



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

LNG-s kamion hulladékhőjének a hasznosítása Szerves Rankine Körfolyamattal

Projekt

Energiaátalakítási folyamatok

Készítette: Karosi Tamás István, Kondor Dóra, Tóth Virág

Neptun kód: WH1KPF, BBJAZW, EVKG04



Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
LNG üzemanyag	3
Szerves Rankine Körfolyamat	4
Kipufogógáz hővisszanyerése	6
Hűtőfolyadék kör	8
Összehasonlítás	10
Összegzés	11
Források	12



Bevezetés

A 20. században az iparosodás felerősödésével egy új probléma ütötte fel a fejét a Földön. Ez nem más, mint a környezetszennyezés, ami nagyobb léptékben a jelenlegi klímaváltozáshoz vezet, ami pedig a bolygó élhetetlenségét okozhatja. A probléma kialakulásának oka, hogy az emberiség napról napra egyre több energiát fogyaszt különböző formában, ezzel pedig egyre jobban terhelődik a környezet. Az emberiség sokáig nem foglalkozott a problémával, azonban manapság állandó napirendi téma az úgynevezett fenntartható fejlődés, melynek lényege, hogy a jelen szükségleteit úgy elégítjük ki, hogy azzal nem ártunk az utánunk következő generációknak. Ennek megteremtéséhez környezetkímélő, alternatív megoldásokra van szükségünk az ipar minden területén. Ebben fontos szerepet játszanak a megújuló energiaforrások, a magas hatásfokú energiatermelés, és ezzel együtt a veszteségek minimalizálása. Ezek betartását segítik elő a különböző nemzetközi egyezmények, valamint a legtöbb ipari tevékenységekre már fontos előírásokat és kibocsátási határértékeket vezettek be, hogy megakadályozzák a környezet károsodását. Azonban a határértékek betartása még nem elegendő ahhoz, hogy a klímaváltozást megfékezhessük. Az egyik leginkább környezetterhelő terület már régóta a közlekedés. Az üvegházhatású gázok 29%-a a közlekedés által kerül a légkörbe. [1] Az elmúlt években több alternatív megoldás is született, hogy az utazást környezetkímélőbb módon folytathassuk. Így születtek az elektromos autók, a hibrid járművek, és egyre gyakrabban előfordul, hogy a benzint és dízelt cseppfolyósított földgázra cserélik, **hisz a földgáz a legtisztább fosszilis energiahordozó, így ezzel csökkenthető a szén-dioxid kibocsátás.** Utóbbi esetben a kibocsátás csökkentése mellett azonban törekedni kell a minél jobb kihasználásra és a veszteségek minimalizálására is. **A földgáz megfelelő hőmérsékletre való lehűtéséhez,** majd cseppfolyósításához nagy mennyiségű energia szükséges, amit később az LNG raktározni fog, mint "hideg energiát". A jármű motorjába jutás előtt egyszerű elgőzöltetéssel ez az energia kihasználatlan marad. Fogalmazhatunk úgy is, hogy az LNG-ben található exergia megsemmisül. Ennek az energiának kihasználására több módszer is született. Jelen írás a szerves Rankine körfolyamat lehetőségeit vizsgálja a hulladékhő hasznosítására. **A kinyerhető energia autók esetében viszonylag alacsony, kevesebb mint 1 kW, ami nem tudná fedezni az autók hűtéséhez szükséges teljesítményt.** Ezért érdemes nagyobb járművek esetében - hajóknál, vonatoknál, jelen esetben kamionoknál - vizsgálni a visszanyerhető energiát. [2] Érdemes ezen kívül még a kipufogógáz hasznosítását is vizsgálni, hiszen a motorban az égés nagy hőmérsékleten megy végbe.



LNG üzemanyag

Az LNG mozaikszó az angol cseppfolyósított földgáz szó megfelelője. A földgáz a természetben fellelhető egyik legkevesebb károsanyag kibocsátással rendelkező fosszilis energiahordozó. Kémiai összetételét tekintve nagyrészt metán, mely szénatom száma mindössze 1 (CH_4), tehát a keletkező CO_2 mennyisége is kedvezőbb, mint kőolaj vagy gázolaj égetése során.

Az LNG tehát tulajdonképpen földgáz, melyet -162 °C -ra hűtenek és komprimálnak. A cseppfolyósítás előtt a szennyező anyagokat eltávolítják a földgázból, a kén és a széndioxid ugyanis korrodálja a hűtőberendezést, a víz és a szénhidrogének pedig szilárd anyagként kifagynának az elegyből, és eltömítenék az eszközt. A létrejött folyékony állapotú földgáz térfogata 600-szor kisebb így, mint gáz halmazállapotban, ezáltal könnyebb a tárolása és a szállítása is. A földgázt szárazföldön 3-4000 km távolság felett, míg a tenger mélyén 1000-1500 km távolság felett szokták LNG formájában szállítani. Ez alatt még gazdaságosabb a földgázt eredeti halmazállapotában, a szállítóvezeték-rendszeren eljuttatni a kijelölt helyre; ha viszont nagyobb a távolság, akkor túl nagy lehet a szállításból, illetve a vezeték nyomásfenntartásából fakadó veszteség. Ekkor általában direkt erre a célra kifejlesztett tankhajókkal végzik a szállítását. A cseppfolyósított földgáz tiszta, nem maró hatású, nem mérgező, ráadásul a földgázhoz hasonlóan, szagtalan, ezért bizonyos esetekben indokolt, hogy az LNG-hez speciális szagosító anyagot kell keverni a visszagázosítási eljárás során. Öngyulladás hőmérséklete $550\text{-}600\text{ °C}$. [3]

Az LNG-t hasznosító járműben a folyamat némiképp hasonló a belső égésű motoroknál már megszokottakhoz, bár a kiegészítő berendezések száma jócskán több. Az üzemanyag tartályok, amelyek elhelyezkedésüket tekintve-hasonlóan a dízel tartályokhoz- a kamionoknál a vezetőfülke után közvetlen az alváz két oldalára vannak szerelve, ezáltal párhuzamosan tud a két tartály üzemelni. Ezek fizikálisan is összeköttetésben vannak, ezáltal csak egy ki-be csatlakozó szelep van két tartályhoz. A tartályok hőszigetelt és nyomástartó rozsdamentes acél tartályok, azonban a hőszigetelés sem valósul meg a valóságban 100% hatásfokkal, tehát a környezet hője minimálisan melegíti a közeget. A tartályok nyomásának szabályozását különböző biztonsági rendszerek segítik. A tartályból kilépő LNG egy hőcserélőbe lép, ahol elgőzölög. A hőcserélő meleg oldalának a hőleadó közegére többféle kialakítás létezik, ilyen közeg lehet a környezeti levegő, a hűtőrendszer felmelegedett vize, vagy akár a kipufogott forró füstgáz. A motor előtt közvetlen található még egy nyomásszabályozó, mely a motortérbe lépő gáz kívánt nyomását állítja be. Ezután kb. $1400\text{-}1600\text{ °C}$ -on elég, majd a kipufogó rendszeren távozik. [4]



Az LNG-t hasznosító kamionok fogyasztása hozzávetőlegesen a dízelmotorokéval arányos, azonban az üzemanyagárból számított egy kilométerre eső költség 25%-al kevesebb, amely az évi hosszú kilométereket futott kamionoknál nem hanyagolható el. Mivel manapság még nem túl elterjedt ez a technológia, ezért a töltőinfrastruktúra még csekély. Ezt jól mutatja, hogy egész Magyarországon egyetlen ilyen kút található.

[5]

Az üzemeltetés csendesebb, ám a nyomaték, és ezáltal a kiadott teljesítmény kevesebb. Egyéb érdekesség még, hogy Németországban az LNG-vel működő járművek nem kötelesek autópálya díjat fizetni. [5]

További lehetőségek gyanánt érdemes megemlíteni a kettős üzemű motorokat, melyekre jó példa, hogy az egyik üzemanyaga az LNG. Magas nyomású kettős üzemű motoroknál a gyújtás majdnem tökéletes, ha LNG-t 30-35 MPa-os nyomáson egy kevés gázolajjal keverve fecskendezünk be. Hasonlóan kivitelezhető alacsony nyomású kettős üzemű motoroknál benzinnel egészítve ki, de ott elkerülhetetlen a gyújtógyertya használata. [6]

Szerves Rankine Körfolyamat

Ha szétnézünk a világban, majdnem mindenhol visszaköszönnek a körfolyamatok. Megtalálhatók ezek a természetben, az állatvilágban és a vízkörforgásban, illetve hozzánk legközelebb az emberi mindennapokban. Legkézenfekvőbb az erőművi villamosenergia-előállítás, illetve a belső égésű motorok, mindkettő alapvetően három lépésen alapul. A körfolyamatban a közeggel hőt közlünk, ezáltal munkát végeztünk és a végén a nekünk szükséges energiát ki tudjuk szedni a folyamatból. Valamennyire hasonlít az emberi mindennapokra, reggel bevisszük a hőt, kávét, napközben elmegyünk dolgozni, munkát végzünk és ezáltal valakinek valami hasznos dolgot állítunk elő. Látszik, hogy sok különböző körfolyamat, illetve annak látszó folyamat található a világban, ezek közül lesz most szó a Rankine körfolyamatokról, azon belül is a Szerves Rankine körfolyamatról.

Ahogy azt az eddigi tanulmányaink során láthattuk már, a Rankine ciklus vízzel, vízgőzzel operál. Nagy hőmérsékletű külső közeg hőt ad át a víznek, mely így elgőzölög és a nyomása is megnő. Ezt a gőzt vezetjük rá egy turbinára, mely egy tengellyel össze van kötve a generátorunkkal, így könnyen tudunk villamos energiát termelni. Általában a vízbe 220-240°C külső közeggel szokás hőt bevezetni, fázisváltást, ezzel jó hatásfokot csak így tudunk elérni. Amennyiben nem adott a nagy hőmérsékletű külső folyadék, gáz, ekkor a munkaközéget szükséges változtatni.



Ebben az esetben jelennek meg a szerves Rankine körfolyamatok, melyekben a víz helyett más, **kisebb forráshővel, látenshővel rendelkező munkaközvegeket használnak fel.** Itt azonban a lehetőségek tárháza tárul elénk, azzal az apró bökkenővel, hogy a széles körben elterjedt munkaközvegek vagy költségesek, vagy nagy mértékben felelősek lehetnek a környezetszennyezésért. Tehát a kiválasztást ez nagyban befolyásolja.

Alapvetően a munkaközvegeket három csoportba lehet sorolni, aszerint, hogy hogyan viselkedik az expanzió során. Így beszélhetünk nedvesítő munkaközvegről, mely az expanziót a telített gőz állapotból kezdi meg és a nedves régióban fejezi be. Ebben az esetben a keletkező cseppek fékező hatásukkal csökkentik a hatásfokot, illetve csepperózióval meghibásodást okozhatnak. Másik csoportja a szárító közeg alkalmazása, mellyel pont ez a csepperózió előzhető meg. **Ezek alkalmazásánál túlhevítés alkalmazandó,** így az expanzió végén alacsony hőmérsékletű és gáz halmazállapotú lesz a közegünk, ebben az esetben a hőterhelés okozhat hatásfokcsökkenést, a hőterhelés csökkentésére rekuperátorokat lehet alkalmazni a közeg előmelegítésére. A harmadik lehetőség izentropikus közegek alkalmazásával élne, azonban itt meg kell említeni, hogy ilyen anyag nincsen, pedig ez a megoldás lenne a legjobb megoldás, az egyszerűségének és a jó hatásfokának köszönhetően.

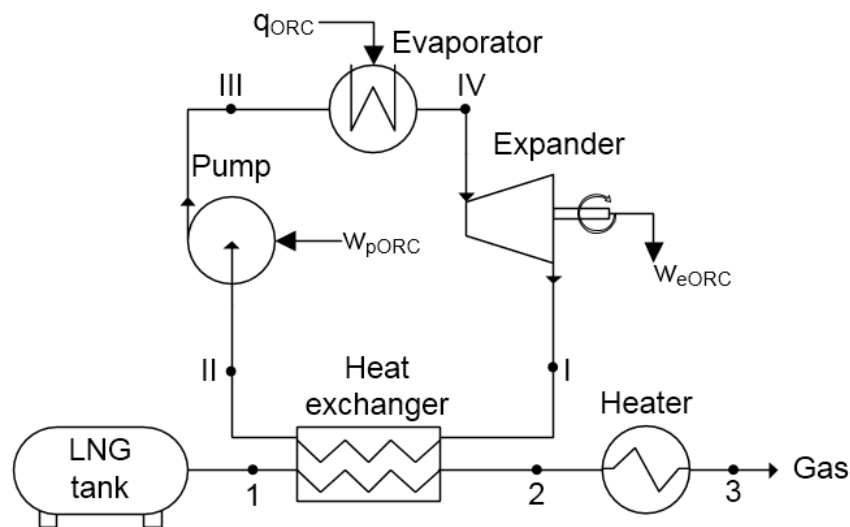
Tehát a munkaközveg kiválasztására mindössze csak az első két csoportból lehet választani. Az optimális közveg kiválasztásához ismerni kell a hőforrás maximális hőmérsékletét, illetve a környezet legkisebb hőmérsékletét, így lehet illeszteni a megfelelő anyagot a fagyás és forráspont alapján. Mivel szerves anyagokat használnánk, ezért oda kell figyelni a környezeti hatásokra is, ha véletlenül a közveg kijutna a természetbe, a légkört, a talajt szennyeznék, amennyiben könnyen begyullad, akár robbanást is előidézhet. Tehát érdemes a közveget határoló falakat úgy megválasztani, hogy a munkaközveg benn maradjon. A közveg ne legyen maró hatással a csövekre, illetve rések, repedések a nagy nyomás hatására ne keletkezzenek.

A feladatunkban egy LNG-vel üzemelő teherautóban, kamionban keletkező veszteségheőit szeretnénk felhasználni, ezzel növelve a működés hatékonyságát. Ehhez fel kell tárni, hol találhatóak a nagy hővesztéssel rendelkező hőforrások. Először két hőforrás jut mindenkinek az eszébe, a hűtőfolyadék és a kipufogógáz, azonban az elektromos berendezések veszteségheőjéről sem szabad elfeledkezni.

Szerves Rankine körfolyamatot mindháromra fel lehet építeni, **azonban a működéshez különböző közegekre lenne szükség.** Kipufogógázból lényegesen több hő vehető le, mint az elektromos eszközökről. A motorban 1400°C-on megy végbe az égés, a kipufogógáz hőmérséklete megközelítheti a 700°C-t, így ezt minden bizonnyal érdemes kihasználni. A hűtővíz, miután bemelegedett a hagyományos belső égésű motor 80-90°C hőmérsékletű, gázmotoron belül nagyobb hőmérsékletekkel



találkozunk, így nagyobb a hűtés igénye, tehát innen is érdemes hasznosítani a veszteséghőt. Amennyiben a hűtővíz hőmérséklete azonos a hagyományos belső égésűekhez, akkor a hagyományos víz-gőz Rankine körfolyamatot már nem lehet használni, ebben az esetben is a szerves Rankine ciklusra van szükség. A harmadik hely, ahol a veszteségeket csökkenteni lehet, azok a villamos berendezések által termelt felesleges hőmennyiségnek a felhasználása. Ezeknek a hőmérséklete azonban nagyon közel van a környezetéhez, így ebben az esetben másik hűtőközeget kell találni, melyre jó megoldást adhat maga az üzemanyag, ezzel az üzemanyag hideg energiájának a hasznosítására ad lehetőséget. [7]



1. ábra LNG elgőzöltető hővisszanyerő rendszerrel [2]

Kipufogógáz hővisszanyerése

A kipufogógáz hasznosítása egy lehetséges alternatív megoldás, amellyel a veszteséghőt visszaforgathatjuk és egy ORC segítségével energiát állíthatunk elő. Ezt a megtermelt energiát a járművön belül fel is lehet használni pl. az akkumulátor töltésére vagy fűtőszál segítségével az LNG elgőzöltetés rásegítésére.

A körfolyamat meleg oldala a kipufogógáz segítségével valósul meg. Ennek hőmérséklete kb 700 °C, azonban ez a hőmérséklet további hasznosításra még magas. A körfolyamat maximális hőmérsékletét 310 °C-nak vettük. Melyhez munkaközegként a toluolt választottuk.

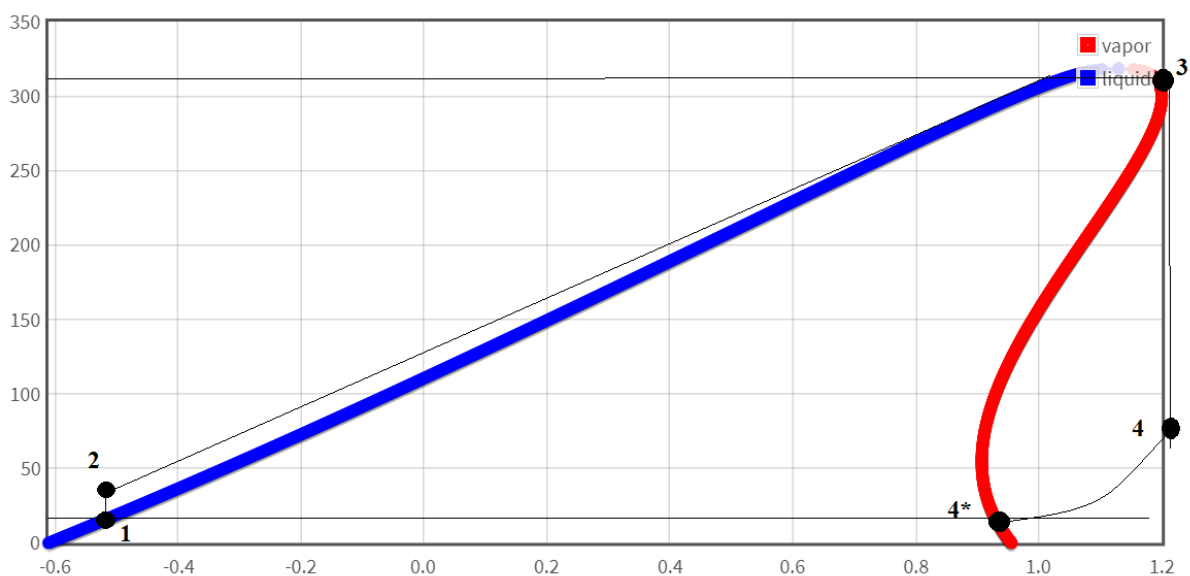
A toluol színtelen, 111 °C-on forró folyadék, vízben nem oldódik, szerves oldószerekkel korlátlanul elegyedik. A toluol maga is kitűnő oldószer. Tárolásakor figyelni kell az edény anyagára, bizonyos műanyagokat old. Erősen párolog. Közvetlen belélegezve közepesen vagy erősen mérgező. De használata nem tiltott,



környezetterhelő hatása még elfogadható. Ipari felhasználására szigorú munkavédelmi előírások vonatkoznak. [8]

A körfolyamat hideg oldala maga a környezeti hőmérséklet. Mivel a környezeti hőmérséklet változása nehezen monitorozható és a számításokat bonyolítja ezért itt egy átlagos hőmérséklettel számolunk. A körfolyamat alsó hőmérsékletét 15 °C-ra határoztuk meg.

A maximális és minimális közeg hőmérsékletének és a munkaközeg típusának ismeretében már meghatározhatjuk a körfolyamat T-S diagramját, mely az alábbi ábrán látható. A T-S diagramot és a későbbi számításokat a NIST.gov webbook alkalmazása segítette. [9]



2. ábra. Toluol munkaközegű ORC T-S diagramja. [9]

munkapont	1	2	3	4	4*
T [°C]	15	15,775	310	84,125	15
p [bar]	0,022182	37,111	37,111	0,022182	0,022182
h [kJ/kg]	-175,1	-170,845	601,24	328,32	243,68
s [kJ/kg*K]	-0,52212	-0,52212	1,1934	1,1934	0,93120

3. ábra. Egyes munkapontok adatai.



A táblázat a körfolyamat különböző pontjainak adatait tartalmazza. Ezek az adatok a hőmérséklet, nyomás, entalpia és entrópia. Ahogy az ábrán is jól látszik a toluol egy száraz munkaközeg, az expanzió végig gőz fázisban megy végbe. Fontos megemlíteni, hogy a T-S diagram expanzió vonalát ideálisnak, izentropikusnak tételeztük fel. A valóságban soha nem létezik 100 % hatásfokú expanzió, mindig van entópiainövekedés.

A következő számítások entalpiakülönbség révén hatásfok számításhoz vezetnek, illetve kiszámoltuk a Carnot hatásfokot is, amely az elméletben kinyerhető maximális hatásfokot mutatja.

$$h_{be} = h_3 - h_2 = 772,085 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{el} = h_4 - h_1 = 503,42 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_{hasznos} = h_{be} - h_{el} = 268,655 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta = \frac{h_{hasznos}}{h_{be}} = 34,8\%$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 50,6\%$$

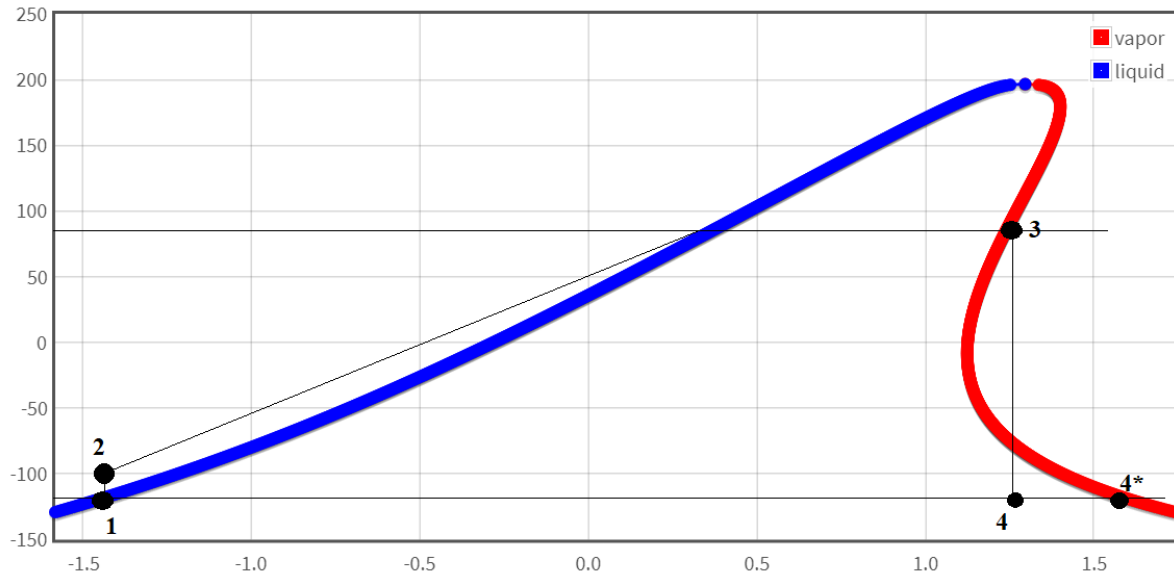
Az ORC-ből kinyerhető teljesítmény meghatározása több paramétertől is függ. Első közelítésként a kamion menetsebessége az a változó, amit meg kell határozni. Ezt kamionok esetében átlagosan 80-90 km/h sebesség. A sebességből és a hőcserélő felületéből - a belépési keresztmetszetből - meghatározható az a maximális térfogatáram, amelyet az ORC meleg közegeként felhasználunk. Ezután már csak a levegő sűrűsége szükséges (25°C-on 1,1843 kg/m³), hogy a levegő tömegárama adott legyen. A levegő és toluol hőcserélő hőmérsékletéből ezek után kiszámítható a közeg tömegárama, amelyet az expanzió kezdő- és végentalpiájának a különbségével megszorozva megkapjuk a kinyerhető teljesítményt abban az esetben, ha a kompresszió teljesítményigényét elhanyagoljuk.

Hűtőfolyadék kör

A hűtőfolyadék kör sematikus ábrázolása az 1. ábrán látható. Ebben az esetben az ORC hideg oldala maga a tankból érkező LNG, a meleg oldal pedig a már feljebb említett hűtővíz, melynek hőmérséklete 80-90°C között alakul. A kamionok tankjában igyekeznek minél alacsonyabb hőmérsékleten tartani az üzemanyagot, hisz a hőmérséklettel együtt az LNG sűrűsége is csökken, így nagyobb mennyiség tárolható belőle. Ez a hőmérséklet -125 fok körül alakul. [10] A munkaközeg kiválasztásánál



olyan anyagra volt szükség, amely ezen hőmérséklet tartományok között képes üzemelni. A kiválasztást megnehezítette, hogy rengeteg megfelelőnek tűnő anyag a káros környezeti hatásaik miatt be van tiltva. Az általunk választott közeg végül a pentán lett, mely egy szárító munkaközeg.



4. ábra. Pentán munkaközegű ORC T-S diagramja. [9]

A körfolyamatból kinyerhető teljesítmény számításánál a hőmérséklet határok -120°C és 80°C , a körfolyamatot pedig ideálisnak tekintjük. Utóbbiból az adódik, hogy a közeg a nedves mezőben expandál, azonban valós esetben az irreverzibilitás miatt az expanzió hatásfokától függően a 4-es pont valószínűleg a száraz mezőbe kerülne.

munkapont	1	2	3	4	4*
T [$^{\circ}\text{C}$]	-120	-120	80	-120	-120
p [bar]	$4,7 \cdot 10^{-6}$	3,68	3,68	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$
h [kJ/kg]	-328,72	-328,32	427,42	83,84	142,957
s [kJ/kg*K]	-1,464	-1,464	1,23	1,23	1,616

5. ábra. Egyes munkapontok adatai.

A hatásfok kiszámításához entrópia különbségekre van szükség, melyeket az első táblázatból határozhatunk meg.

$$h_{be} = h_3 - h_2 = 755,74 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{el} = h_4 - h_1 = 412,56 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



Ebből a hasznos entalpia:


$$h_{be} - h_{el} = 343,18 \frac{kJ}{kg}$$

Ebből a körfolyamat hatásfoka:

$$\eta = \frac{h_{hasznos}}{h_{be}} = 45,41\%$$

Carnot hatásfok:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 56,66\%$$


Látható, hogy a körfolyamat hatásfoka megközelíti az elméletileg kinyerhető maximális hatásfokot, a Carnot hatásfokot. De érdemes ismét hangsúlyozni, hogy ez az ideális körfolyamat hatásfoka. 

Összehasonlítás

Az LNG üzemanyaggal hajtott kamionunk motorja hasonlóan a többi hagyományos, belső égésű motorral ellátott járműhöz, nem mondható túlságosan hatékonynak. Az égés során nagy mennyiségű hő keletkezik, melynek egyik része a motorblokkot fűti, a másik része a kipufogógázzal elhagyja a járművet. Tehát ezzel a hőveszteséggel kezdeni kell valamit, ezért vettük a két közeget, melyek a hőt szállítják, alapul a meleg oldalon Szerves Rankine Ciklusunkban.

A munkaközeg kiválasztásában törekedtünk arra, hogy az esetlegesen bekövetkező baleset során, legyen az karambol, vagy borulás, a környezetre ne legyünk káros hatással, tehát lehetőleg a legkörnyezetbarátabb közeget alkalmazzuk. A közeg kiválasztásában azonban a kipufogógáz esetén a viszonylag nagy hőmérsékletek miatt, ahhoz, hogy negatív Celsiusokban mérhető hűtőközeget alkalmazzunk, a környezetet nagy mértékben károsító anyagot kellene használni. Így ebben az esetben letettünk a hideg LNG-vel való hűtésről, ehelyett a környezeti levegőt használjuk, melyet hagyományos hűtőbordákon átvezetve, a nyomásesésével nem foglalkozva hűtjük a munkaközeget, a toluolt. Számításaink alapján 34,8%-os hatásfokkal jár a toluol ORC-je az általunk felvázolt esetben, a visszanyert energiát könnyen villamos energiává lehet alakítani, illetve akkumulátorban tárolni. A tárolt villamos energiát több célra is be lehet fogni, ebből elsődleges feladata elektromotor segítségével a belső égésű egység feladatának a kiváltása alacsony, illetve kevésbé hatékony fordulatszámokon, tehát lényegében véve az elindulásoknál, illetve alacsony sebességeknél.




A másik munkaközegünket a hűtőfolyadékkal fűtenénk, ez a folyadék a nagy hőmérsékletű égéssel járó üzem során a motor hűtéséért felelős, így ebben az esetben a hagyományos hűtőbordák helyett ORC-re kötjük, ezzel vonva el a hőt a levegő helyett. A ciklusunk hideg oldalára pedig az LNG-t vesszük. Munkaközegnek a pentánt választottuk, mely hasonlóan a toluolhoz nem káros nagy mértékben a környezetre, viszont a fagyáspontja lényegesen alacsonyabban van, így könnyen felhasználható LNG mellett. Az általunk felvázolt „ideális” esetben 45,41%-os hatásfokkal jár a folyamat, illetve fajlagosan több energia nyerhető ki belőle, melyet kombináltan akkumulátor töltésre és üzemanyag gőzölögtetésre lehet fordítani. 

Összegzés

A károsanyag kibocsátásban a közlekedési szektor nagy szerepet vállal. A környezetvédelem jelenleg ezt a szektort jelölte meg mumusként, a leggyorsabban itt akarnak elérni változásokat a kibocsátások terén. Tehát, ha körbenézünk a szektor nehezebbik oldalán, a tehergépjárműveknél nagy szükség van a működésük hatékonyságának a növelésére. Ehhez a lehető legtöbb veszteséget ki kell zárni az egyenletből, illetve ami megjelenik, azt vissza kell forgatni a működésébe. Amennyiben az áru- és személyszállításban a tisztább jövő a cél, akkor minden négyzetcentiméteren növelni kell a hatásfokokat, a veszteségeket csökkenteni. A két felvázolt megoldás is ezeket taglalta és a számításainkból adódik, hogy erre a feladatra az ORC alkalmazása jó megoldás, képesek növelni a hatékonyságukat. Ezáltal az üzemanyag fogyasztás csökken, a motorok optimális üzemben működnek, így a károsanyag kibocsátás is csökken. Ezzel hozzájárulva a jövő városképeinek a szebbé tételéhez, azzal, hogy a levegő minőségét nagy mértékben képesek vagyunk ilyen eszközökkel javítani.



Források

- [1] United States Environmental Protection Agency: Sources of Greenhouse Gas Emission
- [2] Pawel Dorosz, Pawel Dojcieszak, Ziemowit Malecha (2018): Exergetic Analysis, Optimization and Comparison of LNG Cold Exergy Recovery Systems for Transportation
- [3] Solver Group: LNG üzemanyagöltő állomás létesítése Budapesten - PL4D megvalósíthatósági tanulmány
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=6WbcgMWr3JQ>
- [5] SCANIA Magyarország: <https://www.scania.com/hu/hu/home/experience-scania/Kampanyok/2020/fenntarthato-szallitas/lng-cng.html>
- [6] Md Arman Arefin , Md Nurun Nabi, Md Washim Akram , Mohammad Towhidul Islam and Md Wahid Chowdhury(2020): A Review on Liquefied Natural Gas as Fuels for Dual Fuel Engines: Opportunities, Challenges and Responses
- [7] Dr. Imre Attila, Kustán Réka, Dr. Groniewsky Axel: Termodinamikai szempontból ideális munkaközeg választás organikus Rankine ciklushoz. Energiagazdálkodás, 60. évf. 2019. 6. szám
- [8] Tuloul adatai a wikipediáról: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Toluol>
- [9] Nist Chemistry WebBbook 
- [10] Imre Attila: Energiaátalakítási folyamatok tantárgy, Termodinamikai alapok c. előadás. 2020/2021/2