



KRIOGENIKUS ENERGIA VISSZANYERÉSE LNG ÜZEMŰ KAMIONBÓL

MUNKAKÖZEGEK

KÉSZÍTETTE: MOLNÁR ANNA JUDIT

E5TS02

SZABÓ DÓRA KRISZTINA

HSRYZX

TÉMAVEZETŐ: DR. IMRE ATTILA RIKÁRD

2021. MÁJUS 6.

BEVEZETÉS

Az LNG (liquefied natural gas), vagyis a cseppfolyósított földgáz egyre nagyobb szerepet kap a világ energiaellátásában. Üzemanyagként történő felhasználása a közúti és tengeri forgalomban gyorsan megnövekedett, és lassan a vasúti fogalomba is bekerül. Ezt a tendenciát első sorban az EU tagországok államigazgatási szervei és a nemzetközi szervezetek lendítették fel, ugyanis a dízel költséghatékony és környezetbarát alternatívájának tekintik. Különböző projektek indultak annak érdekében, hogy széleskörűen felhasználják az LNG-t a közlekedésben a világ minden táján. Bár az LNG-s közúti járművek kezdeti beruházása költségesebb ez várhatóan az élettartamuk során megtérül és hosszútávon megfizethetőbb alternatívát biztosítanak. Emellett az ilyen típusú járművek csökkentenék a CO₂ kibocsátást, ezért szerepük jelentős. A dolgozatban az LNG által adott lehetőségek és kihívások kerülnek elemzésre.

LNG TULAJDONSÁGAI

Az LNG a kőolajtermékekhez hasonlóan egy koncentrált energiahordozó, ami viszonylag könnyedén tárolható és hordozható megfelelő eszközökben. Fizikai jellemzőit tekintve cseppfolyós halmazállapotú, -162°C-on levő, víznél kisebb sűrűségű, színtelen, szagtalan folyadék. 1 m³ cseppfolyós LNG-ből 600 m³ normálállapotú gáz keletkezik. 1 tonna LNG elpárologtatásával kb. 1400 m³ gázt kapunk. Az LNG összetétele megegyezik az előállításához felhasznált földgáz összetételével, így minősége is attól függ. Jellemzően 85-95% metánt tartalmaz, de tartalmazhat más komponenseket is, mint az etán, propán, bután vagy nitrogén. Előállítása a cseppfolyósító üzemekben négy féleképpen is megtörténhet a tisztított földgázból, de a legfontosabb mindnél a gáz komprimálása és hűtése minimum három fokozatban. Egy kilogramm földgáz cseppfolyósításához körülbelül 0,65-0,9 kWh energia szükséges. A tárolást tekintve több ezer négyzetméteres ötvöztött acél tárolókat használnak erre a célra, amelyek külső hűtés nélkül is képesek biztosítani a szükséges -162 °C-os hőmérsékletet. A földgáz szárazföldi szállítóvezetékben történő szállításánál 4000 km fölött, tengerekben pedig 1200 km fölött már több gáz megy el a vezetéki kompresszorok hajtására, mint a szállított gáz mennyisége, így e fölött már az LNG szállítása bizonyul gazdaságosabbnak, ugyanis a földgáz cseppfolyósítása hozzávetőlegesen 600-szor csökkenti annak térfogatát. Az LNG energiataralma alacsonyabb, mint a benziné, vagy dízelé. Egy liter dízel üzemanyag energiaértéke 1,7 liter LNG-vel egyezik meg. Az LNG folyékony halmazállapota lehetővé teszi a dízel üzemanyag áramlásához hasonló áramlást.

LNG VS. DIESEL

Az Európai Unió támogatja alternatív üzemanyagok kifejlesztését a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése érdekében. A gázüzemű kamionok már régóta ismertek a dieselek mellett, de még nem terjedtek el széles körben. Kutatások kimutatták, hogy mindkét választás esetén kompromisszumokat kell kötni. A technológiai fejlődésnek köszönhető kőolaj-finomítási eljárások lévén a diesel elégetése során keletkező szén-dioxid és metán tartalma jelentősen kisebb. A földgáz használat esetén a biztonsági kockázat jóval magasabb, mert az anyag és gőzei még alacsony hőmérséklet és sűrűség esetén is nagyon gyúlékony. A gáz felhasználása korlátozott olyan szempontból is, hogy dombos területeken gyengébben teljesít a dieseleknél és még nincs kiterjedt töltőállomás rendszer. A földgáz csak helyi, városon belüli közlekedésre alkalmas, de folyékony formájában alkalmas hosszú távú szállításra is. Jelenleg még a gázüzemű járművek elterjedését gátolja a magas ára mind az üzemanyagnak, mind a

kamionnak. Európában a nehéz közúti járművekben használt dízel és LNG élelciklusa során üvegházhatású gázkibocsátási vizsgálatokat végeztek. Az üzemanyag élettartama három szakaszra oszlik. Az első szakasz a termelés, amely magában foglalja a gyűjtést és a szállítást, valamint a finomítását és a cseppfolyósítást, a második fázis az elosztás, az utolsó fázis az égés. A folyékony földgáznak (LNG) számos előnye van a benzin vagy gázolajhoz képest. A nagy terminálon cseppfolyósított LNG körülbelül 10%-kal kevesebb kibocsátást eredményez, mint a dízelüzemanyag, a kis üzemben cseppfolyósított LNG pedig körülbelül 3%-kal kevesebb kibocsátást eredményez, mint a gázolaj. A CO₂-kibocsátás csökkentése mellett a SO_x, NO_x és részecskekibocsátás is jelentősen csökken. Elméletek szerint az LNG-teherautók üvegházhatást okozó gázkibocsátása körülbelül 19% -kal alacsonyabb, mint a dízelüzemű teherautóké, és a bio-LNG használatával 67%-ig csökkenthető az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása. Annak ellenére, hogy az említett üvegházhatású gázok csökkentése jelentős, a metán kibocsátás klímaváltozásra gyakorolt hatása nem elhanyagolható, így az LNG-teherautókra való áttérés negatív hatással lehet az éghajlatra. A gázüzemű járművek a tökéletesebb égés miatt kevesebb károsanyagot bocsátanak ki, azonban a jobb égés megnövelheti a légkörben lévő nagyon finomszemcsés részecskék és az üvegházhatású gázok számát is. A dízelről az LNG nehéz tehergépjárművekre való áttéréskor szükséges a metán káros hatásainak csökkentése. Tesztelt technológiák és az eredmények azt mutatják, hogy a háromutas katalizátorral ellátott LNG-teherautók fékspecifikus NO_x-kibocsátása alacsonyabb. Az LNG másik nagy előnye a CNG-vel szemben a nagyobb energiasűrűség, mely a cseppfolyós halmazállapotnak köszönhető, de ez az energiatartalom körülbelül kétharmada a dieselének. Ennek köszönhetően a gázüzemű járműveknél számolni kell fogyasztásnövekedéssel és ezzel párhuzamosan hatótávcsökkenéssel is. További hátrány, hogy az üzemanyag kizárólag nyomásálló és hőszigetelt tartályban lehet tárolni. **Az előbbieken említett problémák miatt nem releváns egyelőre.**

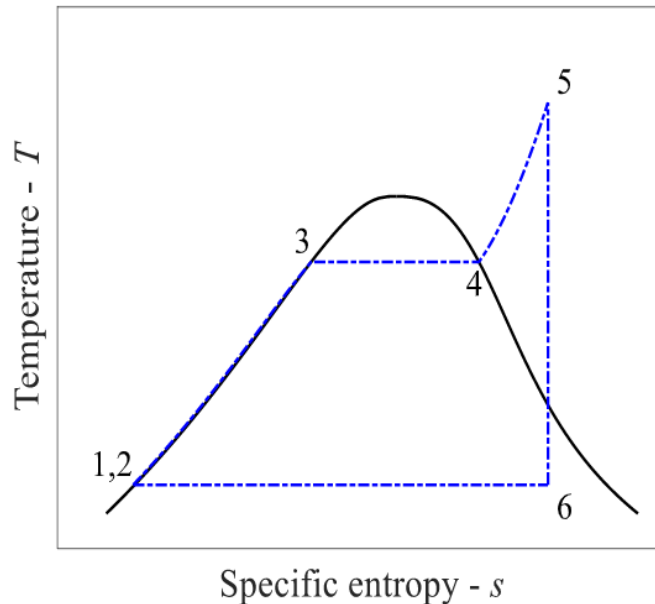
A diesel-LNG kombinált üzemű teherautók egy ígéretes fejlődési irány a jövő megújuló energia alapú energiagazdálkodásának. A kevert diesel-LNG technológia rengeteg hasonlóságot mutat a diesel-hidrogén üzemű járművek felépítésével és működésével. A kettős üzemanyagú diesel-LNG járműveknek hengerenként két nagynyomású injektorra van szüksége, külön mindkét üzemanyag típusnak és turbóra. **Ezek a járművek szén-dioxid, részecske és nátrium-oxid kibocsátása alacsony köszönhetően a magas hatásfoknak.**

Jelenleg a diesel és gázüzemű belső égésű motorok elterjedtek minden járműtípusnál. Az LNG-diesel kettős üzemanyagú rendszerek látható változást elsősorban a tehergépjárműveknél érhetnek el. A környezetvédelmi szabályok szigorodása lévén mind a gyártók és a vevők számára is fontos az alacsony szén-dioxid és részecske kibocsátás. A legnagyobb előnye az LNG-nek a sűrített földgázzal szemben a nagyobb energiasűrűsége, így lehetővé téve a helyi közlekedésen túl a hosszabb távú utakat is.

ORC

Az ORC (Organic Rankine Cycle) vagyis a szerves Rankine-ciklus nagy moláris tömegű szerves folyadékot használ fel, ebben tér el a hagyományos Rankine-ciklustól, ugyanis ott a munkaközeg vízgőz. Közegnek olyan tulajdonságú anyagokat használ fel, amelyek lehetővé teszik a kishőmérsékletű hőforrások alkalmazását pl: geotermikus energia, napenergia, hulladékhő. Az ORC a Rankine-ciklussal analóg módon működő termodinamikai körfolyamat.

A hagyományos ORC felépítése szerint egy hőcserélőből (HE - heat exchanger), ami a hőt közvetíti a hőforrás és a folyamat között. A turbinából (EXP – expander) és rákapcsolt generátorból, ahol a munkaközeg expanziója közben meghajtott generátor villamos energiát állít elő. A kondenzátorban (CD – condenser) a fáradt gőz lecsapódik és a szivattyú (PP – pump) zárja a körfolyamatot.



A szerves Rankine-ciklus
forrás: *Munkaközegek 2. előadás*

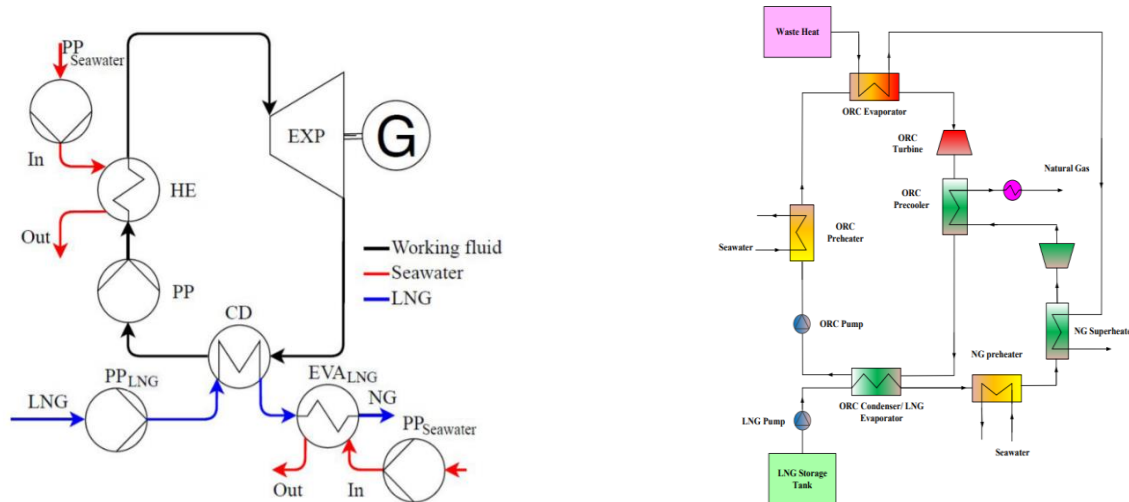
A szerves Rankine-körfolyamat egy jó lehetőség az energiaátalakításra biomassza égetés, geotermális tárolók és hulladékhőből. Egy lehetséges eljárási folyamat lehet a szerves Rankine-körfolyamat (ORC) használata. A szerves munkaközeg használta lehetőséget biztosít számunkra, hogy a rendszer szabályozását energiakapacitás és hőmérsékletkülönbség szempontjából a hőforrás és a hűtőborda között.

LNG ÁTALAKÍTÁSA ORC SEGÍTSÉGÉVEL

A „hideg energia” használható villamos energia előállítására egy kriogenikus rendszerben, ahol a hideg oldal az LNG a meleg oldal pedig a környezeti hőmérséklet, jelen esetünkben a kamion. Áram előállítására az előbb említettek szerint alkalmas az ORC körbe integrált LNG gázzá alakító folyamat. A két oldal nagy hőmérsékletkülönbsége miatt a körfolyamat két- vagy háromlépcsős megvalósítása javasolt. A kétlépcsős folyamat esetén a használt munkaközeg az argon és a metán, míg a három fázisú rendszer esetén propán a munkaközeg, ahol a legmagasabb a folyamat villamos és termikus hatásfoka és exergia hatékonysága.

Az úgynevezett Trilateral Flash Cycle (TFC) esetén az eltérés a hagyományos szerves Rankine-ciklussal szemben az, hogy más a hőcsere folyamata. ORC esetén melegítés után a közeg telített vagy túltelített gőz állapotban van, ellenben a TFC esetén a hőcsere befejeződik, amint a közeg eléri a telített víz állapotot. Másik különbség, hogy első esetben az elgőzölögtetés az egész folyamatrészt során történik, amíg a második esetben csak az adiabatikus tágulás ideje alatt. Az előzően felsoroltakból adódik, hogy a TFC rendszer esetén kisebb a hőcserélőben az entalpiaváltozás, mint az ORC-nél. Az LNG elpárolgatása során mindkét módszer esetén a

rendszer hőcserélője egyben előmelegítője a cseppfolyósított földgáznak, mivel az LNG kivonja a rendszerből a meleg levegőt, miközben a rendszer segít az LNG visszaalakításában.



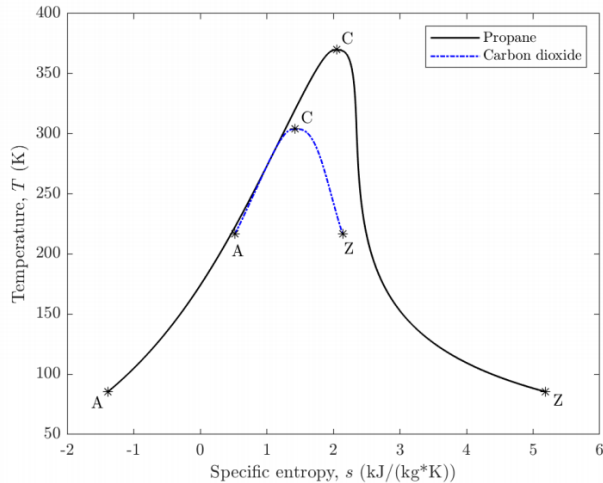
A hagyományos rendszer sematikus ábrái

forrás: <https://core.ac.uk/download/pdf/337612761.pdf>, <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2635672/Haoshui+-+CET+-+ORC+and+working+fluids+for+LNG+cold+energy+recovery.pdf?sequence=1>

Az valós hő emeli a munkaközeg hőmérsékletét állapotváltozás nélkül, azonban a látens hő jelenléte miatt a hőcserélőt az ORC rendszerekben szétszedték fizikálisan, vagy egy multifunkciós berendezést alkalmazva. Az első felelős a folyadék telített állapotának eléréséért a valós hőmennyiséggel, a második egy párologtató, ami a fázisváltásért felelős a látens hő felhasználásával.

MUNKAKÖZEG

A munkaközeg megválasztásánál számos paraméter figyelembe kell venni. Többek között a kémiai stabilitást, továbbá a fémekkel szembeni viselkedést és a termodinamikai tulajdonságokat. Több halogén alkánt is alkalmasnak gondoltak munkaközegnek a kriogenikus ciklusokhoz, de az általuk okozott környezeti problémák jelentősen korlátozzák a felhasználási lehetőségeiket. A környezetvédelem (Ozone Depletion Potential, Global Warming potential) miatt az a tendencia kezd felerősödni, amiben a természetes munkaközegek, azaz a természetben is megtalálható anyagok például alkánok kerülnek felhasználásra. Hasonló megfontolásból a számunkra legmegfelelőbb munkaközegnek a propánt választottuk. A propán egy gáz halmazállapotú anyag melyet cseppfolyósított formában is alkalmaznak. A kőolaj finomítás és a földgáz feldolgozás mellékterméke. Széles körben alkalmazott anyag ugyanis meglehetősen biztonságos energiaforrás és megfelel az Európai Környezetvédelmi Ügynökség normáinak. Negatív tulajdonsága a lobbanékonyasága. Felmerült még szén-dioxid alkalmazása is kedvező ODP értékei és GWP értékei miatt, illetve a hozzáférhetőségnek köszönhetően, azonban a kémiai stabilitás nem olyan jó, mint az alkánoké. Másik hátránya, hogy a használhatósági tartománya limitált. A következő ábra megmutatja, miért a propán került kiválasztás, magasabb munkatartománya miatt, amely tulajdonság elengedhetetlen ilyen nem szokványos hőmérsékletviszonyok között.



Propán és széndioxid hőmérséklet-entrópia diagramja

forrás:

https://core.ac.uk/download/pdf/337612761.pdf?fbclid=IwAR3NaqF80CiYIA_MofE6PNTXX7CXldGF1i3MzrlOotZ_XpOu7_BqjODudss

SZÁMÍTÁS

Adatok: (propán munkaközegre és ORC-re számolva)

hőmérséklet	T [K]	111,15
nyomás	p [MPa]	7
hőcserélő (folyékony közeg)	Δh [kJ/kg]	133,643
hőcserélő (gáz közeg)	Δh [kJ/kg]	360,280
turbina	Δh [kJ/kg]	70,128
kondenzátor	Δh [kJ/kg]	425,145
szivattyú	Δh [kJ/kg]	1,350
LNG szivattyú	Δh [kJ/kg]	33,129
tömegáram	\dot{m} [kg/s]	1
turbina hatásfok	$\eta_{turbina}$ [-]	0,8
szivattyú hatásfok	$\eta_{szivattyú}$ [-]	0,7

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta h$$

$$P_{turbina} = \dot{m} \cdot \Delta h_{turbina} \cdot \eta_{turbina} \rightarrow 56,1024 \text{ kW}$$

$$P_{szivattyú} = \dot{m} \cdot \Delta h_{szivattyú} \cdot \eta_{szivattyú} \rightarrow 0,945 \text{ kW}$$

$$P_{LNG \text{ szivattyú}} = \dot{m} \cdot \Delta h_{LNG \text{ szivattyú}} \cdot \eta_{szivattyú} \rightarrow 23,1903 \text{ kW}$$

$$P_{szivattyú} = P_{turbina} - P_{szivattyú} - P_{LNG \text{ szivattyú}} \rightarrow 31,9671 \text{ kW}$$

A fent elvégzett számítás egy ipari méretű rendszerre vonatkozik, nem autóba építhető, de ehhez találtunk a számításhoz szükséges adatokat.

Vannak **5 kW** ervek kamionba építhető rendszerek esetére, ahol kamion esetén 70 km/h sebesség esetén **5 kW** energiát tud termelni, személyautó esetén ugyanekkora sebességnél 400 W-ot. Ez esetben a rendszer kialakítása szerint a legmagasabb hőmérséklet nem haladná meg a 87 °C-ot. Továbbá nincs kapcsolat az ORC rendszer és a kipufogógáz között, így nincs szükség különleges burkolóanyagokra. A helyesen megválasztott munkaközeg esetén a nyomás egy

alacsony értéken marad ezzel jelentősen csökkentve az elemek költségeit. Egy konstans melegoldali hőmérséklet esetén könnyebben kontrollálható a rendszer a motor tranzienis viselkedése ellenére is. Végül, az ORC biztonságosabbá tehető egy nem gyúlékony munkaközeg alkalmazása esetén alacsony nyomás- és hőmérsékletviszonyok mellett. Ezen biztonságnövelő tulajdonságok egy baleset esetén kiemelt szerepet kapnak.

- Állandó motornál, ha normál hangerőn hallgatjuk a rádiót 1-1,5A körüli az áramfelvétele, amihez még pluszba hozzá kell számolni a 100-200 milliampert, mivel a rádió csak akkor szólal meg ha a gyújtáskulcs ACC állásban van. Erre azért van szükség, mert egy készenléti állapotot tart fenn a többi elektromos kiegészítőnek, mint például a szivargyújtó és az elektromos ablak. Az autórádió 12V-os kábellel van bekötve ennek ismeretében már számítható az általa felhasznált teljesítmény.

- Mindkét áramérték számtani közepét véve:

$$P_{\text{rádió}} = U \cdot I \rightarrow 16,8 \text{ W}$$

<https://tipparuhaz.hu/blog/autoradio-bekotese?fbclid=IwAR2-S5SrrhRbOQIIJsr-jZ3l5SqOcr75ZYRxiVBr7-nQDbNaxDn6eXOBBE>

https://totalcar.hu/tanacsok/kutyudoktor/2013/09/13/mennyit_fogyaszt_az_autoradio/?fbclid=IwAR3eh0-hSIftkabTSNqSpopCXG2qsMC60Yv42zwm348BtdQ0Wun0kz6C1pU

- Egy kamion klímahűtő áramfelvétele 8A 24 V feszültségen.

$$P_{\text{klíma}} = U \cdot I \rightarrow 192 \text{ W}$$

https://www.dometic.com/hu-hu/hu/term%C3%A9kek/kl%C3%ADma/1%C3%A9gkondicion%C3%A1ll%C3%B3-berendez%C3%A9sek/teherauto-alloklimak/dometic-coolair-rtx-1000-_189944

- Az ablakemelő teljesítményigénye 2x8,2 W

$$P_{\text{ablakemelő}} = 16,4 \text{ W}$$

https://www.motoprojekt_molnar_szabordoktor.hu/products/8440866-villanymotor-ablakemelo

- Fényszóró becsült fogyasztása: 12*2 W (index, ködlámpa, fényszóró, féklámpa, hátsó lámpa)

$$P_{\text{világítás}} = 24 \text{ W}$$

<https://www.kamionvilag.hu/products/lampa-helyzet-ledes-lezer-zold-110x30-5x18mm-1773652436.html>

Összes elektromos teljesítményigénye:

$$P = 0,2492 \text{ kW}$$

Tehát, az **adatinkból** kikövetkeztetve a beépített szerves Rankine-körfolyamat által szolgáltatott elektromos teljesítmény fedezi a kamion alapvető elektromos igényeit. Természetesen ez változhat, ha megváltoztatjuk a paramétereket, teljesítményigényt.

KONKLÚZIÓ

Összeségében az LNG számos előnye közé tartozik a viszonylag könnyű szállíthatóság és nagy energiasűrűsége, továbbá az alacsony szén-dioxid, részecske és nitrogénoxid kibocsátása. Az előbb felsoroltak miatt alkalmazása a nehéz tehergépjármű-forgalomban nagy lehetőségeket tartogat. A kamionok, teherautók hagyományos üzemanyagaihoz képest a kedvezőbb kibocsátási értékek miatt a járművek magasabb kezdeti beruházási ára ellenére is előnyben

részesítik az LNG-t a dízelüzemanyagokkal szemben. Ez a tendencia különösen az EU országokban érvényes a dízelt kizorító jogszabályok bevezetésével. A kipufogógáz-kibocsátás csökkentése és az energiaszektor dekarbonizálása érdekében az Európai Unió stratégiai céljai közé tartozik, az LNG-t és más alternatív üzemanyagok használatának ösztönzése különböző projektek és jogi lehetőségek révén. Az elvégzett kutatások eredményei azt mutatják, hogy az LNG-nek a közúti közlekedésben való megnövekedett szerepe környezeti és pénzügyi előnyökkel járhat, következésképpen növelheti az LNG versenyképességét. Az LNG-t ORC-vel kombinálva elérhető villamosenergia termelése, amely részben fedezi az adott jármű elektromos energia igényét. A rendszer optimális működéséhez azonban számos paramétert figyelembe kell venni, köztük a munkaközeget, ami nagyban befolyásolja a biztonsági és fenntarthatósági szempontokat. A cseppfolyósított gáz meghatású gépjárművek széleskörű elterjedése még nem valósult meg ugyanis a számos előnye mellett a hátrányai is igen számottevőek és ezeknek a megoldása még várat magára.

FORRÁSOK

- Szilágyi Zsombor: LNG a mit tudni illik a cseppfolyós földgázról: https://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2013/junius/2836-lng-a-mit-tudni-illik-a-cseppfolyos-foldgazrol?fbclid=IwAR2g5eIOBoAdoN0IY5CfcxVvMfieIavQ80-Ny8Wd6gwS2ITilpfJG_v23rk (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- Ivan Smajla, Daria Karasalihočić Sedlar, Branko Drljača, Lucija Jukić: Fuel Switch to LNG in Heavy Truck Traffic <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/3/515/htm> (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- Alberto Boretti: Advances in Diesel-LNG International Combustion Engines <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/4/1296/htm> (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- Freightliner: Natural Gas Trucks vs Diesel Trucks <https://freightliner.com/blog-and-newsletters/natural-gas-trucks-vs-diesel-trucks/> (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- Gyartastrendek.hu: Veit András: Földgázüzemű nehézgépjárművek http://gyartastrend.hu/muveltmernok/cikk/oldgazuzemu_nehezgepjarmuvek (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- Protect Engineering: Autonomus LNG Fuelling System <https://rotec-engineering.nl/robotic-fuelling-systems/lng-fuelling-system/> (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- M.E.Mondejar, J.G.Andreasen, L.Pierobon, U.Larsen, M.Thern, F.Haglund: A review of the use of organic Rankine cycle power systems for maritime applications <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211830162X#s0125> (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- Sindu Daniarta, Attila R. Imre: Cold Energy Utilization in LNG Regasification System Using Organic Rankine Cycle and Trilateral Flash Cycle: <https://core.ac.uk/download/pdf/337612761.pdf> (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- Helen Fitzgerald: Advantages & Disadvantages of Using Propane <https://sciencing.com/advantages-disadvantages-using-propane-12028888.html> (Utolsó letöltés: 05/05/2021)
- Tankönyvtár: Kettős közegű erőművek: https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011_0059_SCORM_MFKGT506_4/sco_05_03.scorm (Utolsó letöltés: 05/05/2021)

- Pierre Leduce, Pascal Smague, Arthur Leroux, Gabriel Henry: Low temperature heat recovery in engine coolant for stationary and road transport applications