

Hazai LNG töltőinfrastruktúrát kiszolgáló disztribúciós rendszer kialakítása

Dr. Mészáros Ferenc* Dr. Tóth János**
Dr. Török Ádám***

* BME Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék, Budapest
(e-mail: fmeszaros@kgazd.bme.hu)

** BME Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék, Budapest
(e-mail: toth@kku.bme.hu)

*** BME Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék, Budapest
(e-mail: atorok@kgazd.bme.hu)}

Absztrakt: A cseppfolyósított földgáz (LNG) széleskörű felhasználásának elterjesztése jelentősen hozzájárulhat a károsanyag-kibocsátási célok teljesítéséhez és hazánk kőolaj alapú tüzelőanyag-függőségének csökkentéséhez. A PAN-LNG projekt fő célja az LNG alapú közlekedés elterjedéséhez szükséges infrastruktúra magyarországi kiépítésének előkészítése és az első töltőpontok fizikai megvalósítása, valamint azok ellátásának biztosítása. A cikk a töltőinfrastruktúrát kiszolgáló disztribúciós rendszer kialakításának módjára tesz javaslatot. A PAN-LNG az Európai Unió által, az Európai Hálózatfinanszírozási Eszköz keretén belül társfinanszírozott projekt.

1. BEVEZETÉS

Az Európai Unió deklarált célja az európai gazdaság, azon belül is a közlekedés károsanyag-kibocsátásának mérséklése, valamint a kőolaj alapú üzemanyag-függőség csökkentése, 2050-ig legalább 60%-os mértékben (Európai Bizottság, 2011). Ehhez a célhoz járulhat hozzá a földgáz szélesebb körű felhasználása, ami bizonyítottan kevesebb károsanyag-kibocsátást eredményez a hagyományos, kőolaj alapú tüzelőanyagokhoz (benzin, gázolaj) képest (Szendrő & Török, 2014; Domanovszky, 2012; Domanovszky 2014).

A fenti célokhoz igazodva, a PAN-LNG projekt célja a cseppfolyósított földgáz (LNG) alapú közlekedés fejlesztéséhez szükséges infrastruktúra magyarországi kiépítésének előkészítése és az első töltőpontok fizikai megvalósítása, valamint azok ellátásának biztosítása. A cikk az ellátási, azaz disztribúciós rendszer feladatait tárja fel és tesz javaslatot annak kialakítására, a kontinensen elérhető LNG beszerzési pontoktól a töltőállomásokig bezárólag. A töltőállomások egy része tisztán LNG kiszolgálására alkalmas, egy részük pedig LNG elpárologatásával és komprimálásával CNG formában szolgálja ki a tüzelőanyagot – ez utóbbit nevezi a szakirodalom LCNG technológiának.

A hazai LNG disztribúciós rendszer teljesítményének becslése kapcsán kitűzött cél a járműállományi és tüzelőanyag-felhasználási, valamint az LNG beszerzési pontok és töltőállomások elhelyezkedésére és kapacitására vonatkozó előrebecslések output adatai alapján meghatározni az LNG szállítási szükségletet térben és időben, és ehhez kiválasztani a leggazdaságosabb szállítási megoldást.

A hazai disztribúciós rendszer teljesítményét és költségét három időtávra határozzuk meg: 2020, 2025 és 2030. A gázüzemű gépjárművek elterjedésére a konzorciumban három forgatókönyv került meghatározásra: alacsony (L), közepes (M) és magas (H) penetráció.

2. SZÁLLÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK ÁTTEKINTÉSE

2.1 Visszatekintés

A közvetlen földgáz disztribúciós rendszerek a XX. század vége felé kezdtek kiépülni, először az Amerikai Egyesült Államokban, de később intenzív fejlesztésbe kezdett pl. Norvégia, Spanyolország, Portugália, Lengyelország, Oroszország, India, Kína és Ausztrália is (Zöldy & Török, 2015). Ezek a rendszerek részben a csővezetékes földgázhálózat kiegészítését szolgálják, kiépíthetlenség vagy szűk keresztmetszet okán, vagy pedig kisebb gázvezetékre épülnek, ahol a mezőt nem gazdaságos rákötni az országos hálózatra.

A disztribúciós rendszer kellő méretezésével mintegy „virtuális” csővezeték tud üzemelni. A rendszer egyes elemei (tárolók, töltőcsomók, tankerek) kapacitásának összehangolása révén lehetőség nyílik egy kvázi folyamatos üzem biztosítására, ami a megcélzott végfelhasználói kör (értsd: közlekedés) felhasználási igényeit ki tudja elégíteni. A csővezetéken történő folyamatos szállításnak megfelelően a közúti szállítást a következőképpen: modellszerűen, egymást 12 km-es távolságban követő közúti tankerek, járművenként kb. 21 tonna LNG-t szállítva, 60 km/h-s átlagsebesség mellett éves szinten mintegy 1,5 Mrd. normál köbméter földgáz képesek szállítani, napi 120 fuvarfeladat teljesítésével (Chr

& Emmer, 2012). A nemzetközi gyakorlat további példái (Hansson, 2008; Kecse, 2010; DMA, 2012; IGU, 2015a) igazolják, hogy kontinentális méretű (párszáz kilométertől akár 4-5000 km-ig) disztribúciós rendszerek hatékonyan működtethetők.

2.2 Közúti szállítás

A közúti tankereknek számos műszaki paramétere fontos a biztonságos LNG szállítás szempontjából. A tartályok fala a termoszkokhoz hasonlóan dupla falú. Rozsdamentes acélból készülnek és bár nincs túl nagy nyomás a tartályokban, úgy vannak megépítve, hogy teljes biztonsággal tudják tartani benne a cseppfolyósított gázt. A tartály két fala közötti szigetelésnek köszönhetően minimális a hő közlés a környezet és a belseje között. Gyártótól függően 7-8 Bar-os nyomáson üzemelnek, de a biztonság miatt 12-14 Bar-ra méretezik a konstrukciót. A folyékony halmazállapotú gázt - 161 fok körül szállítják, de a tartályt úgy méretezik, hogy - 196 és +50 fok között biztonságos legyen, egy esetleges meghibásodás, vagy külső hatás miatti probléma esetén is. A tartályok földeltek, minimum két biztonsági szeleppel ellátva. A rendszer számos pontján érzékelők vannak beépítve, hogy a legkisebb rendellenességet is időben jelezve megelőzhető legyen egy esetleges baleset. A szállításra ADR (veszélyes áruk közúti szállítására vonatkozó) előírások alkalmazandók.

A teljes járműszerelvény tömege nem haladhatja meg a 44 tonnát, a tartály kapacitása 58 ezer liter. Európa több országában, így hazánkban is a 40 tonna korlátozás van érvényben, amely ezáltal a térfogatot is 6-8 köbméterrel kisebbé teszi. A félpótkocsi minden paraméterében meg kell feleljen az EU-s szabványoknak. A teletöltött tartályban körülbelül 21 tonna LNG van (40 t össztömeg mellett). Szállítás közben az LNG kis mértékben melegszik, folyadékfelszíne párolog. A tartályok hővezető képességének jóságát jelzi a gyártó által megadott napi elpárolgási ráta, amely jellemzően 0,08-0,11 % közötti érték. A közúti tanker kb. 10 napig képes tárolni az LNG-t anélkül, hogy a tartály belső nyomása elérné a kritikus szintet.

Az LNG üzemű vontatók piaci penetrációja jelenleg még elég alacsony, a nemzetközi fuvarfeladatok üzemszerű végzésére alkalmas gördülőeszközök csak mostanában jelennek meg a piacon. Tankerjármű szerelvényhez az ADR besorolást LNG üzemmel csak 2016-tól lehet megszerezni, így ez a lehetőség meglehetősen új. A technológia felfutó fázisából fakadóan a hasznos élettartamukat valamennyivel alacsonyabb értéken vesszük figyelembe a disztribúciós rendszer költségének számításakor a hasonló teljesítményű dízelüzemű vontatókkal szemben: a költségbecslésünkben 5 év megtérülési időtartammal számolunk.

A félpótkocsis tartályok tekintetében is korlátozottan mutatkozik az európai piaci szegmens, mert bár a Távol-Keleten már üzemi méretekben gyártanak és értékesítenek tankereket, igen széles ársávban, azok közül csak a drágábbak felelnek meg az európai szabványoknak és normáknak, továbbá a piaci vételár még nem tükrözi az európai használatra történő engedélyeztetés szintén tetemes

költségét. Ebből adódóan a számításaink során az európai piacon elérhető, megbízható minőséggel bíró GOFA gyártmány adataira támaszkodunk. A megtérülési számításban belül 10 éves hasznos élettartammal számoltunk.

2.3 Vasúti szállítás

A vasúti áruszállítás alapvetően két módozata kerül szóba az LNG disztribúciós rendszerének tervezése kapcsán: a kocsiküldeményes (szórt), valamint az irányvonalos továbbítás. A közúthoz hasonló általános műszaki megfontolásokkal találkozunk a vasút esetében is, lényegi különbség, hogy a vasúti tartálykocsi speciális kialakításának köszönhetően akár 6 hétig is tárolható ilyen formában az LNG.

A kocsiküldeményként történő továbbítás sajátossága, hogy az egyes vasúti szállítóegységeket a feladó saját telephelyén megrakja / feltölti, majd a kocsikat átadja továbbításra egy vasúti fuvarozónak, aki a kocsikat vonatba sorolva, lebonyolítja a kocsik – mint küldemények – célállomásra történő továbbítását, fuvarozási díj ellenében. A vállalkozó vasúttársaság a fuvarozási díjtételeket az áru fuvarozási díjszabályzatában hozza nyilvánosságra. A fuvarozó rendszerint különválasztja az ügyfél által rendelkezésre bocsátott vasúti kocsit („magánkocsi”) és a vasútállalat szervezésében kiállított kocsit továbbítását. Eltérő tarifával találkozhatunk a rakott és üres kocsik továbbítása során. Külön megemlítendő, hogy a veszélyes áruként nyilvántartott rakományok fuvarozásáért felárát számol fel a vasútállalat, viszont az intermodális küldeményként nyilvántartott szállítóegységek (pl. ISO konténer) szállítása eseténként a normál fuvardíjhoz képest kedvezőbb tarifával számol. A tarifálás alapja rendszerint a távolság és a küldemény tömege, de eltérő díjszintek adódnak a belföldi és a nemzetközi viszonylatokban is. A projekt szempontjából – lévén speciális felhasználási célú kocsikról beszélünk – elsősorban a magánkocsi küldeményre vonatkozó díjszabási feltételeket kell figyelembe venni.

Az irányvonatok tulajdonképpen előre meghatározott és rendszeresített menetrend, valamint útvonal alapján közlekedő, a kiinduló és a célállomás között megbontatlan egységként továbbított szerelvények. Előnye a hagyományos kocsiküldeményes fuvarozáshoz képest, hogy gyorsabban jut el a célállomásra a küldemény, hátránya viszont az, hogy csak a meghirdetett viszonylatokban közlekedhetnek az irányvonatok. Az irányvonalos rendszerű vonattovábbítás tehát csak akkor jöhet szóba a hazai LNG disztribúciós rendszerrel, ha kellő mértékű és megbízhatóságú forgalmat jelent a vasúttársaság számára. A vasúton történő szállítása során alkalmazni kell a RID, vagyis a Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozásáról szóló Szabályzatát.

Európai viszonylatban egyelőre pilot jelleggel találkozhatunk LNG-képes vasúti tartálykocsival (Vantuono, W.C, 2015), így egy tartálykocsis üzem érdemi kialakítása rövid- és középtávon egyelőre nem reális. Hozzá kell tenni, hogy a vasúti kocsik piaca a tekintetben átalakulóban van, hogy a klasszikus üzleti modellű, vasútállalati tulajdon helyett

egyre inkább a vasúti kocsik bérbeadásával foglalkozó vállalatok (pl. éppen a fejlesztésben is érdekelt a pilot kocsi gyártója is) birtokolják a gördülőeszköz állományt. A vasúti tartálykocsik tulajdonlása helyett tehát felvetődhetne a bérleti konstrukció, de a költségmodellek összevethetősége miatt a további számításaink a tulajdonlást feltételezik.

2.4 Folyami szállítás

A folyami szállításra kialakított LNG tankerhajók piaca igen szűk, csak néhány olyan, elsősorban partmenti hajózásban, nagyobb hajók töltésére használt tankerhajó létezik a világon, azonban a piac bővülésére lehet számítani ezen a téren a közeljövőben. A tankerhajó vagy saját tulajdonban, vagy pedig bérleti konstrukcióban, teljes időtartamú bérleményként vagy időbérletben használható fel az LNG import disztribúciójára. Meg kell jegyezni, hogy kisebb igények esetén a tankerhajó – egyfajta terítőjáratként – a szállítási útvonal mentén akár több felhasználót is ki tud szolgálni, így megosztva a szállítási költségeket, miközben továbbra is érvényesülnek a méretgazdaságossági elvek a szállításban. A tartály kialakítása lehet túlnyomásos rendszerű (ez esetben a szállítás közben “elforr”, ún. boil-off gázt fel lehet használni a meghajtáshoz is), újabban azonban elterjedőben van az ún. membrane-tartály, ami mind méretében, mind tömegében jelentős előnnyel bír a hagyományos tartályhoz képest.

A tartályhajókon túl uszályok és bárkák felhasználásával is kialakíthatók kötelékek, amik alkalmasak LNG szállítására.

2.5 Konténeres szállítás

A szállítani kívánt LNG ISO konténerekben is szállítható, ebben az esetben ezeknek a konténereknek a szállítását kell megoldani közúton, vasúton vagy folyami szállítás keretében. Már a 20 lábás konténerek is alkalmasak kisebb igények kiszolgálására, de nyilván a 40 lábás konténerek alkalmazása az ideális. Egy ilyen konténer kb. 42 köbméteres térfogata mellett (95 %-os töltöttséget feltételezve) közel 18 tonna LNG-t képes befogadni. Ez az érték kisebb mind a közúti tankerek, mind pedig a vasúti tartálykocsik befogadóképességéhez viszonyítva – emiatt egy relatív nagy holtteherrel kell számolni konténeres szállítások esetén. Ami miatt mégis reális megoldásnak mutatkozik, az az, hogy több alágazatot érintő szállítások esetén nem igényli a töltőanyag átféjtését, hanem a konténer mint egységalkomány átrakásával könnyen megoldható a közúton történő továbbszállítása, egészen a végfelhasználási pontokig.

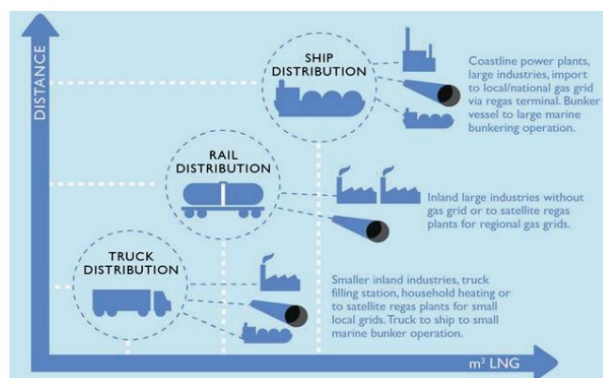
A szállítás műszaki feltételei teljesen megegyeznek egy hagyományos, általános rendeltetésű ISO konténer szállításával, kiegészítve a veszélyes áruk továbbítására vonatkozó különleges feltételekkel. A kriogén tartályban hetekig biztonságosan továbbítható az LNG, vagyis gyakorlatilag bármelyik közlekedési alágazat alkalmas a továbbítására Európai viszonylatban. Attól függően, hogy melyik alágazat vesz részt a konténer továbbításában, az arra

az alágazatra érvényes, veszélyes áruk szállításának feltételeit rögzítő egyezmény előírásai a mérvadóak.

2.6 Szállítási módok összehasonlítása

A termináloktól vagy cseppfolyósító üzemektől a végfelhasználási pontra szánt LNG szállítási módjának megválasztását nagyban meghatározza, hogy lehetőség szerint átféjtés nélkül kerülhessen a szállítóeszközbe betöltött töltőanyag a töltőállomásokra. Ez szélsőséges értelemben szinte csak közúton megvalósítható, eltekintve azoktól a töltőállomásoktól, amiket képes vagy a vasúti, vagy a folyami szektor közvetlenül kiszolgálni. Ezek viszont rendszerint olyan kutak vagy végpontok, amelyek a közúti felhasználókon túl egyéb közlekedési, vagy éppen ipari felhasználókat is képesek kiszolgálni.

A közúti szállítás háztól-házig jelleggel a terminálokról egyenesen a kiskereskedelmi töltőállomásokra képes szállítani az LNG-t, így nincs szükség átféjtést biztosító tárolóállomás kialakítására. A vasúti és a folyami szállítások alapvetően a közepes és nagytávolságú szállításokban mutatják meg komparatív előnyüket (1. ábra), vagyis a külföldi termináloktól a hazai elosztórendszer betöltési pontjáiig tudnak gazdaságos körülmények között LNG-t szállítani. Ebből adódóan esetükben a disztribúciós rendszer részét kell képezze egy, az átféjtést lehetővé tévő tárolóállomás és egy belföldi terítő jellegű közúti disztribúciós alrendszer, minden járulékos költségvonatával együtt.



1. ábra. Az LNG szállítási technológiák teljesítményének összevetése (Forrás: Swedegas AB)

A közúti szállítások fuvarrádiuszát nagyságrendileg 2000 km-ben határozhatjuk meg (IGU, 2015b), a vasúti és folyami szállításé ennél még magasabb értéket vesz fel. Megállapítható tehát, hogy európai beszerzési pontokban gondolkodva várhatóan a közúti disztribúció lesz a legköltségghatékonyabb megoldás.

3. MÓDSZERTAN

A disztribúciós rendszer kialakításának fő kérdése, hogy a töltőállomások LNG szükségletét milyen források bekapcsolásával, milyen szállítási technológia felhasználásával lehet leghatékonyabban kielégíteni.

A számítási elméletünk alapja a lineáris programozás egyik általános problémája, a szállítási feladat volt. Esetünkben a következő fogalmakat vezetjük be:

m darab „forrás”, LNG beszerzési pontok: $f_i, i = 1 \dots n$,

n darab „nyelő”, LNG/L-CNG töltőállomások: $n_j, j = 1 \dots m$,

„forráskapacitás”: napi áttölthető LNG mennyisége forrásonként: $s_i, i = 1 \dots n$,

„nyelőkapacitás”: napi LNG igény a töltőállomásokon:

$d_j, j = 1 \dots m$,

„útvonal-hálózat”: a napi volumenek függvényében kialakított forrás-nyelő gráf kapcsolatok,

„ellenállási-mátrix”: a források és nyelők közötti eljutás távolságban és/vagy időben kifejezve, ami egyébként fajlagos költségtenyezővel megszorozva költségként is előállítható:

$$T = \|\|t_{ij}\|\| n * m \quad (1)$$

„disztribúciós rendszer”: a gráf kapcsolatok valós leképezése konkrét útvonalra, szállítási módra, fajlagos szállítási volumenre, szállítási frekvenciára. Az egyes elemei – mint egységnyi szállítások: $x_{ij}, i = 1 \dots n, j = 1 \dots m$,

„disztribúciós rendszer költsége”: az így felállított rendszer összes szállítási költsége: $T(x)$.

Feladatunk tehát a legkisebb költségösszeg mellett biztosítani a „nyelők” LNG szükségletét, vagyis:

$$T(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

A teljesítendő peremfeltételek a következők:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq d_j, \quad j = 1 \dots m \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq s_i, \quad i = 1 \dots n \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots m, \quad (5)$$

ahol $s_i > 0, d_j > 0, i = 1 \dots n, j = 1 \dots m$.

A célérték-keresés – mivel minden egyes időtávban és forгатókönyv esetén, alágazattól függetlenül, ugyanazzal a disztribúciós teljesítményértékkel számolunk – lényegében a teljes disztribúciós költségérték minimum értékének meghatározására korlátozódik.

Az alap szállítási probléma értelmezése némiképpen tovább egyszerűsíthető, ugyanis az importforrások vélt elérhető kapacitása egyenként meghaladja a teljes hazai közlekedési célú LNG igény összességét, vagyis másképpen fogalmazva, egy-egy importforrás önmagában képes lehet kiszolgálni a becsült LNG igényt. Mindenesetre, ha a disztribúciós rendszer későbbi megvalósítása során korlátozottan mutatkoznak a források, a fenti számítási modell lehetőséget ad ennek figyelembevételére is.

4. A DISZTRIBÚCIÓS TELJESÍTMÉNY BECSLÉSE

4.1 Töltőállomások száma, eloszlása és forgalma

A töltőállomások száma és területi (megyei) eloszlása meghatározó eleme a disztribúciós rendszernek. Mindhárom vizsgálati időtávra (2020, 2025 és 2030), valamint forгатókönyvre előálltak az adattáblák, amiket az 1. táblázat mutat be kivonatos formában.

1. táblázat Az LNG/LCNG töltőállomások becsült száma

Időtáv/forгатókönyv	“L”	“M”	“H”
2020	16	23	34
2025	36	83	187
2030	147	224	249

A töltőállomások LNG szükségletére vonatkozó éves becsült tonna értékeket a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat Az LNG/LCNG töltőállomások becsült éves LNG szükséglete tonnában kifejezve

Időtáv/forгатókönyv	“L”	“M”	“H”
2020	23 688	61 892	208 615
2025	111 836	362 715	849 799
2030	170 891	633 960	1 287 096

4.2 Potenciális forrásponatok feltárása

Az európai viszonylatban kiaknázható LNG forrásokat (tengeri kikötői és szárazföldi terminálok) távolságuk, a kiszolgálható alágazat illetve kiszolgálási kapacitásuk alapján megszürtük, és csak azokkal az elemekkel dolgoztunk tovább, amelyek technikailag kiszolgálásra alkalmasnak minősíthetők (3. táblázat). A további számítások szempontjából releváns információk: a potenciális források földrajzi elhelyezkedése, távolsága Budapesttől (közúton), piaci státusza, kiszolgálási kapacitása és az alágazat megnevezése, amit képes kiszolgálni.

3. táblázat A hazai LNG disztribúciós rendszer szempontjából releváns potenciális LNG források

Név	Piaci státusz	Kapac. (t/ó)	Alágazati kiszolgálás
Swinoujscie (PL)	Próbaüzem, megnyitása 2016-ban várható	81	Közút (vasút vizsgálat alatt)
Krk (HR)	Tervezett, megfelelő befektető esetén 2020-ig megnyílik	415	(Közút vizsgálat alatt)
Rotterdam (NL)	Üzemel	45	Közút, folyami hajózás (vasút vizsgálat alatt)

4.3 A szállítói kapacitásbiztosítás feltételei

A disztribúciós rendszer realizálásához szükséges meghatározni a szállítási feladathoz illeszkedő adatstruktúrát

és a projekt részeredményeként várt eredményhalmazt. Forrás alapján előállítottuk a hazai környezetre adaptált számítási modellt, aminek elemeit a 4. táblázat mutatja be.

4. táblázat A disztribúciós rendszer adat- és eredménystruktúrája

Előkalkuláció - alágazati összehasonlítás	Mértékegység
I. Fuvarozási adatok	
Szállítóegységek száma	jmű
Képzett távolság	km
Éves fuvarfeladat szállítóegységenként	db/év/egys
Oda-vissza fuvar időszükséglete	h
Heti fuvarfeladat száma	db/hét
II. Szállítóeszköz műszaki és gazd. adatok	
Szállított LNG tömege / szállítóegység	tonna
Vontató beszerzési ára / vontató	EUR
Szállítóegység beszerzési ára / száll.egys	EUR
Értécsökkenés/pótlási költség - flotta	EUR/év
III. Töltési adatok	
Terminálhasználat költsége	EUR/töltés
Szállítóegység fajlagos önköltsége	EUR/km
Szállítóegységek éves önköltsége	EUR/év
IV. Útdíj adatok	
Szállítóeszközök éves útdíja	EUR/év
V. Belföldi disztribúció költsége	
VI. Teljes disztribúciós költség	
Tonna fajlagos disztribúciós költség	EUR/t
GJ fajlagos disztribúciós költség	EUR/GJ

A fentiek szerint ismertett költségstruktúra képezi alapját az előkalkulációnak, ami segítségével közelítő értékeket kaphatunk az LNG disztribúciós rendszer bekerülési költségét illetően, különböző időtávokra és fogyasztási forgatókönyvekre, alágazatok szerint.

Fontos megjegyezni, hogy az előkalkuláció célja a szállítási költségek becslése, hiszen mind a töltőállomások száma, elhelyezkedése és LNG szükséglet értékei is becsléseken alapulnak, ezért részletes fuvardíj-kalkulációt csupán szűrőpróbaszerűen, az előkalkulációs eredmények megbízhatóságának igazolására végzünk.

Terjedelmi okokból a cikk nem részletezi az egyes szállítási technológiákhoz kötődő számadatokat, azok a cikk alapjául szolgáló projekt tanulmányban hozzáférhetőek.

5. A DISZTRIBÚCIÓS RENDSZER TERVEZÉSE

5.1 Lehatárolások

Az LNG optimális disztribúciójának meghatározásával célunk egy olyan rendszer megválasztása, ami a fogyasztási peremfeltételeket teljesítve költséghatékony módon képes kiszolgálni a hazai LNG és L-CNG töltőállomások töltőanyag-igényét. A feltárt potenciális szállítási megoldások közül az alábbi változatokra becslünk disztribúciós költségeket:

- közúti import és terítés,

- vasúti (konténeres és tartályos) import és belföldön közúti terítés,
- folyami import és belföldön közúti terítés.

Amennyiben az importforrásokon túl hazai LNG beszerzési források is rendelkezésre állnak, úgy a vasúti és folyami szállítások belföldi közúti disztribúciójánál becsült értékek nagyságrendileg megfeleltethetők a belföldi forrásból történő LNG disztribúciós költségeivel.

Az 5. táblázatban rögzített importterminálokból történő LNG disztribúció kiértékelését végezzük el. Alapesetként rotterdami kiszolgálást feltételezünk, közúti szállításnál két további esetet is vizsgálunk: Krk és Swinoujscie terminálról történő LNG beszerzést.

5. táblázat Az LNG disztribúciós rendszer kiértékelt forráspontjai

Importterminál	Alágazat (a terminál Budapesttől mért távolsága)
Krk	Közút (503 km)
Swinoujscie	Közút (1121 km)
Rotterdam	Közút (1454 km), vasút (1550 km), folyami (1625 km)

A belföldi disztribúciós rendszer bemeneti pontjaként – illeszkedve a vasúti tartályos és a folyami szállítás feltételezett budapesti terminálszükségletéhez – a csepeli kikötőt értelmezzük.

5.2 Fajlagos teljesítményköltségek

A fentiekben bemutatott elvek alapján – a disztribúciós rendszerre vetítve – kiszámítottuk az egyes szállítási technológiák által megvalósított fajlagos, tonnakilométerre vetített teljesítményköltségeket (6. táblázat).

6. táblázat Az LNG disztribúciós rendszer fajlagos teljesítményköltségei (EUR/tkm)

	2020			2025			2030		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H
Belföld	1,26	0,73	0,72	0,85	0,68	0,68	0,72	0,67	0,66
*Közút@ Krk	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24
**Közút@ Swinoujscie	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Közút	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Vasút - konténer	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Vasút - tartálykocsi	0,23	0,19	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Folyami - tanker	0,14	0,15	0,09	0,08	0,09	0,08	0,11	0,11	0,09
Folyami - uszály	0,17	0,15	0,09	0,08	0,10	0,08	0,11	0,11	0,09

A 6. táblázatból kitűnik, hogy tkm-re vetítve a folyami szállítási technológia a legköltséghatékonyabb megoldás.

5.3 Viszonylati szállítási költségek

Az 5.2 pontban bemutatott tkm fajlagos értékek mellett érdemes összevetni a távolságértékkel felszorozott, viszonylatokra kalkulált szállítási költségeket (7. táblázat), amik már realisabb képet adnak a tervezett disztribúciós rendszer várható költségigényességéről.

7. táblázat Az LNG disztribúciós rendszer viszonylati szállítási költségei (EUR/t)

	2020			2025			2030		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H
Belföld	167,34	99,17	91,83	113,71	85,03	82,09	89,28	81,31	80,34
*Közút@ Krk	139,37	138,46	138,10	141,57	141,09	140,22	140,87	140,72	140,60
**Közút@ Swinoujscie	204,81	204,61	201,92	205,80	202,94	201,87	202,57	202,41	202,04
Közút	241,30	239,69	238,93	243,15	242,04	241,22	241,78	241,81	241,50
Vasút - konténer	306,96	306,55	305,32	306,43	304,96	304,57	304,93	304,71	304,55
Vasút - tartálykocsi	368,04	303,75	296,36	316,37	289,32	286,54	293,27	285,90	284,93
Folyami - tanker	235,45	239,77	142,93	131,94	153,78	129,18	171,47	177,63	148,33
Folyami - uszály	280,91	250,84	145,36	131,34	161,37	132,84	178,87	179,68	145,10

Az eredmények itt már jóval diverzifikáltabb képet mutatnak, kisebb szállítási volumeneknél – akár Rotterdam viszonylatban is – a közúti szállítások helyeződnek előtérbe, míg nagyobb volumeneknél a folyami szállítások abszolút költségelőnye realizálható.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A kapott eredmények – a vasúti tartályos és a folyami szállítás kivételével – szállítási fajtanként viszonylag csak kismértékű szórást mutatnak, vagyis a disztribúciós teljesítmények emelkedésével lényegében egyenes arányban növekednek a teljes disztribúciós költségértékek. A kivételek esetében a Budapest-Csepelre tervezett fogadóállomás költsége olyan állandó tétel, ami nagyobb forgalom esetén fajlagosan alacsonyabb terhet jelent disztribúciós oldalról, itt a méretgazdaságossági elv tisztán érvényesül. A becslült értékek tulajdonképpen visszaigazolták a várakozásokat: európai viszonylatban, a hazai közlekedési célú LNG disztribúcióját elsősorban közúton érdemes kiszolgálni, viszont nagyobb volumeneknél egyértelmű versenyhelyzetbe kerül a folyami uszály kötelező szállítás.

A fenti számítások pusztán a közlekedési célú LNG disztribúcióját vették alapul, de nem elhanyagolható gondolat, hogy a hazai általános háztartási és ipari célú földgáz-felhasználás import gázigénye egy részének LNG

forrásokból való kielégítése esetén a szállítási volumen hasonló léptékkal megnövekedhet, ami viszont egyértelműen a méretgazdaságossági elveket érvényesíteni tudó vasúti, de még inkább folyami szállításokat helyezhetik előtérbe. Ez képezheti alapján egy hazai “virtuális csővezetéknek”.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatást támogatta a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János kutatói ösztöndíja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Chrz, V., Emmer, C. (2007) LNG directly to customer stations. Poster at 15th International Conference & Exhibition on Liquefied Natural Gas. Chart Ferox. Barcelona, 2007.
- DMA (2012) A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations. Full report of North European LNG Infrastructure Project, Danish Maritime Authority, 2012. április 2.
- Domanovszky H. (2012) LNG szállítási és elosztási lánc előkészítő projekt. *IFFK 2012*, Budapest, 2012. augusztus 29-31.
- Domanovszky H. (2014): Gas propulsion or e-mobility is the solution on the way of clean and carbon free road transportation? *Period. Polytech. Transp. Eng.*, 42(1):63-72. DOI: 10.3311/PPtr.7254
- Európai Bizottság (2011): Fehér Könyv - Útiter az egységes európai közlekedési térség megvalósításához – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé. COM(2011)144. Brüsszel, 2011. március 28.
- Hansson, J. (2008) LNG As an Alternative Energy Supply in Sweden. Rapport SGC 197, Svenskt Gastekniskt Center, 2008. November. ISRN SGC-R-197-SE
- IGU (2015a) Small Scale LNG. 2012-2015 Triennium Work Report. International Gas Union, 2015. június
- IGU (2015b) World LNG Report – 2015 Edition. World Gas Conference Edition, International Gas Union
- Kecse Zsuzsanna Réka (2010) A cseppfolyósított földgáz, azaz az LNG szerepe Európában. *DÉL-KELET EURÓPA – SOUTH-EAST EUROPE - International Relations Quarterly*, Vol. 1. No. 4 (Winter 2010/4 Tél)
- Szendró, G., Török, Á. (2014): Theoretical investigation of environmental development pathways in the road transport sector in the European Region, *Transport* 29(1):12-17, DOI: 10.3846/16484142.2014.893538
- Vantuono, W.C. (2015) VTG unveils Europe's first LNG tank car. *RailwayAge* online edition, 2015. május 6.
- Zöldy, M., Török, Á. (2015): Road Transport Liquid Fuel Today and Tomorrow: Literature Overview. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, Vol. 43, No. 4, pp. 172-176. DOI: 10.3311/PPtr.8095, Online published: 09-09-2015