

Óbudai Egyetem
R.S. Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar
Környezetmérnöki Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

HELYISÉGEK KLIMATIZÁLÁSÁNÁL KELETKEZŐ HULLADÉKENERGIA HASZNOSÍTÁSA

Szerzők: **Fekete Anikó**
Környezetmérnök BSc. szak, III. évf.
Keller Nóra
Környezetmérnök BSc. szak, III. évf.

Konzulens: **Dr. Szabó Lóránt**
egyetemi adjunktus

Budapest, 2014.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	2
Jelölések	4
Bevezetés	6
1 Téma ismertetése.....	7
1.1 Hőszivattyú típusai [1.] [2.].....	8
1.1.1 A levegő, mint hőforrás [1.] [2.].....	8
1.1.2 A víz, mint hőforrás [1.] [2.]	9
1.1.3 A talaj, mint hőforrás [1.] [2.]	9
1.1.4 Geotermikus hőszivattyú [1.] [2.].....	10
1.2 Levegő-víz hőszivattyú működése [3.].....	11
1.3 A hőszivattyú jóságfoka	14
1.4 A vizsgálat során felhasznált összefüggések bemutatása [8.]	14
2 Mérés folyamata.....	20
2.1 Mérés helye és ideje	20
2.2 Mérőrendszer ismertetése	20
2.2.1 Hőmérők	21
2.2.2 Áramerősség-mérő	22
2.2.3 Feszültségmérő	22
2.2.4 Légsebességmérő.....	22
2.3 A mérés menete	23

3	Mérési eredmények	25
3.1	Táblázatok	25
3.2	Diagramok	27
3.3	Számítás.....	29
4	Levonható következtetések	32
5	TDK dolgozat összefoglalása.....	33
5.1	Eredmények gyakorlati alkalmazása	33
5.2	További kutatás.....	33
	Mellékletek.....	34
	Irodalomjegyzék.....	38

Jelölések

Q_h	helyiségből elvont hő	[J]
Q_m	melegvíz-tartálynak leadott hőmennyiség	[J]
Q_t	melegvíz-tartályban tárolt hőenergia	[J]
Q_v	hőcserélőben (kondenzátor) keletkező veszteség	[J]
Q_{ki}	a kinyerhető hőenergia	[J]
W	hőszivattyú által felvett villamos energia	[J]
c_l	a levegő fajhője	[kJ/kg°C]
c_v	a víz fajhője	[kJ/kg°C]
m_h	a beszívott levegő tömege	[kg]
m_{ki}	a kinyerhető melegvíz tömege	[kg]
m_m	felmelegített víz tömege	[kg]
ΔT_{l2}	a beszívott és kifűjt levegő hőmérséklet különbsége	[°C]
ΔT_{34}	vízartály felső-, és alsó átlag hőmérsékletének különbsége	[°C]
T_5	a kifolyó víz higanyhőmérő által mért hőmérséklete	[°C]
COP	hőszivattyú jóságfoka	[-]
U	váltakozó feszültség effektív értéke	[V]
$\bar{I}$	mért áramok átlagértéke	[A]
A	be- és kilépő levegőcsonk keresztmetszete	[m ²]
d	be- és kilépő levegőcsonk belső átmérője (4. ábra)	[m]
$\bar{v}_l$	kifűjt levegő átlagsebessége a kilépő keresztmetszetben	[m/s]
V_h	beszívott levegő térfogata	[m ³]
$t_{\bar{u}}$	a hőszivattyú üzemideje	[s]
ρ_l	levegő sűrűsége	[kg/m ³]
T_1	beszívott levegő hőmérséklete	[°C]
T_2	kifűjt levegő hőmérséklete	[°C]
T_3	a tartály hőmérője által mért végső felső hőmérséklet	[°C]

T_4	a tartály hőmérője által mért kezdeti felső hőmérséklet	[°C]
T_6	elgőzölögtető hőmérséklete	[°C]
V_e	a mért egység térfogata	[m ³]
t_e	a mért egységhez tartozó idő	[s]
ρ_v	víz sűrűsége	[kg/m ³]
V_n	hőmérsékletekhez tartozó térfogat	[m ³]
t_n	hőmérsékletekhez tartozó idő	[s]
m_n	°C-ként kiengedett víz tömege	[kg]
Q_2	az alacsonyabb hőmérsékletű víz tömege	[kJ]
m_2	a tartályban lévő alacsonyabb hőmérsékletű víz tömege	[kg]
M	a tartályban lévő víz tömege	[kg]
Q_1	a magasabb hőmérsékletű víz hőenergiája	[kJ]
m_1	a tartályban lévő magasabb hőmérsékletű víz tömege	[kg]
$\dot{V}_l$	beáramló levegő térfogatárama	[m ³ /h]
$\cos\varphi$	teljesítmény tényező	[-]
$\dot{V}$	kiömlő víz térfogatárama	[m ³ /h]

Bevezetés

A jelenkor globális problémái közül talán az egyik legfontosabb az egyre apadó, nem megújuló energiaforrások és a fokozódó energiafelhasználás kérdésköre. Az energiagazdálkodás egyik fő célkitűzése az energiafelhasználás csökkentése a fosszilis energiahordozók részben vagy egészben történő kiváltása által, mely mellett az Európai Unió is elköteleződött.

A TDK dolgozatunk erre mutat példát, a klimatizálás során a helyiségből elvont hőenergia további hasznosítására révén. A klímaberendezések a helyiségből kivont hőenergiát általában további felhasználás nélkül a külső térbe engedik. Tanulmányunkban azt vizsgáltuk, hogy a klimatizálandó térből elvont hőmennyiséget használati meleg víz előállítására használhatjuk fel ahelyett, hogy egyszerűen a külső szabad térbe vezetnénk ki. Ezzel azt szeretnénk bebizonyítani, hogy a légkondicionálás elméleti jóságfoka ebben az esetben magasabb lehet, hiszen az adott hőmennyiséget tovább hasznosítottuk.

Dolgozatunkkal arra mutattunk rá, hogy a hőszivattyút légkondicionálásra használva a hűtés elméleti jóságfokát megnövelhetjük a hulladékenergia további felhasználásával. Ezzel a technikával egyszerre hűthetjük az adott helyiséget, és meleg vizet állíthatunk elő, mindezt pedig kevés elektromos energia felhasználásával.

1 Téma ismertetése

Egy szoba hűtése során légkondicionáló berendezést használhatunk. A légkondicionálóban lévő munkaközegnek nagyon alacsony a forráspontja, így már nagyon alacsony hőmérsékleten gáz halmazállapotúvá válik. A folyékony munkaközeg kis nyomású elpárologtatóba kerül, ahol az alacsonyabb nyomás miatt párologni kezd, mely folyamat során hőt von el a környezetétől. Ezután a gáz cseppfolyósodik a kondenzátorban, azonban nyomása nem csökken, emiatt a gázt egy fojtószelepen vezetik át, ahol egyszerre csak kis mennyiségű gáz képes áthaladni melynek következtében nyomása lecsökken. Azonban a légkondicionálók a helységből kivont hőt a szabadba bocsájtják. [12.]

A hőszivattyú (heat pump) egy, a megújuló energiákat hasznosító berendezés, melyre egyre nagyobb figyelmet fordítanak a környezettudatos emberek. Méréseink során a hőszivattyút ugyanúgy hűtésre használhatjuk, mint egy átlagos légkondicionálót, azzal a különbséggel, hogy a helységből kivont hőmennyiséget tovább hasznosítjuk. A hőszivattyú is hőt von el a környezetétől, de miközben a légkondicionáló a kinyert energiát már nem hasznosítja tovább, a hőszivattyú ezt egy munkaközegnek adja át és használati meleg vizet állít elő belőle. [1.] [12.]

Miután a külső környezet egy hőcserélő segítségével átadta energiáját a munkaközegnek, a munkaközeg egy elpárologtató segítségével gáz halmazállapotúvá alakítják (munkaközeggel szembeni elvárás, hogy alacsony forrásponttal rendelkezzen). Ezután a gőzt egy kompresszor segítségével összenyomják, tehát térfogatcsökkentést végeznek, aminek hatására megnő a nyomása és a hőmérséklete is. Az így kapott forró gőzt egy kondenzátorba vezetik, ahol átadja energiáját a fűtendő közegnek. A folyamat során a gőz lehűl, de nyomása még mindig nagy, ezért átvezetik egy fojtószelepen, aminek hatására tovább hűl, végül a munkaközeg visszaalakul eredeti folyékony állapotára, és a folyamat innentől előlről kezdődik. [2.]

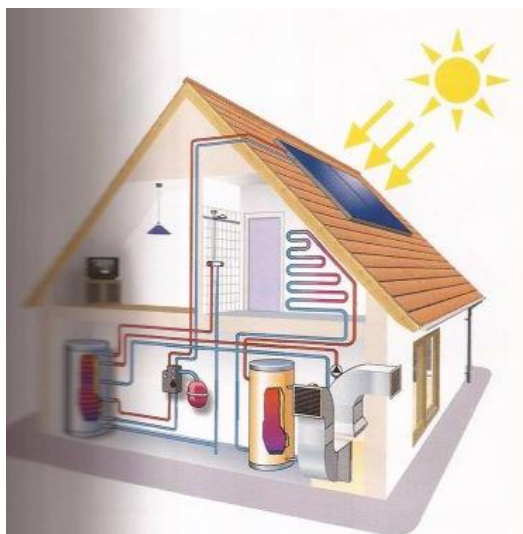
A hőszivattyú üzemeltetéséhez szükség van külső villamos energiaforrásra, mivel a kompresszor és a levegőt áramoltató berendezés, a ventilátor villamos energiát fogyaszt. Viszont tisztán megújuló energiával is üzemeltetni lehetne, amennyiben napelemből nyernénk villamos energiát.

1.1 Hőszivattyú típusai [1.] [2.]

A hőszivattyúk csoportosítására számos mód létezik, mi ebből egyet kiválasztva, a hőforrások alapján mutatjuk be a típusait. Jelenleg három hőforrás van, melyet a gyakorlatban alkalmaznak, ezek a következők: levegő, víz, föld. A bennük tárolt, Napból vagy a Föld mélyéről (Föld hő) származó energiát a hőszivattyúval nyerik ki. Léteznek még egyéb hőforrások is, amelyeket napjainkban nem, vagy csak kísérleti szinten használnak energia kinyerésre, ilyenek a: hulladék hő, szennyvíz, istállók melege, stb. Ha a hőszivattyút összekötik egy abszorberrel, akkor a Napból származó energia közvetlenül is kinyerhető. A hőforrásoknál elvárás, hogy könnyen hozzáférhetőek legyenek, ne károsítsák a környezetet, és a belőlük adódó karbantartási költségek minimálisak legyenek.

1.1.1 A levegő, mint hőforrás [1.] [2.]

A levegő, mint hőforrás bárhol megtalálható korlátlan mennyiségben, ezért az ezt használó hőszivattyúk telepítési költségei a legolcsóbbak. A levegő származhat a külső környezetből, házon belüli légtérből, de akár alkalmazhatják a légkondicionálóból eltávozó meleg levegőt is. (Az ilyen típusú hőszivattyúk, főleg a külső levegőt hasznosítók hátránya az, hogy az évszakok változásával a levegő hőmérséklete is változik. Így például télen a felfűtési idő megnő és nagy mínuszok esetén nem érhető el akkora hőmérséklet, mint nyáron.) Két típusát különböztetjük meg az alapján, hogy milyen közegnek adódik át a kinyert energia: **levegő-levegő** hőszivattyút és **levegő-víz** hőszivattyút, ebből az utóbbi a gyakoribb, mi is ezt használtuk. Az általunk használt hőszivattyú az 1.b ábrán látható.



1.a ábra Levegő víz hőszivattyú [4.] (19.o)



1.b ábra Általunk használt hőszivattyú

1.1.2 A víz, mint hőforrás [1.] [2.]

A víz, mint hőforrás kiegyensúlyozottabb, viszont kiépítése drágább, mint a levegőt hasznosító hőszivattyúnál. Kiegyensúlyozottabb, mert még a jég alatt is 4°C -os vizet lehet találni, ezért télen is megbízható hőforrást jelent. Viszont a technológia drágább, mivel víz korlátozott mennyiségben található meg a Földön és nem minden hely alkalmas a kiépítésre illetve a telepítést olykor komoly előkészítő munkák előzhetik meg.

Az energia kinyerhető felszíni vizekből (folyó, tó) és felszín alatti vizekből (talajvíz). A felszíni vizek esetén a mederbe párhuzamos csöveket fektetnek, melyeken keresztül elnyelik az energiát. A felszín alatti vizeknél 2 kútra van szükség: az egyik kinyerik a talajvizet, a másikon keresztül pedig visszasajtolják a talajba. A telepítést méréseknek kell megelőzni, mely megállapítja a talajvíz mélységét, valamint fontos tájékozódni arról, hogy nem tartalmaz-e a berendezést később károsító ásványi anyagokat, tehát szükséges a víz keménységi vizsgálata. Fagyás ellen gyakran alkalmaznak átvevő közegnek sóoldatot, ilyenkor nem víz-víz, hanem víz-sóoldat hőszivattyúról beszélhetünk.

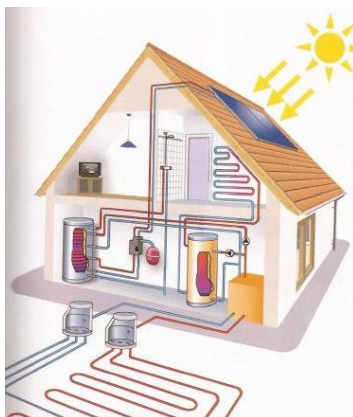


2. ábra Talajvíz hőszivattyú [4.] (20 o.)

1.1.3 A talaj, mint hőforrás [1.] [2.]

A talaj pár méter mélységében még télen is állandó 10°C körüli hőmérséklet található, a geotermikus gradiens ismeretében hazánkban $5-7^{\circ}\text{C}$ -ot nő a hőmérséklet lefelé haladva. A talaj felső rétegéből a Naptól származó energiát, míg a mélyebb régiókból a Föld hőt nyerik ki. Kétféleképpen lehet kiépíteni a rendszert: vízszintes vagy függőleges irányban. Mindkét technológiánál a vizet sóoldattal helyettesítik a fagyállóság miatt. A vízszintes kialakításnál, melyet talaj kollektoros rendszernek neveznek a Naptól származó talajban tárolt energiát

nyerik ki úgy, hogy a talajban 1-2 m mélységben egymástól egyenlő távolságra, párhuzamosan csöveket helyeznek el. Nagy területet igényel, ezért inkább újonnan épülő házaknál javasolt a kialakítása, viszont olcsóbb, mint a másik technológia. A függőleges kialakítás esetén ugyanis a telepítést kútúrás előzi meg, melyen egy szondát engednek le 100-200 m mélységben, amin keresztül a hő kinyerése fog történni.



3. ábra Talajkollektor [4.] (17.o)

1.1.4 Geotermikus hőszivattyú [1.] [2.]

Geotermikus hőszivattyúról akkor lehet beszélni, ha a földbe levezetett szonda 1000 m-es mélységben található és a Föld hőjét nyerik ki a segítségével. A szondán keresztül munkaközeget áramoltatnak, mely felveszi a hőt, majd a felszínen található hőcserélő segítségével a fűtendő közegnek adja át az energiát. Nagyon hatékony, viszont elég drága technológia ezért családi házaknál csak ritkán fordul elő. Viszont Magyarország kedvező fekvése miatt világviszonylatban jó geotermikus gradienssel rendelkezik, ami alkalmassá teszi arra, hogy a geotermikus energia felhasználását a jövőben szélesítse.



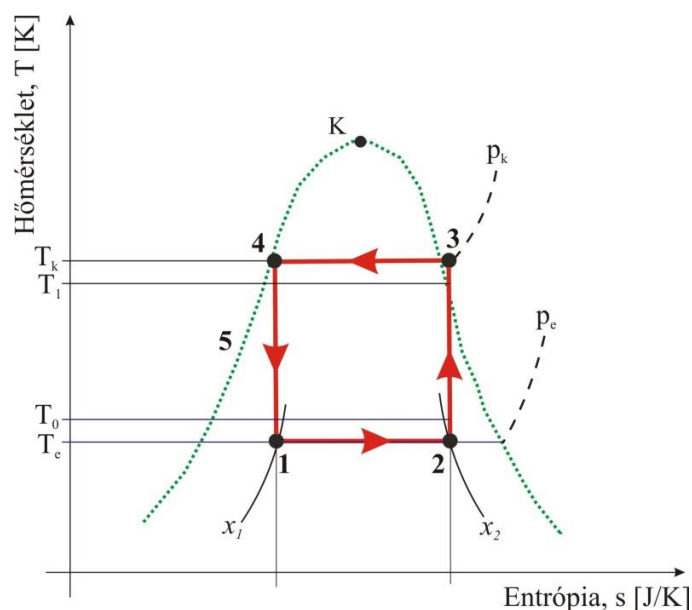
4. ábra Geotermikus mélyszonda [4.] (18.o)

1.2 Levegő-víz hőszivattyú működése [3.]

A hőszivattyú működésének alapelve igen egyszerű. Tulajdonképpen már évtizedek óta használják háztartások, még hozzá a hűtőszekrények kapcsán. Működésük lényege ugyanis azonos. A hűtőközeg elpárolgása és kondenzálódása révén a hűtőszekrény belsejéből (hidegebb zóna) hőt von el és azt a hűtőszekrény környezetében (melegebb zóna) adja le. Vagyis a hidegebb helyről hőt szállít a melegebb helyre.

A hőszivattyúk működési elve, tehát a levegő-víz hőszivattyúé is a Carnot-féle körfolyamaton alapszik. Alapállapotban beavatkozás nélkül a hő csak melegebb helyről hidegebb felé áramlik. A légkondicionálók illetve a hőszivattyúk azonban pont ellenkezően dolgoznak, vagyis melegebb helyre szállítják a hőt hidegebb helyről, de ez a folyamat a környezet hőmérséklet változásával jár, mivel a gép a környezetét hűti a kifűjt levegő formájában (ezalatt használati meleg vizet állít elő) miközben elektromos energiát fogyaszt. A körfolyamatban két tartály vesz részt, egy hideg illetve egy meleg tartály. A folyamat lépései:

- A melegebb lévő tartályba helyezzük a munkaközeget, ami ezáltal izotermikusan kitágul és hőt vesz fel, illetve munkát végez.
- A gáz tovább tágul, miközben további hőt nem vesz fel, de saját belső energiájából nyert energiával munkát végez.
- A gázt a hideg hő tartályban összenyomjuk. Az ehhez kellő munka kisebb mint a melegebb tartályban történő táguláskor végzett munka. Ekkor a gáz hőt ad át a hidegebb tartályban lévő folyadéknak.
- A gázt összenyomjuk, ezáltal lehűl, és visszajut eredeti állapotába. Innen a folyamat újrakezdődik.



5. ábra Kompresszoros hűtőgép körfolyamata a hőmérséklet-entrópia diagramon [10.](148.o)

„A 5. ábrán látható a körfolyamat a T-s diagramban ábrázolva. Az elpárologtatóból kiindulva, látható az ábrán, hogy a hűtőközeg az első pontnak megfelelő T_e hőmérsékleten és p_e nyomással lép be az elpárologtatóba és a hőfelvétel folytán elpárologva a 2. pontban megfelelő állapotban, még mindig T_e és p_e paraméterekkel lép ki onnan. Az ábra tanúsága szerint mind az 1. mind pedig a 2. pont jóval a határgörbén belül helyezkedik el, tehát nem tiszta gőz távozik, hanem mindkét esetben nedves gőzről van szó, mindössze a gőz részaránya változik x_1 értékről x_2 -re.

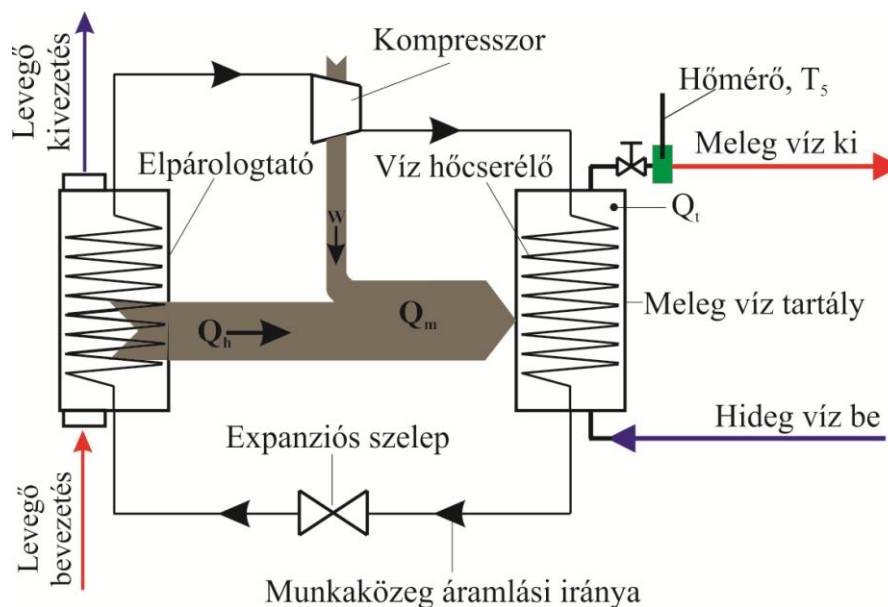
A 2. állapotú hűtőközeg ezután a kompresszorba jut, ahol adiabatikus kompresszió révén nyomása p_e -ről p_k -ra, hőmérséklete T_e -ről T_k -ra nő, így jut a 3. pontnak megfelelő állapotba. Ez rendszerint telített gőz állapotának felel meg, tehát a 3. pont a felső határgörbén helyezkedik el.

A kompresszor után a gőznemű hűtőközeg a kondenzátorba áramlik, s az ide bevezetett természetes hűtővíz, vagy levegő hatására hőt ad le. Minthogy telített gőz állapotban van, ezt a hőt csak rejtett hője rovására képes leadni, miáltal lecsapódik. A kondenzátort tehát p_k nyomású és T_k hőmérsékletű folyadék formájában hagyja el, ennek az állapotnak felel meg a 4. pont. Végül a folyadékkal munkát végeztetünk, hogy nyomása és hőmérséklete ismét p_e -re csökkenjen. Erre a célra leggyakrabban a fojtószelep szolgál, amely után az első pontnak megfelelő állapotba jut a hűtőközeg és a körfolyamat kezdődhet előlről.

Az ábrán bejelöltük a hűtéssel biztosítani kívánt T_0 hőmérsékletet, valamint a kondenzátor hűtővizének (vagy hűtőlevegőjének) T_1 hőmérsékletét is. T_0 a hűtéssel biztosítani

kívánt hőmérséklet, T_1 a kondenzátor hűtővizének (vagy hűtőlevegőjének) hőmérséklete. Ezek alapján jól érzékelhető, hogy a hűtendő térből a T_0-T_e hőmérsékletkülönbség hatására távozik el a hő a hűtőközegbe, míg a kondenzátorban ezt a hőt a hűtőközeg a T_k-T_1 hőmérsékletkülönbség hatására adja le” [10.]

A hőszivattyú részei: elpárolgató, kondenzátor, kompresszor és fojtószelep, melyeken keresztül egy munkaközeg - aminek forráspontja kisebb, mint a víz forráspontja - áramlik, így egy körfolyamat alakítható ki. A berendezésben található még egy használati meleg-víztartály, melyben az előállított meleg víz várja a felhasználásának kezdetét. [9.]



6. ábra Hőszivattyú körfolyamatának munkamenete

A hőszivattyú működése. A hideg levegőt egy ventilátor szívja be a berendezésbe, ahol egy elpárolgató (hőcserélő) keresztül átadja energiáját a munkaközegnek, miközben utóbbi gáz halmazállapotúvá válik. Ezután a munkaközeget egy villamos energiával működtetett kompresszor összenyomja, aminek hatására a nyomása és ebből következően a hőmérséklete is megnő. A magas hőmérsékletű gázt egy kondenzátorba vezetik, ahol hőjét átadja a fűtendő víznek és ennek hatására lehűl és valamennyire le is csapódik. Utolsó lépésként a lehűlt gáznak a nyomását csökkenteni kell, ahhoz, hogy újra folyadék halmazállapotúvá alakuljon, és a folyamat újraindulhasson. Ehhez a művelethez egy fojtószelepen vezetik át gázt, ami így megint cseppfolyóssá válik (6. ábra). [2.] [4.] [5.]

1.3 A hőszivattyú jóságfoka

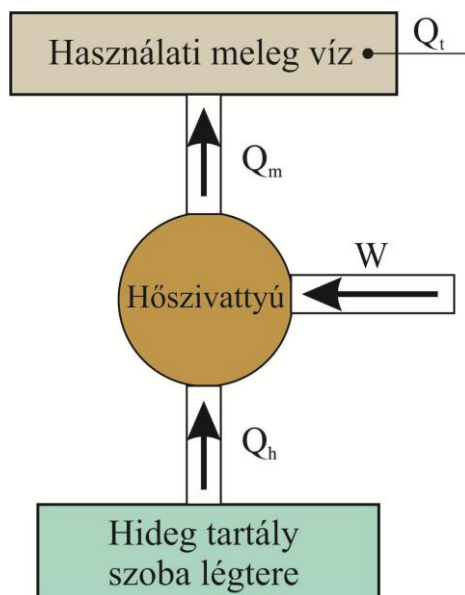
A hőszivattyú jóságfoka azt mutatja meg, hogy a hőszivattyú által hasznosított hőenergia hányad részét teszi ki a kompresszor hajtására befektetett villamos energia, vagyis a kinyert teljesítmény hányszorosa a bevitt teljesítménynek. Kiszámításakor a kondenzátorból kijövő fűtőteljesítményt, vagyis a tartályban lévő hőenergia értékét hasonlítjuk össze a kompresszorba bevitt elektromos energiával:

$$COP = \frac{\text{hasznos hőenergia}}{\text{kompresszor által felvett villamos energia}}. \quad (1.1)$$

A jóságfok nem azonos a hatásfokkal, nem alakítható át százalékos formára. A jóságfok minden esetben nagyobb, mint 1. A hőszivattyúk egymáshoz képesti viszonyítási alapjaként szolgál. [6.]

1.4 A vizsgálat során felhasznált összefüggések bemutatása [8.]

A vizsgált hőszivattyú működését a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra Hőszivattyú működési sémája

Az 7. ábrán látható energiák között az alábbi összefüggések írhatók fel. [8.]

$$Q_m = Q_h + W \quad (1.2)$$

ahol:

Q_h helyiségből elvont hő [J],

Q_m	melegvíz-tartálynak leadott hőmennyiség	[J],
W	hőszivattyú által felvett villamos energia	[J].

A hőszivattyú elméleti jóságfoka:

$$COP = \frac{Q_m}{W} = \frac{Q_h + W}{W} \quad (1.3)$$

ahol:

COP	hőszivattyú jóságfoka (coefficient of performance)	[-].
-----	--	------

A **felvett villamos munka** számolása:

$$W = U \cdot \bar{I} \cdot \cos\varphi \cdot t_{\text{ü}} \quad (1.4)$$

ahol:

U	váltakozó feszültség effektív értéke	[V],
$\bar{I}$	mért áramok átlagértéke	[A],
$\cos\varphi$	teljesítmény tényező	[-],
$t_{\text{ü}}$	hőszivattyú üzemideje	[s].

A hőszivattyúba **bemenő hőenergia** számítása:

A beáramló levegő térfogatárama:

$$\dot{V}_l = A \cdot \bar{v}_l = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \bar{v}_l \quad (1.5)$$

ahol:

$\dot{V}_l$	beáramló levegő térfogatárama	[m ³ /h],
A	be- és kilépő levegőcsanak keresztmetszete	[m ²],
d	be- és kilépő levegőcsanak belső átmérője (4. ábra)	[m],
$\bar{v}_l$	kifűjt levegő átlagsebessége a kilépő keresztmetszetben	[m/s].

A beszívott levegő térfogata:

$$V_h = \dot{V}_l \cdot t_{\text{ü}} \quad (1.6)$$

ahol:

V_h	beszívott levegő térfogata	[m ³].
-------	----------------------------	--------------------

A beszívott levegő tömege:

$$m_h = V_h \cdot \rho_l \quad (1.7)$$

ahol:

m_h beszívott levegő tömege [kg],

ρ_l levegő sűrűsége [kg/m³].

A beszívott levegő hőenergiája:

$$Q_h = m_h \cdot c_l \cdot \Delta T_{12} \quad (1.8)$$

ahol:

Q_h levegőből kivont hőmennyiség [kJ],

c_l a levegő fajhője [kJ/kg°C],

ΔT_{12} a beszívott és kifűjt levegő hőmérséklet különbsége [°C].

Tehát a fenti számítások alapján:

$$Q_m = Q_h + W \quad (1.9)$$

ahol:

Q_m tartályba leadott energia veszteség nélkül [kJ].

A hőszivattyú melegvíz-tartályában tárolt hőenergia használati meleg víz formájában:

$$Q_t = m_m \cdot c_v \cdot \Delta T_{34} \quad (1.10)$$

ahol:

Q_t melegvíz-tartályban tárolt hőenergia [J],

m_m felmelegített víz tömege [kg],

c_v víz fajhője [kJ/kg°C],

ΔT_{34} víztartály felső- és alsó hőmérsékletének különbsége [°C].

A rendszer veszteségei miatt:

$$Q_h + W > Q_t. \quad (1.11)$$

Kondenzátor oldalon a hőveszteség:

$$Q_v = (Q_h + W) - Q_t \quad (1.12)$$

ahol:

Q_v hőcserélőben (kondenzátor) keletkező veszteség [J].

A hő tartályból kinyerhető hőenergia:

Az 5. táblázat alapján a tartályban lévő hőmennyiséget két részre osztottuk. A kiengedett víz hőmérsékletét az alsó illetve a felső hőmérőkön egyaránt figyeltük, így mérve a tartály felső részén illetve alsó részén lévő kezdeti és végső hőmérsékletek különbségét. A fent leírt (1.10) egyenletet ebben az esetben nem tudtuk használni, mivel nem ismerjük a belső hőmérők pontos elhelyezkedését, illetve mivel a hőszivattyú eltérő hőmérsékletűre melegíti fel a tartályban lévő vizet, nem pedig egységesen 54 °C -ra a teljes vízmennyiséget.

Az alábbi egyenletben a felső hőmérő által mért magasabb hőmérsékletű víz tömegének kiszámítását mutatjuk be.

$$m_1 = \dot{V} \cdot \rho_v \cdot t_1 \quad (1.13)$$

ahol:

$\dot{V}$ kiengedett víz térfogatárama [m³/s],

t_1 a magasabb hőmérsékletű víz kiengedési ideje [s],

m_1 a tartályban lévő magasabb hőmérsékletű víz tömege [kg].

A magasabb hőmérsékletű víz hőenergiája

$$Q_1 = m_1 \cdot c_v \cdot \Delta T_1 \quad (1.14)$$

ahol:

Q_1 a magasabb hőmérsékletű víz hőenergiája [kJ].

A tartályban lévő alacsonyabb hőmérsékletű víz tömegének kiszámítása:

$$m_2 = M - m_1 \quad (1.15)$$

ahol:

M a tartályban lévő (hasznosítható) víz tömege [kg],

m_2 a tartályban lévő alacsonyabb hőmérsékletű víz tömege [kg].

A tartályban lévő alacsonyabb hőmérsékletű víz hőmennyiségét az alábbi egyenlettel számíthatjuk ki

$$Q_2 = m_2 \cdot c_v \cdot \Delta T_2 \quad (1.16)$$

ahol:

Q_2 az alacsonyabb hőmérsékletű víz tömege [kJ].

Tehát a tartályban lévő víz hőenergiáját az alábbi egyenlet segítségével tudjuk kiszámolni.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 \quad (1.17)$$

Kiengedett víz hőenergiája:

Térfogatáram számítás:

$$\dot{V} = \frac{V_e}{t_e} \quad (1.18)$$

ahol:

V_e a mért egység térfogata [m^3],

t_e a mért egységhez tartozó idő [s].

A kiengedett víz hőmérsékletenkénti térfogata:

$$V_n = \dot{V} \cdot t_n \cdot \rho_v \quad (1.19)$$

ahol:

V_n hőmérsékletekhez tartozó térfogat [m^3],

t_n hőmérsékletekhez tartozó idő [s],

ρ_v víz sűrűsége [kg/m^3].

Víz hőenergiája:

$$Q_{ki} = m_{ki} \cdot c_v \cdot \Delta T_5 \quad (1.20)$$

ahol:

Q_{ki} a kinyerhető hőenergia [J],

m_{ki} a kinyerhető meleg víz tömege [kg],

c_v	a víz fajhője	[kJ/kg°C],
ΔT_5	a maximum és minimum hőmérséklet különbsége	[°C].

A fenti számítások alapján igazolódik a

$$(Q_h + W) > Q_t > Q_{ki} \quad (1.21)$$

feltevés.

A hőszivattyú jóságfoka:

$$COP = \frac{Q_h + W}{W}. \quad (1.22)$$

Mivel a tényleges hőenergia a szivattyúból kinyerhető hőmennyiség, amely használati meleg víz formájában hasznosítható, így a tényleges jósági fok:

$$COP_{valós} = \frac{Q_{ki}}{W}. \quad (1.23)$$

Alapvető feltételezésünk a veszteségek miatt:

$$Q_h > Q_t > Q_{ki}. \quad (1.24)$$

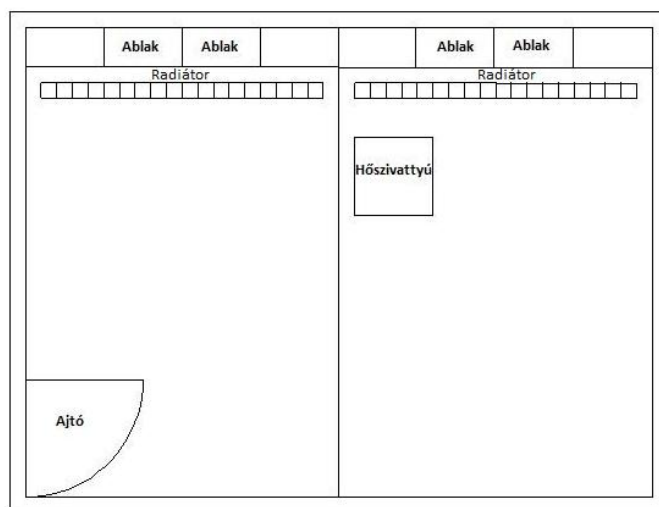
Ezért a hőszivattyú üzemére felírható a tényleges (valós)- és az elméleti jóságfok közötti kapcsolat, felhasználva összefüggést:

$$COP > COP_{valós}. \quad (1.25)$$

2 Mérés folyamata

2.1 Mérés helye és ideje

Kísérletünket az Óbudai Egyetem Doberdó úti telephelyén, zárt térben végeztük az alábbi vázlat szerinti elrendezésben (8. ábra). Méréseinket 2014. február és március hónapok folyamán hajtottuk végre (lásd Mellékletben).

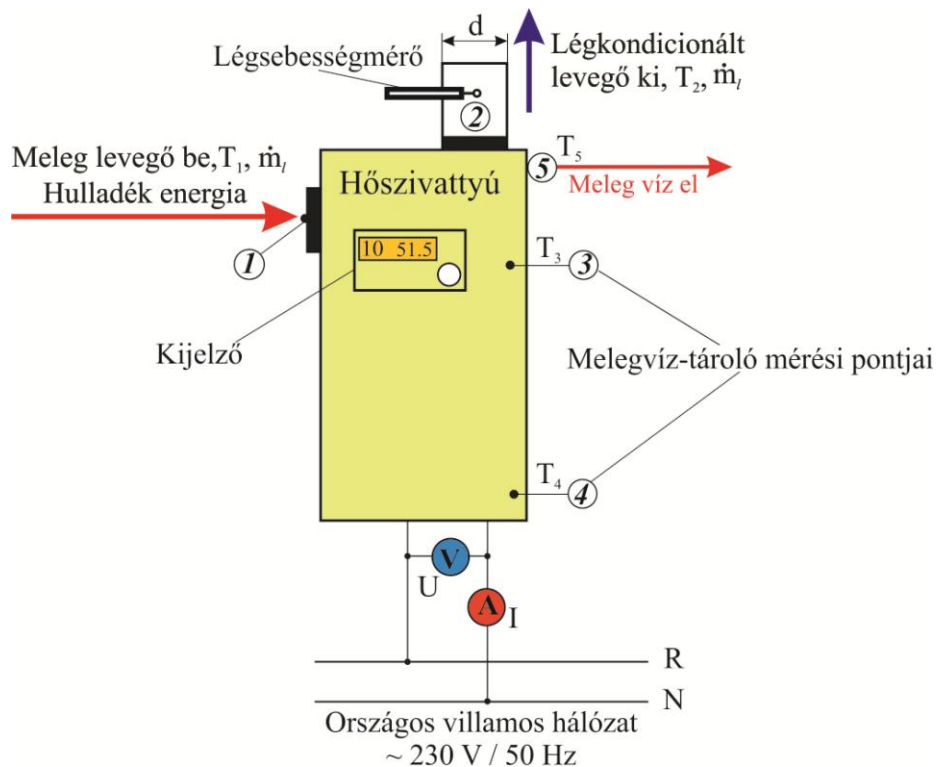


8. ábra Teremvázlat

2.2 Mérőrendszer ismertetése

A mérés hitelessége érdekében több mérőműszert használtunk az adatok leolvasására. Főbb mérőrendszerek, melyeket alkalmaztunk a következők voltak: hőmérők, ampermérő, feszültségmérő, légsebességmérő.

A hőszivattyú névleges feszültségfelvétele $U=230\text{ V} / 50\text{ Hz}$, névleges teljesítménye $P=0,48\text{ kW}$ míg áramfelvétele $2,1\text{ A}$.



9. ábra Mérési rendszer a mérési pontokkal

2.2.1 Hőmérők

A levegő-víz hőszivattyúban található hőmérők közül mi ötöt olvastunk le a felfűtés időszaka alatt: a melegvítároló hőmérsékletét felül (3-as mérési pont), a melegvítároló hőmérsékletét alul (4-es mérési pont), az előgőzölögtető hőmérsékletét, a gép által beszívott terem levegő hőmérsékletét (1-es mérési pont) valamint a gép által kifűjt levegő hőmérsékletét (2-es mérési pont). A leürítés során a kimenő víz hőmérsékletét a hőszivattyú kifolyó csövéhez szerelt hitelesített higanyos hőmérővel mértük (5-ös mérési pont) a minimális veszteség elérése érdekében (9. ábra).



10. ábra Higanyos hőmérő

2.2.2 Áramerősség-mérő

A hőszivattyú által felvett hálózati áram erősségét a MASTECH MAS 838 multiméter típusú ampermérővel mértük. (11. ábra)

2.2.3 Feszültségmérő

A hőszivattyú által felvett áram feszültségét a MASTECH MAS 838 multiméter típusú feszültségmérő készülékkel mértük, mely a kísérlet egész ideje alatt egyenletes 230 V volt. (11. ábra)



11. ábra Áramerősség- és feszültség mérő

2.2.4 Légsebességmérő

A gépből távozó lehűlt levegő sebességét a TESTO 435 multiméter mérőműszer anemométer kézi légsebességmérő műszerrel mértük oly módon, hogy a hőszivattyú tetején található kivezető nyílásához egy 154 mm belső átmérőjű PVC megvezető csövet helyeztünk, melynek oldalcsövén bedugtuk a légsebességmérőt. (12. ábra)

A szárnylapátos anemométert gyakran alkalmazzuk kisebb sebességek mérésére, amelyen a lapátkoszorúval ellátott kerék forgástengelyével párhuzamosan áramlik a levegő. A kerék fordulatszáma és az áramlási sebesség között a mérési tartományban jó közelítéssel lineáris kapcsolat áll fenn. [11.]



12. ábra Légsebesség mérés

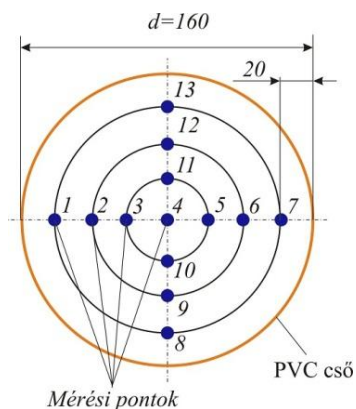
2.3 A mérés menete

Méréseinket 2014. február és március között, az alábbi folyamat alapján végeztük. A kísérletet reggel fél 8-kor kezdtük a felfűtés fázisával, mely átalagosan 5-6 órán keresztül tartott, attól függően, hogy milyen hőmérsékletű volt a terem hőmérséklete. Ezen időtartam során 30 percenként leolvastuk a hőszivattyú beépített hőmérőjén megjelenő adatokat, tehát: a bemenő és kimenő levegő hőmérsékletét, az előgőzöltető hőmérsékletét valamint a melegvíz tároló tartály hőmérsékletét alul és felül. Ezzel párhuzamosan mértük az elosztóba csatlakoztatott kézi ampermérővel, és feszültségmérővel az áram paramétereit is.

A tartályban lévő vizet 54°C -ra fűtöttük fel. A felfűtés után következett meleg víz leengedés fázisa, mely során mértük, mennyi idő alatt cserélődik ki a víz a tartályban. Tehát megnéztük, hogy hány fokot mutat a hőszivattyú beépített hőmérője a tartály alján és addig figyeltük a kivezetésre szerelt hőmérőt, míg az is el nem érte ezt a hőfokot. Stopperórával mértük, hogy mikor éri el a hőmérő a fél fokokat és ezeket az adatokat írtuk fel, majd ebből egész fokonként átlagot vontunk a pontosabb érték meghatározása céljából.

A leengedés során térfogatáramot is mértünk a kiengedés helyén. Hitelesített 10,5 literes vödröt megtöltöttünk kifolyó vízzel, miközben mértük a telítődés sebességét. Ezt a műveletet a csap elzárása nélkül háromszor ismételtük meg, melyből átlagot vontunk és képlet segítségével kiszámoltuk a térfogatáramot.

A kísérlet során megmértük a kiáramló levegő légsebességét. Ehhez egy $d=154$ mm-es megvezető csőbe illesztett szárnyalapátos anemométert (légsebességmérőt) használtunk. A megvezető csövet a hőszivattyú kivezető nyíláshoz helyeztük (12. ábra), majd a csövön belül az alábbi 13. ábra szerinti 13 különböző pontban mértük a légsebességet, végül ezekből az adatokból átlagot vontunk. (13. ábra, 4. táblázat).



13. ábra Légsebesség mérés

3 Mérési eredmények

3.1 Táblázatok

Felmelegítés során mért adatok:

A hőszivattyú kijelzőjéről leolvasott adatok:

Leolvasási idő [h:min]	Külső levegő hőmérséklete, T_1 [°C]	Kifujt levegő hőmérséklete, T_2 [°C]	Melegvíz tároló hőmérséklet (felül) T_3 [°C]	Melegvíz tároló hőmérséklet (alul) T_4 [°C]	Előgőzölögtető hőmérséklete, T_6 [°C]
7:30	23,2	21,7	21,5	21,5	2,8
7:45	22,4	12,6	22,6	21,5	2,6
8:30	21,5	11,3	27,6	21,5	3,2
9:30	21,1	11,1	33,3	21,7	4,1
10:30	20,6	11	38,5	22,3	4,7
11:30	20,3	11	43,6	23,7	5,1
12:30	20	10,9	48,7	24,3	5,5
13:30	19,9	10,9	53,8	27,2	5,8
13:45	19,9	10,9	54,1	28,1	6,2

1. táblázat hőszivattyú által mért adatok a felmelegítés során

Az amper- és voltmérőről leolvasott adatok:

Leolvasási idő [h:min]	Teljes áramfelvétel, I [A]	Hálózati feszültség értéke, U [V]
7:30	1,34	230
7:45	1,36	230
8:30	1,43	230
9:30	1,52	230
10:30	1,6	230
11:30	1,68	230
12:30	1,75	230
13:30	1,85	230
13:45	1,88	230

2. táblázat Áramerősségmérővel mért adatok

Leeresztés során mért adatok:

Hőfok, T_1 [°C]	52	51	50	49	48	47	46	45
Mért idő [s]	620	198	35	31	37	37	33	27
Hőfok, T_1 [°C]	44	43	42	41	40	39	38	37
Mért idő [s]	29	22	26	21	23	18	19	19
Hőfok, T_1 [°C]	36	35	34	33	32	31	30	29
Mért idő [s]	17	19	15	13	17	17	17	19
Hőfok, T_1 [°C]	28	27	26	25	24	23	22	21
Mért idő [s]	21	26	31	32	39	51	66	58

3. táblázat Leeresztés során mért adatok

Légsebesség mérés során mért adatok:

Légsebesség mérés, v [m3/s]	
1. mérési pont	3,67
2. mérési pont	3,97
3. mérési pont	4,23
4. mérési pont	4,48
5. mérési pont	4,27
6. mérési pont	4,23
7. mérési pont	3,71
8. mérési pont	3,52
9. mérési pont	4,02
10. mérési pont	4,34
11. mérési pont	4,38
12. mérési pont	3,98
13. mérési pont	3,65
átlag:	4,034615

4. táblázat Légsebesség mérés

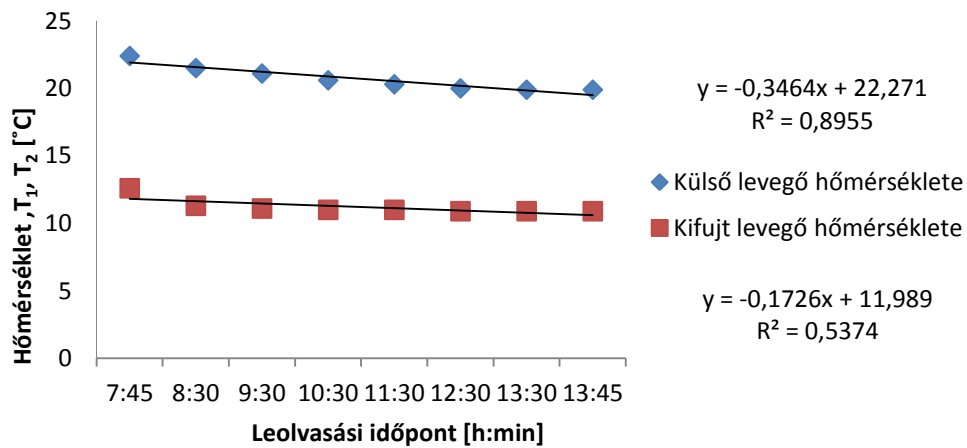
Leeresztés során a hőszivattyú kijelzőjén mért adatok:

Leengedés											
Leolvasási idő [h:min]	13:40	13:42	13:44	13:46	13:48	13:50	13:52	13:54	13:56	13:58	14:00
Melegvíz hőmérséklete (felül), T_3 [°C]	54	54	53,9	53,6	53,2	52,5	50,7	45,7	36,8	29,6	21,5
Melegvíz hőmérséklete (alul), T_4 [°C]	28	25,8	22,9	21,5	17,5	16,2	15,3	14,8	14,5	14,4	14,3

5. táblázat Hőmérsékletek változása

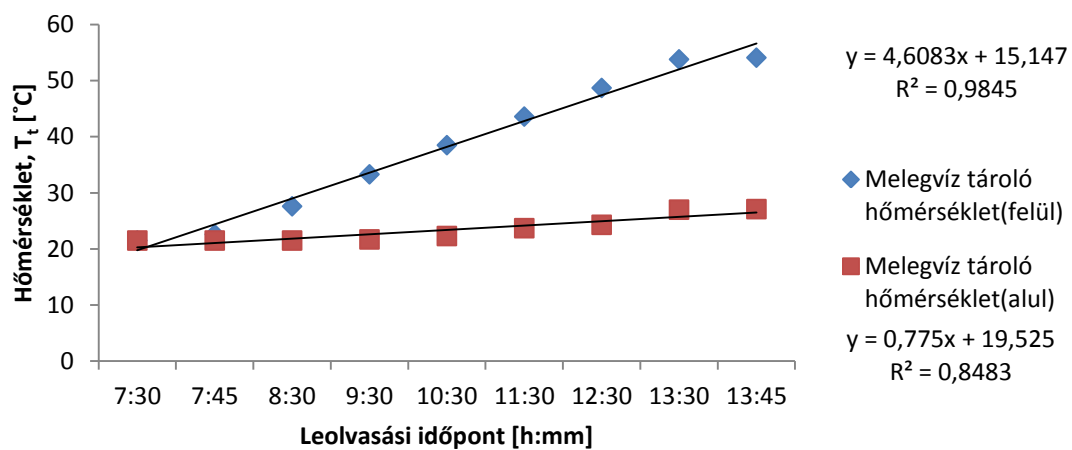
3.2 Diagramok

Az 1. diagram a hőszivattyú által beszívott illetve kifűjt levegő hőmérsékletváltozását szemlélteti az 1. táblázat adatai alapján. Az ábrából leolvasható, hogy a működés során. Az ábrából és a táblázatból kiolvasható, hogy a terem hőmérséklete 3 °C-ot csökkent a hőszivattyú üzemeltetése során.



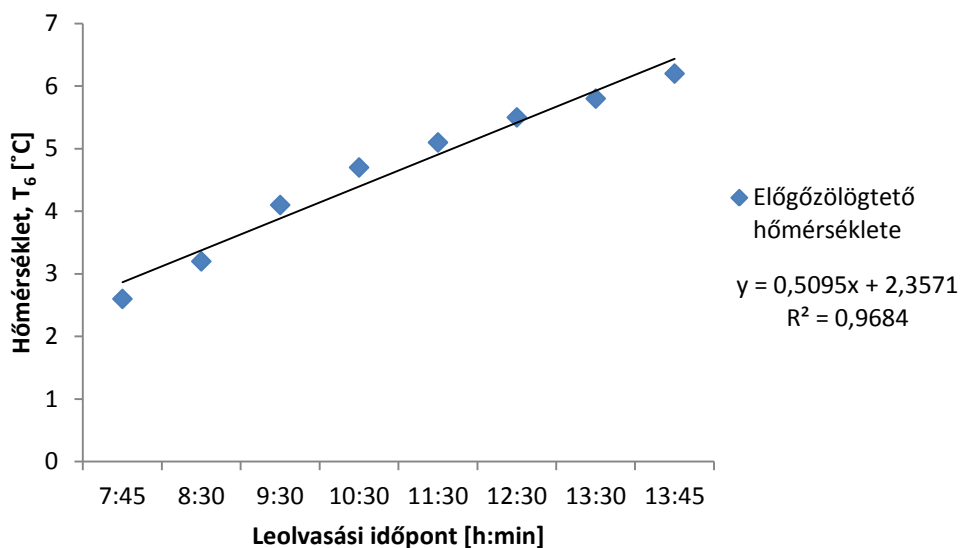
1. diagram: Beszívót és kifűjt levegő hőmérséklete

A 2. diagram a meleg víz tároló hőmérsékletét mutatja be, az 1. táblázat adatai alapján.



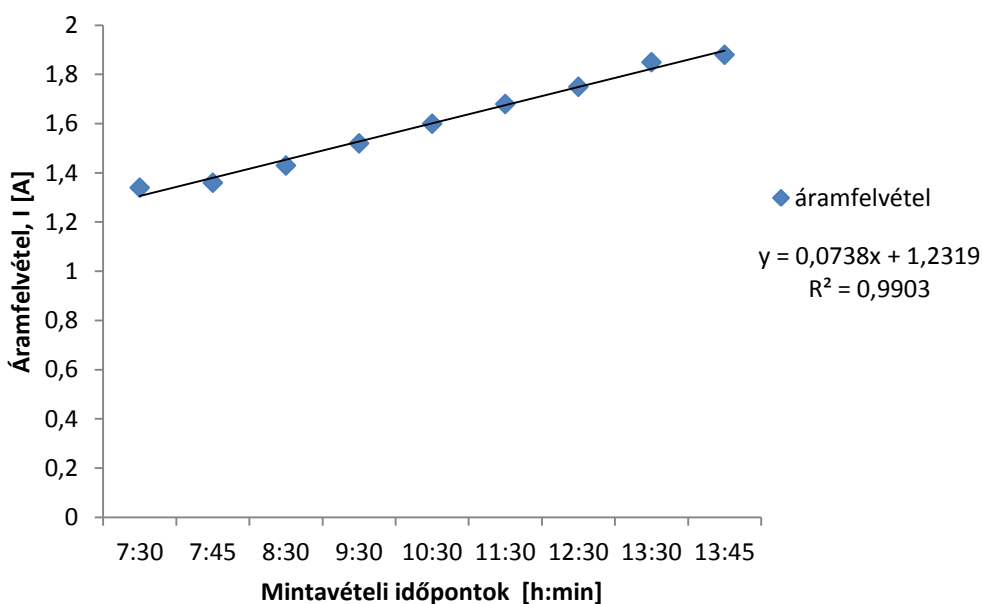
2. diagram: Melegvíz tároló hőmérséklete

A 3. diagram az előgőzölgtető hőmérsékletváltozását szemlélteti az 1. táblázat alapján.



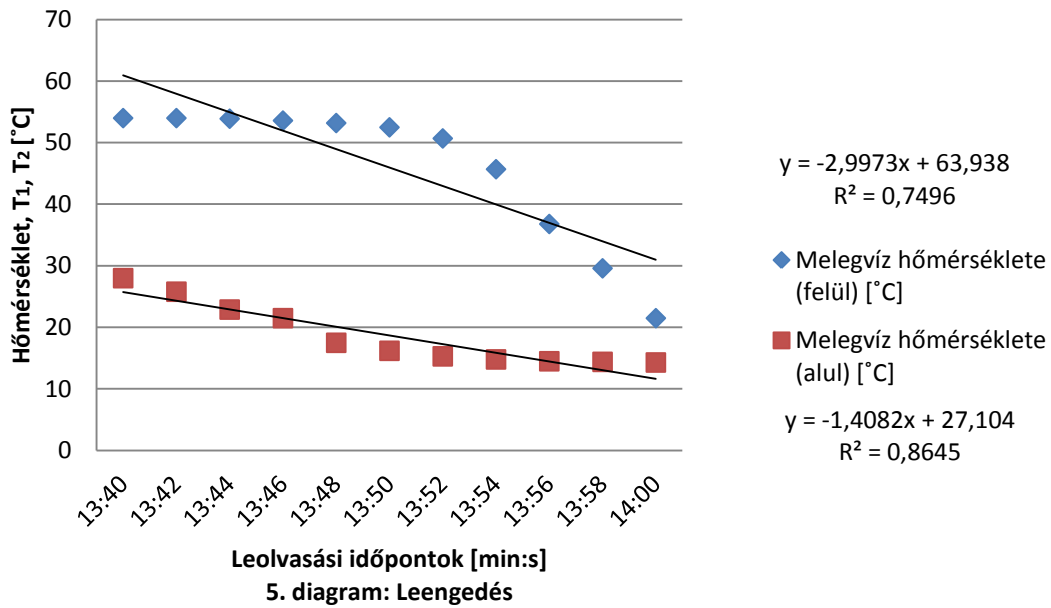
3. diagram: Előgőzölgtető hőmérséklete

A 2. táblázat alapján, a hőszivattyú áramfelvételt a 4. diagram mutatja be. Az állandó $U=230$ V mellett a grafikon trendvonala növekvő áramfelvételt mutat. A működés alatt a szivattyú teljesítménytényezője $\cos \varphi = 0,9$ volt.



4. diagram: Hőszivattyú áramfelvétele

Az 5. táblázat alapján, a hőszivattyú leengedése során a gép kijelzőjéről, a belső hőmérők alapján mért adatok változása.



3.3 Számítás

A hőszivattyú felvett **villamos energiáját** az alábbi módon tudjuk kiszámolni az (1.4) egyenlet alapján:

$$W = 230 \cdot 1,65 \cdot 0,9 \cdot 6 \cdot 3600 = 7377480 \text{ J} \approx 7377,48 \text{ kJ}$$

A **beszívott és kifújt levegő** térfogatárama az (1.5) egyenlet alapján:

$$\dot{V}_l = \frac{0,154^2 \pi}{4} \cdot 4 = 0,0186 \cdot 4 = 0,0745 \text{ m}^3/\text{s} = 268,22 \text{ m}^3/\text{h}$$

A beszívott levegő térfogata az (1.6) egyenlet alapján:

$$V_h = 0,0745 \cdot 6 \cdot 3600 = 1609,33 \text{ m}^3$$

A beszívott levegő tömege (1.7) egyenlet alapján:

$$m_h = 1609,33 \cdot 1,2 = 1931,19 \text{ kg}$$

Levegőből kinyert hő mennyiség az (1.8) egyenlet alapján:

$$Q_h = 1931,19 \cdot 1,012 \cdot (21,55 - 11,5) = 19641,42 \text{ kJ}$$

Tehát a fenti számítások alapján, az (1.9) egyenlet szerint a tartályban lévő veszteségmentes hőmennyiség:

$$Q_t^* = 19641,42 + 7377,48 = \mathbf{27018,9 \text{ kJ}}$$

Tartályban lévő víz hőtartalma:

Az 5. táblázat alapján a tartályban lévő hőmennyiséget két részre osztjuk.

A tartály felső hőmérőjén mért víz tömegét a (1.13) egyenlet alapján számítjuk ki:

$$m_1 = 0,000168 \cdot 1000 \cdot 18 \cdot 60 = 181,44 \text{ kg}$$

A kiengedett víz hőenergiája a (1.14) egyenlet alapján

$$Q_1 = 181,44 \cdot 4,186 \cdot (54 - 21,5) = 24684 \text{ kJ}$$

A tartály alsó hőmérőjén mért víz tömege az (1.15) egyenlet alapján:

$$m_2 = 278,4 - 181,44 = 96,96 \text{ kg}$$

A kiengedett víz tömege a (1.16) egyenlet alapján

$$Q_2 = 96,96 \cdot 4,186 \cdot (27,2 - 21,5) = 2313,48 \text{ kJ}$$

Tehát a tartályban lévő víz hőmennyisége az (1.17) alapján:

$$Q_t = 24684 + 2313,48 = \mathbf{26997,48 \text{ kJ}}$$

Kiengedett víz hőenergiája:

Térfogatáram számítás az (1.18) egyenlet alapján:

$$\dot{V} = \frac{0,0105}{62,3} = 0,000168 \text{ m}^3/\text{s}$$

A kiengedés során a hőmérsékletekhez tartozó térfogatot és hőenergiát az alábbi táblázat tartalmazza, a 3. táblázat adataiból számolva.

Hőmérséklet [°C]	52	51	50	49	48	47	46	45	44
Térfogat [m ³]	0,1044	0,0333	0,0058	0,0052	0,0062	0,0062	0,0055	0,0045	0,0048
Idő [s]	620	198	35	31	37	37	33	27	29
Hőenergia [kJ]	13771,15	4258,27	728,04	622,98	717,47	691,37	593,36	466,44	480,54
Hőmérséklet [°C]	43	42	41	40	39	38	37	36	35
Térfogat [m ³]	0,0037	0,0043	0,0035	0,0038	0,0030	0,0032	0,0032	0,0028	0,0032
Idő [s]	22	26	21	23	18	19	19	17	19
Hőenergia [kJ]	349,038	394,166	303,55	316,25	234,80	234,45	221,05	185,80	194,26
Hőmérséklet [°C]	34	33	32	31	30	29	28	27	26
Térfogat [m ³]	0,0025	0,0022	0,0028	0,0028	0,0028	0,0032	0,0035	0,004	0,0052
Idő [s]	15	13	17	17	17	19	21	26	31
Hőenergia [kJ]	142,78	114,58	137,85	125,86	113,87	113,87	111,05	119,16	120,22
Hőmérséklet [°C]	25	24	23	22	21				
Térfogat [m ³]	0,0054	0,0067	0,0085	0,0111	0,0097				
Idő [s]	32	39	51	66	58				
Hőenergia [kJ]	101,54	96,25	89,90	69,81	20,44				

6. táblázat Leeresztés során mért és számított adatok

A kiengedett víz hőmérsékletenkénti térfogatának összege a 6. táblázat és az (1.19) egyenlet alapján, tehát a kinyerhető hasznos víz térfogata:

$$\sum_{i=1}^{32} V = 278,4 \text{ l}$$

Víz hőenergiájának összege a 6. táblázat és az (1.20) alapján:

$$\sum_{i=1}^{32} Q_{ki} = 26240,29 \text{ kJ}$$

A fenti számítások alapján igazolódik a

$$(Q_h + W) > Q_t > Q_{ki}$$

feltevés.

A hőszivattyú jóságfoka a (1.22) egyenlet alapján:

$$COP = \frac{19641,42 + 7377,48}{7377,48} = 3,6.$$

Mivel a tényleges hőenergia a szivattyúból kinyerhető hőmennyiség, amely használati meleg víz formájában hasznosítható, így a tényleges jósági fok az (1.23) egyenlet alapján:

$$COP_{valós} = \frac{26240,29}{7377,48} = 3,5.$$

Mivel kutatásunk során a helységből kivont hőmennyiséget tovább hasznosítottuk (amelyet eddig hulladék hőként kezeltek a klímatiszálás során és a szabadba engedtek ki), így a klímatiszálendő térből elvont hőenergia kétszeresen hasznosítható. A jósági fok az (1.22) egyenlet alapján:

$$COP^* = \frac{2 \cdot 19641,42 + 7377,48}{7377,48} = 6,3.$$

Tehát a fenti képletben szereplő hőmennyiség, a hulladékenergia felhasználása miatt megduplázódik.

4 Levonható következtetések

Kutatásunk során kiderült, hogy a hőszivattyú alpjáraton egységnyi felvett villamos teljesítményből 3,6 egységnyi hőenergiát képes előállítani. Melyből a ténylegesen hasznosítható energia a felvett egységnyi villamos energiának a 3,5-szorososa. Azonban mivel ez az energia további felhasználásra kerül, így az adott energiát kétszeresen használjuk fel, tehát a hőszivattyú jóságfoka $COP=6,3$. Tehát a hőszivattyú egységnyi felvett villamos teljesítményből 6,3 egységnyi energiát állít elő.

5 TDK dolgozat összefoglalása

5.1 Eredmények gyakorlati alkalmazása

Kísérletünk során a hőszivattyút légkondicionálóként használtunk, így a termet hűtöttük. Azonban a levegőből kikerülő hulladékhő segítségével – 181,44 l vizet fűtöttünk fel 32,5°C -al, illetve 96,96 liter vizet 5,7°C -al, mely így alkalmas további felhasználásra (fürdés, mosás). Így növelve a hőszivattyú jóságfokát, és még jobban csökkentettük az egyéb meg nem újuló energiák felhasználást. Ezzel a módszerrel csekély elektromos energia felhasználásával hűtöttük le a termet illetve állítottunk elő 278 liter meleg vizet.

5.2 További kutatás

A hőszivattyú normál üzemmódban villamos áramhoz kötött, így kis mértékben, de közvetve terheli a környezetet, amennyiben fosszilis energiából nyerik a villamos energiát. Amennyiben napelemmel (DC/AC konverter közbeiktatásával) kötnénk össze, akkor a berendezés önfenntartóvá válna és a közvetett szén-dioxid kibocsátástól is mentes lenne. A napelem a Napból származó primer energiát villamos árammá alakítja, ami hőszivattyú ventillátorának és kompresszorának hajtására alkalmassá tehető. Kísérletünk folytatásaként tervezzük a hőszivattyú rákötését a Doberdó úti épület tetején található napelemre. Ezt követően újabb energiamérleg és gazdasági számításokat végeznénk. A további vizsgálataink célja az lenne, milyen módon valósítható meg a hőszivattyú leválasztása az országos villamoshálózatról.

Mellékletek

2014. február 26. mérési jegyzőkönyv															
Leolvasási idő [h:min]	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:16
Bemenő levegő hőmérséklete, T_1 [°C]	22,3	21	20,9	20,7	20,6	20,5	20,4	20,3	20,2	20,1	20,1	20	20	19,9	20
Kimenő levegő hőmérséklete, T_2 [°C]	19,2	12	10,8	10,1	10,2	10,2	10,1	10,3	10,2	10,2	10,1	10,1	10,1	10,2	10,2
Melegvíz hőmérséklete felül, T_3 [°C]	18	21,6	24,5	27,1	30,1	33,2	36,5	38,3	40,6	43,8	45,1	48,9	51,4	53,8	54
Melegvíz tároló hőmérséklete alul, T_4 [°C]	18	18,4	18,4	18,4	18,5	18,6	18,9	19,4	20,2	20,8	21,2	22,4	22,9	23,3	23,4
Teljes áramfelvétel, I [A]	1,3	1,36	1,4	1,46	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9
Hálózati feszültség értéke, U [V]	228	228	229	229	230	231	228	229	230	230	230	229	230	231	230

Leengedési mérés adatai:

Hőmérséklet, T_5 [°C]	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34
Mért idő [s]	0:01:45	0:00:56	0:00:40	0:00:38	0:00:28	0:00:27	0:00:25	0:00:24	0:00:23	0:00:22	0:00:20	0:00:21	0:00:17	0:00:18
Hőmérséklet, T_5 [°C]	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	
Mért idő[s]	00:00:16	00:00:16	0:00:17	0:00:17	0:00:17	0:00:19	0:00:20	0:00:26	0:00:27	0:00:37	0:00:42	0:00:51	0:00:23	

2014. március 6. mérési jegyzőkönyv														
Leolvasási idő [h:min]	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	13:45
Bemenő levegő hőmérséklete, T_1 [°C]	22,7	22,4	21,6	21,1	20,9	20,9	20,8	20,7	20,7	20,6	20,6	20,5	20,5	20,4
Kimenő levegő hőmérséklete, T_2 [°C]	18,1	12,6	11,7	11,4	11,3	11,3	11,2	11,2	11,3	11,3	11,3	11,2	11,2	11,2
Melegvíz tároló hőmérséklete felül, T_3 [°C]	19,4	22,9	25,8	27,5	31,2	34,6	36,3	38,9	41,3	43,8	46,6	49,5	52,4	54,2
Melegvíz tároló hőmérséklete alul, T_4 [°C]	19,4	19,5	19,6	19,7	19,8	20,1	20,6	21,2	21,7	22,2	22,7	23,6	24,7	25,6
Teljes áramfelvétel, I [A]	1,34	1,36	1,43	1,46	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9
Hálózati feszültség értéke, U [V]	229	230	230	228	229	230	230	230	230	228	229	230	230	230

Leengedés során mért adatok:

Hőmérséklet, T_5 [°C]	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37
Mért idő [s]	0:06:41	0:01:42	0:00:44	0:00:34	0:00:21	0:00:24	0:00:20	0:00:21	0:00:18	0:00:16	0:00:17	0:00:15	0:00:13	0:00:16	0:00:13	0:00:12
Hőmérséklet, T_5 [°C]	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	
Mért idő [s]	0:00:14	0:00:13	0:00:11	0:00:12	0:00:11	0:00:12	0:00:14	0:00:15	0:00:13	0:00:16	0:00:20	0:00:02	0:00:25	0:00:30	0:00:29	

2014. március 17. mérési jegyzőkönyv														
Leolvasási idő [h:min]	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	13:52
Bemenő levegő hőmérséklete, T_1 [°C]	21,9	21,8	21,4	21,3	20,2	20,9	20,8	20,7	20,7	20,6	20,6	20,5	20,2	20,2
Kimenő levegő hőmérséklete, T_2 [°C]	21,9	11,6	11,4	11,2	11,2	11,1	11,2	11,2	11	11,1	11,1	11	11,1	10,9
Melegvíz tároló hőmérséklete felül, T_3 [°C]	21,2	22	25,4	28,9	30,4	34,6	39,1	41,7	45,1	48,6	51,2	53,2	53,5	54
Melegvíz tároló hőmérséklete alul, T_4 [°C]	21,2	21,2	21,2	21,2	21,4	22,7	23,1	23,4	23,6	24,6	25,3	26,4	27,6	27,7
Teljes áramfelvétel, I [A]	1,32	1,34	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,81	1,8	1,9	1,9
Hálózati feszültség értéke, U [V]	228	227	228	230	230	230	229	230	230	228	229	230	230	230

Leengedés során mért adatok:

Hőmérséklet, T_5 [°C]	52,8	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37
Mért idő [s]	0:05:20	0:08:41	0:01:58	0:00:55	0:00:32	0:00:30	0:00:24	0:00:23	0:00:22	0:00:18	0:00:21	0:00:17	0:00:17	0:00:16	0:00:15	0:00:15	0:00:14
Hőmérséklet, T_5 [°C]	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	
Mért idő [s]	0:00:15	0:00:13	0:00:14	0:00:13	0:00:15	0:00:15	0:00:15	0:00:15	0:00:22	0:00:22	0:00:26	0:00:30	0:00:00	0:00:48	0:00:56	0:01:12	

2014. március 27. mérési jegyzőkönyv														
Leolvasási idő [h:min]	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	13:45
Bemenő levegő hőmérséklete [°C]	23,2	22,4	21,5	21,3	21,2	21,1	21,1	21,1	21,1	20,9	20,9	20,8	20,7	20,7
Kimenő levegő hőmérséklete [°C]	21,7	12,6	11,3	11,1	11	11	11,1	11	11	11,1	11	11,1	10,9	11
Melegvíz hőmérséklete felül [°C]	21,5	22,6	27,6	30,7	33,3	35,4	38,5	41,2	42,7	44,6	46,9	49,6	52,2	54,1
Melegvíz tároló hőmérséklete alul [°C]	21,5	21,5	21,5	21,6	21,7	22	22,3	22,9	23,7	24,3	25,5	26,3	27,1	27,2
Teljes áramfelvétel [A]	1,3	1,36	1,41	1,46	1,53	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9
Hálózati feszültség értéke[V]	228	228	229	230	230	230	229	229	230	231	228	229	230	230

Leengedés során mért adatok:

Hőmérséklet [°C]	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37
Mért idő [s]	0:10:20	0:03:18	0:00:35	0:00:31	0:00:37	0:00:35	0:00:33	0:00:27	0:00:29	0:00:22	0:00:26	0:00:21	0:00:23	0:00:18	0:00:19	0:00:19
Hőmérséklet [°C]	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
Mért idő [s]	0:00:17	0:00:19	0:00:15	0:00:13	0:00:17	0:00:17	0:00:17	0:00:19	0:00:21	0:00:26	0:00:31	0:00:32	0:00:39	0:00:51	0:01:06	0:00:58

Irodalomjegyzék

- [1.] Dr. Stróbl Alajos Hőszivattyú az energiagazdálkodásban ELGOSCAR-2000 Környezettechnológiai és Vízgazdálkodási Kft. Budapest, 2009.március ISBN 978 963 9754 18 8
- [2.] Reinhard Hoffmann Hőszivattyús fűtések Cser Kiadó Budapest, 2011
ISBN 978-963-278-196-9
- [3.] Holics László – Fizika
- [4.] Dr. U. Schreier, K-H Stawiarski, W. Kirchensteiner, F. Antony: A hőszivattyú Cser Kiadó,2007
ISBN 978-963-9759-49-7
- [5.] <http://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91szivatty%C3%BA>
- [6.] forrás: <http://www.unicoop.hu/elemek/ahoszivattyukrol.pdf>
- [7.] Bioépítészet-2006-2008 Bába Kiadó, 2009 ISBN 978 963 9881 73 0
- [8.] Dr. Patkó István, Dr. Szabó Lóránt: Klimatizálás gazdaságosságának javítása
- [9.] Y. Udagawa, K. Sekiguchi and all, "Development of an Outdoor Air Cooling-Type Air-Cooled Package Air Conditioner for Data Centers". 2013 ASHRAE, DA-13-015
- [10.] Dr. Patkó István: Műszaki ábrázolás és gépszerkezetek II. (Óbudai Egyetem jegyzet) Budapest, 2010 (148-149 o.)
- [11.] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Műegyetem kiadó, Budapest, 2004. (243. o)
- [12.] <http://home.howstuffworks.com/home-improvement/heating-and-cooling/heat-pump.htm>