

Ötletlapok I. -
Energiahatékonyság növelő ötletek
egyszerű energetikai és gazdasági
számításai



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 15.**

Energiahatékonyságot növelő ötletek – I.

**MMK FAP azonosító:
FAP-2018/110-ENT**

Budapest, 2018. október

A sorozat szerkesztője:

NAGY GYULA

a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

A kötet szakmai szerkesztője:

Dr. Zsebik Albin

A kötet technikai szerkesztője:

Novák Dániel

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Energetikai Tagozatának gondozásában, a 2018. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:

dr. Balikó Sándor,

dr. Csűrök Tibor,

Novák Dániel,

Orbán Tibor,

dr. Zsebik Albin

Lektorálta:

'Sigmond György

Kiadó:

Magyar Mérnöki Kamara

1094 Budapest, Angyal u. 1-3.

info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó.....	1
Bevezető.....	2
1. Mennyi lehet a megengedhető beruházási költség? – saját naperőmű létesítésén bemutatva - dr. Zsebik Albin	4
1.1. A kiinduló helyzet	4
1.2. A megengedhető beruházási költség?	4
1.3. A becsült beruházási költség	6
2. Mennyinek kell lenni a megtakarításnak? – használati melegvíz melegítése napkollektorral - dr. Zsebik Albin.....	7
2.1. A kiinduló helyzet	7
2.2. A szükséges megtakarítás	7
2.2. A várható megtakarítás.....	8
3. Tartamdiagramok használata - dr. Csűrök Tibor	10
3.1. A terhelési és a tartamdiagram.....	10
3.2. A tartamdiagram tényleges alakja.....	11
3.3. A tartamdiagram néhány elnagyolt alkalmazása.....	13
3.4. Javasolt megoldás a szemléletesség és a pontosság javítására	15
3.5. Biomassza tüzelésű kazán beillesztése a távhőrendszerbe	15
4. Vákuumos gáztalanítás - Orbán Tibor, Tábori József.....	18
4.1. A vizsgálat módszertana és célja.....	19
4.2. Jelölésrendszer	19
4.2. A vizsgált hőtermelés rövid leírása	20
4.3. Atmoszférikus termikus gáztalanítás.....	20
4.3.1. Mérlegegyenletek.....	21
4.3.2. Összetevők jelentése	21
4.3.3. A gáztalanító.....	25
4.4. Vákuumos gáztalanítás	29
4.4.1. Mérlegegyenletek.....	30
4.4.2. Összetevők jelentése	30
4.5. A két technológia összehasonlítása, megtérülés számítás	32

4.5.1. Fajlagos költségek.....	32
4.5.2. Összehasonlítás	32
4.5.3. Megtérülés számítása.....	33
4.6. Összefoglalás	33
5. Füstgáz hőhasznosító - Orbán Tibor.....	34
5. 1. A kiinduló helyzet.....	34
5. 2. A javasolt megoldás	34
5. 3. A várható megtakarítás meghatározása	35
5.3.1. A füstgáz hőhasznosító teljesítménye.....	35
5.3.2. A várható megtakarítás	36
5.4. A megengedhető beruházási költség.....	36
5.5. Az elmúlt évek tapasztalatai.....	38
6. Olajhűtő hulladék hőjének hasznosítása - dr. Balikó Sándor.....	39
6.1. Jelenlegi állapot	39
6.2. Az ötlet és a műszaki megoldás.....	39
6.3. Megtakarítások.....	41
6.4. Megengedhető beruházási költség és érzékenysége.....	42
6.5. Megjegyzés	42
7. Szárítókemencék elszívott levegőjének technológián belüli hőhasznosítása - dr. Balikó Sándor	43
7.1. Az ötlet és a műszaki megoldás.....	43
7.2. Megtakarítások.....	45
7.3. Megengedhető beruházási költség.....	47
8. Rásegítő/visszaemelő szivattyúk alkalmazása - dr. Zsebik Albin.....	48
8. 1. Bevezetés	48
8. 2. A kiinduló helyzet.....	48
8. 3. A javasolt megoldás	49
8. 4. A várható megtakarítás meghatározása	50
8.4.1. A jelenlegi energiafelhasználás	50
8.4.2. Az energiafelhasználás segédzivattyúval	51
8.4.3. A várható megtakarítás	52
8. 5. Érzékenységi vizsgálat.....	52
8.5.1. Az egyszerű megtérülési idő változása.....	52

8.5.2 A szivattyúk telepítésének megengedhető költsége.....	53
9. Elosztóhálózat szétválasztása, végponti nyomáskülönbség tartás - dr. Zsebik Albin	54
9. 1. A kiinduló helyzet	54
9. 2. A javasolt megoldás.....	55
9. 3. A várható megtakarítás meghatározása.....	56
9.3.1 A jelenlegi energiafelhasználás.....	56
9.3.2. Az energiafelhasználás a hálózat szétválasztása után	57
9.3.3. A várható megtakarítás.....	57
9.4. Érzékenységi vizsgálat	57
9.5. Az elosztóhálózat szétválasztása - általánosan	58
10. Hőszivattyú alkalmazása hidegszeperációs technológiákban - dr. Balikó Sándor....	60
10.1. Kiinduló állapot.....	60
10.2. Az ötlet és műszaki megoldás	61
10.3. Megtakarítások.....	63
10.4. Megengedhető beruházási költség és érzékenysége	63
10.5. Megjegyzés	64
11. Léghűtésű kompresszorok hulladékhőjének hasznosítása -Novák Dániel.....	65
11.1. A kiinduló helyzet.....	66
11.2. Energiahatékonyság növelő javaslat.....	67
11.3. Energetikai számítások	68
11.4. Gazdasági számítások	69
11.5. Érzékenységi vizsgálat	70
12. Légcsereszám csökkentés – szellőző rendszereknél - dr. Zsebik Albin	71
12.1. A kiinduló helyzet.....	71
12.2. Jobbító lehetőségek.....	71
12.3. A várható megtakarítás meghatározása	71
12.3.1. Az energiafelhasználás a kiinduló állapotban	72
12.3.2. Az energiafelhasználás a ventilátorcsere után.....	72
12.3.3. A várható megtakarítás	73
12.4. A légszere csökkentésének haszna - általánosan.....	73
12.5. Érzékenységi vizsgálat	74

13. Termálvíz ki nem használt hőjének hasznosítása fűtésre - dr. Zsebik Albin	75
13.1. A kiinduló helyzet	75
13.2. Energetikai számítások.....	76
13.3. Gazdasági számítások.....	79
13.4. Érzékenységi vizsgálat	79
14. Termálvíz ki nem használt hőjének hasznosítása hűtésre - dr. Zsebik Albin.....	80
14.1. A kiinduló helyzet	80
14.2. Javasolt megoldás – egyszerű energetikai számítások.....	80
14.3. Gazdasági számítások.....	81
14.4. Érzékenységi vizsgálat	82
15. Fűtési rendszer korszerűsítése - Orbán Tibor, dr. Zsebik Albin	83
15. 1. A kiinduló helyzet	83
15. 2. Javasolt megoldás – egyszerű energetikai számítások.....	83
15. 3. Gazdasági számítások.....	84
15. 4. Érzékenységi vizsgálat.....	84
15. 5. Országos kitekintés	85

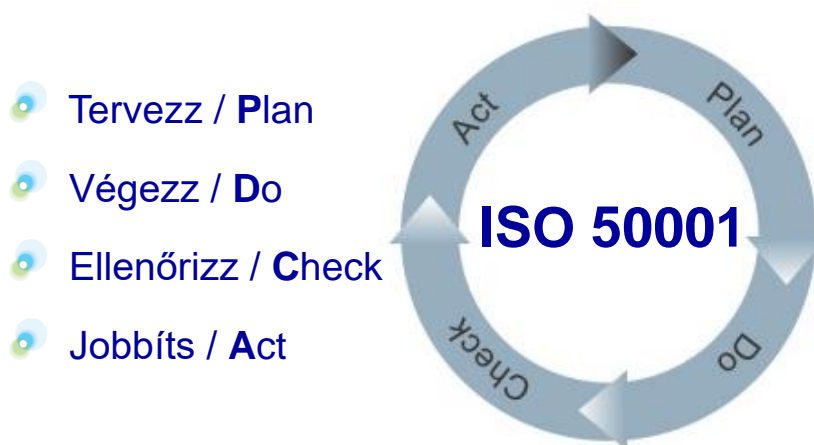
Az Energiagazdálkodás szakfolyóirat 2001. évi 1. számában Ötletlap rovatként indítottuk és 10 éven keresztül a folyóiratban rendszeresen közzé tettük szerkesztőink, vagy olvasóink javaslatait az energiahatékonyság növelésére. Most a Magyar Mérnöki Kamara támogatásával kezdtük el összegyűjteni és az érdeklődők számára elektronikus és nyomtatott formában elérhetővé tenni azokat a gyakorlatban már megvalósított, vagy megvalósításra javasolt ötleteket, jobbító intézkedéseket, amelyek példaként szolgálhatnak a vállalati energetikusoknak, energetikai auditori, vagy szakreferensi feladatokat végző mérnököknek az energiaveszteség-feltáráshoz, szakreferensi munkájukhoz.

A kiadvány szándéka az is, hogy a kollégákat tapasztalataik megosztásra, a hasznos ötleteik beküldésére ösztönözze. Keresni fogjuk a módját, hogy a Kamara Energetikai Tagozatának gondozásában a jövőben azokat is közzé tegyük.

Az ötleteket a gyakorlatban alkalmazott tartalommal ismertetjük,

- a) bemutatjuk a kiinduló/jelenlegi helyzetet, majd a jobbító javaslatot;
- b) a javasolt intézkedés által elérhető megtakarítás számításának módját és várható eredményét;
- c) a gazdasági eredmény érzékenységet a kiinduló paraméterek változására.

A munkánk során szem előtt tartottuk és olvasóinknak is figyelmébe alánjuk az ISO 50 001 energiagazdálkodási rendszer alapját is képező Deming/PDCA ciklus alábbi ábrával szemléltetett alapelvét, azzal összhangban a jobbítási lehetőségek folyamatosan keresését.



I. ábra A folyamatos fejlesztésre ösztönző Deming/PDCA ciklus szemléltetése

Bízom abban, hogy olvasóink a közzé tett 15 javaslat között találhatnak olyanokat, amelyeket hasznosítani tudnak, s többen lesznek, akik saját ötleteiket, jobbító javaslataikat közzétételre beküldik az Energetikai Tagozat címére.

Dr. Zsebik Albin

Bevezető

Az energiaveszteség-feltárás során abból szoktunk kiindulni, hogy a vizsgált rendszereket, technológiai folyamatokat, épületeket és egyéb létesítményeket tervező mérnökök körültekintően végezték munkájukat. Az igényelt feladatra az adott gazdasági környezetben, a rendelkezésre álló berendezések és eszközök felhasználásával a legjobb megoldást választották. Feltételezhetően az üzemeltetők is legjobb tudásuk szerint működtetik a rendszereket.

Mi ekkor a veszteségfeltárást végző mérnök feladata? Mi ez esetben az energiaveszteség?

Az energiaveszteség-feltárás általában hosszú évek óta üzemelő rendszerekre irányul. A vizsgált rendszerek létesítése óta eltelt idő alatt jelentős mértékben megváltozhatott a gazdasági környezet (az energiahordozók elérhetősége, vele összefüggésben az ára). Jelentős mértékben javulhatott a feladat elvégzésére alkalmazható berendezések és eszközök műszaki színvonala, hatékonysága. Ezek szem előtt tartásával veszteségnek tekinthetjük, ha a vizsgált rendszer energiafelhasználása (üzemeltetési költsége) nagyobb, mint az elemzés időpontjában azonos feladat ellátására alkalmas rendszer energiafelhasználása (üzemeltetési költsége).

Az energiaveszteség-feltárás során azt keressük, miképpen jobbíthatók a rendszerek. Azt elemezzük, milyen korszerűsítésekkel, energiahatékonyság növelő intézkedésekkel csökkenthető energiafelhasználásuk, üzemeltetési költségük.

Az energiafelhasználás hatékonyságának növelése befektetési lehetőségek is tekinthető. Fontos emiatt, hogy a jobbító javaslatokat befektetői megközelítéssel is elemezzük. A veszteségfeltárás során igyekszünk meghatározni a javasolt intézkedés által elérhető **energiamegtakarítást**, az aktuális, vagy egy „referencia energiaárral” a **költségmegtakarítást**. Listaárakkal, vagy árajánlatok alapján becsülni a javasolt intézkedés várható **megvalósítási/beruházási költségét**, majd az egyszerű megtérülési idejét.

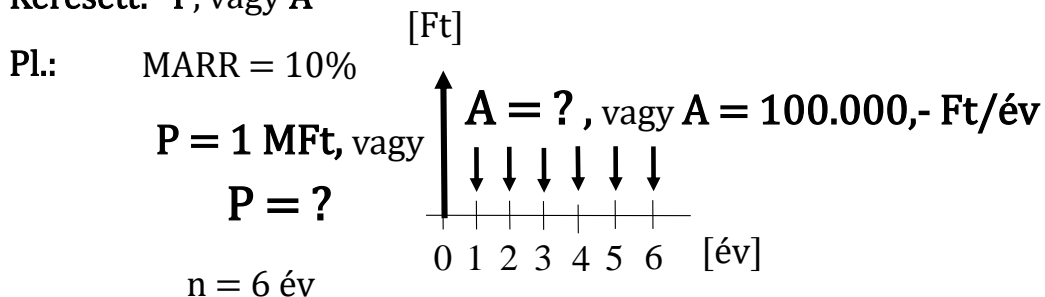
Kötetünkben, az egyszerű megtérülési idő meghatározása mellett, a befektetői szempontokra tekintettel a közzétett javaslatok többségénél meghatározzuk, hogy adott gazdasági elvárás teljesüléséhez, ismert, (nagy pontossággal meghatározott) **A** -val jelölt évenkénti megtakarítás, esetén mennyi lehet egy energiamegtakarítást eredményező intézkedés megvalósításának költsége, **P**, ill. fordítva, ismert beruházási költség esetén mennyinek kell lenni az évenkénti megtakarításnak.

A gazdasági elvárás az, hogy az intézkedés megvalósítására fordított/beruházási költség a meghatározott gazdasági élettartam, **n**, alatt térüljön meg és a befektető/beruházó számára biztosítsa a minimális elvárt hozamot (**MARR**).

A számítás kiinduló adatait a II. ábra szemlélteti, a meghatározás módját az 1. és 2. fejezetben ismertetjük.

Adott: MARR és n , valamint P , vagy A

Keresett: P , vagy A



II. ábra: A kiinduló adatok szemléltetése

Tekintettel arra, hogy mind a megvalósítás költségének meghatározása, mind a várható megtakarítás kiszámítása számos bizonytalanságot hordoz, a közzé tett példákat érzékenységi vizsgálattal egészítjük ki. (A várható megtakarítás meghatározásában pl. a naturáliákban meghatározott értéke mellett jelentős bizonytalanságot jelent az energiahordozó, ill. energia árak, import berendezések vásárlása esetén a devizaárfolyam változása.)

Azért is fontos a gazdasági elemzéshez tartozó érzékenységi vizsgálat, hogy rámutasson a bizonytalan kiinduló adatok hatására, ill. kritikus változók és paraméterek tekintetében a döntéshozók számára szemléltesse azok gazdasági mutatókra történő hatását.

1. Mennyi lehet a megengedhető beruházási költség? – saját naperőmű létesítésén bemutatva - dr. Zsebik Albin

Amint arra a bevezetőben hivatkoztam, gyakran előfordul, hogy viszonylag nagy pontossággal meghatározható az energiagazdálkodás hatékonyságát növelő ötlettel elérhető megtakarítás, de csak informatív ajánlatunk van a megvalósítás költségére. Ekkor keressük a választ arra a kérdésre, hogy a befektetői szempontokat szem előtt tartva, mennyi lehet az energiamegtakarítást eredményező intézkedés beruházási költsége, ha gazdasági elvárás az, hogy az intézkedés megvalósítására fordított/beruházási költség a meghatározott gazdasági élettartam, n , alatt térüljön meg és a befektető/beruházó számára biztosítsa a minimális elvárt hozamot (**MARR**).

A megengedhető beruházási költség meghatározásának módját mintaként egy házi naperőmű példáján az alábbiakban mutatjuk be.

1.1. A kiinduló helyzet

A villanyért most (2018-ban) az ESZ Lakossági „A1” árkategóriás fogyasztóként a nettó 120,5 Ft/hó elosztói alapidj és 13,755 Ft/kWh rendszerhasználati díj mellett, nettó 14,77 Ft/kWh kedvezményes és 15,81 Ft/kWh normál árszabás szerinti díjat fizetek.

A Budapest egyik külterületében levő családi házunk tetejére lehetőség van napelemek telepítésére.

Van egy kis megtakarított pénzem. Ha bankban tartom, kapok rá évi 1-2 % kamatot. Felmerül a kérdés, érdemes lenne-e a pénzt napenergia hasznosítására fordítani, s ha igen, milyen feltételekkel?

Elemezzük együtt a napenergia hasznosítás várható eredményét. A megtakarítás számításánál feltételezzünk bruttó 40 Ft/kWh villany referencia árat. A hálózatra csatlakozás miatt a villamosenergia esetén az elosztói, földgáz esetén a háztartási alapidj nem kerülhető el.

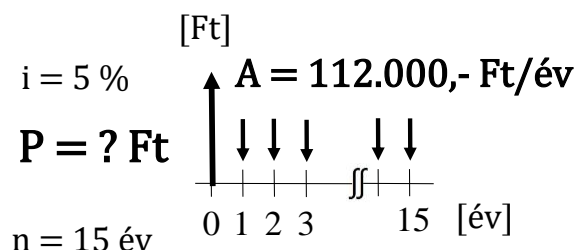
(Az elemzés mintaként kerül bemutatásra, általánosítható más energiamegtakarítást eredményező beruházásra is.)

1.2. A megengedhető beruházási költség?

Az Európai Unió támogatásával egy szakértői csoport szabadon hozzáférhető programot fejlesztett a különböző típusú, különböző helyszínen telepített napelemek várható éves energiatermelésének számítására. (A program a <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> címen található.) Ezzel határoztam meg, hogy a családi házunk tetejére telepíthető 10 db egyenként 250 W_p teljesítményű napelem felhasználásával készíthető naperőművel évente átlagosan 2800 kWh/év villanyt

tudok termelni. Ez meghaladja a fogyasztásunkat, ezért a jelenlegi szabályozás alapján nem érvényesíthető rá az ad/vesz szabály, de most a példa kedvéért a megtakarítás számítás alapjának tekintem. Azt feltételezem, hogy évente megtakaríthatom a termelt villany 40 Ft/kWh referencia árral számolt 112.000,- Ft/év költségét.

Tételezzük tehát fel, hogy a naperómű (vagy más energiahatékonysági intézkedés) által évente megtakarítok $A = 112.000,-$ Ft-ot. Arra keresem a választ, mennyi lehet a naperómű (más intézkedés) beruházási költsége, P , ha azt szeretném, hogy az $n = 15$ év gazdasági élettartam alatt megtérüljön és biztosítson számomra (bevezető II. ábráján MARR jelölésű) $i = 5\%$ hozamot (1.I. ábra).



1.I. ábra: A kiinduló adatok szemléltetése - napelem

A feltételezett gazdasági élettartam, n és minimális elvárt hozam (MARR, vagy jelölésünkkel i) figyelembevételével meghatározzuk az éves megtakarítás által keletkező állandó sorozat, A , jelenérték tényezőjét, azaz azt a szorzót, ami a további számoláshoz szükséges:

$$USPW = \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n} = \frac{((1+0,05)^{15} - 1)}{0,05 \cdot (1+0,05)^{15}} = 10,38$$

Az egyenletes ütemezésben jelentkező, azonos pénzösszegek jelen időpontra vonatkozó értéke, azaz a naperómű beruházásának az elvárásokat teljesítő megengedhető költsége:

$$P_{15 \text{ év}, 5\%} = A \cdot USPW = 112.000 \cdot 10,38 \approx 1.162.560, -Ft$$

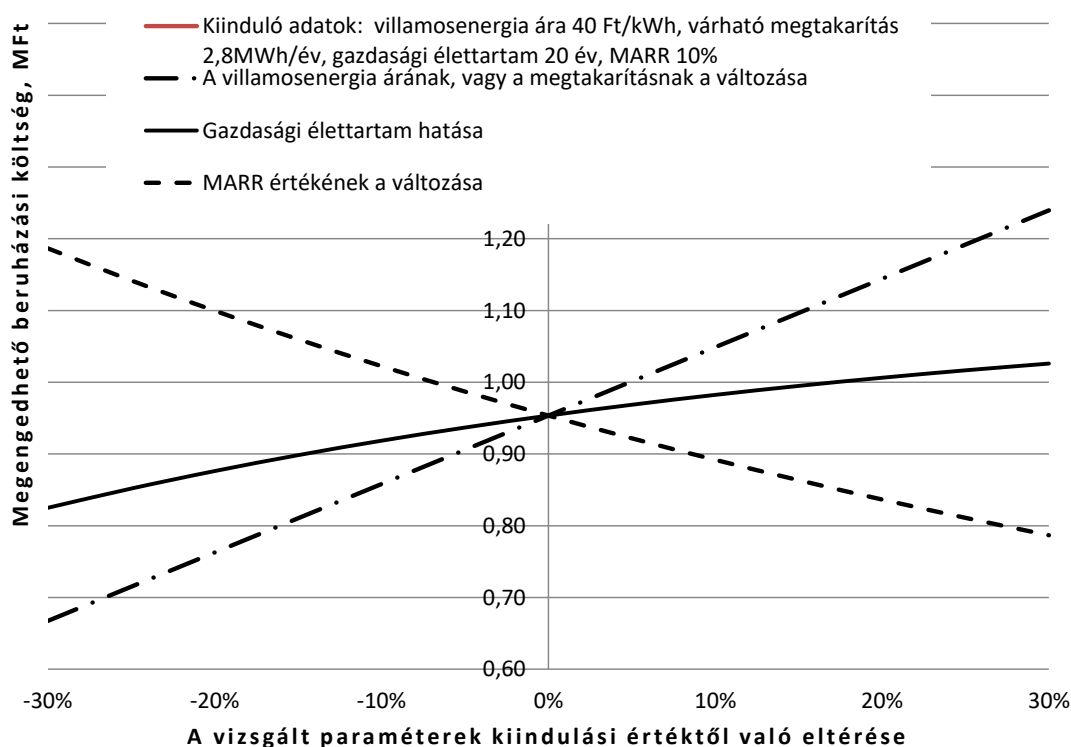
Tekintettel arra, hogy a naperómű fizikai élettartama meghaladja a 15 évnek feltételezett gazdasági élettartamot és a minimális elvárt hozam is eltérhet a mintaként megadott 5 %-tól, a 25 év gazdasági élettartam, 10 és 15 % MARR feltételezésével is meghatároztam és a 2.3. táblázatban összefoglaltam a naperómű megengedhető beruházási költségét.

1.I. táblázat: $A \sim 2,5$ kWp beépített teljesítményű naperómű és rendszerhez illesztésének megengedhető beruházási költsége

Gazdasági élettartam, n év	15	15	15	25	25	25
MARR	5%	10%	15%	5%	10%	15%
Megengedhető, eFt	1.163	852	655	1.579	1.017	724

Ha az erőmű létesítésére 1.163,- eFt-nál alacsonyabb árajánlatot kapunk és 40 Ft/kWh referencia áron nem kell az áramszolgáltatótól villanyt vásárolni, vagy ilyen áron átveszi a fölösleges energiát, célszerű az erőművet mielőbb megépíteni, mert átlagos időjárási viszonyok mellett a 15 év gazdasági élettartamig biztosítani fogja a befektetés megtérülését és a jelenlegi banki kamatnál nagyobb, de viszonylag szerény (5%) elvárt hozamot. 25 év gazdasági élettartam feltételezésével a várható hozam már meghaladja az 5 %-ot.

A megengedhető beruházási költség érzékenységet a meghatározó paraméterek változására a 1.II. ábra mutatja.



1. II. ábra: A megengedhető költség érzékenysége a meghatározó paraméterek változására

1.3. A becsült beruházási költség

Napjainkban a kisebb és nagyobb névleges teljesítményű naperőművek kulcsrakész telepítésére több cég vállalkozik.

A napkollektor telepítése valószínűleg nem az alacsonyan csüngő gyümölcs kategóriába tartozik, de fogadjuk meg amit szakmai előadásaim alkalmával szoktam mondani, hogy feladatunk a természetben kialakult egyensúly megóvása. Ne azért használjuk a megújuló energiaforrásokat, mert megéri, hanem azért, hogy takarékoskodjunk a fogyó energiaforrásokkal, védjük környezetünket. Ez kötelességünk.

2. Mennyinek kell lenni a megtakarításnak? – használati melegvíz melegítése napkollektorral - dr. Zsebik Albin

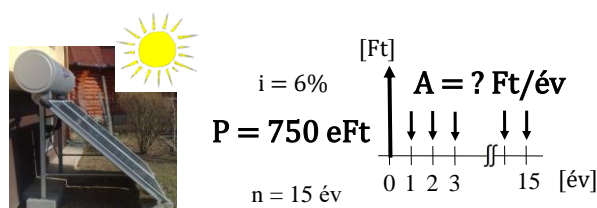
Az energiaveszteség-feltárás során gyakran az is előfordul, hogy viszonylag nagy pontossággal meghatározható az energiagazdálkodás hatékonyságát növelő ötlet megvalósításának költsége, de a termelési volumen, vagy az energia árának változása miatt pontatlan az elérhető megtakarítás meghatározása. Ekkor azt keressük, mennyinek kell lenni a megtakarításnak, hogy az intézkedés megvalósítására fordított/beruházási költség a meghatározott gazdasági élettartam, n , alatt térüljön meg és a befektető/beruházó számára biztosítsa a minimális elvárt hozamot (**MARR**).

A kérdésre a válasz meghatározásának a módját mintaként egy házi napkollektoros használati melegvíz melegítő létesítésének példáján az alábbiakban ismertetjük.

2.1. A kiinduló helyzet

Adott beruházási költség esetén, az elvárt hozamot teljesítő energiahatékonyság növelő intézkedéssel elérendő megtakarítás számításának módját egy 10 évvel ezelőtt telepített napkollektor példáján ismertetem.

Annak idején egy gravitációs napkollektor telepítésére nettó 750 eFt-os ajánlatot kaptam (2.I. ábra). A megoldás kedvezőnek mutatkozott, mert a tető helyett a kertbe el lehetett helyezni, a hálózati hidegvízhez hozzá lehetett csatlakoztatni, az üzemeltetéshez nem igényel segéd energiát, mindössze akkor kell az egy méternél rövidebb szakaszon az elektromos kísérőszálas hőntartást bekapcsolni, ha a külső levegőhőmérséklete $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá csökken.



2.I. ábra: A kiinduló adatok szemléltetése - napkollektor

2.2. A szükséges megtakarítás

Esetünkben, - ismert beruházási költség, P , esetén, - a gazdasági elemző feladata többek között annak megállapítása, hogy mennyinek kell lenni évenként a megtakarításnak, A , amely biztosítja, hogy a befektetés $n = 15$ év gazdasági élettartam alatt megtérül és közben termel $\text{MARR} = i = 6\%$ hozamot.

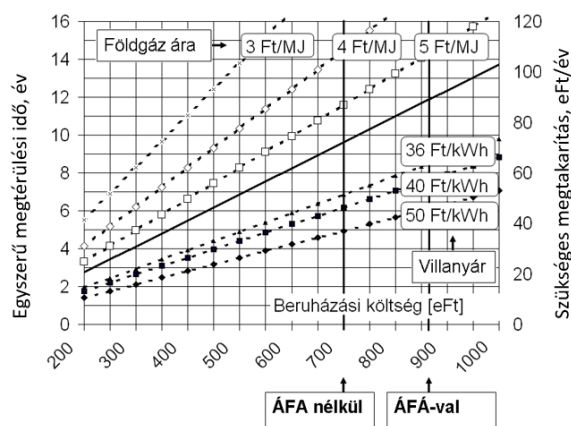
A feladat megoldásához az egyenletes tőke visszanyerési tényezőt, CR, kell meghatározni

$$CR = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{((1 + i)^n - 1)} = \frac{0,06 \cdot (1 + 0,06)^{15}}{((1 + 0,06)^{15} - 1)} = 0,103$$

A beruházási költség és a tőkevisszanyerési tényező szorzata adja meg az elvárásokat kielégítő megtakarítás szükséges mértékét.

$$A_{10\text{év},5\%} = P \cdot CR = 750.000 \cdot 0,103 \approx 77.250, -\text{Ft/év}$$

Most az érzékenységi vizsgálat ábrázolásának másik módját mutatjuk be. A 2.II. ábra folytonos vastag egyenese az éves megtakarítás szükséges mértékének változását mutatja a beruházási költség függvényében a fenti feltételek (MARR=6%, n=15 év) mellett. Az ábra további egyenesei az egyszerű megtérülési idő változását mutatják a beruházási költség függvényében különböző gáz ($k_{fg} = 3, 4, \text{és } 5 \text{ Ft/MJ}$) és villamosenergia ($k_v = 36, 40 \text{ és } 50 \text{ Ft/kWh}$) ár figyelembevételével.



2.II. ábra: Az éves megtakarítás szükséges mértéke és az egyszerű megtérülési idő

2.2. A várható megtakarítás

Az egyszerű megtérülési idő számításához a várható megtakarítást a következőképpen határoztam meg:

Feltételeztem, hogy 80 l 40°C hőmérsékletű vízben fürdünk. A hálózati víz hőmérséklete 10°C. A víz felmelegítése, $\eta=80\%$ hatásfokú földgáz vízmelegítővel vagy 95%-os villanybojlerrel történik. A földgáz referencia ára legyen 3 Ft/MJ, a villamos energiáé 36 Ft/kWh.

A víz felmelegítéséhez szükséges hő a víz mennyiségének, m , [kg], fajhőjének, c [kJ/kgK], valamint a meleg és hideg víz hőmérséklet különbségnek, $(t_m - t_h)$, [°C] a szorzata (ugye emlékeznek rá, hogy a Kelvin és Celsius fok között az eltérés 273,15°C, de a hőmérséklet különbség azonos):

$$Q = m \cdot c \cdot (t_m - t_h)$$

Az egyszerűség kedvéért azt is feltételezzük, hogy 1 l víz 1 kg, a víz fajhője 4,2 kJ/kgK.

Ezekkel az értékekkel a víz felmelegítéshez szükséges hő:

$$Q = 80 \cdot 4,2 \cdot (40 - 10) = 10\,080 \text{ kJ} \approx 10 \text{ MJ}$$

Ha gázkazánunk hatásfoka 100 % lenne, víz melegítése ~ 30,- Ft-ba kerülne. Mivel a kazán hatásfoka $\eta=80\%$, a vízmelegítéshez felhasznált gáz hőegyenértéke

$$Q_g = \frac{Q}{\eta} = \frac{10}{0,8} \sim 12,6 \text{ MK, költség} \sim 38,- \text{ Ft lesz.}$$

Ha a vizet 95% hatásfokú villanybojlerrel melegítjük, ~ 10 611 kJ hőegyenértékű villanyt kell felhasználnunk. Ez kWh fogyasztásra átszámolva $10\,611/3600 \approx 2,95$ kWh villanyfelhasználásnak felel meg. Költsége a fenti árral ~ 106,- Ft.

A villannyal és földgázzal történő vízmelegítés különbsége egy fürdés esetén ~ 68,-Ft.

Ha egy családban naponta két fürdést veszünk figyelembe, a különbség egy év alatt ~ 50.000,- Ft/év. Ilyenkor felvetődik a kérdés, érdemes-e kicserélni a villanybojlert átfolyós vízmelegítőre, vagy a csak fűtésre szolgáló kazánt kombinált, (fűtő és használati melegvíz) kazánra.

A megtakarításhoz visszatérve, a várható éves megtakarítást a következőképpen határoztam meg:

1. A családi házban lakók naponta összesen 3 alkalommal fürdenek, egy alkalommal mosogatnak.
2. A mosogatáshoz felhasznált víz energia igénye megegyezik egy fürdés energiaigényével. Ezzel a fürdés száma napi 4-re nőtt.
3. A napkollektoros rendszer évi 240 napon biztosítja a víz melegítést, ezeken a napokon nem kell földgázt, vagy villanyt fogyasztani a víz melegítésére.
4. Az éves megtakarítás földgázzal történő vízmelegítés esetén:

$$\Delta K = 38 \frac{\text{Ft}}{\text{fürdés}} \cdot 240 \frac{\text{nap}}{\text{év}} \cdot 4 \frac{\text{fürdés}}{\text{nap}} = 36.480,- \frac{\text{Ft}}{\text{év}}$$

villannyal történő vízmelegítés esetén:

$$\Delta K = 106 \frac{\text{Ft}}{\text{fürdés}} \cdot 240 \frac{\text{nap}}{\text{év}} \cdot 4 \frac{\text{fürdés}}{\text{nap}} = 101.760,- \frac{\text{Ft}}{\text{év}}$$

Megállapítható, hogy ha a napkollektorral történő vízmelegítés földgázt vált ki, 15 év alatt még nem teljesül a megtérülés és 6 %-os hozam.

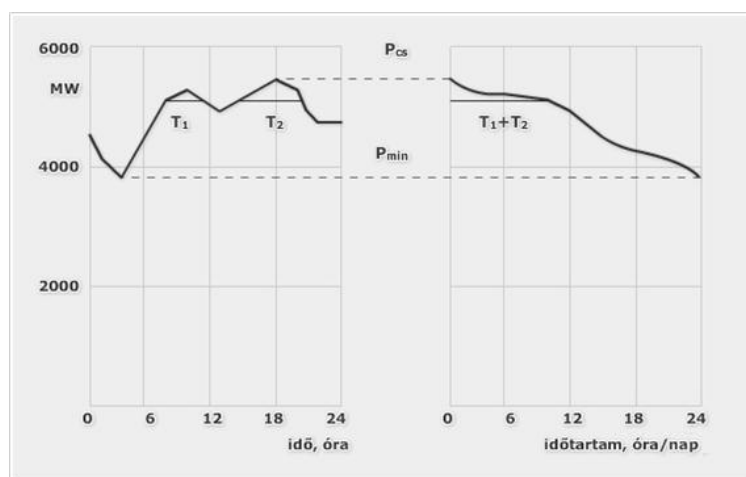
Más a helyzet, ha villanybojlert vált ki a napkollektoros rendszer. Ekkor már teljesül a példánkban ismertetett elvárás, érdemes még támogatás nélkül is megépíteni a rendszert. S ha az egyszerű megtérülést figyeljük, s szem előtt tartjuk, hogy a napkollektorok élettartama meghaladja a 20 évet, az energia ára pedig növekedni fog, levonhatjuk a következtetést, érdemes mielőbb megépíteni a napenergia hasznosító rendszert. Tapasztalatom alapján írom. Jó dolog márciustól novemberig azzal az érzéssel fürdeni/zuhanyozni, hogy a víz melegítéséhez nem kellett földgázt elégetni.

3. Tartamdiagramok használata - dr. Csűrök Tibor

A tartamdiagramok az energetikusok általánosan elterjedten használt, közkedvelt eszközei, amelyekkel az energiaigények és kielégítésük teljesítmény- és energia viszonyai látványosan szemléltethetőek. Többségében helyesen és praktikusán használják ezeket a szakemberek, de előfordulnak olyan interpretációk, amelyeknél a szemléltetés igénye előtérbe kerül az elvi alapokkal szemben. Önmagában ez általában nem okoz gondot, csak akkor adódhatnak félreértések, ha a tartamdiagramon bemutatott összefüggésekkel tovább dolgozunk, olyan információt próbálunk kinyerni belőle, ami nincs is benne. Ezért célszerű áttekinteni a tartamdiagram elvi alapjait, megnézni néhány félreértelmezhető alkalmazást, majd egy példával bemutatni egy további alkalmazási lehetőséget.

3.1. A terhelési és a tartamdiagram

A terhelési diagram azt mutatja meg, hogy az idő függvényében hogyan változik a kiadott teljesítmény, vagy az igényelt teljesítmény stb. A teljesítmény lehet villamos teljesítmény, hőteljesítmény, tetszés és szükség szerint. Diagramon ábrázolva – lásd 3.I. ábra bal oldali része – a függőleges tengelyen a teljesítmény kW vagy MW mértékegységben, a vízszintes tengelyen az idő egy tetszőleges kezdeti időponttól folyamatosan telve, tetszőleges, célszerűen megválasztott mértékegységben (másodperctől kezdve napokig stb.) látható.



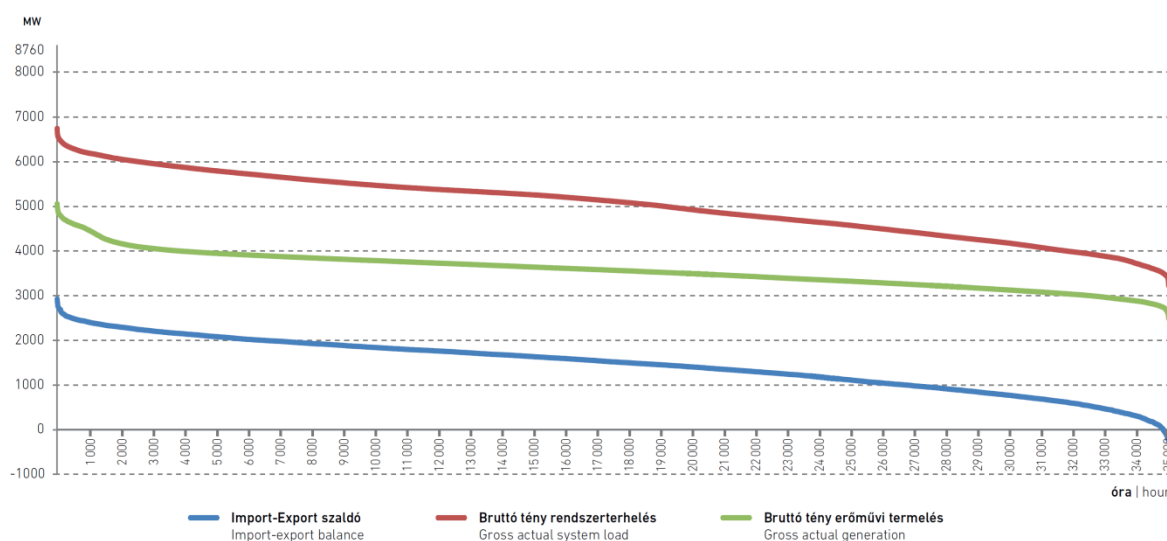
3.1.ábra: A terhelési diagram és az abból származtatott tartamdiagram
(forrás: https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_34_energetika_2/ch01.html#id461374)

A 3.I. ábra jobb oldalán látható a tartamdiagram grafikus szerkesztése. A tartamdiagram az adott, vizsgált időszakon belül előforduló minden teljesítményhez megadja azt az időtartamot, amelyen keresztül az, vagy annál nagyobb fennállt. A 3.I. ábra jobb oldalán látható az eredmény, egy szigorúan monoton csökkenő függvény. (Azért szigorúan

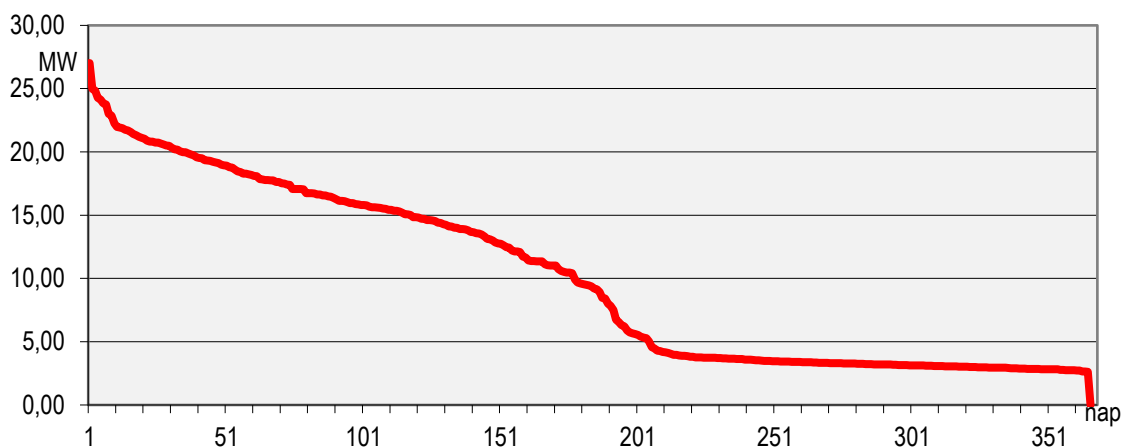
monoton, mert mérés technikai oldalról kizárt, hogy a terhelési diagram vízszintes szakaszokat tartalmazzon. legfeljebb kerekítéssel adódhat ilyen érték.) A 3.I. ábra jól szemlélteti a két diagram közötti legfontosabb elvi különbséget: a bal oldalon látható, hogy a tetszőlegesen kiválasztott teljesítménynél nagyobb jelentkező kb. 8 és 12 óra, valamint 15 és 20 óra között, a jobboldali diagramon, a tartamdiagramon ebből csak annyi látszik, hogy az adott időszakban (napon belül) kilenc órán keresztül volt ennél nagyobb igény. A tartamdiagramon ugyanezt az eredményt adta volna, ha éjfél és kilenc óra között egy „blokkban” jelentkezik ez az igény, vagy napon belül négy blokkban stb. A vízszintes tengelyen a mértékegységek is eltérőek: baloldalt idő, órában, jobb oldalon időtartam, óra/nap mértékegységben. A bal oldali ábrán van jelentősége az időbeli sorrendnek, a jobboldalin nincs, ott egy minta elemei szerepelnek, időbeli sorrendiség nélkül.

3.2. A tartamdiagram tényleges alakja

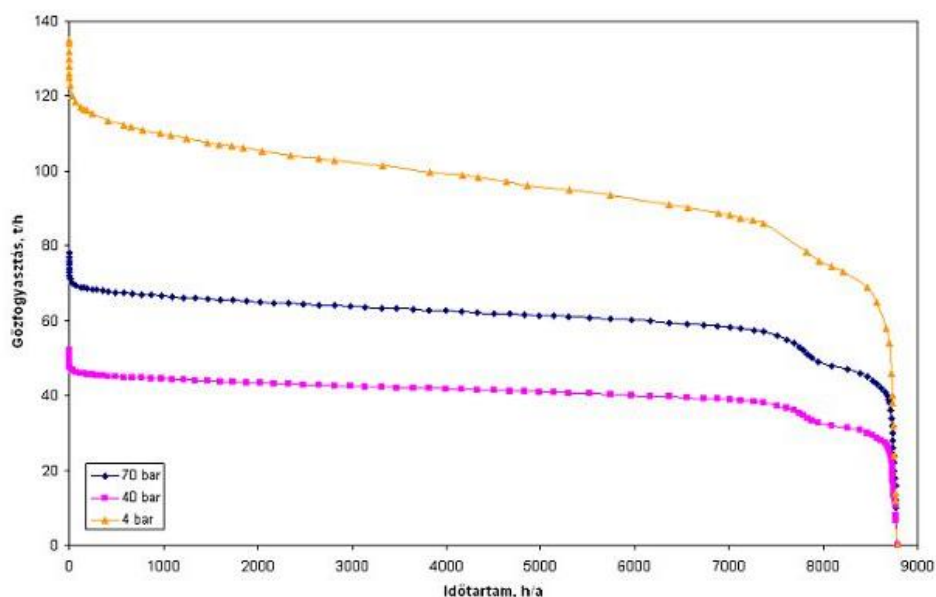
A 3.II-3.IV. ábrákon tényadatokon alapuló tartamdiagramokat mutatunk be. A készítésükhöz rendelkezésre álló adatok felbontása az ábrázolásokon is látható, a 3.V. ábrán folytonos görbe látható, a 3.III. ábrán szakaszokból áll, a 3.IV. ábrán vonallal összekötött pontsorozat látható.



3.II.ábra: A hazai villamosenergia rendszer 2016. évi tartamdiagramja (forrás: MAVIR Zrt., www.mavir.hu)



3.III. ábra: Távhőrendszerbe táplálandó hő éves tartamdiagramja (forrás: Kaposvári Vagyongkezelő és Szolgáltató Zrt.)



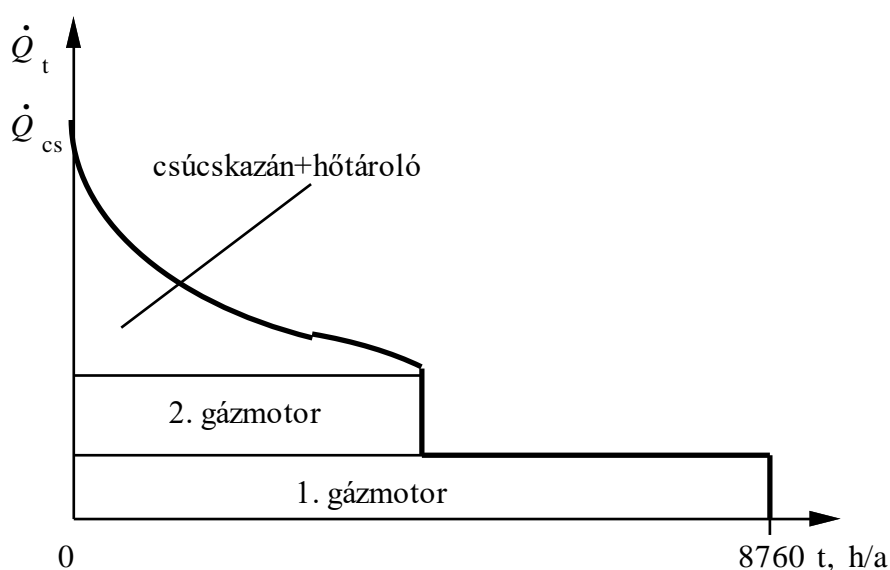
3.IV. ábra: Ipari üzem gőzigényének tartamdiagramja (forrás: BME korábbi szakmérnöki képzés slide-ja)

A három ábra kapcsán már megfogalmazható néhány sajátosság, amihez a következőkben még visszatérünk. A 3.II. ábrán jól látható, hogy az eredő tartamdiagram nem a két összetevő tartamdiagram összegeként adódik ki. A 3.III. ábra tipikus távfűtési, illetve olyan tartamdiagramot mutat, ahol fűtés is használati melegvíz igény együttesen jelentkezik. A 3.IV. ábra ipari hőigényt mutat, ez inkább a 3.II. ábrára hasonlít, mintsem a 3.II. ábrára. Mindháromnál jól megfigyelhető a szigorúan monoton csökkenő trend.

3.3. A tartamdiagram néhány elnagyolt alkalmazása

A továbbiakban a hőigényekre vonatkozó tartamdiagramokkal foglalkozunk elsősorban. Ennek oka egyrészt az, hogy a korszerűsítések, optimalizálások leginkább a hőigények kielégítésére vonatkozóan merülnek fel a mérnöki gyakorlatban, másrészt az, hogy általános érvényű, jellegzetes lefutással rendelkeznek.

A 3.V. ábra egy olyan tartamdiagramot mutat be, amelyben a lefutás leegyszerűsítve, kézi számolással is jól értelmezhető alakban jelenik meg. Jól látszik, hogy mind a fűtési szezon vége, mind az év vége függőleges szakaszokkal lezárt. Ez a szemléletességet szolgálja, de sem a tartamdiagram definíciójával, sem a tényleges lefutás 3.3. ábrán szemléltetett menetével nincs összhangban.



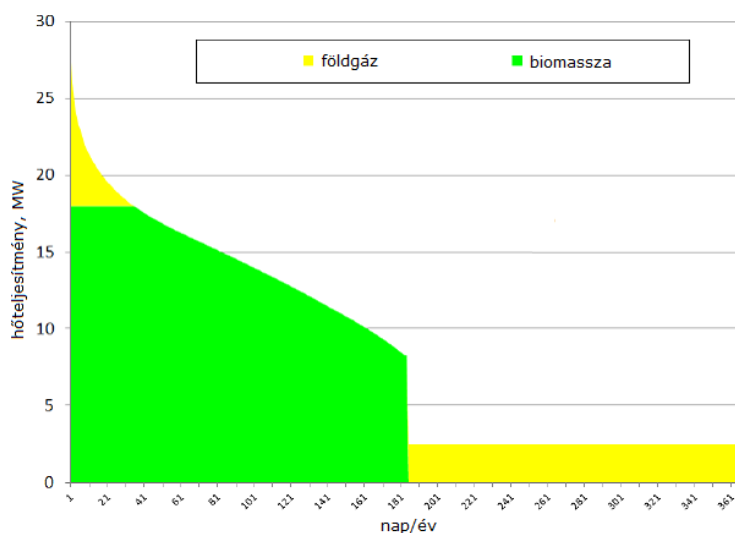
3.5

3.V. ábra: Hőtermelés sematikus tartamdiagramja, a termelés hőforrás szerinti vázlatos felosztásával (forrás: <ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Tananyagok-archivuma/Jegyzetek/hoellatas/HOELL5.doc>)

A 3.V. ábra oktatási célokat szolgál, a főbb jellegzetességek kiemelése a célja. Problémát akkor okozhat az általánosított alkalmazása, ha annak alapján üzemvitelt, gazdaságosságot akarunk számolni. A tartamdiagram jobboldali lezárása akkor okozhat gondot a valóságban, ha azt valóban egyetlen gázmotorral gondoljuk ellátni: a valóságban ez egy párszáz óra/év tartamú lejtős szakasz, ami akár száz fel-le terhelést is takarhat (hajnali HMV igény csökkenések). Hasonló a helyzet az ábrán 2. gázmotorként jelölt hőtermelő működésével, az eliminált ferde szakasz még jelentősebb lehet. A két jelölt terület hőtermelést szimbolizál (a tartamdiagram alatti terület a teljes hőigény vagy hőtermelés, attól függően, hogy mit ábrázol), amennyiben ennek alapján kívánjuk megbecsülni a hőtermelés eloszlását, az ábra esetében a gázmotorok termelése akár jelentősen túl is

becsülhető. Az ábrán ugyanis vélhetően a névleges teljesítmény szerepel, a rajz szerint ettől eltérés csak „lefelé” lehetséges.

A következő példát a 3.VI. ábra mutatja, az ábrán a szemléletességre törekvés jegyében került bemutatásra a biomasszával és a faaprítékkal termelendő hő. Az ábra rendkívül szemléletesen mutatja a termelés megoszlását. A hőtermeléshez kapcsolódóan kialakult egyik sztereotípia, hogy az éves időszakot átfogó tartamdiagram baloldali fele a fűtési időszakot, a jobboldali fele pedig a nyári időszakot, a HMV igényeket mutatja. A terhelési vagy hőigény diagramokon valóban a nyári időszakban jelennek meg az alacsonyabb teljesítmények, a tartamdiagramon azonban elvileg ez irreleváns. A szemléletességre törekvés különösen akkor kerül szembe a tartamdiagram elvi koncepciójával, amikor „trigeneráció”-ról, vagy abszorpciós hűtésről van szó: a szemléletesség érdekében az ábra jobboldalára rajzolnak egy „cápauszonyt” a hűtési célú hőigény feltüntetésére érdekében. Valójában a tartamdiagram bal oldalán kellene ezt is jelölni, kevésbé meredek lefutású görbeként, a növekmény terület jelöli a hűtési célú hőigényt.



3.VI. ábra: Biomassza kazán és földgáz tüzelésű kazán termelés megoszlása (forrás: www.eszk.org)

A 3.VI. ábra kapcsán kiemelendő másik sajátosság a földgáz alapú hőtermelés jelölése. Az elvileg kizár vízszintes és függőleges szakaszok mellett kiemelendő a két „sárga” terület. Az elrendezés azt kommunikálja, hogy a nyári időszakban földgáz bázisú hőtermelés történik, a téli időszakban a csúcsigényeket elégíti ki a gázkazán(ok). Az nyilvánvaló, hogy a földgáz tüzelésű hőtermelés tartamdiagramja az ábrából nem „vehető ki”, míg a biomassza alapú hőtermelés tartamdiagramja hozzávetőlegesen megfigyelhető. Ez is arra hívja fel a figyelmet, hogy a több forrásból előállított hő (vagy villamosenergia) esetében a termelő berendezések tartamdiagramjaiból nem állítható elő additívan a teljes tartamdiagram, és fordítva, a teljes tartamdiagramból általában nem vezethető le egyértelműen a termelő egységek tartamdiagramja.

A biomassza kazánt kiragadva kiemelendő, hogy a baloldali vízszintes szakasz a valóságban szintén lejtős, nem mérés technikai, hanem gyakorlati okokból: kazán hőcserélő elpiszkolódása, tüzelőanyag minőség változása, környezeti körülmények változása miatt általában a maximális teljesítmény csak újkori, újszerű állapotban érhető el. A jobboldali függőleges szakasszal kapcsolatban pedig megemlítendő, hogy az indulási és leállási periódusokban termelt hő gyakran alacsony teljesítményekhez kapcsolódik, valamint előadódhatnak olyan üzemállapotok, amikor az elvileg megengedett minimális terhelés (a példa esetében ez 45% körüli lehet) alá is szükséges lemenni (általában 30%-ig ez nem okoz problémát).

3.4. Javasolt megoldás a szemléletesség és a pontosság javítására

A hőigény (termelő vagy fogyasztói) ábrázolásánál már nem indokolt a túlzott elnagyolás, a rendelkezésre álló grafikus, numerikus módszerek lehetővé teszik a valósághoz közeli ábrázolást. Táblázatkezelő programokkal már 20 ponttal jól (1-2% pontossággal) megadható a tartamdiagram lefutása.

Amennyiben indokolt, célszerű két részre bontani a tartamdiagramot. Mivel a tartamdiagramon ábrázolt időtartam tetszőleges, ezért kettéosztható pl. fűtési időszakokra és fűtési időszakon kívüli időszakokra. Ekkor a 3.VI. ábra esetében jó közelítéssel megkapjuk a termelő berendezések tartamdiagramjait is, viszonylag pontosan, a nyári időszak is pontosan leírható. Különösen előnyös ez a megoldás, ha a fűtési időszakon kívüli időszakban hűtési célú hőtermelés is történik: ekkor grafikusan is jól elkülöníthető a hűtési hőigény.

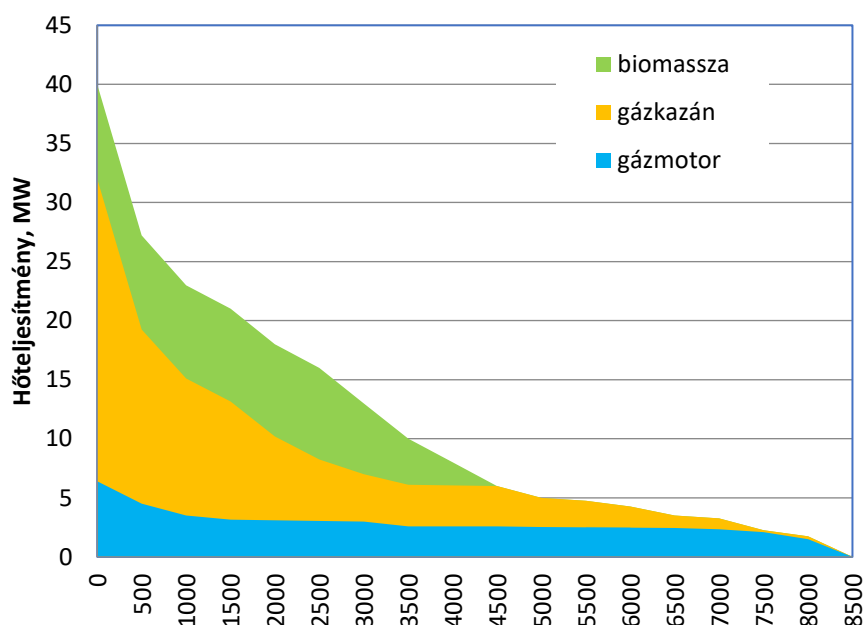
Figyelemmel kell arra lenni, hogy a tartamdiagram alatti terület energiamennyiség, a feltüntetett területek arányainak helyesnek kell lenniük. Ezen túlmenően szinte bármilyen színezés elfogadható, ha a főbb befoglaló méretek helyesek, így a 3.VI. ábra is elfogadható. Mivel azonban vannak berögzült, ezen túlmutató értelmezések (pl. terheléelosztásra, időbeli sorrendiségre stb.) is a gyakorlatban, célszerű ellenőrizni ebből a szempontból is a kapott eredményt: nem sugall-e olyat, ami nincs is rajta a diagramon.

3.5. Biomassza tüzelésű kazán beillesztése a távhőrendszerbe

Az előzőekben bemutatottuk, hogy a tartamdiagram csak igen korlátozottan alkalmazható tervezési, optimalizálási feladatokra, feladata elsősorban a szemléltetés. Igaz, arra is rámutattunk, hogy arra is csak korlátozottan alkalmazható. A következőkben egy példán keresztül mutatjuk meg, hogy hogyan használható tervezési feladatokhoz, de arra is felhívjuk a figyelmet, hogy hol lehetnek a hibái.

A 3.VII. ábrán látható tartamdiagram (szigorúan véve a legfelső vonala tekinthető csak annak) jellemzi egy átlagos, tényszerű év termelő távhő teljesítmény lefutását, az alatta

lévő terület a kiadandó hőmennyiséget. Jelenleg gázmotorok és gázkazánok állítják elő a hőt. Meghatározandó a beépíteni célszerű biomassza kazán hőteljesítménye úgy, hogy az optimális legyen a fejlesztési projekt szempontjából és a kapcsolatosan termelt hő éves mennyisége ne változzon.



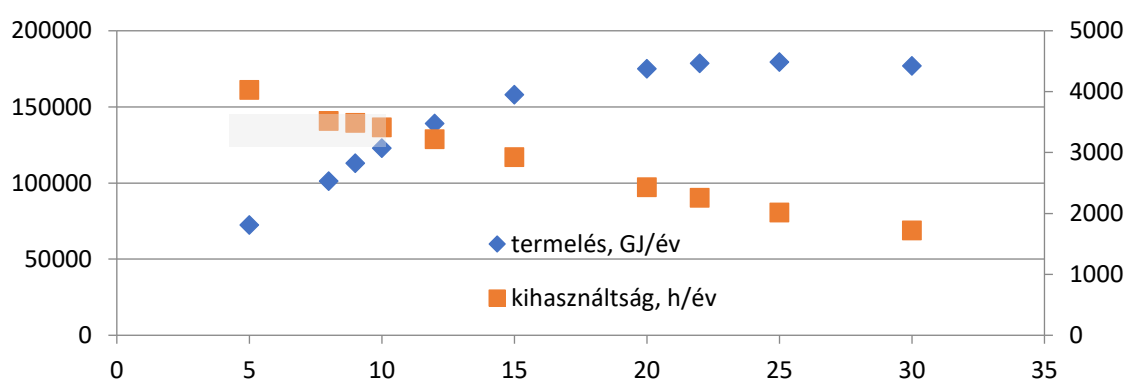
3.VII. ábra: Biomassza kazán illesztése távhőrendszerbe

A feladat megoldása szempontjából „adott” a gázmotorok maximális teljesítménye és éves termelése, ezzel egy közelítőleg tartamdiagram-szerű terület lefedhető az ábra alsó részén. A gázkazánok többlet kapacitása révén a csúcsigényt is képesek kielégíteni, bázisévi hőtermelésüket a biomassza kazán csökkenti. A gázkazánok folyamatosan meleg tartalékot adnak, azaz valamennyi hőt akkor is termelnek, ha egyébként nem lenne rájuk szükség. Feltéve, hogy a háromféle hőforrás a csúcsigények idején együtt üzemel, a 3.VII. ábra baloldali, függőleges tengely menti része adott. Feltéve, hogy a nyári időszakban a biomassza kazán csak esetlegesen, szükség szerint üzemel, a diagram jobb oldali vége is közelítőleg adott. A további lépések azonban már kissé spekulatívak.

A biomassza kazán lehető legjobb kihasználására törekedve olyan területet határolunk körbe, amelynek magassága a beépített teljesítményről indulva csak kismértékben csökken folyamatosan, amíg a peremfeltételek (gázmotorok prioritása, gázkazánok melegtartalék, ill. menetrendtartó üzeme) azt engedik. A 3.VII. ábrán a görbék menete egyáltalán nem biztos, hogy reális. A bemutatott helyzetet nem is ezek igazolják, hanem az, hogy a tartamdiagram alatti terület az éves hőtermeléssel egyenlő, a gázmotorok termelése a bázisévi, fenntartandóval egyezik meg, a biomassza kazánhoz tartozó termelés az adott időtartamban a lehetőségek szerinti igen jó kihasználást biztosít.

A bemutatott, tartamdiagramon alapuló, számításos és grafikus becslési módszer úgy használható optimalizálásra, hogy különböző biomassza kazán teljesítmények és azonos peremfeltételek mellett elvégezzük a termelési lehetőség meghatározását. Könnyen belátható, hogy kis teljesítményekről indulva a hőtermelési volumen egy ideig nő, majd egy idő után csökkenni kezd. Az elvégzett számítások eredményeit a 3.8. ábra mutatja be. Látható, hogy a termelés egy bizonyos teljesítmény felett nem nő, a kihasználtság pedig fokozatosan csökken. A csökkenő kihasználtság kedvezőtlen üzemvitelt és rossz gazdaságosságot jelent, a nagyobb beépített teljesítmény csak részlegesen használható ki.

Amennyiben az a peremfeltétel is megadásra került volna, hogy csak a fűtési időszakban (pl. 4400 h/év időtartamban üzemel a biomassza kazán), akkor a tartamdiagramot csak erre az időtartamra vettük volna fel. Ez egyben pontosabbá is tette volna a számolást.



3.VIII.ábra: Biomassza kazán optimalizálás (baloldali tengelyen GJ/év, jobboldalin h/év, a vízszintes tengelyen a hőteljesítmény MW-ban)

A fentiekben bemutattunk egy olyan számolást, amely viszonylag pontosan, reálisan behatárolja az új hőtermelő egység helyét a rendszerben, a számítások és a grafikus interpretáció együttesen jól illusztrálja a gondolatmenetet és az eredményt is jobban értelmezhetővé teszi.

Nem javasoljuk azonban a tartamdiagram alapján való optimalizálást! Helyette a terhelési diagramok használata célszerű, amelyen az év minden időpontjában, időrendi sorrendben, ahogyan az a valóságban is történik, reprezentálhatóak a teljesítmények, a teherelosztás feltételei stb.

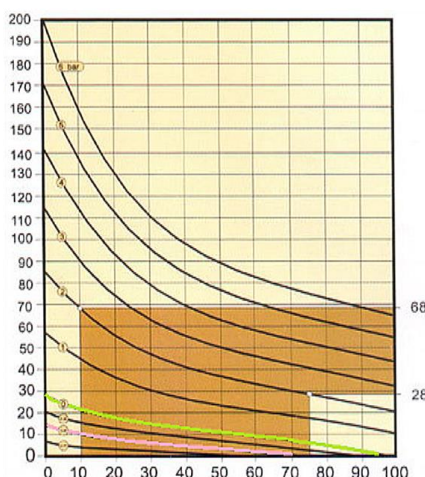
Ezek a diagramok azonban nem állnak rendelkezésre, helyettük egyszerűbb a kevesebb információt tartalmazó tartamdiagramok alkalmazása. Ezekkel ugyanis éves összesített mennyiségek és bizonyos műszaki adatok, peremfeltételek segítségével viszonylag jó becslés adható.

4. Vákuumos gáztalanítás - Orbán Tibor, Tábori József

A folyamatos, magas minőségű vízellátás a távhőszolgáltatásban rendkívül fontos feladat. A kazánok, gőzfejlesztők, távvezetékek, hőcserélők a távhőszolgáltatás kiemelten fontos egységei. Ezen berendezések hatékony és tartós működtetése kulcskérdés, amelynek biztosításához elengedhetetlenül szükséges a megfelelő minőségű tápvíz szolgáltatása.

A nyersvízből el kell távolítani a szuszpendált lebegő anyagokat, a hőbomlásra hajlamos sókat, **az oldott gázokat**, és esetenként különböző vegyszerek hozzáadása segíti megelőzni a lerakódásokat, a korróziót és a mikrobiológiai problémákat.

A víz és a vízben oldott gázok egyensúlyának leírására a *Henry-Dalton törvény* szolgál. A törvény értelmében kimondhatjuk, hogy meghatározott idő után a víz és a vízben oldott gázok egyensúlyba kerülnek, azaz a nyomás, valamint a hőmérséklet függvényében változik a víz oldott gáztartalma. Amennyiben emeljük adott nyomáson a hőmérsékletet, az oldott gázok fokozatosan kiválnak a vízből, vagy ha adott hőmérsékleten emeljük a nyomást, a gázok beoldódnak a vízbe, amelyet a következő diagram jól szemléltet.



4.1. ábra: Henry-Dalton törvény

Forrás: <http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Kepek/HDTvViz.jpg>

Vízszintes tengely hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], függőleges tengely oldott gáztartalom [l/m^3]

A termikus gáztalanításnál a víznek a hőmérséklettől függő gázoldó képességét használjuk ki, úgy, hogy a légkörinél alig nagyobb nyomáson a víz hőmérsékletét hőközléssel a forráspontig megnöveljük. A forrásponti hőmérsékletre melegített víz már nem képes oldatában tartani a gázt. (A zöld görbe az atmoszférikus termikus gáztalanítás; A rózsaszín görbe a vákuumos termikus gáztalanítás egyensúlyi állapotait reprezentálja.)

4.1. A vizsgálat módszertana és célja

Minden energiaszolgáltatási rendszer részét képező technológia korszerűsítése esetén először el kell végezni a meglévő technológia vizsgálatát, és meg kell határozni azokat a műszaki és gazdasági peremfeltételeket, amelyek mentén, ill., amelyekhez képest a javasolt új ipari folyamat előnyei bizonyíthatóak. Fel kell tehát tárni azokat az üzemi paramétereket, amelyek hatással vannak a működés pénzügyi teljesítésére, költségére és élettartamára. Ennek ismeretében széles körben alkalmazott és elfogadott befektetés elemzési módszerek alkalmazásával kell elvégezni a javasolt projekt gazdaságosságának vizsgálatát.

A továbbiakban az atmoszférikus termikus és vákuumos gáztalanítás modelljeit vesszük vizsgálat alá, úgy, hogy az energiaáram útját végig számolva mindkét esetben feltárjuk a folyamat lényeges anyagáram és energiaáram komponenseit, majd a két technológia összehasonlításából képezzük azt a különbséget, amely a gazdasági számítás éves fedezetét jelenti.

4.2. Jelölésrendszer

A modellek leírásához az alábbi általános jelölésrendszert vezetjük be:

Q_{xxx}	hőenergia	[MJ, GJ, kWh]
\dot{Q}_{xxx}	hőteljesítmény	[kW, KJ/s, GJ/nap, GJ/év]
$E_{villxxx}$	villamos energia	[kWh]
$P_{villxxx}$	villamos teljesítmény	[W, kW, kWh/nap, kWh/év]
\dot{m}_{xxx}	tömegáram	[kg/s, t/h, t/nap, t/év]
h_{xxx}	víz/gőz entalpia	[KJ/kg]

Az alsóindexben (xxx) a technológiai azonosító, ill. a hőmérséklet került feltüntetésre.

Technológiai azonosítók:

tv	tápvíz
p	pipagőz/víz
lúg	leiszapolás és lelúgozás
pót	pótvíz
híg	hígítóvíz

tü	tüzelőanyag
elő	előmelegítő
fg	füstgáz
s	sugárzási/konvektív
üz	üzemi
el	elégetlen
GTT	gáztalanító tápvíz tartály
v	veszteségek

4.2. A vizsgált hőtermelés rövid leírása

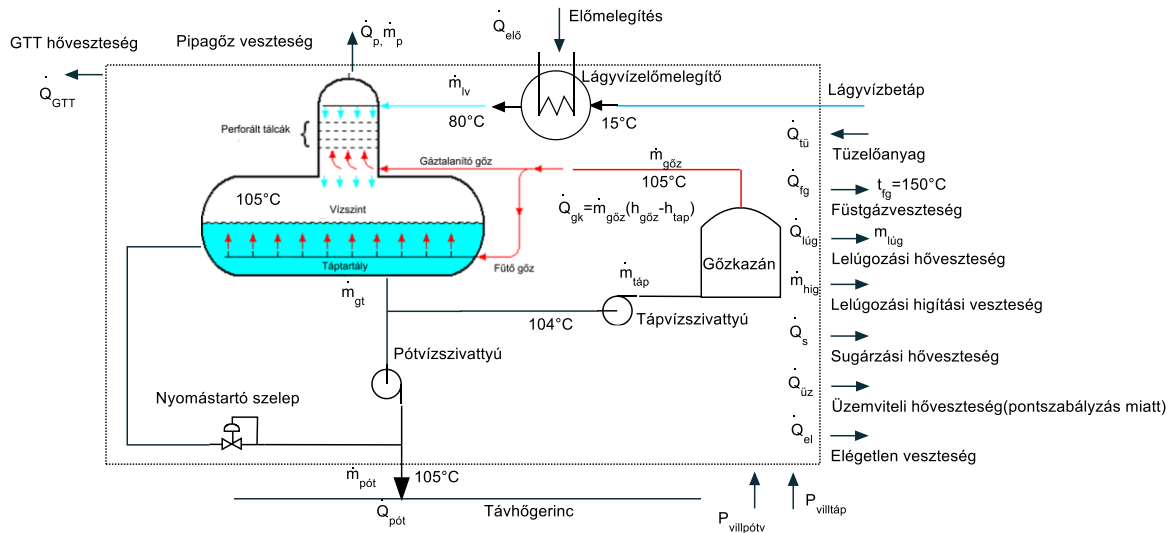
A budapesti távhőrendszer több, nagy kiterjedésű körzetből áll. A körzetekben több fűtőmű is üzemel, amelyek alapvetően a hőenergia szolgáltatásáért felelősek. Ugyanakkor ezekben a fűtőművekben végzik a rendszer nyomástartását is, amelynek a része a megfelelő mennyiségű és minőségű tápvíz biztosítása. A fűtőművek mellett, de azokkal szoros kooperációban gázmotoros fűtőerőművek is üzemelnek, melyek jellemzően a fűtőművek belépőgerincét elvételes rendszerben előmelegítik névlegesen 80-90 °C-os fűtővizet szolgáltatva. A távhő szempontjából a gázmotoros fűtőerőművek egész évben alaphőforrásként szolgáltatják a hőenergiát. A kazánok a fennmaradó hőigényt termelik meg.

4.3. Atmoszférikus termikus gáztalanítás

A szükséges pótvíz előállítása úgy történik, hogy a nyersvíz ioncserélőn történő kezelését követően termikus gáztalanításra kerül egy gáztalanító táptartály (GTT) alkalmazásával az alábbi hősemának megfelelő kapcsolásban. A gáztalanításhoz szükséges gőz előállítására gőzkazánt alkalmaznak, mert a távhőrendszer felfűtését végző gázmotorok, ill. nyomottvizes forróvízkazánok nem, vagy csak az év kis hányadában tudnák a megfelelő hőmérséklet szintet biztosítani a táptartály fűtéséhez. Így olyan önálló gőzkazánt használnak erre a célra, amely 7 m magas állványcsővel védett és 105 °C telített gőz előállítására alkalmas,

- névleges hőteljesítménye: 1 000 kW
- légellátási tényezője: 1,2
- a környezeti hőmérséklet és a nyersvíz-hőmérséklet: 15 °C

Tekintsük az alábbi rendszermodellt, amely a korszerűsítendő energiaszolgáltatási rendszer része:



4.II. ábra: Az atmoszférikus termikus gáztalanítás rendszermodellje

4.3.1. Mérlegegyenletek

A szaggatott vonalat, mint rendszerhatárt értelmezve az alábbi mérlegegyenleteket írhatjuk fel.

Tömegáramok: $\dot{m}_{tv} - \dot{m}_p - \dot{m}_{lúg} - \dot{m}_{pót} = 0$

További hígítóvíz-szükséglet keletkezik a rendszerhatáron kívül, mert a forró kazánlúgot hígítással vissza kell hűteni. A csatornába csak 40°C alatt lehet a vizet visszaengedni, valamint a víz PH-ja is így válik elfogadhatóvá (lúghűtő nem áll rendelkezésre).

A hígítóvíz tömegárama [kg/s]: $\dot{m}_{hig} = \frac{105-40}{40-15} \cdot \dot{m}_{lúg} = 2,6 \cdot \dot{m}_{lúg}$

ahol, $\dot{m}_{lúg}$ leiszapolás és lelúgozás tömegárama [kg/s]

Energia:

$$\dot{Q}_{tü} + \dot{Q}_{elő} + P_{villpót} + P_{villtáp} - \dot{Q}_{fg} - \dot{Q}_{lúg} - \dot{Q}_s - \dot{Q}_{üz} - \dot{Q}_{el} - \dot{Q}_{GTT} - \dot{Q}_{pót} - \dot{Q}_p = 0$$

A tápvízszivattyú szakaszosan működik, a pótvízszivattyú fordulatszám-szabályzós.

4.3.2. Összetevők jelentése

Gőzkazánban felszabadult tüzelőanyagból származó hő [kW]:

$$\dot{Q}_{tü} = \frac{\dot{B} \cdot H}{3,6}$$

ahol, \dot{B} gőzkazán névleges tüzelőanyag fogyasztása [Nm³/h]

H a földgáz átlagos fűtőértéke [MJ/Nm³] (a tüzelőanyag összetétele alapján számítható)

A lágyvízelőmelegítővel átadott hő [kW]:

A lágyítóból érkező lágyvíz egy, a gázmotor, ill. a forróvízkazánok erre alkalmas vezetékeinek megcsapolásáról fűtött előmelegítő hőcserélőbe kerül, és itt névlegesen 80 °C-ra melegszik.

$$\dot{Q}_{el\ddot{o}} = \dot{m}_{lv}(h_{80v} - h_{15v})$$

ahol, \dot{m}_{lv} lágyvíz tömegárama [kg/s]

h_{80v} 80°C-os víz entalpiája [kJ/kg]

h_{15v} 15°C-os víz entalpiája [kJ/kg]

A tápvízszivattyú(k) villamos teljesítménye [kW]:

$$P = \frac{\frac{\dot{m}_{t\ddot{a}p}}{\rho_{v\ddot{z}104}} \Delta p_{t\ddot{a}psz}}{\eta_{sz}}$$

ahol, $\dot{m}_{t\ddot{a}p}$ tápvíz tömegárama [kg/s]

$\rho_{v\ddot{z}104}$ 104 °C-os víz sűrűsége [kg/m³] (958,4 kg/m³)

$\Delta p_{t\ddot{a}psz}$ a szükséges nyomáskülönbség [Pa] (1x10⁵ Pa)

η_{sz} a szivattyúzás átlagos hatásfoka [-] (40%)

A pótvízszivattyú(k) villamos teljesítménye [kW]:

A pótvízszivattyú teljesítményét felsőpontos nyomástartás révén az alábbi képlettel közelíthetjük:

$$P = \frac{\frac{\dot{m}_{p\ddot{o}t}}{\rho_{v\ddot{z}104}} \Delta p_{p\ddot{o}tsz}}{\eta_{sz}}$$

ahol, $\dot{m}_{p\ddot{o}t}$ pótvíz tömegárama [kg/s]

$\rho_{v\ddot{z}104}$ 104 °C-os víz sűrűsége [kg/m³] (958,4 kg/m³)

$\Delta p_{p\ddot{o}tsz}$ a szükséges nyomáskülönbség a felsőpont tartásához [Pa](12x10⁵ Pa)

η_{sz} a szivattyúzás átlagos hatásfoka [-] (40%)

A gőzkazán hőveszteségei [kW]: $\dot{Q}_v = \dot{Q}_{lúg} + \dot{Q}_s + \dot{Q}_{el} + \dot{Q}_{üz} + \dot{Q}_{fg}$

Leiszapolás és lelúgozás tömegárama [kg/s]:

$$\dot{m}_{lúg} = \frac{S \cdot \dot{m}_{gőz}}{K - S}$$

ahol, S tápvíz vezetőképessége [$\mu\text{S}/\text{cm}$] (esetünkben $440 \mu\text{S}/\text{cm}$)

K a gőzkazánban megengedhető maximális lúgkoncentráció vezetőképessége [$\mu\text{S}/\text{cm}$] ($2300 \mu\text{S}/\text{cm}$ -re beállítva)

$\dot{m}_{gőz}$ gőzkazán gőztermelése [kg/s]

Leiszapolás és lelúgozás hővesztesége [kW]:

$$\dot{Q}_{lúg} = \dot{m}_{lúg} (h_{105\text{víz}} - h_{15\text{víz}})$$

ahol, $h_{105\text{víz}}$ 105°C -os forróvíz entalpiája [kJ/kg]

$h_{15\text{víz}}$ 15°C -os víz entalpiája [kJ/kg]

Gőzkazán sugárzási hővesztesége [kW]: $\dot{Q}_s = 0,005 \cdot \dot{Q}_{tű}$

A gőzkazán sugárzási veszteségét 0,5%-ra vettük fel.

Gőzkazán tüzelési (elégetlen) vesztesége [kW]:

A füstgázban nem marad éghető összetevő (pl. CO) $\Rightarrow \dot{Q}_{el} = 0 \text{ kW}$

Gőzkazán üzemi vesztesége [kW]:

A gőzkazán hárompont szabályozású égővel rendelkezik. Minél kevesebb a rendszer gőzfogyasztása, a kazán annál többször kénytelen az 1,05 bar túlnyomásnál lekapcsolni. A kazán nem rendelkezik füstgázoldali csappantyúval, és így az üzemszünetben a tűztér hűti a vízteret. A kazán begyújtásakor végrehajtásra kerülő átszellőztetés is hűti a kazánt.

$$\dot{Q}_{üz} = 0,03 \cdot \dot{Q}_{tű}$$

A gőzkazán üzemi veszteségét 3%-ra becsültük.

Füstgázveszteség [kW]:

$$\dot{Q}_{fg} = \dot{m}_{fg} \cdot c_{pfg} \cdot (t_{fg} - t_{15})$$

ahol, \dot{m}_{fg} 150°C -os füstgáz tömegárama [kg/s]

c_{pfg} a füstgáz állandó nyomáson mért közepes fajhője [kJ/kgK]

t_{fg} a tüzelőberendezést elhagyó füstgáz hőmérséklete (150 °C)

t_{15} a környezeti hőmérséklet (15 °C)

A keletkező füstgáz-tömegáram számításának eredménye:

1 000 kW névleges gőzkazán-teljesítmény esetén (Légellátási tényező=1,2)

(A kapott tényezőket pirossal jelöltük)

Budapesti körvezetékben a földgáz komponensei:

A tüzelőanyag összetevői:				
Metán	CH ₄	0,9650	[m ³ /m ³]	
Etán	C ₂ H ₆	0,0100	[m ³ /m ³]	
Propán	C ₃ H ₈	0,0030	[m ³ /m ³]	
Bután	C ₄ H ₁₀	0,0010	[m ³ /m ³]	
Széndioxid	CO ₂	0,0100	[m ³ /m ³]	
Nitrogén	N ₂	0,0110	[m ³ /m ³]	
Összesen		1,0000	[m ³ /m ³]	

A választott tüzelőanyag számított adatai:

Fűtőérték	H _a	35741	[kJ/Nm ³]
Égéshő	H _f	39635	[kJ/Nm ³]
Normál sűrűség	ρ_{norm}	0,7476	[kg/m ³]
Relatív sűrűség	ρ_{rel}	0,5782	[-]
Elméleti levegőszükséglet	V _{lev}	9,4595	[m ³ /m ³]
Elméleti ét. mennyiség	V _{ét}	8,4892	[m ³ /m ³]
Min. O ₂ szükséglet		1,9864	[m ³ /m ³]
Max. CO ₂ koncentráció		0,1187	[m ³ /m ³]
Tüzelőanyag fogyasztás		0,0328	[m ³ /s]
Tüzelőanyag fogyasztás		117,9	[m ³ /h]

Égéstermék adatai:

Szén-dioxid	CO ₂	0,0816	[m ³ /m ³]
Nitrogén	N ₂	0,7178	[m ³ /m ³]
Oxigén	O ₂	0,0321	[m ³ /m ³]
Argon	Ar	0,0085	[m ³ /m ³]
Víz	H ₂ O	0,1600	[m ³ /m ³]
Száraz ét. mennyiség	V _{sz}	10,3811	[m ³ /m ³]
Nedves ét. mennyiség	V _n	12,3581	[m ³ /m ³]
Normál sűrűség	ρ_{fg}	1,2485	kg/m ³
Térfogatáram	\dot{V}_{fg}	0,4048	m ³ /s
Tömegáram	\dot{m}_{fg}	0,5054	kg/s
Füstgáz közepes fajhője	c_{pfg}	1,1705	kJ/kgK
Harmatponti hőmérséklet	t _h	57	°C
Füstgázvesztesség	\dot{Q}_{fg}	85,36	[kW]

A gőzkazán hasznos hőteljesítménye [kW]:

$$\dot{Q}_{gk} = \dot{m}_{g\ddot{o}z}(h_{105g\ddot{o}z} - h_{104v\ddot{i}z})$$

$$\dot{Q}_{t\ddot{u}} = \dot{Q}_{gk} + \dot{Q}_v$$

$$\dot{m}_{g\ddot{o}z} + \dot{m}_{l\ddot{u}g} = \dot{m}_{t\ddot{a}p}$$

ahol, $h_{105g\ddot{o}z}$ 105°C-os telített gőz entalpiája [kJ/kg],

$h_{104v\ddot{i}z}$ 104°C-os víz entalpiája [kJ/kg]

egyenletekből már minden ismeretlen számítható. A számítás természetesen megadta a gőzkazán hatásfokát is.

$$\eta_{gk} = \frac{\dot{Q}_{t\ddot{u}} - \dot{Q}_v}{\dot{Q}_{t\ddot{u}}} \cong \frac{\dot{Q}_{gk}}{\dot{Q}_{t\ddot{u}}}$$

Összefoglalva:

Gőzkazán			
Tüzelőanyaggal bevitt teljesítmény	$\dot{Q}_{t\ddot{u}}$	1162,8	[kW]
Füstgázveszteség	\dot{Q}_{fg}	85,36	[kW]
Instacioner veszteség[kapcsolgat a kazán)	$\dot{Q}_{\ddot{u}z}$	34,88	[kW]
Sugárzási veszteség	\dot{Q}_s	5,81	[kW]
Elégetlen veszteség	\dot{Q}_{el}	0,00	[kW]
Lelúgozási veszteség	$\dot{Q}_{l\ddot{u}g}$	36,71	[kW]
Összes füstgáz veszteség:	\dot{Q}_v	162,77	[kW]
Kazánhatásfok	η_{gk}	86,00%	[%]
Hasznos teljesítmény	\dot{Q}_{gk}	1000,00	[kW]
Gőztermelés	$\dot{m}_{g\ddot{o}z}$	0,43	[kg/s]
Tápvíz tömegárama	$\dot{m}_{t\ddot{a}p}$	0,53	[kg/s]

4.3.3. A gáztalanító

A gáztalanító termikus mérlege [kW]:

$$\dot{Q}_{t\ddot{u}} + \dot{Q}_{g\ddot{o}z} - \dot{Q}_p - \dot{Q}_{GTT} - \dot{Q}_{gt} = 0$$

$$\dot{m}_{tv} \cdot h_{80v\ddot{i}z} + \dot{m}_{g\ddot{o}z} \cdot h_{105g\ddot{o}z} - \dot{m}_p \cdot h_{105g\ddot{o}z} - \dot{m}_{gt} \cdot (h_{105v\ddot{i}z} - h_{104v\ddot{i}z}) - \dot{m}_{gt} \cdot h_{104v\ddot{i}z} = 0$$

Valamint anyagmérlege:

$$\dot{m}_{lv} + \dot{m}_{g\ddot{o}z} - \dot{m}_p - \dot{m}_{gt} = 0$$

(a nyomástartó ágat a GTT részének tekintjük)

Pipagőz veszteség [kg/s]:

$$\dot{m}_p = 0,07 \cdot \dot{m}_{g\ddot{o}z}$$

$$\dot{m}_p = 0,07 \cdot 0,44 = 0,03$$

A pipagőz veszteségét 7%-ra becsültük.

Gáztalanító egyéb vesztesége [kW]:

Feltételeztük, hogy a gáztalanítóban lévő víz a nyomástartás visszavezetés-keringtetés és a gáztalanító táptartály konvektív és sugárzásos hőátadása miatt 1 °C-ot hűl.

$$\dot{Q}_{GTT} = \dot{m}_{gt}(h_{105v\ddot{u}z} - h_{104v\ddot{u}z})$$

ahol, \dot{m}_{gt} gáztalanított víz tömegárama [kg/s]

$$\dot{m}_{gt} = \dot{m}_{lv} + \dot{m}_{g\ddot{o}z} - \dot{m}_p = 0$$

A szükséges lágyvíz mennyiség:

$$\dot{m}_{lv} = \frac{\dot{m}_{g\ddot{o}z} 0,93(h_{105g\ddot{o}z} - h_{105v\ddot{u}z})}{(h_{105v\ddot{u}z} - h_{80v\ddot{u}z})} = 19,82 \cdot \dot{m}_{g\ddot{o}z}$$

Pipagőz veszteség a környezethez képest [kW]:

$$\dot{Q}_p = \dot{m}_p(h_{105g\ddot{o}z} - h_{15v\ddot{u}z})$$

$$\dot{Q}_p = 0,03(2683,4 - 63,1) = 78,1$$

A számítás eredménye:

Hígítási veszteség	$\dot{m}_{h\ddot{i}g}$	0,27	kg/s
--------------------	------------------------	------	------

Előmelegítő	$\dot{Q}_{el\ddot{o}}$	2295,95	kW
Lágyvíz mennyiség	\dot{m}_{lv}	8,44	kg/s

Gáztalanító			
Gáztalanító egyéb vesztesége	\dot{Q}_{GTT}	37,33	kW
Pipagőz veszteség	\dot{Q}_p	78,10	kW
Pipagőz veszteség	\dot{m}_p	0,03	kg/s
Gáztalanított víz	\dot{m}_{gt}	8,84	kg/s
Pótvíz tömegáram	$\dot{m}_{p\ddot{o}t}$	8,31	kg/s

Gáztalanító veszteségei	$\dot{Q}_{gtveszt}$	115,43	kW
Tápszivattyú	$P_{villtáp}$	166,06	W
Pótvízszivattyú (csúcsfogyasztás)	$P_{villpót}$	23 853,75	W
Összes hővesztés	$\dot{Q}_{öveszt}$	304,88	kW
Összes vízvesztés	$\dot{m}_{öveszt}$	0,39	kg/s

A rendszer napi tényleges energiafogyasztásait két tényezőből állítjuk össze:

1. A napi pótvízszükséglethez szükséges bevitt energia mennyisége (fogyasztással arányos) [GJ/nap] ill. [kWh/nap]
2. A rendszer működéséhez, fenntartásához szükséges állandó veszteségek pótlására bevitt energia [GJ/nap] ill. [kWh/nap]

E két fogyasztásból képzett kihasználtsági tényezőkkel a napi felhasználások számíthatók.

Eredmények:

Összes bevitt teljesítmény	$\dot{Q}_{\text{öveszt}} = \dot{Q}_{\text{elő}} + \dot{Q}_{\text{tű}} + P_{\text{villtáp}} + P_{\text{villpót}}$	3483	[kW]
Gáztalanítás termikus hatásfoka	$1 - \dot{Q}_{\text{öveszt}} / \dot{Q}_{\text{összes}}$	92%	
Napi átlagos pót vízfogyasztás (üzemi adat)	$\dot{m}_{\text{pótnapi}}$	30 000	[kg/nap]
Kihasználtsági tényező	$k = \frac{\dot{m}_{\text{pótnapi}}}{\dot{m}_{\text{pót}}}$ $k = \frac{\dot{m}_{\text{pótnapi}}}{1000 \cdot 24}$	0,04	
GK napi hasznos kihasználtsága/nap	$\tau_h = k \cdot 24 \cdot 3600$	3609	[sec/nap]
GK napi pót vízfogyasztással arányos gáz fogyasztása	$Q_{\text{tűnapi}} = \tau_h \cdot \dot{Q}_{\text{tű}}$	4,196	[GJ/nap]
Napi előmelegítési hő	$Q_{\text{előnap}} = \tau_h \cdot \dot{Q}_{\text{elő}}$	8,285	[GJ/nap]
A gáztalanítás fenntartásához szükséges bevitt hő (csak a veszteségek pótlására)	$Q_{\text{fennt}} = \dot{Q}_{\text{gtveszt}} \cdot (24 \cdot 3600 - \tau_h) / \eta_{gk}$	11,1	[GJ/nap]
GK technológia fenntartásáért való működése/nap	$\tau_h = \dot{Q}_{\text{fennt}} / \dot{Q}_{\text{tű}}$	9 556	[sec]
GK tényleges üzemideje	$\tau_{\text{ü}} = \tau_v + \tau_h$	13 165	[sec]
GK napi gázfogyasztása	$Q_{\text{tűnapi}} = \tau_{\text{ü}} \cdot \dot{Q}_{\text{tű}}$	15,31	[GJ/nap]
Éves tápvízszivattyú villamos fogyasztás	$E = P_{\text{villtáp}} \cdot 24 / 1000 \cdot 365$	1 455	[kWh/év]
Éves pót vízszivattyú villamos fogyasztás	$E = P_{\text{villpót}} \cdot 24 / 1000 \cdot 365 \cdot \frac{\tau_h}{24} / 3600$	8 728	[kWh/év]
Póthőkülönbség 79 °C-ra hűtve évente	$Q_{\text{póthőkül}} = \dot{m}_{\text{pótnapi}} \cdot (h_{104\text{víz}} \cdot h_{79\text{víz}}) \cdot 365 / 10^6$	1 198	[GJ/év]
GK éves fogyasztása	$Q_{gk} = \dot{Q}_{\text{tűnapi}} \cdot 365$	5 588	[GJ/év]
A technológia vízfogyasztása évente	$\dot{m}_{\text{hig}} \cdot \tau_{\text{ü}} + \dot{m}_{\text{lv}} \cdot \tau_h / 1000 \cdot 365$	12 380	[t/év]
Éves villanyfogyasztás	$P_{\text{villtáp}} \cdot \frac{24}{1000} \cdot 365 + P_{\text{villpót}} \cdot \frac{24}{1000} \cdot 365 \cdot \frac{\tau_h}{24} / 3600$	10 182	[kWh/év]

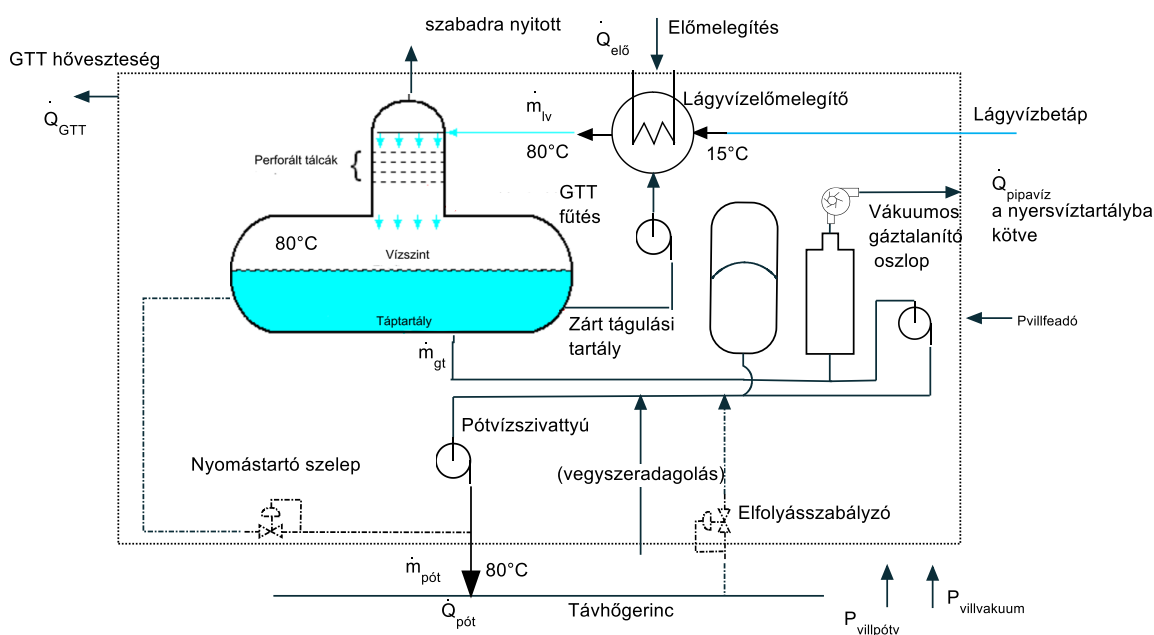
A rendszer maximális kapacitását (30 t/h) a gőzkazán teljesítménye határozza meg. A valóságban ez jóval kevesebb, mert az esetenként hirtelen fellépő elvétel, oly mértékű gőznyelést okoz, hogy azt a gőzkazán nem tudja követni.

4.4. Vákuumos gáztalanítás

Az alábbi 4.III. ábrán a vákuumos gáztalanítás egyszerűsített modelljét láthatjuk.

A lágyítóból érkező lágyvíz kapcsolt hővel, ill. távhővel fűtött lágyvíz előmelegítőn keresztül melegszik 80 °C-ra, amely ezek után a régi GTT tartályba folyik. A lágyvíz mennyisége a GTT vízszintjéről szabályozott. Itt a „betárolt” víz beáll a 80°C és 1 bar nyomáshoz tartozó oldott gáztartalom egyensúlyi állapotára a Henry-Dalton törvénynek megfelelően (3-5 mg/l).

A GTT, mint táptartály működik, hozzáfolyást biztosít a vákuumos gáztalanító készülékhez, amely 0,5 bar abszolút nyomásra csökkenti a benne lévő vízoszlop nyomását, intenzív forrásba hozva a benne tartózkodó vízoszlopot. A vákuumról vízgyűrűs vákuumszivattyú gondoskodik. Az erős kipárolgás eredményeként a tápvíz elveszti gáztartalmát, és egy feladó szivattyú egy zárt membrános táptartályba juttatja a pótvizet. Innen szív a fordulatszám-szabályzós nyomástartó szivattyú, és tartja a beállított rendszernyomást. A rendszer tágulásakor, bizonyos térfogathatárok között, a zárt tágulási tartály képes felfogni az „elfolyásszabályzón” érkező vízfelesleget. A vákuumos gáztalanító kapacitását meghaladó és a zárt tágulási tartály térfogatát meghaladó vízigény elvételek esetén vegyszer hozzáadásával kötjük meg gáztartalmat.



4.III. ábra: A vákuumos gáztalanítás rendszermodellje

4.4.1. Mérlegegyenletek

Hasonlóan az atmoszférikus gáztalanításhoz itt is felírhatjuk a rendszerhatárookra a mérlegegyenleteket.

Tömegáramok:

$$\dot{m}_{tv} - \dot{m}_p - \dot{m}_{pót} = 0$$

összevetve a 4.3. fejezetben található egyenletekkel látható, hogy a lelúgozási veszteség és a hígítási veszteség nem lép fel, nem okoz környezetterhelési problémát.

Energia:

$$\dot{Q}_{elő} + P_{villpót} + P_{villvákuum} + P_{villfeladó} - \dot{Q}_{elszívás} - \dot{Q}_{GTT} - \dot{Q}_{pót} = 0$$

összevetve a 4.3. fejezetben található egyenlettel elmarad a gőzkazánnal kapcsolatos összes fogyasztás és veszteség, többlet fogyasztást a vákuumszivattyú és feladó szivattyú fogyasztása jelent.

4.4.2. Összetevők jelentése

A lágyvízelőmelegítővel átadott hő [kW]:

$$\dot{Q}_{elő} \quad \text{lásd 4.3.2. fejezet}$$

A pótvízszivattú(k) villamos teljesítménye [kW]:

$$P_{villpót} \quad \text{lásd 4.3.2. fejezet}$$

A feladó szivattyú villamos teljesítménye [kW]:

$$\dot{Q}_{villfeladó} = \frac{\dot{m}_{pót} \Delta p_{töltés}}{\rho_{v\acute{e}z104} \eta_{sz}}$$

ahol, $\dot{m}_{pót}$ pótvíz tömegárama [kg/s]

$\rho_{v\acute{e}z104}$ 104 °C-os víz sűrűsége [kg/m³] (958,4 kg/m³)

$\Delta p_{töltés}$ a szükséges nyomáskülönbség a felsőpont tartásához [Pa]
(1x10⁵ Pa)

η_{sz} a szivattyúzás átlagos hatásfoka [-] (40%)

A vákuumszivattyú villamos teljesítménye [kW]:

$$\dot{Q}_{villvákuum} = \frac{p_{szív} \cdot \dot{V}_{szív} \ln \frac{p_{nyom}}{p_{szív}}}{\eta_{sz}}$$

ahol, $p_{szív}$ szívóoldali nyomás [Pa] ($0,5 \times 10^5$ Pa)

$\dot{V}_{szív}$ szívóoldali tömegáram [m^3/s] ($3,4 \text{ m}^3/\text{kg}$)

p_{nyom} nyomóoldali nyomás [Pa] (1×10^5 Pa)

η_{sz} vákuumszivattyú hatásfoka (50%)

Az elszívási veszteség [kW]:

$$\dot{Q}_{elszívás} = \dot{m}_{elszívás} \cdot (h_{80gőz} - h_{15víz})$$

$$\dot{Q}_{elszívás} = 0,02 \cdot (2643,4 - 63,1) = 51,6$$

Gáztalanító egyéb vesztesége [kW]:

Feltételeztük, hogy a gáztalanítóban lévő víz a nyomástartás visszavezetés-keringtetés és a gáztalanító táptartály konvektív és sugárzásos hőátadása miatt 1°C -ot hűl.

$$\dot{Q}_{GTT} = \dot{m}_{gt} \cdot (h_{80víz} - h_{79víz})$$

ahol, \dot{m}_{gt} gáztalanított víz tömegárama [kg/s] alábbi egyenlet alapján

$$\dot{m}_{gt} = \dot{m}_{lv}$$

ahol, $h_{80víz}$ 80°C -os víz entalpiája [kJ/kg]

$h_{79víz}$ 79°C -os víz entalpiája [kJ/kg]

Eredmények:

Lágyvízmennyiség	\dot{m}_{tv} (a választott berendezéstől függő adat)	1,00	kg/s
Előmelegítő	$\dot{Q}_{elő}$	272	kW
Gáztalanító	\dot{Q}_{GTT}	4,20	kW
GTT egyéb vesztesége	$\dot{Q}_{elszívás}$	51,6	kW
Elszívási veszteség	$\dot{m}_{elszívás}$	0,02	kg/s
Leszívásigőz/víz veszteség			

Gáztalanított víz	$\dot{m}_{gt} = \dot{m}_{lv}$	1,00	kg/s
Pótvízmenyiség	$\dot{m}_{pót} = \dot{m}_{lv} - \dot{m}_{elszívás}$	0,98	kg/s
Gáztalanító veszteségei	$\dot{Q}_{GTT} + \dot{Q}_{elszívás}$	56	kW
Vákuumszivattyú teljesítménye	$P_{villvakuum}$	5901	W
Pótvízszivattyú teljesítménye	$P_{villpót}$	2812	W
Feladó szivattyú teljesítménye	$P_{villfeladó}$	256	W
Napi pótvízfogyasztás (tény)		30 000	kg/nap
A gáztalanító átlagos kihasználtsága		0,35	
A gáztalanító átlagos kihasználtsága		30 612	sec/nap
Vákuumszivattyú napi fogyasztása		142	kWh/nap
Pótvízszivattyú napi fogyasztása		24	kWh/nap
Feladó szivattyú napi fogyasztása		2	kWh/nap
Éves villanyfelhasználás		61 213	kWh/év

4.5. A két technológia összehasonlítása, megtérülés számítás

4.5.1. Fajlagos költségek

Víz+csatorna ktg.	512	[Ft/m ³]
Gázár	3 000	[Ft/GJ]
Kapcsolt termelésből származó hőár	2 321	[Ft/GJ]
Villamos energiaár	28	[Ft/kWh]
Gázlekötés	20 511	[Ft/Nm ³ /h/év]
CO2 megtakarítás	4 650	[Ft/t]
Vegyszerár	210	[Ft/t _{víz}]

4.5.2. Összehasonlítás

Tétel:	Dimenzió	Atmoszféri	Vákuu	Egyenleg	$\Delta C = \Delta e \cdot c$
	/év	kus	mos	[Δe]	[Ft/év]
Éves gázfogyasztás	[GJ]	5 588	0	5 588	16 762 674
Éves kapcsolt energia fogyasztás	[GJ]	3 024	3 038	-14	-32 517
villamosenergia fogyasztás	[kWh]	10 182	61 213	-51 030	-1 428 851
CO2	[t]	313	0	313	1 457 598
Gázlekötés	[Nm ³ /h]	117	0	117	2 399 787
Póthőkülönbség 79 °C-ra hűtve	[GJ]	0	1 198	-1 198	-3 593 823
Éves vízfogyasztás+higítóvíz	[t]	12 380	11 173	1 207	617 987

Vegyszerfogyasztás pótvízmenyiség 10%- ban szükséges	[t]	0	1 117	-1 117	-234 643
Karbantartási ktg. (új érték 1%-a)	[Ft]	350 000	510 000	-160 000	-160 000
Összesen (éves fedezet)	[Ft]				15 788 213

4.5.3. Megtérülés számítása

Beruházási érték (Ft) **51 000 000**

Évek száma	0	1	2	3	4	5
Fedezet (eFt)	-51000	15788	15788	15788	15788	15788
Diszkont kamatláb	4,81%	4,81%	4,81%	4,81%	4,81%	4,81%
Diszkont tényező	100%	105%	110%	115%	121%	126%
Eredő diszkontált hozam (eFt/év)	-51000	15064	14372	13713	13083	12483
Eredő halmozott diszkontált hozam (eFt)	-51000	-35936	-21564	-7851	5232	17715
<i>Diszkontált megtérülés (év)</i>	3,6				3,6	
<i>Egyszerű megtérülés (év)</i>	3,2					

4.6. Összefoglalás

Látható, hogy a vákuumos gáztalanításra való átállás 3,6 éves diszkontált megtérülést eredményezett, ami az iparági gyakorlatban igen jónak mondható. Ez a veszteségek csökkenésének és az új berendezés teljesítményének a távhőrendszer névleges pótvízfogyasztásához való illesztésének az eredménye.

Felhasznált irodalom:

Balikó S.: Energiagazdálkodás-I., Az Energiagazgálkodási és Energiamenedzser szakmérnöki szakok jegyzete 20–31. oldal.

Zsebik A.: Energiaveszteség-feltárás, Oktatási segédanyag, 49-52. oldal

Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék Áramlástechnikai Gépek

Vízgyűrűs vákuumszivattyú mérése:

www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGAE01/Vi.pdf

5. Füstgáz hőhasznosító - Orbán Tibor

A füstgáz hőjének hasznosítása az energetikában a gyorsan megtérülő beruházásokhoz tartozik. Erre sok helyen évekkal ezelőtt is felfigyeltek és megvalósították. Ennek ellenére tapasztaljuk, hogy még napjainkban is vannak kihasználatlan lehetőségek.

A hőhasznosítás lehetőségének feltárására biztatásként tesszük közzé e területen szerzett tapasztalatainkat.

5. 1. A kiinduló helyzet

Az egyik fűtőművünkben a négy, egyenként ~10 MW névleges hőteljesítményű nagyvízterű kazánból a füstgáz a víz felmelegítését követően mintegy 120-130 °C hőmérsékleten került a kéménybe. Tekintettel arra, hogy az ilyen hőmérsékletű füstgáz jelentős energiatartalommal rendelkezik, kerestük annak lehetőségét, miként lehetne azt hasznosítani. Megállapítottuk, hogy az elosztóhálózatról a fűtőműbe visszatérő víz 50 °C alatti hőmérséklete még jelentős hő elvonását teszi lehetővé.

5. 2. A javasolt megoldás

A jelenlegi kémény mellé, elszívó ventilátorral és önálló kéménnyel ellátott füstgáz-forróvíz hőcserélő telepítésére tettünk javaslatot (5.1. ábra). A hőcserélő az egyik oldalon a meglévő forróvízkazánok füstgázcsatornájához, a másik oldalon előfűtőként a távhőhálózat visszatérő vezetékéhez illeszkedik. A rendelkezésre álló, ill. a szükséges mennyiségű füstgáz elszívásával és hőjének hasznosításával növeli az elosztóhálózatról visszatérő víz hőmérsékletét. A hőhasznosító rendszert névlegesen 593 kW teljesítményre méreteztük, de bizonyos esetekben 1100 kW hőteljesítmény visszanyerését is lehetővé teszi.



5.1. ábra: A füstgáz hőhasznosító

5. 3. A várható megtakarítás meghatározása

A füstgázból kinyerhető hőt egy kazán névleges teljesítményének figyelembevételével határoztuk meg. 2-3 kazán füstgázhőjének hasznosíthatóságára törekedve határoztuk meg a hőcserélő méretezési teljesítményét, majd 3 000 óra csúskihasználás feltételezésével a kinyerhető hőt.

5.3.1. A füstgáz hőhasznosító teljesítménye

Egy kazán névleges teljesítményen történő üzemeltetéséhez, - hatásfokát 92 %-nak, a földgáz fűtőértékét $H = 34 \text{ MJ/Nm}^3$ -nek feltételezve, - $B = \sim 1\,150 \text{ Nm}^3/\text{h}$ földgáz szükséges. A levegőszükséglet és a füstgáz mennyiségének meghatározásához közelítő képleteket használtunk.

Az elméleti levegőszükséglet:

$$L_0 = 0,26H + 0,25 = 0,26 \cdot 34 + 0,25 = 9,09 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Nm}^3}$$

Az elméleti füstgáz mennyiség:

$$V_0 = 0,28H = 0,28 \cdot 34 = 9,52 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Nm}^3}$$

A légfesleg-tényező értékét $\lambda = 1,2$ -nek feltételeztük.

Ezzel a tényleges fajlagos füstgáz mennyiség:

$$V_{fg} = V_0 + (\lambda - 1)L_0 = 9,52 + (1,2 - 1) \cdot 9,09 = 11,34 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Nm}^3}$$

A füstgáz közepes hőmérsékletét $t_{fg} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$ -nak, közepes fajhőjét $c_{p,fg} = 1,381 \text{ kJ}/(\text{Nm}^3 \text{ K})$ -nek, a környezeti levegő hőmérsékletét $t_k = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ -nak feltételeztük.

A füstgáz által a környezetbe távozó hő a fenti feltételekkel:

$$\dot{Q}_{fg} = B \cdot V_{fg} \cdot c_{p,fg} \cdot (t_{fg} - t_k) = 1150 \cdot 11,34 \cdot 1,381 \cdot (125 - 25) = 1,800.000 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

azaz átszámítva $\sim 500 \text{ kW}$

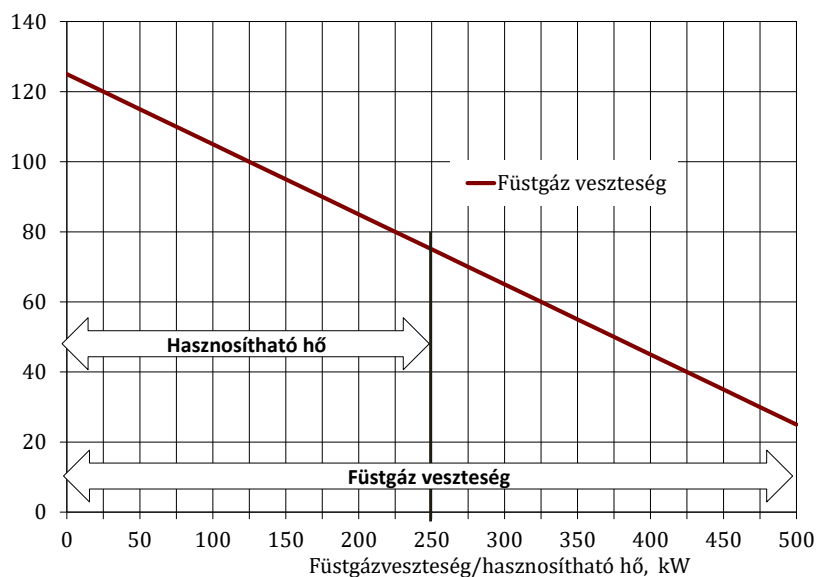
Ez a bevitt hőnek a

$$\frac{\dot{Q}_{fg}}{B \cdot H} = \frac{1,800.000 \cdot 100}{1150 \cdot 34000} = 4,6 \% \approx 5 \% - a.$$

Ez tehát az összes füstgáz veszteség. Kérdés az, mennyire tudjuk az elosztóhálózatról visszatérő vízzel lehűteni a füstgázt, majd a megtakarítás számításához hány kazánal, évente hány óra üzemvitelt vegyünk figyelembe.

A 5.II. ábra a fentebb számolt értékekkel mutatja a füstgáz lehűlését és általa a veszteséget és hasznosítható hőt. Ha azt feltételezzük, hogy a füstgáz éves átlagban közel $80 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra lehűthető az elosztóhálózatról visszatérő vízzel, hőjéből a víz előmelegítésére $\sim 250 \text{ kW}$

hasznosul. 2-3 kazán füstgáz hőjének hasznosíthatóságára tekintettel méreteztük a hőhasznosító hőcserélőt ~600 kW névleges teljesítményre.



5.II. ábra: A füstgáz lehűlésén keresztül a veszteség és hasznosítható hő szemléltetése

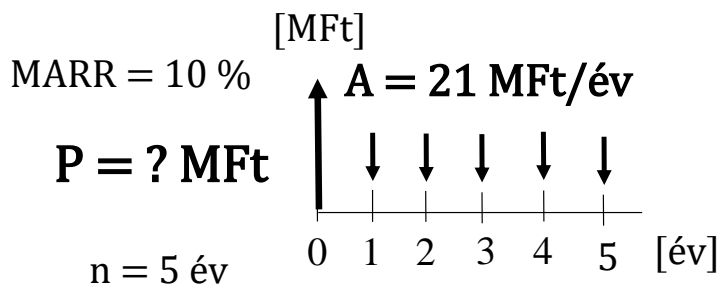
5.3.2. A várható megtakarítás

A várható megtakarítást annak feltételezésével határoztuk meg, hogy a beépítésre kerülő ~600 kW névleges teljesítményű hőhasznosító hőcserélő csúskihasználása 3 000 h/év lesz. Ennek feltételezésével a hasznosítható hő 6 480 GJ/év, ~92 % kazánhatásfokkal számolva ~7 000 GJ/év hőegyenértékű földgáz. 34 MJ/Nm³ fűtőértékkel számolva a várható földgáz megtakarítás ~200 000 Nm³/év.

A várható költségmegtakarítás 3 000 Ft/GJ referencia földgázárral számolva ~21 MFt/év.

5.4. A megengedhető beruházási költség

A füstgáz hőhasznosító telepítésének költségével szemben azt az alapkövetelményt támasztottuk, hogy 5 év alatt 10 % minimális elvárt hozammal térüljön meg (5.III. ábra).



5.III. ábra: A kiinduló adatok szemléltetése

Az éves megtakarítás által keletkező állandó sorozat, **A**, jelenérték tényezője:

$$USPW = ((1+i)^n - 1) / (i(1+i)^n) = ((1+0,1)^5 - 1) / (0,1(1+0,1)^5) = 3,79$$

Az egyenletes ütemezésben jelentkező, azonos pénzösszegek jelen időpontra vonatkozó értéke, azaz a füstgáz hőhasznosító beruházásának az elvárásokat teljesítő megengedhető költsége:

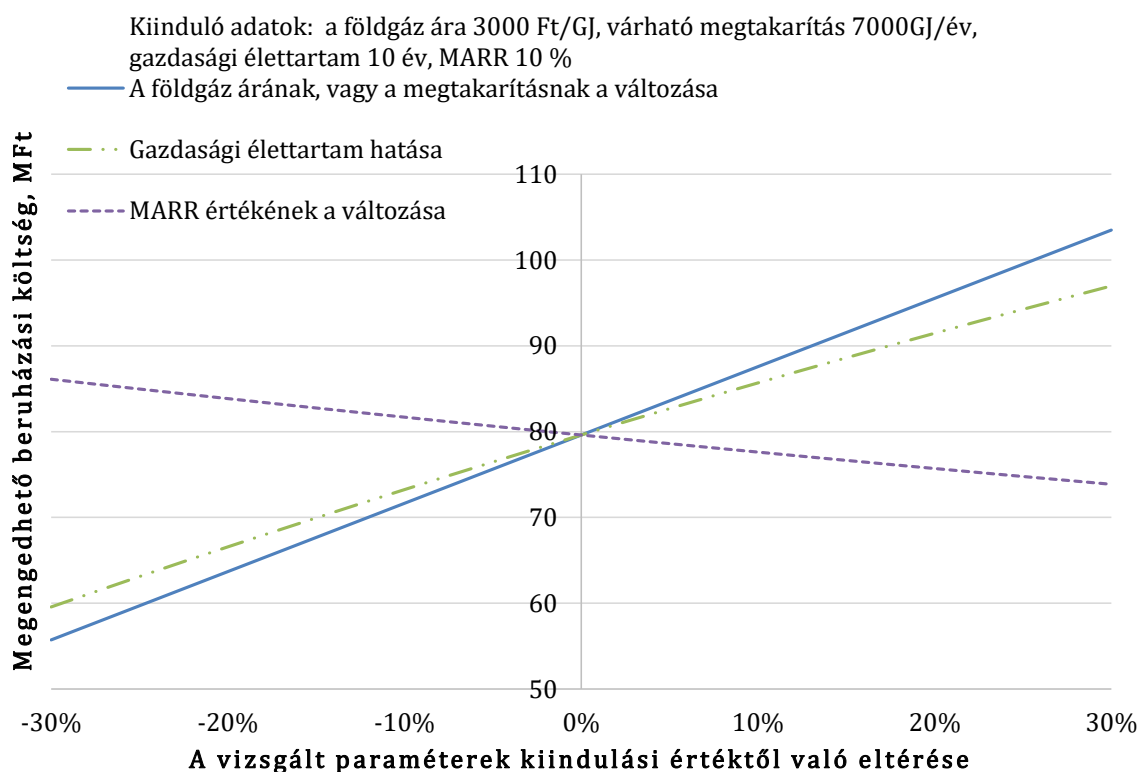
$$P_{5 \text{ év}, 10\%} = A * USPW = 21 * 3,79 \approx 79,61 \text{ MFt}$$

A 5.I. táblázat az alapesettől eltérő elvárásokkal tartalmazza a megengedhető beruházási költséget.

5.I. táblázat: A hőhasznosító megengedhető beruházási költsége különböző elvárások esetén

Gazdasági élettartam, n év	5	5	5	10	10	10
MARR	10%	15%	20%	10%	15%	20%
Megengedhető, MFt	79,6	70,4	62,8	129,0	105,4	88,0

A füstgáz hőhasznosító megengedhető beruházási költségének érzékenységét a meghatározó paraméterek változására a 5.IV. ábra mutatja.

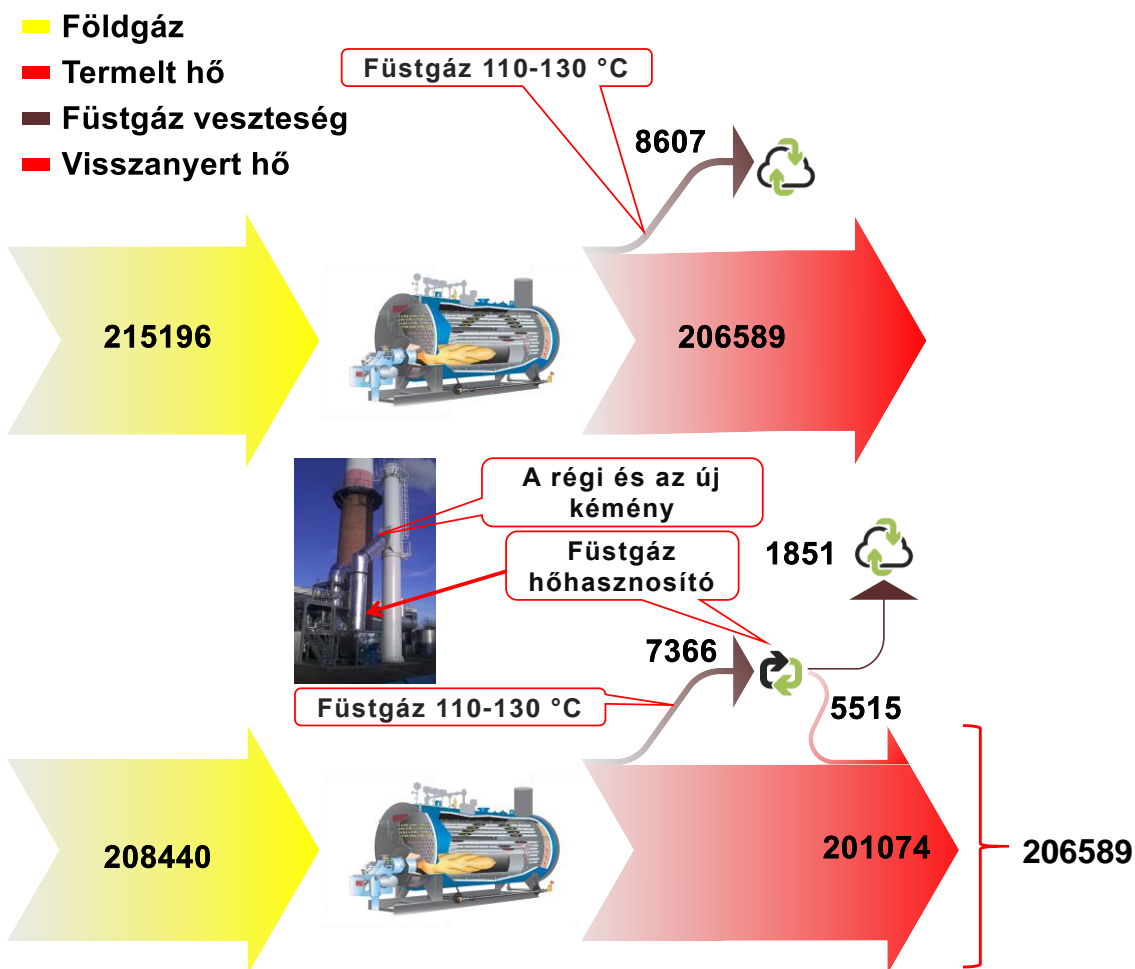


5.IV. ábra: A megengedhető költség érzékenysége a meghatározó paraméterek változására

5.5. Az elmúlt évek tapasztalatai

A füstgáz hőhasznosítót a befektetés szempontjából legkedvezőbb feltételek esetén megengedhető beruházási költségén belül építettük meg. Az éves megtakarítás kismértékben a becsült érték alatt marad, mert a telephelyen a hosszútávú szerződés alapján átvesszük a villamosenergiával kapcsoltan termelt hőt, de ez nem befolyásolja a hőhasznosítás gazdasági hasznát.

A 5.V. ábra egy feltételezett hőhasznosítás nélküli állapotban és a hőhasznosítással mutatja a fűtőműben eltüzelt földgázt és a hasznosításának energiafolyamát. Az adatok 2017. évi adatok GJ/ évben kifejezve.



5.V. ábra: A hőhasznosítás eredménye 2017-ben, GJ/év

6. Olajhűtő hulladék hőjének hasznosítása - dr. Balikó Sándor

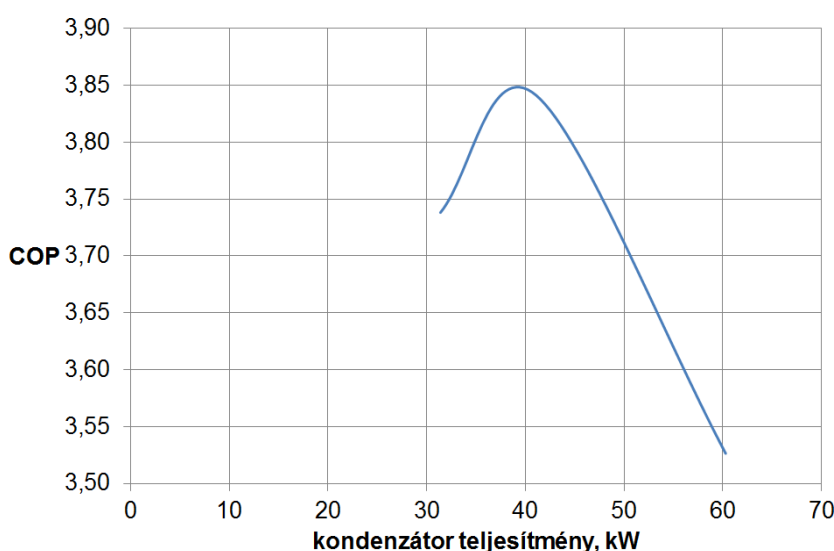
6.1. Jelenlegi állapot

Az egyik ipari üzemünkben a hengersor hűtésére szolgáló olaj visszahűtésére gépi hűtést alkalmaznak, amelynek léghűtési kondenzátora a hűtőgéppel egybeépítve a csarnokban van elhelyezve. A nyári időszakban a hűtőgép kapacitása kevésnek bizonyult, ezért mindenképpen szükségessé vált a hűtési kapacitás növelése.

Az olajat 28 °C-ra kell visszahűteni, a jelenlegi névleges hűtőkapacitás 50 kW. A hengersor egész évben (számításunkban 300 nap/év, ill. 7 200 h/év üzemidőben) üzemel folyamatosan, 3 műszakban.

6.2. Az ötlet és a műszaki megoldás

Javaslatunk szerint egy újabb hűtőgép beépítése helyett egy hőszivattyút kell telepíteni, aminek a hulladék hőjét a használati melegvíz (HMV) termelésben és a fűtésben lehet hasznosítani. A hőszivattyúnak fűtési oldalon a meglévő fűtési és HMV hálózatra kell csatlakozni, ezért az előremenő víz hőmérsékletével el kell érni legalább a 60 °C értéket. Ugyanakkor típus hőszivattyú alkalmazásával az olajat csak víz közvetítő közeggel tudjuk lehűteni, ezért a hűtővizet legalább 25 °C-ra le kell hűteni. Szerencsére találtunk olyan hazai gyártású hőszivattyút, amellyel ez a tartomány megvalósítható, azonban – a nagy hőmérsékletkülönbség miatt – a fűtési tényező (COP) kisebb a szokásosnál: 3,5-3,85 között van (6.I. ábra).



6.I. ábra: Magas hőmérsékletű hőszivattyú fűtési tényezője a terhelés függvényében

A hőszivattyú hőtermelését az egész évben fellépő HMV igény kielégítésére szeretnénk felhasználni. A naponta 3 műszakban jelentkező kb. 1,5 m³ meleg vizet egy 2,5 m³ –es melegvíz tárolóból veszik el. Ha a HMV termelő kapacitását 40-60 kW értékre választjuk,

akkor a tároló feltöltése – a hatásfokot is figyelembe véve – műszakonként 2-3 óra alatt megtörténhet.

A fennmaradó hőtermelő kapacitást fűtési időszakban a fűtési hálózat köti le.

Mivel a hűtésre nyáron is folyamatosan szükség van, ilyenkor a hőszivattyú kondenzátorát ipari vízzel kell hűteni, ami a meglévő hálózathoz biztosítható. (Ahol nincs ilyen lehetőség, ott kisegítő léghűtőt vagy földszondát lehet alkalmazni) A kisegítő hűtésnél nem kell 60 °C-ot biztosítani, az ipari víz 35-50 °C-ra történő melegítésével is biztosítható a megfelelő hűtés. Ekkor a berendezés COP-je lényegesen magasabb, így a kompresszor hajtásához kevesebb villamos energia szükséges. A kiválasztott hőszivattyú adatait a beállított munkapontokban a 6.I. táblázat mutatja. A 44 kW hűtési teljesítmény az év nagy részében elegendő, csak a nyári időszakban kell a meglévő hűtőgépet is bekapcsolni.

6.I.táblázat: A hőszivattyú paraméterei

	Fűtés+HMV	Csak hűtés
Hőszivattyú fűtési teljesítménye, kW	60,3	49,1
Hűtési teljesítmény, kW	44,1	43,8
Villamos teljesítményfelvétel, kW	17,1	5,9
COP	3,53	8,32

6.II. táblázat: A különböző üzemviteli módok becsült időtartamai

Összes várható üzemidő	7 200	h/év
Fűtés+HMV együtt	4 320	h/év
Csak HMV	1 200	h/év
Csak hűtés (ipari víz kond.)	1 680	h/év
Fűtés+HMV	5 520	h/év

A HMV termelés teljes terheléssel történik, de a fűtési időszakban is a hőszivattyú viszi a fűtés alapterhelését, ezért gyakorlatilag végig, mind az 5520 h/év időtartamban a teljes terheléshez tartozó COP=3,53 értékkel számolhatunk. Csupán a fennmaradó 1680 h/év időtartamban számolhatunk a COP=8,32 értékkel.

6.3. Megtakarítások

A beruházással fűtési energiát (földgázt) és villamos energiát takarítunk meg.

A termelt hő:

$$\text{Csak HMV céljából:} \quad 1200 \frac{\text{h}}{\text{év}} \cdot 60,3 \text{ kW} = 72.360 \text{ kWh/év}$$

$$\text{Fűtés+HMV céljából:} \quad 4320 \frac{\text{h}}{\text{év}} \cdot 60,3 \text{ kW} = 260.496 \text{ kWh/év}$$

A jelenlegi fűtési rendszer hatásfoka átlagosan 85%-ra becsülhető, a nyári HMV termelés hatásfoka azonban csak 60% körüli. Ezt figyelembe véve a földgáz megtakarítás a 6.III. táblázatban látható.

6.III. táblázat: A földgáz megtakarítás

Fűtés+HMV	306.466	kWh/szezon
Csak HMV	120.600	kWh/szezon
Összesen:	427.066	kWh/év

Ez **1 537 GJ/év hő**, azaz 45.219 m³/év földgáz-megtakarításnak felel meg, ami 3 000 Ft/GJ referencia árral számolva **4 612 ezer Ft/év** hasznot jelent.

A jelenlegi hűtőgép fogyasztása nincs külön mérve, ezért a névleges hűtési teljesítmény és a teljes üzemóra szám alapján 90.000 kWh/évre becsüljük. Számításunk szerint a hőszivattyú az üzemidő nagy részén teljesen helyettesíteni tudja a hűtőgépet és nyáron is elegendő csökkentett üzemmódban üzemeltetni. Óvatos becsléssel feltételezzük, hogy a hűtőgép a jelenlegi fogyasztásának csak a 35%-át fogja fogyasztani, ezzel villamos energiában 58.500 kWh-t takarítunk meg évente, ami **1 755 ezer Ft/év** további megtakarítást jelent.

Többször üzemeltetési költséget az új hőszivattyú 104.304 kWh/év fogyasztása jelenti 3 129 ezer Ft/év értékkel.

6.IV. táblázat: Összesítve

Földgáz megtakarítás	1 537	GJ/év	4 612	ezer Ft/év
Hűtőgép fogyasztás csökkenése	58.500	kWh/év	1 755	ezer Ft/év
Hőszivattyú vill. fogyasztása	-104.304	kWh/év	-3 129	ezer Ft/év
Összesen			3 238	ezer Ft/év

Az összes megtakarítás primer energiára átszámítva: **1 125 GJ/év**
(A földgáz fajlagos primerenergia-tartalmát $e_g=1$ -nek, a villamos energiáét $e_{vil}=2,5$ -nek véve.)

6.4. Megengedhető beruházási költség és érzékenysége

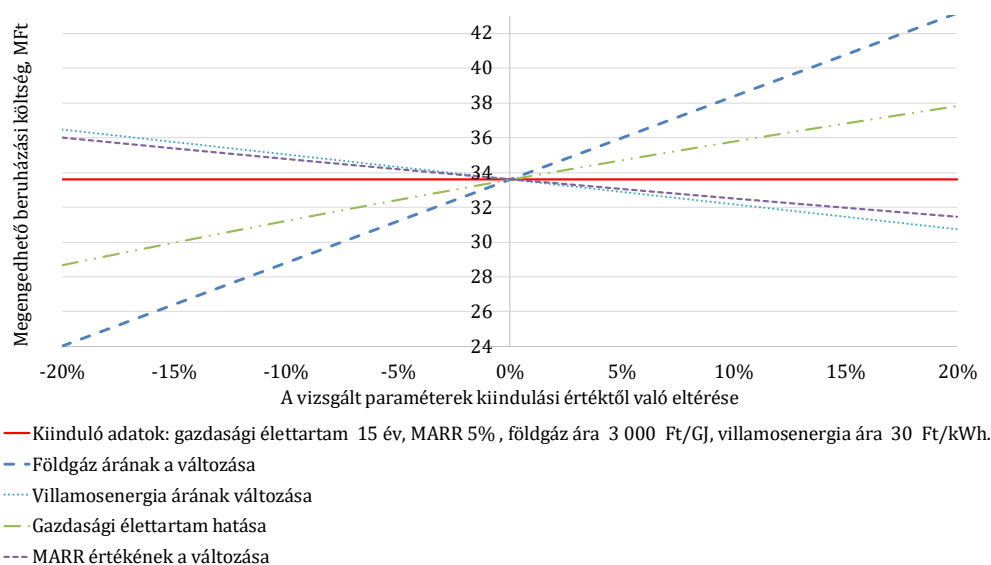
A beépített rendszerelemek gazdasági élettartamát 15 évre, a minimális elvárt hozamot, $MARR=5\%$ -ra feltételezve meghatározzuk, mennyi lehet a korszerűsítés megengedhető beruházási költsége. A feltételezett gazdasági élettartam és a $MARR$ figyelembevételével az állandó sorozat, jelenérték tényezője

$$USPW = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0,05)^{15} - 1}{0,05(1+0,05)^{15}} = 10,38$$

Ezzel a megengedhető beruházási költség:

$$P_{15 \text{ év}, 5\%} = A \cdot USPW = 3,238.000 \cdot 10,38 \approx \mathbf{33,6, -MFt}$$

A megengedhető beruházási költség érzékenységet a földgáz, valamint a villamosenergia árának változására (ezzel megegyezően változik a várható energiamegtakarítás), a gazdasági élettartamra és a $MARR$ változására megvizsgáljuk. Az alaphelyzetnek feltételezett kiinduló adatok a 6.II. ábrán láthatók.



6.II. ábra: A megengedhető beruházási költség érzékenysége a meghatározó paraméterek változására

6.5. Megjegyzés

A beruházással a hűtő kapacitás nő. Nem vizsgáltuk ennek kihatását a termelésre. Ha a technológia lehetővé teszi ezzel a termelés növelését, és ezt a piac is elbírja, a gazdasági haszon ennél lényegesen nagyobb is lehet.

7. Szárítókemencék elszívott levegőjének technológián belüli hőhasznosítása - dr. Balikó Sándor

Egyik külföldi tulajdonban lévő, hazai élelmiszeripari vállalatunk telephelyén három azonos típusú szárítókemence üzemel folyamatos üzemben. Vizsgálatunk folyamán megállapítottuk, hogy a kemencék legnagyobb energiavesztesége a 100 °C körüli hőmérsékleten kidobott nedves levegő, amit már semmilyen célra nem hasznosítanak.

Javaslatunkra az egyik szárítóra egy olyan közvetítőközeges hőhasznosítót telepítettek, amellyel a kemencébe bevitt levegőt melegítik elő.

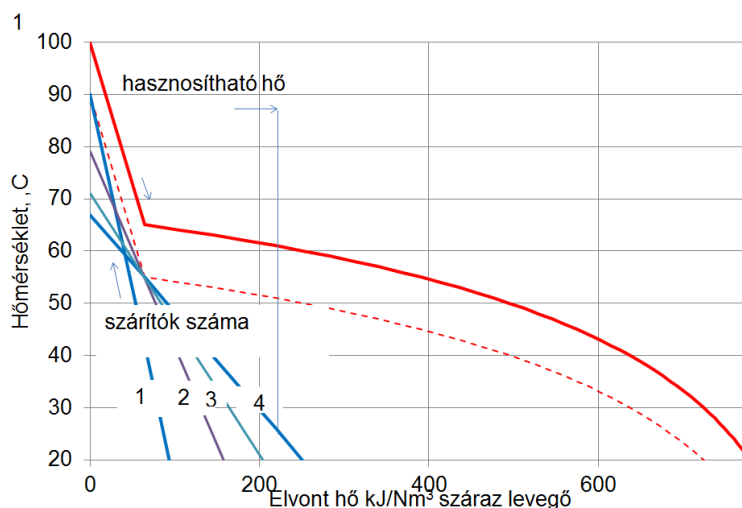
Az ötletet több helyen és más ágazatokban (kerámiaipar, mezőgazdaság stb.) is megvalósítható, ezért a témát általánosabban tárgyaljuk.

7.1. Az ötlet és a műszaki megoldás

Az élelmiszeriparban és a mezőgazdaságban használt szárítókemencékből kidobott nagy nedvességtartalmú levegő jelentős mennyiségű hőt tartalmaz, amit hasznosítani lehet. Ha nem áll rendelkezésünkre más fogyasztó, akkor hasznosításra csak a kemencébe bevitt száraz levegő előmelegítése jöhet szóba.

Mivel a bevitt és elszívott levegő szárazlevegő-tartalma közel azonos, a hőhasznosítás aránya a kemence kapacitásától független, ezért a számításainkat elegendő fajlagosan, 1 m³ száraz levegőre vonatkoztatni.

A rendelkezésre álló hőmennyiséget az elszívott levegő entalpiája adja, amit a nedves levegő h-x diagramjából a mért hőmérséklet és páratartalom függvényében határozhatjuk meg, vagy alkalmas szoftverrel számíthatjuk. A hűtési állapotváltozás a kilépési állapottól függőlegesen az x=áll. vonal mentén történik egészen a harmatpontig, majd innen a $\varphi=1$ harmatpont görbe mentén halad – folyamatos csapadékkiválás mellett – a csökkenő hőmérsékletek irányába. Az állapotváltozást a hőátviteli folyamatok szemléltetésére jobban megfelelő t-q diagramba átrajzolva (egy példa adataival) az 7.1. ábra folytonos piros vonala mutatja. A hűtés hőcserélővel addig lehetséges, ameddig rendelkezésünkre áll olyan hideg közeg, amelynek hőmérséklete alacsonyabb a hűtendő közeg hőmérsékleténél.



7.1.ábra: A hőcsere t - q diagramja

A hideg közeg felmelegítése akkor lehetséges, ha annak hőmérséklete legalább egy minimális Δt különbséggel kisebb a meleg közeg hőmérsékleténél. Az így kiszámított határgörbét szaggatott vonallal jelöltük az ábrán.

A felmelegítendő száraz levegő vonalát – a belépő hőmérséklettől kiindulva (az ábrán 20 °C) – egy $-1/c_p$ meredekségű egyenes jellemzi. A lehetséges legnagyobb hasznosítást (az egyenesnek a belépő hőmérsékletéhez tartozó entalpiaérték maximumát) akkor kapjuk, ha a felmelegítés egyenese érinti a határgörbét.

Az ábrán is látható, hogy a rendelkezésünkre álló hőből a bevitt levegő előmelegítésével csak nagyon kis mennyiséget tudunk hasznosítani. Ha több szárítónk van, akkor egy szárító meleg áramával több szárító levegőjét is elő tudjuk melegíteni. Ezt közvetítőközegees hőcserélővel tudjuk megvalósítani úgy, hogy egy szárító kilépő ágára építünk egy kondenzációs hőcserélőt, és ezen a szárítón túl, a többi belépő oldalát is ellátjuk előmelegítővel. Ha n számú, azonos típusú szárítót láttunk el párhuzamosan kapcsolt előmelegítővel, akkor a felmelegedés vonalának meredeksége $-\frac{1}{nc_p}$. Ezt az egyenest kell

úgy elhelyezni a t - q diagramban, hogy érintse a szaggatott vonallal rajzolt határgörbét. Az így elhelyezett egyenes a függőleges tengelyen az elérhető hőmérsékletet, a belépő hőmérséklet vonalán pedig a hasznosítható hőt metszi ki.

7-I. táblázat. Elérhető fajlagos megtakarítások a hőbevitelben

Előmelegítők száma		1	2	3	4
Előmelegítés hőmérséklete	°C	90	79	71	67
Bevitt hő	kJ/m ³	779,7	1559,4	2339,2	3118,9
Hasznosított hő	kJ/m ³	93,5	157,6	204,4	251,1
Elvont nedvességre	MJ/kg	0,364	0,306	0,265	0,244
A megtakarítás aránya	%	12,0%	10,1%	8,7%	8,1%

Az 7-I. táblázat egy 100 °C hőmérsékletű, 65 °C harmatpontú kidobott nedves levegő fajlagos hőhasznosítását mutatja be 1...4 párhuzamosan kapcsolt előmelegítő esetén akkor, ha a belépő hőmérséklet 20 °C.

Látható, hogy több előmelegítő esetén ugyan csökken a hasznosítás mértéke, viszont jelentős megtakarítást érhetünk el azzal, hogy csak egy kondenzációs hőcserélőt kell telepíteni.

Mivel a belépő száraz levegő hőkapacitás-árama mindig kisebb a kidobott nedves levegőénél, egy szárító esetén az előmelegítés hőmérsékletével mindig megközelíthetjük a kilépő levegő hőmérsékletét annak páratartalmától függetlenül. Így a hasznosítható hő:

$$q_{be} = c_p \cdot (t_{ki} - \Delta t - t_{be})$$

ahol c_p a száraz levegő térfogatra vonatkoztatott fajhője, kJ/(m³K), t_{ki} és t_{be} pedig a szárítóból kilépő, ill. oda belépő levegő hőmérséklete, °C.

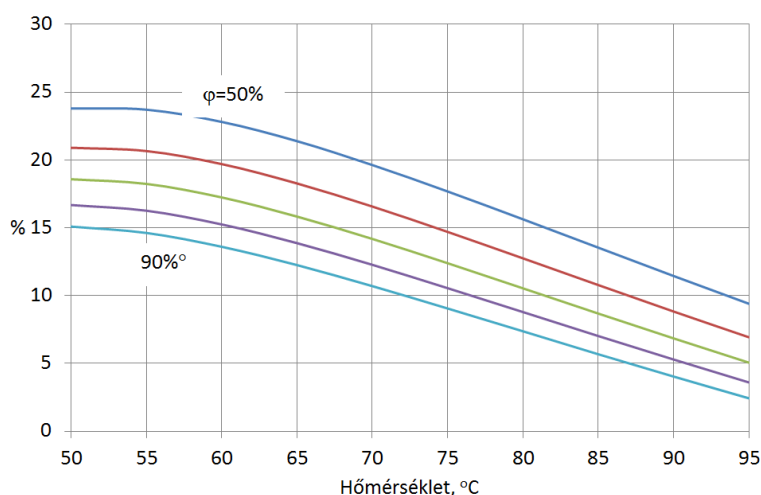
A bevitt hő a kilépő és a bevitt levegő entalpiájának különbsége,

$$q_{be} = h_{ki}(x) - h_{be}$$

így a hasznosítás aránya is változik: mind a hőmérséklet, mind a páratartalom növekedésének irányában csökken (7.II. ábra).

7.2. Megtakarítások

Folyamatos üzemben a megtakarítás az energiahordozók igénybe vett teljesítményének megváltozásában jelentkezik. A bevitt hő csökkenése más-más megtakarítást jelent attól függően, hogy milyen hőforrást (villamos energia, földgáz megújuló vagy hulladék energia) használunk, de attól is függ, hogy közvetlen vagy közvetett fűtésű-e a kemence. Végül az éves megtakarítás jelentősen függ a kemence kihasználtságától.



7.II. ábra: A hasznosítás mértéke a bevitt hőhöz viszonyítva

A fenti példában szereplő szárító 5000 m³/h légszárítás mellett folyamatosan 468 MJ/h bevitt hőt takarít meg. Közvetlen földgáz fűtésű szárító esetén ez megegyezik a tényleges földgáz megtakarítással. Ezt mérsékeli a levegő ventilátoroknak a csatornába épített hidraulikus ellenállás miatti többlet villamosenergia-fogyasztása és – közvetítőközeges hőcserélő esetén – a szivattyú(k) villamosenergia-fogyasztása, ami azonban a megtakarítás 1%-át sem éri el. Esetünkben a villamos többletteljesítményt 1,2 kW-ra becsültük.

A primerenergia-megtakarítás számításához – mivel nem állnak rendelkezésünkre használható statisztikai adatok – a földgáz primerenergia-tartalmát 1, a villamos energiáét 2,5 értékkel vettük figyelembe, így annak éves értéke:

$$E_{pr} = (\dot{Q} - 9P)\tau$$

ahol a földgáz megtakarítás, MJ/h, P a többlet villamos teljesítmény, kW, τ pedig a kihasználási óraszám. A költségmegtakarításnál a földgáz árát 3000 Ft/GJ, a villamosenergiáét 30 Ft/kWh értékkel vettük figyelembe. A példa szerinti szárítóra telepített hőhasznosító által elérhető megtakarításokat a 7.II. táblázat mutatja.

7.II. táblázat: Megtakarítások

Kihasználási óraszám	2 000	4 000	6 000
Primerenergia-megtakarítás, GJ/év	915	1 829	2 744
MWh/év	254	508	762
Költség megtakarítás. ezer Ft/év	2 737	5 474	8 211

7.3. Megengedhető beruházási költség

A megengedhető beruházási költséget 15 év gazdasági élettartammal és 5% hozammal számolva a 7.III. táblázat mutatja.

$$USPW = \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n} = \frac{((1+0,05)^{15} - 1)}{0,05 \cdot (1+0,05)^{15}} = 10,38$$

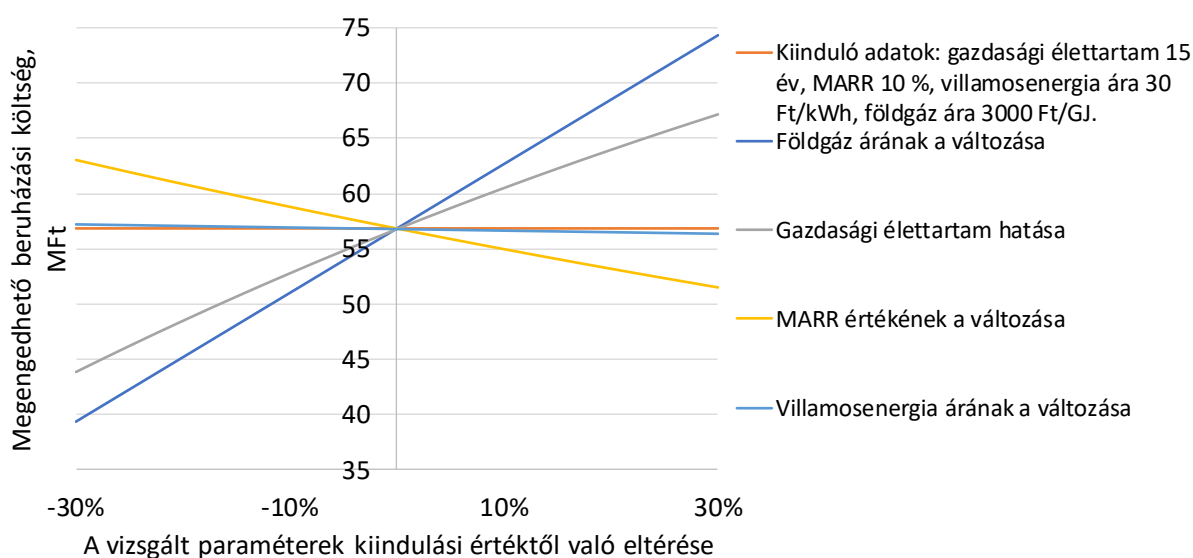
7.III. táblázat: Megengedhető beruházási költség

Kihasználási óraszám	2 000	4 000	6 000
Megengedett beruházási költség, M Ft	28,41	56,82	85,23

A fentebb meghatározottak alapján kiinduló adatnak tekintünk:

- 468 MJ/h bevitt hő megtakarítást,
- 3000 Ft/GJ földgáz árat,
- 1,2 kW többlet villamosteljesítményt,
- 30 Ft/kWh villamosenergia árat,
- 4000 h/év kihasználási óraszámot
- 15 év gazdasági élettartamot és
- 5% minimális elvárt hozamot.

A 7.III. ábra a kiinduló értékek ± 30 %-os változása függvényében mutatja, hogy mennyi lehet a projekt megengedhető költsége, hogy teljesüljenek az elvárások.



7.III. ábra: A beépítendő hőhasznosítók megengedhető telepítési költségének változása

8. Rásegítő/visszaemelő szivattyúk alkalmazása -

dr. Zsebik Albin

8. 1. Bevezetés

A nagy területen elhelyezkedő vállalatok, ipari parkok meleg és hidegvizes, valamint a távhőrendszerek elosztóhálózataiban a vízkeringetés energia igényét csökkenthetik a rásegítő, vagy visszaemelő szivattyúk (a továbbiakban: segédzivattyú). A segédzivattyú állomás helyét, a telepítésénél az alkalmazott berendezéseket (felszereltséget) az elosztóhálózat jellege, a terepviszonyok és egyéb tényezők határozzák meg.

Az energiafelhasználás szempontjából az a kedvező, ha a segédzivattyút az elosztóhálózat központi keringtető szivattyújától távol eső olyan helyén helyezik el, ahol a hidraulikailag távol levő fogyasztók közös vezetékkel csatlakoznak az elosztóhálózathoz. Ekkor ugyanis, miközben a fő keringtető és segédzivattyúk emelőmagasságának összege változatlan marad, (adott primerköri közegáram esetén ez nem csökkenthető) a segédzivattyúra jutó vízáram ugyanakkor jelentős mértékben csökken. A terepviszonyok elsősorban azt határozzák meg, hogy a rásegítő szivattyút az előremenő, vagy a visszatérő ágba helyezték.

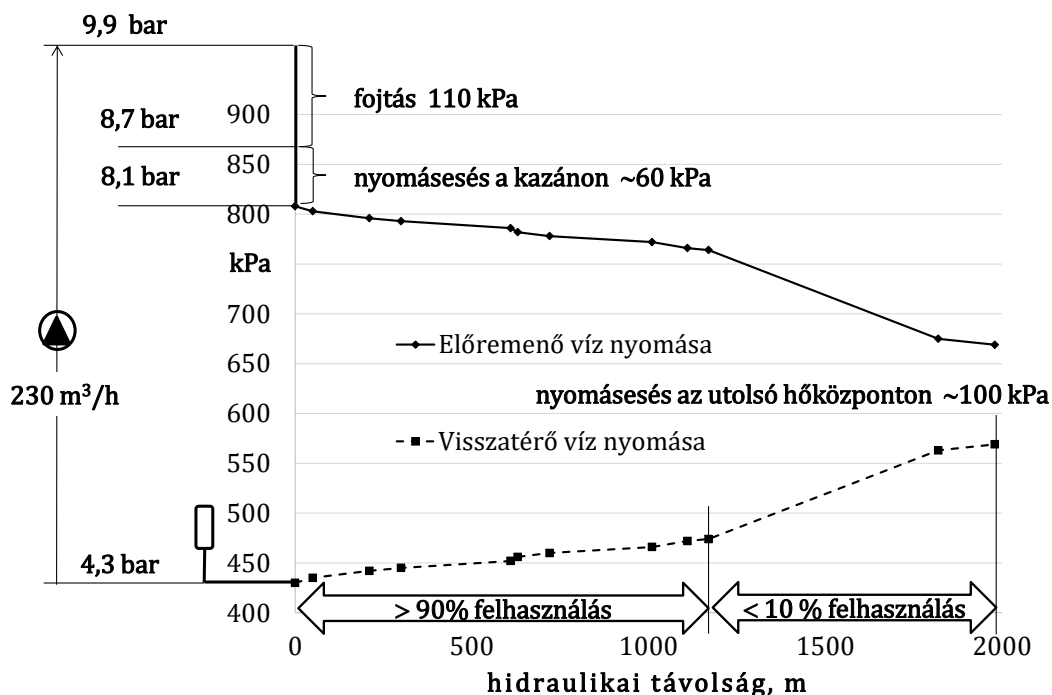
8. 2. A kiinduló helyzet

Egy vizsgált rendszer jellemzője, hogy a fogyasztók több mint 90 %-a a központi keringtető szivattyútól 1 km-től kisebb távolságra levő hőforrásból kapja a hőt. A fogyasztók maradók, kevesebb mint 10 %-a további 800 m távolságra van egy elosztó hálózati leágazó ponttól.

Az alsópontos nyomástartású rendszerben a fűtővíz keringtetését ellátó szivattyú a vizet 4,3 bar nyomásról 9,9 bar nyomásra emeli (8.I. ábra). A nyomócsonk után beépített szabályozószeleppel a keringtetett térfogatáramot a fűtési igény kielégítéséhez szükséges $\sim 230 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\sim 64 \text{ kg/s}$) értékre állítják. A kazánon a nyomásesés ennél a térfogatáramnál $\sim 60 \text{ kPa}$. Feltételezzük, hogy a hidraulikailag legtávolabb levő felhasználói hőközpontban a nyomásesés a névleges térfogatáramnál $\sim 100 \text{ kPa}$.

A nyomásábra és a rendszer ismerete alapján megállapíthatók az energia-veszteség források és a jobbító javaslatok.

Veszteségforrás a fojtással történő térfogatáram szabályozás és a keringtető szivattyú által a $\sim 230 \text{ m}^3/\text{h}$ térfogatáramú fűtővíz nyomásának a szükségesnél nagyobb nyomáskülönbséggel történő emelése.

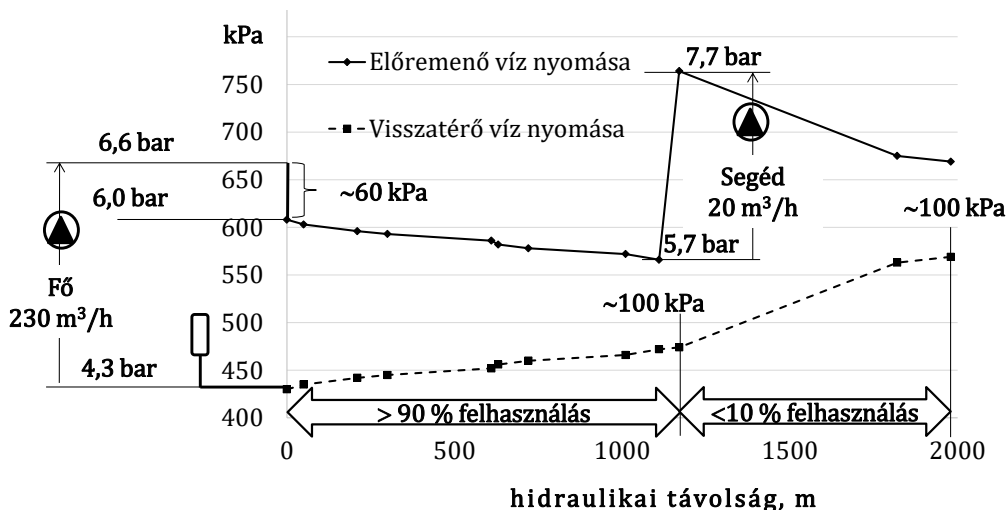


8.I. ábra: Az elosztóhálózat nyomásábrája a kiinduló állapotban

8. 3. A javasolt megoldás

A szivattyúzási munka csökkentése érdekében célszerűnek mutatkozik a keringtető szivattyú kisebbre cserélése és a hálózat megfelelő pontjára egy segédzivattyú elhelyezése. (A szivattyúcsere energetikai és gazdasági előnyét a fojtás elkerülése érdekében a segédzivattyú beépítése nélkül is meg kell vizsgálni, mert a jelenlegihez nem illeszthető frekvenciaváltós fordulatszám szabályozó.)

Az elosztóhálózat nyomásdiagramját segédzivattyú alkalmazása esetén a 8.II. ábra szemlélteti. Lényeges változás ez esetben, hogy a fő keringtető szivattyúnak most a ~230 m³/h fűtővizet 4,3 bar nyomásról csak 6,6 bar nyomásra kell emeli. Az így kialakuló nyomáskülönbség fojtás nélkül elég a kazánon és az első hidraulikai körön a fűtővíz keringtetésére. A második hidraulikai körön ~20 m³/h fűtővíz 5,7 bar nyomásról 7,7 bar nyomásra emelésével a segédzivattyú biztosítja a hozzá tartozó fogyasztók hőigényének kielégítését.



8.II. ábra: Az elosztóhálózat nyomásdiagramja a segédzivattyúval

8. 4. A várható megtakarítás meghatározása

A keringtető szivattyú és az elosztóhálózat/rendszer jelleggörbéi a 8.III. ábrán láthatók.

A jelleggörbékéből feltételezhető, hogy tervező a fogyasztók igényének kismértékű növekedésével számolva a jó hatásfok tartományában választotta ki a szivattyút. A térfogatáram fojtással történő szabályozással kerül a rendszerbe a fordulatszám szabályozású szivattyúval megtakarítható ~1,2 bar fojtási veszteség.

A várható megtakarítást egyszerű energetika számításokkal az alábbiakban határozzuk meg.

8.4.1. A jelenlegi energiefelhasználás

Feltételezzük, hogy a $\tau_h=4380$ h/év időtartamú fűtési idényben a hőigény kielégítéséhez $230 \text{ m}^3/\text{h}$ fűtővizet kell az elosztóhálózatban folyamatosan keringtetni. A keringtetéshez a szivattyúnak a szívó és nyomócsonkok között $0,56 \text{ MPa}$ nyomáskülönbséget kell létrehozni. A szivattyú hatásfoka a szállított térfogatáramnál $\eta_{sz}=78 \%$, a hajtómotorjának hatásfokát $\eta_m=92\%$ -nak feltételezzük (mind a szivattyú, mind a hajtómotor öregek).

A szivattyú teljesítményigénye a fentiek feltételezésével:

$$P_1 = \frac{\Delta p \cdot Q}{\eta_{sz}} = \frac{0,56 \cdot 230}{0,78 \cdot 3,6} \approx 49 \text{ kW}$$

A szivattyúzás teljesítményigénye a fentiek feltételezésével:

$$P_1 = \frac{\Delta p \cdot Q}{\eta_{sz} \cdot \eta_m} = \frac{0,56 \cdot 230}{0,78 \cdot 0,92 \cdot 3,6} \approx 53,4 \text{ kW}$$

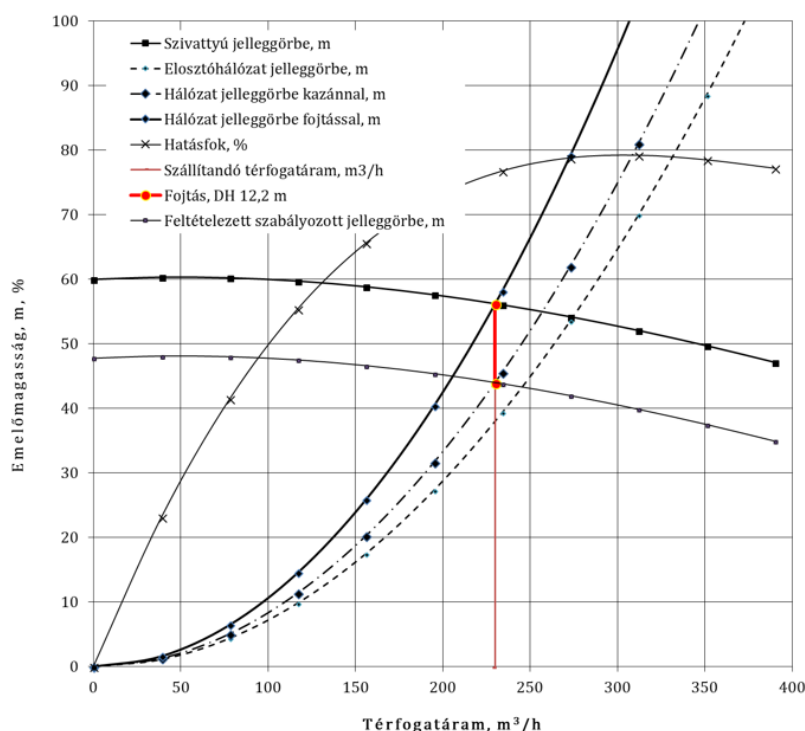
ahol: Δp - a szivattyú szívó és nyomócsonkja közötti nyomáskülönbség, MPa

Q - a szállított mennyiség, m^3/h

η_{sz} - a szivattyú hatásfoka

η_m - a szivattyú hajtómotorjának hatásfoka

A szivattyú fentebb számított teljesítményigényének helyessége a gépkönyvben található teljesítménygörbe, a szivattyúzás számított teljesítményigényének helyessége mérésekkel ellenőrizhető.



8.III. ábra: A keringtető őszivattyú és az elosztóhálózat/rendszer jelleggörbéi

A fűtési idényben a folyamatos keringtetés energiaigénye:

$$E_1 = P_1 \cdot \tau_h = 53,4 \cdot 4380 \approx 234\,000 \text{ kWh/év}$$

8.4.2. Az energiafelhasználás segédzivattyúval

Segédzivattyú alkalmazása esetén a főszivattyúnak csak 0,29 MPa nyomáskülönbséget kell létrehozni. A hálózat egy kiválasztott pontjába telepített segédzivattyú további 0,2 MPa nyomáskülönbséggel emeli meg a távollévő fogyasztók hőigényének kielégítésére elegendő $20 \text{ m}^3/\text{h}$ térfogatáramú víz nyomását. (Figyelemre méltó, hogy segédzivattyú nélkül a mindössze $20 \text{ m}^3/\text{h}$ víz keringtetése miatt $230 \text{ m}^3/\text{h}$ vízáram nyomáskülönbségét kell 2,7 bar nyomáskülönbséggel nagyobbra emelni.)

Tekintettel arra, hogy az adott feladatra új szivattyúkat választunk, a gépkönyvében megadott szivattyúzási villamosteljesítmény igénnyel számolhatunk. A feladat ellátására alkalmas fő- és segédzivattyú teljesítményigényét az egyik gyártó 22 kW, ill. 2,2 kW értékekkel adta meg. E két érték összege $P_2 = 24,2 \text{ kW}$.

Ezzel a fűtési idényben a folyamatos keringtetés energiaigénye

$$E2 = P2 \cdot \tau_h = 24,2 \cdot 4380 \approx 106\,000 \text{ kWh/év}$$

(Tájékoztatásképpen jegyezzük meg, hogy a gépkönyvben megadott teljesítményigény a fentebb bemutatott módon számolva a főszivattyú esetében ~ 84 %, a segédzivattyú esetében ~ 50% szivattyúzási hatások feltételezésével esetében adódik.)

8.4.3. A várható megtakarítás

A fentiek alapján a segédzivattyú alkalmazása esetén a várható megtakarítás a fűtési idényben:

$$\Delta = E1 - E2 = 234.000 - 106.000 = 128.000 \text{ kWh/év}$$

,ami 30 Ft/kWh villamosenergia referencia árral számolva 3,840.000, - Ft/év.

A két új szivattyú ára és a csere, ill. telepítésének költsége közel az éves megtakarítással egyezik meg. Ez alapján kimondható, hogy a segédzivattyú alkalmazása gyorsan megtérülő beruházás.

8. 5. Érzékenységi vizsgálat

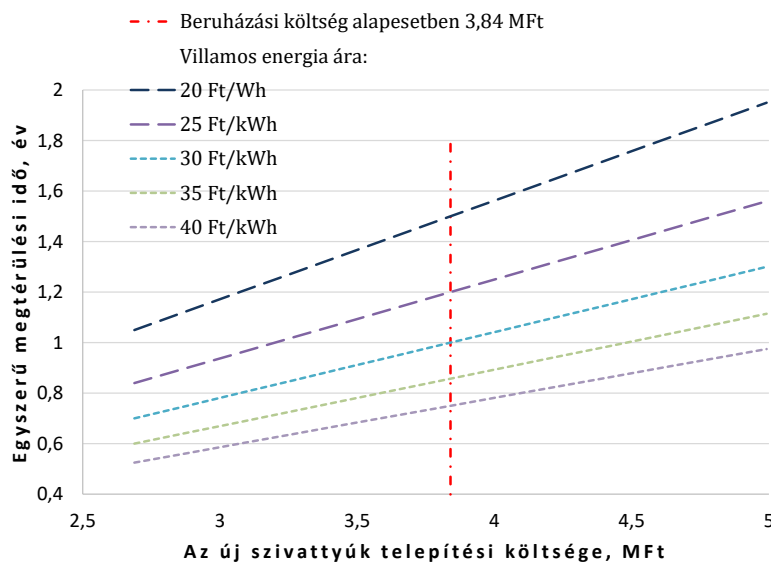
Az érzékenységi vizsgálatot két esetre végezzük el.

1. Az első esetben elfogadjuk, hogy a villamosenergia megtakarítás évente 128 MWh/év. Változónak tekintjük a szivattyúk telepítésének költségét és a villamosenergia árát. **Az egyszerű megtérülési idő változását szemléltetjük a változó paraméterek függvényében.**
2. A második esetben az új szivattyúk **megengedhető telepítési költségének** változását elemeztük a várható megtakarítás, a villamosenergia ára, a gazdasági élettartam és a MARR (Minimum Attractive Rate of Return - minimális elvárt hozam) ± 30 %-os változása függvényében.

8.5.1. Az egyszerű megtérülési idő változása

A fentiek alapján a segédzivattyú alkalmazása esetén a várható megtakarítás 30 Ft/kWh referencia villamosenergia árral számolva a fűtési idényben megegyezik az új szivattyúk telepítési költségével, azaz 3,84 MFt/év.

Az 8.IV. ábra az egyszerű megtérülési idő változását mutatja az új szivattyúk telepítési költségének és a villamosenergia árának függvényében.



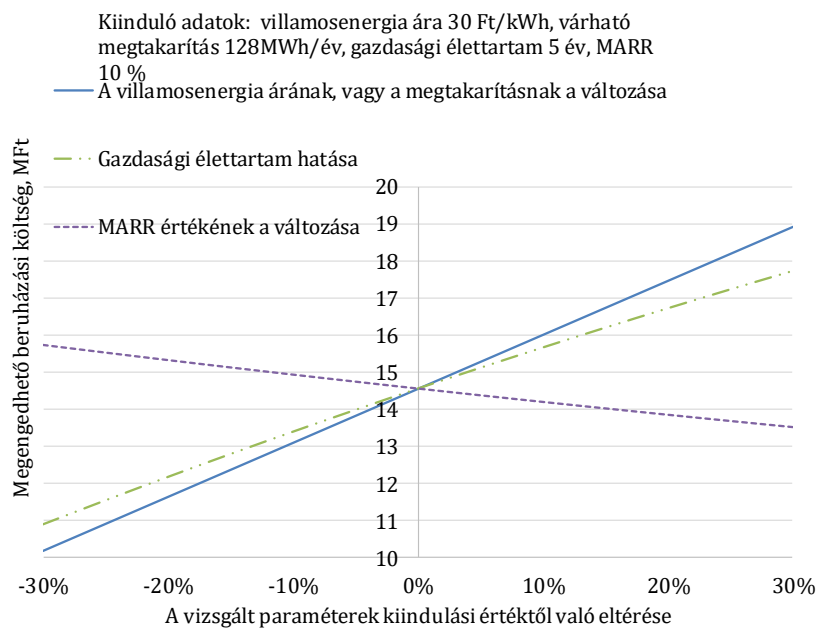
8.IV. ábra: Az egyszerű megtérülési idő változása

8.5.2 A szivattyúk telepítésének megengedhető költsége

A fentebb meghatározottak alapján kiinduló adatnak tekintünk:

- 128 MWh/év villamosenergia megtakarítást,
- 30 Ft/kWh villamosenergia árat,
- 5 év gazdasági élettartamot és
- 10% minimális elvárt hozamot.

A 8.V. ábra a kiinduló értékek ± 30 %-os változása függvényében mutatja, hogy mennyi lehet az új szivattyúk megengedhető telepítési költsége, hogy teljesüljenek az elvárások.



8.V. ábra: Az új szivattyúk megengedhető telepítési költségének változása

9. Elosztóhálózat szétválasztása, végponti nyomáskülönbség tartás - dr. Zsebik Albin

A szivattyúk fordulatszám szabályozóval történő kiegészítése (ha a hajtómotorja azt lehetővé teszi) a gyorsan megtérülő beruházásokhoz tartozik. Az elmúlt években éltek is ennek lehetőségével, sok esetben a hajtómotorral együtt a szivattyút is kicserélték.

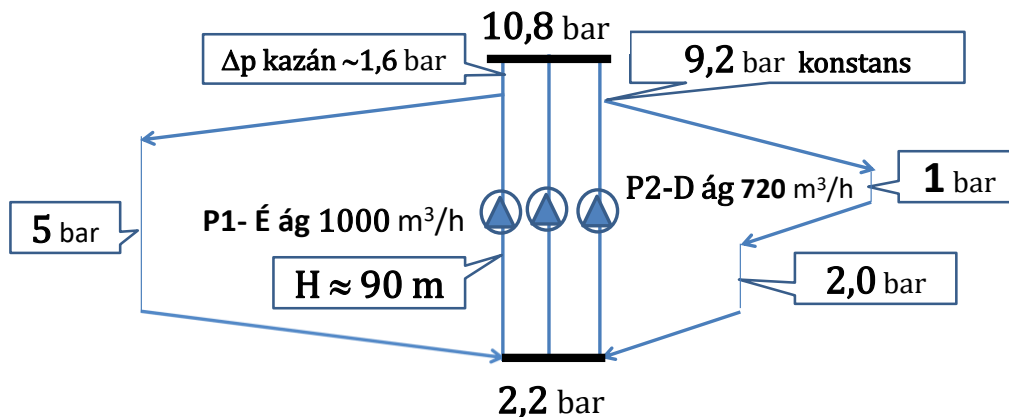
Mindemellett azonban a legtöbb helyen a fordulatszám szabályozáshoz az alapjelet a kiterjedt elosztó hálózatok esetében is a keringető szivattyúk szívó- és a nyomócsonkja közti nyomásáról veszik, a csonkok közti nyomáskülönbséget tartják állandó értéken. Az üzemeltetési tapasztalat alapján, jól meghatározott alapjel esetén ez elfogadható megoldás, napjainkban azonban már nem jár nagy költséggel az elosztóhálózat néhány kiválasztott, hidraulikailag távol levő pontjáról a szabályozóba a tartandó nyomáskülönbség jelet bevinni. Különös jelentősége van ennek olyan hidraulikailag az osztó, vagy gyűjtősínen ketté választható hálózatok esetén, amelynek végpontjain azonos kiinduló nyomáskülönbség mellett jelentős mértékben eltér a végpontok fogyasztóinál kialakuló nyomáskülönbség.

Az Energiagazdálkodás 2008. évi 6. számában [1], az egyik hazai távhőrendszerben megvalósított hidraulikai kettéválasztásról és a végponti szabályozás megvalósításáról számoltam be. Azóta itthon és külföldön, - kisebb és nagyobb elosztóhálózatok esetében, - többször találkoztam hasonló energiamegtakarítási lehetőséggel. Ez ösztönzött arra, hogy – most a példát egy külföldi távhőrendszer adataival ismertetve, - ismét felhívjam rá a figyelmet.

9. 1. A kiinduló helyzet

A hőtermelőtől a 9,2 bar, felsőpontos nyomástartású elosztóhálózat észak, **É ág** és dél, **D ág** irányba indul (9.1. ábra). A fűtővíz keringetésére hat (az ábrán három) szivattyú áll rendelkezésre. A szivattyúk névleges emelőmagasságban és szállított térfogatáramban kis mértékben eltérőek. Jelölésünkben az északi oldalra a nagyobb P1, a déli oldalra a kisebb P2 szivattyúk szállítják a fűtővizet. (A hidraulikailag összekapcsolt rendszerben ennek nincs különösebb jelentősége.)

A nyomásábrán látható, hogy az északi ág végpontjaiban a kialakuló nyomáskülönbség az előremenő és visszatérő ágak között főlegesen nagynak adódik, ha a déli ágon igényelt nyomáskülönbség miatt a hőtermelőnél tartani kell a nyomáskülönbséget. A déli ágon a hidraulikailag összekapcsolt rendszer esetében a domborzati viszonyok és magas épületek miatt van szükség a fojtásra.

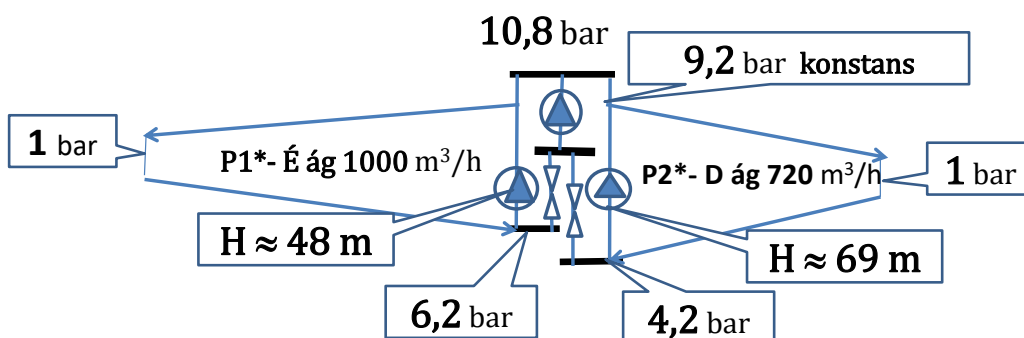


9.I. ábra: A nyomásábra a kiinduló állapotban

9. 2. A javasolt megoldás

Az elosztóhálózatot a felsőpontos nyomástartás meghagyása mellett célszerű a gyűjtő oldalon a 9.II. ábra szerint hidraulikailag kettéválasztani. A régiék helyett három új szivattyút a rendszerbe illeszteni. A csatlakozást úgy kialakítani, hogy a közbenső szivattyú tartalékként mindkét irányba be tudja a fűtővizet táplálni.

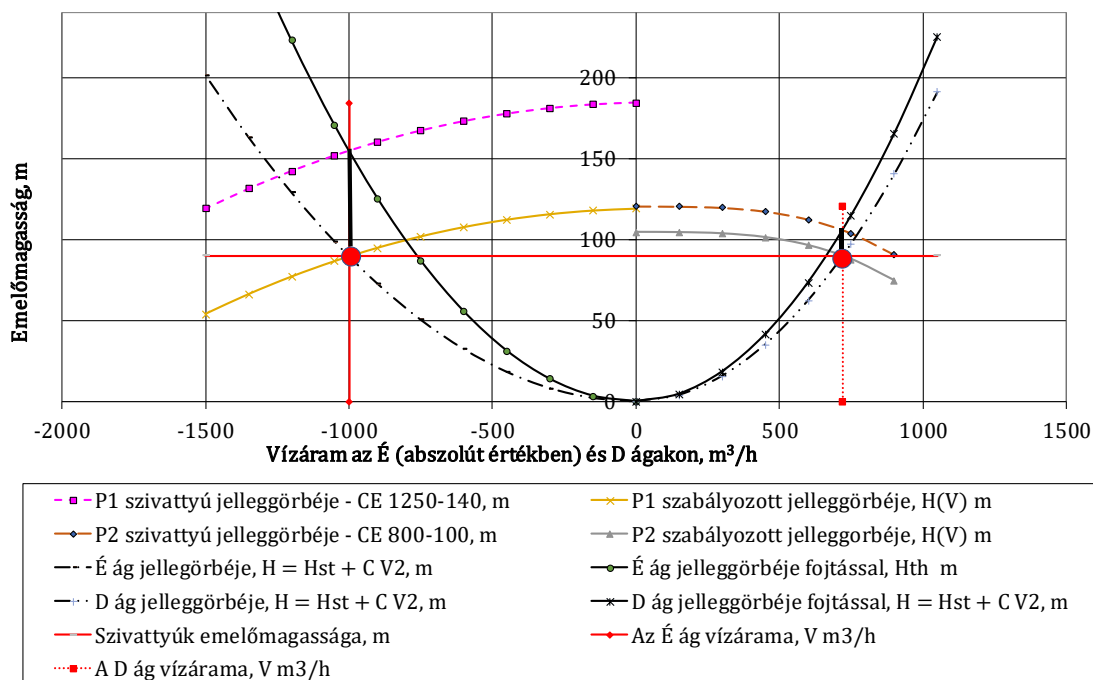
A szivattyúkat javasoljuk fordulatszám szabályozással ellátni. A szabályozást a végpontokról bevitt jellel megvalósítani.



9.II. ábra: Javaslat a gyűjtő kettéosztására

9.3. A várható megtakarítás meghatározása

A keringetőszivattyúk és az elosztóhálózatok/rendszer jelleggörbéi a 9.III. ábrán láthatók. (Mivel az É és D ágakat egymás mellé illesztettük, emiatt az É ág térfogatáramát abszolút értékben kell olvasni.)



9.III. ábra: A keringetőszivattyú és az elosztóhálózat/rendszer jelleggörbéi

9.3.1 A jelenlegi energiafelhasználás

A várható megtakarítást egyszerű energetika számításokkal annak feltételezésével határoztuk meg, hogy jelenleg mindkét szivattyú azonos, $H = 90$ m emelőmagasságra emeli az átlagosan 70°C hőmérsékletű fűtővizet, s szivattyúk és hajtómotorjaik hatásfoka is azonos, $\eta_{sz}=80\%$, és $\eta_m=92\%$, ezzel a szivattyúzás hatásfoka $\eta_{szm}=73,2\%$.

A szivattyúzás villamosteljesítmény igénye a fentiekkel

$$P = \frac{H \cdot \rho \cdot g \cdot Q}{\eta_{szm}} = \frac{90 \cdot 977 \cdot 9,81 \cdot 1720}{0,78 \cdot 3,6 \cdot 1000000} \approx 560 \text{ kW}$$

ahol: H - a szivattyú szívó és nyomócsonkja közötti emelőmagasság, m
 ρ - a szállított víz átlagos hőmérsékletéhez tartozó sűrűsége, kg/m^3
 g - a gravitációs gyorsulás, $9,81 \text{ kg/(m}^2/\text{s)}$
 Q - a szállított mennyiség, m^3/h
 η_{szm} - a szivattyúzás hatásfoka ($\eta_{sz} \cdot \eta_m$)

(A szivattyúzás egyszerűsített számítással a fentiekben meghatározott teljesítményigénye csaknem megegyezik a szivattyúk teljesítménygörbéjével megadott értékkel, ezért a megtakarítás számításához elfogadhatónak tekintjük.)

A fűtési idény hosszát $\tau_h=4380$ h/év időtartamnak tekintjük. Ezzel a fűtési idényben a folyamatos keringetés energiaigénye:

$$E1 = P \cdot \tau_h = 560 \cdot \frac{4380}{1000} = 2453 \text{ MWh/év}$$

9.3.2. Az energiafelhasználás a hálózat szétválasztása után

A hálózat szétválasztása után a 9.II. ábrán jelölt P1* és P2* szivattyúknak $\Delta p=1$ bar végponti nyomáskülönbség tartás feltételezésével 48, ill. 69 m emelőmagasságba kell 1000 m³/h, ill. 720 m³/h, átlagosan 70 °C hőmérsékletű, fűtővizet emelniük.

Új, korszerű villanymotorral hajtott szivattyúkat feltételezve a szivattyúzás villamos teljesítmény igényét most $\eta_{szm}=80\%$ -kal az alábbiak szerint határozzuk meg

$$P1^* = \frac{H \cdot \rho \cdot g \cdot Q}{\eta_{szm}} = \frac{48 \cdot 977 \cdot 9,91 \cdot 1000}{0,8 \cdot 3,6 \cdot 1000000} \approx 160 \text{ kW}$$

$$P2^* = \frac{H \cdot \rho \cdot g \cdot Q}{\eta_{szm}} = \frac{69 \cdot 977 \cdot 9,91 \cdot 720}{0,8 \cdot 3,6 \cdot 1000000} \approx 165 \text{ kW}$$

A két szivattyú együttes teljesítményigénye $P^* = P1^* + P2^* = 325$ kW, azaz 235 kW-tal kevesebb a kiinduló esettől.

A szétválasztott hálózatban az új szivattyúkkal fűtési idényben a keringetés energiaigénye:

$$E2^* = (P1 + P2) \cdot \frac{\tau_h}{1000} = 325 \cdot \frac{4380}{1000} \approx 1424 \text{ MWh/év}$$

9.3.3. A várható megtakarítás

A fentiek alapján a segédzivattyú alkalmazása esetén a várható megtakarítás a fűtési idényben:

$$\Delta E = E1 - E2^* = 2453 - 1424 \approx 1000 \frac{\text{MWh}}{\text{év}}$$

Tekintettel arra, hogy a szivattyú egy kapcsoltan hő- és villamosenergiát termelő fűtőerőműben van, a megtakarításhoz az energia árát egyrészt önfogyasztásnak tekintve az eladási, 18.000,- Ft/MWh áron, másrészt egy feltételezési fogyasztói 30.000,- Ft/MWh villamosenergia referencia áron vesszük figyelembe.

Igy számolva a megtakarítás: $M1^* = 18 \frac{\text{MFt}}{\text{év}}, \text{ ill. } 30 \frac{\text{MFt}}{\text{év}}$

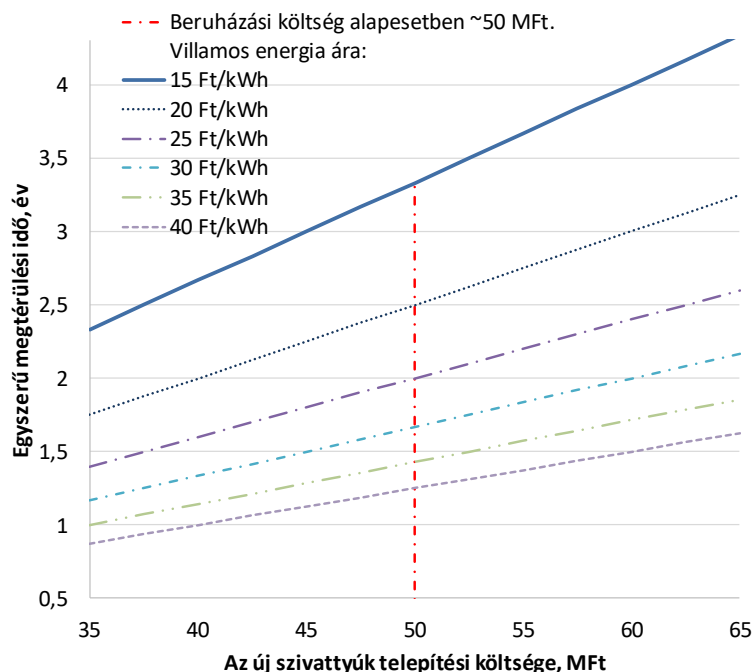
9.4. Érzékenységi vizsgálat

Az érzékenységi vizsgálatot az egyszerű megtérülési idő változására végezzük el és a 9.IV. ábrán a beruházási költség függvényében szemléltetjük.

Elfogadjuk, hogy a villamosenergia megtakarítás évente ~1000 MWh/év.

Változónak tekintjük

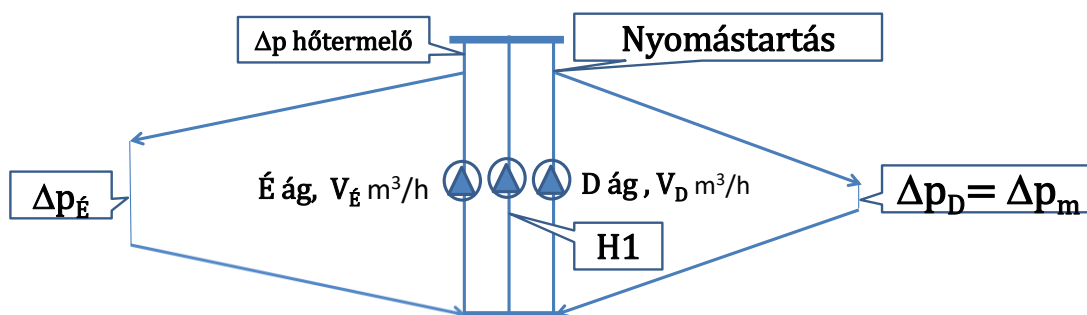
- a három új szivattyú és telepítésének költségét az elosztóhálózat gyűjtőjének észak és dél irányú (szivattyúk szívóoldali) szétválasztással és a végponti nyomáskülönbség jelének a fordulatszám szabályozóba történő bekötésével, (becsült költségének közepes értéke ~ 50 MFt), valamint
- a villamosenergia árát (széles tartományban, hogy tartalmazza az önköltségi árat és a különböző mértékű a rendszerhasználati és elosztói díjjal terhelt fogyasztói díjat)



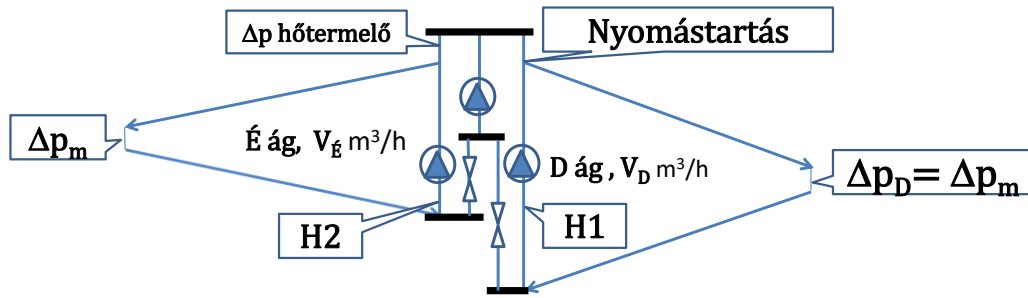
9.IV. ábra: Az egyszerű megtérülési idő változása új

9.5. Az elosztóhálózat szétválasztása - általánosan

A 9.V. ábra az összekapcsolt elosztóhálózat a 9.VI. ábra a szétválasztott elosztóhálózat nyomásábráját mutatja. A „huroktörvénnyel” összhangban, az összekapcsolt hálózat esetén az északi ág előremenő és visszatérő ágai között a szükségesnél nagyobb nyomáskülönbségek alakulnak ki. (A hőközpontok a hidraulikailag távol levő fogyasztóknál feltételezhetően úgy lettek kialakítva, hogy a Δp_m nyomáskülönbség elegendő a fűtési hőigény kielégítéséhez szükséges fűtővízáram átfolyásához.)



9.V. ábra: Az összekapcsolt elosztóhálózat nyomásábrája



9.VI. ábra: A szétválasztott elosztóhálózat nyomásábrája

Mivel az elosztóhálózatban a víz áramlási viszonyait a gyűjtőben történő átalakítás elhanyagolható mértékben érinti, s a hőigény kielégítéséhez a fűtővíz szükséges térfogatáramát biztosítani kell, a két változat között energiamegtakarítás az eltérő emelőmagasságból adódik.

Miközben az első esetben mindkét szivattyúnak H1 nyomáskülönbséget kell előállítani, addig a másik esetben az északi ág szivattyújának elég H2 nyomáskülönbséget.

A szivattyúzás teljesítményigénye és a fűtési időnyben az energiafelhasználása egyenesen arányos az emelőmagassággal, a szétválasztás által várható megtakarítás változatlan szivattyúzási hatásfok mellett az $(1 - H2/H1)$ szorzattal lesz arányos, azaz

$$P2 = P1 \cdot \left(\frac{H2}{H1}\right); E2 = E1 \cdot \left(\frac{H2}{H1}\right)$$

$$\Delta P = P1 \cdot \left(1 - \frac{H2}{H1}\right); \Delta E = E1 \cdot \left(1 - \frac{H2}{H1}\right)$$

a fenti példa adataival, ha a változás csak az északi ágot érintette volna, s a szivattyúk emelőmagassága H1 = 90 m helyett H2 = 48 m-re változna, a kettő H2/H1= 0,533 arányával a megtakarítás a következőképpen alakulna:

Az északi ágban a fűtőközeg keringetésének teljesítményigénye

$$P1 = \frac{H \cdot \rho \cdot g \cdot Q}{\eta_{szm}} = \frac{90 \cdot 977 \cdot 9,91 \cdot 1000}{0,8 \cdot 3,6 \cdot 1000000} \approx 300 \text{ kW}$$

$$P2 = 300 \cdot 0,533 \approx 160 \text{ kW}$$

$\tau_h=4380$ h/év fűtési időszakban az energiaigény:

$$E1 = P1 \cdot \tau_h = 300 \cdot 4380 = 1,312.129 \text{ kWh}$$

$$E2 = P2 \cdot \tau_h = 160 \cdot 4380 = 699.802 \text{ kWh} \approx 700 \text{ MWh, azaz}$$

$$E2 = 1312 \cdot 0,533 \approx 700 \text{ MWh}$$

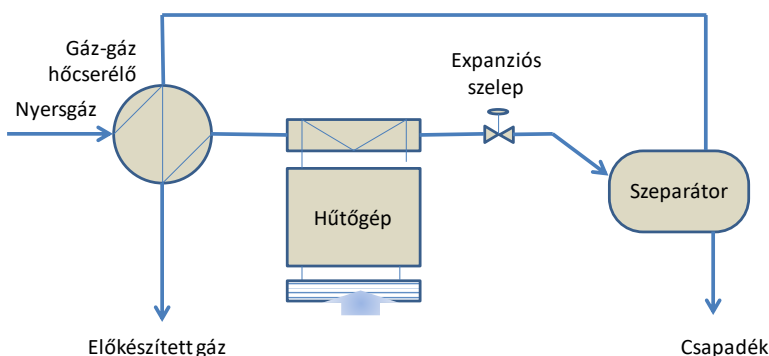
$$\Delta E = E1 - E2 = E1 \cdot \left(1 - \frac{H2}{H1}\right) = 1312 \cdot (1 - 0,533) \approx 613 \text{ MWh}$$

10. Hőszivattyú alkalmazása hidegszeparációs technológiákban - dr. Balikó Sándor

10.1. Kiinduló állapot

Hidegszeparációs technológiát gázok csapadékának leválasztására alkalmaznak. Lényege, hogy a gázt lehűtik a megkívánt harmatponti hőmérsékletre és bevezetik egy szeparátorba, ahonnan külön vezetik el a kondenzátumot és külön a száraz (kezelt) gázt. Hűtésre rendszerint hűtőgépet – általában kompresszoros hűtőgépet – használnak, de előhűtésre felhasználják a hideg száraz gázt is. Egyes esetekben, pl. földgáz előkészítésnél, ha a belépő gáz nyomása jelentősen nagyobb a szeparátor nyomásánál, a fojtás következtében (a reális gázoknál) bekövetkező hőmérséklet csökkenés csökkentheti a gépi hűtési igényt. Hidegszeparációs technológiát alkalmaznak a vegyiparban számos helyen, így pl. a hazai földgáz előkészítő üzemekben is, de ugyanezen az elven működik számos klímaberendezés is, ahol a levegő szárítására van szükség.

A hidegszeparációs technológia elvi sémáját a 10.I. ábra mutatja.

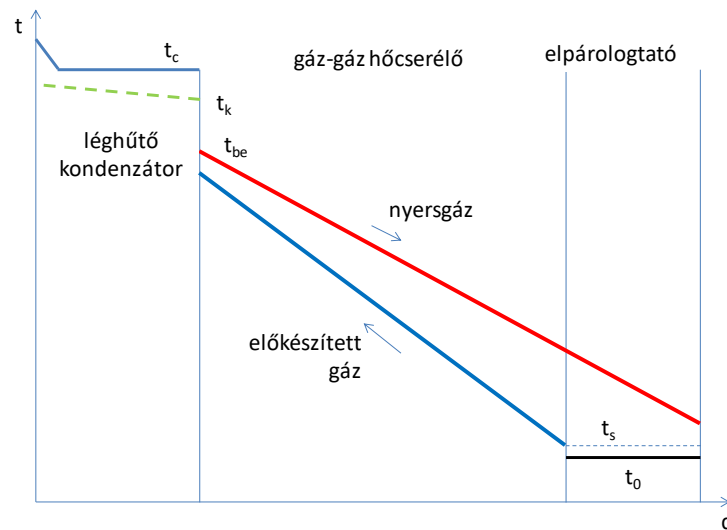


10.I. ábra: Hidegszeparációs technológia elvi sémája

A hűtőgép kompresszorát villamos- vagy gázmotor hajtja, a kondenzátor rendszerint léghűtéses.

Földgáz előkészítésnél – amikor a gáz jelentős vízgőzt is tartalmaz – az elfagyás ellen rendszerint glikolt fecskendeznek a gázáramba, amit aztán a háromfázisúra kialakított szeparátorban szintén leválasztanak. Itt csak megemlítjük, hogy a gázmotoros kompresszor hulladékhője felhasználható a glikolregeneráló fűtésére is, ezzel azonban itt nem foglalkozunk.

A folyamat hőmérséklet-hőáram diagramját a 10.II. ábra mutatja.

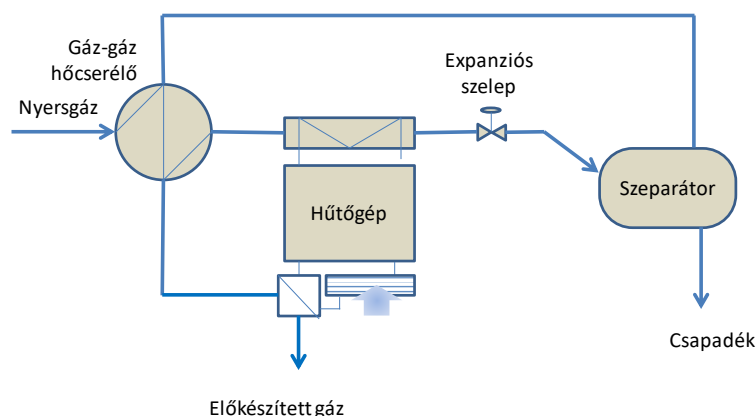


10.II. ábra: A folyamat t-q diagramja

10.2. Az ötlet és műszaki megoldás

A javaslat földgáz előkészítésnél szezonális jellegű, arra az időszakra szól, amikor a nyersgáz belépő hőmérséklete kisebb, mint a környezeti levegő hőmérséklete. Ilyenkor a kilépő előkészített gáz hőmérséklete eléggé alacsony ahhoz, hogy a kondenzátorban szükséges hőelvonás egy részét átvegye, csökkentve ezzel a léghűtők terhelését. Kedvező esetben ezzel még a kondenzációs nyomás is csökkenhet, ami a kompresszor teljesítményfelvételét csökkenti. Mivel ez a lehetőség a nyári csúcsidőben áll elő, a kapcsolat megvalósításával csökkenthető a hűtőgép kondenzátorának névleges kapacitása, ami a beruházási költséget csökkentheti.

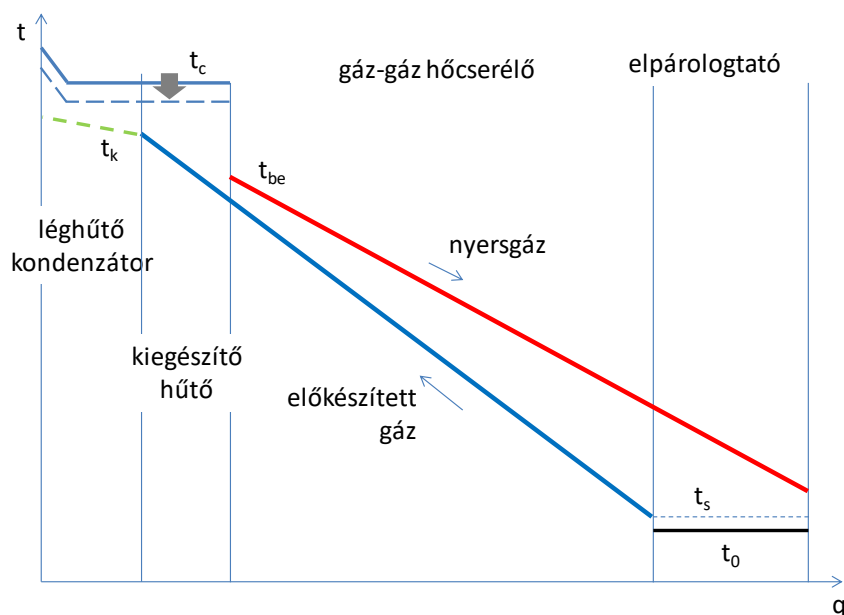
A módosított kapcsolási sémát a 10.III. ábra, a hozzá tartozó t-q diagramot a 10.IV. ábra mutatja.



10.III. ábra: A módosított kapcsolási séma

A javasolt kapcsolat éves szinten egy változó üzemvitelt igényel. Az előkészített gázt addig érdemes a kondenzátor hűtésére felhasználni, ameddig annak hőmérséklete kisebb a környezeti levegő hőmérsékleténél. Ennél alacsonyabb környezeti hőmérséklet esetén

ugyanis már a léghűtés biztosítja a kisebb kondenzátornyomást és ezzel a hűtőgép kisebb teljesítményfelvételét. Magas kondenzátor hőmérsékletek esetén további biztonsági korlát a földgáz előkészítésnél, hogy az előkészített (távvezetékra adott) gáz hőmérséklete nem haladhatja meg az 50 °C-ot.



10.IV. ábra: A módosítás t-q diagramja

Az energiafogyasztás csökkenése függ a nyersgáz kondenzátum-tartalmától, a hűtőgép típusától, működési módjától, szabályozásától, ezen kívül a kondenzátor típusától és kialakításától, és – mint említettük – az időjárástól is. Ha utóbbit statisztikai adatokkal becsülni tudjuk is, a többi adat mindig a konkrét körülményektől függ, ezért a tényleges energetikai és gazdasági hasznót mindig a konkrét alkalmazási lehetőségekre lehet csak megbecsülni.

Példaként egy 10000 m³/h kapacitású, -5 °C-ra előkészítő gázelőkészítőben, ahol a száraz gáz hőkapacitás-árama $m_{pcp}=3,278 \text{ kW/K}$, a nyersgáz belépő hőmérséklete $t_{be}=15 \text{ °C}$, és a gáz-gáz hőcserélő hatásossága $\Phi=75\%$, a kilépő előkészített gáz hőmérséklete:

$$t_{ki} = t_s + \Phi(t_{be} - t_s) = 10^\circ\text{C}$$

Ha 30 °C a környezeti hőmérséklet, akkor még az előkészített gázzal

$$Q_h = W(t_k - t_{k0}) = 65,56 \text{ kW}$$

hőáramot tudunk elvonni a környezetnél alacsonyabb hőmérsékletszinten. Ha 100 kW volt a kondenzátor teljesítménye eredetileg 45 °C kondenzációs hőmérsékleten, az új kapcsolásban csak 34,44 kW hőáramot, az eredeti teljesítmény 34,4%-át kell elvonni.

Ha a kondenzátorban nincs utóhűtés, és a léghűtő ventilátorokat a korábbi változat szerint üzemeltetjük, azaz nem csökkentjük a levegőáramot, akkor a hőigény csökkenésével arányosan csökken a kondenzátorban a hőmérsékletkülönbség:

$$\frac{t_c - t_k}{t_{c0} - t_k} = \frac{Q_c}{Q_{c0}}$$

ahol 0 indexel jelöltük az eredeti kapcsolás paramétereit.

Az összefüggés szerint az eredetileg 45 °C kondenzációs hőmérséklet 35,2 °C-ra csökkenthető.

10.3. Megtakarítások

Az alkalmazástól függően többféle módon keletkezhet megtakarítás:

- kisebb lehet a léghűtő kondenzátora, ezzel beruházási költséget takarítunk meg, amit csökkent a kiegészítő hűtő beruházási költsége
- nyári időszakban nem kell a termelést csökkenteni a hűtőgép kapacitása miatt, ezzel többlet termelést és így nagyobb nyereséget érhetünk el
- alacsonyabb lehet a kondenzációs hőmérséklet, és ezzel a nyomás is, így kisebb lesz a villamosenergia-fogyasztás.

Ez utóbbi számítására adunk most egy példát.

Egy ammónia munkaközegű, elméleti körfolyamat hűtési tényezője (COP), -10 °C elpárolgási hőmérséklet mellett, 45 °C kondenzációs hőmérséklet esetén 3,82, míg 35,2 °C-nál 4,35. Végig számolva a hűtőkörfolyamatot, ez a változás (a 100 kW kondenzációs teljesítményhez tartozó) 79,25 kW hűtőteljesítmény biztosítása mellett a kompresszor teljesítményfelvételét 12,2%-kal, 20,75 kW-ról 18,22 kW-ra csökkenti.

A valóságos megtakarítás ennél nagyobb is lehet, hiszen a kompresszió és a hajtás hatásfoka a villamos teljesítményfelvételeket, ezzel azok különbségét is növelik. A számításban elhanyagoltuk annak figyelembe vételét, hogy a kondenzációs teljesítmény csökkenése növelheti az előkészített gázzal történő hőelvonás arányát, ami további megtakarítást eredményezhet.

Ha csak a fentiek szerinti 2,53 kW megtakarítással számolunk, 1500 h/év becsült kihasználás mellett ez 3791,7 kWh/év villamosenergia-, azaz 34,13 GJ/év primerenergia-megtakarítást érünk el. Ha 30 Ft/kWh energiaárral számolunk, ez 113,75 ezer Ft/év költség megtakarítását eredményezi.

10.4. Megengedhető beruházási költség és érzékenysége

A beépített rendszerelemek gazdasági élettartamát 15 évre, a minimális elvárt hozamot, MARR=5%-ra feltételezve meghatározzuk, mennyi lehet a korszerűsítés megengedhető beruházási költsége. A feltételezett gazdasági élettartam és a MARR figyelembevételével az állandó sorozat, jelenérték tényezője:

$$USPW = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0,05)^{15} - 1}{0,05(1+0,05)^{15}} = 10,38$$

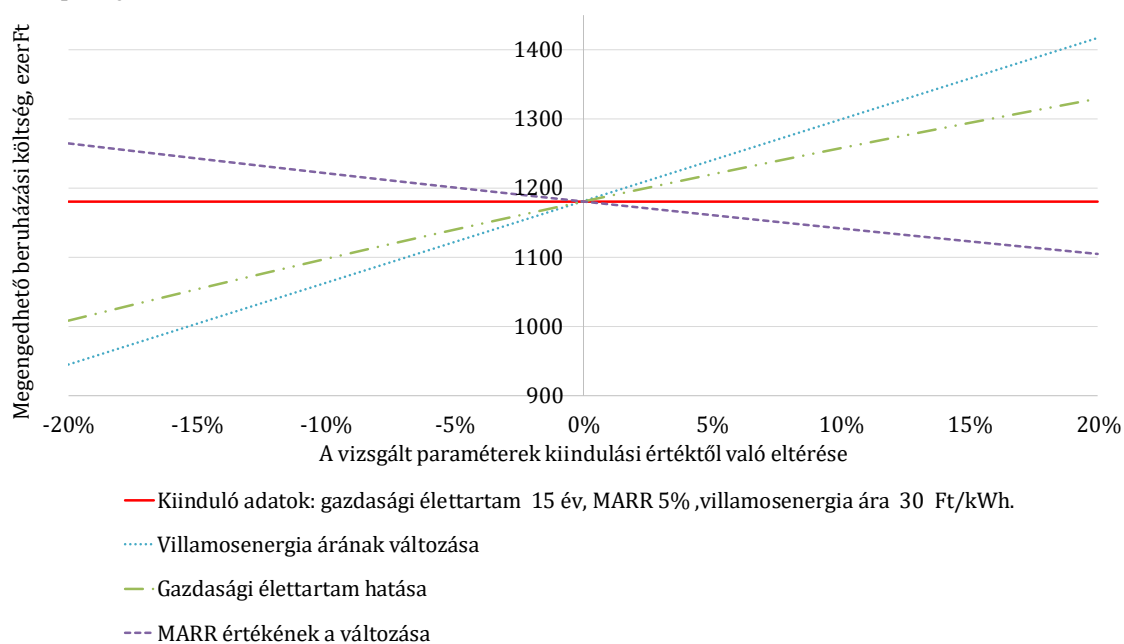
Ezzel a megengedhető beruházási költség:

$$\Delta P_{15 \text{ év}, 5\%} = A \cdot USPW = 113.751 \cdot 10,38 \approx \mathbf{1,180.735, -Ft}$$

Figyelembe véve, hogy a technológiába csak egy kiegészítő hőcserélőt kell beépíteni – még abban az esetben is, ha ennek tervezési nyomása gázoldalon rendszerint 70 bar – ez a költséghatár még elfogadható lehet.

A megengedhető beruházási költség érzékenységet a villamosenergia árának változására (ezzel megegyezően változik a várható energiamegtakarítás), a gazdasági élettartamra és a MARR változására megvizsgáljuk.

Az alaphelyzetnek feltételezett kiinduló adatok a 10.V. ábrán láthatók.



10.V. ábra: A megengedhető telepítési költség változása

10.5. Megjegyzés

Az ismertített kapcsolás nem jelenti egyben a lehető legnagyobb energia megtakarítást, hiszen (a pinch-point módszerrel kimutatható) a kondenzátorral párhuzamosan kapcsolt további gázhűtésű kondenzátor további hőhasznosítást eredményezhetne. Ennek megvalósítása azonban gazdaságilag nem térülne meg.

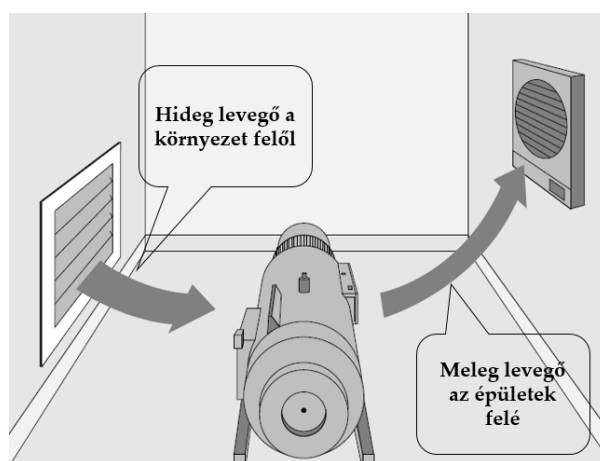
11. Léghűtésű kompresszorok hulladékhőjének hasznosítása

-Novák Dániel

A kompresszorokba bevezetett energia a levegő belső energiáját megnöveli, aminek az eredménye a hőmérséklet emelkedése. Kizárólag izotermikus esetben lenne elkerülhető a nem kívánt felmelegedés. Amennyiben a kompresszort elhagyó levegőt a kezdeti hőmérsékletre hűtjük vissza megfelelő utóhűtés alkalmazásával, akkor a kompresszióra fordított energia egy része a levegőt hűtő közegekben, hőként áll rendelkezésre.

A kompresszorok üzemeltetése során nagy potenciállal rendelkezünk a hőhasznosítás szempontjából, de meg kell említenünk, hogy a hő általában alacsonyabb hőmérsékleteken áll a rendelkezésre. A léghűtésű kompresszorok hűtőlevegője legfeljebb 60- 70 °C-ra melegszik fel, míg a hűtővíz kilépő hőmérséklete, akár 90 °C is lehet.¹ Ebből adódóan megállapítható, hogy minden olyan telephelyen, ahol fűtési, technológiai és egyéb célokra vizet melegítenek földgáz vagy villamosenergia felhasználásával, ott célszerű megvizsgálni a kompresszorok hulladékhőjének hasznosítási lehetőségeit.

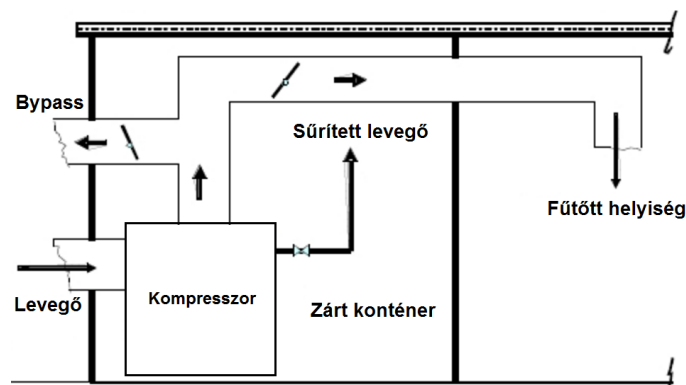
A különböző megoldások a hőfelhasználás módja szerint két nagy csoportra oszthatók: közvetlen és közvetett hasznosításra. Jelen esetben példát a közvetlen hasznosításra ismertetek. A közvetlen alkalmazások jellegzetessége, hogy a hőhordozó közeg a meleg levegő, mely általában a kisebb egységteljesítményű, léghűtésű kompresszorokról érkezik a felhasználási pontra. A legáltalánosabb hőhasznosítási megoldást a 11.I. ábra mutatja.



11.I.ábra: "Nyitott" rendszerű helyiség fűtés

¹ ETSU, „Good Practice Guide - Heat recovery from air compressors,” 1998. [Online]. Elérhető: https://www.compressive.co.uk/documents/referenceguides/Good_Practice_Heat_Revcovery.pdf.

A fenti megoldásnak tovább fejlesztett változata az, amikor a levegő, csatornákon keresztül áramlik egyik ponttól a másikig. Ezt általában akkor alkalmazzák, amikor a gépegységet egy zárt konténerben helyezik el. Az előző típushoz képest a különbség, hogy a levegő bevezetés és elszívás csatornákon keresztül történik. Nyáron mikor nincs szükség helyiség fűtésre, szükség van egy kiegészítő ventilátorra, mely biztosítja az elszívást, azaz a kompresszor hűtését. Ilyen típusú kapcsolást szemléltet a 11.II. ábra.



11.II. ábra. Helyiség fűtés hulladékhővel

A bemutatott eseteket nem mindenhol lehet gond nélkül alkalmazni. Például egyik sem jó megoldás olyan gyár csarnokokban, ahol szigorú levegő minőségi előírások vannak életben. Minden esetben szükség van megfelelő hőszabályozásra, hogy a túlfűtés elkerülhető legyen. A csatornázott kivitel beruházási költségei magasak, a berendezések méretei nagyok. Akár kiegészítő ventilátorokra is szükség lehet, hogy az áramlási veszteségekből adódó nyomásvesztéseket ki lehessen küszöbölni, azaz az üzemeltetési költségek nőhetnek.

Az alábbiakban a 11.II. ábra szerint a fűtött helyiségbe a fűtés kiegészítésére befűvott levegő példáján ismertetem az egyszerű energetikai számításokat.

11.1. A kiinduló helyzet

A vizsgált telephely egy nyomda épület, ahol technológiai célból sűrített levegőt kell előállítani. Az épület oldalán kialakított kompresszor helyiségebe két léghűtésű kompresszort telepítettek. A kompresszor tér közvetlenül kapcsolódik a csarnokhoz, így meg van a lehetőség hulladékhő hasznosításra.

A régebbi kompresszor egy olajkenésű csavarkompresszor. Kisméretű, kompakt berendezés léghűtéses kivitelben. Hűtését a kompresszor szekrényébe beépített ventilátor biztosítja. Ez a kompresszor a nyomda építése óta üzemel. A hajtó motor névleges teljesítménye 30 kW, fordulatszám-szabályozás nélkül. A hűtőlevegő térfogatáram névleges állapotban 4600 m³/h. A sűrített levegő maximális nyomása 10 bar, de ezt a telephelyen nem használják ki. A kompresszor alapjele az üzemeltetők elmondása szerint 7,5 bar. Az újabb kompresszor már egy fordulatszám-szabályozott,

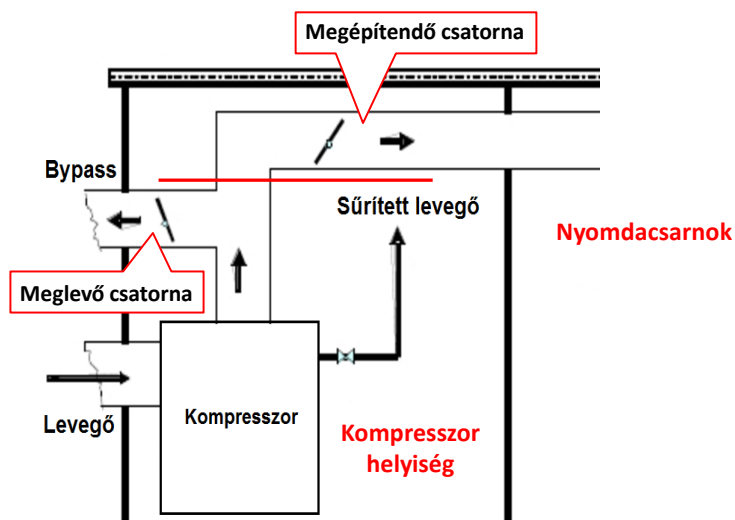
léghűtésű, korszerű kivitelű berendezés. A hajtó motor teljesítménye 18,5 kW. A léghűtésű kompresszorok hűtése során felmelegedett levegőt a helyiség ablakához vezetett csatornán keresztül a kompresszorok ventilátorai a szabadba fújják 11.III. ábra.



11.III. ábra: A hűtőlevegő kifújása

11.2. Energiahatékonyság növelő javaslat

A 11.IV. ábra a levegő bevezetésének egyszerűsített kapcsolását szemlélteti. Nyáron, ill. amikor nincs szükség a csarnok fűtésére, a kompresszorok ventilátorai, igény esetén további ventilátorok az eddigivel megegyező módon a levegőt a meglévő csatornákon az ablakon keresztül a környezetbe nyomják. A hőhasznosítás érdekében a kompresszorok és a nyomdacsarnok között kell légcsatornát építeni.



11.IV. ábra: A javasolt megoldás egyszerűsített sémája

Annak érdekében, hogy a két kompresszor hűtőventilátorai ne zavarják egymás üzemvitelét, (ne okozzanak torlódást, vagy elpiszkolódást,) javasoljuk, hogy a csarnokba történő levegő bevezetés párhuzamos csatornákon történjen.

11.3. Energetikai számítások

A fentebb ismertettek szerint a kompresszorokba bevezetett energia közel 90 %-a hasznosítható hő. Ez azt jelenti, hogy a két kompresszor névleges üzemállapotban közel 43,65 kW hulladékhőt termel. Ennek körülbelül 80%-a nyerhető vissza, tekintve a veszteségeket, és a hőcserélők véges felületeit. Ez ~35 kW hőt jelent. A telephely szakembereinek elmondása szerint az újonnan telepített kompresszor átlagosan 25%-os (~4,5 kW) kihasználtsággal működik. Ezt figyelembe véve a hasznosítható hő nagysága ~25 kW. Képlettel:

$$\dot{Q}_{\text{hasznosítható}} = (P_1 + P_2 \cdot \delta) \cdot \beta \cdot \varphi = (30 \text{ kW} + 18,5 \text{ kW} \cdot 0,25) \cdot 0,9 \cdot 0,8 \approx \mathbf{25 \text{ kW}}$$

ahol, $\dot{Q}_{\text{hasznosítható}}$ = a hasznosítható hőtéljesítmény, kW

P_1 = a régebbi kompresszor teljesítménye, kW

P_2 = az új kompresszor teljesítménye, kW

δ = az új kompresszor kihasználási tényezője, -

β = a lehetséges hasznosítás aránya, -

φ = a valóban hasznosítható hő aránya, -

Havi üzemórák nem álltak rendelkezésre, így becsülnünk kellett a kompresszorok üzemidejét a fűtési szezonban. A fűtési szezon átlagos hossza a telephely környékén 182 nap, ami 4368 órának felel meg. A számításaink során azt feltételeztük, hogy a kompresszorok ezen időtartam ~45 %-ában, azaz 1944 órát üzemelnek.

$$\tau_{\text{üzem}} = \tau_{\text{fűtés}} \cdot v = 4368 \frac{\text{h}}{\text{év}} \cdot 0,45 = \mathbf{1944 \text{ h/év}}$$

ahol, $\tau_{\text{üzem}}$ = a kompresszorok üzemideje fűtési időszakban, h/év

$\tau_{\text{fűtés}}$ = A fűtési időszak hossza, h/év

v = kihasználási tényező, -

Így a várható megtakarítás nagysága:

$$Q = \tau_{\text{üzem}} \cdot \dot{Q}_{\text{hasznosítható}} = 1944 \frac{\text{h}}{\text{év}} \cdot 25 \text{ kW} = 48.600 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} \approx \mathbf{175 \text{ GJ/év}}$$

ahol, Q = a megtakarítható hő nagysága, kWh/év

A megtakarítható földgáz mennyisége:

$$V_{\text{földgáz}} = \frac{Q}{H_i} = \frac{175.000 \frac{\text{MJ}}{\text{év}}}{34,2 \frac{\text{MJ}}{\text{Nm}^3}} \approx \mathbf{5100 \text{ Nm}^3}$$

ahol, H_i = a földgáz fűtőértéke, MJ/Nm³

A telephely által vásárolt földgáz egységára a szolgáltatói szerződés alapján 4,85 €/GJ. A deviza átváltásnál 315 Ft/€ értékkel számoltunk.

Így a földgáz referencia ára:

$$k_{\text{földgáz},\text{Ft}} = k_{\text{földgáz},\text{€}} \cdot c = 4,85 \frac{\text{€}}{\text{GJ}} \cdot 315 \frac{\text{Ft}}{\text{€}} \approx \mathbf{1527 \text{ Ft/GJ}}$$

ahol, $k_{\text{földgáz},\text{Ft}}$ = a földgáz ára, Ft/GJ

$k_{\text{földgáz},\text{€}}$ = a földgáz ára, €/GJ

c = átváltási tényező, Ft/€

Ezt további rendszerhasználati díj terheli, ami a földgáz referencia árát 3250 Ft/GJ értékre emeli. Az elérhető tüzelőanyag költség csökkenés ezek ismeretében:

$$K_{\text{megtakarítás}} = Q \cdot k_{\text{földgáz},\text{Ft}} = 175 \frac{\text{GJ}}{\text{év}} \cdot 3250 \frac{\text{Ft}}{\text{GJ}} \approx \mathbf{570.000, - \text{Ft/év}}$$

ahol, $K_{\text{megtakarítás}}$ = költségmegtakarítás, Ft/év

Amennyiben a rendelkezésre álló hő teljes egészében ki lehet használni.

A beruházási költségeket informatív árajánlatok segítségével becsültük, melynek teljes költsége ~100 000 Ft. Ha ~200 000 Ft további költséget tartalékolunk az esetlegesen szükséges kiegészítő ventilátorokra, összesen ~300.000,- Ft beruházási költséggel számolhatunk.

A fenti adatok alapján megállapítható, hogy a becsült beruházási költség figyelembevételével az egyszerű megtérülési idő:

$$t_{\text{megtérülés}} = \frac{B}{A} = \frac{300.000, - \text{Ft}}{570.000, - \frac{\text{Ft}}{\text{év}}} = \mathbf{0,52 \text{ év}}$$

Érdemes a beruházás megvalósítását részletesebben is elemezni.

11.4. Gazdasági számítások

Az alábbiakban meghatározzuk, mennyi lehet a légfűtés megvalósításának beruházási költsége különböző gazdasági élettartam és minimális elvárt hozam (Minimum Attractive Rate of Return, MARR), ill. kamatláb esetén.

A számítási módszert 470 000 Ft/év nettó költségmegtakarítás (A) 5 éves gazdasági élettartam (n), ill. megkívánt megtérülési idő és 10% MARR (i) feltételezésével mutatjuk be.

Első lépésben meghatározzuk az állandó sorozat, jelenérték tényezőjét, azaz azt a szorzót, ami a további számoláshoz szükséges:

$$USPW = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0,1)^5 - 1}{0,1(1+0,1)^5} = 3,79$$

Az egyenletes ütemezésben jelentkező, azonos pénzösszegek jelen időpontra vonatkozó értéke, azaz a megváltoztatott rendszer beruházásának az elvárásokat teljesítő lehetséges költsége:

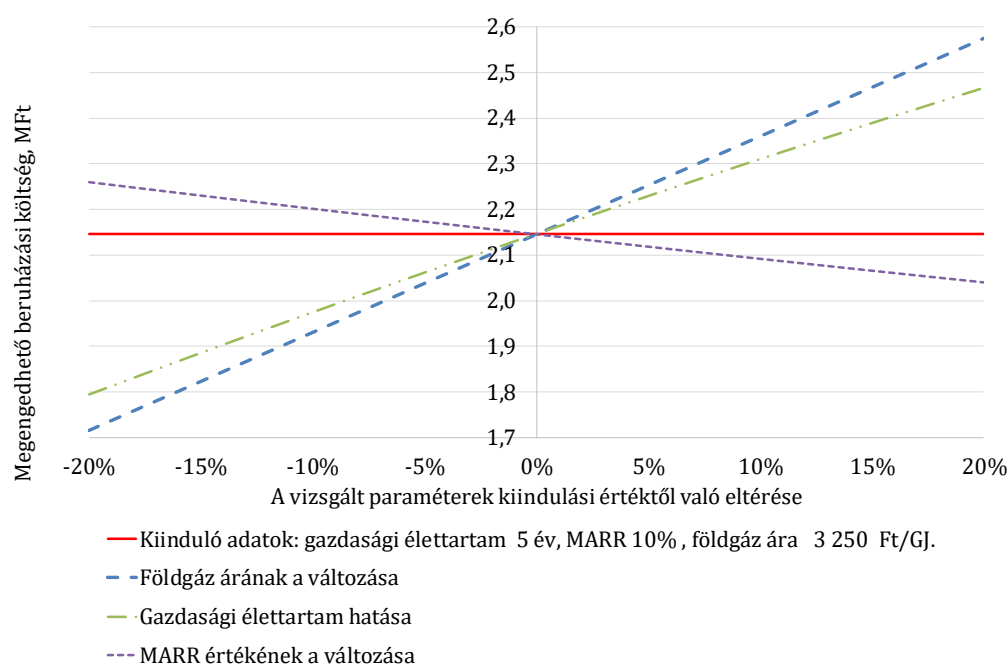
$$P_{3 \text{ év}, 10\%} = A \cdot USPW = 570.000 \cdot 3,79 \approx 2.160.000, -\text{Ft}$$

A megengedhető beruházási költség a fentiek szerint ~2,2,- MFt (2.160.300, - Ft).

11.5. Érzékenységi vizsgálat

A hulladékhő hasznosítására vonatkozó beruházás érzékenységi vizsgálata keretében a megengedhető beruházási költségének változását elemeztük a földgáz ára, a gazdasági élettartam és a MARR ± 20 %-os változása függvényében. **Alaphelyzetnek azt tekintjük, hogy a MARR = 10%, a földgáz ára 3250 Ft/GJ, a megtakarított földgáz mennyisége 5 100 Nm³/év, gazdasági élettartam 5 év.**

Az egyszerű érzékenységvizsgálat eredményeit grafikus formában a 11.V. ábra mutatja. Megállapítható, hogy a gazdasági élettartam növekedésével a megengedhető beruházási költség nagymértékben növelhető. A földgáz árváltozásának van a legnagyobb hatása a vizsgált paraméterre. A MARR változása szintén jelentősen befolyásolja a megengedhető beruházási költség nagyságát.



11.V. ábra: A kompresszor hulladékhő hasznosításának megengedhető beruházási költségének változása különböző paraméterek függvényében

Felhasznált irodalom:

1. Novák D, Hulladékhő hasznosítás lehetőségeinek elemzése (Diplomaterv), Budapest 2016.
2. Compressed Air and Gas Institute, „Heat recovery from industrial compressed air systems,” [Online]. Elérhető: <http://www.cagi.org/news/heatrecovery.pdf>.
3. Novák D, Kompresszorok hulladékhőjének hasznosítása, Energiagazdálkodás, ISSN 0021-0757, 57. évfolyam, 2016. 1-2. szám, 26-30. old.

12. Légcsereszám csökkentés – szellőző rendszereknél - dr. Zsebik Albin

Az energiaveszteség-feltárás során szoktam mondani, hogy a biztonságos és megbízható üzemvitel elsőbbséget élvez a költségmegtakarítással szemben.

Így van ez a légcseré esetében is. A szükséges légcserét az egészség védelme, károsodások elkerülése érdekében biztosítani kell.

Mindemellett a veszteségfeltárások során gyakran tapasztaltam, hogy a szellőző rendszerek folyamatosan a beépített teljesítményen üzemelnek. Akkor is, ha a munkacsarnokban, vagy laboratóriumban nem az a tevékenység folyik, mint amire a szükséges légcserét meghatározták, vagy a teremben a tervezett létszámtól kevesebben tartózkodnak.

Jelen példával azt mutatom be, hogy a légcsereszám csökkentése miként csökkenti a szellőztetés energiafelhasználását.

Már itt a bevezetőben arra hívom fel az olvasó figyelmét, - ha még így nem rögzítették, - hogy „ha 1/3 -dal csökkentjük a légcserét, 1/3-ára csökken a ventilátor teljesítményigénye, ezzel párhuzamosan az energiafelhasználása”.

12.1. A kiinduló helyzet

Egy festőműhelyben évente $\tau_v = 2500$ h/év üzemidőben a légcserét egy $P_1 = 10$ kW névleges teljesítményigényű villanymotorral hajtott ventilátor biztosítja. (A tartaléktartás miatt két azonos ventilátort építettek be.)

Megállapítottuk, hogy a ventilátor túlméretezett, a teremben a tervezettől eltérő tevékenységet folytatnak.

A kellő levegőminőség biztosításához 1/3-dal csökkenthető a légcseré.

12.2. Jobbító lehetőségek

A ventilátorhoz fordulatszám szabályozó illesztése, vagy a beépített ventilátorok közül az egyiknek kisebbre cserélése. (Ez utóbbi mutatkozott kedvezőbbnek.)

12.3. A várható megtakarítás meghatározása

A várható megtakarítást egyszerű energetika számításokkal annak feltételezésével határoztuk meg, hogy a kiinduló állapotban a légáram V_1 , m³/h. A biztosításához szükséges villamos teljesítményigény P_1 , kW, az üzemidő $\tau_v = 2500$ h/év, a villamosenergia referenciaára $k_v = 30$ Ft/kWh.

12.3.1. Az energiafelhasználás a kiinduló állapotban

A fenti adatokkal az energiafelhasználás:

$$E_1 = P_1 \cdot \tau_v = 10 \text{ kW} \cdot 2\,500 \frac{\text{h}}{\text{év}} = 25.000 \text{ kWh/év}$$

$$K_1 = E_1 \cdot k_v = 25.000 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} \cdot 30 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 750.000, - \text{Ft/év}$$

12.3.2. Az energiafelhasználás a ventilátorcsere után

Megállapításra került, hogy a légáram az eredeti 1/3-ával csökkenthető, tehát az elégséges légáram:

$$V_2 = V_1 - \frac{1}{3}V_1 = V_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{3}\right) = \frac{2}{3}V_1$$

Az affinitás törvénye szerint :

A ventilátor fordulatszámaival arányosan változik az általa szállított levegőáram:

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right) = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)$$

A ventilátor fordulatszámaának négyzetével arányosan változik az általa létrehozott nyomáskülönbség:

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \left(\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}\right)$$

A ventilátor fordulatszámaának köbével arányosan változik az általa felvett teljesítmény.

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Ezek alapján:

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^3$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3 = 10 \cdot \left(\frac{\dot{V}_1 - \frac{1}{3}\dot{V}_1}{\dot{V}_1}\right)^3 = 10 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^3 \approx 3 \text{ kW}$$

Tehát a megfelelő szellőztetés biztosítása érdekében a $P_1 = 10 \text{ kW}$ teljesítményű ventilátor helyett elegendő egy 3 kW-os teljesítményű beépítése.

Ezzel az energiafelhasználás:

$$E_2 = P_2 \cdot \tau_v = 3 \text{ kW} \cdot 2\,500 \frac{\text{h}}{\text{év}} = 7\,500 \text{ kWh/év}$$

$$K_2 = E_2 \cdot k_v = 7\,500 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} \cdot 30 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 225.000, - \text{Ft/év}$$

Mivel az affinitás, ill. az egyenesarány itt is érvényesül, a várható energiafelhasználás és költsége az alábbiak szerint is meghatározható:

$$E_2 = E_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^3 = 25.000 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} \cdot 0,3 = 7\,500 \text{ kWh/év}$$

$$K_2 = K_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^3 = 750.000 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} \cdot 0,3 = 225.000, - \text{Ft/év}$$

12.3.3. A várható megtakarítás

A fentiek alapján a segédzivattyú alkalmazása esetén a várható megtakarítás a fűtési idényben:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = 25.000 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} - 7\,500 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} = 17.500 \frac{\text{kWh}}{\text{év}}$$

$$\Delta K = K_1 - K_2 = 750.000 \frac{\text{Ft}}{\text{év}} - 225.000 \frac{\text{Ft}}{\text{év}} = 525.000, - \frac{\text{Ft}}{\text{év}}$$

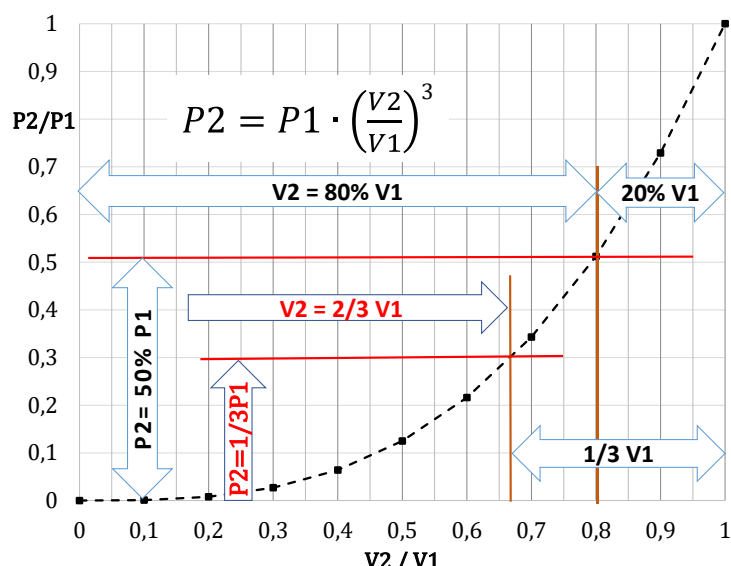
Illetve:

$$\Delta E = E_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^3\right) = 25.000 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} \cdot (1 - 0,3) = 17.500 \frac{\text{kWh}}{\text{év}}$$

$$\Delta K = K_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^3\right) = 750.000 \frac{\text{Ft}}{\text{év}} \cdot (1 - 0,3) = 525.000, - \frac{\text{Ft}}{\text{év}}$$

12.4. A légszere csökkentésének haszna - általánosan

A 12.I. ábra a térfogatáram és teljesítmény arányok kapcsolatát mutatja. Az egyenesarány miatt az arányok a várható energia és költségmegtakarításokra is vonatkoztathatók.



12.I. ábra: A térfogatáram és teljesítmény arányok kapcsolata

Az ábra is mutatja, a bevezetőben tett megállapítás, nevezetesen, „ha 1/3 -dal csökkentjük a légcserét, 1/3-ára csökken a ventilátor teljesítményigénye”.

Az ábrán szemléltettük azt is, amikor 20 %-kal csökkentettük a légcserét, felére csökkent a villamos teljesítményigény, ehhez kapcsolódóan az energiafelhasználás és költsége.

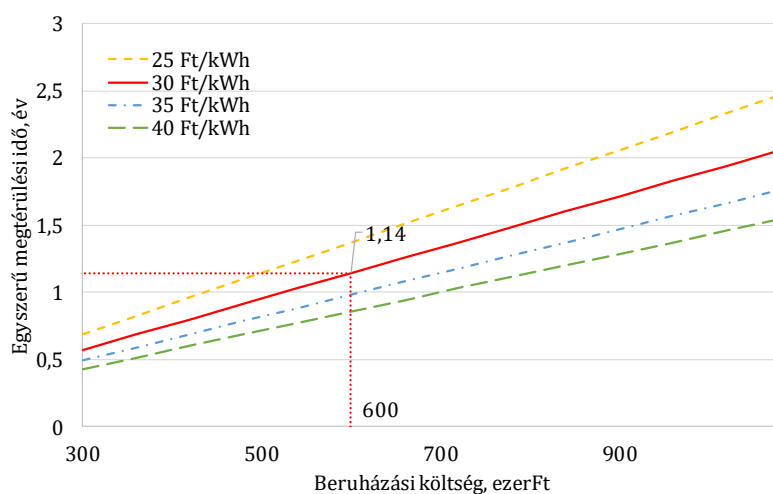
12.5. Érzékenységi vizsgálat

Az érzékenységi vizsgálatot az egyszerű megtérülési idő változására végezzük el és a 12.II. ábrán a beruházási költség függvényében szemléltetjük.

Elfogadjuk, hogy a villamosenergia megtakarítás évente ~17.500 kWh/év.

Változónak tekintjük

- c) az új kisebb teljesítményű ventilátor telepítésének költségét (becsült költségének közepes értéke 0,6,- MFt) valamint,
- d) a villamosenergia árát



12.II. ábra: Az egyszerű megtérülési idő változása új

13. Termálvíz ki nem használt hőjének hasznosítása fűtésre - dr. Zsebik Albin

Annak idején a Széchenyi Fürdő csurgalékvizei hőjének hőszivattyús hasznosítási ötletével kerestek meg. A csurgalékvíz hője hőszivattyúk által megemelt hőmérséklettel hasznosítható lett volna a Fővárosi Állat- és Növénykert épületeinek fűtésére. A javaslat megvalósítását azért nem támogattam, mert jobbnak tűnt a termálvíz hőjének közvetlen hasznosítása.

A történetet jelen kiadványban példaként azért tesszük közzé, mert előfordulhat, hogy az olvasók találkoznak hasonló, viszonylag egyszerűen megvalósítható esettel.

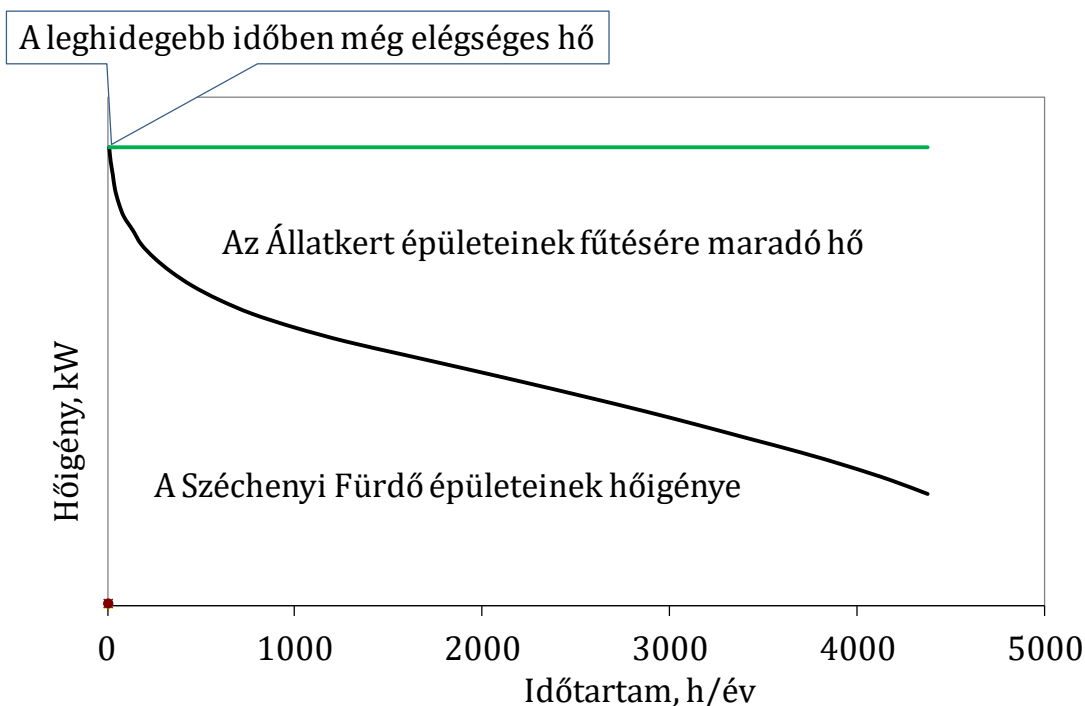
13.1. A kiinduló helyzet

A Széchenyi Fürdőt a $\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű termálvíz táplálja. Ahhoz, hogy a víz fürdésre alkalmas és a medencékbe engedhető legyen, léghűtőkkel az előírt hőmérsékletre kell hűteni. A fűtési idényben a víz hőjét a fürdő épületeinek fűtésére hasznosítják. Ez volt akadálya annak, hogy az Állatkert számára a termálvíz hőjét adják át. Helyette csak a csurgalékvíz hőjét ajánlották fel.

A témában érdekelt három társaság (Budapest Gyógyfürdői Zrt., Fővárosi Állat- és Növénykert és a FŐTÁV Zrt.) felsővezetésének képviselői 2009. év nyarán tárgyaltak a hőhasznosítás lehetséges módjairól és hoztak döntést a megvalósításra történő előterjesztésről. A megbeszélésen a csurgalékvíz, vagy a termálvíz hőjének hasznosítási feltételei és lehetőségei kerültek elemzésre. A Fürdő képviselői a megbeszélés kezdetén a csurgalékvíz hőjének hasznosítása mellett érveltek és elzárkóztak a termálvíz hőjének átadásától. Álláspontjukat azzal magyarázták, hogy nekik a termálvíz hőjére szükség van az épületek fűtésére.

Arra a kérdésemre, hogy a rendelkezésre álló hő a leghidegebb időben is elég az épületek fűtésére, igen volt a válasz. Ekkor rajzoltam fel az 13.1. ábrán látható tartamdiagramot, s mutattam rá arra, hogy ha a leghidegebb időben elég a termálvíz hője a fürdő épületeinek fűtésre, a magasabb hőmérsékleteknél rendelkezésre álló hő az Állatkert épületeinek fűtésére hasznosítható. Magyarázatomat még azzal a javaslatommal egészítettem ki, hogy a hőátadási szerződésben kell rögzíteni a Fürdő épületei fűtésének előnybe részesítését. A csatlakozást úgy kell kialakítani, hogy az előnybe részesítés egyszerű szabályozással megvalósítható legyen.

Az érveket a jelenlevők elfogadták, s úgy döntöttünk, hogy a jelentős mértékben drágább hőszivattyús rendszer helyett megvalósításra a termálvíz hőjének közvetlen hasznosítását terjesztjük elő.



13.I. ábra: A rendelkezésre álló hő és megosztási lehetőségének szemléltetése

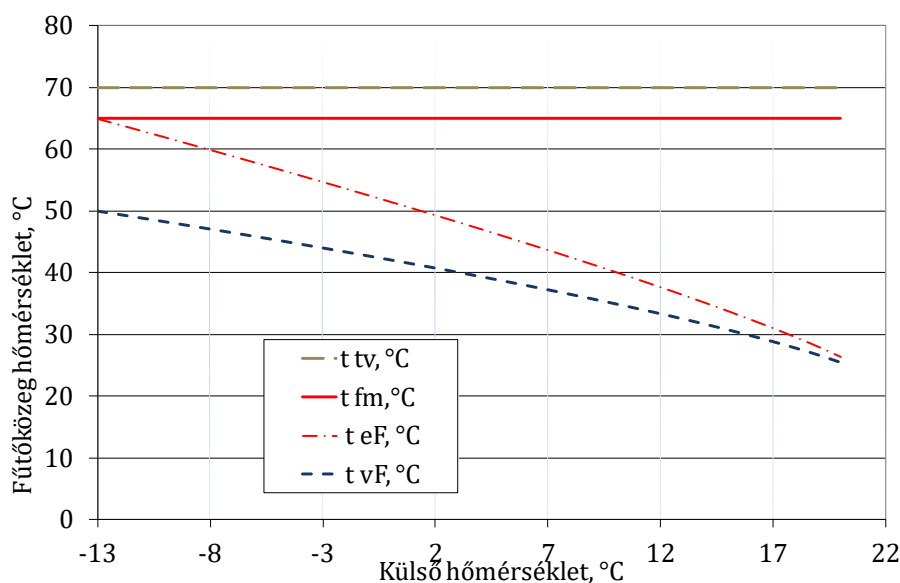
13.2. Energetikai számítások

A rendelkezésre álló hőt, - általános helyzetet és a továbbiakban egy Állatkert néven feltételezett fogyasztót kiinduló alapul véve, - egyszerű energetikai számításként a fűtési idényre határozzuk meg. Feltételezzük, hogy a termálkútból $60 \text{ m}^3/\text{h}$ $t_{tv}=70^\circ\text{C}$ hőmérsékletű víz termelhető ki. Ezt a vizet kell, ill. lehet $t_{hv}=40^\circ\text{C}$ hőmérsékletűre lehűteni. Vízzel történő hűtést és a hűtésnél a hőcserélőn a hűtőközeg és a hűtött közeg között $\Delta t=5^\circ\text{C}$ hőmérsékletkülönbséget feltételezünk. Így a fűtésre rendelkezésre álló víz hőmérséklete $t_{fm}=65^\circ\text{C}$ lesz.

A termálvízből a hűtéssel elvonandó hő:

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{tv} - t_{hv}) = \frac{60}{3600} \cdot 1000 \cdot 4,2 \cdot (70 - 40) = \mathbf{2100 \text{ kW}}$$

Az elvonandó hőből fűtésre hasznosítható rész a fűtési rendszer függvénye. Tételezzük fel, hogy a minél nagyobb mértékű hasznosítás érdekében a fűtési rendszert a Fürdőben $65/50^\circ\text{C}$ névleges hőmérsékletkülönbségre tervezték. Ezáltal a Fürdő fűtési rendszerében előremenő, t_{eF} és visszatérő víz, t_{vF} hőmérséklete $t_{km}=-13^\circ\text{C}$ külső és $t_{bm}=22^\circ\text{C}$ átlagos belső méretezési hőmérséklet feltételezésével a külső hőmérséklet függvényében a 13.II. ábra szerint fog változni. A termálvíz hőmérséklete és a fűtésre rendelkezésre álló hőmérséklet a külső hőmérséklettől függetlenül változatlan marad.



13.II. ábra: A rendelkezésre álló, a Fürdő előremenő és visszatérő fűtővíz hőmérsékletének változása

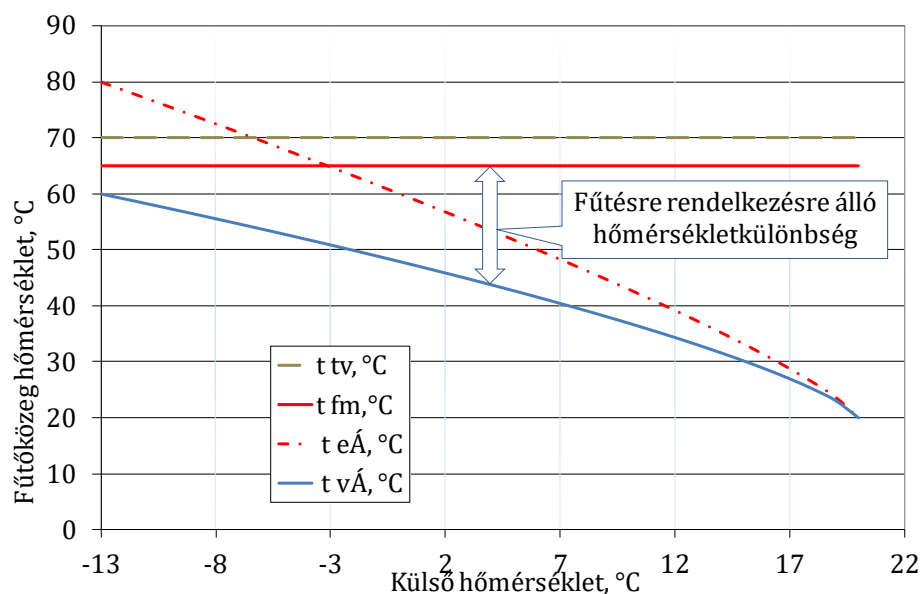
A méretezési külső levegőhőmérsékletnél termálvízből a 65/50°C névleges hőmérsékletű fűtési rendszerrel elvonható hő:

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{tv} - (t_{vF} + \Delta t)) = \frac{60}{3600} \cdot 1000 \cdot 4,2 \cdot (70 - (50 + 5)) = \mathbf{1050 \text{ kW}}$$

Ez viszonylag nagy teljesítmény, meghaladja a Fürdő épületeinek mindösszesen $Q_F \approx 500 \text{ kW}$ hőszükségletét (a méretezési külső levegőhőmérsékletnél a hőigényét). A 8-I. ábrán levő tartamdiagramot szem előtt tartva a rendelkezésre álló hővel nemcsak kielégíthető a Fürdő teljes hőigénye, hanem jelentős mennyiségű hő áll rendelkezésre egyéb hasznosításra.

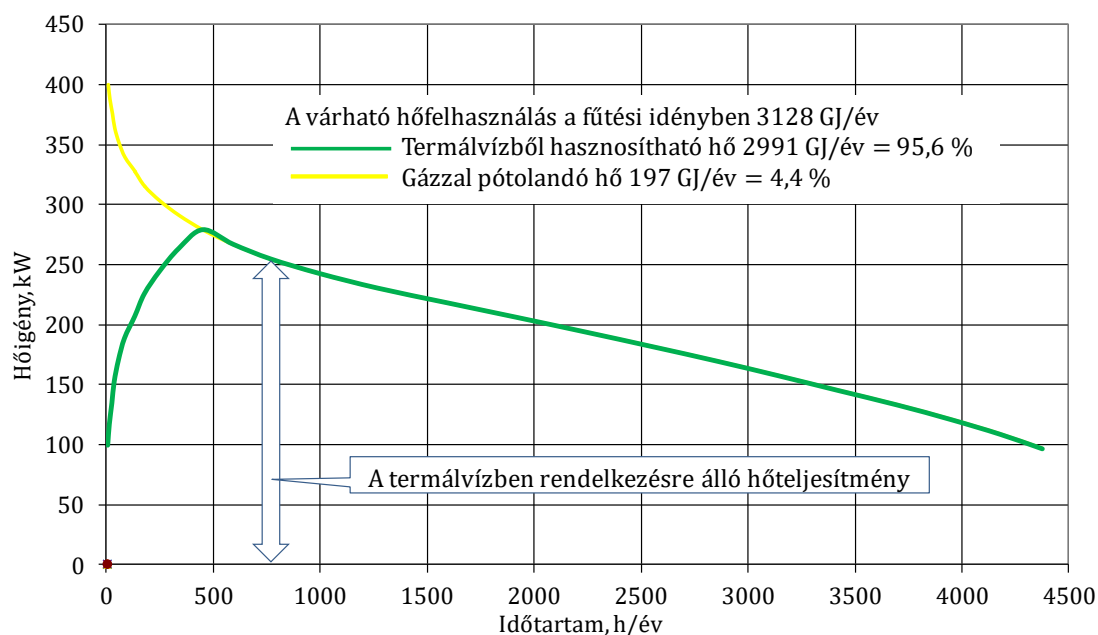
Az egyéb hasznosításra, többek között az Állatkert fűtésére hasznosítható hőnek a fűtési rendszerről visszatérő víz és a fűtésre rendelkezésre álló víz hőmérséklete szab határt. A fűtési rendszer 80/60 °C névleges hőmérséklettel lett kialakítva, a projekt megvalósítása előtt a hőt földgáz tüzelésű kazánokban termelték. A számításainkban azt feltételezzük, hogy a rendszerre csatlakoztatott épületek hőszükséglete $Q_A \approx 400 \text{ kW}$. Mivel a méretezési hőmérsékletnél a visszatérő víz hőmérséklete $t_{vA} = 60^\circ \text{C}$, a hőátvitelhez feltételezett $\Delta t = 5^\circ \text{C}$ hőmérsékletkülönbségre tekintettel a 70 °C hőmérsékletű termálvízzel a fűtővíz hőmérsékletét csak 65°C hőmérsékletre lehet emelni. A 400kW hőszükséglet ez esetben a termálvizes kooperációban úgy lesz kielégítve, hogy a $\sim 4,76 \text{ kg/s}$ tömegáramú vizet 65°C-ra előmelegíti a termálvíz, a maradó hőmérsékletemelést elvégzik a földgáz kazánok. Így a termálvízzel a méretezési külső levegőhőmérsékletnél a hőszükséglet egyengyed része $\sim 100 \text{ kW}$ kerül kielégítésre.

A 13.III. ábra a fűtésre rendelkezésre álló, valamint az Állatkerti előremenő és visszatérő fűtővíz hőmérsékletének feltételezett változását mutatja a külső levegő hőmérséklet függvényében.



13.III. ábra: A rendelkezésre álló, az Állatkerti előremenő és visszatérő fűtővíz hőmérsékletének változása

A 13.IV. ábra a fűtésre rendelkezésre álló, valamint az Állatkerti előremenő és visszatérő fűtővíz hőmérsékletének változását mutatja a külső levegő hőmérséklet függvényében.



13.V. ábra: Az Állatkert hőigényének tartamdiagramja a termálvíz hasznosított hőjének szemléltetésével

A tartamdiagram alapján megállapítható, hogy miközben a méretezési külső levegőhőmérsékletnél termálvízzel a hőszükséglet mindössze egynegyede elégíthető ki, a fűtési idényben a hőigény közel 96 %-a.

13.3. Gazdasági számítások

A 13.V. ábra mutatja, hogy egy átlagos év fűtési idényében a termálvíz hőjével 2991 GJ/év hő elégíthető ki. A beépített kazánok hatásfokát 95 %-ra feltételezve ez 3148 GJ/év földgázegyenértékkel megegyező. 3200 Ft/GJ referencia földgázzal számolva a megtakarítás ~10 MFt/év. Az elsősorban távhővezeték, hőcserélőket és keringtető szivattyút tartalmazó rendszer gazdasági élettartamát 25 évre, a minimális elvárt hozamot 5%-ra feltételezve a megengedhető beruházási költséget meghatároztuk. A feltételezett gazdasági élettartam és a MARR figyelembevételével meghatározzuk az állandó sorozat, jelenérték tényezőjét, azaz azt a szorzót, ami a további számoláshoz szükséges:

$$USPW = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0,05)^{25} - 1}{0,05(1+0,05)^{25}} = 14,09$$

Az egyenletes ütemezésben jelentkező, azonos pénzösszegek jelen időpontra vonatkozó értéke, azaz a megváltoztatott rendszer beruházásának az elvárásokat teljesítő megengedhető költsége:

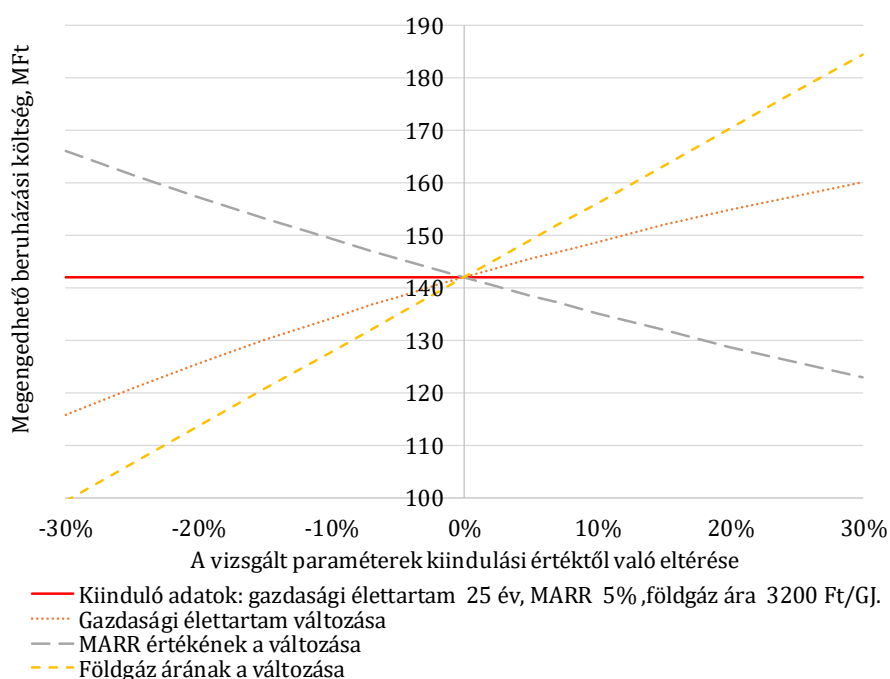
$$P_{25 \text{ év}, 5\%} = A \cdot USPW = 10,000.000 \cdot 14,09 \approx 141, -MFt$$

A megengedhető beruházási költség a fentiek szerint ~141,- MFt

13.4. Érzékenységi vizsgálat

Az érzékenységi vizsgálatot a megengedhető beruházási költségre végeztük el.

Az alaphelyzetnek feltételezett kiinduló adatok az 13.VI. ábrán láthatók.



13.VI. ábra: A megengedhető beruházási költség költség érzékenysége a meghatározó paraméterek változására

14. Termálvíz ki nem használt hőjének hasznosítása hűtésre

- dr. Zsebik Albin

A közel 10 évvel ezelőtt üzembehelyezett 250 kW névleges hűtőteljesítményű napenergiás fűtési és hűtési rendszer² üzemviteli tapasztalatait az Energiagazdálkodás szakfolyóirat 2010. évi 2. számában tettük közzé [1]. A viszonylag alacsony hőmérsékletű vízzel (a hűtés 65 °C hőmérsékletű vízzel már megindul, 70 °C-nál névleges teljesítményen 0,7 teljesítménytényezővel üzemel) történő hűtés jó tapasztalatai ösztönöztek az alábbiak leírására, a termálvíz hőjének abszorpciós hűtőgépek hajtására történő hasznosítására.

14.1. A kiinduló helyzet

A Széchenyi Fürdőben a vízkivételi engedély ~3600 m³/nap (150 m³/h). A kútfejen a víz hőmérséklete 75 – 77 °C. Ezek az értékek kicsit magasabbak az előző ötletlapon általánosnak tekintett 60 m³/h, 70 °C-hoz képest, de megnyugtatóak a hő hűtésre történő hasznosítása szempontjából.

A tervek szerint a múzeumnegyed hűtését a városligeti jégpálya hűtőberendezéseivel és a hozzá illesztett korszerű hűtőberendezéssel tervezik megoldani.

„Egy változat nem változat” szoktam mondani, nézzük meg, milyen műszaki lehetőségekkel és gazdasági eredményekkel lehetne a tervezett hűtési rendszerhez illeszteni a termálvíz hőjével történő hűtést.

14.2. Javasolt megoldás – egyszerű energetikai számítások

Helyezzünk el a Fürdő gépházában, (nehezen beilleszthető, de szép tervezői kihívás), vagy a Fürdő mellett egy abszorpciós hűtőberendezést. A jelenlegi léghűtőkhöz integráljuk az abszorpciós hűtőberendezés hűtőit. A rendelkezésre álló hő meghatározásához 150 m³/h kitermelés helyett tartalékot képezve feltételezzünk 120m³/h, a termálvíz és a hűtőberendezésben keringetett lágyvíz közötti $\Delta t_{\text{tl}}=5^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletkülönbséggel számolt $t_{\text{lv}}=70^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű vízáram rendelkezésre állását.

Tételezzük fel továbbá, hogy a hűtött vizet a jelenlegi tervekkel összhangban földbefektetett szigetetlen műanyag elosztóvezetéken vezetik a hűtendő helyiségekhez és vissza.

A hűtőberendezés hajtását végző víz lehűlését óvatosan kezelve tekintsük szintén $\Delta t_{\text{ev}}=5^{\circ}\text{C}$ -nak. Ezekkel az értékekkel a termálvízből hűtésre hasznosítható hő

² A XVIII. Magyar Innovációs Nagydíj bírálóbizottsága a projektet kiemelt elismerésben részesítette.

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_{ev} = \frac{120}{3600} \cdot 1000 \cdot 4,2 \cdot 5 = \mathbf{700 \text{ kW}}$$

0,7 teljesítménytényezővel számolva a hűtőberendezés elérhető hűtőteljesítmény:

$$Q_h = 490 \text{ kW}$$

(Ez kis hányada a Liget projekt esetében tervezett 7 MW hűtőteljesítménynek, de megfontolandó hasznosítása, ha azt számoljuk, hogy egyébként a termálvizet léghűtőkkel kell lehűteni.)

Évi $\tau_{hcs}=1500$ h csúskihasználási órászámmal számolva az előállított hideg energia:

$$Q = Q_h \cdot \tau_{hcs} = 735.000 \text{ kWh/év}$$

Tételezzük fel, hogy az abszorpciós hűtőgép egy viszonylag korszerű, átlagosan 4 teljesítmény tényezőjű kompresszoros hűtőgépet váltana ki. Ennek figyelembevételével a termálvizes hűtéssel évente:

$$\Delta E = \frac{Q}{4} = \frac{735.000}{4} = 184.000 \text{ kWh/év}$$

villamosenergiát lehetne megtakarítani.

14.3. Gazdasági számítások

A gazdasági elemzés kiinduló adataként tekintsük az $\Delta E=184$ MWh/év villamosenergia megtakarítást és a villamosenergia árának várható növekedésére tekintettel a $k_e = 30$ Ft/ kWh villanyárat. Ezzel a várható villamosenergiaköltség-megtakarítás:

$$\Delta K = \Delta E \cdot k_e = 184 \cdot 30.000 = 5.520.000, -\frac{Ft}{év}$$

A hűtőberendezésből, a hozzá tartozó hőcserélékből és léghűtőből, valamint a földbe fektetett elosztóhálózatból és egyéb berendezésekből álló rendszer gazdasági élettartamát 10 évre, a minimális elvárt hozamot, MARR=5%-ra feltételezve meghatározzuk, mennyi lehet a termálvizes hűtőrendszer megengedhető többletberuházási költsége a tervezett kompresszoros hűtőberendezés beruházási költségéhez képest.

A feltételezett gazdasági élettartam és a MARR figyelembevételével az állandó sorozat, jelenérték tényezője

$$USPW = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0,05)^{10} - 1}{0,05(1+0,05)^{10}} = 7,72$$

Ezzel a megengedhető többletberuházási költség

$$\Delta P_{10 \text{ év}, 5\%} = A \cdot USPW = 5,520.000 \cdot 7,72 \approx \mathbf{42.6, -MFt}$$

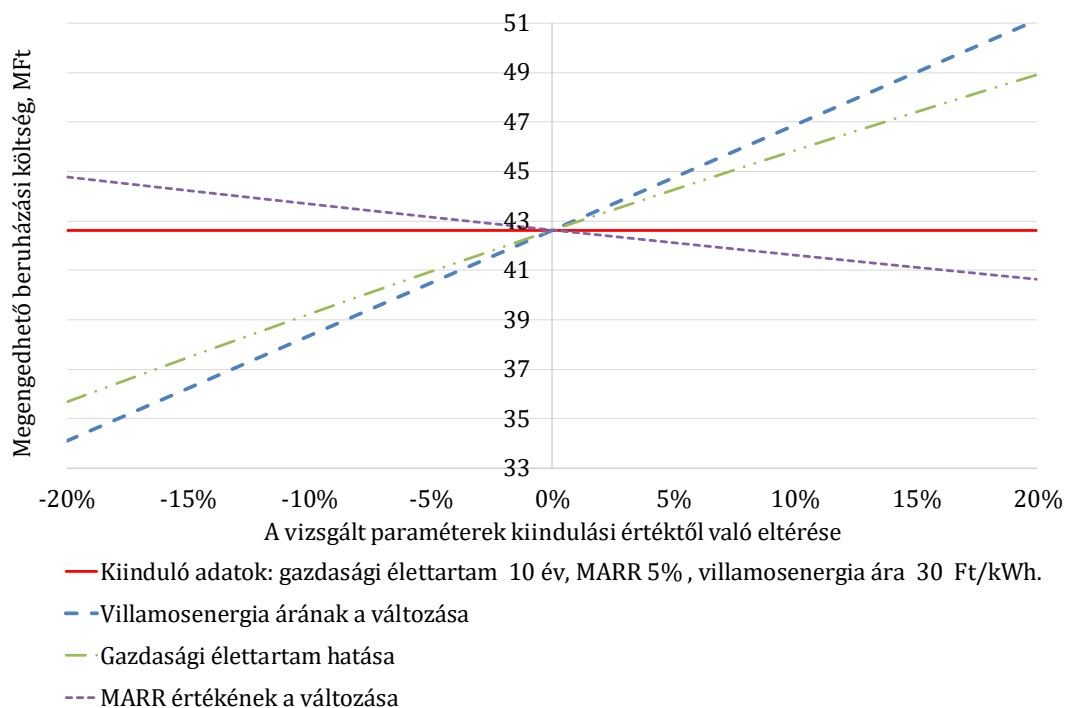
MARR = 10 % esetén a megengedhető többletberuházási költség

$$\Delta P_{10 \text{ év}, 10\%} = A \cdot USPW = 5,520.000 \cdot 6,14 \approx \mathbf{33.9, -MFt}$$

14.4. Érzékenységi vizsgálat

A megengedhető többletberuházási költség érzékenységét a villamosenergia árának változására (ezzel megegyezően változik a várható energiamegtakarításra) a gazdasági élettartamra és a MARR változására vizsgáljuk meg.

Az alaphelyzetnek feltételezett kiinduló adatok az 14.I. ábrán láthatók.



14.I. ábra: A megengedhető beruházási költség érzékenysége a meghatározó paraméterek változására

Hivatkozott források:

[1] Zsebik A., Csata Zs., Torma J., Váradi Sz., Moumoulidis, I.: Fűtési és hűtés napenergiával. Energiagazdálkodás. 51. évf. 2010. 2. sz. 3-8. old.

15. Fűtési rendszer korszerűsítése -

Orbán Tibor, dr. Zsebik Albin

Napjainkban (2018-ban), amikor a közel nulla energiaigényű, okos és intelligens épületek építését tűzzük ki célul felvetődhet az olvasóban a kérdés, miért foglalkozunk az ötletlap keretében a fűtésekszerűsítéssel. A válasz erre a kérdésre az, hogy azért, mert még mindig aktuális. 25 évvel ezelőtt, amikor egy város távfűtött épületeit termovíziós kamerával azért fényképeztük le, hogy a korszerűsítéshez rangsoroljuk őket, vagy 18 évvel ezelőtt, amikor a SOLANOVA projektet [1] terveztük mi sem gondoltunk arra, hogy ennyi év után még erről kell írni, de úgy véljük, túl sok épületben és lakásban korszerűtlen a fűtési rendszer ahhoz, hogy ezt elhallgassuk.

Ezúton hívjuk fel ismét (lásd [2] és [3]) a mérnök és építész kollégák, s ha eljut hozzájuk, a döntéshozók figyelmét, hogy Magyarországon még napjainkban is legalább 200 000 korszerűtlen fűtési rendszerrel rendelkező távfűtött lakás és - feltételezésünk szerint - ugyanennyi központi fűtésű társasház van. Ezek korszerűsítésének „ösztönzését, vagy támogatását” az okos mérés (okos költségmegosztás) bevezetése elé kellene sorolni, vagy azzal párhuzamosan ütemezni.

Az alábbi számításokat egy belvárosi központi fűtéses lakás adataival végezzük, de tekintettel arra, hogy ennek egy lakásra eső energiafogyasztása különösen nagy, a gazdasági értékelést a fogyasztás felére és egyharmadára is elvégezzük, ez utóbbi értékek közelebb vannak a távfűtött épületekben levő, kisebb méretű lakások fogyasztásához. A megtakarítás alapjául a FŐTÁV Zrt. által korábban, az ÖKO+ program keretében támogatott 56 000 lakás fűtésének korszerűsítését követő tényleges megtakarítást vesszük.

15. 1. A kiinduló helyzet

Budapest belvárosában van a számítás alapjául szolgáló ötszintes, 30 lakásos épület.

Az épület tetőterében van a kazánház, amelynek vezetékei az alsó elosztású szabályozatlan fűtési rendszerhez csatlakoznak. Az épület négy év átlagos földgázfelhasználásából képzett külső hőmérséklet szerint korrigált fűtési hőfelhasználásának bázisértéke $Q = 3000 \text{ GJ/év}$.

15. 2. Javasolt megoldás – egyszerű energetikai számítások

A fűtési rendszer korszerűsítését az egykori ÖKO program szerint feltételezzük. A FŐTÁV Zrt. honlapja [4] a következőképpen ismertette az ÖKOPlusz program eredményeit: A „program célja volt a fővárosi távfűtéses rendszerek egyedi szabályozásának megvalósítása, a költségosztás létrehozásának támogatása. Az ÖKOPlusz program pályázati kiírása két részletben zajlott le 2008. február 1-től 2009. június 30-ig és 2009.

december 1-től 2010. szeptember 30-ig. Budapesten közel 56 000 lakásban nyílt lehetőség a fűtés szabályozására, az energiafelhasználás hatékonyabbá tételére és a fűtési költségek csökkentésére. A fűtésekszerősítési munkákat követően 408 épület esetében közel 18,4% megtakarítást értek el a Lakóközösségek.” Ez a megtakarítás összhangban van a vidéki városokban elvégzett fűtésekszerősítési eredményekkel. Ez alapján az alábbiakban **a fűtésekszerősítéssel elérhető megtakarítást 18 %-nak feltételezzük.**

Az egy lakásra jutó fűtési energiafelhasználás a fentebb ismertetettetekre tekintettel legyen 100, 50, ill. 33 GJ/év. A fűtésekszerősítéssel elérhető megtakarítás

$$\Delta Q = 100 \cdot 18\% = 18 \frac{\text{GJ}}{\text{év}}, 50 \cdot 18\% = 9 \frac{\text{GJ}}{\text{év}}, \text{ ill. } 33 \cdot 18\% = 6 \frac{\text{GJ}}{\text{év}}$$

15. 3. Gazdasági számítások

A gazdasági elemzés kiinduló adataként tekintsük fenti megtakarítást, ami egy 3000 Ft/GJ referencia bruttó árral számolva (a mai I. árkatégória szerinti nettó ár 2256 Ft/GJ, ennek bruttó értéke 2865 Ft/GJ).

$$\Delta E = 18 \cdot 3000 = 54.000,- \text{ Ft/év}, 9 \cdot 3000 = 27.000,- \text{ Ft/év. ill. } 6 \cdot 3000 = 18.000,- \text{ Ft/év}$$

A beépített rendszerelemek gazdasági élettartamát 10 évre, a minimális elvárt hozamot, MARR=5%-ra feltételezve meghatározzuk, mennyi lehet a korszerősítés megengedhető beruházási költsége. A feltételezett gazdasági élettartam és a MARR figyelembevételével az állandó sorozat, jelenérték tényezője

$$USPW = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0,05)^{10} - 1}{0,05(1+0,05)^{10}} = 7,72$$

Ezzel a megengedhető beruházási költség:

$$\Delta P_{10 \text{ év}, 5\%} = A \cdot USPW = 54.000 \cdot 7,72 \approx 416.800, -\text{Ft}$$

$$\Delta P_{10 \text{ év}, 5\%} = A \cdot USPW = 27.000 \cdot 7,72 \approx 208.440, -\text{Ft, ill.}$$

$$\Delta P_{10 \text{ év}, 5\%} = A \cdot USPW = 18.000 \cdot 7,72 \approx 138.960, -\text{Ft.}$$

A megengedhető beruházási költség MARR = 10 % esetén:

$$\Delta P_{10 \text{ év}, 10\%} = A \cdot USPW = 54.000 \cdot 6,145 \approx 331.830, -\text{Ft}$$

$$\Delta P_{10 \text{ év}, 10\%} = A \cdot USPW = 27.000 \cdot 6,145 \approx 165.915, -\text{Ft, ill.}$$

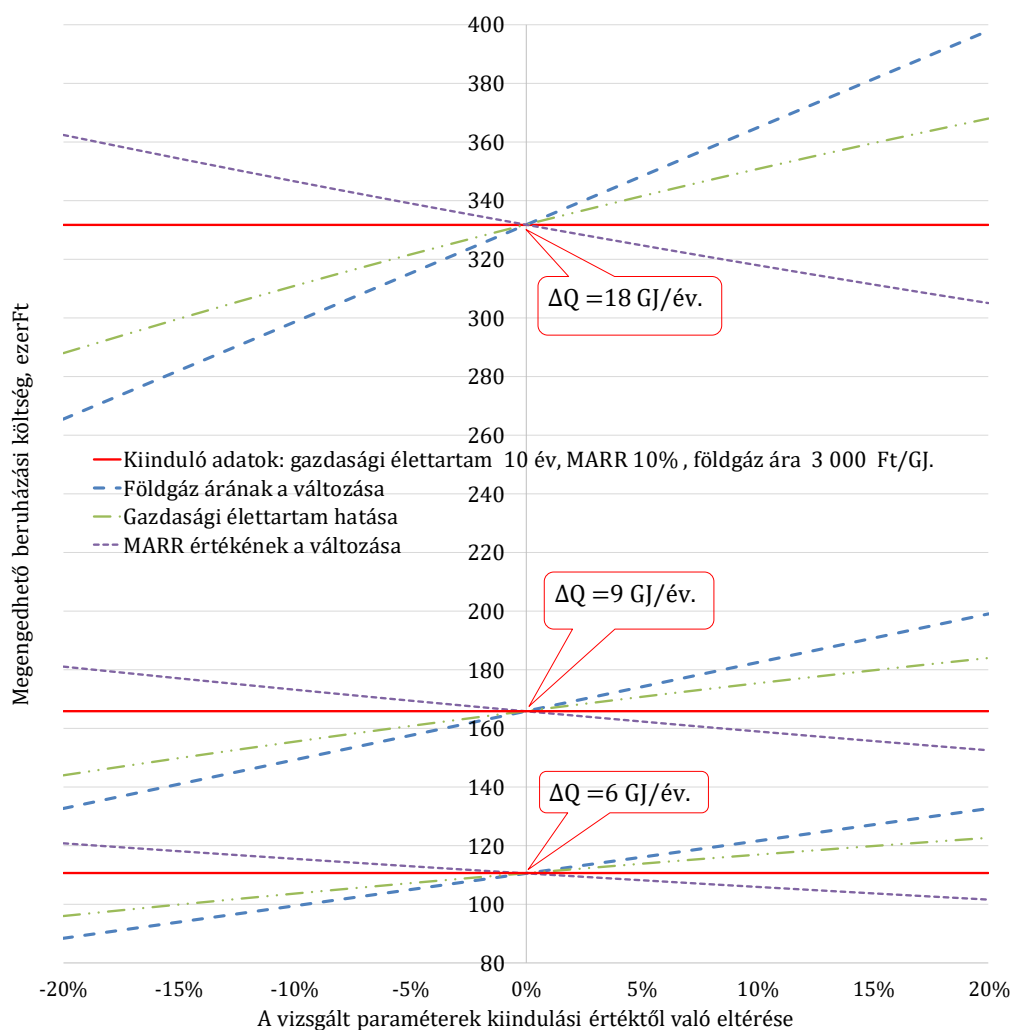
$$\Delta P_{10 \text{ év}, 10\%} = A \cdot USPW = 18.000 \cdot 6,145 \approx 110.610, -\text{Ft.}$$

A fenti számok a jelenlegi kamatok mellett biztatóak, a korszerősítésre a megfelelő ösztönzőket kellene mielőbb megkeresni.

15. 4. Érzékenységi vizsgálat

A megengedhető beruházási költség érzékenységet a földgáz árának változására (ezzel megegyezően változik a várható energiamegtakarítás) a gazdasági élettartamra és a MARR változására a fenti mindhárom esetre megvizsgáljuk.

Az alaphelyzetnek feltételezett kiinduló adatok a 15.I. ábrán láthatók.



15.I. ábra: A megengedhető beruházási költség érzékenysége a meghatározó paraméterek változására

15. 5. Országos kitekintés

Ha a bevezetőben említett, a belső hőmérsékletet még mindig az „ablak nyitásával” szabályozott 200 000 távfűtött lakás fentebb meghatározott legkisebb (6GJ/év) energiamegtakarítási lehetőségével számolunk, a fűtésekszerűsítés országos szinten 1,2 PJ/év megtakarítást eredményezne. Ha 200 000 nem távfűtött társasházi lakás esetén a 18 GJ/év megtakarítási lehetőséget vesszük számba, ez már az előző háromszorosát, 3,6 PJ/év megtakarítást jelentene. Nem mindegy, hogy élünk-e az országos szinten mindösszesen 4,8 PJ/év megtakarítási lehetőséggel.

Az ötletlapot olvasó Kollégáknak javasoljuk, ki-ki a saját munkakörében gondolja át, hogyan járulhat hozzá e megtakarítási lehetőség kihasználásához.

Hivatkozott források:

- [1] Zsebik A.-Csata Zs.: Negyedére csökkentettük az energiafelhasználást – a SOLANOVA projekt. Energiagazdálkodás, 51. évf. 2010. 1. szám 17-27. old.
- [2] Zsebik A.: Mit támogassunk. Energiagazdálkodás. 54. évf. 2013. 3. sz. 28. old.
- [3] Zsebik A.: A rangsor. Energiagazdálkodás. 54. évf. 2013. 3. sz. 27. old.
- [4] <http://www.fotav.hu/lakossagi-ugyfelek/korszerusites/okoplusz-megtakaritasok/> ,
letöltve 2013. május

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | NÉMETH András, MILÁVECZ Richárd | Iparban használatos vízminőségek |
| 2. | DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István | Mérések a gáziparban |
| 3. | DR. BARNÁ Lajos, EÖRDÖGHÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTHÓ Zoltán, DR. BALLA József | A biztonságos ivóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei |
| 4. | BORBÁS Lajos Dr. | Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben |
| 5. | BERENCSI Miklós, BERECZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina | Kerékpárosbarát közlekedéstervezés |
| 6. | TÜDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András | A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet) |
| 7. | DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András | Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal |
| 8. | KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó | A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv |

2018.

- | | | |
|-----|---|---|
| 9. | BLAZSOVSZKY László | A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai |
| 10. | CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter | Orvostechológiai továbbképzés ismeretanyaga |
| 11. | NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza | A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és ütügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer |
| 12. | DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta | Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet) |
| 13. | DR. SZILÁGYI Zsombor | Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók |
| 14. | S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté | Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével |