{z} \cdot k_p \cdot H_{do}\right)}{1000 \cdot 3,6} \quad (1)$$

$$K_1 = 1 - (E_k + E_t) \quad (2)$$

$$K_2 = \frac{C_k \cdot p_{dv} \cdot \text{prof}}{E_k} \quad (3)$$

$$K_3 = \frac{(E_k \cdot g_u + E_t \cdot g_p) \cdot 3,6}{1000} + \frac{g_p \cdot 3,6}{1000} \quad (4)$$

Table 2. Supply chain indicators for CNG (energy efficiency, specific production cost, specific CO₂ emission)

Tabela 2. Indikatori lanca snabdijevanja sa KPG (energetska efikasnost, specifični proizvodni trošak, specifična emisija ugljen dioksida)

| Kriterijumi za izbor optimalne varijante lanca snabdijevanja gorivom | | |
|--|--|-----------------------------|
| | Alternativa I: proizvodnja i transport CNG. | |
| Energetska efikasnost (K1) | 0,9684 | |
| Specifični proizvodni trošak (K2) | 0,05370 EUR/ kWh | 0,61303 EUR/ m ³ |
| Specifična emisija ugljen dioksida kg/ kWh (K3) | 0,23692 | |
| NAPOMENA | Standardni metar kubni odnosi se na parametre vezane za temperaturu od 15 °C i atmosferski pritisak od 1,01 bar. Gustina gasa na standardnom kubnom metru je $\rho = 0,732 \text{ kg/m}^3$. Zapremina boca za transport $V = 40\,000 \text{ m}^3$. Koeficijent stišljivosti prilikom komprimiranja gasa $z = 0,87$ (Strelec i drugi, 2014). Faktor komprimiranja gasa od 220 do 250 bara. Kod formiranja cijena uzet je u obzir: stopa PDV-a od 17% i profit od 10%. | |

Svi parametri koji su bili ulazi u proračun indikatora energetske efikasnosti K_1 , specifičnog proizvodnog troška K_2 i specifične emisije ugljen dioksida dati su u tabeli 3.

Na sličan način u tabeli 4. date su karakteristike drvnog peleta i drvene sječke kao goriva za uslove koji odgovaraju Bosni i Hercegovini. Kalkulacije karakteristika lanaca u tabeli 4. urađene su uz pomoć DEP platforme za optimizaciju bioenergetskih lanaca, <https://eureka.dignet.hr/>.

Na račun kalkulacija koje se odnose na lance snabdijevanja CNG-om – alternativa 1, drvnim peletom – alternativa 2 i drvnom sječkom – alternativa 3, izvršice se upoređivanje ovih lanaca snabdijevanja. Svakako svaki lanac snabdijevanja ima smisla i opravdanosti primjenjivati

na različitom lokalitetu na kojem postoje dovoljne količine posmatranog energenta i ekonomski opravdani radijusi transporta snabdijevanja. Metodologija izbora najbolje rangirane alternative uradiće se uz pomoć metode VIKOR, a za određivanje težina kriterijuma koristi se Entropy metoda. U tabeli 5. nalaze se grupisani kriterijumi od tri snabdijevačka lanca koji predstavljaju polaznu optimizacionu matricu za proračun težina usvojenih kriterijuma i rangiranje posmatranih snabdijevačkih lanaca metodom VIKOR. Prema metodi entropije, težine kriterijuma iznose redosledno $w_1 = 0,024$ za K_1 , $w_2 = 0,108$ za K_2 i $w_3 = 0,868$ za K_3 . To praktično znači da entropijska metoda daje prednost emisiji ugljen dioksida i specifičnom proizvodnom trošku u odnosu na energetske efikasnost lanca proizvodnje. Takođe u radu je uzet u obzir i slučaj jednakosti težina kriterijuma $w_1 = 0,333$ za K_1 , $w_2 = 0,333$ za K_2 i $w_3 = 0,333$.

RESULTS AND DISCUSSION - Rezultati i diskusija

Rezultati i zaključci dobijeni u okviru ovog rada imaju višestruki značaj za lance snabdijevanja različitim energentima na području Bosne i Hercegovine. Što se tiče komparacije lanaca snabdijevanja uz primjenu metode VIKOR i Entropijske metode za određivanje kriterijuma, tu stvari stoje na sljedeći način. Veoma je bitno naglasiti da entropijska metoda spada u grupu objektivnih metoda za određivanje težina kriterijuma. Prema takvoj postavci prvorangirani lanac je lanac proizvodnje drvene sječke sa mobilnim iveračem u šumi, zatim slijedi proizvodnja peleta i na kraju lanac sa CNG. Rezultati su očigledni, jer je ovakav pristup posmatranja dodijelio fosilnu ulogu CNG-u u odnosu na druga dva lanca i uračunao pretpostavljenu emisiju ugljen dioksida koja bi se desila sa sagorijevanjem ovog goriva. Ostala dva lanca u smislu sagorijevanja imaju pretpostavku emisije ugljen dioksida jednaku nuli. Uzimajući u obzir drugi slučaj kada se težinama kriterijuma dodijeli jednaka vrijednost i značaj u procesu rangiranja sa metodom VIKOR, stvari se malo mijenjaju i u tom slučaju kao drugorangirana varijanta postaje lanac snabdijevanja sa CNG. Potrebno je naglasiti da posmatrajući tablicu 5. lanac snabdijevanja sa CNG je bolji po oba parametra u smislu energetske efikasnosti K_1 i u smislu specifičnog proizvodnog troška K_2 . Međutim, mora se imati i na umu da je transport peleta u smislu ekonomski isplativog radijusa, ali i drvene sječke, pogotovo ograničen u odnosu na lanac CNG. U tom smislu daje se i prijedlog izračunavanja i ekonomskog radijusa transporta CNG u odnosu na konkurentnu cijenu peleta ili nekog drugog energenta sljedećom formulom.

Table 3. Defined parameters for the criteria calculations for the CNG supply chain

Tabela 3. Definisani parametri za proračune kriterijuma za KPG lanac snabdijevanja

| | | | |
|------------------|-------------|------------------------|--|
| ρ | 0,732 | kg/m ³ | gustina gasa na 15 °C |
| VI | 40000 | litara | zapremina trejlera |
| Hdo | 48,837 | MJ/kg | donja toplotna moć plina |
| k | 250 | bar | faktor komprimovanja |
| z | 0,87 | | faktor stišljivosti |
| FC | 60 | m ³ /100 km | utrošak gasnog kamiona na 100 km |
| Cu | 0,45 | EUR/m ³ | cijena gasa na ulazu u proces |
| Cp | 0,6 | EUR/m ³ | tržišna cijena gasa |
| l | 100 | KM | dužina transporta |
| ce | 0,14 | EUR/kWh | cijena električne energije |
| k | 0,076 | kWh/m ³ | utrošak električne energije za komprimovanje |
| r | 0,00409 | EUR/m ³ | utrošak ljudskog rada u postrojenju za komprimovanje |
| v | 0,00512 | EUR/m ³ | trošak vozača kamiona |
| eta | 0,3 | | efikasnost proizvodnje električne energije |
| gp | 63 | kg CO ₂ /GJ | koeficijent emisije ugljen dioksida za prirodni gas |
| gu | 100 | kg CO ₂ /GJ | koeficijent emisije ugljen dioksida za kameni ugalj |
| Vm | 10000 | m ³ | zapremina gasa koji stane u jedan trejler |
| M | 8413,793103 | kg | masa gasa jednog trejlera |
| Ek | 114140,1149 | kWh | energija sadržana u jednom trejleru |
| Ek _m | 11,41401149 | kWh/m ³ | energija sadržana u m ³ |
| K | 106,4 | EUR | cijena utrošene energije komprimovanja po trejleru |
| R | 40,9 | EUR | cijena rada ljudi u postrojenju po trejleru |
| V | 51,2 | EUR | cijena troška vozača po trejleru |
| CU | 4500 | EUR | cijena gasa koji se skladišti u trejleru neposredno prije procesa komprimovanja |
| Tr | 64,8 | EUR | cijena transporta |
| Ck | 4763,3 | EUR | ukupni trošak po trejleru |
| p _{dv} | 1,17 | 17% | porez na dodatnu vrijednost |
| prof | 1,1 | 10% | profit |
| C _{km3} | 0,61303671 | EUR/m ³ | konačna cijena gasa na isporuci korisniku izražena u EUR/m ³ |
| K ₂ | 0,053709137 | EUR/kWh | konačna cijena gasa na isporuci korisniku izražena u EUR/kWh |
| E _{ko} | 0,022194943 | kWh/kWh | utrošena energija po 1 kWh komprimovanog gasa |
| E _t | 0,009396 | kWh/kWh | utrošena energija po 1 kWh transportovanog gasa |
| K ₁ | 0,968409057 | | energetska efikasnost procesa komprimiranja i transporta CNG-a |
| K ₃ | 0,236921192 | kg/kWh | emisija ugljen dioksida, uzeto u obzir energija komprimovanja i potrošnja gasa prilikom transporta |

Table 4. Supply chain indicators for wood pellets and chips (energy efficiency, specific production cost, specific CO2 emission)

Tabela 4. Indikatori lanca snabdijevanja sa drvnim peletom i sječkom (energetska efikasnost, specifični proizvodni trošak, specifična emisija ugljen dioksida)

| Kriterijumi za izbor optimalne varijante lanca snabdijevanja gorivom | | | | |
|--|---|-------------|--|------------|
| | Alternativa 2: proizvodnja peleta | | Alternativa 3: proizvodnja sječke mobilnim iveračem u šumi | |
| Energetska efikasnost (K1) | 0,6953 | | 0,9701 | |
| Specifični proizvodni trošak (K2) | 0,06935 EUR/kWh | 312 EUR/ton | 0,03075 EUR/ kWh | 73 EUR/ton |
| Specifična emisija ugljen dioksida kg/kWh (K3) | 0,0924 | | 0,0082 | |
| Značajni parametri: | cijena benzina 1,3 EUR/l, cijena nafte 1,3 EUR/l, cijena struje 0,148 EUR/kWh, dužina transporta drvnog ostatka 60 km, dužina transporta drvnog peleta 100 km, prosječna dnevnicna ljudskog rada 40 km po danu, početna količina vlage u drvnom ostatku w = 50%, cijena drvnog ostatka 30 EUR/toni. | | cijena benzina 1,3 EUR/l, cijena nafte 1,3 EUR/l, dužina privlačenja skiderom do 1 km, dužina transporta drvene sječke 100 km, prosječna dnevnicna ljudskog rada 40 km po danu, početna količina vlage u drvnom ostatku w = 50%, cijena šumskog ostatka 25 EUR/toni. | |
| NAPOMENA | U lance proizvodnje peleta i drvene sječke uključeni su svi oni elementi koji doprinose njihovom funkcionisanju. Lanac proizvodnje peleta primarno koristi drveni ostatak od prerade sa pilana, dok lanac proizvodnje drvene sječke odnosi se preradu ostatka od sječe u šumi. Lanac peleta uključuje elemente poput: kamiona za transport drvnog ostatka, pelet postrojenja, viljuškara i kamiona za transport peleta. Lanac proizvodnje drvene sječke uključuje: motornu pilu, skider, mobilni iverač, kamion za transport drvnog čipsa. Kod formiranja cijena uzet je u obzir: stopa PDV-a od 17% i profit od 10%. | | | |

Uzimajući u obzir prethodnu formulaciju kao i navedenu cijenu peleta od 612 EUR/ton u posmatranom modelu, pretpostavljenu toplotnu moć tone peleta od 4500 kWh, prema toj postavci uz zadržavanje svih parametara posmatranog CNG procesa, dozvoljeni radijus transporta komprimovanog gasa se kreće čak i do 2200 km. Međutim, obzirom da su tržišne cijene jako varijabilne i uzimajući u obzir tu činjenicu da je trenutna cijena peleta oko 250 EUR/tona, što je ekvivalent od oko 0.05555 EUR/kWh, u tom slučaju distanca transporta CNG za cijenu od 0.05370 EUR/kWh, iznosi samo 350 km. Ovo sve ukazuje na to da ukoliko se cijena peleta smanji za nešto više od 50 EUR/toni, radijus transporta CNG se smanjuje za oko 6 puta, za pretpostavljenu konkurentnost naspram cijeni peleta u odnosu na postavke modela. Na osnovu obrnutog posmatranja problematike logistike CNG ali i trenutnog stanja cijena energenata na tržištu, može se doći do vrlo upotrebljivih podataka za organizaciju procesa distribucije CNG.

Na osnovu evropske direktive "Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources" koja svrstava toplotne pumpe u obnovljive izvore

energije, u zavisnosti od minimalne vrijednosti sezonskog faktora grijanja (performanse), (SCOP, Seasonal Coefficient of Performance). Prema anakesu VII Direktive 2009/28/EC obnovljivim izvorom se smatraju samo toplotne pumpe koje ispunjavaju uslov:

$$SCOPO > 1,15 * 1/\eta. \quad (6)$$

Zamišljena energetska efikasnost sistema za proizvodnju toplote postavljena je na vrijednost $\eta = 0,455$ (ili 45,5%) bazirano na podatke za 2010. godinu, i to je vrijednost koja je trebala da se koristi do 2020. godine (za EU). Ukoliko se postavi $\eta = 0,455$ dobija se da vrijednost prosječnog sezonskog grejnog faktora SCOP toplotne pumpe pokretane električnom energijom proizvedenom iz fosilnih goriva mora iznositi minimum 2,5 da bi se ona smatrala obnovljivim izvorom energije. Dakle, uslov je da je $SCOPO > 2,5$ toplotne pumpe pokretane električnom energijom sa fosilnim otiskom prema standardu EN 14825:2012, koji mora biti zadovoljen. S tim u vezi uzimajući efikasnost kotla na gas od 95%, SCOP toplotne pumpe trebao bi imati ekvivalent jednak preko 3,3 da bi ostvario smanjenje emisije ugljen dioksida u odnosu na gasni kotao. U cijelo razmatranje

Table 5. Supply chain indicators of fuels

Tabela 5. Indikatori lanca snabdijevanja gorivima

| Kriterijumi za izbor optimalne varijante lanca snabdijevanja gorivom | | | |
|---|---|---|--|
| | Alternativa 1: proizvodnja i transport CNG | Alternativa 2: proizvodnja peleta | Alternativa 3: proizvodnja sječke mobilnim iveračem u šumi |
| Energetska efikasnost (K1) | 0,9684 | 0,6953 | 0,9701 |
| Specifični proizvodni trošak (K2) EUR/ kWh | 0,05370 | 0,06935 | 0,03075 |
| Specifična emisija ugljen dioksida kg/kWh (K3) | 0,23692 | 0,0924 | 0,0082 |

ulazi se sa pretpostvkom da je toplotna pumpa pogonjena električnom energijom dobijenom iz fosilnih goriva. U slučajevima smanjene efiksnosti proizvodnje električne energije, vrijednosti SCOP-a trebale bi biti i preko 4 da bi toplotna pumpa prešla u režim rada sa manjom emisijom u odnosu na gasni kotao. Postoje različite analize koje vrše komparaciju ovih tehničkih sistema sa stanovišta emisije ugljen dioksida (Lin et al., 2021).

Bitno je napomenuti pored svih prednosti koje imaju aspekti primjene CNG-a, da to gorivo ipak predstavlja fosilno gorivo.

CONCLUSIONS – Zaključak

Pored finansijskih opravdanosti korištenja CNG-a, značajni aspekti njegovog korištenja ogledaju se u ekološkom pogledu sagorijevanja ovog energenata, u očuvanju prirode i zdravlja ljudi i što manjem broju emisija opasnih i štetnih produkata sagorijevanja u dimnim gasovima. Upotreba komprimovanog prirodnog gasa (KPG), kao energenta za industrijske kotlove, u širem smislu, predstavlja aktivnost u oblasti poboljšanja energetske efikasnosti, zaštite životne sredine, čuvanja prirode i zdravlja ljudi. U užem smislu, cilj je eliminisanje iz upotrebe tečnih naftnih derivata (mazuta, lož ulja i sl.), kao pogonskih goriva, zamjenom za energetske efikasne i ekološki čistije energente – kao što su drvena biomasa ili komprimovani prirodni gas (KPG). Korišćenje gasa danas ima prednost u odnosu na čvrsta i tečna konvencionalna fosilna goriva, čije su zalihe već iscrpljene, a osim toga njihovim sagorijevanjem emituju se štetni gasovi i materije, što doprinosi zagađenju svih ambijenata životne sredine.

Korišćenje komprimovanog prirodnog gasa u industrijskim kotlarnicama, upotrebljava se u slučajevima kada

ne postoje gasovodi prirodnog gasa, kao i u onim slučajevima gdje ne postoji praktična mogućnost priključenja na distributivnu mrežu prirodnog gasa. Upotrebom kotlarnica koje kao energent koriste prirodni komprimovani gasa (KPG), umjesto lož ulja ili mazuta, eliminišu se emisije opasnih i štetnih produkata sagorijevanja iz dimnih gasova (sumpor-dioksid, azotne okside, ugljen-monoksid i čađ). Uštede prilikom upotrebe kotlova na prirodni gas zavise od troškova, a troškovi zavise od cijene energenata u ovom slučaju prirodnog komprimovanog gasa, koji su promjenljivi.

Prema postavci izračunatih indikatora posmatranih indikatora logistike, uz upotrebu metode VIKOR kao i entropijske metode za određivanje težina kriterijuma, prvorangirani lanac je lanac proizvodnje drvene sječke sa mobilnim iveračem u šumi, zatim slijedi proizvodnja peleta i na kraju lanac sa CNG. U slučaju jednakosti težina kriterijuma i u ponovljenom procesu rangiranja sa metodom VIKOR stvari se malo mijenjaju i u tom slučaju kao drugorangirana varijanta postaje lanac snabdijevanja sa CNG. Potrebno je naglasiti da posmatrajući tablicu 5. lanac snabdijevanja sa CNG je bolji po oba parametra u smislu energetske efikasnosti K1 i u smislu specifičnog proizvodnog troška K2. Također, u radu su razvijene sve osnovne formulacije koje opisuju proces i logistiku snabdijevanja sa CNG kao gorivom, uključujući i definisanje ekonomične distance transporta komprimovanog gasa.

U Bosni i Hercegovini nije u dovoljnoj mjeri razvijena mreža za distribuciju prirodnog gasa tako da svi potencijalni potrošači nisu u mogućnosti da koriste ovaj energent. To znači da korišćenje komprimovanog prirodnog gasa na velikom dijelu teritorije Bosne i Hercegovine trenutno ima značajnu ulogu, a procjene su da će i u bližoj budućnosti tako ostati. U ovom radu su predloženi

kriterijumi koji daju mogućnost međusobne komparacije sa drugim energentima, kao i svi aspekti koji utiču na isplativost ovog procesa i moguće scenarije koji nastupaju sa varijacijom cijena energenata na tržištu. S druge strane, dat je i pogled na emisije ugljen dioksida koje proizvode različiti lanci snabdijevanja bazirani na biomasi u odnosu na sam lanac snabdijevanja sa CNG. Treba uzeti u obzir da se CNG koristi za industrijske i komercijalne potrebe potrošača za prirodnim gasom, dok se za proizvodnju toplotne energije za zagrijavanje stambenih objekata ili za proizvodnju potrošne tople vode koriste uglavnom sječka i pelet koji imaju ograničene mogućnosti korištenja za određene specifične industrijske procese. U tom pogledu CNG ima jako velike mogućnosti. Također, emisija ugljen dioksida za sagorijevanje biomase uzeta je da je jednaka nuli zbog opšte prihvaćene tvrdnje o njejoj neutralnosti po pitanju ciklusa ugljenika. CNG je jako pogodno rješenje za određene tranzitne situacije koje se pojavljuju u energetici i treba značajno razmisliti o njegovim mogućnostima u tom pogledu.

REFERENCES – Literatura

Ivošev, M. (2017), Projekat mašinskih instalacija zamene mazuta sa komprimovanim prirodnim gasom u kotlarnici CEN-TAR, Toplane u Kladovu, Idejno rješenje, Glavna sveska.

Semin, R. Abu B. (2008), A Technical Review of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel for Internal

Combustion Engines, American J. of Engineering and Applied Sciences 1 (4): 302-311.

<https://www.prvogasnodrustvo.com/> pristupljeno 12.6.2022.

Ivošev, M. (2018), Komprimovani prirodni gas (CNG) – proizvodnja, transport i primena, KGH, BIBLID 0350–1426 (206).

Ramoo, R., & Parthasarathy, M. (2011). A New Concept for CNG Carriers and Floating CNG/Oil Processing and Storage Offshore Platforms.

Todorović et al., (2017), Boce za komprimovani prirodni gas, 15 Processing, 176-186.

Barboza Neto E.S., (2011), Experimental and numerical analysis of a LLDPE/HDPE liner for a composite pressure vessel, Polymer Testing, No. 30, pg. 693-700, 2011.

<https://eureka.dignet.hr/>

Strelec, V., i saradnici (2014), Plinarski priručnik, 6. izdanje, Zagreb: Energetika marketing, ISBN 953-6759-11-X

Lin, H., Clavreul, J., Jeandaux, C., Crawley, J., Butnar, I. (2021) Environmental life cycle assessment of heating systems in the UK: Comparative assessment of hybrid heat pumps vs. condensing gas boilers, Energy and Buildings, Volume 240, 2021, 110865, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110865>.

SUMMARY

In this paper, general characteristics related to the supply chain of compressed natural gas (eng. CNG - Compressed Natural Gas) are given. Compressed natural gas is stored in a compressed gas state in tanks (bottles), in contrast to liquefied natural gas (eng. LNG - Liquefied Natural Gas) in which natural gas is stored in liquid form. The production and storage of compressed natural gas is somewhat cheaper compared to liquid natural gas, with the fact that the storage volumes are different. From all of this, there is a need to analyze the supply chain with CNG from the aspect of the compression process, transportation and storage costs. This paper describes the process of exploitation of CNG as a fuel for the conditions of functioning of the supply chain in Bosnia and Herzegovina. Real data related to the process of compression, transportation and storage of natural gas were taken from the company: "Prvo gasno društvo, D.O.O. Zvornik". The paper analyzed the indicators of the chain like energy efficiency, CO₂ emissions and production cost reduced per 1 kWh of energy expressed in the lower heat value (LHV) of the distributed fuel. Also, a short comparison the supply chains by CNG, wood pellets and chips as fuels are presented by the MCDM method.

Received: 5 July 2023; Accepted: 21 July 2023; Published: 31 July 2023

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).