

LNG üzemanyag infrastruktúra fejlesztés és felhasználás európai és hazai tapasztalatai, nyitott szabályozástechnikai kérdések

Domanovszky Henrik

Okleveles közlekedésmérnök, Ph.D kandidáns, LNG.hu Engineering Kft.,

domanovszky@lng.hu

Abstract: Az LNG üzemanyag közúti elterjedése Európában, követve más földrészekét, az elmúlt 3 évben intenzíven látható hatékony eredményeként az egy évtizeddel ezelőtt meghatározott Uniós szakpolitikai intézkedéseknek. Azonban az elterjedés nem homogén, amit részben a természeti és gazdasági adottságok, részben pedig a tagállamok eltérő intézkedései magyaráznak. A fuvarozással foglalkozó ágazat számára a homogén közúti elterjedés elérése volna kívánatos, Európa számára pedig szükséges.

BEVEZETÉS

2019-ben megtartott XIII. IFFK keretében beszámolót adtam az első magyarországi LNG töltőállomás megvalósításáról és üzemeltetés kezdéséről [1]. Az akkor megfogalmazottak ismétlését kerülendő csak a jelen értekezéshez szükséges legfontosabb információkra utalok vissza.



Fig.1.: M0 Szigetszentmiklós LNG&LCNG töltőállomás első feltöltése, 2019 május [foto: Domanovszky Henrik]

A 2014/94/EK irányelv (DAFI) az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájának kiépítéséről mára jól láthatóan számos eredményt hozott a három (e-mobility, g-mobility, h-mobility) nevesített alternatív üzemanyag-hordozó töltőinfrastruktúra hálózatának kiépítése terén, míg más következmények keserű tapasztalatot szolgáltatnak a szakma és így az egész európai lakosság számára.

Az eredeti szándék a közúti közlekedés kizárólagosan kőolaj alapú kiterjedése mellett az alternatív energia-hordozók elérhetővé tételével az energia-ellátás biztonságosabbá, kiegyensúlyozottabbá tétele. Nem utolsósorban pedig a célok között az emissziós terhelésének csökkentése is jelen volt. A félresikerült – kizárólag kipufogó szemléletű – szabályozás sorozatnak és még inkább a 19 őszén felállt új EU Bizottsági vezetés Green Deal politikájának köszönhetően az energiahatékonyságot szorgalmazó intézkedések helyébe a kizárólag elektrifikációt támogató, sőt kényszerítő intézkedések sora lépett. A politikai fordulat hatására 2021-ben a 2008-as olajválságot is jóval túlszárnyaló hatású energiaválságot kell átéljünk, ezzel a híresen lassú európai bürokrácia bizonyosan egy rekordot elért; stratégiai döntésének még sosem volt ilyen hirtelen és súlyos hatása.

Feledésbe merült az eredeti szándék, miszerint több alternatíva jelenléte a közlekedés egészének stabilitását erősíti és ennek ára lesz. A következő hetekben az általános AdBlue adalék hiánya miatt vélhetően teljesen le fog bénulni a közúti áruszállítás. Az elmúlt hetek pedig tökéletes mintát szolgáltatnak arra, amikor az áramhiány miatt a járműtöltések meghiúsulnak és ezáltal jól látható, hogy a teljeskörű elektrifikációra való törekvés zsákutca. A napokban még egy vasúti vontatást végző vállalkozás vissza tudott állni Angliában a dízelüzemre (a teljesen villamosított pályán!), mert a villany ára olyan szintre emelkedett, ami számukra már nem fenntartható. De a közúti járművek belsőégésű motorjainak politikai eszközökkel való betiltását követő néhány év elégséggé válhat arra, hogy a teljes közúti közlekedés lebénulhasson áramhiány, vagy akár csak egyszerűen a hideg idő hatására.

A mindent és mindenkit elektrifikálni szándékozó politika, mely már semmilyen egyéb hajtásmódot nem látat politikailag korrektnek és teljes erővel kenderi mindazokat a problémákat, amely műszaki, gazdasági és környezeti hatásai miatt a kitűzött célokat lehetetlenné, vagy legalábbis mindenképp kerülendővé teszik, a gyakorlati élet számára pedig az „útiter” alig járható.

Az említett 2014/94/EK Irányelv hatására a villanytöltők terjedésének látható (bár a kizárólag villanyautó politika nagyságrendjében gondolkodva teljességgel elégtelen mértékű) sebessége mellett, valamint a legutolsó két évben felerősödő, épp a „kizárólag akkumulátor-hajtás” kivitelezhetetlensége miatt fokozódó hidrogén üzemanyag alapú beruházások és fejlesztések közben az LNG infrastruktúra és járművek szaporodása még intenzíven jelen van. Mindez azonban a geográfiailag kiegyensúlyozott fejlődés halvány jelét sem mutatja Európában. A piaci mechanizmusok egymást erősítő és gyengítő rendszerében a történelmi vasfüggöny rendkívül gyorsan rajzolódott ki újra, méghozzá a 80-as éveket idéző változatában, amikor Lengyelország már a reformjainak köszönhetően a blokk elhagyásának útján járt. Így lóg ki a sorból ma Lengyelország.



Fig.2.: Az új évtized mintegy 250 LNG töltőponttal köszöntött be, ebből a „vasfüggöny” ezen oldalán mindössze 11 töltőpont létezett. [ábra: szerző saját]

A Fig.2. és Fig.3. ábrákat követve, jól azonosítható az eltérő terjedési sebesség, ami elsősorban gazdasági okokra, az import terminálok közelségére, az ipar termeléséből eredő közúti áruszállítás volumenének méretére, valamint a tagállamok eltérő intenzitású ösztönző intézkedéseire vezethető vissza. Habár a tagállamok elemi érdeke az egységes áruszállítási tér, az akadályoktól mentes áruszállítás lehetővé tétele, a minden szakminiszter által elfogadott alternatív üzemanyag stratégia megvalósítása, mégis számos tagállam szelektál és a legkisebb mértékű, akár csak politikai kinyilatkoztatás szintű támogatást sem nyújt egyik, vagy másik stratégiai elem részére.

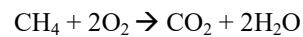


Fig.3.: 21 hónap alatt közel újabb 200 töltőpont nyílt meg Európában, a bővülés mindössze 5 %-a valósult meg keleten. [ábra: szerző saját]

A publikációban egy működőképes LNG hálózat kialakításának, üzemeltetésének jellemzőin és problémáin keresztül mutatom be egy elégséges hálózat kialakításának szükségleteit.

1. METÁN MOLEKULA

Összefoglalásul; a metán molekula, azaz CH₄ a legkisebb és legegyszerűbb szénhidrogén molekula, mely egyúttal számos forrásból áll rendelkezésünkre. A környezeti viszonyok között gáz halmazállapotú, színtelen és szagtalan, nem mérgező, nem korrozív, vízzel nem keveredő és annak tulajdonságait nem befolyásoló, levegőnél könnyebb és emiatt sok szempontból a legtöbb más szénhidrogénnél biztonságosabb molekula további előnyös tulajdonsága a tiszta égése.



Széndioxid és vízgőz, nincs lerakódás, részecske, nitrozuszgázok. Minden más szénhidrogénnél nagyobb a H/C arány, emiatt egységnyi elégetésekor a legalacsonyabb a CO₂ képződése. A jelenlegi széndioxid kibocsátáscsökkentési célok számára a legkedvezőbb tulajdonságú szénhidrogénünk.

A metán molekula sűrűsége alacsonyabb a levegőnél, tehát közlekedési energiaigény fedezésére környezeti állapotában alkalmatlan, azonban nagy nyomásra sűríthető, mely lehetőséget már évszázada használunk. Mai közismert, szabványosított és jól szabályozott forma a CNG (Compressed Natural Gas), azaz sűrített földgáz, amely névlegesen 200 bar nyomású gázt takar. A metángáz legnagyobb kezelhető energiasűrűségét a folyadék halmazállapotában érjük el. Széleskörben ezt hívjuk LNG-nek (Liquefied Natural Gas), magyarul cseppfolyósított földgáznak. Az LNG közel 600-szoros, tehát adott térfogaton mintegy háromszor annyi energiát jelent, mint a sűrített gáz

állapotában, ráadásul alacsony nyomás mellett, így a tárolásához sem kell olyan erős edény mint a CNG esetében.

A metán cseppfolyósított halmazállapotának eléréséhez azonban a gázt hűteni szükséges addig a pontig, amíg a gáz cseppfolyós halmazállapotba nem kerül. Ez a forráspont 0,1 MPa nyomáson 111,51 K hőmérsékleten [2] következik be (köznyelven -161,6 °C 1 bar nyomáson). Ezen a ponton a metán 422,8 kg/m³ fajsúllyal rendelkezik [3].

A metán P-T görbét a [1] publikációban bemutattam. Érdekes azonban egy kicsit ismételni, mélyebben megismerni a Fig.4 ábrát, annak érdekében, hogy a következő fejezetekben taglaltak értelmet nyerjenek. A metán két másik jellemző hőmérsékleti pontja [2] az olvadáspont c_m 90,64 K-nél és a kritikus pont, amely 190,56 K hőfokon következik be (0,1 MPa nyomás mellett). A c_p kritikus ponthoz tartozó nyomás érték 4,5992 MPa, ami jelentős és biztonságos távolságban van az LNG üzemanyaglánc működési nyomáspontjainak határértékeitől. Az ábra jelölései mutatják; a terminálokból érkező LNG rendszerint a 0,1-0,25 MPa tartományban mozog, bár ennél magasabb értékek is léteznek. A töltőállomások működési tartománya a 0,5-1,0 MPa, míg a jármű üzemanyagtartályok járműtípustól függően (értelmezés [1] korábbi publikációban) a 0,4 vagy 0,75 MPa nyomásminimum és egységesen 1,6 MPa nyomásmaximum értékkel dolgozik.

Mindebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az LNG üzemanyagcélú felhasználásának teljes ciklusa mintegy 111 K és 156 K (-162°C és -117°C) közötti ~45 K széles tartomány, ahol is a töltőállomásra a 130 K és a 146 K közötti tartomány számolható.

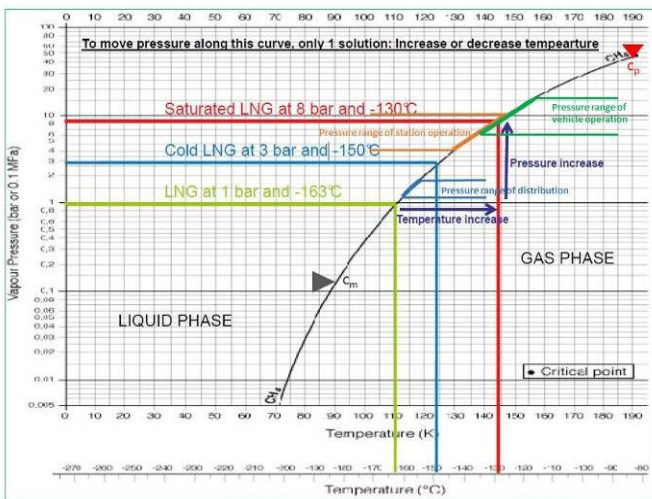


Fig.4.: A metánra felvázolt fázis görbe mutatja az LNG üzemanyaglánc jellemző tartományát, amely 1-16 bar között mozog, beleértve a jármű üzemét is. [ábra: ismeretlen eredetű, szerző addicionális információkkal módosította]

2. CSEPPFOLYÓSÍTOTT FÖLDGÁZ JELLEMZŐI

A fent leírt cseppfolyósított metán a valóságban nem azonos a cseppfolyósított földgázzal, vagyis a való életben előállított és felhasznált LNG-vel, viselkedésükben eltérés mutatkozik.

Az LNG ugyanis nem kizárólag metán molekulából áll. Attól függően hol termelik, a földgáz összetevői valamely mértékben eltérnek egymástól és ez nem csak a gázcsőben lévő gázra igaz, hanem bár kisebb mértékben, de igaz az LNG-re is. Közöttük a különbség, hogy az LNG-ben inert gázokban legfeljebb nitrogén található, ami meg sem közelíti az 1 százalékos mértéket.

Az LNG Importőrök Nemzetközi Csoportja (GIIGNL) által közölt publikáció [4] jól szemlélteti a molekuláris összetétel származási hely szerinti különbségeket (Fig.5). Ebből következik számos tulajdonságbeli deviancia is, amit a fajsúly különbségek is mutatnak. A listán szereplő LNG-k esetében 421,39 kg/m³ és 478,72 kg/m³, azaz 13,5 százalék az szállított fajsúly sáv szélesség.

A nagy LNG termelő és importőr cégeknek ez a deviancia jelentős kihívást jelent az elszámolás során. Mivel az óriási – akár 262 ezer köbméteres – Cargo-k elszámolásának alapja az energia tartalom, az újragázosított LNG, ún. normál állapotban mért fűtőértékében a táblázatbeli fuvarok a 39,91 és 46,24 MJ/Nm³ érték között szórnak. Az átfejtés során egy mérési pontatlanság óriási, euróban 6-7 jegyű elszámolásbeli különbséget eredményezhet. Ráadásul a fogadó és szállító félnek előzetesen meg kell tudnia egyezni az alkalmazott mérési és számítási módszertan kölcsönös elfogadásáról.

Origin	Nitrogen N2 %	Methane C1 %	Ethane C2 %	Propane C3 %	C4+ %
Australia NWS	0.04	87.33	8.33	3.33	0.97
Australia Darwin	0.10	87.64	9.97	1.96	0.33
Algeria Skikda	0.63	91.40	7.35	0.57	0.05
Algeria Bethioua	0.64	89.55	8.20	1.30	0.31
Algeria Arzew	0.71	88.93	8.42	1.59	0.37
Brunei	0.04	90.12	5.34	3.02	1.48
Egypt Idku	0.02	95.31	3.58	0.74	0.34
Egypt Damietta	0.02	97.25	2.49	0.12	0.12
Equatorial Guinea	0.00	93.41	6.52	0.07	0
Indonesia Arun	0.08	91.86	5.66	1.60	0.79
Indonesia Badak	0.01	90.14	5.46	2.98	1.40
Indonesia Tangguh	0.13	96.91	2.37	0.44	0.15
Libya	0.59	82.57	12.62	3.56	0.65
Malaysia	0.14	91.69	4.64	2.60	0.93
Nigeria	0.03	91.70	5.52	2.17	0.58
Norway	0.46	92.03	5.75	1.31	0.45
Oman	0.20	90.68	5.75	2.12	1.24
Peru	0.57	89.07	10.26	0.10	0.01
Qatar	0.27	90.91	6.43	1.66	0.74
Russia Sakhalin	0.07	92.53	4.47	1.97	0.95
Trinidad	0.01	96.78	2.78	0.37	0.06
USA Alaska	0.17	99.71	0.09	0.03	0.01
Yemen	0.02	93.17	5.93	0.77	0.12

(1) Calculated according to ISO 6578 [T = -160°C]

(2) Calculated according to ISO 6976 [0°C / 0°C, 1.01325 bar]

Fig.5.: Eltérő származású LNG molekuláris jellemző összetétele, a készítés évében. [forrás: GIIGNL, utolsó frissítés 2012]

Dacára annak, hogy LNG Cargo-k csaknem 60 éve érkeznek Európába, még ma is jelentős kutatások és fejlesztések folynak az LNG metrológiájának finomítása érdekében.

A kriogén halmazállapotú szénhidrogén molekuláris összetétel variációiból eredő különbségek megállapításának és értékelésének komplexitását, valamint a meglévő tudás bizonytalanságát mutatja egy kutatócsoport által bemutatott új eredmény, az EOS-LNG [5]. Jelenleg általánosan és referencia számítási alapként a matematikai megközelítésű GERG-2008 modellt alkalmazzák. Az EOS-LNG kidolgozása során 100 K és 180 K tartományban, egészen a 10 MPa nyomásértékig pontos mérésekkel molekulapárokat vizsgáltak C1-hez keverve C2-től a C5-ig terjedő szénhidrogén molekulákat és azon gázelegyek tulajdonságait.

Érzékeltetésül kiragadva a kutatás eredményéből egyetlen ábra-párt, látható milyen jelentős eltérés mutatkozhat egy korábbi modell és az új vizsgálati eredmény között. A (Fig.6.) ábrán a C1 (azaz metán) és a C5 (pentánok) folyadékhalmazállapotú gázkeverékének fázis diagramja van feltüntetve. A két grafikon szemlélteti, hogy adott 0,1 MPa nyomáson a folyadék határgörbe 141 K, 124 K és 108 K hőmérsékletek esetén milyen metán-pentán mol arányra igazak. Az eredmény plasztikus érzékeltetésére érdemes kiemelni: míg a GERG-2008 matematikai eszköz szerint a 108 K/0,1 MPa hőmérséklet és nyomás viszony mentén a folyadékhalmazállapot határgörbéje 98 % metán mol százalék esetén teljesül, addig az új, mérésrel igazolt eredmény szerint ehhez a ponthoz mindössze 78 % metántartalom társul. A görbének laposabb íve pedig azt szemlélteti, hogy a „meleg”, 141 K/0,1 MPa állapotban a fázisváltás határvonalának teljesülése 90 % metántartalom helyett mindössze 52 % metántartalomra igaz.

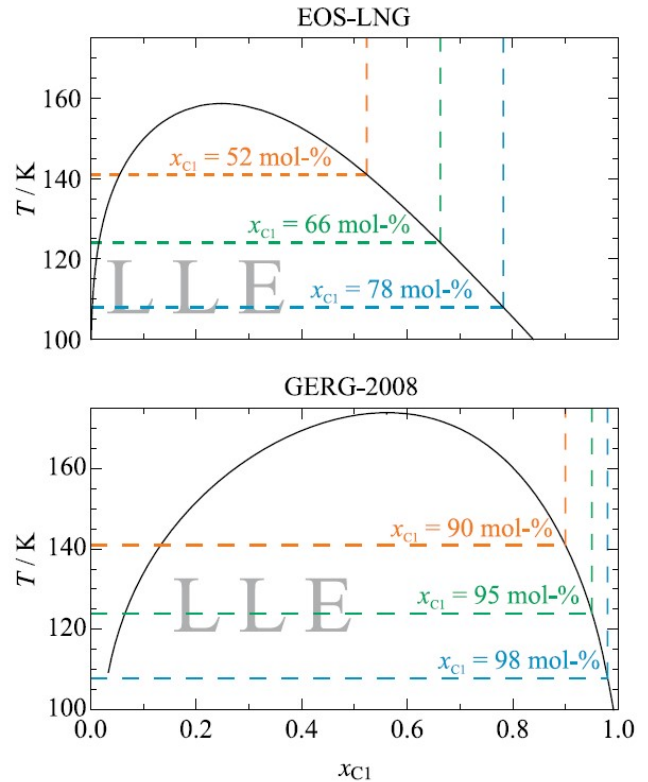


Fig.6.: EOS-LNG (fent) és GERG-2008 (lent) eredmények összehasonlítása a T-x diagramra, ahol két molekulapár szerepel a vizsgált közegben a metán mellett a C5 szénhidrogének, eszerint x a C1 mol százalékaival egyenlő és a közeg nyomásértéke konstans 0,1 MPa. [forrás: EOS-LNG 5.]

Ennek a különbségnek az egyik gyakorlati vonzata, hogy miközben egy tartályban az LNG melegszik, az adott gázösszetételre a szaturációs hőmérséklet lényegesen melegebb állapotban következik be, mint a korábbi számítás szerint.

A vázolt problémát okozó jelenség magyarázatául szolgáljon a következő (Fig.7.) ábra, amely a C1 – C4 szénhidrogének P-T fázisgörbéjét szemlélteti 1 bar nyomásértéktől.

Egy töltőállomás, de az egész ellátási hálózat számára fontos üzemeltetési következmények erednek az ábrán szereplő molekuláris eltérésekből. Tekintettel arra, hogy két eltérő összetételű szállítmány adott hőmérsékleten eltérő nyomásértéket eredményezhet, határ feltételek körül működő berendezések esetén a molekuláris eltérések a beállítások módosítását jelentik.

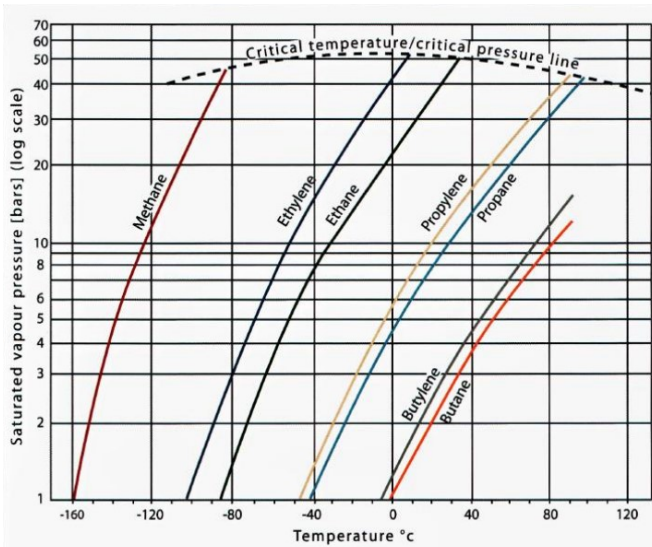


Fig. 7.: C1 – C4 szénhidrogének P-T fázisgörbéje [forrás: GOLNG Liquefied Natural Gas General Knowledge]

A molekuláris inhomogenitás talán legfontosabb következménye az „LNG ageing”, azaz a „korosodás” jelensége. Egyrészt a nyugalomban lévő folyadékban idővel kismértékű rétegződésnek indul a folyadéktest, a nehezebb komponensek lejjebb, a könnyebb molekulák feljebb kerülnek, amennyiben nem valósul meg a folyadék rendszeres keverése. Mialatt az LNG hőt vesz fel a környezetétől – ami a legjobb minőségű hőszigetelés mellett is bekövetkezik – a folyadékfelszín felülete lassan, de folyamatosan gőzölög, tehát a tartály tartalmának egy kis része fázisváltáson megy keresztül. Ebben a folyamatban természetesen előbb az illékonyabb metán molekulák vesznek részt, majd pedig a nehezebb szénhidrogének következnek és természetesen a két folyamat egymást erősíti.

A vázolt „ageing” hatás eredményeként idővel megváltozik az LNG összetétele, ami a korábbi publikációmban ismertetett [1.] MN, azaz a Metánszám módosulását hozza. Tekintettel arra, hogy az MN értékét a modern, földgázra fejlesztett és ezért magas kompressziójú motorok miatt szükséges egy elvárt szinten tartani, ellenkező esetben kopogásos égés és ebből motor meghibásodás eredhet, aminek a lehetőségét is el kell kerülni.

A jelenséget érzékeltető, egy példa erejéig vegyünk egy aktuális (2021. szeptember 11.-i) terminál LNG összetételt, a jellemző belga származási helyről. A kimutatás szerinti gázkompozíció mol%-ban: C1: 92,7388; C2: 7,1126; C3: 0,0922; C4: 0,0315; C5: 0,0021; N: 0,0228.

Ennek az összetételnek az EN ISO 15403-1:2008 model szerint számoló modell szerint az MN értéke 84,2, teoretikusan a MON szerinti kompressziótűrése 129,84. Ha a példa érdekében, 3 százalék CH₄ elgőzölgésével számolunk, 2,6 % veszteségünk keletkezik, a megváltozott összetétel pedig MN: 74,52-re esik, a kompressziótűrés pedig elvben 123,14. A motorgyártók általánosságban az MN 80,

vagy legalább az MN 75 értéket elvárják az üzemanyagtól, az alatt a motorteljesítmény erőteljesebben változik [9], sőt az üzemanyag károsná is válhat.

Az MN megfelelő szinten tartásához egyetlen gyakorlati útitervezés áll rendelkezésre, az LNG disztribúciós és kiszolgáló pontok tartályaiban a kellő sűrűségű utanszállítás és a folyadék cirkuláltatás biztosítása.

3. LNG TÖLTŐÁLLOMÁS JELLEMZŐI ÉS EURÓPAI KÖRKÉPE

Amint a Bevezetés keretében ismertettem, az előadás időpontjában mintegy 450 LNG európai töltőpont áll rendelkezésre a közúti közlekedés ellátásának céljára. Néhány ezek közül multifunkcionális, például a CNG járművek kiszolgálását is végzi, amilyen a korábbi publikációban ismertetett [1] Magyarország első töltőállomása is. Többségében azonban a töltőállomások kizárólag LNG üzemanyag kiszolgálására alkalmasak.

Az ISO munkacsoportban, a mára adoptált ISO EN 16924 szabvány szövegezése során három kiépítési kategóriát szövegeztünk meg: a telepített, a mozgatható és a mobil LNG töltőállomásokat.

Az elnevezések beszédesekek, a telepített töltőállomások, mint a közforgalmi benzinkutak, létesítéséhez munkaigényben és költségében jelentős nagyságrendű mélyépítési munka társul. A tervezés során számos intézkedés történik a töltőállomás kapacitásának maximalizálása és a működési költségek csökkentése érdekében, továbbá a biztonsági intézkedések fokozása és az időállóság javára.



Fig. 8.: Mozgatható LNG töltőállomás tankolást végző LNG nyergesvontatóval. (forrás: szerző)

A mozgatható töltőállomás létesítésének vezérfonala ezzel szemben a létesítési költségek alacsonyan tartása, a létesítési idő rövidítése és kevésbé fontos a helyszín hosszú távú fenntartására irányuló törekvés. Hiszen amennyiben középtávon a helyszín nem lesz optimális, a töltőpont áttelepíthető egy másik, nagyobb forgalom reményű helyszínre. De éppen ellenkezőleg, amennyiben a helyszínen

az idők során a forgalom feszegeti, vagy meghaladja a töltőpont kapacitását, úgy egy második lépcsőben, következő beruházással a töltőállomás helyére egy telepített nagykapacitású töltőpont létesíthető. Ekkor a mozgatható töltőpont egy következő helyszínen helyezhető üzembe és lényegében az eredeti beruházás veszteség nélkül üzemeltethető tovább. Ez a megfontolás gazdasági alapon nagyon sok beruházónál eredményezi a mozgatható töltőállomás létesítésének előtérbe helyezését.

A mobil töltőállomás gyakorlatilag kerekeken guruló kompakt egység, ami segíti a kezdeti időkben az LNG üzemű járművek üzembeállítását, a pilot projektek megvalósítását. Lehet egy-egy alkalmi töltésre megvalósuló szolgáltatás, vagy egy hosszabb időszakra szolgáló töltőpont létesítés, ahol rendszerint az import terminál, vagy más LNG származási hely viszonylag közel található és így a töltőpont maga végzi el az utánszállítás feladatát, kiküszöbölve ezzel a tankerjármű szükségét.



Fig. 9.: Példa egy kis kapacitású mobil LNG töltőegységre. (forrás: SNAM)

Magyarországon immáron mindhárom töltőpont változatra, a telepített, a mozgatható és a mobil kiszolgálásra is van példa és tapasztalat.

4. LNG TÖLTŐÁLLOMÁS TECHNOLÓGIÁK ELTÉRŐ MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGI KORLÁTAI

Tekintettel arra, hogy a töltőállomás részeinek bemutatása a XIII. IFFK keretében kimerítően megtörtént [1], erre részletesen nem térek vissza, leszámítva két egységgel kapcsolatos megfontolásokat alábbi részleges taglalását.

Korábbi időkben számos töltőállomás létesült, jellemzően költség megtakarítási céllal, jellemzően mozgatható változatban, melyek az LNG szivattyú nélkül, egyszerűen környezeti levegő-folyadék típusú hőcserélő által előállított folyadéknyomás különbség módszerrel oldották meg a feltöltéseket („Saturation on the fly system”). Az eljárás célja az egyik legköltségesebb, leglassabb szállítási idővel rendelkező és szofisztikált vezérlést igénylő komponens, az LNG szivattyú kiváltása. Az eredmény azonban lassú és nagy gyakorlatot igénylő töltés, mely az önkiszolgáló működés lehetőségét teljesen kizárja.

A töltőállomások ezen túlmenően eltérnek egymástól az LNG tartály konstrukciójában is; a hengeres, duplafalú tartályok lehetnek horizontális és vertikális felépítésűek. A vertikális kialakítás természetesen kizárólag a telepített töltőállomások létesítéséhez jöhet szóba, mivel a kivitelezés jelentős méretű, a talajmechanikát figyelembe vevő méretezést követő vasbeton alap kivitelezésével kell elkezdődjön. A talajmozgás, szellőkések és egyéb környezeti jellemzők figyelembevételével méretezett, nagyságrendileg 200 m³, vagy akár az azt meghaladó tömb készítenő egy 60-80 m³ víztérfogatú vertikális tartály szakszerű lehorgonyzásához.

A horizontális felépítésű tartály talajnyomása azonban nem jelentős, egy kamionnyi terhelésnek felel meg, így általános szilárdburkolatú fogadófelület elégséges előkészítés tud lenni.

A két tartály konstrukcióból adódik az üzemeltetésre vonatkozó néhány különbség. Az egyik; a folyadék felszín felületének nagysága eltér, így a felületi gőzképződés is különbözik. Eltér a napsugárzásnak kitett fémfelület nagysága is, ami így szintén negatívum a horizontális tartályok esetében. A folyadékoszlop magassága a vertikális tartályoknál nagyobb, ezáltal előnyösebb a csőrendszer átöblítése, lehűtése során. Ezt kompenzálóan a horizontális tartályokat meg kell emelni, vagy más megoldással kell segíteni a lehűtési folyamatot, folyadékáramlást.

A hosszú távú üzemeltetéshez egyértelműen kézenfekvőbbnek tűnik tehát a vertikális tartály elhelyezés, hacsak a helyi építési szabályzat a magas tartály tornyok felállítását nem tiltja. Ezzel szemben megvalósíthatóság és költség-, időfaktorában egyértelműen kedvezőbb választásnak minősül a horizontális tartály választása.

Számos országban megjelenik még egy furcsaság; a villámvédelmi előírások betűszerinti, de a gondolkodást teljességgel nélkülöző alkalmazása. Míg az európai villámvédelmi rendelet előírja a villámfelfogók és elvezetők alkalmazásának kötelezettségét, addig jól látható, hogy azokban az országokban, ahol ennek értelmezése során a tervezők és a hatóságok/hivatalok megértik a fizikának a vonatkozó tételeit, ott fölösleges és költséges óriási villámfelfogó rudak elhelyezésére nem kerül sor. Tekintettel azon tényekre, miszerint a duplafalú LNG tartály – mint egy Faraday kalitka – önmagában betölti a villámfelfogó és levezető szerepet anélkül, hogy a belső tartályt a villám feszültsége elérhetné, továbbá, az LNG tartály belsejében nincs olyan közeg amelyet a villám meggyújthatna, berobbanthatna, vagy bármilyen formában incidenst okozhatna egy villámcsapás.

A töltőállomások üzemeltetését meghatározó tervezési paraméter közül az egyik legfontosabb a tartály méret kiválasztása. Természetesen az utántöltés kialakítható gyakorlatával szoros összhangban. Utalva itt a 2. fejezet végső mondatára, a megfelelő LNG minőség fenntartása

érdekében a kellő sűrűségű utánszállítás szükséges. Ezt azonban folyamatosan biztosított fogyasztás tudja csak garantálni, mivel, ha nincs elegendő fogyasztás, akkor nincs hova utántölteni. A tartálytér fogat egyik meghatározó paramétere tehát a fogyás üteme, de számos további üzemeltetési paramétert, mint az utántöltés lehetőségét is figyelembe kell venni már a tervezés megkezdéséhez.

Elvben ezek egyszerű „méretezési” kérdések. Tekintettel azonban a kriogén technológiát gyártó iparra egy töltőpont megvalósításának időszükséglete a beruházási döntés megszületésétől (amikor már a helyszín rendelkezésre áll), az üzemeltetés megkezdéséig: telepített töltőállomás esetében inkább 1,5-2 év, semmint annál kevesebb, míg a mozgatható, valamint mobil töltőpontot is inkább ¾, mint fél év létrehozni. Márpedig miként lehet meghatározni 2 évre előre, hogy mekkora lesz a forgalom egy még nem létező, vagy csak induló alternatív üzemanyag esetében, ahol a fogyasztói igény támasztásában az innovációs hajlandóság és az emisszió csökkentésre irányuló marketing projekt „lázat” az egyre bizonytalanabb jövőkép, a hosszútávon kiszámíthatatlan költségek hűtik.

Tapasztalati eredményként megfogalmazom: egy töltőállomás üzemeltethetőségéhez műszaki szempontból szükség van az 5-7 naponkénti utántöltésre. Azaz, a tartály víztérfogatának legalább 60-70 százalékát kitevő forgalomra van szükség hetente. Ebből levezethető a (Fig.10.) táblázatban található tipikus tartályméretekhez illeszkedő műszakilag szükséges fogyasztási mennyiség.

Természetesen a tervezési bizonytalanságot tovább növeli az a tény is, hogy az üzemanyag-töltő infrastruktúra mindenképp előbb kell rendelkezésre álljon, mint a fogyasztó, azaz a jármű. De tekintettel arra, hogy egy töltőállomásnál legalább 20 éves életciklussal számolunk, szinte megbecsülhetetlen, hogy a kiszolgálás megkezdését követően milyen sebességgel növekszik majd környezetében a járműszám, ezáltal a fogyasztás. Sőt, a két év tervezési távlat miatt azt is figyelembe kell venni, hogy további beruházók is megjelenhetnek, konkurenciát állíthatnak és a forgalom valamely részét akár még a felfutási időszakban elvonják.

Tartály méret [m3]	Napi min. átlagos értékesítés [t]
25	1,2
46	2,1
53	2,5
70	3,2
80	3,7

Fig.10.: LNG üzemanyag-tartály méretek és technikailag minimálisan szükséges átlagos fogyasztási igény összefüggése. [forrás: szerző]

A méretgazdaságosság esetében nem csak közgazdasági, de műszaki, üzemeltethetőségi terminus is.

Természetesen az is fontos paraméter, mekkora a töltőállomás elvi kiszolgáló képességnek maximuma, amit lényegében az utántöltések sűrűsége korlátoz (melynek, mint infrastruktúra rendszer elemről a következő fejezet értekezik), jellemzően még terminál közelben sem biztosítható az átlagosan 1 napnál sűrűbb utántöltés. Ennek nehézségeit a következő fejezetben tovább fejtegetve, vegyünk itt egy Magyarországra érvényes modulust: egységnyi szállítmányként 18 tonnát (a nyugati országokban a 44, illetve 42 t jármű megengedett összsúly ennél valamivel több rakományt is enged, ami szintén fajlagos költségsökkenéshez vezet).

A 25 köbméteres tartály kiszolgálásának elvi napi maximuma kerekítve 8,5 t, a 46 m³ térfogatot felölelő ISO konténer 15,5 t, míg a többi edénnyel a 18 tonna is elérhető. Tehát az első két mozgatható töltőállomás változathoz szükséges, hogy részrakományként lehessen lefejtetni, ami azt jelenti, hogy legalább két töltőpont kell legyen a tankerjármű útvonalán.

A 18 t fogyasztás mintegy 70-80 darab LNG üzemű tehergépjármű megtöltését fedi, azaz óránként 3,3 járművet számolhatunk a kiszolgáló képesség határának felmérésekor. Mivel azonban a jármű eloszlás nem egyenletes a nap 24 órájában, így természetesen a 3,3/h átlag egyes órákban akár 10 jármű/óra igényt is jelenthet, míg más órákban szerényebb forgalmat. Tekintettel arra, hogy egy jól beállított töltőállomáson, ahol magas forgalom mentén stabil – állandóan szűk hőmérséklet tartományban – folyik a kiszolgálás, a jármű megtöltési ideje mindössze 5-6 perc. Számolva azonban az előkészületekre fordítandó idővel, a járművezető azonosítása, a védőeszközök felvétele, a töltőfejek felcsatlakoztatása a járműre és a töltés után a csövek lecsatlakoztatása, a védőeszközök levétele és elcsomagolása, a nyugta elvétele, esetlegesen még jegyzetelés is, összesen akár további 5-6 percnyi időt vesz igénybe. Ebből arra lehet következtetni, hogy óránként 4-5 járműtöltés számolható töltőoszloponként, ill. töltőállomásonként amennyiben egy diszpenszerrel rendelkezik.

A kiszolgálás kapacitáskorlátja emelhető, amennyiben második töltőoszlop kerül kiépítésre, aminek létesítésének legalább a lehetőségét a tervezés legelső fázisában szükséges eldönteni, mivel utólag már szinte lehetetlen a módosításokat elvégezni. Ennek oka, hogy a második töltőoszlop elhelyezéséhez, egy mindkét oldalán megközelíthető szigetre van szükség. Ez a dupla sáv nem lehet nagyon messze, hiszen a töltővezeték csak korlátozott hosszúságú lehet (amit a földben kell elvezetni, lehetőleg még az eredeti építés során, hogy a töltőállomást üzemeltetés közben ne kelljen felásni). A második diszpenszer és szivattyú platform elhelyezésén felül a meglévő rendszerhez kell tudni csatlakozni az új egység vezérlését. Ami utólag még ennél is nagyobb gondot okozhat, az a tartálykapcsolat kialakítása, ami szinte lehetetlen, amennyiben az a gyártás megrendelésekor nem így lett előkészítve.

A fejezetcímben szereplő gazdasági korlátokat természetesen a beruházási költségek tetemes emelkedése, illetőleg a megtérülési számítások és még inkább annak a bizonytalansági tényezője jelenti.

Nagyságrendi számokat alapul véve, egy mozgatható LNG töltőállomás 450-500 ezer euró költségből tudunk megvalósítani, az ügyfél számára szabott telepített LNG töltőállomás legalább ennek a duplája. Amennyiben LCNG ágot telepítünk hozzá, akkor további mintegy negyedmillió, ha pedig egy második LNG töltőoszloppal is számolunk akkor legalább újabb 300 ezer eurós költséget kell tudni fedezni. 2021-ben pedig mindehhez egy kezdetben fokozatosan gyorsuló nyersanyag árak miatt sebesen dráguló acéltermék költségeket, majd utóbb az energiaválságból fakadóan az acéltermékek tovább gyorsuló áremelkedését szükséges hozzá számolni. Így például egy év alatt egy 100 ezer eurós LNG tartály ára duplájára emelkedett és a krízis ott tart, hogy a gyártók árajánlat helyett már csak árbecsléseket mondanak és jó esetben megrendeléskor fixálják a szállítási árat.

Ezen ismeretek alapján lép be a közgazdász a beruházás megtérülésének értékelésére. Függetlenül attól, hogy egy-egy töltőpont létrehozásának milyen környezeti, közösségi hatása van, az ő szerepe egyedül azt mérlegelni, hogy a megtérülés azon a helyszínen az elvárt számításot nyújtja-e, milyen biztonsággal valósul ez meg és versenyben más beruházás elképzelésekkel, nincs-e jobb megtérülést nyújtó, vagy nagyobb biztonsággal megvalósítható projekt, vagy esetleg csak más helyszín.

A biztonsági kitétel miatt létesül szinte minden LNG töltőpont nyugaton, míg keleten lényegében egy sem. Természetesen keleten a megtérülési mutatókat sem lehetséges jelenleg a nyugati szinteken tartani.

A beruházás megtérülése az üzemanyagárban biztosítható. Így a fenti beruházási számok alapján, a minimális - maximális értékesítési adatok fényében a (Fig.11.) grafikonon látható széles árösszetevő sávokhoz jutunk az egyes töltőállomás változatoknál. Egy beruházó ma általános elvárása, hogy legalább 5 év alatt megtérüljön és egy általánosan elvárt jövedelmet is hozzon a befektetése.

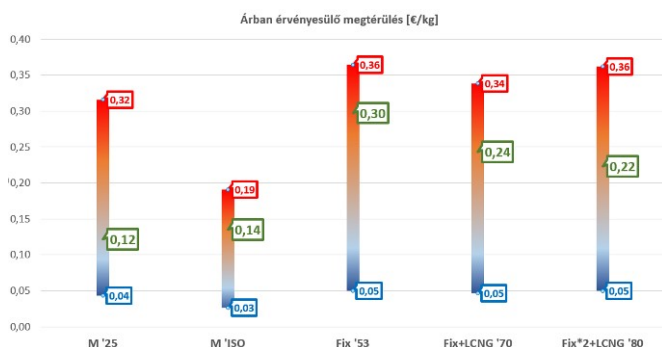


Fig.11.: Töltőpont beruházás elvárt megtérüléséhez szükséges árkomponens a forgalom arányában. Kék, maximális

forgalom, vörös műszakilag tartható minimális forgalom, zöld reális forgalom esetén. [forrás: szerző számítása]

Töltőállomás	Éves értékesítés [t]			Árban érvényesülő megtérülés [€/kg]		
	min.	reális	max.	min.	reális	max.
M'25	347	900	2520	0,32	0,12	0,04
M'ISO	638	900	4637	0,19	0,14	0,03
Fix'53	735	900	5342	0,36	0,30	0,05
Fix+LCNG'70	970	1350	7056	0,34	0,24	0,05
Fix*2+LCNG'80	1109	1800	8064	0,36	0,22	0,05

Fig.12.: A grafikonhoz használt számítási eredmények táblázatos megjelenítése. [forrás: szerző számítása]

A fenti adatsort szöveges magyarázattal kiegészítendő:

Egy töltőpont megvalósítása érdekében a legalacsonyabb költségű fejlesztést végezzük; 450 ezer euróval számolunk ötéves megtérülés mellett; - ha egy reális üzleti tervszámok teljesülnek és éves szinten 900 t üzemanyag (gyakorlatilag napi átlag 3 t) értékesítése megvalósul, akkor az üzemanyag árában nettó 12 centet tesz ki a töltőpont kiépítése, kilogrammonként.

Ezzel szemben,

- ha mindössze a műszaki üzemeltetéshez szükséges minimum értékesítés valósul csak meg, akkor 32 centet kell érvényesíteni az üzemanyag árában kilogrammonként.

Míg az esetben,

- ha a műszaki kapacitást teljesen kihasználva a forgalom maximumot hozza a töltőpont, akkor mindössze 4 centből megtérül a beruházás, kilogrammonként.

A grafikonról jól látható, hogy +/- 1 cent eltéréssel a kapacitás felső határán dolgozó töltőpontok azonos módon alacsony, 4 cent/kg körüli CAPEX megtérüléssel számolhatók. Érdekes azonban arra is rámutatni, hogy a lágörbe túlsó pontján, a műszaki üzemeltethetőség minimális forgalmi határán 32-34 cent, azaz 7-8-szoros árkomponens látunk, amelyből kivétel a 40' ISO tartályos kivétel. Az ISO „csak” 19 centes határa nem a kedvezőbb gazdasági mutatót, hanem épp ellenkezőleg, a rosszabb térfogat/termikus viszonyokból eredő mutatóját jelzi.

Amennyiben a tervezést megelőző célmeghatározásnál a forgalmi elvárást rosszul sikerül meghatározni és például egy nagy töltőállomás kerül olyan helyszínre, ahol a forgalom a legkisebb beruházást indokolná, ott egyik oldalról 1,2 millió euróval többet investáltak a szükségesnél ahelyett, hogy másik majdnem 3 egész töltőpontot hoztak volna létre, másrésztől egy 1,2 t napi átlagforgalom mellett 1,12 euró kilogrammonkénti fedezetet kell számolni.

Mindebből jól látszik az az egyszerű kereskedői szabály, ha nagy a forgalom, az ár csökkenthető, azaz a kulcs a jármű elterjedésben rejlik. Nagy átlag alapján kijelenthető; egy

LNG üzemű kamionra éves szinten 30 t üzemanyagfogyasztást lehet számolni. Azaz a reális felhasználás érdekében a számítás alapját képező értékesítési adatok 30 járműnek felelnek meg a kisebb egységeknél, a 70 m³-es LCNG kútnál 45 jármű és 60 járművel a mintában szereplő nagy kapacitású kútnál. Ennyi járműnek stabilan a vonzaskörzetben kell cirkulálnia ahhoz, hogy a tervezett fogyasztást elérjék. Csak viszonyításként, a nagykapacitású töltőállomásra akár 270 jármű is juthat. Jó üzemeltetési viszonyok esetén, mint számos németországi töltőállomásnál, jut is, így a maximális kihasználás meg is valósul.

5. LNG TÖLTŐÁLLOMÁSOK ELLÁTÁSÁNAK FORRÁSAI ÉS AZ ELLÁTÁS PROBLÉMÁI

Bevezetőben ismertetett egyenetlen LNG töltőpont eloszlás kelet és nyugat között egyszerre két tyúk-tojás problémát is idéz, az egyik természetesen a töltőpont-jármű elterjedés, ahol persze mindig az elsőként megjelenő a töltőpont, de az elterjedés sebességét a járműszám bővülésének üteme határozza meg, míg a másik problémakör az LNG vételezési pont elérhetősége versus LNG töltőállomás létesítése.

Mivel LNG töltőállomás csak az esetben létesíthető és üzemeltethető, ha biztosított az LNG ellátása. Hiába szeretnénk egy szigeten LNG üzemanyagot árusítani, ha nincs honnan beszerezni hozzá az LNG-t.

Európában az LNG beszerzésének lehetőségét az LNG import terminálok adják, melyek kezdetben szinte kivétel nélkül LNG fogadó és újragázosító terminálként működtek, később alakították ki az LNG kiszolgálás lehetőségét, tanker járművek és konténerek megtöltésére, legújabban pedig megjelent a vasúti tankercocsi megtöltésének lehetősége is. Bár utóbbi módszer még elterjedése inkább Észak-Amerikában várható rövid időn belül.

A (Fig.13.) ábrán látható kék pontok 2021 tavaszán meglévő LNG importterminálok helyét mutatják. A piros nyilak azokra a terminálokra mutatnak, ahol kiépült az LNG tankerjármű kiszolgálásának lehetősége.



Fig.13.: Európai LNG importterminálok és közúti tréler töltésre kialakított terminálok 2021 tavaszi helyzetképe. [forrás: szerző gyűjtése]

Európában az LNG üzemanyag-töltő pontok utántöltésének gyakorlata az LNG szállító félpótkocsival való szállítás, vagy az LNG ISO konténerben való csere jellegű szállítás (vasúton és közúton, vagy csak közúton szállítva a tartályokat). Emellett csak néhány LNG mobiltöltőberendezés létezik, melyek vizsgálatát a régióra vonatkozó alkalmatlansága miatt mellőzzük. A jövő perspektíváját a vasútikocsikon való nagymennyiségű továbbítás (leginkább, mint virtuális LNG csővezeték), illetve a belvízi, szintén nagykapacitású szállítás adja, mely esetekhez a jövőben olyan disztribúciós pontok kialakítása is szükségessé válik, mint a Csepel Szabadkikötőbe tervezett trimodális LNG pont.

Egy kriogén tartállyal épített tankerjármű félpótkocsi a legdrágább közúti félpótkocsik kategóriájába tartozik. A folyamatosan emelkedő áraknak köszönhetően akár már megközelítheti a 400.000 eurós árcímkét is. Ehhez számolni kell még a vontatót is, amely természetesen ADR besorolással és jellemzően PTO hidraulikus kihajtással kell rendelkezzen. Az LNG üzemanyag szállítók pedig természetesen törekszenek az LNG hajtású vontatók használatára, így további ~140 ezer eurós költséggel lehet helyzet figyelembevételével 400 és 500 ezer euro közötti árat érdemes számolni.

A szállítási költségeket emeli az a tény is, hogy egy ilyen járműszerelvénnyel gyártási-beszerzési átfutása 9-12 hónap, ami a növekvő töltőpontoszám, a növekvő járműszám mellett egy állandó kapacitáshatáron működő ellátási láncot eredményez.

A kialakult szállítási költségek, mint minden hosszabbtávú közúti szállítás természetesen alapvetően kilométer alapúak. A távolság függvényében csekély mértékben csökken a fajlagos kilométerdíj, eredményeként az üzemanyagban megjelenő szállítási díjak a leszállított LNG mennyiségére osztva a (Fig.14.) diagram szerint költséghez jutunk.

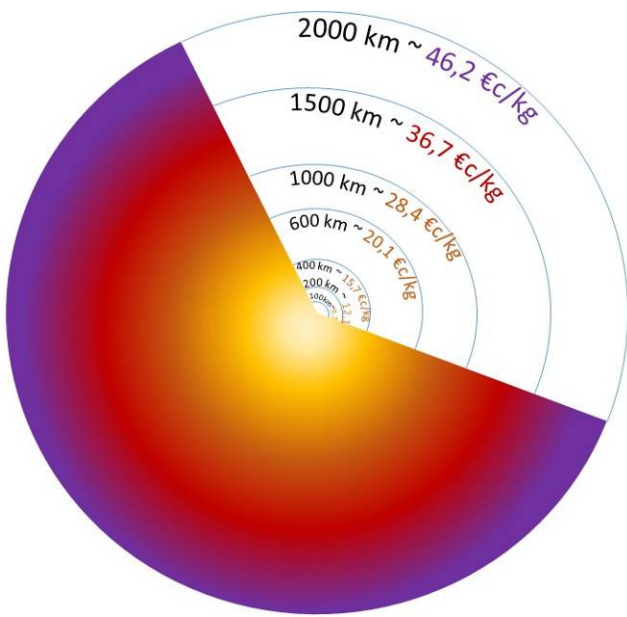


Fig.14.: Az LNG szállítási költsége az import terminál és a töltőpont között, a távolság függvényében. [forrás: szerző számítása]

Egyoldalról fontos a szállítási költség figyelembe vétele, más oldalról azonban a szállítási kapacitás, a szállítmányok időzítése főként a termináloktól messzebb lévő töltőpontok esetén pontos tervezést, időzítést igényel, ahol az üzemeltető és az ellátási láncban szereplő többi résztvevő felelőssége a pontos, kiszámítható tevékenység. Tekintettel arra, hogy az LNG üzemű járművek esetében az üzemanyagellátás zökkenőmentes biztosítása alapja annak, hogy a járművekkel olyan kulcs ágazatokban lehessen szolgáltatást vállalni, mint a járműipar, vagy az élelmiszeripar, amely területeken nem ritka, hogy perc pontosságú megjelenést követelnek meg a fuvarozótól és járművezetőjétől. Pont ezek az iparágak azok, a fuvarozóktól ahol elsőként igénylik a dízel járművekről való LNG üzemre történő átállást.

Az ellátás biztonságát a láncban bekövetkező bármely tervezett, vagy előre nem látható akadály jelentősen ronthatja. Jó példa erre, a 2021 nyarán bekövetkezett, 1 hónapra tervezett karbantartás a rotterdami GATE terminálon. Erre az időszakra a többi környező terminálra terelődött át a forgalom. A terminálok pontos, negyed, vagy fél óránkénti beosztású érkezés szerint fogadják a kamionokat, többségében éjjel-nappal. A karbantartás idejére a nagy gáz társaságok a terminálok időkapacitását teljes mértékben befoglalták, Belgiumban, (ahonnan a többnyire a régiókba érkező szállítmányok indulnak), a még közelben lévő francia Dunkerque-ben, a Németország keleti feléhez közel álló Lengyel terminálban, de ezen felül még a délfrancia Marseille melletti termináloknál sem lehetett időpontot kapni. Csak adaléknak; a kalinyingrádi kapacitást pedig már 2021

elején teljesen lefoglalták, így még elméleti szinten sem adtak ki ajánlatot.

A vázolt példa mutatja, hogy a szállítási lánc elemeivel, kapacitásával pontosan szükséges számolni és tartalékot képezni.

Egy szállító jármű régiókban havonta mintegy 90 t, évente ~1100 tonna leszállítását tudja elvégezni az 1400-1500 km-re eső termináltól számított töltőpontokig. Rövidebb távolság esetén természetesen jelentősen magasabb termelékenységgel dolgozhatna. Ez is befolyásolja a fajlagos eszközigényt.

Ha 3 db fent meghatározott „kis” kapacitású mozgatható töltőállomás elhelyezésével számolunk és a reális forgalmat vesszük alapul – azaz 2700 t/év – akkor a régiókban 3 tanker szerelvényre van szükség az üzemeltetés biztonságos fenntartásához. Ha a fogyasztás csak a műszaki minimumot éri el, akkor elvben 1 db is elég. Az egy járműre vonatkozó kapacitás szerződéses leköttetése esetén azonban egy megemelkedő forgalomra rövidtávon rászervezni további 1-2 szállítóeszközt rendkívül nehéz, illetve bizonytalan a mai helyzetben. Ez azt is jelentheti, hogy akár hiába volna több fogyasztó a töltőállomáson, annak kiszolgálása nem feltétlenül garantálható.

Itt érdemes azt is megjegyezni, hogy a 18 tonna rakomány részleges szállítása egyáltalán nem megoldható, ezért az eddigi számításoknál alkalmazott kisebb utántöltési mennyiség (az első 3 töltőpont változat) utántöltése csak úgy végezhető el, ha belátható közelségben létezik egy másik töltőpont, amelyek szállítását össze lehet szervezni.

6. JÁRMŰ ÜZEMELTETŐK KÖLTSÉG VISZONYAI EURÓPÁBAN

A fuvarozók legfőbb gazdasági számítása az úgynevezett teljes birtoklási költség (TCO). Üzemi eredményük növelése érdekében céljuk a TCO csökkentése. A jármű birtoklási költség bármilyen okból bekövetkező emelkedését a fuvarozótóra át kell tudja hárítani. Amennyiben ez nem következne be, a fuvarozó gazdasági helyzete romlik, vagy instabillá válik, aminek következtében hosszabb távon fizetési fegyelme romlik emiatt a működési költségei tovább emelkednek mivel a szállítók a megnövekedett kockázat miatt rontanak a bónuszain.

Az LNG üzemű vontatók, teherautók és autóbuszok Európában az elmúlt 3 évben 30-40 ezer eurós sávban kerültek többre, mint a dízel társaik. Ez jelentősen nagyobb eltérés, mint az tapasztalható Kínában.

A jelenlegi – sajnálatos és aggasztó – autóiipari válság idején, melyben az európai haszongépjármű gyártók különösen kitétek, az árrés lassú szűkülése hirtelen visszajára fordult, ha úgy tetszik befagyott. Egyedüli kedvező jelzés, hogy a három főszereplő (az IVECO, a Scania és a Volvo) valamennyivel rövidebb gyártási időt kínál az LNG járművek

rendelése esetén, mint a dízeleknél. Ez azt jelenti, hogy 2021 őszén a korábbi 3-4 hónapos szállítási idővel szemben, egy évre kell számítsanak aki új teherautót rendel. LNG-hajtás esetén akár fél év alatt is megérkezhet az új munkaeszköz. A járműgyártók ezzel ösztönöznek.

A felár azonban az üzemeltetés költségeiben kell megtérüljön, a fuvarozók elvárása szerint legfeljebb 2 év alatt. Mivel a gumiköltségeket is magában foglaló szervizköltségek nagyságrendben azonosak, a bérköltségek elvben azonosak kell legyenek dízel és gázüzemű járművek esetén (ez alól az üzemanyag manipulációra lehetőséget adó flották kivételt jelentenek és azoknál szükségessé válik a bérkiegészítés), marad az üzemanyagköltségben történő megtakarítás, valamint az egyéb ösztönzők figyelembevétele, amelyeket a következő fejezetben vesszünk majd sorra.

A szokásosan jónak ítélt 150 ezer km éves futásteljesítmény alapján, a nyugati országokban idáig az elvárt többletköltség megtérülés 1-2 év volt. Ezt figyelembe véve, ~250 ezer kilométer alatt kellene a beszerzési ártöbbletet ledolgozni. Ez kilométerenként 16 centet eredményez, amikor az üzemlétségből eredően a szállítás nem drágul, magyarul amikor a közúti környezetvédelem nem drágítja a kenyeret.

A kedvező fogyasztási értékeket nyújtó gázüzemű tehergépjárművek az üzemi körülményektől függően kínálnak eltérő megtakarítási adatokat. A távolsági használat során a szikragyújtású gázmotorok akár >10% üzemanyagfelhasználást nyújtanak kg-ban, mint a dízeles testvéreik literben. A gyakorlatban 0,2-0,24 kg/km fogyasztással számolhatunk. Az eredmény városi terítő üzemben romlik, vagy teljesen elolvad a különbség, következően az otto-motor jellegéből. Ez utóbbi feladatok esetében a domborodik ki az előnye a dízel-körfolyamattal működő gázmotornak, aminek fogyasztása egészen káprázatos tud lenni, akár 0,16 kg/km-rel, disztribúciós üzemben 0,18 kg/km-rel számolható, melyhez valamennyi gázolaj+AdBlue társul. Emiatt összesen szintén 0,2 kg/km gázfelhasználással érdemes számolni.

Az arányok szemléltetéséhez, kísérjük végig a számítást a (Fig.15.) táblázat segítségével.

Gázolaj ára bruttó	400,00	450,00	500,00	Ft/l
Gázolajköltség km-re, nettó	66,99	77,96	86,71	Ft/km
Gázüzem költsége a TCO kiegyenlítéséhez	10,99	21,96	30,71	Ft/km
Az LNG a megtérüléshez kívánt nettó értékesítési ára	54,96	109,81	153,56	Ft/kg
A megtérülést fedezni képes LNG nettó értékesítési ár	0,16	0,31	0,44	€/kg

Fig.15.: Az LNG üzemű nehézgépjármű felárának 250 ezer kilométer alatti megtérülését biztosító LNG üzemanyagár a gázolajár függvényében. [forrás: szerző számítása]

Az eredményre tekintve, különösebb vizsgálat nélkül is látható, hogy régiókban a 250 ezer kilométer alatt nem lehetséges a TCO kiegyenlítés. Miközben több más nyugati országban ennek elérése egyáltalán nem jelent gondot, ugyanis a nyugati országok többségében a gázolajra kirótt jövedéki adó jelentősen magasabb. A 600 Ft-nak megfelelő, azaz 1,71 €/l gázolaj ár alacsonyabb Brent jegyzésár mellett is bekövetkezett a nyugati országok többségében, míg az ehhez társuló 0,69 €/kg nettó gáz ár megvalósult a termináloktól nem túl nagy távolságban, legalábbis a gázárak elszabadulása előtt.

Amennyiben a 250 ezer kilométer helyett 3 év, 450 ezer kilométer megtérülést vesszünk figyelembe (bár a szektor vállalkozóinak hanyatló „bizalmi indexe” alapján ennek elfogadása egyre kétségesebb), akkor a 9 c/km megtakarítási elváráson alapuló számítás eredménye a (Fig.16.) táblázat szerint módosul.

Gázolaj ára bruttó	400,00	450,00	500,00	Ft/l
A megtérülést fedezni képes LNG nettó értékesítési ár	0,51	0,66	0,79	€/kg

Fig.16.: Az LNG üzemű nehézgépjármű felárának 450 ezer kilométer alatti megtérülését biztosító LNG üzemanyagár a gázolajár függvényében. [forrás: szerző számítása]

Mindennek hozzá kell tenni, hogy a kalkuláció alapját 0 km tankolás érdekében megtett többletkilométerrel számítjuk, amire fejlett infrastruktúra hálózat esetén lehet csak számolni, vagyis a feltételezés akkor lesz csak általánosságban igaz, amikor már Magyarországon 25 – 50 közötti LNG töltőpontra tudnak a flottaüzemeltetők számolni. Illetve a legtöbb nemzetközi szállítás esetére igaz, hogy legalább 5 töltőpont elérhető a kulcs szállítási vonalak mentén.

Annak érdekében, hogy szembe állíthassuk az előbbi eredményt a régiókban kialakítható LNG üzemanyagárakkal, fel kell állítani a töltőpontra jellemző lehetséges ár kalkulációt. Tekintettel arra, hogy szinte minden gázszállítás elszámolási alapját Európában a TTF jegyzésár adja, ezért ennek függvényében vizsgálhatjuk a lehetséges árképzést. A TTF hosszútávon szinuszcírcsével jelleggel őszi-téli hónapokban magasabb, tavaszi-nyári hónapokban csökkenő és alacsony árakkal működött a 10-25 €/MWh sávban.

Ezt a kiszámítható mozgást zavarta meg Európában a 2021-ben globálissá dagadt energiaválság, ami tavasszal nem engedte az árakat süllyedni, azonban márciustól lassú, majd egyre gyorsuló iramú drágulás következett be, melynek mértéke hónapról-hónapra 25 % körül mozgott, szeptemberről októberre pedig majdnem 50 %-ot ért el.

Az árképzéshez a gázár mellett, a piaci szállítási költséget, a reális forgalomhoz tartozó CAPEX-et, 8 cent OPEX-et, a 10 cent mértékű jövedéki adót és egy 6 százalékos mértékű átlagos kereskedői jövedelem elvárást számolunk. Az eredményt a

(Fig.17.) grafikon szemlélteti, a 10-30 €/MWh kiterjesztett TTF jegyzésár sávra.

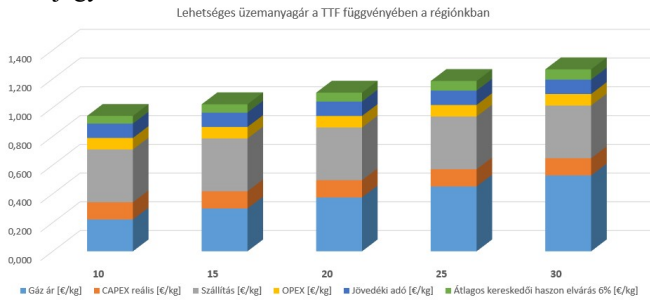


Fig.17.: Reális forgalom esetére számolt, nettó LNG ár, régiók költségviszonyainak figyelembevételével. [forrás: szerző számítása]

Az eredmény nyári 10 €/MWh gázjegyzés mellett 0,942 €/kg értékesítési ár, téli 25 €/MWh esetén pedig 1,185 €/kg. Sajnálatos módon a publikáció idején a 2021 októberi jegyzésárból 1,818 €/kg értékesítési üzemanyagár következik, amihez a sokkoló 910 Ft/l bruttó gázolaj ár esetén lehetne az elvárt megtérülést párosítani.

A 450 ezer kilométer, azaz mintegy három év járműhasználata mellett kiegyenlítendő TCO-ra felvehető egy TTF jegyzésár változáshoz tartozó LNG üzemanyagár és az azzal egyensúlyt tartó gázolajár függvény pár. Ezt szemlélteti a (Fig.18.) grafikon. A 10 €/MWh TTF jegyzésárhoz 560 Ft bruttó gázolaj ár szükséges, míg egy jellemző téli, 25 €/MWh esetén 658 Ft/l biztosítja az azonos TCO-t.

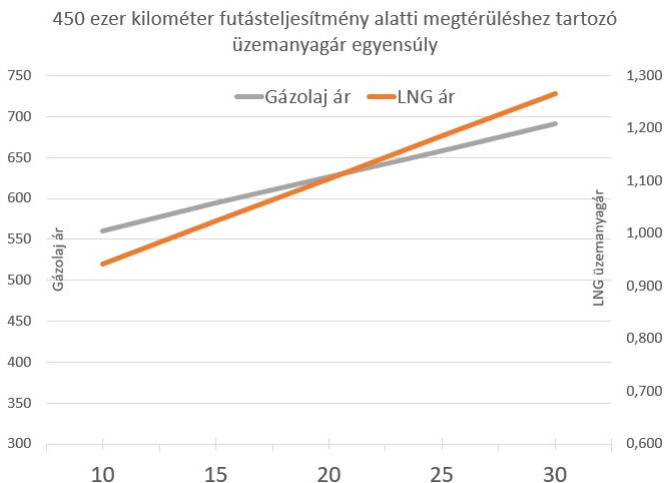


Fig.18.: A járműmegtérülést biztosító egyensúlyi állapot eltérő TTF árak esetére. [forrás: szerző számítása]

A függvények érzékenységét természetesen tovább lehet vizsgálni, kimutatható például mennyire romlik az üzemeltetés abban az esetben, amikor egy reális forgalom helyett mindössze a műszakilag még éppen üzemeltethető forgalmat éri el a töltőpont. Ekkor a jelentősen drágábban értékesíthető LNG árral az előző egyensúlyi példában látotthoz képest mintegy 86 Ft-tal még drágább gázolaj tarthat egyensúlyt, amint az a (Fig.19.) grafikonról leolvasható. Ilyen alacsony forgalom mellett a 2021 október

hónapra teljesülő LNG jegyzésárral pedig csak pár forinttal az ezres címke alatti gázolaj biztosíthatja az LNG jármű megtérülését.

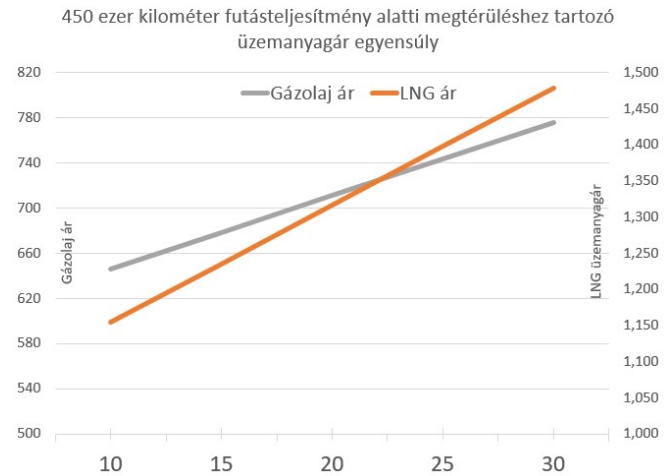


Fig.19.: A TCO egyezőség gazdasági alapja minimális forgalmú LNG töltőpont esetére. [forrás: szerző számítása]

Az eredmény komolyságához tartozik, hogy a magyarországi, immáron két töltőpont egyikénél épp billeg a minimális forgalom elérése, míg a másik töltőponton meg sem közelítik azt az értéket. Vagyis, sürgős beavatkozásra van szükség ahhoz, hogy a forgalomemelkedés bekövetkezhesen, üzletileg nem csak fenntarthatóvá váljon az LNG töltőpont üzemeltetése, de biztosítsa az elterjedéshez szükséges infrastruktúra hálózat kiépülését.

7. LNG ELTERJEDÉS ÖSSZTÖNZÉSÉT SZOLGÁLÓ INTÉZKEDÉS LEHETŐSÉGEI

Az LNG töltőállomás infrastruktúra hálózat Nyugat-Európában látható gyors fejlődésének alapját az LNG üzemű tehergépjárművek (és kis mértékben az autóbuszok) 2018-tól elindult évi 6 – 10 ezer darabos szaporodása táplálja. A szám ugyan impozáns, azonban a kínai évi akár 100 ezer darabot elérő bővülés a jelentős, több mint ötéves európai fáziskésést is mutatja.

Az LNG hajtású járművek elterjedésének három pillére van. A nyugati államokban egy adott mérettől fogva a vállalkozásoknak állandó fejlődést kell tükrözniük magukról melynek manapság elmaradhatatlan része a „Corporate Social Responsibility” igazolása. Ehhez nyújthat csillogó alapot a füstmentes és csendes LNG-s teherautó. A kor követelménye a CSR-nak megfelelő üzletvitel az ügyfelek előtt, nem kevésbé a versenytársak irányába, de a saját alkalmazottak motiválása érdekében is.

Ennél még erősebb a profit-orientált vállalkozások génjeibe kódolt állandó hatékonyságjavítási igény: ha egy eszköz, vagy egy termelőrendszer hatására a folyamatok hatékonyabbá, a költségek alacsonyabbá válhatnak, azt minél gyorsabban be kell szerezni, üzembe kell állítani. A

gyorsaság ugyanis versenyelőnyt és nagyobb üzleti eredményt hoz. Az első versenyképes LNG-hajtású teherautók (2018 eleje) piacra lépését követő jó 3,5 éven keresztül a terminálokkal rendelkező országok (vagy az ahhoz közeli) alacsony üzemanyagárból eredően vonzó TCO feltételeket tudtak biztosítani és egyértelműen gazdasági előnyhöz is jutott az a vállalkozás, amely LNG hajtásra állt át.

A fuvarozók és a fuvaroztatók számára az elmúlt időszakban széleskörben igazolódhatott, hogy az LNG-hajtású járművek képesek minden szempontból versenyképes alternatívát nyújtani a dízelhajtással szemben és nem kérdéses, hogy ez az egyedüli kipróbált és igazolt szériaérett technológia, mely ma a professzionális iparág előtt, mely megoldást jelent az alacsony emisszió, akár a karbonsemleges jövő felé vezető úton. Az LNG technológia még a legújabb „fit-for-55” brüsszeli politikai cél elvárásait is kielégíti. Annak ellenére cáfolhatatlan igazság ez, hogy a mindent elektrifikálni igyekvő és megoldásnak kizárólag villanyhajtást tekintő lobbisoportok és felelőtlen politikai erővonalak egyre gyakrabban vitatják. Nézeteiket az sem zavarja, hogy az általuk kizárólag elfogadhatónak ítélt szélgenerátor és napcella technológiai ideáljuk által időszakosan termelt, a fogyasztót csak az időjárás kedve szerint ellátni képes energia rövidebb, vagy hosszabbtávú puffelésére nagy kapacitású megoldást csak a metán molekula biztosíthatná, a „Power-to-Gas” technológia rendszerbe állításával. Ez még akkor is a legegyszerűbb és legolcsóbb módot jelentheti a W+PV kapacitások további rendszerbe állításához, amennyiben mint a rendszer egészen tekintve, ez útvonal ma még a fogyasztók legalizált megkárosítását jelenti és a jövőben sincs jó kilátás ennek megváltozására.

A Nyugat-Európai járműterjedés harmadik pillére a kormányok támogató intézkedése, amely a jármű beszerzéseket a dízelüzemről minél gyorsabban az LNG felé tereli. Néhány ezek közül: Belgium, Olaszország, Spanyolország 20.000 €-val azaz a felár mintegy felével járul hozzá az LNG jármű beszerzéshez, Franciaország ugyanekkora összegű cégado jóváírást tett lehetővé, Németország 12.000 €-val támogatja a járművek beszerzését és Lengyelország is zsebébe nyúlt, de még az infrastruktúraépítést is anyagilag támogatja.

Mindegyik vásárlást támogató intézkedésnél nagyobb hatást ért el a gázüzemű járművek számára a német autópályadíj (jelen állás szerint) 2023 végéig tartó elengedése. Ez az intézkedés mintegy 19 c/km költségcsökkenést eredményez, amely a járműtulajdonosokat arra ösztönzi, hogy minden gázhajtású járművükkel Németországban, vagy legalább legnagyobb arányban azon keresztül fuvarozzanak. Az intézkedés természetesen jó a német emissziócsökkenés szempontjából, azonban más tagállamok járműparkjának részleges elszívását eredményezi.

Magyarország számára az alacsony emissziójú áruszállítás elindulásának, elterjedésének felgyorsítása érdekében a

korábbi fejezetekben bemutatott és adatokkal alátámasztott helyzet javítása érdekében szükséges a járművek megjelenését és hazai használatát ösztönözni. A villanyautók 1,5 milliós támogatásának tükrében a nehézgépjárművek beszerzésének akár 20.000 € nagyságrendű támogatása is könnyedén indokolható, hiszen a CO₂ megtakarítás egy dízel kamionnal szemben nem ötszöröse egy villanyautó-kontra dízel személyautóénál látható kipufogó szemléletű megtakarításnak, hanem az ottani 1-2 tonna előnnyel szemben 15-20 tonna lehet, méghozzá évente.

Azonban a járműbeszerzés támogatása önmagában csak azt eredményezheti, hogy magyar rendszámmal forgalomba kerülnek járművek, melyek külföldön, leginkább Németországban dolgoznak tovább.

Az itt használt járműpark gyors átalakulását a német mintára kialakított – legalább öt évre szóló – autópályadíj felfüggesztés eredményezheti. Ez az intézkedés más tagállamokbeli járművek rendszeres Magyarországra irányítását is eredményezné, ami szintén hazánkban okoz emisszió csökkenést, hatékonyan mozdítja elő a magyarországi töltőinfrastruktúra üzemeltethetőségének paramétereit és a hálózat kiépülésének feltételrendszerét eredményezné.

8. KONKLÚZIÓ ÉS KITEKINTÉS

Magyarország a többi régióbeli országhoz hasonlóan az AÜINK kereteiben vállalta, hogy előmozdítja és megteremti az LNG üzemű járművek közlekedésének infrastruktúráját. Az előbbieken levezetett számítás rámutat arra, hogy kormányzati intézkedés, a járművek elterjedését támogató ösztönzők nélkül még a jelenlegi energiaválság előtti időben tapasztalt gazdasági feltételek sem biztosítják az infrastruktúra hálózat kiépítését és fenntartását.

A bevezetéshez szükséges támogatás nem jelenti azt, hogy hosszabb távon fenn kellene tartani a kezdeti ösztönzőket, hiszen a forgalomemelkedés hatására a rendszer optimalizálása a gazdasági folyamatok hatására megvalósul, amint az a fent bemutatott összefüggésekből következtethető. Következő lépésként, amint a forgalom mennyisége eléri a kritikusan szükséges minimális szintet, megjelenhet a regionális üzemanyagelőállítás, mely számos kihasználatlan inertes gázmező, biogázforrás hasznosításával eredményezheti az energiatermelés bővülését és ezáltal a kihasználatlan energiavagyon termelésbe vonását.

Műszaki tudományos szempontból további vizsgálat szükséges a 2. fejezetben taglalt P-T fázisgörbe problematika, miszerint az aktuális összetételű görbe meghatározása és az üzemeltetésben beálló devianciákat szükséges pontosabban felmérni, annak érdekében, hogy az automatizálás még pontosabbá válhasson.

Részen a gazdaságtudományi ismeretek bővülését eredményezheti, amennyiben a regionális LNG termelés

lehetőségeinek és gazdasági háttérének, lehetséges hatásának feltérképezése, illetőleg a PAN-LNG projektben elvégzett, vonatkozó kutatómunka [6], [7], [8] aktualizálása megvalósul.

REFERENCES

- [1] Magyarország első LNG és LCNG töltőállomásának megvalósítása, H. Domanovszky – XIII. IFFK 2019, ISBN 978-963-88875-4-2
- [2] Perry's Chemical Engineers Handbook 8th Edition, McGraw-Hill Companies, Inc. DOI: 10.1036/0071422943
- [3] <https://www.unitrove.com/engineering/tools/gas/liquefied-natural-gas-density>
- [4] The LNG Industry GIGNL ANNUAL REPORT 2018
- [5] EOS-LNG: A Fundamental Equation of State of the Calculation of Thermodynamic Properties of Liquefied Natural Gases, Monika Thol, Markus Richter, Eric F. Maym Eric W. Lemmon, Roland Span, 2019, Journal of Physical and Chemical Reference Data, vol. 48, no. 3, 033102; <https://doi.org/10.1063/1.5093800>
- [6] PANNON LNG Projekt 1.7. Fejezet - LNG lehetséges hazai előállításának biogáz forrásai, Dr. Kovács Attila és Tsai.
- [7] PANNON LNG Projekt 1.8. Fejezet – LNG lehetséges hazai előállításának földgáz forrásai, Zarándy Tamás és Tsai.
- [8] PANNON LNG Projekt 1.9. Fejezet – LNG lehetséges hazai előállításához rendelkezésre álló technológiák, Dr. Bártfai Zoltán és Tsai.
- [9] Dr. Lakatos István Instacioner üzemállapotú motort-eljesítmény-mérés görgős járműfékpadon, In: Bikfalvi, P. MicroCAD 2010: XXIV. microCad International Scientific Conference: E szekció: Anyagtudomány és -technológia. Miskolci Egyetem (2010) pp. 33-38., 6 p.

LIST OF FIGURES

- Fig.1.: M0 Szigetszentmiklós LNG&LCNG töltőállomás első feltöltése, 2019 május [foto: Domanovszky Henrik]
- Fig.2.: Az új évtized mintegy 250 LNG töltőponttal köszöntött be, ebből a „vasfüggöny” ezen oldalán mindössze 11 töltőpont létezett. [ábra: szerző saját]
- Fig.3.: 21 hónap alatt közel újabb 200 töltőpont nyílt meg Európában, a bővülés mindössze 5 %-a valósult meg keleten. [ábra: szerző saját]
- Fig.4.: A metánra felvázolt fázis görbe mutatja az LNG üzemanyaglánc jellemző tartományát, amely 1-16 bar között mozog, beleértve a jármű üzemét is. [ábra: ismeretlen eredetű, szerző addicionális információkkal módosította]
- Fig.5.: Eltérő származású LNG molekuláris jellemző összetétele, a készítés évében. [forrás: GIIGNL, utolsó frissítés 2012]

Fig.6.: EOS-LNG (fent) és GERG-2008 (lent) eredmények összehasonlítása a T-x diagramra, ahol két molekulapár szerepel a vizsgált közegben a metán mellett a C5 szénhidrogének, eszerint x a C1 mol százalékkal egyenlő és a közeg nyomásértéke konstans 0,1 MPa. [forrás: EOS-LNG 5.]

Fig.7.: C1 – C4 szénhidrogének P-T fázisgörbéje [forrás: GOLNG Liquefied Natural Gas General Knowledge]

Fig.8.: Mozgatható LNG töltőállomás tankolást végző LNG nyergesvontatóval. (forrás: szerző)

Fig. 9.: Példa egy kis kapacitású mobil LNG töltőegységre. (forrás: SNAM)

Fig.10.: LNG üzemanyagtartály méretek és technikailag minimálisan szükséges átlagos fogyasztási igény összefüggése. [forrás: szerző]

Fig.11.: Töltőpont beruházás elvárt megtérüléséhez szükséges árkomponens a forgalom arányában. Kék, maximális forgalom, vörös műszakilag tartható minimális forgalom, zöld reális forgalom esetén. [forrás: szerző számítása]

Fig.12.: A grafikonhoz használt számítási eredmények táblázatos megjelenítése. [forrás: szerző számítása]

Fig.13.: Európai LNG importterminálok és közúti tréler töltésre kialakított terminálok 2021 tavaszi helyzetképe. [forrás: szerző gyűjtése]

Fig.14.: Az LNG szállítási költsége az import terminál és a töltőpont között, a távolság függvényében. [forrás: szerző számítása]

Fig.15.: Az LNG üzemű nehézgépjármű felárának 250 ezer kilométer alatti megtérülését biztosító LNG üzemanyagár a gázolajár függvényében. [forrás: szerző számítása]

Fig.16.: Az LNG üzemű nehézgépjármű felárának 450 ezer kilométer alatti megtérülését biztosító LNG üzemanyagár a gázolajár függvényében. [forrás: szerző számítása]

Fig.17.: Reális forgalom esetére számolt, nettó LNG ár, régióknak költségviszonyainak figyelembevételével. [forrás: szerző számítása]

Fig.18.: A járműmegtérülést biztosító egyensúlyi állapot eltérő TTF árak esetére. [forrás: szerző számítása]

Fig.19.: A TCO egyezés gazdasági alapja minimális forgalmú LNG töltőpont esetére. [forrás: szerző számítása]