

MISKOLCI EGYETEM



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
ENERGETIKAI ÉS VEGYIPARI GÉPÉSZETI INTÉZET
VEGYIPARI GÉPÉSZETI INTÉZETI TANSZÉK

ABSZORPCIÓS HŐSZIVATTYÚK ENERGIAFELHASZNÁLÁSÁNAK CSÖKKENTÉSE

PhD értekezés

KÉSZÍTETTE:

Krámer Gyula Ferenc
okleveles gépészmérnök

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA
GÉPÉSZETI ALAPTUDOMÁNYOK TÉMATERÜLET
TRANSPORTFOLYAMATOK- ÉS GÉPEIK TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE:

Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella
akadémikus, a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár

TÉMATERÜLET VEZETŐ:

Prof. Dr. Páczelt István
akadémikus, a műszaki tudományok doktora, professor emeritus

TÉMACSOPORT VEZETŐ:

Prof. Dr. Siménfalvi Zoltán
PhD, egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐ:

Prof. Dr. Siménfalvi Zoltán
PhD, egyetemi tanár

TÁRS-TÉMAVEZETŐ:

Prof. Dr. Szepesi Gábor
PhD, egyetemi tanár

Miskolc, 2024

Krámer Gyula Ferenc

**ABSZORPCIÓS HŐSZIVATTYÚK
ENERGIAFELHASZNÁLÁSÁNAK CSÖKKENTÉSE**

PhD értekezés tézisei

Miskolc, 2024

1. KUTATÁSI FELADAT

1.1. BEVEZETÉS

A klímaváltozás korunk legnagyobb kihívása, melynek hatása mind a természetre, mind az emberiségre nézve súlyos következményekkel jár. Erre nekünk, mérnököknek is hathatós választ kell adni. Gátat kell szabni az energiafelhasználás növekedésének - különös tekintettel az energiafelhasználás miatti környezetterhelés növekedésének. E törekvés egyik eszköze az abszorpciós hőszivattyú, ahol az energiaforrás döntő része hő, ami lehet más technológiai folyamatok hulladékhője vagy akár napenergia is.

1.2. CÉLKITŰZÉSEK

Az értekezés három részből áll. Első a fejlesztendő rendszer kiválasztása, majd annak vizsgálata, mely alapján megfogalmazódik az elérendő cél. A következő két rész az erre adott két megoldási lehetőséget tartalmazza.

1.2.1. A VIZSGÁLANDÓ RENDSZER KIVÁLASZTÁSA

Az abszorpciós hőszivattyúk területe meglehetősen nagy, a lehetőségeink pedig behatároltak. Le kellett szűkíteni a kutatást a leginkább fejleszhető berendezésre, és az egyik legsokoldalúbban használható közegpárra. Ez lett az oldatszivattyús abszorpciós hőszivattyú és az ammónia-víz hűtőközegpár.

1.2.2. A RENDSZER MATEMATIKAI MODELLJÉNEK MEGALKOTÁSA

A következő lépés e hőszivattyú matematikai leírása volt, mivel ennek viselkedése, azaz a bemenő paraméterek változtatására adott válasza megmutatja az energiafelhasználás csökkentésének lehetőségeit.

1.2.3. A HŰTŐKÖZEGPÁR FIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK MODELLEZÉSE

A hőszivattyús rendszer matematikai modellezéséhez szükséges volt előállítani az ammónia-víz közegpár fizikai tulajdonságait leíró függvényeket. Ezek felhasználásával az abszorpciós rendszer leírhatóvá vált.

1.2.4. A RENDSZER VIZSGÁLATA, ÉS A FEJLESZTÉS LEHETSÉGES ÚTJA

A modell működése alapján meg lehet állapítani az energiafogyasztás csökkentésének lehetőségeit. Az eredmények alapján az oldatszivattyú energiaigényének csökkentésével, illetve annak kiváltásával lehet a legjobb hatást elérni. Különös tekintettel arra, hogy ez nem hőenergia, hanem elektromos energia. A továbbiakban ez került a kutatás fókuszába.

1.2.5. HŐLÉGMOTOROS HAJTÁS

Kézenfekvő az, hogy az oldatszivattyú a rendelkezésre álló hóból nyerje a működéséhez szükséges energiát. Ehhez kifejlesztésre került egy új típusú, a meglévő változatoknál lényegesen egyszerűbb, de ennek ellenére azoknál valamivel kedvezőbb hatásfokú hőlégmotor, ami képes a hőszivattyú hőforrását hasznosítani. Ennek a tervezési menete, vizsgálata, értékelése, valamint műszaki leírása is része lett az értekezésnek.

A rendszer elemzése során feltártam azok szűk keresztmetszeteit és egy másik, kedvezőbb konstrukció fejlesztését tűztem ki célul.

1.2.6. GŐZ MUNKAKÖZEGŰ SZIVATTYÚ

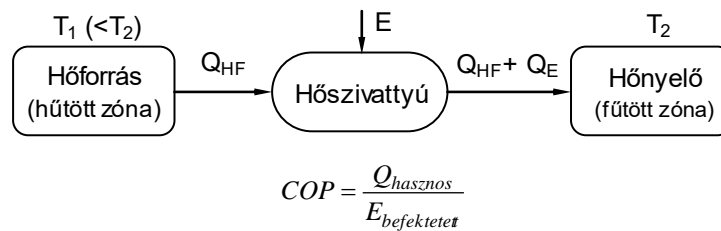
Célom egy olyan, hőlégmotoréval azonos működési elvű gép megalkotása volt, melynek munkaközege gőz. A gőz munkaközeg miatt jóval nagyobb a teljesítmény sűrűsége. Ez a motor szabaddugattyús változatban épült meg. Egyszerű felépítésű, de már önstartoló, azaz külső energiaforrás nélkül indul el, így közvetlenül alkalmazható szivattyúnak. E gépnek a tervezési menete, vizsgálata, értékelése, valamint műszaki leírása is része lett az értekezésnek. Végül eme új eszköz további felhasználási területeiről esik szó.

2. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK

2.1. ABSZORPCIÓS HŐSZIVATTYÚK

2.1.1. MI IS AZ A HŐSZIVATTYÚ?

A hőszivattyú egy olyan gép, amely arra szolgál, hogy kivonja a hőt az alacsonyabb hőmérsékletű térrészből, és a magasabb hőmérsékletű térrészbe szállítsa (1. ábra). Mindehhez természetesen valamilyen energiát kell befektetnünk [1].



1. ábra: A hőszivattyú sémája [1].

A berendezés használható hűtésre és fűtésre is. Az első esetben számunkra az alacsony hőmérsékletű hűtött zóna a lényeges, a hőelnyelő pedig a környezet. A második esetben a fűtött zóna a fontos, a hőforrás pedig többnyire a környezet.

A hőszivattyú legfőbb ismérve az ún. jósági fok, azaz a COP (Coefficient of Performance). Ez az elvont, illetve a beszállított hő mennyisége, vetítve a befektetett energia mennyiségére. Ez nem klasszikus hatásfok, hiszen 1-nél nagyobb is lehet.

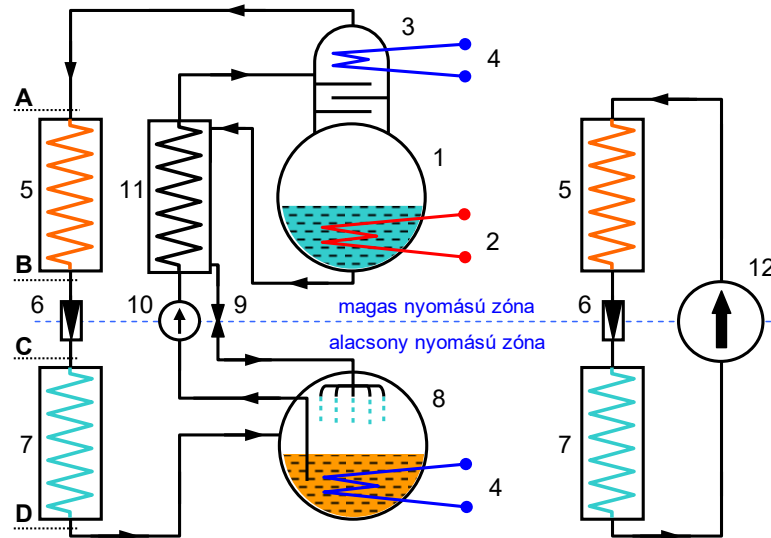
2.1.2. OLDATSZIVATTYÚS ABSZORPCIÓS RENDSZER

Két merőben más felépítésű abszorpciós hőszivattyú típus létezik: az állandó és a változó nyomású, vagyis az oldatszivattyús rendszer, amit Ferdinand Carré alkotott meg 1859-ben [2, 3]. A fejleszthetősége miatt az értekezés csak a másodikkal foglalkozik.

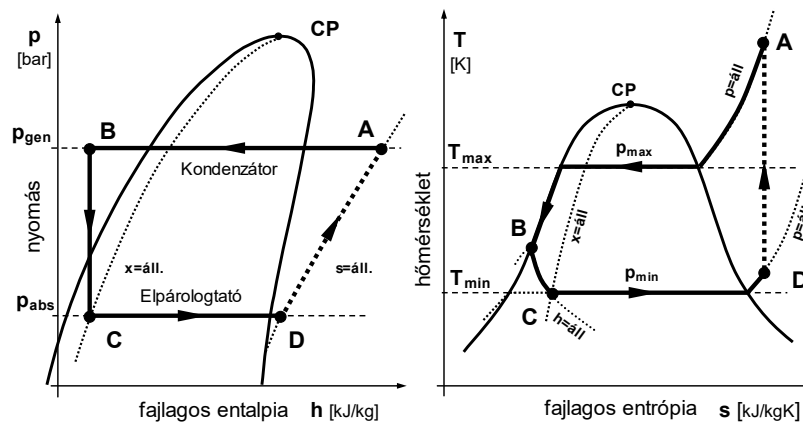
2.1.3. A MŰKÖDÉS LEÍRÁSA

A berendezésben (2. ábra) egy munkaközegpár, esetünkben az ammónia és vizes oldata található (ami jellemzően 30-40%-ban tartalmazza a hűtőközeget). Ezt a generátorban felmelegítjük 80-120 °C-ra. A hűtőközeg forró gőzként távozik, és belép az utóhűtőbe, ami 50-70 °C-ra hűti vissza. Ezzel tovább finomítja a hűtőközeget, ami ezután a kondenzátorban lehűl 30-40 °C-ra és cseppfolyósodik. Ezután áthalad az expanziós szelepen, belép az alacsony nyomású részbe és elpárolog, így alacsony hőmérsékleten

hőt von el. Ezután belép a 30-40 °C-os elnyeletőbe, ahol újra oldatba megy. A termodinamikai körfolyamat a 3. ábrán látható. A folyamat miatt a generátor oldata egyre szegényedik, az elnyeletőé dúsul, ezért kell egy szivattyú, ami folyamatosan keringeti az oldatot, valamint szükség van egy hőcserélőre is, mivel igen nagy a két folyadékáram közti hőmérséklet különbség [4].



2. ábra: Az abszorpciós (balra) és a kompresszoros (jobbra) hőszivattyú egyszerűsített rajza:
 1. generátor, 2. fűtés, 3. utóhűtő, 4. hűtés 5. kondenzátor, 6. fojtószelep, 7. elpárolgató,
 8. elnyelető, 9. szabályozószelep, 10. oldatszivattyú, 11. hőcserélő. 12. kompresszor [5].



3. ábra: A hőszivattyú nyomás-entalpia (balra) és hőmérséklet-entrópia diagramja (jobbra)
 Az A, B, C, D pontok megegyeznek a 2. ábrán jelöltekkel.

2.1.4. JÓSÁGI FOK

A hűtőkört más közegpárokkal is létre lehet hozni (1. táblázat). Ennek két fő feltétele a korlátlan oldhatóság és a forráspontban való jelentős eltérés. A táblázat tartalmazza a közegpárokhöz tartozó jósági fokokat, azaz a COP-t, ami természetesen tervezési vagy irányadó érték, mivel az az üzemi körülményektől is jelentős mértékben függ. Ezen

COP értékek messze elmaradnak a kompresszoros hőszivattyúk névleges értékeitől, de azok elektromos energiát használnak fel, az abszorpciós eljárások pedig jórészt hőt.

Hűtőközeg	Oldóközeg	Alkalmazás	COP	Megjegyzés
ammónia	víz	gyakorlati	0,55...0,65	Alkalmas alacsony hőmérsékletre is, ártalmas
víz	LiBr	gyakorlati	0,75...0,85	Csak légkondicionálásra alkalmas
ammónia	LiNO ₃	kísérleti	0,65...0,75	Alacsony hőmérsékletre is jó, de ártalmas
víz	CaCl ₂	kísérleti	0,75...0,82	Csak légkondicionálásra alkalmas
metanol	LiBr ₃	kísérleti	0,75...0,92	Alacsony hőmérsékletre is jó
aceton	ZnBr ₂	kísérleti	0,52...0,72	Alacsony hőmérsékletre is jó
H ₂ SO ₄	víz	Ez volt az első HKZ-pár. Elvben jó, de nagyon ártalmas és korrozív		

1. táblázat: Alkalmazható közegpárok [6].

2.2. HŐHAJTÁSÚ DUGATTYÚS GÉPEK

2.2.1. A HŐVEL HAJTOTT DUGATTYÚS GÉPEK TÍPUSAI

Három dugattyús hőerőgép család létezik [7]. Az egyik a gőzgépek családja [8], a másik a belsőégésű motorok családja, a harmadik pedig a hőlégmotorok családja. Ez utóbbi eléggé ismeretlen, noha történetük jó kétszáz éves. Robert Stirling [9] építette az elsőt 1816-ban. Ez a gépcsalád számunkra azért fontos, mert képes hasznosítani az abszorpciós hűtés alacsony hőmérsékletű hőforrását.

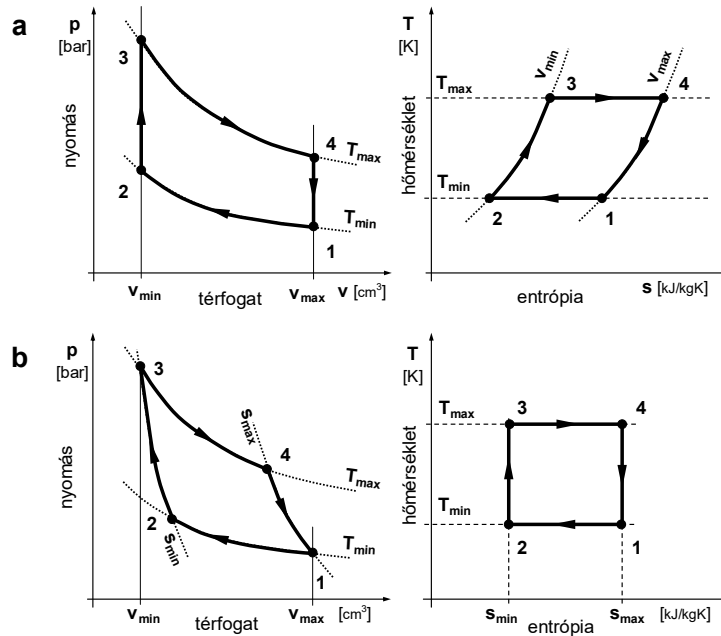
2.2.2. A HŐLÉGMOTOROK MŰKÖDÉSI ELVE

A Stirling motornak többféle változata van, de a működési mód azonos, feltétele a hőmérséklet különbség. A feltalálóról elnevezett termodinamikai körfolyamat a 4/a ábrán látható. Az idealizált Stirling-körfolyamat négy részfolyamatból áll: izoterm sűrítés (1-2), izochor hőközlés (2-3), izoterm expanzió (3-4), végül az izochor hőelvonás (4-1). Ez a folyamat közelíti meg legjobban a Carnot-körfolyamatot (4/b ábra), amely a következő négy részfolyamatból áll: izoterm sűrítés (1-2), izentrópus sűrítés (2-3), izoterm expanzió (3-4), majd izentrópus expanzió.

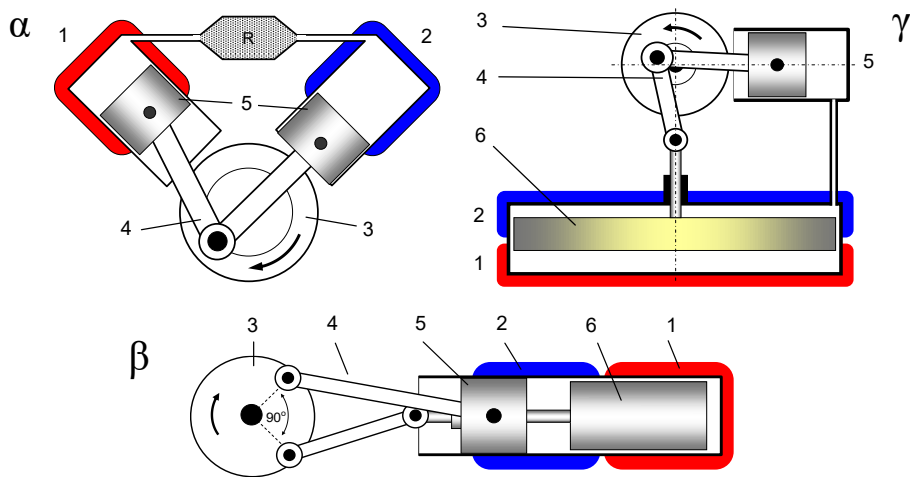
2.2.3. A HŐLÉGMOTOROK ALAPTÍPUSAI

Elrendezésük szerint három alaptípus létezik, ezek az α , β és γ változatok [10]. A főtengelyükön két hajtókar található, melyek 90°-os szögben vannak csapágyazva. Amikor a gép sűrít a munkaközeg zöme a hideg oldalon van, majd átkerül a meleg oldalra, és kezdődik az expanzió. A modern gépeknek nem levegő, hanem magas nyomású hidrogén vagy hélium a munkaközege. Ezen gépek konstrukciótól függően

többnyire lassú járásúak (100 – 1000 1/s), hiszen a hőcseréhez idő kell [11, 12]. A termodinamikai folyamat kvázi statikusnak tekinthető, így a térfogatváltozás állandó hőmérsékleten megy végbe. Az 5. ábrán a három alapmodell látható [13].



4. ábra: A Stirling körfolyamat (a), és Carnot körfolyamat (b) nyomás-térfogat, illetve hőmérséklet-entrópia diagramjai.



5. ábra: Az α, β és γ típusú gép felépítése: 1. fűtés, 2. hűtés, 3. lendkerék, 4. hajtókar, 5. dugattyú, 6. áttolódugattyú, R: regenerátor.

Léteznek egyéb verziók is, ilyen a Ringbom gép [14] ahol a nyomás vezérli az áttolódugattyút, illetve az ún. rotary hőléggép [15] ahol a gáz áthelyezéséről a zárt térben forgó speciális főtengely gondoskodik. De ezek is a Stirling körfolyamat szerint működnek. Értekezésemben egy mindezeketől eltérő hőlégmotort ismertettem.

3. AZ ABSZORPCIÓS HŐSZIVATTYÚ VIZSGÁLATA

A hatékonyság-növelés módjának megállapításához a legcélravezetőbb mód egy matematikai modell megalkotása, melynek segítségével meghatározhatóvá válik, hogy az adott bemenő paraméterek milyen hatással vannak a COP értékére. A modellhez szükség van az ammónia-víz hűtőközegpár fizikai paramétereit leíró kétváltozós függvényekre. Ezen változók pedig a hőmérséklet és a koncentráció, illetve a nyomás és a koncentráció. Így az első lépés ezen háromdimenziós görbék létrehozása.

3.1. AMMÓNIA-VÍZ HŰTŐKÖZEG FIZIKAI JELLEMZŐI

A fizikai jellemzők vizsgálatához Carl G. Almén [16] művét használtam kiindulási alapnak, bár több hasonló kutatás van [17, 18, 19], ezt igyekeztem továbbfejleszteni. A cél a hűtőközegpár fizikai jellemzőinek egyszerű és kis hibával működő közelítéseinek létrehozása [20]. A két legfontosabb anyagjellemző a 6., 7. és 8. ábrán látható.

3.1.1. GŐZNYOMÁSGÖRBE

A gőznyomásgörbe azt mutatja meg, hogy az adott koncentrációjú oldat esetén és az adott hőmérsékleten mekkora a telített gőz nyomása: (6. és 8. ábra)

$$p(t, x) = e^{\frac{A(x) - B(x)}{t + C(x)}} \quad (1)$$

Ahol az $A(x)$, $B(x)$, $C(x)$, rendre:

$$A(x) = 11,675 \cdot (1 - 0,223x^{0,5} - 1,55x^{1,5}) \quad (2)$$

$$B(x) = 3840 \cdot (0,126x^{2,62} - 0,1157x^{1,62} - 0,62x^{0,62} + 1) \quad (3)$$

$$C(x) = (229 + 47,7x - 20x^2) - 7 \sin(2,8x) - 1,5 \sin(8,5x) \quad (4)$$

3.1.2. EGYENSÚLYI GÖRBE

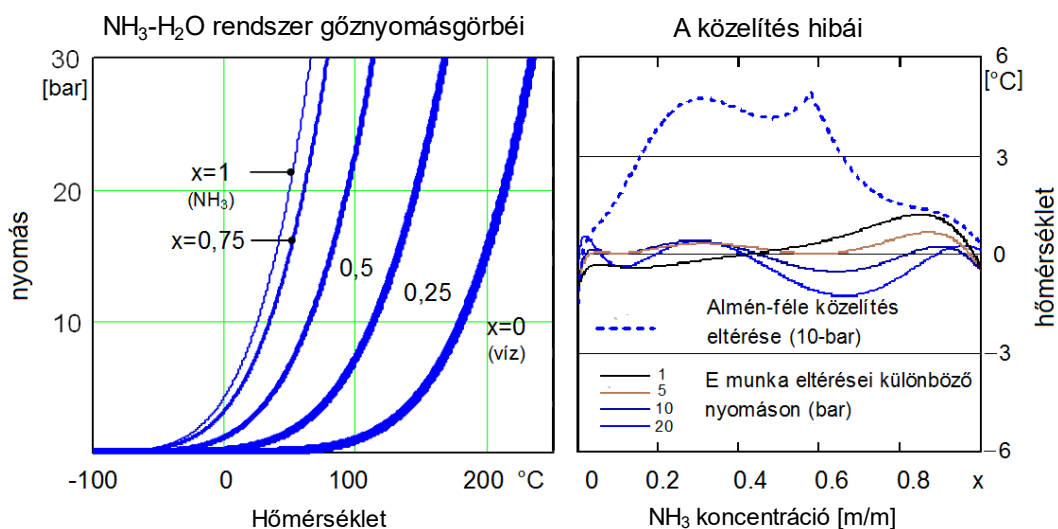
Az egyensúlyi görbe azt mutatja meg, hogy az adott koncentrációjú oldat az adott nyomáson milyen összetételű gőzzel tart egyensúlyt: (7. és 8. ábra)

$$y(p, x) = B_y(x) - e^{A_y(p) \cdot x} \quad (5)$$

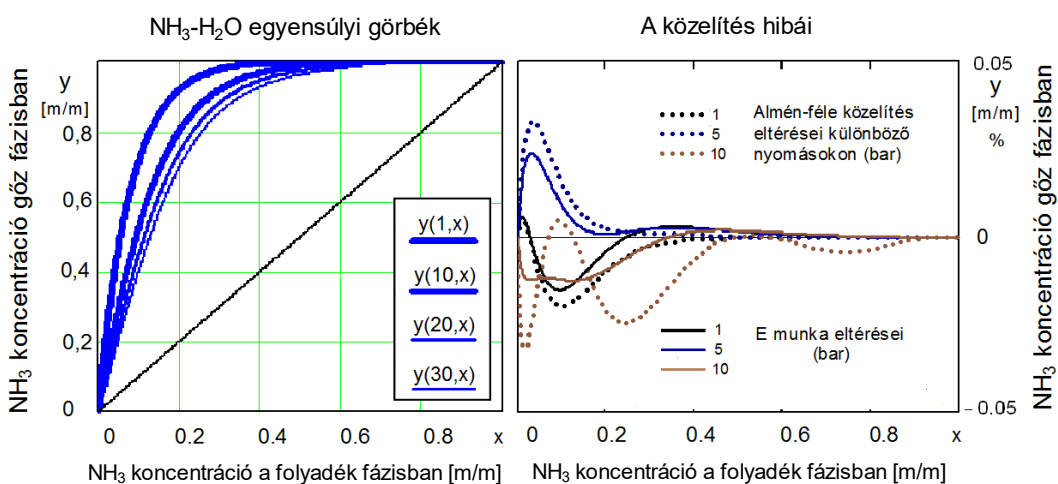
Ahol $A_y(p)$, és $B_y(x)$ rendre:

$$A_y(p) = 1,5413 \cdot e^{-p} + 2,5151 \cdot \ln p - 14,2715 \quad (6)$$

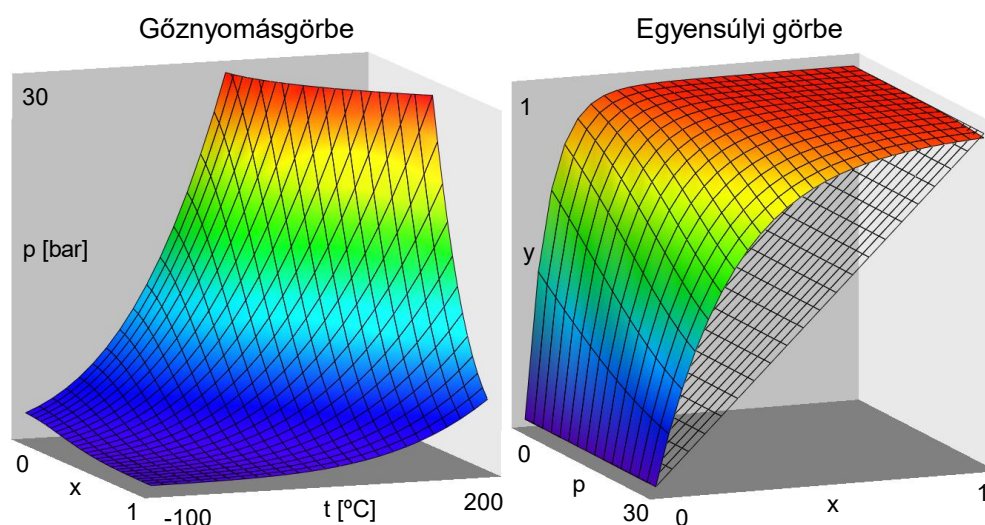
$$B_y(x) = 1 - 0,0353 \cdot \sin(\pi \cdot e^{-8x}) \quad (7)$$



6. ábra: Gőznyomásgörbék különböző koncentrációknál, és a közelítés hibája.



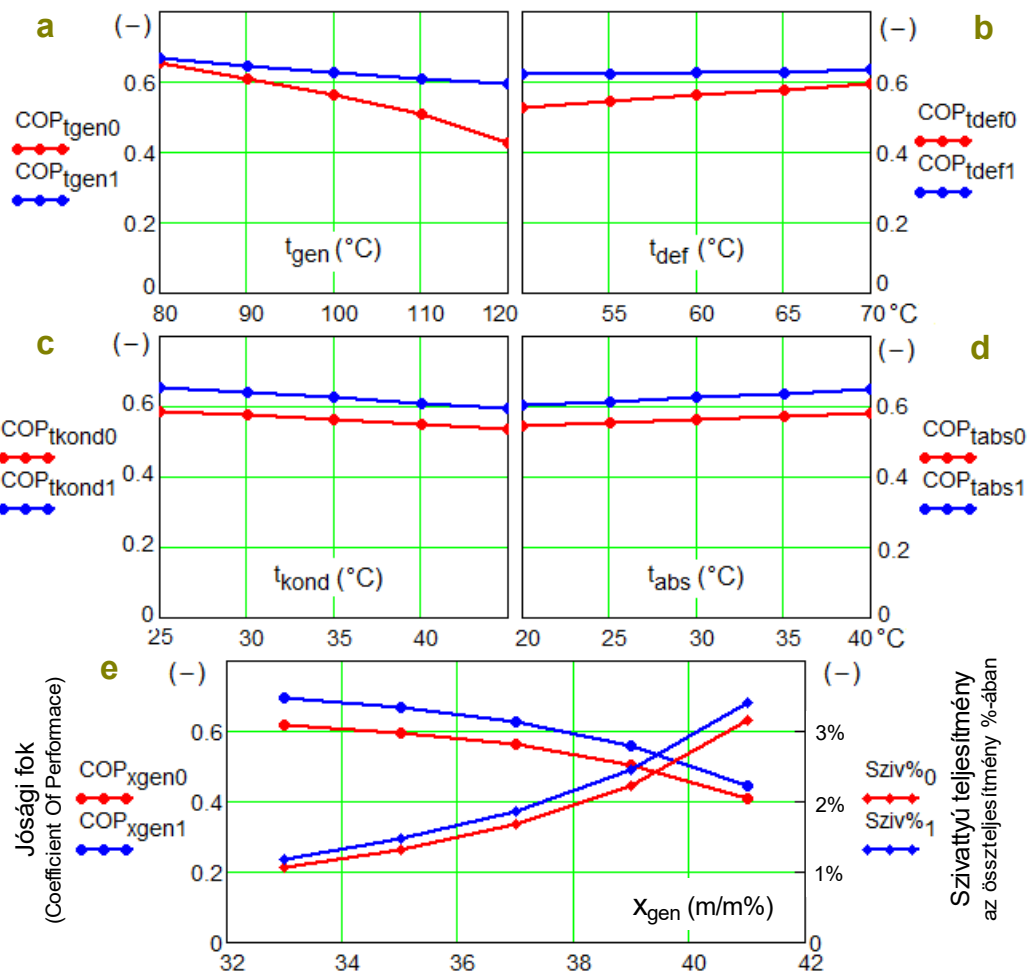
7. ábra: Ammónia-víz egyensúlyi görbék különböző nyomáson, és a közelítés hibája.



8. ábra: Ammónia-víz közegpár gőznyomás és egyensúlyi görbéjének 3 dimenziós ábrázolása. Nyomás: p [bar], hőmérséklet: t [°C], NH_3 koncentráció az oldatban és a gőzben x és y [m/m]

3.2. A TELJES FOLYAMAT MODELLJE ÉS ANNAK EREDMÉNYEI

A fentiekén kívül szükség van a buborék- és harmatpontgörbékre, a telítetlen oldat fajhőjére és sűrűségére, a túlhevített gőz fajhőjére, illetve az oldat és a gőz entalpiákra. Ezek segítségével az anyagmérleg és energiamérleg egyenletek alkalmas felírásával megalkotható a teljes hőszivattyú körfolyamat modellje. A COP értékekre vonatkozó eredményeket a 9. ábra mutatja. A piros vonal az alapelrendezés értékét, a kék az abszorberből érkező oldattal visszahűtött utóhűtős eset értékeit mutatja. A generátor, az utóhűtő, a kondenzátor és az abszorber hőmérsékletei: 100°C, 60°C, 35°C, 30°C. A generátor és abszorber koncentrációja: 37% és 44% (m/m%) – kivéve abban az esetben, ha épp ezen mennyiségek a megváltoztatott bemeneti értékek. Megvizsgálva az eredményeket, az oldatszivattyú meghajtásának javítását tűztem ki célul.



9. ábra: A COP alakulása összevetve a generátor (a), az utóhűtő (b), a kondenzátor (c) és az abszorber (d) hőmérsékletével, illetve a generátor oldatának minőségével (e) valamint a szivattyú teljesítménye az összteljesítményre vetítve az oldatminőség függvényében (e)

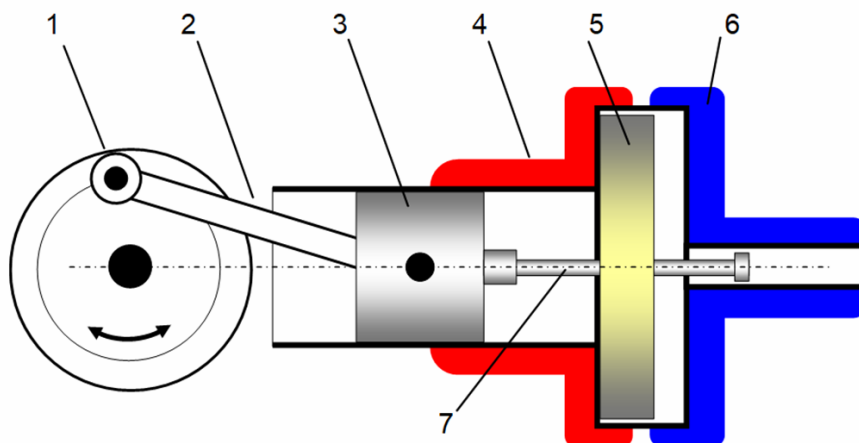
A kék vonal: Az utóhűtő hűtése, az abszorberből érkező hideg oldattal.

4. HŐLÉGMOTOR ALKALMAZÁSA

Az adott feladatra kézenfekvő a hőlégmotor választása, hiszen ennek a hőerőgépnek van olyan változata, amely képes az abszorpciós hőszivattyú által használt alacsony hőmérsékletű hőforrással is üzemelni [21, 22].

4.1. SAJÁT FEJLESZTÉSŰ MOTOR

Az általam fejlesztett gép jóval egyszerűbb felépítésű, mint az előzőek. Csak egyetlen hajtókarja ill. dugattyúja van. Itt maga a munkadugattyú mozgatja az áttolóhengert. A henger közvetlenül a hőcserélő kamra forró oldalába vezet. Vele szemben van a hideg oldal. Ez a hőcserélő kamra maga is hengeres kialakítású, csak nagyobb átmérőjű, és koncentrikus a munkahengerrel. Ezt a térrészt - némi hézaggal - az áttolóhenger tölti ki (10. ábra). A munkadugattyú végéből, szintén koncentrikusan, az ún. vezérlőrúd áll ki, mely átvezet az áttolóhenger közepén. Ez a rúd ellenállás nélkül csúszik az áttolóhengerben, de a tövénél és végén egy-egy beállítócsavar van, így, amikor ezek az alsó és felső holtpontok előtt egy bizonyos távolsággal felütköznek, maguk előtt tolják, illetve húzzák az áttolóhengert a megfelelő pozícióba.



10. ábra: A saját fejlesztésű motor: 1. lendkerék, 2. hajtókar, 3. munkadugattyú, 4. hőcserélő, meleg oldal, 5. áttolóhenger, 6. hőcserélő, hideg oldal 7. vezérlőrúd.

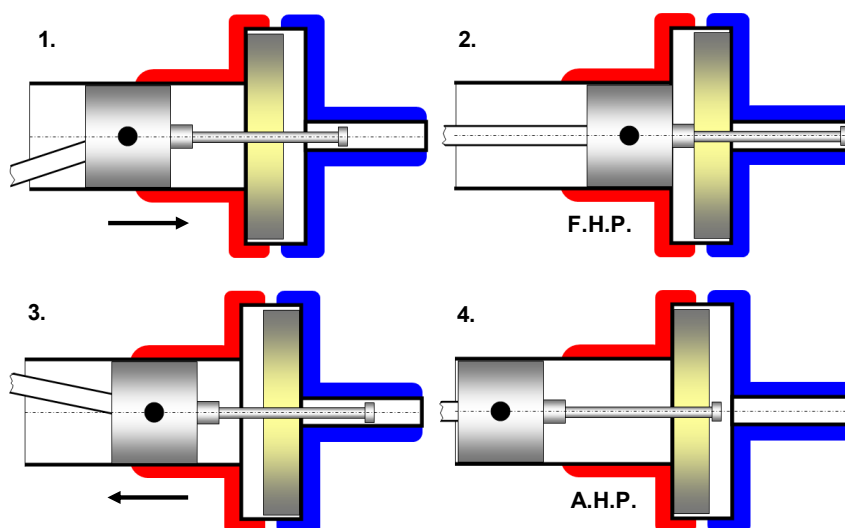
4.1.1. A MŰKÖDÉSI ELV LEÍRÁSA

Az első ütem a kompressziós fázis (11/1. ábra). A dugattyú az alsó holtpontról indulva sűríti a gázt áthajtva azt az áttolóhengeren, illetve mellette, ami ekkor még mozdulatlan. Így a munkaközeg jó része a hideg oldalon helyezkedik el. Majd egy bizonyos távolságra a felső holtpont előtt a vezérlőrúd eléri az áttolóhengert, és tolni kezdi át, a

hideg oldalra. Ekkor egy ideig a dugattyúval együtt mozog. Majd amikor az eléri a felső holtpontot, ott marad, elszigetelve a hőcserélő hideg oldalát, helyet adva a levegőnek a meleg oldalon (11/2. ábra). Ekkor a levegő felmelegszik, nyomása megnő, és indulhat a második ütem, vagyis az expanzió.

Az expanziós ütemben a megnövekedett nyomású gáz a dugattyút a felső holtpont érintése után visszafelé hajtja (11/3. ábra). Ekkor az áttolóhenger még mozdulatlan, és továbbra is elszigeteli a hőcserélő kamra hideg oldalát. Amikor egy bizonyos távolságra az alsó holtpont előtt a vezérlőrúd visszahúzza azt az eredeti pozíciójába. Ekkor egy ideig együtt mozog a dugattyúval, majd amikor az érinti az alsó holtpontot, ott marad, elszigetelve a hőcserélő kamra meleg oldalát, helyet adva a levegőnek a hideg oldalon (11/4. ábra). Így indulhat a következő kompressziós ütem.

Fontos különbség a hagyományos motorokhoz képest, hogy itt a főtengely forgási iránya tetszőleges.

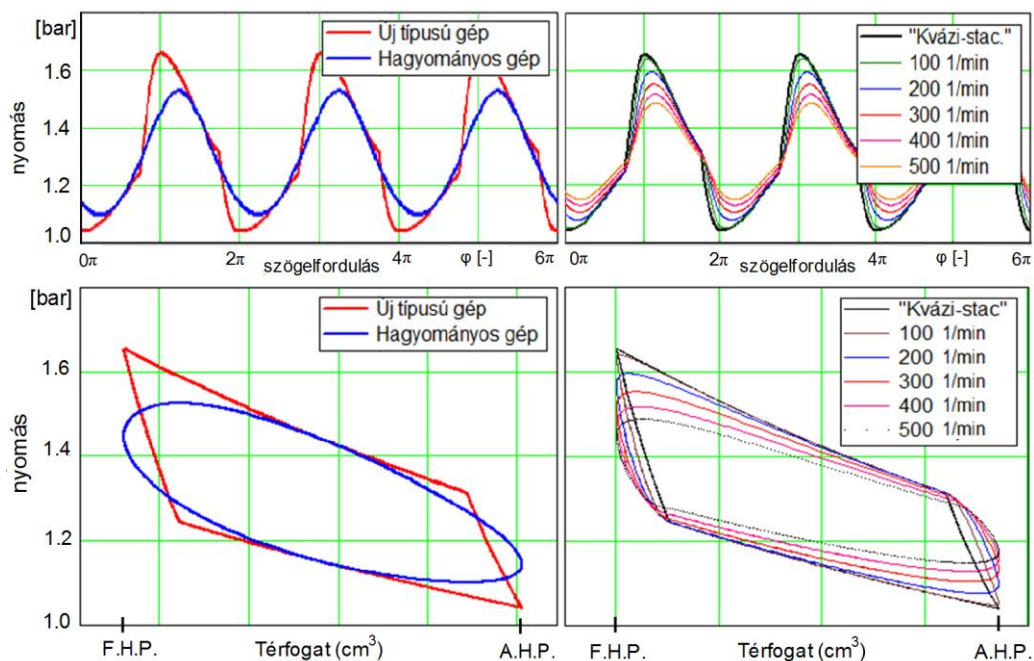


11. ábra: A saját fejlesztésű hőlégmotor munkafázisai.

1. kép: Sűrités, 2. kép: Felső holtpont, 3. kép: Expanzió, 4. kép: Alsó holtpont.

4.1.2. A GÉP ÜZEME

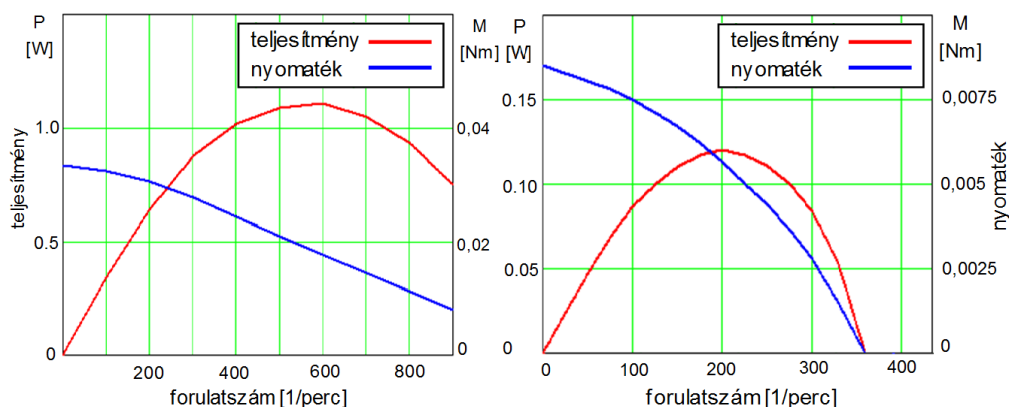
Először a dugattyú és az áttolóhenger mozgását kell leírni, mert ebből kalkulálhatóak a térfogatváltozások. Ezután felrajzolható a kvázi-stacionárius nyomásgörbe, és megalkotható az indikátordiagram. Ezt ábrázolja a 12. ábra bal oldala, ahol a saját fejlesztésű gép diagramjai mellett összehasonlításként egy azonos paraméterű hagyományos gép diagramja is szerepel (12. ábra). Végül, hogy teljes legyen a kép, figyelembe véve azt, hogy a hőcseréhez idő kell, az előbbi görbéket járó motornál is fel kell írni különböző fordulatszámokon. Ezt mutatja a 12. ábra jobb oldala.



12. ábra: A saját fejlesztésű hőlégmotor nyomásgörbéje (fent) és indikátordiagramja (lent), kvázistacioner esetben (balra), különböző fordulatszámokon (jobbra).

4.1.3. MOTORKARAKTERISZTIKA

A fenti gondolatmenet folytatásaként felírhatóak a motor belső jelleggörbéi (13. ábra), azaz a teljesítmény- és nyomatékdiagramja. A motor, terhelés nélkül, 360 fordulatot tesz meg percnként. Azaz ekkor a belső teljesítmény épp fedezi a belső súrlódást és az áramlási veszteségeket. Ezeket levonva kapjuk a tengelyteljesítményt és a nyomatékot.



13. ábra: A saját fejlesztésű motor belső (balra) és külső (jobbra) karakterisztikája.

Megépült egy kísérleti motor is, ami tökéletesen működik. Így a számításokat igazolni tudtuk mérésekkel is. A motor hatásfoka jó, de a lökettérfogatra vetített teljesítménye kicsi. Ezért egy másik kísérleti berendezést is fejlesztettem.

5. GŐZ MUNKAKÖZEGŰ DUGATTYÚS GÉP ALKALMAZÁSA

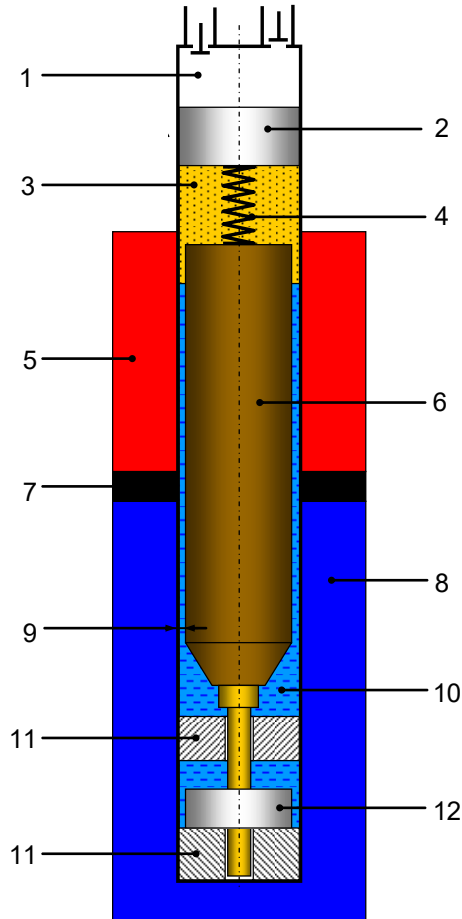
A géppel szemben támasztott első és legfontosabb szempont az, hogy ugyanazzal az energiaforrással üzemeljen, mint maga az abszorpciós rendszer. Tehát a gépnek 100-130 °C-os hőmérsékletű hőforrása, és 30-50 °C-os hőnyelő oldala legyen. A második az, hogy a berendezés önstartoló legyen, tehát ne igényeljen semmilyen külső energiát az elinduláshoz. A harmadik pedig az, hogy méretéhez képest nagyobb legyen a teljesítménye, valamint további szempont a gép egyszerűsége.

5.1. SAJÁT FEJLESZTÉSŰ GÉP LEÍRÁSA

A szivattyú valójában egy szabaddugattyús motor (14. ábra). Fő része egy cső alakú ház, amit egy dugattyú oszt két részre. A felső, lezárt rész a munkatér, amihez két visszacsapó szelep csatlakozik, amelyek meghatározzák a szivattyúzott közeg útját. Tehát ez a tulajdonképpeni szivattyú.

A henger munkadugattyú alatti szakasza két részre osztható. A fenti a fűtött, a lenti pedig a hűtött szakasz. A munkadugattyú alatti térben egy újabb dugattyú, a kiszorító-dugattyú helyezkedik el. De ez nem illeszkedik a henger falához, hanem mintegy félmilliméternyi hézag van közte, azaz egy gyűrű alakú rés van körülötte. E dugattyúnak nem a tömítés a feladata, hanem az, hogy a munkaközéget a kívánt pozícióba juttassa. Alsó állásban kiszorítja a henger alsó, hűtött részéből, amely ekkor felemelkedik, és a hengerfal közti vékony gyűrű alakú részbe, és a fűtött térrészbe jut, ahol megindul a munkaközeg forrása (a 14. ábra ezt az állapotot mutatja). Felső állásban viszont a munkaközeg szintje olyannyira lesüllyed, hogy a gép hűtött fala szabaddá válik, így megindul a gőz kondenzációja.

A vezérlést meg lehetne oldani úgy, ahogy a hőlégmotornál láttuk, de e funkció ellátására nincs szükségünk főtengelyre, lendkerékre, de még hajtókarra sem. A két dugattyút, tehát a munkadugattyút, és a kiszorító dugattyút egy rugó köti össze, ami a gép állapotától függően hol zömöl, hol pedig megnyúlik, azaz energiát tárol. A gép alján a kiszorító dugattyú alá szerelve egy mágnesgyűrű helyezkedik el, ami egyben annak mozgás-határolója is. Ez két, állítható távolságú lágyvas gyűrű között mozog, így a kiszorító dugattyút hol a fenti, hol a lenti állásban állítja meg. A mágnes akkor old ki, amikor a rugó feszültsége eléri a tapadási erejét. Ekkor a kiszorító-dugattyú pozíciót vált.



14. ábra: A kísérleti gép felépítése:

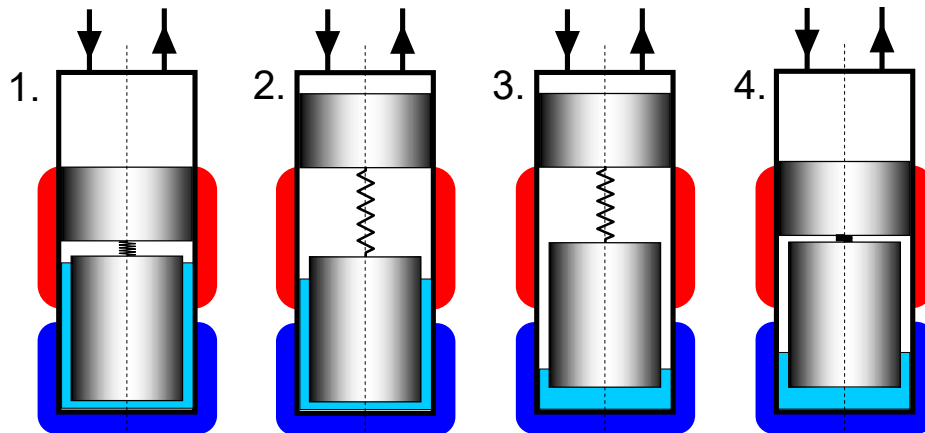
1. munkatér, illetve a szivattyúzott közeg, 2. munkadugattyú, 3. gőztér, 4. összekötő rugó, 5. fűtött szakasz, 6. kiszorító-dugattyú, 7. szigetelés, 8. hűtött szakasz, 9. gyűrű alakú rész, 10. munkaközeg, 11. lágyvasgyűrű, 12. mágnesgyűrű.

5.1.1. A MŰKÖDÉS LEÍRÁSA

Ez a motor is kétütemű, de a működése négy fázisra oszlik. E négy fázist a 15. ábra mutatja, ahol az áttekinthetőség miatt a mágneses pozicionálás nem szerepel.

Az elsőben mindkét dugattyú lent van, a közeg egy része a fűtött térrészben van, így nő a nyomása (15/1. ábra). Ez addig tart, amíg a gőztér nyomása el nem éri a szivattyú rész nyomó nyomását. A második fázis ekkor kezdődik, és addig tart, amíg a munkadugattyú el nem éri a felső holtpontot (15/2. ábra). Ekkorra a rugóban akkora feszültség halmozódik fel, hogy a kiszorító dugattyú pozíciót vált, a munkaközeg szintje lesüllyed, és szabaddá teszi a hideg hőcserélőt, vagyis megkezdődik a munkaközeg kondenzációja. Ez a harmadik fázis (15/3. ábra), ami addig tart, amíg a gőztér nyomása le nem csökken a szivattyú szívónyomásának értékére. A negyedik fázisban megindul a

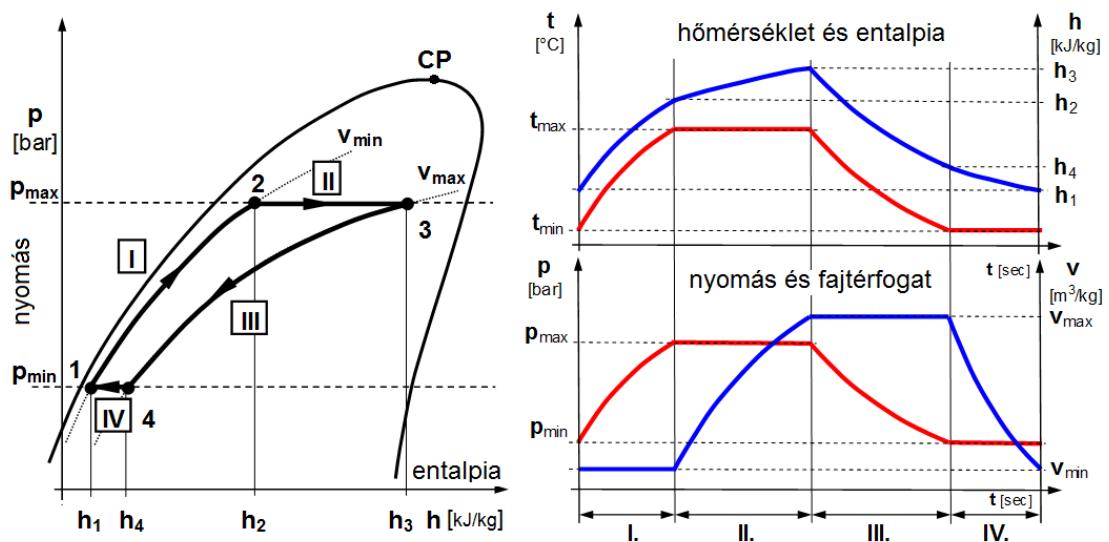
munkadugattyú lefelé, és amikor az alsó holtpontra ér, a kiszorító dugattyú pozíciót vált (15/4. ábra a váltás előtti pillanatot mutatja), és ekkor kezdődhet újra az első fázis.



15. ábra: A működés négy fázisa:

5.1.2. A KÖRFOLYAMAT SZEMLÉLTETÉSE

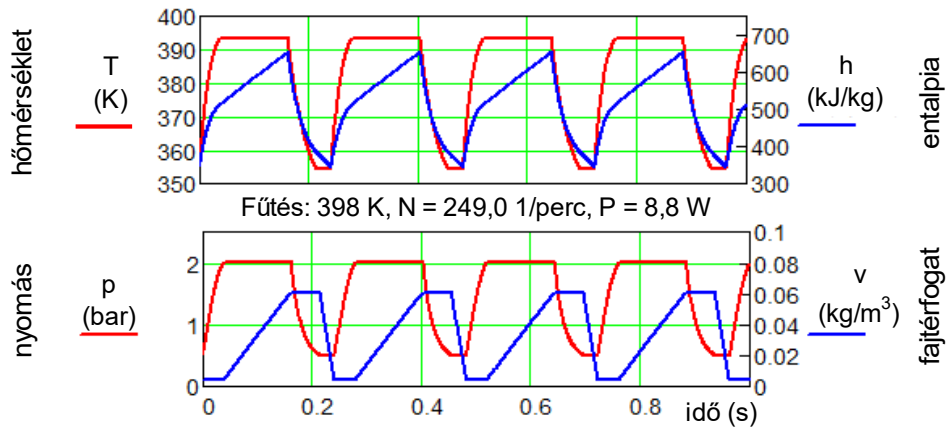
A gépben lezajló körfolyamatot a 16. ábra szemlélteti. A négy fázis római számokkal van jelölve. Az ábra bal oldala a körfolyamat nyomás-entalpia diagramját, az ábra jobb oldala pedig a fizikai jellemzők időbeni lefutását mutatja be. Az I. és a III. egy-egy izochor, a II. és a IV. egy-egy izobár folyamatot takar.



16. ábra: A fizikai jellemzők változása egy munkaciklus alatt.

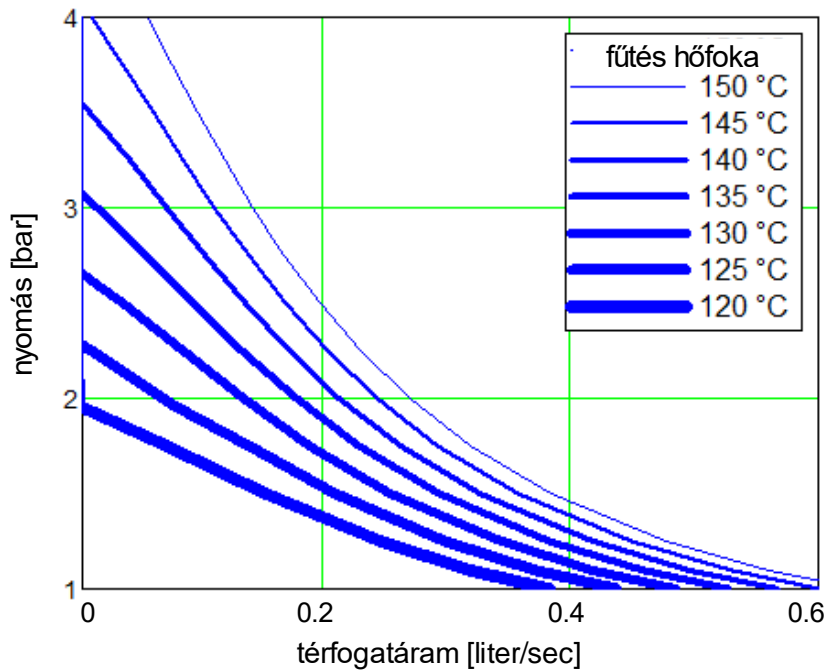
5.1.3. A FIZIKAI JELLEMZŐK SZÁMÍTÁSA

A körfolyamat sarokszámait könnyű meghatározni, amennyiben ismertek a szívó, illetve nyomó oldali nyomások, de ezek időbeni lefutásához már numerikus számításokat kellett végezni. Ennek eredményét, vagyis a hőmérséklet, entalpia, nyomás és fajtérfogat alakulását mutatja a 17. ábra, amin a gép egy másodperces üzeme látható.



17. ábra: A fizikai mennyiségek időbeni változása 398 K fűtőhőmérsékletnél.

Mivel a gép most szivattyúként üzemel, és a számítások alapján megtehető, fel lehet írni a szivattyú jelleggörbéjét is (18. ábra). E diagram a nyomás és a térfogatáram összefüggését mutatja különböző fűtési hőmérsékleteken, ahol a hűtés hőmérséklete minden esetben 80 °C.



18. ábra: A szivattyú jelleggörbéje különböző fűtőhőmérsékleteken.

Természetesen más munkaközeg esetén más hőmérsékleteket is választhatunk. Ekkor is hasonló görbéket kapnánk, de más értékeket. Azaz a gép változatos hőmérsékletekhez adaptálható. Viszont ennek vizsgálata meghaladná ezen értekezés terjedelmét.

6. TÉZISEK - ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Elkészítettem egy ammónia-víz rendszerű abszorpciós hőszivattyú körfolyamat mérnöki gyakorlatban alkalmazható matematikai modelljét, amelynek keretében:
 - a. A korábbi szakirodalomtól eltérő közelítő függvényeket dolgoztam ki az ammónia-víz hűtőközegpár anyagjellemzőinek a közelítésére [P2, P4, P6].
 - b. Az elkészített matematikai modell hét jellemző üzemi paraméterének (hőmérsékletek, koncentrációk, hőcserélő hatásfok) hatását vizsgáltam, amely alapján megállapítottam, hogy az energiafelhasználás ezen paraméterek változtatásával jelentős mértékben nem csökkenthető [P3, P5, P7].
 - c. Megállapítottam, hogy az ammónia-víz hűtőkörfolyamat energiafelhasználása a villamos oldatszivattyú kiváltásával csökkenthető.

2. Megalkottam egy újszerű, a szakirodalomban található konstrukcióktól eltérő rendszerű hőlégmotor modelljét [P8, P10], ennek keretében:
 - a. Az elméleti modell vizsgálata során igazoltam, hogy az új konstrukció fajlagos energiafelhasználása kedvezőbb, mint a hagyományos típusoké.
 - b. Elkészítettem az újszerű hőlégmotor prototípusát. A kísérleti vizsgálatok segítségével meghatároztam az újszerű motor nyomásgörbét, amelynek segítségével az elméleti modellt validáltam.

3. Megalkottam egy új típusú, gőz munkaközeggel működő szivattyú elméleti modelljét az ammónia-víz rendszerű körfolyamat oldatszivattyújának kiváltására [P9]. Ennek keretében:

- a. Elkészítettem az új típusú gőz munkaközegű szivattyú matematikai modelljét. A modellszámítások alapján megállapítható, hogy fajlagos teljesítménye a jelentősen kedvezőbb, mint a hőlégmotoré, valamint működési frekvenciáját nagymértékben befolyásolja a fűtő és hűtő hőmérséklet,
- b. Az elkészített prototípus alapján megállapítható, hogy a konstrukció önstartolóan működik, önállóan, külső energiaforrás nélkül indul el.

7. FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

E dolgozatban, elindulva az abszorpciós hőszivattyútól, illetve ezen rendszernek, illetve a rendszer munkaközegének fizikai tulajdonságainak modellezéséből, kijelöltem a kutatás irányát. A hőszivattyú modelljének vizsgálata során kerestem a megoldásokat a hatásfok növelésére. Egy elektromos energiától független rendszer kialakítását tűztem ki célul és ehhez az oldat keringetésére kellett megoldást találni. Erre két lehetséges választ adtam, azaz két alacsony hőmérsékletű hőforrást hasznosítani képes hőerőgépet. E két lehetséges gép többre képes, mint az alapprobléma megoldása. Az új típusú hőlégmotor egy meglehetősen jó hatásfokú gép, ami alkalmas például keringető szivattyúk üzemeltetésére, vagy akár kutak szivattyúzására, de akár kisebb energiatermelő funkciók ellátására is. Elkészült a fizikai modell is, ami az elvárásoknak megfelelően működött, de segítségével több problémára is fény derült. Nagyobb kompresszióviszonyú és nagyobb alapnyomású motort kell építeni. Viszont ehhez más anyagok szükségesek.

A gőz munkaközegű gép ezen is túlmutat, hiszen extrém kis hőmérsékletközű hőforrásokkal is képes üzemelni, amely hőforrások szinte szabadon választhatóak, amennyiben ezekhez illeszkedő munkaközeg töltettel látjuk el. Ráadásul szabályozási funkciókat is elláthat, például egy napkollektoros rendszer, vagy egy hűtővíz keringető rendszer szivattyújaként, amelyeket elektromos hajtással és szabályzással oldanak meg. Ráadásul mindkét gép olyan egyszerű, hogy akár az ókorban is megépíthették volna. Természetesen mindkét gép esetében számos további fejlesztésre van szükség ahhoz, hogy a gyakorlatban is alkalmazhatóvá váljanak.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

- P1. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Ab- és adszorpciós hűtési eljárások áttekintése és összehasonlítása - A review and comparison of ab- and adsoption cooling methods, GÉP, LXV. Évfolyam, 6-7. szám. pp. 66-69, 4 p. (2014)
- P2. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Ammónia-víz rendszer adatainak számítása abszorpciós hűtési eljárások tervezéséhez - Calculation of data of ammonia-water system to absoption cooling methods, GÉP, LXV. Évfolyam, 8. szám. pp. 30-33, 4 p. (2014)
- P3. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Ammónia-víz rendszerű abszorpciós hűtési folyamat hatásosságának és hőigényének számítási módszere - Method for calculation of effectiveness and heat-request of ammonia-water based absorption cooling system, GÉP, LXVI. Évfolyam, 1. szám. 24-28, 5 p. (2015)
- P4. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Modeling of ammonia-water based absorption refrigeration systems – Properties of the refrigerant, Annals of Faculty Engineering Hunedoara, International Journal of Engineering, hunyadvár, 3: 73 pp. 73-76, 4 p. (2015)
- P5. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Abszorpciós hűtési rendszer modellezése - Modelling of absorption refrigeration system, Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottság, (2015) 591 p. pp. 373-379, 7 p.
- P6. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Calculation of properties of NH₃-H₂O refrigerant, and modeling of absorption refrigeration systems, MultiScience - XXX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc, University of Miskolc (2016) Paper: D4_7, 9 p.
- P7. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Modeling of ammonia- - water based absorption refrigeration systems – The refrigeration circuit, Annals of Faculty Engineering Hunedoara International Journal of Engineering, Hunyadvár, 14: 2 pp. 43-46, 4 p. (2016)

- P8. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Novel hot air engine and its mathematical model – Experimental measurements and numerical analysis, Pollack Periodica: an international journal for engineering and information sciences, 14: 1 pp. 47-58, 12 p. (2019)
- P9. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Új típusú hővel működő szivattyú abszorpciós hűtők elektromos oldatszivattyújának kiváltására - Novel heat driven pump to substitute the electric solution pump in absorption heat pump, GÉP, LXXIII. Évfolyam, 5. szám. pp. 44-47, 4 p. (2022)
- P10. Krámer Gy., Siménfalvi Z., Szepesi L. G: Mathematical investigation of sealing inefficiencies of hot air engines and other piston machines, MultiScience - XXXVI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc, University of Miskolc, Multidiszciplináris tudományok, 13. kötet. 3. sz. (2023), pp. 283-291

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Komlós F., Fodor Z., Kapros Z., Vajda J, Vaszil L. Hőszivattyús rendszerek, Kiadvány Heller László születésének centenáriuma. ISBN: 978-963-06-7574-1 (2009)
- [2] Chandra, Arora Ramesh: Refrigeration and air conditioning. PHI Learning Pvt. Ltd., (2012)
- [3] Glaser, H., and H. Auracher.: Theoretical Cycles of Absorption Heat Pumps. Heat Pump Fundamentals: Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Heat Pump Fundamentals, Espinho, Spain, September 1–12, 1980. Springer Netherlands, (1983)
- [4] Chandra, Arora Ramesh: Refrigeration and air conditioning. PHI Learning Pvt. Ltd., (2012)
- [5] Fedorčák P., Košičanová D., Urka D.: Comparison of energy consumption in compressor and absorption cooling Pollack Periodica, Vol. 7, No. 2, pp. 83–90. (2012)
- [6] Víctor Hugo Flores, Jesús Cerezo Román, and Gisela Montero Alpírez: Performance analysis of different working fluids for an absorption refrigeration cycle. American Journal of Environmental Engineering, DOI 10. 1-10. (2014)
- [7] Hörömpöly I., Kurtz K.: Különleges autómotorok. ISBN: 963-10-3874-2, (1981)
- [8] Roper, S.: Hand-book of Modern Steam Fire-engines: Including the Running, Care and Management of Steam Fire-engines and Fire-pumps. (1889)
- [9] Biography of Robert Stirling, Encyclopædia Britannica, Britannica.com/biography/Robert-Stirling (last visited 10.12.2017)
- [10] Gupta V., Sharma S., Narayan S.: Review of Stirling engines, Acta Technica Corviniensis, Bulletin of Engineering, No. 1, pp. 55–58. (2016)
- [11] Kongtragool, B., Wongwises S.: Performance of low-temperature differential Stirling engines, Renewable Energy 32.4: 547-566. (2007)

- [12] Cheng, C. H., Han Y. T. and Liu T. S.: Experimental and dynamic analysis of a small-scale double-acting four-cylinder α -type Stirling engine, *Sustainability* 13.15: 8442. (2021)
- [13] Keveney M.: Animated engines, www.animatedengines.com, 2000, (last visited 10 December 2017).
- [14] Senft R. James.: Ringbom Stirling engines, Oxford University Press, (1993)
- [15] Foster P. R.: Innovative rotary displacer Stirling engine: Sustainable power generation for private and fleet vehicle applications, *Journal of Technology Studies*, Vol. 37, pp. 95–107. (2011)
- [16] Almen C. G.: Gas absorption refrigerator technology. ABS reftec. 2003. <http://www.absreftec.com/index.html> [accessed 13.09.12]
- [17] Patek, J., and Klomfar J.: Simple functions for fast calculations of selected thermodynamic properties of the ammonia-water system. *International Journal of refrigeration* 18.4. 228-234. (1995)
- [18] Xu, F., and Goswami D. Y.: Thermodynamic properties of ammonia–water mixtures for power-cycle applications. *Energy* 24.6. 525-536. (1999)
- [19] Conde M. R.: Thermophysical properties of NH₃-H₂O solutions for industrial design of absorption refrigeration equipment, Conde Engineering Company, Zürich, (2004)
- [20] McConville, Francis X.: Functions for Easier Curve Fitting. *Chemical Engineering* 115.13. 48. (2008)
- [21] Wang, K., Sanders, S. R., Dubey, S., Choo, F. H., & Duan, F.: Stirling cycle engines for recovering low and moderate temperature heat: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62. 89-108. (2016)
- [22] Sripakagorn A. and Srikam C.: Design and performance of a moderate temperature difference Stirling engine. *Renewable Energy* 36.6. 1728-1733 (2011)