

A hőszivattyúk összehasonlító paramétere – II. rész

Valószínűsíthetően és a gyakorlati tapasztalatok alapján is kijelenthető, hogy a COP_H -független bevizsgálások sok esetben nem hozták az elvárható SCOP-értékeket. Írásunk azt elemzi, hogy mely tényezők ennek okai, hiszen az elvárható SCOP-érték megvalósulása a hőszivattyú oldaláról csak egyetlen paraméter, a COP_H függvénye. A cikkben részletezett hűtési kör-folyamaton belüli hiányosságok, rontó tényezők egyértelmű kimutatására, és így az egyes hőszivattyúk műszaki-hatékonysági összehasonlítására egyértelműen csak a COP_{cyc} -érték alkalmas.

Bevezetés

Írásom első részében igyekeztem rávilágítani, hogy a COP_{cyc} -paraméterek megkövetelése átlátható, mérhető feltételeket teremtené a gyártók számára a jelenlegi áttekinthetetlen, bonyolult és valójában nem mérhető η_s szezonális helyiségfűtési hatásokhoz képest, amelyet az energiacímkéken – a hőszivattyúra vonatkozó összehasonlító adatként – a 811/2013/EU, valamint az 55/2016. (XII. 21.) NFM-rendelet értelmében fel kell tüntetni.

Elméleti és gyakorlati tapasztalataim alapján ajánlást tettem arra vonatkozóan, milyen szabványelőírások kellenének ahhoz, hogy növelni lehessen a hőszivattyús rendszerek SCOP-értékeit.

1. A gyártóknak a valós és átlagos COP_{cyc} -értékeket kellene mérni és megadniuk a hőszivattyúk műszaki adataiban. A bevizsgálást a működési tartományban legalább három elpárolgási és két kondenzációs hőfokszintre (ez összesen hat paraméter) kellene elvégezni.

2. Az energiacímkéken az η_s értéke helyett a mérhető és tanúsítható COP_{cyc} -értékeket kellene megadni. A hőszivattyúk összehasonlító értékelését a COP_{cyc} -érték alapján egzakt módon el lehetne végezni. Az $SCOP_{net}^1$ számítását a hőszivattyú ezen egyetlen paramétere befolyásolja.

3. A hőszivattyús rendszerekhez minden esetben rendszertervet kellene megkövetelni a rendszer tervezőjétől, amelybe egyértelműen beletartozik a szonda-, ill. kollektortervezés és az $SCOP_{net}$ -érték számítása.

4. A hőszivattyús rendszer tervezőinek akkreditált oktatáson kellene részt venniük.

Valószínűsítem, hogy a hőszivattyús készülékek tervezésében jártassággal nem rendelkező, hőszivattyús rendszereket tervező, forgalmazó mérnök kollégák, jogalkotók a fenti ajánlást összefüggéseiben nem megfelelően értelmezik.

E cikk keretében szeretném részletesebben megmutatni, mit jelent és milyen kritériuma van a valós összehasonlításra alkalmas COP_{cyc} hőszivattyús paraméter meghatározásának. Mennyiben igaz az, hogy az $SCOP_{net}$ számítását ezen egyetlen paraméter befolyásolja. Miért lenne szükséges több pontra megadni a COP_{cyc} -értéket?

Miért szükséges a rendszerterv, és miért nem lehet különválasztani a hőszivattyús hőközpont tervezését a szondatervezéstől? Miért tarthatatlan az a szabályozás, amely a szonda-rendszerek tervezését geológusokra kívánja hárítani?

A hőszivattyúk COP-értéke

Amikor hőszivattyúk vonatkozásában COP-értékről beszélünk, már minden szakmailag érintett tisztában van az értelmezésével.

$$COP = \frac{\text{Hasznos teljesítmény (kW)}}{\text{Teljesítményfelvétel (kW)}}$$

Látható, hogy ez az érték egy pillanatnyi, adott hőfokszinteken megvalósuló érték. Egyértelmű, hogy COP-értéket értelmezni csak úgy lehet, ha meghatározzuk a hozzá tartozó hőfokszinteket is.

Kevés alkalommal láttam azt hangsúlyozni, hogy a hőszivattyúk kompresszorára vonatkozóan egy adott elpárolgási és kondenzációs hőfokszintre gyárilag megadott COP-érték

és a hőszivattyúk COP-értéke lényegesen különböző érték, mert más-más hőfokszintre vonatkozik.

A kompresszorok COP-értékére vonatkozóan mindig a hűtőkör-folyamat elpárolgási és kondenzációs hőfokszintjeihez tartozó COP-értéket adja meg a gyártó.

A hőszivattyúk COP-értékénél azonban a talajból feljövő folyadék, valamint az előremenő fűtővíz hőmérsékletéhez tartozó értéket értjük.

A különböző értékekre vonatkozóan nézzünk egy példát:

Nézzük meg egy Copeland ZH14K1P-TFM R410A kompresszor COP-értékét az (-6,2 °C) elpárolgási és 35,7 °C kondenzációs hőfokszinten. Ennek megfelelően a kompresszor $COP_k=4,7$. A táblázatban sárga színnel jelölt értékek a kompresszorra vonatkozó gyári adatok. Látható, hogy a (-6,2 °C)/35,7 °C elpárolgási/kondenzációs hőfokszinten a kompresszor kimenő teljesítménye ~14,1kW, $COP=4,7$.

Hogy lesz ebből a kompresszorból folyadék-víz hőszivattyú? Úgy, hogy rendelünk hozzá folyadék- és víztömegáramot, majd választunk hozzá elpárolgatót és kondenzátort.

Az elpárolgató és kondenzátor méretezése után igaz, hogy a hőszivattyú COP_H -értéke 4,7 marad, de lényegesen kisebb hőfokkülönbség mellett, azaz 0 °C/35 °C folyadék-víz hőfokszinteken².

A tesztlaborokban mérhető COP_H -értékek gyári megadása miért nem volt elégséges a hőszivattyús rendszerek SCOP-értékének biztosításához? Valószínűsíthetően és a gyakorlati tapasztalatok alapján is kijelenthető, hogy a COP_H független bevizsgálásai sok esetben nem biztosították az elvárható SCOP-értékek megvalósulását. A továbbiakban azt elemezzük, hogy mely tényezők ennek okai, hiszen az elvárható SCOP-érték megvalósulása a hőszivattyú oldaláról csak egyetlen paraméter, a COP_H függvénye.

¹ Nettó szezonális jóságfok.

² A hőfokszintek nélkül megadott, valamint a beépített kompresszorra vonatkozó COP-adatok megadása félrevezető.

Földoldali adatok					Készülék adatai				Fűtésoldali adatok					
ELT (°C)	Párolg. hőm. (°C)	Térfogat-áram (l/min)	LLT (°C)	Δt (°C)	Elpárolg. telj. (kW)	Elektr. telj. igény (kW)	Amp (A)	Fűtési telj. (kW)	COP	EWT (°C)	Térfogat-áram (l/min)	LWT (°C)	Δt (°C)	Kond. hőm. (°C)
3,6	-3	40	-1,3	4,9	12,4	3,0	5,6	15,2	5,2	29,6	40	35,0	5,4	35,7
0,0	-6,2	40 (0,67)	-4,4	4,4	11,2	3,0	5,6	14,1	4,7	30,0	40	35,0	5,0	35,7
-0,8	-7	40	-5,1	4,3	11,0	3,0	5,6	13,8	4,6	30,1	40	35,0	4,9	35,7

1. táblázat – Kompresszor/hőszivattyú paramétereit

A táblázatban alkalmazott rövidítések magyarázata: ELT=bemenő folyadék hőmérséklete, LLT=visszatérő folyadék hőmérséklete, EWT=fűtési visszatérő hőmérséklet, LWT=fűtési előremenő hőmérséklet

A hőszivattyúk kimenő fűtési teljesítményének lengése állandó folyadék-víz hőmérsékleten

A 1. táblázatban számított értékek gyakorlati megvalósulása a körfolyamat egyéb elemeinek összhangját feltételezi, amely biztosítja a körfolyamat stabilitását, ám, ez a gyakorlatban a legtöbb esetben nem adott. A magas SCOP-érték lehetőségének kulcsa a stabil hűtőkörfolyamat³ megvalósítása. Ezt nem lehet pótolni semmilyen adminisztratív eszközzel, energiacímkezésével stb.

A teljesítménylengést befolyásoló tényezők:

- az elpárolgató, a kondenzátor- és a folyadék-tömegáram helyes megválasztása, méretezése,
- az expanziós szelep helyes megválasztása,
- a hőszivattyúk esetében a folyamatosan változó folyadék-víz hőmérsékletek okozta nyomásváltozások kiegyenlítetlensége,
- a folyamatosan változó külső feltételek okozta hűtőközeg-töltetvándorlás kiegyenlítetlensége,
- a hűtőkör csőrendszer méretezése és kialakítása.

Az elpárolgató és a kondenzátor helyes megválasztása, méretezése

Az elpárolgató helyes megválasztása a hőszivattyúk stabil működésének alapfeltétele. Túlméretezett elpárolgatóban egyenetlen lesz a hűtőközeg-eloszlás, ami csökkenti az elpárolgató kapacitását, ezáltal csökken a kimenő fűtési teljesítmény. A kritikus szint alá csökkenő hűtőkö-

zeg-sebességnél olaj-visszahordási problémák jelentkeznek, ami tovább rontja az elpárolgató kapacitását, és csökkenti a kompresszor élettartamát.

Alulméretezett elpárolgatónál az optimálisnál nagyobb lesz a hűtőközeg-folyadék hőfokkülönbsége, így a hőszivattyú COP-értéke a lehetségestől elmarad. A folyadék-tömegáram helyes megválasztása is alapfeltétele az elpárolgató ideális működésének, hiszen az elpárolgatóban a hűtőközeg- és a vízdalnak hőegyensúlyban kell lennie. A hűtőközegoldalnak minden olyan hőmennyiséget fel kell tudnia venni, amelyet a működési tartomány megsabta hőfokszinteken a folyadék szállít. Amennyiben nem képes minden hőt elszállítani, akkor nő a túlhevítés, folyamatosan emelkedik a kondenzációs nyomás, és egy határon túl a nyomásvédelem letilt.

Amennyiben azonban alacsony tömegáram miatt a folyadékoldal nem tud megfelelő hőmennyiséget átadni a hűtőközegnek, folyamatosan csökken az elpárolgási hőmérséklet, és az alacsony nyomás oldalán a nyomásvédelem letiltja a kompresszor működését.

A kondenzátorok méretezésénél a túl- és alulméretezésből, továbbá a nem megfelelően megválasztott tömegáramból adódó problémák ugyanúgy jelentkezhetnek, és

befolyásolják a fűtési teljesítmény mértékét és stabilitását.

Az expanziós szelep helyes megválasztása

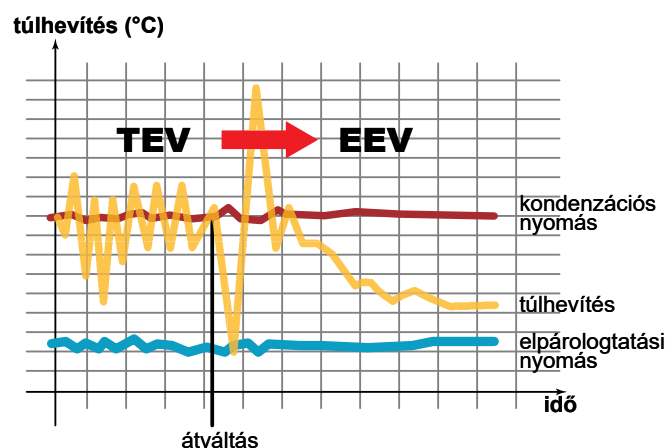
Az expanziós szelepet úgy kell kiválasztani, hogy a tervezett teljes működési tartományon belül képes legyen a tervezett túlhevítést tartani.

Az igazi megoldást a hőszivattyús készülékeknél az EEV-szelepek (Elektromos Expanziós Szelep) adják, amelyek a TEV-szelepekkel (Termosztatis Expanziós Szelep) ellentétben képesek szűk határon belül állandó értéken tartani a túlhevítést, és ezzel maximalizálni az elpárolgató kapacitását, valamint stabil értéken tartani a kimenő fűtési teljesítményt.

A magas COP_{cyc}-értékű hőszivattyúk egyik komponense, a PID-szabályzású EEV-szelepek alkalmazása megnöveli a hőszivattyú árát.

A nyomásváltozás kiegyenlítetlensége

A hőszivattyúkban, a hűtőgépektől eltérően, a folyamatosan változó külső hőmérsékleti paraméterek belső hűtőköri nyomáslengést idéznek elő. A nyomáslengés negatív hatással van az expanziós szelepek szabályzójára, növeli a lengési határokat, csökkenti az elpárolgató által felvehető hőmennyiséget, s ezzel arányosan csökken a kimenő fűtés teljesítménye. A magas COP_{cyc}-értékű hőszivattyúk-



1. ábra – Expanziós szelepek összehasonlítása

³ A körfolyamat stabilitása azt jelenti, hogy egy adott folyadék-víz hőfokszinten a hőszivattyú kimenő fűtési teljesítménye közel állandó.

nál gondoskodnak a nyomásváltozás kiegyenlítéséről. Ez azonban költségesebb körfolyamatot, és ezzel arányosan drágább hőszivattyút eredményez.

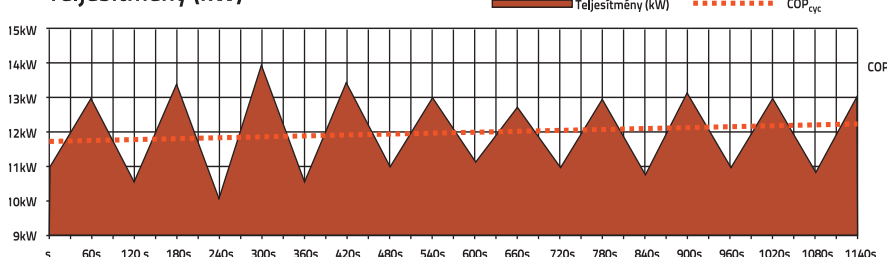
A hűtőközeg töltetvándorlásának kiegyenlítetlensége

Az előző pontban említett nyomásváltozás-kiegyenlítés, amely viszonylag nagy méretű hűtőközegtartály beépítését feltételezi, egyben megoldja a legnagyobb teljesítménylengéssel fenyegető töltetvándorlás kiegyenlítését is.

A töltetvándorlásban a főszerep az elpárologtatónak jut, ahol kis terhelések esetében több, nagyobb terhelésekkor viszont kevesebb hűtőközeg tartózkodik. Ennek fő oka az, hogy az elpárologtatóban kis hőterhelés esetén kevesebb, nagy terheléskor viszont több gőzbuborék képződik ugyanabban a térben. És mivel a gőz fajtérfogata sokkal nagyobb a folyadékénál, a gőz-folyadék keverék átlagos sűrűsége az előbbi esetben nagyobb, utóbbiban kisebb lesz. Törvényszerű, hogy egy jól működő adagolóval táplált elpárologtatóban az üzemviszonyok változásakor a hűtőközegtöltet is változik: csökken vagy növekszik. Emiatt időnként bizonyos mennyiség kiszorul, vagy épp ellenkezőleg: utántöltésre van szükség. A kérdés az, hogy hová szorulhat ki, illetve honnan pótlódhat? A válasz egyértelmű: ha van a rendszerben egy megfelelő méretű folyadékgyűjtő, akkor ezzel a kérdés megoldódik: a fölösleg itt gyűlik össze, a hiány innen pótlódik. De ha nincs, akkor ezt a funkciót csak a folyadékvezeték térfogata veheti át. Ámde ez a térfogat a feladat szempontjából általában túl kicsinek bizonyul. Ilyenkor az ösztöltet megoszlása a kondenzátor és az elpárologtató között kétféleképp módosulhat: ha az elpárologtatóból kiszorul a „normál” töltet egy része, akkor az csak a kondenzátor csöveiben gyűlhet fel. A felgyülemlés miatt csökken a kondenzátor hasznos felülete, ami miatt azután megnövekszik a kondenzátornyomás és ennek következtében a kompresszor munkaszükséglete.

Ha viszont az elpárologtató jó elárasz-tásához több hűtőközeg kellene, mint „normál” esetben, akkor hűtőközeghiány jelei mutatkoznak. Az adagoló nyit, de tartalék hiányában a kondenzátorból nemcsak folyadék-, hanem vele együtt gőzállapotú hűtőközeg is áramlik az elpárologtatóba. Az ellátási hiány miatt a hűtőtelteljesítmény csökkenésével és a fajlagos hűtőtelteljesítmény romlásával kell számolnunk, mert a kondenzátorból átjutó gőz nem tud hőt felvenni, viszont el kell onnan szállítani.

Teljesítmény (kW)



2. ábra – A hőszivattyúk kimenő teljesítményének alakulása

A fentiek alapján nem lehet káros következmények nélkül mellőzni a hűtőközegtartályt olyan rendszerekben, ahol a terhelésingadozás és/vagy az elpárologtató hőmérséklet változása számottevő.

Ez igaz minden hőszivattyúra. Ennek ellenére a hőszivattyúk többségénél a nyomásváltozás, valamint a töltetvándorlás kiegyenlítése nincs megoldva.

A hőszivattyúk összehasonlítására alkalmas COP_{cyc}-érték

A fentebb részletezett hűtési körfolyamaton belüli hiányosságok, rontó tényezők egyértelmű kimutatására, és így az egyes hőszivattyúk műszaki-hatékonysági összehasonlítására egyértelműen csak a COP_{cyc}-érték alkalmas.

A jogszabályi megfogalmazás alapján⁴ egyszerűsített és a hőszivattyúk összehasonlítására alkalmas meghatározás az alábbi.

Ciklikus jóságfok (COP_{cyc} vagy PER_{cyc}): a vizsgálati ciklus időtartama alatt mért átlagos fűtési COP vagy átlagos primerenergia-hányados, amelynek

értéke az időtartam alatt mért fűtőtelteljesítmény integráltjának és az ugyanazon időtartam alatt mért bemeneti energia összegének a hányadosa.

A 2. ábra alapján látható, hogy a COP_H-érték tesztlabori meghatározásánál a kimenő fűtési teljesítmény és az elektromos teljesítményigény maximális értékét veszik figyelembe, s ez alapján határozzák meg a COP_H (kW/kW) értékét.

A COP_{cyc}-érték meghatározásánál egy ciklusidő alatt történik a vizsgálat⁵.

Ezen idő alatt értéken kell tartani a folyadék- és vízhőmérsékleteket, és másodpercenként mérni kell a hőszivattyú paramétereit, köztük a fűtési teljesítményeket és az elektromosenergia-felvételt.

A ciklusidő alatt így a fűtési teljesítmény és energiafelvétel ingadozása és annak mértéke, továbbá ezen paraméterek összege alapján a COP_{cyc}-érték (kWh/kWh) meghatározható.

A cikksorozat harmadik részében a következő kérdésekkel foglalkozom:

– Az SCOP_{net}-érték meghatározása számítással és szoftveresen.

– Miért lenne szükséges több pontra megadni a COP_{cyc} értékét?

– Miért szükséges a rendszerterv, és miért nem lehet különválasztani a hőszivattyús hőközpont tervezését a szondatervezéstől? Miért tarthatatlan az a szabályozás, amely a szondarendszerek tervezését geológusokra kívánja hárítani?

Fodor Zoltán
fejlesztőmérnök,
a Geowatt Kft. elnöke

⁴ A „ciklikus jóságfok” (COP_{cyc} vagy PER_{cyc}): a vizsgálati ciklus időtartama alatt mért átlagos fűtési jóságfok vagy átlagos primerenergia-hányados, amelynek értéke az időtartam alatt mért fűtőtelteljesítmény integráltjának és az ugyanazon időtartam alatt mért bemeneti energia integráltjának hányadosa a GCV-re vonatkozóan kWh-ban, illetve a végső energiafogyasztás és a CC szorzataként kWh-ban kifejezve.

⁵ A Geowatt Kft. tesztlaborjában ez az idő 15 perc.