SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

Co-funded by the European Union

4. modul
Távhűtés

A SHaKE Oktatási Csomag része a távfűtési és -hűtési rendszerekről

Útmutató

Újrahasználható oktatási forrás felsőoktatáshoz és szakmai képzéshez

Verzió: 1.1
Dátum: 2026. május

https://www.shakeproject-dhc.eu/

Projekt

Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities (SHaKE)
Erasmus+ KA220-HED Együttműködési Partnerségek a felsőoktatásban
Projekt szám: 2023-1-HU01-KA220-HED-000160219

Szerzők

Dr. Adrián Mota-Babiloni, Ghad Alarnaot Alarnaout
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

EU-finanszírozási nyilatkozat és felelősségkizárás

Az Európai Unió által finanszírozott. A kifejezett nézetek és vélemények azonban kizárólag a szerző(k) véleményei, és nem feltétlenül tükrözik az Európai Unió vagy a Tempus Public Foundation véleményét. sem az Európai Unió, sem a támogató hatóság nem vonható felelősségre ezekért.

Koordinátor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Magyarország

Partnerintézmények

Universitat Jaume I de Castellón, Spanyolország
Mines Paris – PSL, Franciaország

Elismerés

Ez a kiadvány a SHaKE projekt részeként készült. A konzorcium köszönetet mond minden oktatónak, kutatónak, szakembernek és érintettnek, akik hozzájárultak az oktatási anyagok fejlesztéséhez, áttekintéséhez és fejlesztéséhez.

Engedély

Amennyiben másképp nincs feltüntetve, az anyag a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence (CC BY 4.0) alatt érhető el. A felhasználók megoszthatják és átdolgozhatják az anyagot, amennyiben megfelelően feltüntetik a SHaKE projektet és a szerzőket, megadják a licencre mutató linket, valamint jelzik az esetleges változtatásokat.
Javasolt hivatkozás:
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. 1. modul: Bevezetés a távhőrendszerekbe. SHaKE projekt, 2026.
https://www.shakeproject-dhc.eu/

Útmutató a 4. modul használatához

Ez a modul a SHaKE oktatási csomag része, amelyet a távfűtési és hűtési (DHC) rendszerek oktatásának támogatására fejlesztettek ki felsőoktatásban és szakmai képzési környezetben.

A 4. modul a távhűtési rendszerekre fókuszál, különös tekintettel a hő- és hidegtermelés kombinált termelésére, hűtési energiatermelő technológiákra, hűtőközegekre, hőtárolásra, hulladékhő felhasználására, megújuló energia alkalmazásokra, valamint a távhűtésimegoldások gazdasági és környezeti értékelésére. A modul bemutatja a távhűtési hálózatok alapvető működési elveit, és elmagyarázza, hogyan lehet a hűtést előállítani, elosztani, tárolni és integrálni szélesebb távfűtési és hűtési infrastruktúrákba.

Ennek az írásos anyagnak az elsődleges célja, hogy átfogó megértést nyújtson a távhűtési rendszerekről, beleértve a kombinált hő- és hidegtermelést, a hulladékhő felhasználását és a megújuló energia alkalmazásokat. Ezen túlmenően a modul célja, hogy a távolsági fűtési és hűtési infrastruktúrák gyakorlati megvalósítását példázza megvalósítási projekt példáin keresztül.

A modul a kapcsolt fűtési és hűtési (energia)termelés, a hőhatékonyság műszaki értékelését, a folyadékhűtők és abszorpciós folyadékhűtők működését, a hőszivattyúk szerepét, a hűtőközegek környezeti jelentőségét, valamint a távhűtési megvalósíthatóságát különböző városi és éghajlati környezetekben. Emellett optimalizálási stratégiákat vezet be a rendszer teljesítményének javítására, miközben csökkenti a gazdasági és környezeti költségeket.

Az útmutató elsősorban oktatási forrásként szolgál oktatók, számára. Használható előadások, vegyes tanulási tevékenységek, osztályterem-beszélgetések, gyakorlati feladatok, technikai számítások, teljesítményszimulációk, esettanulmányok és folyamatos szakmai továbbképzés támogatására. A kísérő előadás diák, kibővített esettanulmányi diák, kérdésbank, önellenőrzési kvíz és gyakorlati tevékenységek célja, hogy segítsék az oktatókat a tartalom saját oktatási környezetükhöz igazítani.

A hallgatók és szakemberek önálló tanulásra is használhatják a modult, különösen, ha már rendelkeznek alapvető ismeretekkel a termodinamikáról, hőátadásról, HVAC rendszerekről, hűtőciklusokról, hőszivattyúkról, hűtőkről, körfűtésről és épületenergia-rendszerekről.

A modul fő témái

- Távhűtőrendszerek és szerepük a modern energia-hálózatokban
- Fűtési és hűtési elvek
- Kombinált hő- és hidegtermelés, valamint egyidejű fűtési és hűtési alkalmazások
- Hőszivattyú és hűtőtechnológia
- Hőszivattyúk, hűtők és megújuló energiaforrások integrációja a körzeti hűtőhálózatokba
- Hulladékhő felhasználása és megújuló hő integrációja
- Hűtési (energia)termelő technológiák, beleértve a léghűtéses és vízhűtéses hűtőket
- Abszorpciós folyadékhűtők
- Hőenergia-tárolás a körzeti hűtéshez
- Mechanikusan hajtott és hővezérelt hűtőrendszerek kombinációja
- Hűtőközegek, osztályozásuk, jelölésük, biztonságuk és környezeti hatásuk
- Alacsony GWP-jú és természetes hűtőközegek
- Hűtési igénysűrűsége és megvalósíthatóság-értékelés
- A körhűtés gazdasági és környezeti vonatkozásai
- A távhűtési életképessége a hagyományos hűtési technológiákhoz képest
- A távhűtésii technológiák optimalizálása
- Megvalósított távhűtés és távfűtés és hűtési esettanulmányok
- A távhűtési rendszerek gyakorlati megvalósítása különböző éghajlati és városi környezetben

A 4. modul célja

A modul célja, hogy támogassa a következő készségek és kompetenciák fejlesztését. A modul befejezése után a tanulóknak a következőket kell tudniuk ki:

- megérteni a termológiai elveket és technológiákat, amelyek a távhűtési rendszerek alapjai;
- magyarázza meg a távhűtési hálózatok alapvető működési elveit;
- elemezni a hő- és hidegtermelés kombinált folyamatait és kiszámolni azok működési hatékonyságát;
- különböztessék meg a különböző hideggyártási technológiákat, beleértve a levegőhűtéses hűtőket, vízhűtéses hűtőket és abszorpciós Folyadékhűtőket;
- értékelni és indokolni a hőszivattyúk, hűtők, hőenergia-tárolók és megújuló energiaforrások optimális integrációját a körzeti hűtőhálózatokban;
- értékelni a különböző hűtőközegek és hűtőtechnológiák használatából eredő környezeti hatásokat;
- összehasonlítsuk a hűtőközegeket a biztonság, teljesítmény, GWP és környezeti hatás szempontjából;
- értékeli a távhűtési rendszerek gazdasági megvalósíthatóságát a Hűtési igénysűrűségével, a beruházási költségekkel, működési költségekkel és a hosszú távú rendszerteljesítménysel kapcsolatban;
- összehasonlítani a távhűtési megoldásokat a hagyományos hűtési technológiákkal, technikai, gazdasági és környezeti szempontból;
- értelmezni a megvalósított körhűtést és távfűtési és hűtési esettanulmányokat, valamint azonosítani a fő tényezőket, amelyek befolyásolják azok megvalósíthatóságát és átvihetőségét;
- Optimalizálási stratégiákat alkalmazva a rendszer teljesítményének javítására, miközben egyidejűleg csökkenti a gazdasági és környezeti költségeket.

Becsült óraszám

Ez a modul körülbelül 7,9 tanulási órát jelent, beleértve előadásokat, gyakorlati alkalmazást, esettanulmányi munkát, önálló tanulást és értékelést.

Az oktatók a óraszámot a kurzus szintje, a kiválasztott anyagok és az oktatási formátum függvényében alakíthatják. A modul a következőképpen használható:

- egy teljes egység,
- egy kiválasztott előadásanyag,
- egy vegyes tanulási komponens,
- egy gyakorlati számítási és szimulációs csomag,
- egy esettanulmány és vitacsomag,
- vagy kiegészítő forrásként a meglévő kurzusokhoz.

Tevékenységek és tanulási órák

Tevékenység típusa	Időkiosztás	Leírás
Előadások / Elméleti asszimiláció	3 óra	A körzeti hűtés elveinek, technológiáinak és alkalmazásainak részletes bemutatása elméleti előadásokon és vezetett tanulási anyagokon keresztül
Gyakorlati alkalmazás	1 óra	Gyakorlatok, amelyek rendszertervezési feladatokat, műszaki számításokat, teljesítményszimulációkat és hűtési vagy hőszivattyú

		konfigurációk összehasonlítását tartalmazzák
Esetelemzés	0,5 óra	A valós távhűtésiprojektek kritikus áttekintése, figyelembe véve műszaki tervezésüket és alkalmazkodásukat különböző éghajlati, városi és működési körülményekhez
Független kutatás / Önálló tanulmány	3 óra	Független olvasás, speciális irodalom áttekintése, tananyagok átdolgozása és felkészülés az értékelési feladatokra
Értékelés / Értékelés	0,4 óra	Modulszintű önellenőrzési kvíz, kiválasztott kérdések a kérdésbankból, műszaki jelentés, projektbemutató vagy végső értékelési tevékenység
Teljes tanulási idő	körülbelül 7,9 óra	

Célcsoportok

Ez az útmutató elsősorban oktatóknak, oktatóknak és oktatóknak szól, akik szeretnék a SHaKE anyagait saját oktatási vagy képzési tevékenységeikben használni vagy adaptálni.

A fő célcsoportok a következők:

- felsőoktatási oktatók mérnöki, építőipar, energiarendszerek, távolsági fűtés és hűtés, HVAC és hűtés területén;
- szakmai vagy folyamatos képzésben részt vevő oktatók a távfűtési és hűtési rendszerek területén;
- pedagógusok vegyes moduláris vagy gyakorlatorientált tanulási tevékenységeket fejlesztenek;
- az akadémiai személyzet újrahasználható oktatási forrásokat keres fenntartható körzeti energiarendszerekről;
- Oktatók és előadók dolgoznak a körzeti hűtés, hőszivattyúk, hűtők, hűtőközegek, hőenergia-tárolás, városi energia-infrastruktúra és energiahatékonyság témáival.

Az anyagokat diákok, szakemberek és önálló tanulók is használhatják, akik kiválasztott témákat szeretnének egyénileg tanulmányozni. Független használathoz ajánlott alapvető előzetes ismeretek az adott mérnöki területeken.

Ajánlott felhasználás oktatók számára

A 4. modul rugalmasan használható teljes tanítási egységként vagy kiválasztott oktatási források halmazaként. Az oktatók az anyagok a kurzus szintje, a rendelkezésre álló tanítási idő és a kívánt tanulási eredmények alapján kombinálhatják.

Tanítási igény	**Javasolt 4. modul forrás**
A téma bevezetése	Használja a modul áttekintését és a bevezető diákat, hogy bemutassa a térhűtés relevanciáját, az egyesített hő- és hidegtermelést, valamint a hűtés szerepét a modern körzeti energiarendszerekben.
A tanulók előkészítése az óra előtt	Kijelölt útmutató szakaszokat előolvasásként rendelje meg a fordított tantermi vagy vegyes tanulási tevékenységekhez.
Támogató előadások vagy szemináriumok	Használja a fő előadás diákokat a távhűtési elveinek, az egyidejű fűtés és hűtés, a hűtők, az abszorpciós hűtés, a hűtőközegek, a hőenergia-tárolás, a gazdasági és

	környezeti szempontok, valamint kiválasztott esettanulmányok bemutatására.
Az esettanulmány-beszélgetés bővítése	A kibővített esettanulmányi diákat használjuk arra, hogy további megvalósítást biztosíts a térhűtés, valamint távfűtési és hűtési projektek különböző kontextusokból.
Értés ellenőrzése	Használja kiválasztott kérdéseket a kérdésbankból beszélgetéshez, rövid tanórái ellenőrzésekhez, formatív értékelésekhez vagy LMS-alapú kvízekhez.
Alkalmazott mérnöki készségek fejlesztése	Használja a gyakorlati gyakorlatot számítás-alapú vagy szimulációs munkához a hűtés és hőszivattyú teljesítményéről, hűtőközeg-összehasonlításról, COP/EER elemzésről és környezeti hatásról.
Környezeti értékelés támogatása	Használja a hűtőközeggel kapcsolatos részeket és gyakorlatokat, hogy megvitasd a GWP-t, alacsony GWP-jú hűtőközegeket, természetes hűtőközegeket és a hűtőközeg választásának környezeti következményeit.
Gazdasági és megvalósíthatósági elemzés támogatása	Használja a gazdasági és környezeti értékelési részeket a hűtési kereslet sűrűségéről, a beruházási költségekről, az üzemeltetési költségekről, a tarifákról és a hosszú távú életképességről beszélgetni.
Támogató esettanulmányi munka	A megvalósított projektpéldákat arra használjuk, hogy összehasonlítsuk, hogyan alkalmazkodnak a távhűtésii megoldások különböző éghajlati, városi, műszaki és gazdasági kontextusokhoz.
Független felülvizsgálat támogatása	Irányítsa a tanulókat a modulszintű önellenőrzési kvízre, miután elsajátították a releváns anyagokat.
Alkalmazkodás a helyi oktatási kontextusokhoz	Válassza, kombinálja vagy módosítsa az útmutató részeket, diákat, kérdéseket, gyakorlati gyakorlatokat és esettanulmányi anyagokat a tanterv, a résztvevői szint és a szakmai kontextus alapján.

Ajánlott út önálló tanulóknak

A modult használó hallgatók és szakemberek önállóan követhetik az alábbi sorrendet.

Lépés	Javasolt tevékenységek
Nézze át a bevezető előadást	Ismerkedjen meg a modul fő fogalmaival, terminológiájával és szerkezetével.
Tanulmányozza az útmutató anyagait	Olvassa el a részletes magyarázatokat, mérnöki elveket és a távhűtésikoncepciókat az útmutatóban.
Nézze át a hő- és hidegtermelés kombinált részeket	Értse meg, hogyan javíthatja az egyidejű fűtés és hűtés az energiahatékonyságot és támogathatja a körzeti energia-integrációt.
Tanulmányozza a hideg előállítási technológiákat	Hasonlítsa össze Folyadékhűtőket, abszorpciós Folyadékhűtőket és hőenergia-tároló megoldásokat.
Nézze át a hűtőközeg-szakaszokat	Tanulmányozza a hűtőközeg osztályozását, történelmi fejlődését, biztonsági minősítését, környezeti hatását és a jövőbeli hűtőközeg-trendeket.
Vizsgálja meg a gazdasági és környezeti szempontokat	Elemezze a Hűtési igénysűrűségének, megvalósíthatóságának, beruházási költségeinek, környezeti teljesítményének és optimalizálásának szerepét.
Nézze meg a modul videóját	Használja a modul videóját és a hozzá csatolt értékelő kérdéseket, hogy feltárj egy kiválasztott témát, koncepciót vagy gyakorlati aspektust a modulból.
Töltse ki az önellenőrzési kvízt	Tesztelje a modulban lefedett kulcsfogalmak és technikai elvek megértését.

Próbálja meg a gyakorlati gyakorlatot	A megszerzett tudást alkalmazza a hűtési és hőszivattyú teljesítményének, hűtőközeg-összehasonlítással és környezeti hatásokkal.
Tekintse át az esettanulmányokat	Hasonlítsa össze a megvalósított távhűtést és távfűtési és hűtési projekteket, és gondold át azok átvihetőségét más kontextusokra.
Nézze át a kérdésbankot	Használja a kérdéseket átdolgozásra, megbeszélésre vagy felkészülésre az értékelésre.

Elérhető támogató anyagok

A rendelkezésre álló tanulási források és értékelő anyagok a következők:

- előadás diákat a modul témáihoz;
- kibővített esettanulmányi diák, amelyek további megvalósítást mutató távhűtés- és távfűtési és hűtési projekteket mutatnak be;
- újrahasználható kérdésbank és válaszkulcs;
- egy modulszintű önellenőrzési kvíz;
- egy modulvideó hozzácsatolt értékelő kérdésekkel;
- egy gyakorlati gyakorlat, amely hűtés és hőszivattyú szimuláció, hűtőközeg-összehasonlítás, COP/EER elemzés és környezeti hatásértékelés alapozza, beleértve javasolt megoldásokat;
- egy esettanulmányi tevékenység, amely megvalósított távhűtési és távfűtési és hűtési projekteken alapul.

Tartalomjegyzék

Körzeti hűtés 10
1.1. Fűtési és hűtési elvek 10
1.1.1. Hűtés 10
1.1.2. Hőszivattyúk 11
1.2. Egyidejű fűtési és hűtési alkalmazások 12
1.2.1. Egyidejű fűtés és hűtés (SHC) elv 12
1.2.2. Kulcsfontosságú elemei az egyidejű fűtésben és hűtésben (SHC) 13
1.2.3. Az SHC előnyei 14
1.2.4. A SHC kihívásai 14
1.2.5. Az SHC alkalmazásai DHC hálózatokban 14
1.3. Hőszivattyú- és hűtőtechnológiák kapcsolódása DHCN-ekhez 14
1.3.1. Hőszivattyú Technológiák megjegyzései ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
1.3.2. Feltörekvő technológiák és jövőbeli trendek 15
1.4. Hőszivattyú- és hűtőtechnológiák kapcsolódása DHCN-ekhez 16
1.4.1. Kompresszorok 16
1.4.2. Hőcsere 17
1.4.3. Hőenergia-tárolás 17
1.5. Hőszivattyúk, konfigurációk és hűtőközegek integrációja 18
1.5.1. Az integráció lehetőségei 18
1.5.2. A működési hőmérsékletek hatása 19
1.6. Hulladék és megújuló hő 20
1.7. Hulladék és megújuló hő 21
2. Hideg előállítási technológiák 22
2.1. Folyadékhűtők ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
2.1.1. Hűtőtípusok 22
2.1.2. Kulcsfontosságú mutatók és hatékonyság 24
2.1.3. Szezonális energiahatékonysági arány (SEER) 24
2.2. Abszorpciós Folyadékhűtők 26
2.2.1. Hűtőtípus 26
2.2.2. Abszorpciós folyadékhűtők ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
2.2.3. Abszorpciós hűtés 26
2.2.4. Az elnyeléses hűtőrendszerek típusai **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
2.3. Hőenergia-tároló (TES) 30
2.3.1. A TES fő előnyei 30

2.3.2. A TES típusa (3. táblázat) 30
2.4. Mechanikus meghajtású (kompresszoros) és hőenergiával hajtott (abszorpciós) folyadékhűtők hibrid kapcsolása. 33
2.5. Következtetések 35
3. Hűtőközegek 36
3.1. Bevezetés 36
3.2. Történelem és fejlődés 40
3.3. Megjelölés és tulajdonságok 41
3.4. Környezeti mutatók összefoglaló (23. ábra) 45
3.5. A hűtőközegek jövője 52
3.6. Következtetések 53
4. Gazdasági és környezeti vonatkozások 53
4.1. Bevezetés 53
4.2. Hűtési igénysűrűség ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
4.3. A köri fűtés életképessége más technológiákhoz képest 55
4.4. A körzeti hűtés környezeti hatása 59
4.5. A távhűtésitechnológiák optimalizálása 61
4.6. Következtetések 63
5. Megvalósított projektek esettanulmányai 63
5.1. DCN James Cook Egyetem (Townsville, Ausztrália) [38] 63
5.2. Barrio la Pinada 65
5.3. DHC Bristol Redcliff hálózati kiterjesztés 67
5.4. DHC Parc de l'Alba 68
5.5. DHC Barcelona (Spanyolország) 70
5.6. DHC Nagy-Stockholm 72
5.7. DCN hidegenergia visszanyerése a cseppített földgáz párologtatásából 74
5.8. DCN Stockholm város 77
5.9. DCN Elektrolizáló berendezés (hidrogén előállítására)val kombinálva 79
5.10. DCN a szállodai üdülőhelyekhez 81
5.11. Következtetések 82
Hivatkozások 83

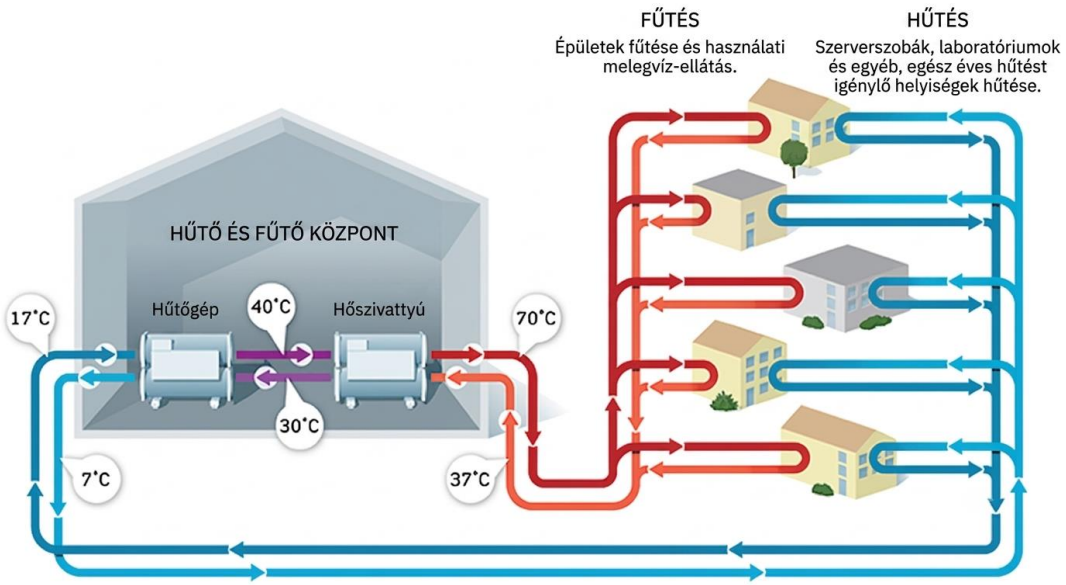
Távhűtés

1.1. Fűtési és hűtési elvek

Bevezetés

A fűtés és hűtés elengedhetetlen a kényelemhez télen és nyáron. Fűtésre az épületekben is szükség van melegvíz-szolgáltatásokhoz, általában eltérő hőmérsékleten. Azonban a legnagyobb fűtési és hűtési fogyasztók az iparban találhatók, utóbbiak pedig az élelmiszer-feldolgozás, tárolás és szállítás területén is. A fűtés és hűtés hőmérsékleti követelményei alkalmazásonként eltérőek; a hűtés hőmérséklete -150 °C, míg a fűtés akár 1000 °C-ig terjed. A hűtési folyamatok főként Gőzkompressziós rendszerekre, más néven hűtőkre épülnek, amikor a vizet körülbelül 10 °C-on hűtjük. A fűtés termelése hőszivattyúkra épül, ami hasonló koncepció a hűtőkhöz. Magasabb hőmérsékleten vagy az alkalmazástól függően azonban továbbra is fosszilis tüzelőanyagú kazánokra épül, amelyeket végül és fokozatosan megújuló folyamatok váltanak fel [1].

A technikai szempontok, mint a tartósság, a könnyebb karbantartás, az egyszerűség, a térfogat és a biztonság elengedhetetlenek a fűtés és hűtés során. Ugyanakkor minden nap kritikusabb a rendszer hatékonysága szempontjából, mivel ez hatással lesz a költségekre és a környezetre. A hagyományos fűtési és hűtési technológiák kombinálhatók a távfűtéssel és a távhűtési hálózatokkal (1. ábra), hogy többféleképpen javítsák a hatékonyságot és a gazdasági haszont. A távolsági fűtési hálózatokat hőhordozóként is lehet használni a központi vagy elosztott fűtőüzemekben előállított fűtéshez. Ugyanez igaz a távhűtésii hálózatokra és hűtőkre. Továbbá a távfűtési és hűtési hálózatok kedvező működési feltételeket teremthetnek a hőszivattyúk és hűtők számára, hogy hatékonyabb fűtést és hűtést érjenek el. Használhatók a hőelnyelő (heat sink) vagy hőforrás (heat source) előmelegítésére vagy előhűtésére is.



1. ábra. A távfűtés és a távhűtés kapcsolatai [2].

1.1.1. Hűtés

A hűtés azt jelenti, hogy hőt távolít el egy anyagból vagy térből, hogy csökkentse annak hőmérsékletét. Elengedhetetlen a hőkomfort, az anyagok megőrzése és ipari alkalmazások szempontjából. A hűtési folyamatok a következők:

1. **Hőkivonás.**

A hőt a rendszerből vezetés, konvekció vagy sugárzás útján távolítják el. Ezt általában úgy érik el, hogy hőt áthelyeznek egy hűtőbb folyadékba (pl. levegő vagy víz).

2. Elpárolgás.

A párologtatás rejtett hőjét használja, ahol a hőenergiát elnyeli, hogy folyadékot gőzzé alakítson. Széles körben alkalmazzák párologtató hűtőrendszerekben és hűtőciklusokban.

3. Hűtési ciklusok

Gőzkompressziós rendszerek alapján főként árambemenetet igényel. Magas teljesítmény. Maximális korlátozást a fordított Carnot-körfolyamat.

Fűtés

A fűtés egy anyagból vagy térből származó hőt biztosít, hogy növelje annak hőmérsékletét. Elengedhetetlen a hő kényelméhez, ipari folyamatokhoz és vízmelegítéshez. A fűtési folyamatok a következők:

1. **Hőelvonás**

A hőt a rendszer vezetésével, konvekcióval vagy sugárzással juttatja el. Általában úgy érhető el, hogy hőt átadnak egy hűtőfolyadékba (pl. levegőbe vagy vízre). Lehet megújuló hő, termikus napelem, kazánok, hulladékhő visszanyerése...

2. **Kondenzáció**

A fázisváltás rejtett hőjét használja, ahol a hőenergiát elnyeli, hogy a gőzt folyadékká alakítsa.

3. **Hőszivattyú**

Gőzkompressziós rendszerek alapján ez főként villamosenergiat igényel, és nagy teljesítményt nyújt.

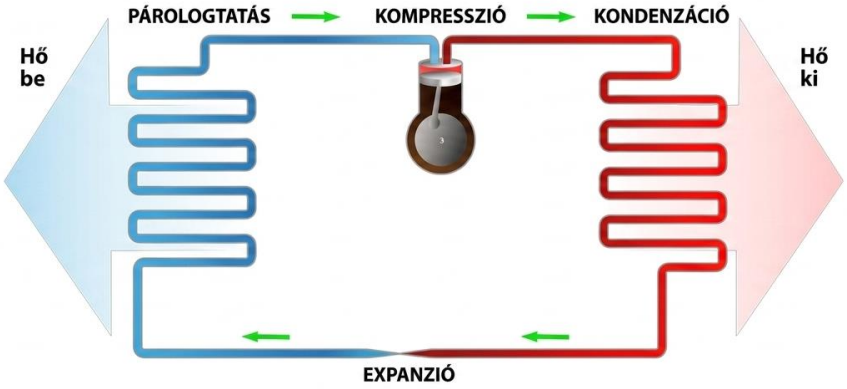
Ahogy látható, a folyamatok hasonlóak a hűtéshez, de fordított irányban. Ezért a hűtés tanulmányozása segíthet megérteni a fűtést, és fordítva.

1.1.2. Hőszivattyúk

A hulladékhő vagy megújuló hő mellett, amelyeket alacsony működési költséggel lehet bejuttatni a távoli fűtési hálózatokba, a legtöbb fűtést kazánok (amelyeket megújulónak tekinthetünk, ha biomasszát, biogázt stb. használnak) vagy hőszivattyúk biztosítják.

A hőszivattyúk, amelyek főként gőzkompressziós rendszereken alapulnak, működhetnek fűtésre, hűtésre vagy mindkettőre (2. ábra). Főként attól függ, hogy a hőfolyamat melyik célját tekintik, de a hőszivattyúk mindig egyszerre emelnek fűtést és hűtést. Miután a berendezés méretezett, a hűtés és fűtés nagysága a kompresszor frekvenciájától függ, amelyet inverter irányít az elsődleges igény alapján. Mindkettő arányosan változik.

Ha a hőszivattyú (a fűtési célokra használt kifejezés) úgy van programozva, hogy válasszon a fűtés és a hűtés között, akkor visszafordítható hőszivattyúnak nevezik. A céltól függően csak hűtés, légkondicionáló, hűtőrendszer, fagyasztó, hűtő stb.

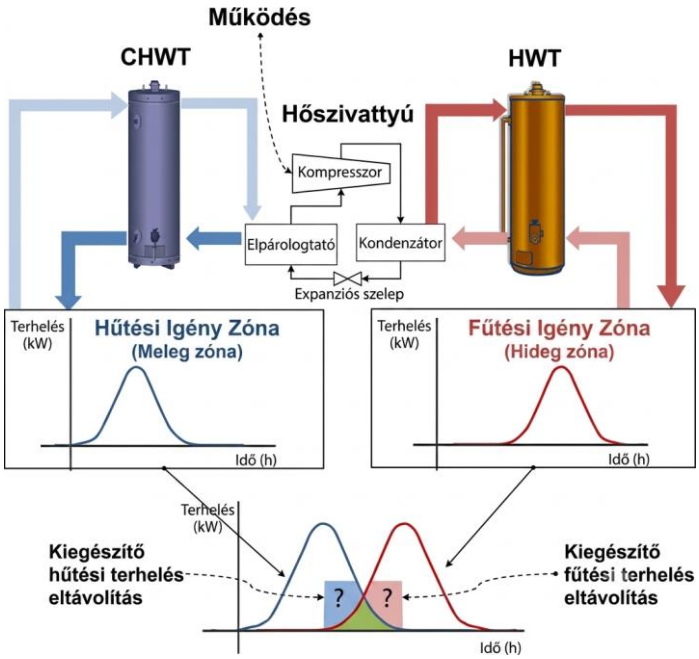


2. ábra. Gőzkompressziós hűtőkörfolyamat (hőszivattyú) [3].

1.2. Egyidejű fűtési és hűtési alkalmazások

1.2.1. Egyidejű fűtés és hűtés (SHC) elv

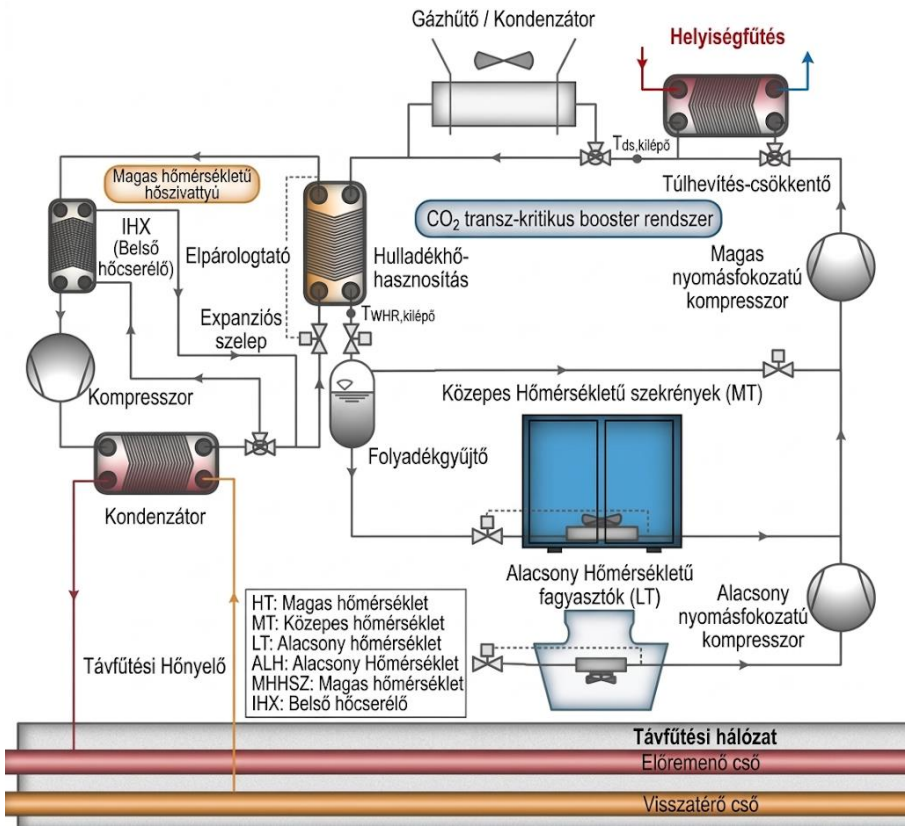
Az egyidejű fűtés és hűtés főként hőszivattyúkban (3. ábra) készül, amelyek a leggyakoribb technológia a 100 °C alatti hűtés és fűtés esetén. Az egyidejű fűtés és hűtés általában nem jellemző kis rendszerekben, mivel számos kihívás jelent a nyereséges megvalósítás. A távolsági fűtési és hűtési hálózatok hasznosak a felesleges fűtés vagy hűtés szállítására, amelyet nem ugyanazon az erőműben használnak, ahol az elsődleges fűtés vagy hűtés keletkezik, további gazdasági hasznot hozva az erőmű tulajdonosának és csökkentve az összenergiafelhasználást. A távfűtési és -hűtési hálózatok elkerülik a hőenergia-tárolás szükségességét, vagy akár kombinálhatók is.



3. ábra. Egyidejű fűtést és hűtést biztosító hőszivattyú[4].

Például a szupermarket hűtőrendszerei (4. ábra) gázhűtőben vagy kondenzátorban keletkező hőt, amelyet normál esetben a levegőbe adnak le és távfűtési hálózatba táplálnak be. Az ábra egy példát mutat, amelyben a központi gőzkompressziórendszert (jobbra) hűtőszekrényekhez és fagyasztókhoz használják, míg a kompresszor kisülésének fűtése térfűtésre kerül. A fennmaradó hő eloszlik, de megfelelő vezérlőrendszerrel betárolható a távhőrendszerbe.

A segédrendszer (balra) hőt juttatnak a távfűtési hálózatba, és hűtéssel mechanikusan alhűtheti a központi rendszert (az energiahatékonyság növelése érdekében).



4. ábra. Egyidejű fűtési és hűtési hűtőrendszerek [5].

1.2.2. Kulcsfontosságú elemei az egyidejű fűtésben és hűtésben (SHC)

A DHC rendszerekben az energiát egy szigetelt csövekből álló hálózaton keresztül szállítják az épületekbe, amelyek meleg vizet, gőzt, hűtött vizet vagy hűtőközegeket szállítanak. Azonban a következő kulcsfontosságú összetevők figyelembe vehetők az opciók diverzifikálásához és az energiafelhasználási lehetőségek bővítéséhez.

1. Hőszivattyúk/hűtők. A hőszivattyúk központi szerepet játszanak az SHC rendszerekben, mivel egyszerre képesek hőt kinyerni a hűtési folyamatból, és átadni a fűtőrendszernek, hídként szolgálva a fűtési és hűtési igények között. Gőzkompressziós vagy abszorpciós ciklusokat használnak az energia átmozdítására a hűtőelöntők és források között.
2. Hőenergia-elosztó hálózat. Szigetelt csővezetékek szállítják a fűtési és hűtési energiát az épületek között és onnan keresztül. Fejlett vezérlők hatékony elosztást biztosítanak valós idejű kereslet alapján.
3. Energiavisszanyerő rendszerek. A hőcserélők a hulladékhőt (szabad hőt) a rendszer egyik oldaláról (hűtőterhelés) a másikba (fűtési terhelés) rögzítik és továbbítják, hogy kielégítsék a fűtési igényeket. Például a hűtők vagy légkondicionáló rendszerek által a hűtés során elutasított hőt befoghatják és újrahasznosíthatják fűtésre.
4. Kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés (CHP). A CHP egységek integrálhatók a DHC rendszereibe, hogy villamos energiát és hőt előállítsanak, növelve a rendszer hatékonyságát.
5. Hőenergia-tároló (TES). A TES rendszereket (pl. melegvíztartályokat vagy hűtött víztartályokat) gyakran integrálják a felesleges hőenergia tárolására alacsony kereslet időszakában, így a csúcsidőben hatékony működést biztosítva.

1.2.3. Az SHC előnyei

1. Energiahatékonyság: A hulladékhő visszanyerésével és újrafelhasználásával a SHC rendszerek jelentősen csökkentik az energiafogyasztást az különálló fűtési és hűtési rendszerekhez képest.
2. Csökkentett szénlábnyom: A hulladékhő használata minimalizálja a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget, csökkentve az üvegházhatású gázok kibocsátását.
3. Gazdasági megtakarítás: A fűtési és hűtési infrastruktúra megosztása csökkenti a tőke- és működési költségeket a hálózat számára.
4. Rugalmasság: Az SHC rendszerek alkalmazkodnak a fűtés és hűtés változó igényeihez, így ideálisak vegyes használatú fejlesztésekhez (pl. lakó-, kereskedelmi és ipari területek).
5. Csúcsterhelés kezelése: Az SHC rendszerek kisimítják az energiaigény csúcsait azáltal, hogy egyszerre elégítik ki a fűtési és hűtési igényeket.

1.2.4. A SHC

1. Kezdeti beruházás: Magas bekerülési költségek infrastruktúra és hőszivattyús rendszerek számára.
2. Komplex rendszertervezés: Precíz mérnöki méretezést igényel a fűtési és hűtési terhelések egyidejű egyensúlyához.
3. Energiatárolás: A hatékony TES rendszerek elengedhetetlenek ahhoz, hogy idővel kezeljék az eltérő fűtési és hűtési igényeket.
4. Integráció a megújuló energiával: Az SHC rendszerek megújuló energiaforrásokhoz (pl. naphős vagy geotermális) való kapcsolása növelheti a fenntarthatóságot, de gondos tervezést igényel.
5. Vezérlés: A fűtést és hűtést mindig fogyasztani, szállítani, tárolni vagy eloszlatni kell a hőmérséklet megfelelő szabályozása érdekében.

1.2.5. Az SHC alkalmazásai DHC hálózatokban

Tökéletesen megtervezve 5. generációs távfűtési és távhűtési (5GDHC) hálózatokhoz, de illeszkedik a hagyományos DHN és DCN rendszerekhez is. Különösen:

1. Vegyes használatú városfejlesztések: A különböző hőigényű lakó-, kereskedelmi és irodai épületek hatékonyan kiszolgálhatók.
2. Ipari parkok: Magas hűtési igényű iparágak (pl. adatközpontok) hőt biztosíthatnak a közeli ipari folyamatoknak vagy közösségeknek.
3. Kórházi komplexumok: A kórházak egyszerre igényelnek fűtést sterilizálás és hűtés céljából a betegek kényelme érdekében, így az SHC rendkívül alkalmazható.
4. Egyetemi kampuszok: A nagy kampuszok, amelyek változatos hőigényűek, optimalizálhatják az energiafelhasználást központosított SHC rendszerekkel.

Jövő:

1. Hibrid rendszer
2. STEMS: Megújuló források és fejlett hőszivattyús technológiák integrációja.
3. Digitalizáció: okoshálózatok és IoT használata a hőenergia-elosztás optimalizálására.
4. Körforgásos energia: Nagyobb hangsúly a hulladékhő visszanyerésére különféle forrásokból, például adatközpontokból és ipari folyamatokból.

1.3. Hőszivattyú- és hűtőtechnológiák kapcsolódása DHCN-ekhez

1.3.1. Megjegyzések a hőszivattyús technológiákról

A Modul 3 5.5. szakaszban bemutatott technológiák esetében – amennyiben azokat távhő- (DHN) vagy távhűtési (DCN) hálózathoz csatlakoztatják – a működési mód megváltozik: a környezetből, talajvízből,

tengervízből vagy hűtőtoronyhoz kapcsolódó vízkörből történő hőelvonás vagy hőleadás helyett a rendszer a hőhálózathoz csatlakozik.

A legtöbb esetben vízforrású hőszivattyúkról vagy vízhűtéses folyadékhűtőkről van szó, de a hőátadás történhet levegő közvetítésével is, illetve a hő tárolható a talajban.

Jelenleg a gőzkompressziós hőszivattyúk a leghatékonyabb rendszerek, amelyek teljesítménytényezője (COP) 3 és 6 között mozog. Ezzel szemben az abszorpciós rendszerek COP-értéke alacsonyabb (jellemzően 0,5 és 1,5 közötti), ám gazdaságosan üzemeltethetők hulladékhő vagy megújuló hőforrások felhasználásával, így villamos energiára csak a segédberendezések működtetéséhez van szükség. A hibrid rendszerek fejlesztése még korai szakaszban jár, alkalmazásuk többnyire kutatási projektekre vagy esettanulmányokra korlátozódik. A kalorikus technológiák kereskedelmi forgalomba hozatala ugyan még évtizedekre van, hosszú távon mégis jelentős potenciált rejtenek magukban, mivel nem igényelnek hűtőközeget, ami kiküszöböli a szivárgás kockázatát és csökkenti a karbantartási igényt.

1.3.2. Feltörekvő technológiák és jövőbeli trendek

Természetes hűtőközegek:

Az olyan hűtőközegek – mint például az ammónia (NH3), a szén-dioxid (CO2) és a szénhidrogének (pl. propán, izobután) – egyre szélesebb körű alkalmazása, mivel alacsony a globális felmelegedési potenciáljuk, és nem károsítják az ózonréteget.

A gyúlékonysággal (szénhidrogének) és a magas üzemi nyomással (CO2) kapcsolatos kihívások.

Magas hőmérsékletű hőszivattyúk:

Képes 100 °C feletti hőmérsékleten hőt szolgáltatni, így alkalmas ipari alkalmazásokra és távhőhálózatokba (DHN) történő integrálásra.

Korszerű munkaközegeket – például R-1234ze(E)-t vagy R-1336mzz(Z)-t – alkalmaz a jobb termikus stabilitás érdekében.

Digitalizáció és IoT:

Érzékelőkkel és IoT-kapcsolattal ellátott intelligens hőszivattyúk és folyadékhűtők, amelyek lehetővé teszik a valós idejű teljesítményfigyelést, a hibák észlelését és az előrejelző karbantartást.

Fejlett algoritmusok kereslet-válasz és csúcsterhelés-csökkentés céljára.

Termoelektromos és magnetokalorikus hűtés:

algoritmusok a kereslet-válasz (demand-response) és a csúcsterhelés-csökkentés (peak shaving) számára.

Termoelektromos és magnetokalorikus hűtés:

Termoelektromos hőszivattyúk: A Peltier-effektust hasznosítják hűtés vagy fűtés elérésére, mozgó alkatrészek nélkül.

Magnetokalorikus hűtés: Magnetokalorikus anyagokat alkalmaz hűtőközeg nélküli hűtés biztosítására.

A korlátozott skálázhatósággal és a magas költségekkel kapcsolatos kihívások.

Hibrid rendszerek:

Hőszivattyúk és hűtőberendezések integrálása megújuló energiaforrásokkal (pl. naptermikus, geotermikus).

Hőenergia-tárolás alkalmazása a terhelésszabályozás optimalizálása érdekében.

Integráció a kerületi energiarendszerekkel:

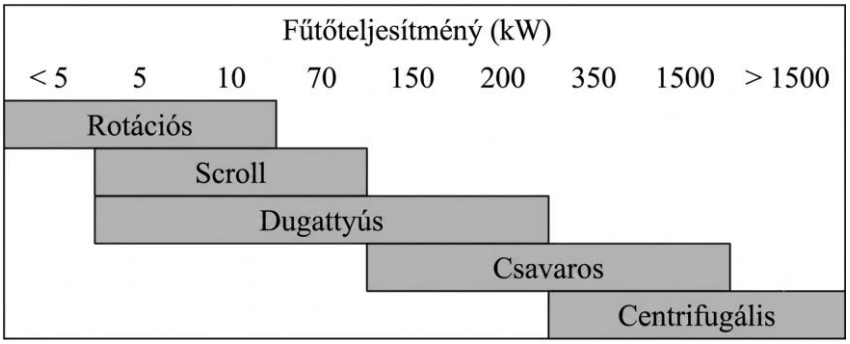
Távfűtési és távhűtési hálózatok egyidejű fűtési és hűtési alkalmazásokhoz, hőszivattyúk, hűtőberendezések és energia-visszanyerő rendszerek alkalmazásával a hatékonyság növelése érdekében.

1.4. Hőszivattyú- és hűtőtechnológiák kapcsolódása DHCN-ekhez

1.4.1. Kompresszorok

A hűtők és hőszivattyúk technológiája a kompresszorok típusától függ, amelyeket elsősorban az alkalmazás, a fűtési vagy hűtési kapacitás (5. ábra), valamint a hőelvezető és a hőforrás közötti hőmérsékletkülönbség (nyomásarány) alapján választják ki.

Ez befolyásolja a hűtőközeg kiválasztását, a telepítés méretét, a költségeket, a vezérlést és egyéb biztonsági vagy segédkomponenseket. Méretezés vagy optimalizálás szerint a kompresszorok párhuzamosan is csatlakoztathatók. A hűtő nevét a kompresszor típusától és a környezeti hő felhasználása vagy elnyelése (léghűtéses vagy vízhűtés) függvényében kapják.



5. ábra. Kompresszor típusa a fűtési kapacitástartomány függvényében [6].

- **Fejlett kompresszorok**

A kompresszor típusától függően a fejlett és nagy kapacitású hűtők is megnevezhetők:

1. Mágnescsapágyas folyadékhűtők:

a) Mágneses csapágyak alkalmazásával a kompresszor, a mechanikai súrlódását csökkenti.

b) Előnyök: Magas hatékonyság, alacsony zaj és kevesebb karbantartás.

c) Korlátok: Magas beruházási költség.

2. Centrifugálkompresszoros folyadékhűtők:

a) Centrifugális kompresszort alkalmaz a hűtőközegek keringésére.

b) Előnyök: Nagy kapacitás és hatékonyság nagyszabású alkalmazásokhoz.

c) Korlátok: Nem ideálisak kisebb rendszerekhez a magas költségek miatt.

1.4.2. Hőcsere

A hőszivattyúk és hűtők, valamint a DCN és DHN közötti hőcsere többsége hőcserélőkön alapul. Különböző technológiák léteznek, különböző osztályozások szerint, ahogy azt a Modul 3 5.3.1. szakaszban is bemutatják. A leggyakoribb hőcserélők a csőköteges hőcserélők, amelyeket petrolkémiai folyamatokban használnak, mikrocsatornák, amelyeket mobil légkondicionáláshoz használnak, vagy lég hűtéses hőcserélők a kondenzátorokban történő levegő elengedésére. Mivel hatékonyabb, a hőcsere konvektív vagy plusz fázisváltású. Ugyanakkor természetes konvekción alapulhat, mint például háztartási fagyasztók vagy hűtőszekrények. A legkompaktabb és leghatékonyabb technológia a folyadék-folyadék hőcserélőhöz a lemezes hőcserélők.

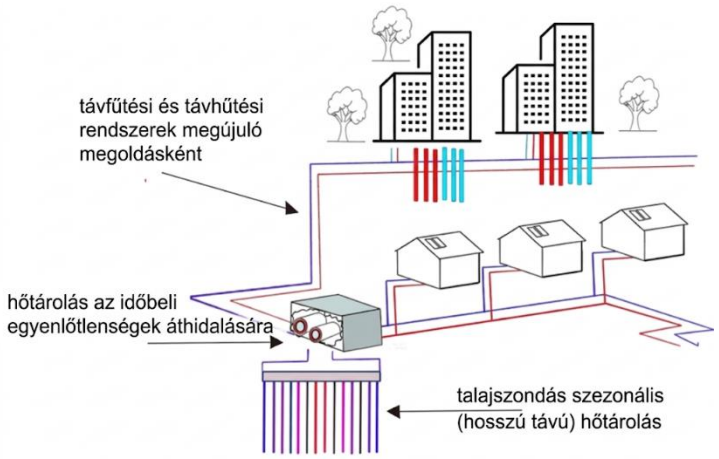
A lemezes hőcserélők a leggyakoribbak víz-víz hőcserélőkhöz, kondenzátorokhoz és párologtatókhoz.

1. Precíz hőátadás – kedvezőbb hőmérséklet-megközelítés, pontos ellenáramú áramlás, 80–90%-kal kisebb töltettérfogat.
2. Alacsony költségek – alacsony beruházási, telepítési, valamint korlátozott karbantartási és üzemeltetési költségek.
3. Maximális megbízhatóság – kisebb mértékű lerakódás, mechanikai feszültség, kopás és korrózió.
4. Felelősségteljes megoldás – minimális energiafelhasználás a kívánt folyamathatás eléréséhez, csökkentett tisztítási igény.
5. Egyszerű kapacitásbővítés – a meglévő keretekbe további lemezek helyezhetők.

A magas hőmérséklettel, nyomással, tömítéssel és részecskék okozta eltömődéssel kapcsolatos korlátok; ezeket megfelelő tervezéssel és karbantartással kezelik.

1.4.3. Hőenergia-tárolás

A hőenergia-tároló (TES) (6. ábra) elengedhetetlen a fűtés vagy hűtés csúcsterhelésének áthelyezéséhez. Olyan hálózatokban is használják, ahol éjszakai vagy nappali hőmérsékletek használhatók szabad hűtéshez vagy fűtéshez, illetve amikor csúcson túli megújuló vagy hulladékhő keletkezik. A vezető TES technológiák az Szenzibilis (érzékelhető) és látens hő (víztartályok), fázisváltó anyagok vagy jégtárolók, valamint a termokémiai TES. A TES magában foglalja a fűtési vagy hűtési tárolást. A fő hátrány a kWh-ra szükséges térfogat. A fázisváltozáshoz és a termokémiai TES-hez szükséges anyagok már korai fejlesztési szakaszban vannak, de hozzájárulhatnak ennek a problémának a megoldásához.



6. ábra. TES kapcsolat DHC-vel [7].

1.5. Hőszivattyúk, konfigurációk és hűtőközegek integrációja

A hőszivattyú méretezéséhez, tervezéséhez vagy kiválasztásához szükséges információk – beleértve a konfigurációt és a hűtőközegeket is – a hőleadási vagy hőfelvételi alkalmazási módon alapulnak. Az alábbi kérdések megválaszolása szükséges.

1. Milyen típusú hőszivattyút fognak használni? Csak hőhatású célokra (fűtés/hűtés) egy hibrid rendszer abszorpciós rendszerrel, hibrid rendszer villamosenergia-termeléssel, vagyis TES...
2. Hogyan fogják használni a hőszivattyút? Fűtés, hűtés, mindkettő egyszerre, mindkettő váltakozott...
3. A hőhálózatot használják a fűtés/hűtés támogatására vagy a fogadására?

    a) Alacsony hőmérsékletű DHN párologtató csatlakozásához és magas hőmérsékletű fűtés előállításához a kondenzátorban

    b) DCN csatlakozás a párologtatóban, gazdasági haszon az elpárologtató (hűtés) és a kondenzátor (magas hőmérsékletű fűtés)

4. Mi a célzott folyamat, hőmérséklet (fix vagy változó), valamint a hőátviteli közeg? DHN, DCN, hűtő, kereskedelmi hűtés (alacsony vagy közepes hőmérséklet), légkondicionálás, komfortfűtés, vízfűtés, ipari fűtés stb.

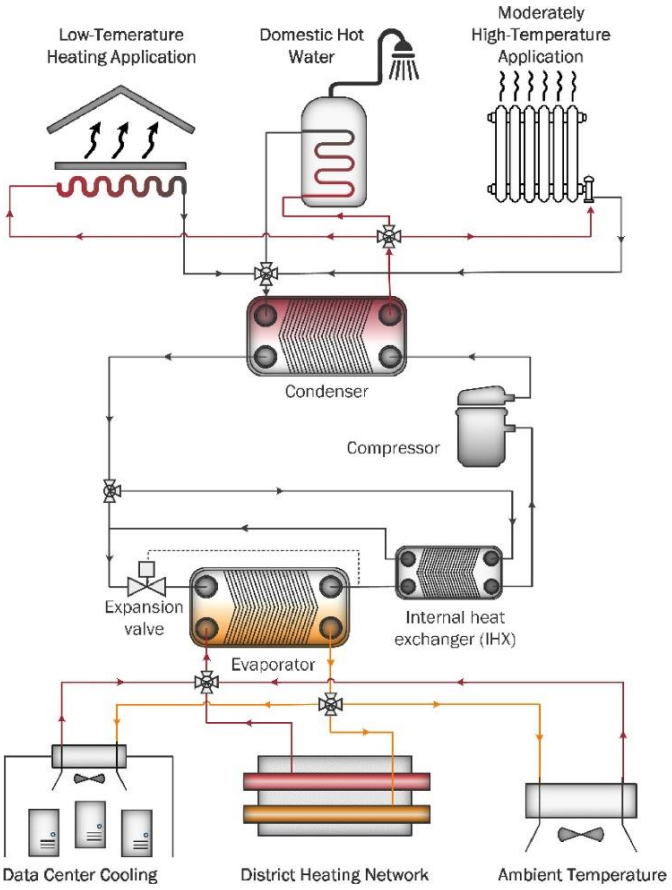
1.5.1. Az integráció lehetőségei

A városi és ipari fűtési és hűtés fogyasztásának kombinációja egy hőszivattyú által, valamint az egyidejű termelés lehetősége (1. táblázat és 7. ábra).

	Alkalmazás	Hőmérsékleti tartomány	Hagyományos technológia
Hőforrás	Környezeti levegő	0-30 °C (15 °C)	Több technológia
	Adatközpont hűtés	20-50 °C (35 °C)	R-410A alapú hűtési technológiák

	Alacsony hőmérsékletű távfűtés	40-70 °C (55 °C)	Keverési technológiák (hulladék-fűtés, gázkazán, szén stb.)
Hőfogyasztók	Alacsony hőmérsékletű térfűtés	45-50 °C	Nap-, villamos- vagy gázkazán
	Háztartási melegvíz	45-65 °C	Elektromos vagy gázkazán
	Ipari folyamatok/Fűtő radiátorok	75-90 °C	Központosított gázalapú rendszer

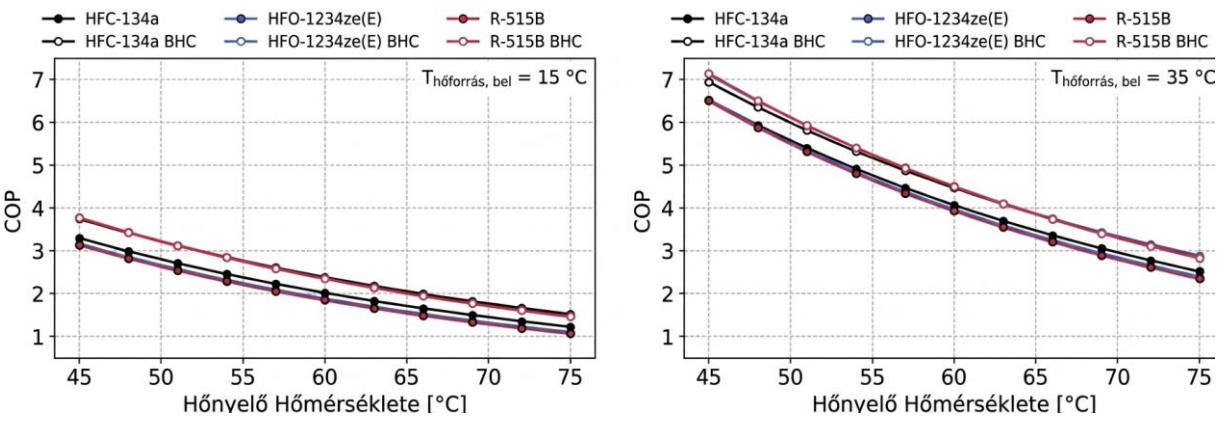
1. táblázat. Hőszivattyú alkalmazása egyidejű fűtésre és hűtésre [8].



7. ábra. Hőszivattyú alkalmazása egyidejű fűtésre és hűtéshez [8].

1.5.2. A működési hőmérsékletek hatása

A fogyasztó és a hőforrás hőmérsékletétől függően a COP jelentősen eltérhet (8. ábra). A COP a kW fűtés vagy hűtés kW-ját jelenti egy kW villamos teljesítmény felvételére. A magasabb COP alacsonyabb energiafogyasztást, alacsonyabb üzemeltetési költségeket és alacsonyabb CO2-kibocsátást jelent. (magasabb potenciál a dekarbonizáció szempontjából).



8. ábra. A COP változása a hőelnyelő és a hőforrás hőmérsékletének függvényében[8].

Kombináció DHN-vel, DCN-lel és ipari folyamatokkal

A hőmérséklettől és a DHN és a DCN közötti kapcsolattól függően különböző lehetőségek fontolóra vehetők a hőszivattyú (központi/helyi hőszivattyú) esetében.

Kombináció DHN-vel, DCN-nel és ipari folyamatokkal: energia perspektíva

A fogyasztó és a hőforrás közötti nagyobb különbség több fokozatot igényel a hőszivattyú gőzkompressziós ciklusában. Ezen felül a belső hőcserélő javíthatja az energiahatékonyságot, a hűtőközegtől és az alkalmazástól függően.

Kombináció DHN-vel, DCN-lel és ipari folyamatokkal: gazdasági nézőpont

Az üzemeltetési és beruházási költségek jelentős mértékben függnek az adott alkalmazástól, míg a fosszilis tüzelésű kazánok esetében elsősorban a fűtési igény a meghatározó tényező. Minden egyes esetet részletesen meg kell vizsgálni annak érdekében, hogy kiderüljön, melyik megoldáskombináció csökkentheti a költségeket és teheti vonzóbbá a beruházást.

Kombináció DHN-vel, DCN-lel és ipari folyamatokkal: Környezeti nézőpont

Az elért COP egyértelműen befolyásolja a megoldás fenntarthatóságát – különösen akkor, ha környezetbarát hűtőközegeket választanak. További kritikus tényező az elektromos hálózat, valamint a szén-dioxid-kibocsátási tényező (azaz a felhasznált villamos energia eredete).

Kombinált COP

A kombinált vagy összesített COP figyelembe veszi, hogy a hőszivattyú hőátadási teljesítménye mind a hűtést, mind a fűtést magában foglalja (amelyeket rendre az EER, illetve a COP jellemez). Ugyanakkor a bemeneti tényező a villamos energia, mivel a rendszer a környezetből vonja el a hőt.

Összehasonlítás fosszilis tüzelőanyagú kazánokkal

A gazdasági előny a fosszilis tüzelőanyagú kazánhoz képest jelentős, de ez a működési hőmérséklettől függ

1.6. Hulladék és megújuló hő

Bevezetés

A hulladék és a megújuló hő integrálható, hogy kiegészítse a hőszivattyú hűtésének vagy fűtésének hiányát, vagy hogy a csúcsidőben segítsen.

Bizonyos hőszivattyú elemeket kombinálhatnak hulladék- és megújuló hőforrásokkal, hogy növeljék az összérték COP-ját. Különböző szinteken valósítják meg a megújuló vagy hulladékhőforrás elérhetőségét, változékonyságát és hőmérsékletét függően.

1. A napelemek párologtatókhoz csatlakoztathatók, hogy növeljék a hőmérsékletet és a COP-t. Azonban a hőmérséklet nagyon változó lesz.
2. Az alacsony hőmérsékletű hulladékhő is csatlakoztatható a párologtatóhoz. Ez lehet állandóbb. A hulladékhő sokféle hőmérsékleten megjelenhet. A szürkevíz egy másik értékes hőforrás lehet az okos városokban.
3. Az adatközpontoknak jelentős hűtést igényelnek állandó hőmérsékleten. Ennek ellenére használhatók párolgás hőmérsékletének meghatározására és a hűtés egyidejű előállítására, jelentős energia- és gazdasági előnyökkel.
4. A magasabb hőmérsékletű fűtés összekapcsolható olyan elemekkel, amelyek az ejektorokkal kombinálódnak, növelve a végső COP-ot. Az ejektorok azonban csak CO2 szupermarket hűtésére használhatók, amely a fejlesztés középső szakaszában van.
5. A talajszondás hőszivattyúkat részletesen tanulmányozni kell a talaj állapotának meghatározása érdekében, ami technikai szempontból veszteslgessé teheti a befektetést.

1. példa. Egy új kombinált hulladékhő-naphajtású ejektor-nap-segített hőszivattyú egyszerre történő fűtésre és hűtésre. A rendszer három különböző forrásból származó hulladékhőt használ: PV/T (fotovoltaikus hőrendszer) lapos lemezgyűjtővel, tej pasztörizációs folyamatával és kondenzátorral cseréli a hőt.

Példa 2. Egy új, összetett PV/T (fotovoltaikus hős) hulladékhővel hajtott ejektor-hőszivattyú rendszer az adatközpont egyszerre történő hűtésére és hulladékhő visszanyerésére a távfűtési hálózatok számára. A rendszer PV/T hulladékhőt használ párologtató kondenzátorral az ejektor működtetésére, miközben a termelt elektromos energiát a hőszivattyú kompresszor és szivattyúk működtetésére használja.

3. példa. Kombinált szerves Rankine és összetett ejektor-multivaporátoros gőzturbina rendszer két hűtési szintre és fűtési célokra, energiatermeléssel, geotermikus és kondenzátor hulladékhő felhasználásával. A rendszert két üzemmódra használják: teljesítményhűtés kondenzátor hulladékhő felhasználásával, valamint áramtermelésre.

4. példa: ORC-rendszer kombinálása egy üvegházi hulladékhővel hajtott, összetett ejektoros VCC-egységgel az energiahatékony áram- és hűtés-, illetve hőtermelés érdekében. A rendszer széles körű talajhőforrás-tartományban üzemeltethető. Két forrásból származó hulladékhőt hasznosít többfunkciós, egyidejű hűtés, fűtés és áramtermelés céljából (három üzemmódban: áramtermelés és hűtés; áramtermelés és hőszivattyús fűtés; vagy áramtermelés és talajhőforrású fűtés). A rendszerhez egy, az ORC működését támogató talajhőforrás is kapcsolódik.

1.7. Hulladék és megújuló hő

1. Egyszerre történő fűtés és hűtés lehetséges hőszivattyúkkal/hűtőkkel
2. Ez lehetővé teszi a hőszivattyú energiakitermelésének maximalizálását. Ellenkező esetben az kárba veszne.
3. A DHN és a DCN ideálisan alkalmasak a profit maximalizálására és a drága csúcs-eltolódási stratégiák vagy nagyobb hőenergia-tárolás szükségességének csökkentésére.
4. A hőszivattyúk többféle kompresszortechnológiát is használhatnak, főként az egység hőkapacitásától és az alkalmazás által beállított nyomásaránytól függően.
5. Az egyidejű fűtés és hűtés hozzájárul a hőszivattyú jobb működési feltételeihez.
6. Az energiahatékonyság létfontosságú ahhoz, hogy a hőszivattyúk versenyképesek legyenek a kazánokhoz képest.

7. A hőszivattyúk különösen hatékonyak, ha alkatrészeik megújuló vagy hulladékhőt használnak. Számos hőforrást lehet figyelembe venni.

2. Hideg előállítási technológiák

2.1. Folyadékhűtők

Bevezetés

A hűtő eltávolítja a hőt egy folyamatból, gépből vagy épületből, hogy fenntartsa a szabályozott hőmérsékletet. Ezt úgy végzik, hogy egy hűtött folyadékot (gyakran vizet vagy víz-glikol keveréket) keringet, amely elnyeli a célterület hőjét, és átadja azt a környezetbe.

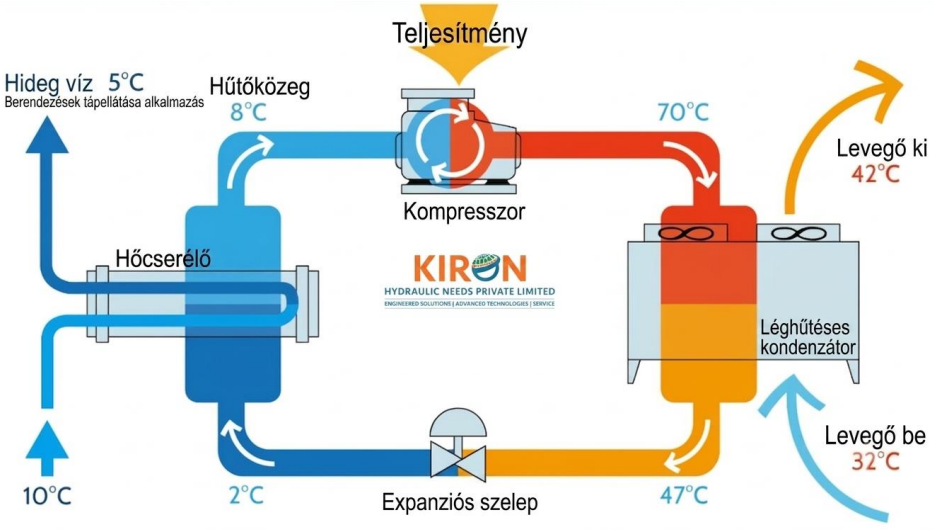
Gyakran használják ipari, kereskedelmi és HVAC (fűtési, szellőztető és légkondicionáló) rendszerekben berendezések, folyamatok vagy épületek hűtésére. Ezért több száz vagy több ezer kW hűtést igényel.

A Folyadékhűtőket széles körben használják olyan iparágakban, mint a gyártás, orvosi létesítmények, adatközpontok és élelmiszer-feldolgozás, hogy megőrizzék az optimális hőmérsékletet.

Működés

A 9. ábrán látható módon az elpárologtató feladata a hűtött víz előállítása. A berendezés körülbelül 6 °C-os vizet bocsát ki, amelyet egy szivattyú juttat el az épület különböző pontjaira. A víz ezt követően visszatér az elpárologtatóba, ahol a hűtőközeg felveszi a nemkívánatos hőt.

A kondenzátorhoz egy további kör is csatlakozik, amely a hűtőtorony és a kondenzátor között helyezkedik el. A víz körülbelül 27 °C-os (vagy környezeti) hőmérsékleten lép be a kondenzátorba, majd attól mintegy 5 fokkal magasabb hőmérsékleten távozik. Megjegyzendő, hogy a hűtőközeg egyetlen pillanatban sem adja le a hőt közvetlenül egy kültéri ventilátoros hőcserélőn (fan-coil egységen) keresztül [9].



9. ábra Folyadékhűtő működési sémája / elve[10].

2.1.1. Hűtőtípusok

A Folyadékhűtőket a hő eloszlatásának módja alapján osztályozzák:

1. **Léghűtéses folyadékhűtők**:

a) Ventilátorok segítségével fújnak levegőt a kondenzátortekercsre a hő leadása érdekében.
b) Ideális kis és közepes méretű rendszerekhez, illetve olyan esetekben, ahol korlátozott a vízhez való hozzáférés.
c) Gyakori a kereskedelmi HVAC-rendszerekben.

2. **Vízhűtéses folyadékhűtők (centrifugális):**

a) Hűtőtornyok esetében vízzel történő hűtés a hő hatékonyabb elvezetésére szolgál.

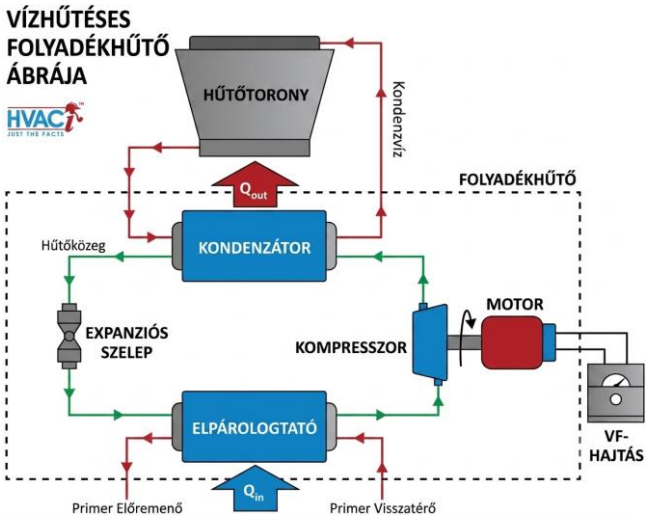
b) Alkalmas nagyméretű ipari alkalmazásokhoz, ahol nagyobb hatékonyságra van szükség.

Hűtőtorony: Ide kerül a kondenzátorból származó, vízhordozta hő, amely innen a környezeti levegőbe távozik. A folyamat során nedves levegőáramot (környezeti levegő és vízpermet keveréke) használnak. Ezek a nyitott tetejű berendezések számos kivitelben készülnek, különféle tényezőktől függően: lehetnek keresztáramúak, ellenáramúak, illetve természetes vagy kényszerített (mechanikus) huzatúak.

Vízhűtéses folyadékhűtő: Mivel hűtőtoronnyal rendelkeznek, hatásfokuk magasabb a léghűtéses berendezésekénél; a kondenzáció ugyanis a környezeti nedveshőmérséklettől függ, amely alacsonyabb a környezeti szárazhőmérsékletnél (10. ábra). Minél alacsonyabb hőmérsékleten történik a kondenzáció, annál hatékonyabb a folyadékhűtő működése. A rendszer számos alapvető elemből áll:

1. Hűtőtornyok
2. Vízszivattyúk
3. Hőenergia-tárolók

Méretük kisebb, tovább tart, és beltérben is elhelyezhetők.

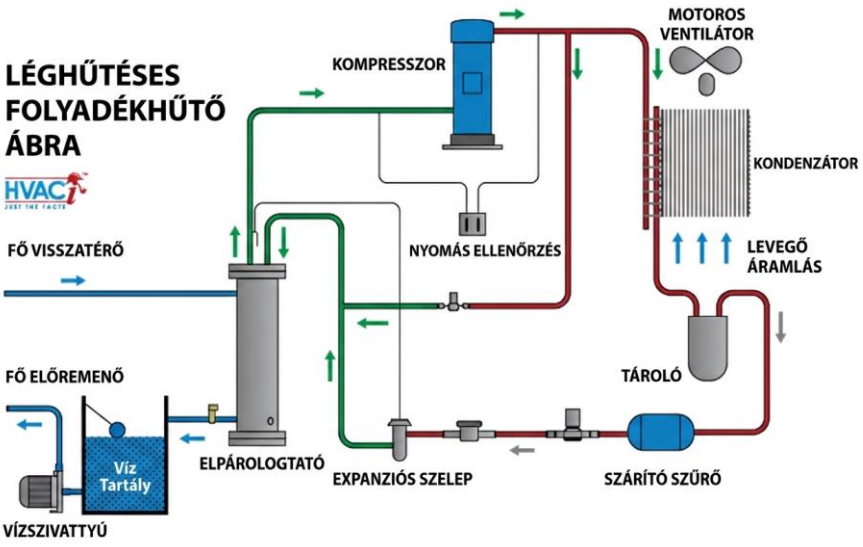


10. ábra. Vízhűtéssel hűtött hűtő működési séma [11].

Léghűtéses hűtő (11. ábra)

Előnyök a vízhűtéses berendezésekkel szemben:

1. Nincs vízfogyasztás.
2. Részterheléses üzemmódban is rendkívül megbízhatóak.
3. Nincs szükség hűtőtornyokra.
4. Kedvezőbb környezetvédelmi jellemzők.
5. Alacsony karbantartási költségek.
6. Egyszerűbb kezelés és vezérlés.
7. Megtakaríthatók a vegyszerköltségek.
8. Megtakaríthatók a vízköltségek, különösen városi környezetben.
9. Katasztrófahelyzet esetén nem merülnek fel vízellátással kapcsolatos problémák.



11. ábra. Léghűtéses hűtőrendszer működési séma [11].

2.1.2. Kulcsfontosságú mutatók és hatékonyság

1. Hűtési kapacitás (Qo): kilowattban (kW) mérve, ami a kivont hő mennyiségét jelzi.
2. Energiafogyasztás (WC): A kompresszorok fogyasztják a legtöbb áramot (kW) a rendszerben, ezért kialakításuk kritikus a hatékonyság szempontjából. A vízszivattyúkat és ventilátorokat figyelembe kell venni, mivel ezek a fogyasztás 10%-át képviselhetik.
3. Energiahatékonysági arány (EER): A teljesítmény mértéke a biztosított hűtés és az elfogyasztott energia arányából (kW hűtés / kW áram) (Egyenlet (1)).

$$EER = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{W}_c} \quad (1)$$

4. Szezonális energiahatékonysági arány (SEER): Hasonlóan az EER-hez, de egy egész szezonra, a hűtési teljesítményt az összteljesítmény (kWh hűtés/kWh villamosenergia) osztásával kiszámítva.

2.1.3. Szezonális energiahatékonysági arány (SEER)

1. A SEER meghatározott beltéri hőmérsékletet, valamint különböző kültéri hőmérsékleteket és terhelési kapacitásokat használ, hogy a valós életet szimulálja.
2. Az EN 14825 szabvány [12] határozza meg a tesztmódszertant (2. táblázat).

		Kapacitás			
		100%	**74%**	**47%**	**21%**
Kültéri hőmérséklet	**Légfogyasztás**	35 °C	30 °C	25 °C	20 °C
	Vízfogyasztás	30 °C	26 °C	22 °C	18 °C

2. táblázat. Eset példa a SEER hőmérséklet-készletére és terhelési kapacitásaira

3. Az energiahatékonysági osztály a SEER-től és a berendezés típusától függ. A+++ és G között az első leghatékonyabb osztályozás.

Rendszer teljesítménye függ:

1. Jó tervezés és professzionális telepítés az egész rendszerhez.
2. Rendszeres karbantartás.
3. Az épület mérete és az energiahatékonyság.
4. A rendszer mérete és légkezelési kapacitása.
5. A rendszer napi használatának időtartama.
6. A belső hőmérséklet.
7. A kültéri levegő hőmérséklete.

Energiahatékonysági arány (EER)

Léghűtéses folyadékhűtők:

1. Tipikus EER: 9 és 12 év között.
2. Ezek a rendszerek általában kevésbé hatékonyak, mint a vízhűtéses hűtők, de jobban alkalmasak kisebb vagy közepes méretű alkalmazásokhoz.

Vízhűtők:

1. Tipikus EER: 12 és 15 között, nagy hatékonyságú modelleknél eléri a 15 fölötti értéket.
2. A vízhűtéses hűtők hatékonyabbak, különösen nagyméretű vagy ipari alkalmazásokban, mivel a víz nagyobb hőeloszlási kapacitással rendelkezik a levegőhöz képest.

Nagy ipari hűtők:

1. A nagy teljesítményű ipari vízhűtéses hűtők EER-je is meghaladhatja a 15-öt, méretüktől és alkalmazásuktól függően.

Hideg fogyasztók alkalmazásai

1. HVAC rendszerek
2. Ipari folyamatok (élelmiszerfeldolgozás, műanyagfeldolgozás, fémfeldolgozás...)
3. Adatközpontok
4. Hűtés
5. Egészségügy
6. Erőművek
7. Jégpályák
8. Távhűtés

2.2. Abszorpciós folyadékhűtők

2.2.1. Hűtőtípus

Gőzkompresszoros hűtők

A kompresszor az a hajtóerő, amely a hűtőközeget pumpálja a rendszer körül. A kompresszorhoz mechanikusan csatlakoztatott motor aktiválásához áram szükséges.

2.2.2. Abszorpciós hűtőberendezések

A Abszorpciós folyadékhűtőknél nincs kompresszor az egységben. Ehelyett hőforrást, például napenergiát vagy hulladékhőt használnak, hogy a hűtőfolyadékot áthajtsák a rendszeren. Nincs szükség áramra. Ráadásul csendesebbek és ellenállóabbak a szivárgással szemben, mivel nincsenek magas nyomású elemek. A használt gázok kizárólag természetes hűtőközegeken alapulnak.

Ez a rész bemutatja a Abszorpciós folyadékhűtők működését.

2.2.3. Abszorpciós hűtés

Hőforrást használnak a hűtési ciklus működtetéséhez (a mechanikai energia helyett). Ezek a rendszerek általában hűtőközeget éshőelnyelő folyadékot használnak (12. ábra).

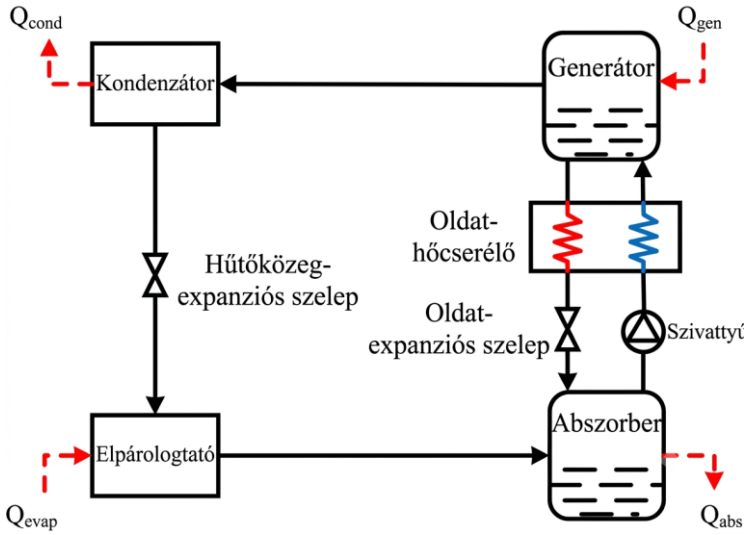
1. A folyamat a párologtatóban lévő folyékony hűtőközeggel kezdődik, amely gáz halmazállapotúvá válik.

2. Ezt követően a gáz halmazállapotú hűtőközeget egy koncentrált abszorbens – például lítium-bromid vagy ammónia – nyeli el, amelyet a generátor biztosít.

3. Végezetül a híg oldat elnyeli a hűtőközeget, miközben a hűtővíz hőt von el a rendszerből.

4. A hűtőközeg és az abszorbens híg oldata hőcserélőn keresztül a generátorba áramlik, ahol felmelegítik.

5. A hűtőközeg elpárolog az oldatból, kondenzálódik, majd ismét a hűtési folyamatba kerül. A immár koncentrált abszorbens szintén visszakerül a körforgásba.



12. ábra. Abszorpciós gép [13].

Fő összetevők:

1. Elpárologtató: Itt veszi fel a hőt és párolog el a hűtőközeg.
2. Abszorber: Itt nyeli el az abszorbens folyadék a hűtőközeg-gőzt.
3. Generátor: Itt választják el hő segítségével a hűtőközeget az abszorbensből, regenerálva ezzel a hűtőközeget.
4. Kondenzátor: Itt adja le a hőt a hűtőközeg, és kondenzálódik vissza folyadékká.

Abszorpciós hűtési lépések:

Elpárologtatás: A rendszer elpárologtatójában a hűtőközeg (jellemzően ammónia vagy víz) hőt von el a hűtendő tértől vagy tárgytól. A hő hatására a hűtőközeg elpárolog, és kisnyomású folyadékból gőzzé alakul.

Abszorpció: A hűtőközeg-gőz az abszorberbe áramlik, ahol egy abszorbens folyadékoldat (ammónia-víz rendszerekben általában víz, víz-lítium-bromid rendszerekben pedig lítium-bromid) elnyeli azt. Ez a folyamat alacsonyabb nyomáson megy végbe.

Desztilláció (regenerálás): A generátor hőforrást (pl. gázégő, meleg víz, hulladékhő, megújuló hőenergia) használ a hűtőközeg és az abszorbens szétválasztására. A közölt hő hatására a hűtőközeg elpárolog, és leválik az abszorbensről. Ez a lépés regenerálja a hűtőközeget, amely ezután visszakerül a kondenzátorba.

Kondenzáció: A hűtőközeg-gőz a kondenzátorba jut, ahol hőt ad le (a generátorból származó hőt) a környezetnek. Itt nagynyomású folyékony hűtőközeggé kondenzálódik vissza, majd visszakerül az elpárologtatóba, és a ciklus megismétlődik.

Az abszorbens oldat: Miután a generátorban a hűtőközeget leválasztották az abszorbensről, a koncentrált abszorbens (amelyből távozott a hűtőközeg) visszakerül az abszorberbe, hogy a ciklus újrakezdődhessen.

Az anyagok tulajdonságai, amelyeket n Abszorpciós hűtőrendszerekben használnak

1. A hűtőközegnek illékonyabbnak kell lennie az abszorbensnél – vagyis forráspontjának lényegesen alacsonyabbnak kell lennie –, így a generátorban lévő oldatot elegendő csupán a hűtőközeg forráspontjáig felmelegíteni.

2. A hűtőközegnek jól kell oldódnia az abszorberben lévő oldatban.

3. Az abszorbensnek erős affinitást kell mutatnia a hűtőközeg iránt, ami minimalizálja a keringetett hűtőközeg mennyiségét.

4. Az üzemi nyomásnak alacsonynak kell lennie, hogy a tartályfalak és az összekötő csövek ne igényeljenek nagy falvastagságot.

5. A rendszerben nem következhet be kristályosodás vagy megszilárdulás, mivel a kristályosodás gátolná az oldatok szabad áramlását a vezetékekben.

6. A keveréknek biztonságosnak, kémiailag stabilnak, nem korrozívnak, olcsónak és könnyen beszerezhetőnek kell lennie. A hűtőközegnek magas párolgáshővel kell rendelkeznie.

2.2.4. Abszorpciós hűtőrendszerek típusai

A korábban említett követelmények kapcsán kétféle keverék (hűtőközeg/abszorbens) alkalmazása jellemző:

50°C alatti alkalmazásokhoz: Ammónia-víz (NH3-H2O) – Ez az egyik legelterjedtebb rendszer az olyan nagyléptékű alkalmazásokban, mint az ipari hűtés; itt az ammónia a hűtőközeg, a víz pedig az abszorbens.

Hátránya, hogy a víz illékony, és nem választható el könnyen az ammóniától. A hatásfok javítása érdekében rektifikáló oszlopra van szükség; a ciklus összetettebb, mint a másik keverék esetében. Mivel az ammónia nem összeférhető olyan anyagokkal, mint a réz vagy a sárgaréz, a teljes rendszert általában acélból készítik. Az ammónia gyúlékony és erősen mérgező.

50°C feletti alkalmazásokhoz (elsősorban légkondicionálás): Víz-lítium-bromid (LiBr) – Gyakran alkalmazzák nagy épületek és kereskedelmi létesítmények légkondicionálására, valamint melegvíz-ellátására. Ebben az esetben a víz a hűtőközeg, a lítium-bromid pedig az abszorbens. A keverék fő problémája, hogy 0°C-on megszilárdulhat; a LiBr már mérsékelt koncentrációban is kristályosodik. További hátrányt jelent az alacsony nyomás (vákuum) és az oldat nagy viszkozitása. A berendezésbe beszivároghat a környezeti levegő. Előnyei közé tartozik a nagyfokú biztonság, valamint a kedvező illékonysági arány, affinitás, stabilitás és látens hő. A rendszer a terheléshez az abszorbens újrakoncentrálási sebességének változtatásával alkalmazkodik.

Releváns paraméterek

1. Hűtőteljesítmény ((Q_o)̇): Az elpárologtató által a hűtendő térből vagy folyamatból elvont hőmennyiség; jellemzően kW-ban mérik.
2. Hőbevitel ((Q_g)̇): Az abszorpciós ciklus működtetéséhez szükséges hőmennyiség, amelyet jellemzően valamilyen hőforrás – például földgáz, hulladékhő vagy napenergia – biztosít. Gyakran kW-ban mérik.
3. Teljesítménytényező (COP): A hűtőteljesítmény (Qo) és a hőbevitel (Qg) aránya ((2). egyenlet).

$$\mathrm{COP} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{Q}_g} \qquad (2)$$

A COP az energiahatékonyság egyik kulcsfontosságú mutatószáma. A magasabb COP hatékonyabb rendszert jelez. Abszorpciós hűtésnél a jellemző COP-értékek 0,5 és 1,5 között mozognak, ami jelentősen alacsonyabb a gőzkompressziós rendszerekéhez képest.

Az abszorpciós hűtés előnyei:

1. Nincs mozgó alkatrész: Mivel nem támaszkodik kompresszorokra, az abszorpciós hűtés mechanikusan egyszerűbb és gyakran megbízhatóbb.
2. Energiaforrás rugalmassága: Ez különböző energiaforrásokkal, például földgázzal, napenergiával vagy hulladékhővel működhet, így alkalmassá teszi hálózaton kívüli vagy megújuló energia alkalmazásokhoz.
3. Csendes működés: Mivel nincsenek mechanikus kompresszorok, ezek a rendszerek csendben működnek.

Az abszorpciós hűtés hátrányai:

1. Hatékonyság: Az abszorpciós hűtőrendszerek általában kevésbé hatékonyak, mint a hagyományos kompresszor alapú rendszerek, jelentős hőbevitést igényelnek.
2. Magasabb beruházási költség: A technológia telepítése drágább lehet, különösen nagyobb egységeknél.
3. Lassú válaszidő: Ezek a rendszerek tovább tarthat alkalmazkodni a hűtési igény változásaihoz, mint a kompressziós rendszerek.
4. Komplex karbantartás: Gondos karbantartást igényelnek, különösen az elnyelő oldattal együtt, amelyet megfelelő koncentráció és szennyeződés miatt kell ellenőrizni.

Párakompressziós rendszerekhez képest (13. ábra):

Kompressziós rendszerek	Abszorpciós rendszerek
Mechanikai munkával hajtott	Hőenergiával hajtott
Magas COP	Alacsony COP (jelenlegi maximum ≈ 1,4)
A teljesítmény (COP és hűtőteljesítmény) erősen függ az elpárolgási hőmérséklettől	A teljesítmény kevéssé érzékeny az elpárolgási hőmérsékletre
Részterhelésnél a rendszer COP-ja jelentősen csökken	A COP részterhelésnél sem csökken jelentősen
Az elpárologtatóból kilépő folyadék károsíthatja a kompresszort (folyadékütés)	A folyadék jelenléte a kilépésnél nem okoz súlyos problémát
A teljesítmény érzékeny az elpárologtató túlhevítésére	Az elpárologtató túlhevítése nem kritikus
Sok mozgó alkatrész	Nagyon kevés mozgó alkatrész
Rendszeres karbantartást igényel	Igen csekély karbantartási igény
Nagyobb zaj és rezgés	Kisebb zaj és rezgés
A kis rendszerek kompaktak, a nagyok terjedelmesek	A kis rendszerek terjedelmesek, a nagyok kompaktak
Gazdaságos, ha rendelkezésre áll villamos energia	Gazdaságos, ha alacsony költségű tüzelőanyag vagy hulladékhő áll rendelkezésre

13. ábra. Abszorpciós rendszerek összehasonlítva a kompressziórendszerekkel [14].

Alkalmazások

1. Kereskedelmi légkondicionálás
2. Ipari hűtés
3. Adatközpontok
4. Hűtőtechnika
5. Légkondicionálás távoli helyszíneken
6. Hulladékhő-hasznosító rendszerek
7. Egészségügy és kórházak
8. Napenergiás hőhasznosítási alkalmazások
9. Kombinált hő- és villamosenergia-termelő (CHP) erőművek
10. Távfűtési és távhűtési hálózatok

2.3. Hőenergia-tároló (TES)

A hőenergia-tárolás (TES) a hőt vagy a hűtést későbbi felhasználásra tárolja, elválasztva a termelést a fogyasztástól. A koncepció hasonló az elektromos akkumulátorokhoz, de az elektromos áram tárolása helyett fűtést vagy „hűtést" tárolnak, növelve a folyadék hőmérsékletét, vagy fázisváltást alkalmazva (általában szilárdból folyékonyba és fordítva). Ez azt jelenti, hogy fűtés vagy hűtés akkor termelhető, amikor extra többlet vagy megújuló villamos energia, vagy hulladékhő áll rendelkezésre, majd szükség esetén felhasználható. Ez különösen érdekes a táv- vagy hulladékhűtéses hálózatokban (DCN), ahol a központi vagy hulladékhűtés független az egyéni vagy ipari fogyasztóktól.

Az energiatárolás típusai

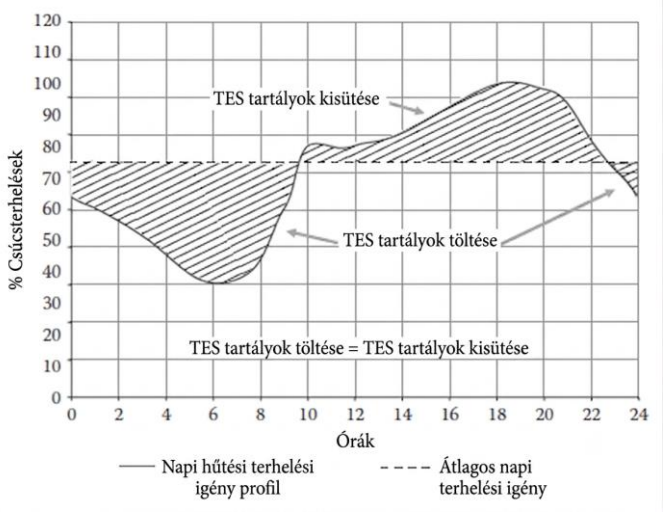
1. Mechanikai: sűrített levegős, szivattyús-tározós, lendkerekes…
2. Elektrokémiai: akkumulátor.
3. Elektromos: szuperkondenzátorok, szupravezető mágneses energiatároló (SMES).
4. Kémiai: hidrogén.
5. Termikus: érzékelhető hő, látens hő, termokémiai..

2.3.1. A TES fő előnyei

A DCN-ekben a TES jellemzően a hűtőenergia tárolását jelenti egy szigetelt víztartályban. A tartályt csúcsidőn kívüli időszakokban (éjszakákon vagy hétvégéken) hűtik vagy fagyasztják, csúcsidőnkénti időszakokban (hétköznapokon) pedig megolvasztják vagy felmelegítik (14. ábra).

Ez csökkenti a nagy hűtőberendezések iránti igényt a csúcsterhelés idején azáltal, hogy a TES-t lemeríti a terhelés egy részének vagy egészének kielégítésére. A plusz hűtőkapacitás a csúcsidőn kívüli időszakokban tölti a TES-t, miközben a csúcsidőn kívüli hűtési terheléseket is kielégíti.

A kisebb kapacitású hűtőberendezések csökkentik a beruházási és üzemeltetési költségeket, valamint csökkentik a hálózat elektromos terhelését.



14. ábra. TES tartályok töltési és kisütési időszakai[15].

2.3.2. A TES típusa (3. táblázat)

Általánosságban elmondható, hogy a hűtési célú hőtárolási (TES) technológiák három fő típusba sorolhatók:

Latens hőtároló rendszerek (például jég alapú rendszerek vagy fázisváltó anyagok – PCM): ezek a rendszerek a hőenergiát a tárolóközeg fázisváltozása révén – jellemzően szilárd és folyékony

halmazállapot között – tárolják. A hőtárolás szempontjából nem a közeg hőmérsékletének változása a meghatározó, hanem a halmazállapot-változás folyamata.

A fázisváltó anyagokat (PCM) úgy fejlesztették ki, hogy meghatározott hőmérsékleten, latens hő formájában tárolják a hőt. Ezeket az anyagokat gyakran alkalmazzák napenergia-hasznosító rendszerekben és építőanyagokban, ahol elnyelik és tárolják az épületben keletkező felesleges hőt.

Érezhető hő tárolására szolgáló rendszerek (pl. hűtött víz vagy alacsony hőmérsékletű közegek alkalmazásával): ezek a rendszerek a hőenergiát a tárolóközeg hőmérséklet-változása révén tárolják. A hőenergia tárolására és leadására vizet vagy kőzetet használnak. Ez a típusú hőtárolás leginkább lakóépületek esetében alkalmazható.

Termokémiai hőtároló rendszerek, amelyek kémiai reakciókon alapulnak.

Geotermikus- és talajvíz-rétegben (akviferben) történő hőtárolás (hosszú távú megoldások).

	Jégtároló tartály	**Hidegvíz-tároló tartály**	**Alacsony hőmérsékletű folyadéktárolótartály**
Tárolás típusa	Latens hő	Érzékelhető hő	Latens hő
Nyomóoldali (kilépő) hőmérséklet	1°C-tól 7°C-ig	4°C-tól 6°C-ig	-1°C-tól 2°C-ig
Töltési hőmérséklet	-8°C-tól -2°C-ig	4°C-tól 6°C-ig	-1°C-tól 2°C-ig
Újratöltési hűtőgép és áramellátás (kW áram be/kW hő kiment)	0,8–1,1 kW/tonna (0,23-tól 0,31-ig)	0,6–0,7 kW/tonna (0,23-tól 0,31-ig)	0,7–0,8 kW/tonna (0,23-tól 0,31-ig)

3. táblázat. A TES tartály típusai [16].

Alkalmazások

1. Oktatási intézmények: iskolák, főiskolák és egyetemek.

2. Egészségügyi intézmények: kórházak, klinikák, laboratóriumok és orvosi kutatóintézetek.

3. Repülőterek, múzeumok: valamint sport- és szórakoztató komplexumok.

4. Kormányzati intézmények: intézményi; katonai; kutatóintézetek; adminisztratív; és büntetés-végrehajtási intézmények szövetségi, állami és helyi szinten.

5. Magánszektor: kereskedelmi és ipari létesítmények (beleértve a repülést és a repülőgépipart, az autóipart, a számítástechnikát, az adatfeldolgozást, az elektronikát, a gyógyszeripart és a telekommunikációt).

6. Távhűtési közművek: CHW közműrendszerek, amelyek több ügyfélnek értékesítenek hűtést.

7. Energiaszolgáltatások/Teljesítményszerződések: harmadik fél által finanszírozott projektek, amelyeket energiahatékonysággal kapcsolatos költségmegtakarítások finanszíroznak.

8. Turbina bemeneti hűtése: a meleg időjárású teljesítmény és a belső égésű turbinás erőművek hatékonyságának növelése.

Latens hő TES

Előnyök:

1. Magasabb energiasűrűség: A rejtett hőtároló rendszerek több energiát tárolhatnak kisebb térfogatban, mivel fázisváltozások során tárolják az energiát (pl. folyékonyból gázba vagy szilárdból folyadékba), ami állandó hőmérsékleten történik.
2. Stabil hőmérséklet: A hőmérséklet állandó marad a fázisváltás alatt, így könnyebb kezelni a hőkimeneteket.
3. Hatékony nagyszabású rendszereknél: A nagyobb energiasűrűség miatt a rejtett hő TES gyakran hatékonyabb nagyobb, központosított hűtő- vagy fűtési rendszerekben.

Hátrányok:

1. Komplexitás: A latens hő TES rendszerek általában összetettebbek és drágábbak tervezésük és üzemeltetése a speciális anyagok (például fázisváltó anyagok vagy PCM) igénye miatt.
2. Anyagkorlátok: A latens hőtárolás teljesítménye nagyban függ a fázisváltó anyag kiválasztásától, ami korlátozhatja a hőmérsékleti tartományt, ciklusstabilitást és költségeket.

Érzékelhető hő TES

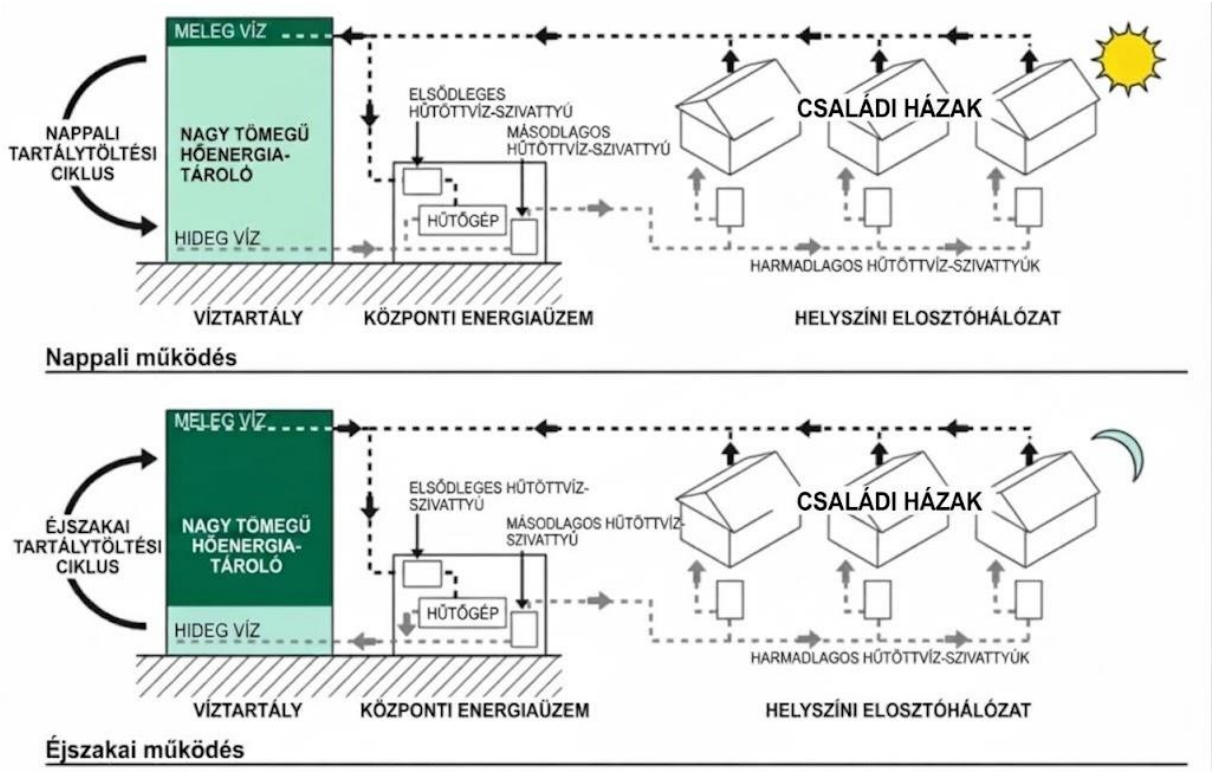
Előnyök:

1. Egyszerűbb kialakítás: Az ésszerű hőtárolás magában foglalja egy tárolóközeget (pl. víz vagy kő) felmelegítését vagy hűtését, aminek egyszerűbb és olcsóbb a megvalósítása, mint a latens hőrendszerek.
2. Széles anyagválaszték: Az érzékelhető hő TES különféle anyagokat (például vizet, levegőt vagy köveket) használhat, amelyek széles körben elérhetők és olcsók.
3. Bizonyított technológia: Az érzékelhető hőrendszerek széles körben használatosak és érthetőek, bevált teljesítményjellemzőkkel.

Hátrányok:

1. Alacsonyabb energiasűrűség: Az érzékelhető hőrendszerek kevesebb energiát tárolnak ugyanabban a térfogatban, mint a rejtett hőrendszerek, mert az energia a közeg hőmérsékletének megváltoztatásával tárolódik, nem fázisváltozással.
2. Hőmérséklet-ingadozások: A tároló közeg hőmérséklete a töltés és kisülés során változik, ami nehezebbé teheti a kezelést és kevésbé következetessé, mint a rejtett hőrendszerek.

A TES integrációja a DCN-be (15. ábra)



15. ábra. TES tartály integrációja a DCN-be [17].

A TES DCN-be integrálásának általános előnyei:

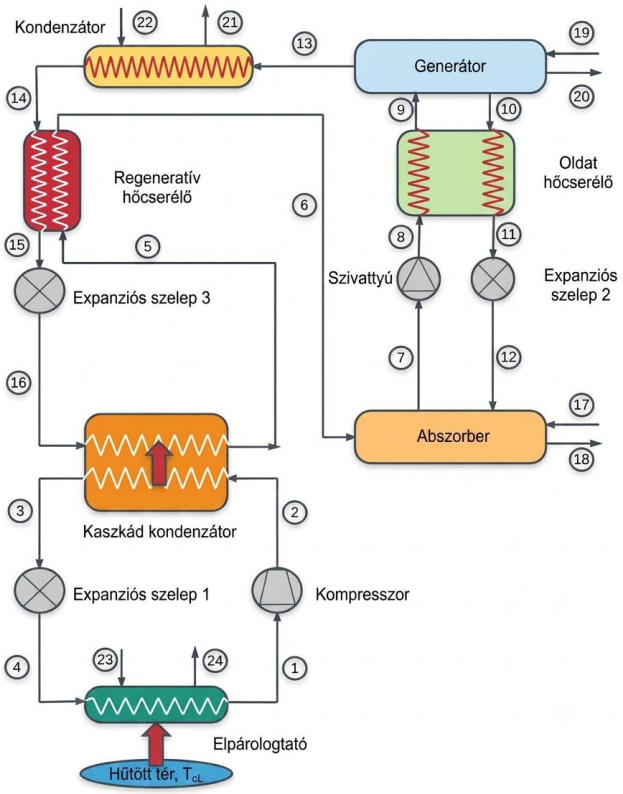
1. A telepítés összköltsége alacsonyabb a hűtőüzem telepített kapacitásának csökkenése miatt. A hűtőberendezések mérete kisebb, mert átlagos terhelésre tervezték, nem csúcsra.
2. Az üzemeltetési költségek alacsonyabbak az on-line hűtőrendszerhez képest, mivel a csúcsfogyasztás elkerülhető a magas elektromos tarifás időszakokban.
3. A környezeti hatás csökken a CO_2 csökkentése miatt. Az energia tárolása és a hőenergia-tároló tartály működési hatékonyságának javítása tovább csökkenti a távoli hűtőrendszer CO_2-kibocsátását.
4. A hűtőrendszer üzemi mérete csökkenthető. Ezt az a tény magyarázza, hogy az üzem által termelt energia hűtési kapacitása alacsonyabb lesz, mivel a tartályban már felhalmozódott energia. Ezért kisebb hűtőrendszert is lehet használni.

2.4. Mechanikus meghajtású (kompresszoros) és hőenergiával hajtott (abszorpciós) folyadékhűtők hibrid kapcsolása.

Bevezetés

Mechanikus hajtású rendszerek (például gőzkompressziós hűtés) és hőenergiával működő abszorpciós rendszerek kombinációja (16. ábra). A megoldás két eltérő hűtési technológiát ötvöz a rendszer általános teljesítményének, energiahatékonyságának és fenntarthatóságának javítása érdekében. A két rendszer a kondenzátoron keresztül kapcsolható össze: a gőzkompressziós rendszer által leadott hőt egy másik kör – az abszorpciós rendszer – hasznos hőként hasznosítja. E

hő hasznosítás hiányában a környezetbe távozna és elveszne; ily módon a megoldás maximalizálja a teljes rendszer energiahatékonyságát.



16. ábra. Mechanikusan hajtott rendszerek és hőenergia-vezérelt abszorpciós rendszerek kombinációjának sémája [18].

Alkalmazások

A gőzkompressziós rendszerek és az abszorpciós hűtőrendszerek együttesen és külön-külön is alkalmasak olyan területekre, ahol egyszerre van szükség hűtésre és fűtésre, vagy ahol szükség van a hulladék hő felhasználására, például távfűtési és hűtési rendszerekben, ipari üzemekben vagy nagy kereskedelmi épületekben.

E rendszerek kombinálásával a hibrid rendszer kihasználja az egyes technológiák erősségeit.

Például alacsony hűtési igény vagy hulladékhő esetén az abszorpciós rendszer átveheti az irányítást, csökkentve az áramfogyasztást.

Másrészt magas kereslet esetén vagy amikor a hőenergia nem elég, a mechanikai rendszer aktiválható, hogy további hűtőkapacitást biztosítson.

Ez az integráció optimalizálja az energiafelhasználást, csökkenti az üzemeltetési költségeket, és hozzájárul a fenntarthatósághoz megújuló hőforrások, például hulladékhő vagy napenergia használatával. Emellett a rendszer különböző hőmérsékleti körülmények között is képes működni, rugalmasságot és alkalmazkodóképességet biztosítva.

Kulcsfontosságú paraméterek

Ebben az esetben a COP figyelembe veszi a teljes rendszer bemeneteit és kimeneteit ((3) egyenlet):

COPc: kombinált teljesítményegyüttható (teljes rendszer)

$\dot{Q}_{cas,\,cond}$: kaszkád kondenzátor terhelés

$\dot{Q}_g$: hőterhelés bemenete

$\dot{W}_C$: kompresszor energiafogyasztása

$\dot{W}_P$: szivattyú energiafogyasztása

$$COP_C = \frac{\dot{Q}_{cas,\,cond}}{(\dot{Q}_g + \dot{W}_C + \dot{W}_P)} \quad (3)$$

Előnyök

1. Magasabb energiahatékonyság (javult COP).
2. Csökkentett szénlábnyom.
3. Alkalmazkodóképesség különböző hőforrásokhoz.
4. Alacsony hőmérsékletű működés.
5. Alacsony energiafogyasztás az abszorpciós részben.

Hátrányok

1. Magasabb összetettség és kezdeti költség
2. Magasabb karbantartási költségek
3. Változó hatékonyság
4. Nagyobb méret- és helyigények
5. Hűtési kapacitás korlátai
6. További hő szükséges

A rendszer alkalmazásai

1. Ipari hűtés
2. Körzeti hűtési rendszerek
3. Kombinált hő- és villamosenergia-erőművek (CHP)
4. Kombinált fűtés és hűtés (CHC)
5. Vegyipari és petrolkémiai ipar
6. Adatközpontok

Távfűtés és hűtés hulladékhő visszanyerésével

1. Hűtött közeg szállítás
2. Jégpályák és sportlétesítmények
3. Gyógyszerészeti és orvosi alkalmazások
4. Napelemes hűtőrendszer

A költségek és a bonyolultság miatt azonban nem terjedtek el széles körben. Piaci megjelenésükhöz technológiai fejlődésre vagy az alkalmazásukat ösztönző szabályozásra van szükség.

2.5. Következtetések

A léghűtéses és vízhűtéses folyadékhűtők előnyei és hátrányai jelentősen eltérnek egymástól, ami az alkalmazási terület és az éghajlati viszonyok függvényében befolyásolja a rendszer kiválasztását. A hőszivattyúk és folyadékhűtők teljesítményét jellemzően a COP (teljesítménytényező) és az EER (energiahatékonysági mutató) értékekkel határozzák meg – amelyek a névleges üzemi állapotot tükrözik –, míg a szezonális COP és EER reálisabb képet ad, mivel figyelembe veszi az egész éves

teljesítményt. Az elektromos áram helyett hőenergiával működő abszorpciós hűtőberendezések földgázzal is üzemeltethetők, ám fenntarthatóságuk jelentősen javítható, ha megújuló energiaforrásokról, hulladékhőből vagy távhőhálózatról látják el őket energiával. E rendszerek kétféle munkaközeget alkalmaznak, amelyek megfelelőségét az adott alkalmazási terület alapján kell értékelni. Bár a hőenergia-tárolás hagyományosan melegvíz-tárolókban, érzékelhető hő formájában történik, a fázisváltó anyagok és a termokémiai tárolási megoldások ígéretes alternatívát kínálnak a közép- és hosszú távú tárolásra. Végezetül, a gőzkompressziós és az abszorpciós technológiák kombinálása optimalizálhatja a hűtést – különösen az egyidejű fűtést és hűtést igénylő alkalmazásoknál –, lehetővé téve a változatos hőenergia-termelést és a csúcsterhelés hatékonyabb kezelését.

3. Hűtőközegek

3.1. Bevezetés

Definíció:

A Nemzetközi Hűtési Intézet (IIR) szerint: A hűtőközeg egy olyan anyag vagy keverék, általában folyadék, amelyet egy hűtési ciklusban használnak

1. alacsony hőmérsékleten és nyomáson elnyelni a hőt, és
2. magasabb hőmérsékleten és nyomáson leadja a hőt.

Ez a hőátadás akkor történik, amikor a hűtőközeganyag fázist vált, általában folyadékról gázra, és fordítva, lehetővé téve a hűtést vagy fűtést olyan alkalmazásokban, mint a hűtő, légkondicionáló és hőszivattyúk.

Hűtőközeg (primer kör) vs. Közvetítőközeg (szekunder kör), (17. ábra)

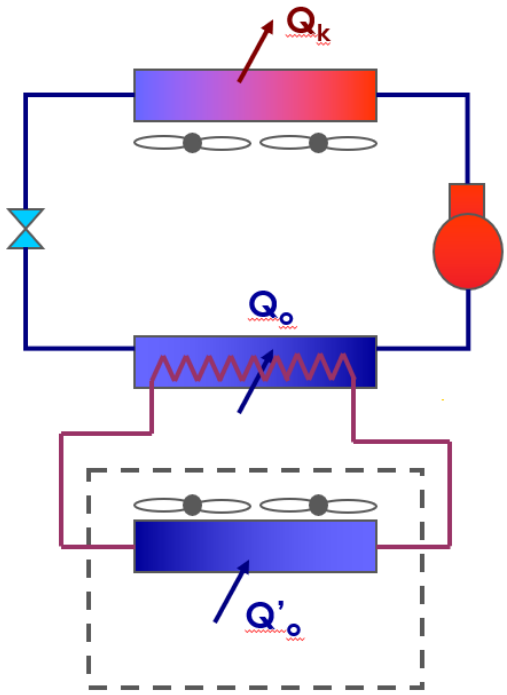
Elsődleges hűtőközegek (kék csövek), más néven működő folyadék.

1. Magasabb nyomáson/hőmérsékleten leadja a hőt
2. Alacsonyabb nyomáson/hőmérsékleten nyeli el

Másodlagos hűtőközeggel (piros cső), más néven ismert:

1. Másodlagos folyadék.
2. Másodlagos hűtőfolyadék.
3. Hőátadó folyadék.

“Bármely olyan közeg, amelyet a hűtendő termékekből az elsődleges hűtőközeg felé történő hőátadásra használnak.”



17. ábra. A primer hűtőközeg és a szekunder közvetítőközeg körfolyamata [3].

A hűtőközegek jelentősége

A hűtőközeg-termékek globális piaci értéke 2022-ben elérte a 20,05 milliárd amerikai dollárt, és az előrejelzések szerint jelentős növekedés várható: 2030-ra az érték megközelítheti a 36,77 milliárd dollárt. A növekedésben várhatóan az ázsiai-csendes-óceáni térség játssza majd a vezető szerepet; piaci részesedése a 2022-es 6,42 milliárd dollárról 2030-ra becslések szerint 12,85 milliárd dollárra emelkedik (Statista, 2025). A piac folyamatosan fejlődik, és számos elterjedt hűtőközeget foglal magában: ilyen például az R134a (amelyet elsősorban gépjármű-légkondicionálókban, kereskedelmi hűtőrendszerekben és folyadékhűtőkben alkalmaznak), az R32 (lakossági légkondicionálókhoz) és az izobután (háztartási hűtőszekrényekhez). Emellett egyre nagyobb teret nyernek az olyan új alternatívák is, mint a kereskedelmi hűtésnél alkalmazott szén-dioxid és a lakossági felhasználású propán. A hűtőközegek alkalmazását és fejlesztését szigorú nemzetközi megállapodások – például a Montreali Jegyzőkönyv és a Kiotói Jegyzőkönyv – szabályozzák; ezek célja a környezeti hatások minimalizálása, valamint a magas globális felmelegedési potenciállal rendelkező anyagok fokozatos kivonása a használatból [19].

A Nemzetközi Hűtési Intézet becslései szerint a következők:

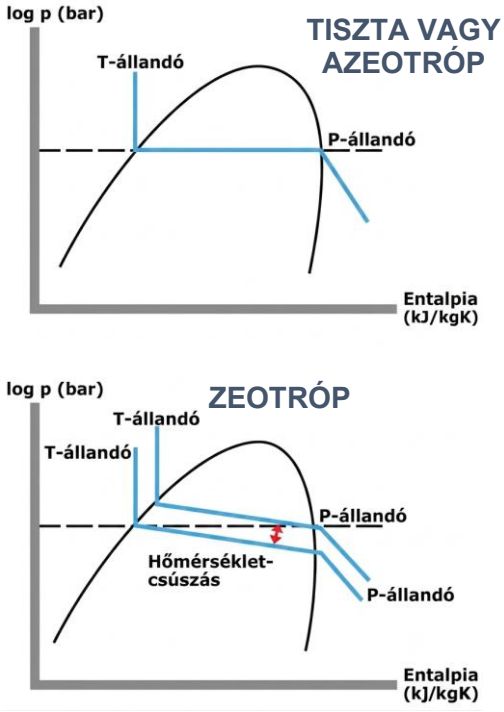
A globális hűtő-, légkondicionáló és hőszivattyú-ágazat mintegy 3 milliárd berendezést foglal magában, beleértve a hozzávetőleg 1,5 milliárd háztartási hűtőszekrényt is. Az iparág világszerte közel 12 millió embernek ad munkát, és a globális villamosenergia-fogyasztás mintegy 17%-áért felelős. E rendszerek környezeti hatása jelentős: a globális felmelegedéshez való hozzájárulásuk nagyjából 20%-a a fluorozott szénhidrogén (HFC) hűtőközegek szivárgásából – amelynek mértéke jellemzően 5% és 30% között mozog – származó közvetlen kibocsátásból ered, míg a fennmaradó 80%-ot az üzemeltetésükhöz szükséges, fosszilis tüzelőanyagokon alapuló villamos energia felhasználásából adódó közvetett kibocsátás okozza. A HFC-hűtőközegek globálisan összehangolt, fokozatos visszaszorítása akár 0,5 °C-kal is mérsékelheti a globális hőmérséklet-emelkedést 2100-ig, ami rávilágít a hűtőközeg-kezelés és az energiahatékonyság kulcsfontosságú szerepére az éghajlatváltozás mérséklésében [20].

A hűtőközegek alapvető osztályozása

Tiszta folyadék: Ez egyetlen anyag, amely állandó kémiai összetétellel és tulajdonságokkal rendelkezik. Hűtés során a tiszta folyadékok fázisváltáson megy keresztül (folyadékból gázrá és fordítva), anélkül, hogy külön összetevőkre válnának.

Keverék: A hűtőközeg lehet tiszta vegyület, vagy két vagy több hűtőközegből álló keverék (18. ábra):

a) Zeotróp elegy (nem azeotróp) elegy. Párolgáskor a legillékonyabb komponens forr el először, és a legkevésbé illékony marad vissza utoljára. Kondenzációkor ennek az ellenkezője történik. Ez a hőátadó felület mentén változó (úgynevezett „csúszó") párolgási és kondenzációs hőmérsékletet eredményez.
b) Azeotróp keverék. A gőz- és folyékony fázisok egyensúlyban azonos (vagy közel azonosak) összetételűek adott összetételi és nyomási körülmények között.

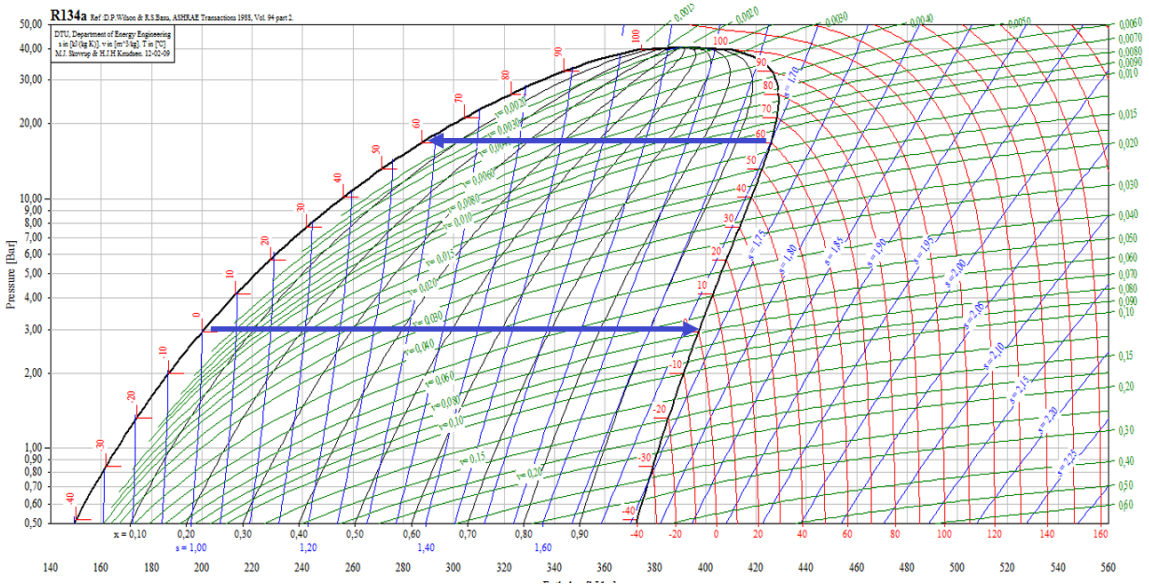


18. ábra. Tiszta vagy azeotróp és zeotróp P-h diagram [21].

Tiszta folyadék: A nyomás és a hőmérséklet állandóak fázisváltozás esetén, így az egyik definiálható a másikat (19. ábra).

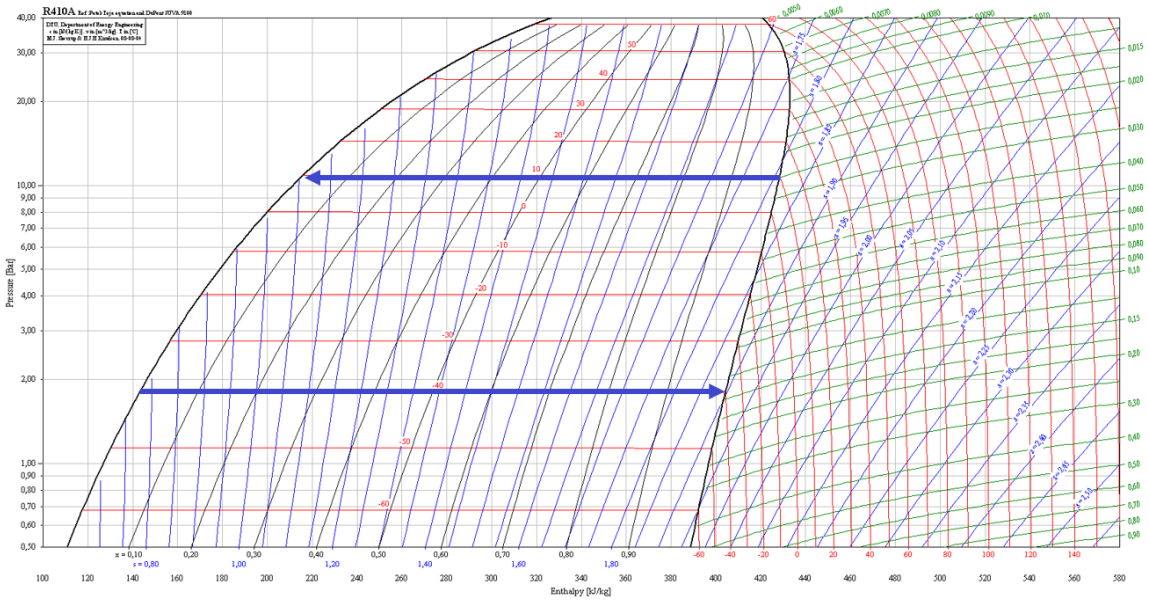
Fázisváltozás során:

P→T és T→P



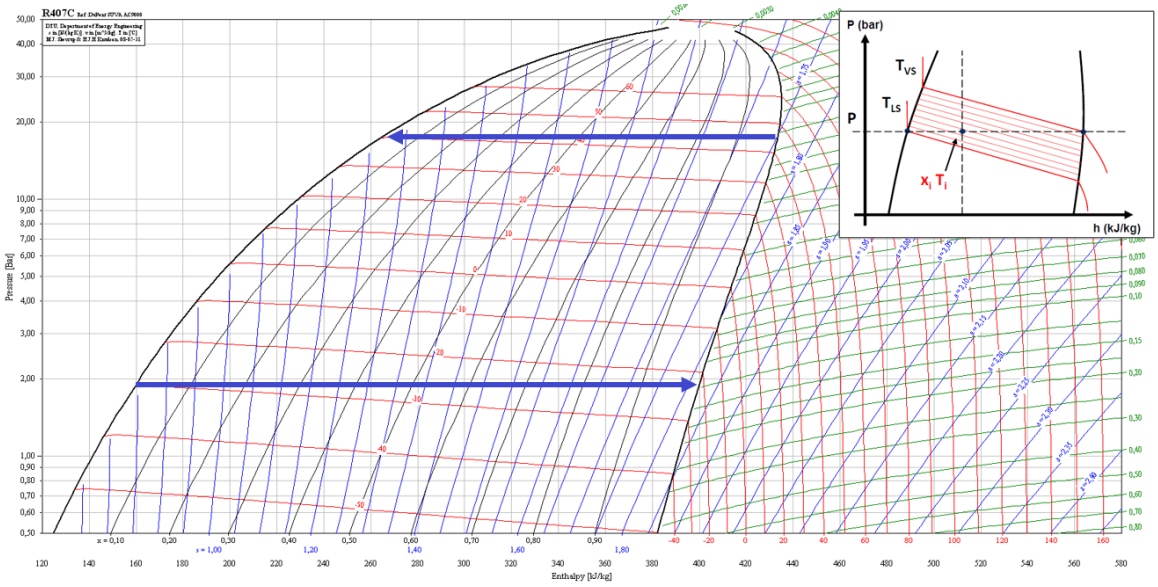
19. ábra. Tiszta folyadék P-h diagram tulajdonságai [22].

Azeotróp keverék: Az összetétel és a zeotróp hőmérséklete nem változik jelentősen, ahogy az azotropp állandó nyomás alatt párolog vagy lekondenzálódik (20. ábra).



20. ábra. Azeotróp keverék P-h diagram tulajdonságai [22].

Zeotróp keverék: Állandó nyomás alatt, a folyadék-gőz fázisváltozása során a zoetróp hőmérséklete és összetétele változik. P-T-nek további paramétert kell definiálni (21. ábra).



21. ábra. Zeotróp keverék P-h diagram tulajdonságai [22].

A zeotróp keverékekhez speciális mérések szükségesek a tulajdonságok meghatározására, paraméterszámításra, manipulációra stb. Egy alacsonyabb hőmérsékletű zeotróp keveréket (0,5 és 1 K alatt, a forrástól függően) közel-azeotrópnak nevezik, és gyakorlatilag azotropp keveréknek tekinthető.

3.2. Történelem és fejlődés

Az első generációs hűtőközegek a 19. században jelentek meg, jóval a szintetikus kémia megjelenése előtt. Ebben az időszakban a természetes anyagokat gyakran használták hűtés céljából elérhetőségük és kedvező termodinamikai tulajdonságaik miatt. Ezek közé tartozott az ammónia (NH_3), szén-dioxid (CO_2), kén-dioxid (SO_2), szénhidrogének, mint a propán és a bután, valamint a víz (H_2O) és a levegő. Bár teljesítmény szempontjából hatékonyak voltak, ezek a hűtőközegek jelentős biztonsági és technikai kihívásokat jelentettek: toxikus hatást SO_2 és NH_3 esetében, gyúlékonyságot a szénhidrogének, például a propán, valamint a magas működési nyomás szükségességét CO_2 esetén. Ezek ellenére ez a generáció megalapozta a modern hűtőtechnológiákat [19].

Második generáció (1930-as évek–1990-es évek): A szintetikus hűtőanyagok felemelkedése

A biztonságosabb és hatékonyabb hűtőrendszerek iránti igény miatt a második generációban szintetikus hűtőközegeket vezettek be, elsősorban Fluor-klórozott szénhidrogének (CFC-k) és hidroklorofluorokarbonokat (HCFC-k). Gyakori példák közé tartozott a CFC-12 (diklorodifluorometán) és a HCFC-22 (klorodifluorometán). Ezek az anyagok gyorsan népszerűvé váltak előnyös tulajdonságaik miatt: nem gyúlékonyak, nem mérgezőek, kémiailag stabilak és hatékony hőátadást biztosítottak. Az 1970-es és 1980-as évekre azonban a tudományos kutatások kimutatták, hogy a CFC-k és HCFC-k jelentős hozzájárulói a stratoszférikus ózonréteg leépülésének. Ez a felfedezés széles körű környezeti aggodalomot váltott ki, és nemzetközi szabályozási intézkedésekhez vezetett, leginkább az 1987-ben aláírt montreali protokollhoz, amely az ózoncsökkentő anyagok fokozatos megszüntetését célozta meg, és elindította a környezetbarátabb alternatívák felé való átmenetet [19].

Harmadik generáció (1990-es évektől napjainkig): Környezettudatosság és HFC-k

Az ózoncsökkentő anyagok fokozatosan történő kivonására válaszul a harmadik generációs hűtőközegek alternatívaként hidrohidrogén-fluorkarbonokat (HFC) vezettek be. Gyakori példák az R-134a (tetrafluoroetán), R-404A és R-410A. Ezek a hűtőközegek nem tartalmaznak klórt, így ártalmatlanok az ózonréteg számára. Ugyanakkor magas globális felmelegedési potenciállal (GWP) rendelkeznek, ami jelentősen hozzájárul a klímaváltozáshoz. Például az R-134a GWP-je 1 430, ami azt

jelenti, hogy 1 430-szor több hőt fog, mint a CO_2 100 év alatt. Ahogy a környezettudatosság nőtt, a szabályozási erőfeszítések fokozódtak – leginkább a Montreali Jegyzőkönyv Kigali módosítása (2016), amely globális úti térképet hozott létre a HFC-k fokozatos csökkentésére éghajlati hatásuk mérséklése érdekében. Ez kulcsfontosságú elmozdulást jelentett a fenntarthatóság felé a hűtőiparban [19].

Negyedik generáció (jelen–jövő): alacsony GWP és természetes alternatívák

A negyedik generációs hűtőközegeket a környezeti fenntarthatóság iránti erős elkötelezettség jellemzi, különös tekintettel azokra az anyagokra, amelyek nulla ózonlevonási potenciállal (ODP) és alacsony vagy ultra-alacsony globális felmelegedési potenciállal (GWP) rendelkeznek. A kulcsfontosságú fejlemény ebben a fázisban a Hidrofluor-olefinek (HFO-k) (HFO), mint az R-1234yf és R-1234ze, amelyek GWP-t 1 alatt kínálnak. Bár a HFO-k kevésbé kémiai stabilak, mint elődeik, általában biztonságosak, ha megfelelően kezelik. Ezzel párhuzamosan a természetes hűtőközegek újjáéledése történt, mint az ammónia (NH_3), szén-dioxid (CO_2) és szénhidrogének, amelyek környezetbarátságosak, de mérgező hatásuk, gyúlékonyak vagy magas működési nyomásuk miatt gondos kezelést és fejlett rendszertervezést igényelnek. Ezenkívül kifejlesztettek a kevert hűtőközegeket – HFC-k és HFO-k kombinációit – hogy egyensúlyt teremtsenek a teljesítmény, a biztonság és a környezeti hatás között. Ez a generáció tükrözi a hűtőipar hosszú távú klímafelelősség és a változó globális szabályozások betartásának elmozdulását [19].

A hűtőközegek jövője

A hűtőközegek jövőjét három fő trend alakítja. Először is, a környezeti szabályozások felgyorsítják a magas GWP-júságú hűtőközegek kivonását, olyan keretek által ösztönözve, mint az európai F-Gas szabályozás és az Egyesült Államok AIM törvénye. Másodszor, a technológiai innováció a rendszer hatékonyságának javítására, a hűtőközeg töltésének és szivárgásának csökkentésére, valamint a teljesítményt és monitorozást optimalizáló okos hűtőrendszerek fejlesztésére összpontosít. Harmadszor, a fenntarthatóság és a körforgás gazdaság elvei egyre fontosabbak lesznek, hangsúlyozva a hűtőanyagok visszanyerését, újrahasznosítását és újrafelhasználását, valamint az élettartam-értékeléseket és a hűtőberendezések ökotervezését. Ezzel párhuzamosan a kutatások teljesen új hűtőközegtípusokat, például ionos folyadékokat és mágneses folyadékokat vizsgálnak, valamint alternatív hűtőciklusokat, beleértve az elnyelést, termoelektromos és mágneses hűtést. Ezek a fejlesztések célja a környezeti hatások csökkentése és a növekvő globális hűtési igények kielégítése. Összességében a hűtőközegek fejlődése dinamikus egyensúlyt tükröz a technológiai fejlődés és a környezeti felelősség között. A korai természetes anyagoktól a szintetikus vegyületekig, és most visszatérve az alacsony hatású, fenntartható megoldásokig a terület folyamatosan fejlődik a klímakihívásokra adott válaszként. Ezeknek az átmeneteknek a megértése kulcsfontosságú a következő generáció mérnökei és tudósai számára, akik ellenálló, klímabarát hűtési technológiák fejlesztésén dolgoznak.

3.3. Megjelölés és tulajdonságok

Megjelölés

A hűtőközegek elnevezése, különösen a halogénált hűtőközegek (CFC-k, HCFC-k, HFC-k és HFO-k) esetében, az American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) által kidolgozott szabványosított rendszert követi. Ez a rendszer az "R-" előtagot használja, majd egy számot követ, amely kódolja a hűtőközeg molekuláris szerkezetét.

Általános formátum: R-xyz

Ahol:

x = A kettős kötések száma (telítetlen vegyületek, mint HFO-k)
y = Szénatomok száma mínusz 1

z = Hidrogénatomok száma plusz 1
w = Fluoratomok száma

A klóratomok számát a fennmaradó értékérték határozza meg. Ez a rendszer teljesen halogenizált szénhidrogénekre működik, és ezt a logikát követi az R-xyz esetében:

R-(m−1)(n+1)p

Ahol:

m = szénatomok száma
n = a hidrogénatomok száma
p = a fluoratomok száma

A vegyérték többi részét feltételezzük, hogy klór vagy bróm atomok (vagy egyáltalán nem) vannak kitöltve.

Példák

R-22 (HCFC-22)

Kémiai képlet: $CHClF_2$
A szénatomok száma: 1 → (1 − 1) = 0
Hidrogénatomok száma: 1 → (1 + 1) = 2
A fluoratomok száma: 2

→ Ezért: R-022 → egyszerűsítve R-22-ként

R-134a (HFC-134a)

Kémiai képlet: CH_2FCF_3
A szénatomok száma: 2 → (2 − 1) = 1
Hidrogénatomok száma: 2 → (2 + 1) = 3
A fluoratomok száma: 4

→ Ezért: R-134

Az "a" toldó egy izomert jelöl (ugyanazok atomok eltérő szerkezeti elrendezése).

R-1234YF (HFO-1234YF)

Telítetlen vegyület (kettős kötés jelen van)
Az első számjegy, az "1" egy kettős kötést jelöl
A többi ugyanazt a szén-hidrogén-fluor szabályt követi
Az "yf" egy adott izomerre utal

Különleges előtagok

CFC: Klór-fluorkarbon (hidrogén nélkül)
HCFC: Hidroklorofluorokarbon (hidrogént tartalmaz)
HFC: Hidrofluorokarbon (klór nélkül)
HFO: Hidrofluoroolefin (kettős kötéseket tartalmaz)
R-600 sorozat: Szénhidrogének (pl. R-600a = izobután)

Keverékek és keverékek

Zeotróp keverékek: R-4xx (pl. R-404A) címkézve
Azeotróp keverékek: R-5xx címkével (pl. R-507)
Az A, B, C toldalak a kompozíció változásait jelzik

Tulajdonságok: Áttekintés

Megfelelő termodinamikai és szállítási tulajdonságok

1. A kritikus pont és a forráspont hőmérsékletei megfelelő alkalmazáshoz
2. A párologtatás magas latens hője
3. Alacsony viszkozitás
4. Magas hővezetőképesség
5. Nem gyúlékony és nem mérgező
6. Kémiailag és termikusan stabil, inert
7. Anyagokkal való kompatibilitás, kenőanyagokkal való keveredés

Egyéb

1. Megfelelő olajoldhatóság/keveredés
2. Magas dielektromos erősségű gőz
3. Alacsony fagyási pont
4. Könnyű szivárgás észlelése
5. Alacsony költség

Tulajdonságok: termodinamikai és üzemi tulajdonságok

Forráspont: A legalacsonyabb fázisváltozás hőmérséklete (elpárologtató bemenet) fölött kell lennie, hogy ne működjön 1 atm alatt (ha szivárgás történik, nedvesség jut be a létesítménybe).

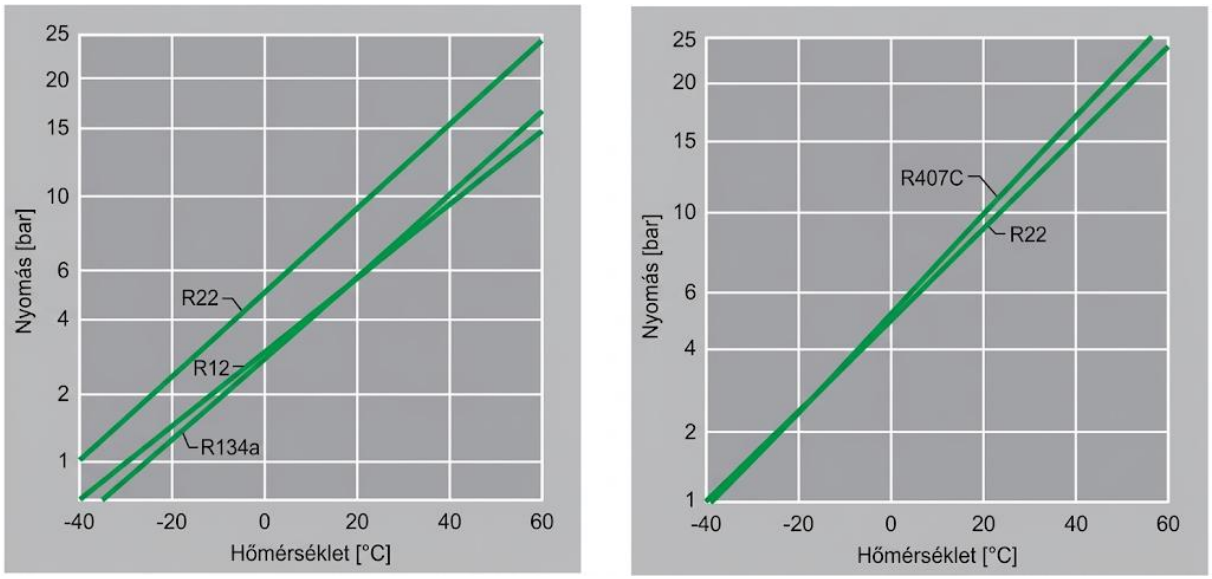
Kritikus pont: Minél magasabb a kritikus pont, annál kisebb a hatékonyságcsökkenés magasabb környezeti (kondenzációs) körülmények között

Kompresszióviszony: Ez a paraméter (Pdisc/Psuc) határozza meg a kompresszor működését, és így a hatékonyságot. Minél alacsonyabb, annál jobb

Nyomóoldali (kilépő) nyomás: Az alacsonyabb kisülőnyomás könnyebb és olcsóbb alkatrészeket tesz lehetővé

Nyomóoldali (kilépő) hőmérséklet: Általában a hűtőrendszerek kibocsátási hőmérséklete normál működés esetén 105°C alatti legyen, csúcsértéken pedig 120 °C.

A helyettesítő szerepnek hasonló P-T kapcsolata kell legyen (22. ábra)



22. ábra. Hűtőközegek gőznyomásgörbéinek összehasonlítása [23].

Tulajdonságok: Teljesítmény

Párolgáshő: Lehetővé teszi, hogy a kompresszor kisebb lökettérfogattal is elérje ugyanazt a hűtőteljesítményt.

Izentróp kitevő: Lehetőleg minél kisebb legyen, hogy a kompresszió során bekövetkező hőmérséklet-emelkedés csekély maradjon.

Folyadékfázisú fajhő: Alacsony érték szükséges a jelentős mértékű aláhűtés eléréséhez, ami csökkenti a párologtató bemenetén keletkező gőz (ún. „flash gas") mennyiségét.

Gőzfázisú fajhő: Magas érték szükséges ahhoz, hogy a túlhevítés mértéke csekély maradjon.

Hővezetési tényező: Mind folyadék-, mind gőzfázisban magas érték kívánatos a jobb hőátadási tényezők elérése érdekében.

Viszkozitás: Mind folyadék-, mind gőzfázisban alacsony érték szükséges a súrlódásból eredő nyomásveszteség csökkentéséhez.

Ökölszabály: A moláris gőzfázisú fajhő optimális értéke a 40–100 kJ/(mol·K) tartományba esik.

Tulajdonságok: Műszaki jellemzők

Kémiai stabilitás: Alapvető tulajdonság, amellyel minden elterjedt hűtőközegnek rendelkeznie kell.

Költség/rendelkezésre állás: Ez a tényező döntő mértékben befolyásolja a hűtőközeg kiválasztását – napjainkban minden korábbinál nagyobb mértékben.

Kompatibilitás:

1. Fémeknél, az alkatrészeknél és a csöveknél (az ammónia és a szén-dioxid problémákat okoznak)
2. A kenőanyag esetében jelentős különbségek vannak a generációk és a hűtőanyagok típusai között
3. Az elasztomerek és műanyagok esetében ez az egyik követelmény, amit ellenőrizni kell a döntés előtt új hűtőközegek esetén

Tulajdonságok: Biztonság

A névsort az ASHRAE 34 (Nemzetközi), majd EN378 (Európa), majd az országtól függően (4. táblázat).

A besorolás befolyásolja a maximális hűtőközeg töltést minden egyes hűtési alkalmazásnál.

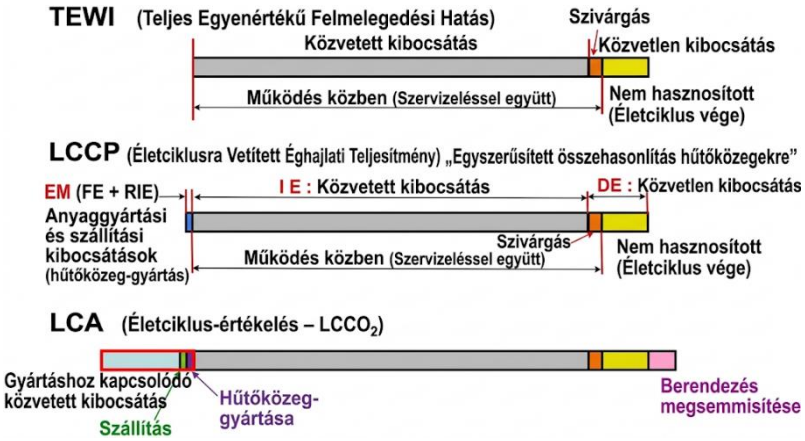
	Alacsonyabb Mérgezőség	**Magasabb** Mérgezőség
Nagyobb Tűzveszélyesség	A3	**B3**
Kisebb Tűzveszélyesség	A2	B2
	A2**L**	B**2L**
Nincs Lángterjedés	A1	**B1**

4. táblázat. Biztonsági elnevezés [24].

A: ≤ 400 ppm (térfogatarányú) koncentráció mellett nem észleltek toxicitást.

3.4. Környezeti mutatók összefoglaló (23. ábra)

1. ODP: A stratoszférikus ózon bomlását méri az R-11-hez képest.
2. GWP: Méri a hűtőközegek relatív Üvegházhatását a CO_2-hoz képest egy adott időben.
3. TEWI: Értékeli a hűtőközeg szivárgásainak és az energiafogyasztás együttes melegedési hatását, de nem tartalmazza a gyártást.
4. LCCP: Számolja a teljes éghajlati hatást a hűtőközeg teljes élettartama alatt, beleértve a gyártást, felhasználást és ártalmatlanítást.
5. LCA: Általánosságban értékeli a környezeti hatásokat több kategóriában a termék élettartama során.



23. ábra. Grafikus ábrázolás CO2 ekvivalens kibocsátásokra [25].

GWP

A globális felmelegedési potenciál (GWP) egy üvegházhatású gáz relatív hatását méri annak hőfogóképességével egy adott időszakra, jellemzően 20, 100 vagy 500 évre (példa 24. ábra), szemben a szén-dioxiddal (CO_2), amelynek GWP-je definíció szerint 1. A GWP figyelembe veszi a gáz elnyel energiájának mennyiségét, légköri élettartamát és koncentrációját az idővel. Egy anyag GWP-jét egy t időtávon az (4) egyenlet [19]:

$$GWP_{gas,t} = \frac{\int_0^t a_{gas} \cdot C_{gas}(t)dt}{\int_0^t a_{CO_2} \cdot C_{CO_2}(t)dt} \quad (4)$$

ahol:

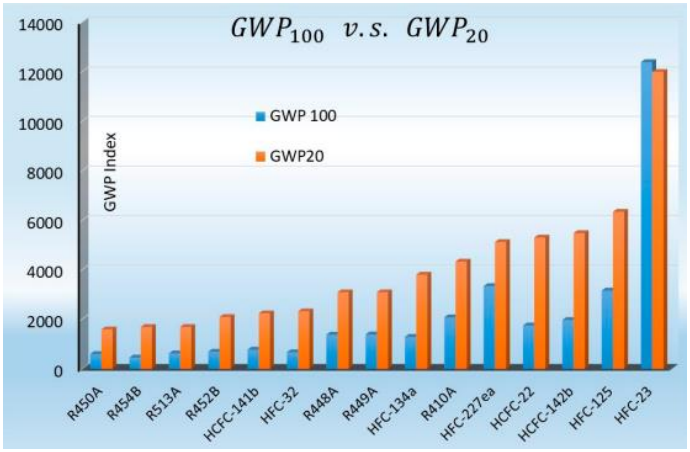
$a_{gáz}$: A gáz sugárzási hatékonysága (mennyi hőt von el egységegységenként).

$C_{gáz(t)}$: A gáz légkörben való koncentrációja az időben. tt: Időhorizont (általában 20, 100 vagy 500 év).

a_{CO_2} : A CO_2 sugárzási hatékonysága.

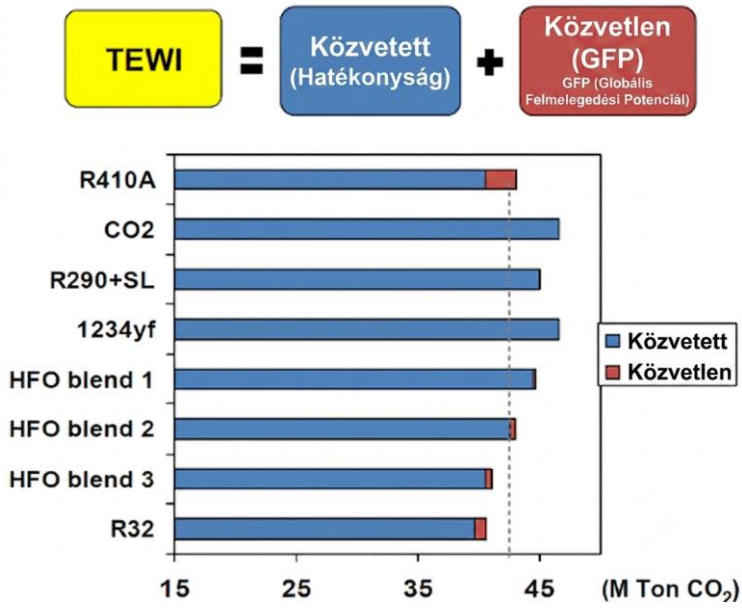
C_{CO_2} (t): A CO_2 koncentrációja az idővel.

A GWP tájékoztat minket, mennyit járul hozzá egy adott hűtőközeg (vagy más üvegházhatású gáz) tömege a globális felmelegedéshez ugyanahhoz képest a CO_2 tömegéhez.



24. ábra. GWP100 összehasonlítva GWP20-val [26].

A teljes ekvivalent felmelegedési hatás (TEWI) (példa 25. ábra) becslési egy hűtő- vagy légkondicionáló rendszer globális felmelegedési hatását annak használati és elszállítási szakaszában. A TEWI mind a közvetlen, mind a közvetett kibocsátásokat figyelembe veszi. A TEWI képlet a következőképpen adható meg: TEWI = Közvetlen kibocsátások + közvetett kibocsátások.



25. ábra. TEWI összehasonlítva a hőszivattyúkban jellemzően használt hűtőközegek között [27].

TEWI [19]

1) Közvetlen kibocsátások: Hűtőközeg véletlen szivárgás és veszteségek az üzemeltetés, karbantartás és élettartam végi elszállítási fázisok során. A következőképpen számítják:

Közvetlen kibocsátások = Szivárgás ráta × Töltés ×GWP + élettartam végi kibocsátások × Töltés × GWP

Szivárgás ráta: A hűtőközegek éves szivárgás százaléka.

Töltés: Teljes hűtőközeg-töltés (a rendszerben lévő hűtőközegek tömege).

Élettartam végi kibocsátások: Az elveszett vagy nem visszanyert hűtőközegek százaléka a rendelkezésre bocsátáson.

2) Közvetett kibocsátások: CO_2 ekvivalent kibocsátások, amelyek a rendszer élettartama során az energiafogyasztásból erednek. A számítás a következő:

Közvetett kibocsátások = éves energiafelhasználás × élettartam × kibocsátási tényező

Éves energiafelhasználás: Az egy év alatt a rendszer által elfogyasztott energia.

Élettartam: A rendszer várható működési élettartama.

Kibocsátási tényező: CO_2 kibocsátás az elfogyasztott energiaegységre vetítve, az áramtermelési keveréktől függően.

LCCP

Az Életciklus Éghajlati Teljesítménye (LCCP) a hűtőközeg teljes éghajlati hatását értékeli az élettartama során, figyelembe véve mind a közvetlen, mind a közvetett kibocsátásokat. A közvetlen kibocsátások akkor következnek be, amikor a hűtőközeget kiszabadulnak (szivárgás vagy ártalmatlanítás útján), míg a közvetett kibocsátások a hűtőközeg-berendezések működtetéséhez szükséges energiából származnak [19]. Az LCCP általános képlele:

LCCP = Edirect + Eindirect + Egyártás + Élettartam vége

Edirect: Közvetlen kibocsátás a hűtőközeg-szivárgásokból vagy kibocsátásokból a működés és karbantartás során:

Edirect = GWP × kiszivárgott mennyiség

Közvetett jel: A rendszer által felhasznált energiából származó közvetett kibocsátások:

Közvetett = Az energiaforrás teljes energiafelhasználása × kibocsátási tényezője

Egyártás: Hűtőközeg-előállításból és szállításból származó kibocsátások.

Élettartam vége: Kibocsátások, amelyek a rendszer élettartamának végén történő elhelyezésből vagy visszanyerésből származnak.

LCA

Az életciklus-értékelés (LCA) egy rendszerszintű értékelése a termék életciklusának minden szakaszához kapcsolódó környezeti hatásoknak, a nyersanyag kitermelésétől, felhasználástól és elselejtezéstől. Az LCCP-vel ellentétben az LCA a klímaváltozáson túl különböző hatáskategóriákat is lefed, mint például az erőforrások kimerülése, savasodás és eutrofizáció [19].

Egy hűtőközeggel vagy rendszer életciklusbeli hatása kiszámítható az egyenlet (5)-vel:

$$\mathrm{LCA_{total}} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{Inventory_i} \times \mathrm{Impact\ Factor_i} \qquad (5)$$

Inventoryi: Minden környezeti tényező mennyisége (pl. CO_2-kibocsátás, vízfelhasználás, energiafogyasztás) az életciklus minden szakaszában.

Impact Factori: A környezeti hatást jelöli egységenkénti tényezők aránya.

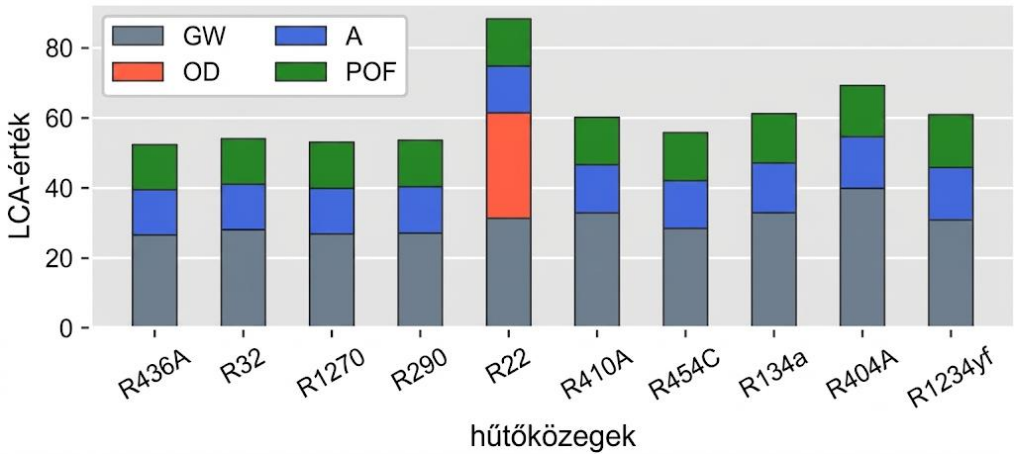
Az LCA eredményei általában több kategóriában (26. ábra) jelennek meg, például:

Globális felmelegedési potenciál (GWP) (kg CO_2-ekvivalens).

Az Ózonkárosító potenciál (Ozone Depletion Potential) (kg CFC-11-ekvivalens).

Savasodási potenciál (AP), amely a saveső potenciálját méri (kg SO_2-ekvivalens).

Eutrofikus potenciál (EP), amely a vízszennyezéshez vezető tápanyag-gazdagodást méri (kg PO_4^{3-}-ekvivalens).

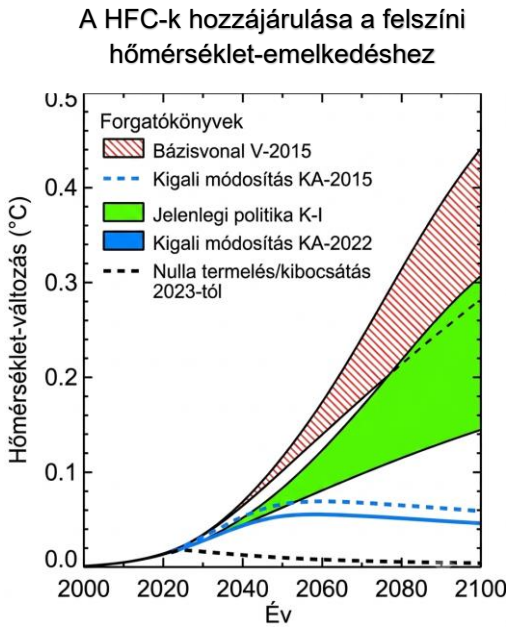


26. ábra. A vizsgált hűtőközegek LCA értékei: GW: globális felmelegedés, A: savasodás, OD: ózon károsítás, POF: fotokémiai ózonképződés [28].

HFC-k szabályozásai – Világszerte

2016 – Kigali módosítása a Montreali Protokollban: a HFC-k fokozatos csökkentése 2100-ra 0,5 °C-kal csökkentheti a globális felmelegedést (27. ábra) [29].

A Montreali Jegyzőkönyv kötelezi az országokat, beleértve az EU-tagokat is, hogy csökkentsék a HFC fogyasztását. Az EU ezt a kötelezettséget belső szabályozásokon keresztül valósítja meg, például az 517/2014-es rendelettel. A fejlett országok anyagilag és technikailag segítik a fejlődő országokat [30].



27. ábra. A HFC-k használatának csökkentéséből adódó hőmérsékletváltozás [31].

HFC-k szabályozása - Európa

(EU) 517/2014. számú rendelet (F-Gáz Szabályozás) [32]

Ez a szabályozás a fluorozott gázok használatát és csökkentését szabályozó fő keretrendszer, felváltva az (EC) 842/2006-os rendeletet. Fő céljai a következők:

1. Fokozatos csökkentés: Ez fokozatos csökkentést eredményez az európai piacon elérhető HFC-k számában. 2030-ra 79%-os csökkenés várható a HFC-k számában a 2015-ös szintekhez képest.
2. Használati korlátozások: Korlátozza a HFC-k használatát új berendezésekben, beleértve a hűtő- és légkondicionáló rendszereket, és bizonyos alkalmazásokban, ahol alternatívák állnak rendelkezésre.
3. Szivárgás karbantartása és ellenőrzése: Rendszeres szivárgásellenőrzéseket kell végezniük, különösen olyan rendszerekben, ahol magas fluorozott gázok vannak.
4. Visszanyerési követelmények: Előírja a gázok visszanyerését a berendezés élettartamának végén.

Az EU 2024/573. számú rendelet (F-Gáz Szabályozás) [33]

Javították, növelték és kiterjesztették a korábbi intézkedéseket, többek között:

1. A HFC-k kvótarendszere 2030-tól túl, és 2050-ig fokozatosan megszüntetik.
2. Az F-gáz használatának és ártalmatlanításának korlátozásai.
3. Szigorúbb szabályokat állít fel a kibocsátások megelőzésére.
4. Lehetővé teszi az irányítás automatizálását az F-gáz kereskedelem nyomon követéséhez.
5. Felszerelés címkézés.

Jelenlegi hűtőközegek

Jelenleg két lehetőséget fontolgatnak:

1. Szintetikus hűtőközegek, beleértve a HFO-t és a HFC és HFC keverékeit
2. Természetes hűtőközegek

Ezek jelentősen eltérnek, ezért a kiválasztott hűtőközegnek több követelményt kell figyelembe vennie.

HFO-k

A HFO-k előnyei

1. Alacsony GWP: A HFO-k, mint az R-1234YF és R-1234ze, sokkal alacsonyabb GWP-vel rendelkeznek (kevesebb, mint 1), ami klímabarátabb választássá teszi őket a HFC-khez képest.
2. Hő- és kémiai stabilitás: A HFO-k stabilak a tipikus hűtőrendszer működési hőmérsékletén és nyomásán, de a légkörben gyorsabban bomlanak, csökkentve hosszú távú tartósságukat.
3. Alacsony toxicitás: Sok HFO alacsony mérgezőséggel rendelkezik, és nem tartalmaz klórt, így biztonságosabb az ózonréteg számára szivárgás esetén.
4. Alacsonyabb gyúlékonyság: A szénhidrogénekhez képest enyhén gyúlékonyak.
5. Alacsonyabb nyomás: A CO2-hez képest az üzemi nyomás csökkent.
6. Könnyebb kombináció HFC-kkel: A HFC-k közvetlen csere lehetőségek a szervizeléshez.
7. HFC/HFO keverékek.

Szükséges jellemzők: A HFC-k gyakran jobb hatékonyságot, hőátadást és alacsonyabb gyúlékonyságot biztosítanak, amelyek sok hűtési alkalmazásban kritikusak. A HFO-k viszont alacsonyabb GWP-t kínálnak, de kissé magasabb gyúlékonysággal vagy alacsonyabb hatékonysággal rendelkeznek, mint a HFC-k.

Környezetvédelem: A HFC/HFO keverékek fejlesztésének elsődleges oka a GWP csökkentése, miközben megőrizte a hagyományos hűtőközegek termodinamikai hatékonyságát és működési jellemzőit. A keverék GWP-jét gyakran úgy számolják ki, hogy megfeleljen a szabályozási szabványoknak.

Gyúlékonyság: Ezt csökkenthetjük a keverék arányának módosításával vagy lánggátló összetevők alkalmazásával.

Hatékonyság és teljesítmény: Olyan keverék elérése, amely hasonló vagy jobb hatékonysággal és hűtési teljesítménnyel rendelkezik, mint a HFC, amit helyettesít, ez nagy kihívás.

Termodinamikai tulajdonságok: A hűtőközegnek hasonló vagy jobb hőteljesítményt kell elérnie (például hőkapacitás, nyomás, entalpiaváltozás), mint a hűtőközegeknek, amelyeket helyettesít.

Kenőanyag-kompatibilitás: A keveréknek kompatibilisnek kell lennie a meglévő rendszerekben használt kenőanyagokkal a hosszú távú teljesítmény és a rendszer megbízhatósága érdekében.

Aggodalmak a HFO-kkal kapcsolatban

1. TFA
2. PFAS
3. Az F-gázokat tiltó európai uniós rendelet
4. Zöldre festés (greenwashing)
5. Kormányzati nyomás
6. Költségek és kvóták alakulása
7. Természetes kontra szintetikus

TFA

Trifluoroacetsav (TFA), egy organofluorin vegyület, amelynek CF_3CO_2H formulája van, egy jelentős lebomlási termék, amely bizonyos hűtőközegek lebomlása során a légkörben keletkezik. A Német Szövetségi Környezetvédelmi Ügynökség jelentése szerint a környezetben észlelt TFA körülbelül 5%-a emberi tevékenységekből ered, beleértve a gyártást, a mezőgazdaságot, a szennyvízkezelést és a hűtőközeg-kibocsátásokat. A hűtőközületek közül az R-1234YF teljesen TFA-vá bomlik (100%), míg az R-134a 7% és 20% között van. Egyéb hűtőközegek alacsonyabb TFA termelést mutatnak: az R-1234ze(E) kevesebb mint 10%, az R-1336mzz(Z) kevesebb mint 20%, és az R-1233zd(E) csak körülbelül

2%. A TFA kialakulásának megértése fontos annak környezeti tartóssága és a fluorozott hűtőközegek egyre növekvő használatával járó potenciális ökológiai hatások miatt [34].

PFAS

Perfluorozott és polifluorozott alkil anyagok (PFAS): A PFAS egy több mint 4700 szintetikus "örökkévalóság" vegyületből álló nagy csoport, amely a környezetben tartósságáról és az emberi egészségre gyakorolt káros hatásáról ismert. Ez a család magában foglalja a HVAC&R alkalmazásokban használt különféle fluorozott gázokat, például bizonyos HFC-ket (pl. R-134a, R-125, R-143a és R-152a) és HFO-kat (pl. R-1234yf, R-1234ze(E) és R-1233zd(E)). Figyelemre méltó, hogy a trifluorecetsav (TFA), amely egyes hűtőközegek lebomlási terméke, szintén PFAS-ként osztályozzák CF_3- és CF_2- kémiai csoportjai miatt. A növekvő aggodalmakat tükrözve, az Egyesült Államok Maine állama lesz az első kormány, amely 2030. január 1-jétől betiltja a PFAS-t tartalmazó termékek értékesítését. Részletesebb információkért lásd a Norvég Környezetvédelmi Ügynökség jelentését [35].

Természetes hűtőközegek

A természetes hűtőközegeket egyre inkább biztonságosabb és fenntarthatóbb alternatíváknak tartják a HFO-kkal kapcsolatban. Sok szintetikus hűtőközlettel ellentétben a természetes hűtőközegek nem termelnek káros melléktermékeket, például trifluorecetsavat (TFA) vagy hidrogén-fluoridot (HF) a légköri lebomlás során. Emellett nulla ózonkitermelési potenciáljuk (ODP) van, és jelentősen alacsonyabb a globális felmelegedési potenciáljuk (GWP). A leggyakrabban használt természetes hűtőközegek közé tartozik a szén-dioxid (CO_2), az ammónia (NH_3) és a szénhidrogének.

Szén-dioxid (CO_2):

A szén-dioxid (CO_2) globális felmelegedési potenciálja (GWP) 1, így kiváló környezetbarát hűtőközeg, minimális éghajlati hatással. Nem mérgező és nem gyúlékony, így biztosítja a biztonságot normál üzemi körülmények között. A CO_2 rendszerek hatékonyan működnek, különösen alacsony hőmérsékletű alkalmazásokban, de magasabb működési nyomást igényelnek, ami növelheti a berendezések költségeit és összetettségét. Egy kulcsfontosságú kihívás, hogy a CO_2 hatékonysága magasabb környezeti hőmérsékleten csökken, ami korlátozza alkalmasságát ilyen körülményekre, hacsak nem hajtanak végre jelentős rendszermódosításokat.

Ammónia (NH_3):

Az ammónia természetes hűtőközeg, amelynek globális felmelegedési potenciálja (GWP) nulla, vagyis nem járul hozzá a globális felmelegedéshez. Magas termodinamikai hatékonyságot kínál, így különösen alkalmas nagyszabású ipari hűtőrendszerek számára. Az ammónia fő hátránya azonban mérgező hatása, amely szivárgás esetén jelentős biztonsági aggályokat vet fel, annak ellenére, hogy nem gyúlékony. Ez gondos kezelést, megbízható biztonsági protokollokat és fejlett szivárgásérzékelő rendszereket igényel. E kihívások ellenére az ammóniát széles körben fenntartható hűtőközegként ismerik, és továbbra is széles körben használják ipari alkalmazásokban.

Szénhidrogének (HC) (pl. propán (R-290), bután (R-600a)):

A szénhidrogének nagyon alacsony, körülbelül 3 globális felmelegedési potenciállal rendelkeznek, ami költséghatékony és környezetbarát alternatívá teszi őket a HFC-k és HFO-k helyett. Fő hátrányuk a gyúlékonyság, amely gondos rendszertervezést, szigorú biztonsági intézkedéseket és hatékony szivárgásészlelést igényel a kockázatok mérséklése érdekében. A szénhidrogének jól alkalmasak alacsony és közepes hőmérsékletű alkalmazásokhoz, például háztartási hűtéshez és kis kereskedelmi rendszerekhez. Emellett magas termodinamikai hatékonyságot kínálnak, így erős alternatívát kínálnak sok lakossági és kis hűtési alkalmazásban.

Természetes hűtőközegek alternatívaként

Előnyök

1. Nincsenek káros melléktermékek: A természetes hűtőközegek nem bomlanak káros vegyületekké, mint például TFA-k vagy HF.
2. Fenntarthatóság: Nagyon alacsony vagy nulla GWP-jük és nulla ODP-jük van.
3. Hatékonyság: Különösen az ammónia és a CO_2 magas termodinamikai teljesítményt és hatékonyságot kínál.
4. Elérhetőség és költséghatékonyság: Bőségesek és viszonylag olcsók, így költséghatékony alternatívák a szintetikus hűtőközegek számára.

Kihívások

1. Rendszermódosítások: A természetes hűtőközegekre való átállás módosításokat igényelhet a meglévő rendszereken (új gőzkompressziós rendszer)

2. Biztonsági szempontok: A szénhidrogének gyúlékonysága és az ammónia mérgező hatása gondos kezelést és biztonsági intézkedéseket igényel. Ez növelheti a rendszer költségeit és összetettségét.

3. Infrastruktúra és képzés: A természetes hűtőközegek biztonságos kezelése, ami kihívást jelenthet a széles körű elterjedés számára.

3.5. A hűtőközegek jövője

Összefoglaló

Ahogy az előző szakaszban is kifejtette, a hűtőközegek jövőbeli trendje a fenntarthatóságra és a környezeti hatások csökkentésére fog fókuszálni.

1. Alacsony globális felmelegedési potenciálú (GWP) hűtőközegek: Az alacsony vagy közel nulla GWP-vel rendelkező hűtőközegekre való átállás, amely káros melléktermékek, például természetes hűtőközegek (CO2, ammónia, szénhidrogének) termelése nélkül, jelentős trend lesz a szigorúbb szabályozások miatt.
2. A2L és A3 hűtőközegek: Egyre nagyobb lesz a enyhén gyúlékony (A2L) és gyúlékonyabb (A3) hűtőközegek, mint az R-32, R-290 és R-1234ze(E) használata, alacsonyabb GWP és hatékonyságuk miatt, bár a kezelési biztonság kihívást jelent.
3. Energiahatékonyság: A hűtőrendszerek energiahatékonyságát javító hűtőközegek prioritásként kerülnek előtérbe, ahogy az energiafogyasztási szabályozások szigorúbbá válnak a szénlábnyom csökkentése érdekében.
4. Szintetikus és kevert hűtőközegek: Új keverékek folyamatos fejlesztése, amelyek egyensúlyban tartják a GWP csökkentését, az energiahatékonyságot és a biztonságot, miközben megfelelnek az iparági igényeknek különböző alkalmazásokban.
5. Szabályozások és globális megállapodások: Globális megállapodások, mint például a Montreali Protokoll Kigali módosítása, fokozatosan megszüntetik a magas GWP-t tartalmú anyagokat, mint a HFC-k, és alternatív hűtőközegek felé való átállást eredményezik.

Végső szempontok a DHC-hez csatlakoztatott gépekhez

Milyen hűtőközeget kell feltölteni a hűtő/fűtőgépemben? Figyelembe kell venni

1. Hőmérséklet a fűtés vagy hűtés előállításához (DHN, DCN, ipari folyamat, melegvíz stb.)
2. A fűtés elnyelésének vagy eloszlásának hőmérséklete (környezeti, geotermális, DHN, DCN, hulladékhő stb.)
3. A gép mérete (hűtő/fűtési kapacitás)
4. A gép elhelyezkedése
5. Jelenlegi helyi szabályozások

6. Legyen tudatában a jövőbeli szabályozásoknak vagy kvótáknak
7. A gép és a hűtőközeg ára
8. Biztonsági előírások
9. Mindig egyeztetni kell szakértőkkel vagy helyi forgalmazókkal

3.6. Következtetések

A hűtőközegek története alapvető betekintést nyújt a jelenlegi szabványokba és követelményekbe. A hűtő- és hőszivattyús technológiák kereskedelmi elterjedése óta jelentős erőfeszítéseket fektettek a legfenntarthatóbb hűtőközegek azonosítására. Bár minden alkalmazáshoz létezik optimális hűtőközeg, nincs tökéletes hűtőközeg, amely egyszerre felel meg minden kritériumnak. Ezért mindig szükséges egy kompromisszum, amely egyensúlyban tartja a termodinamikai teljesítményt, a műszaki megvalósíthatóságot, a biztonságosságot, a gazdasági tényezőket és a környezeti hatást. A meglévő rendszerek alternatív hűtőközegei (Beépített vagy utószerelt) eltérnek az új telepítésekhez szántoktól, amelyek eltérő biztonsági vagy működési igényeket kínálhatnak. Előre tekintve a jelenlegi tendenciákra a természetes hűtőközegeket támogatja a környezeti problémák átfogó kezelését. Ezenkívül olyan technológiák, mint a távfűtési hálózatok (DHN) és a távhűtési hálózatok (DCN) elősegíthetik a hőátadást, és szigorúbb biztonsági követelményeket igénylő hűtőközegek alkalmazását lehetővé teszik nagy, izolált gőzkompressziós rendszerek tervezésével.

4. Gazdasági és környezeti vonatkozások

4.1. Bevezetés

A körzeti hűtőhálózatok (DCN-ek) alternatívát kínálnak a (több) osztott légkondicionálók, visszafordítható hőszivattyúk, hűtők és változó hűtőközeg-áramlású (VRF) rendszerek helyett. Ellentétben ezzel a decentralizált rendszerrel, ahol egy épület minden lakásának, emeletének vagy komfortzónájának saját egysége van, a DCN-ek központosítják a hűtés termelését egy egész körzet vagy épületcsoport számára.

Ez a központosított megközelítés növeli az energiahatékonyságot, csökkenti a berendezések költségeit és javítja a fenntarthatóságot, miközben ugyanazt a beltéri kényelmet tartja meg.

Ugyanakkor a DCN bevezetése jelentős beruházást igényel az elosztási infrastruktúrába, különösen a hűtővezetékek építésébe. Az ilyen rendszerek gazdasági életképessége több kulcsfontosságú tényezőtől függ, beleértve a keresleti sűrűséget, a szabályozási feltételeket és a politikai támogatást.

A DCN-ek osztoznak a távoli fűtési hálózatok számos előnyében és korlátjában. Ennek ellenére a hűtőrendszerek általában egyenletesebb hőmérsékleti követelményeket alkalmaznak. Másrészt a hulladékhűtés forrásai ritkák, kivéve akkor, ha hőszivattyúkat használnak, amelyek egyszerre képesek fűtésre és hűtésre.

Ez a fejezet a DCN-ek gazdasági megvalósíthatóságát és fenntarthatóságát befolyásoló főbb tényezőket vizsgálja, beleértve jogi, szabályozási és politikai szempontokat.

4.2. Hűtési igénysűrűség

Hűtési igénysűrűsége DCN-ben

A Hűtési igénysűrűsége azt jelenti, hogy a fűtéshez szükséges hőenergia szükséges egységenként egy adott zónában. Ez kritikus paraméter a köri hűtőhálózat (DCN) rendszer műszaki és gazdasági megvalósíthatóságának értékelésében. Minél nagyobb a Hűtési igénysűrűsége, annál anyagilag legmegvalósíthatóbb a DCN más egyedi vagy elosztott hűtőrendszerekhez képest.

A hűtési igénysűrűsége magasabb lesz a sűrűn lakott területeken (városokban a családi házak elővárosi kerületekkel szemben), valamint melegebb éghajlaton, vagy magas hűtési fogyasztói területeken, például adatközpontokban.

A Hűtési igénysűrűségének vizsgálata során több tényezőt kell értékelni:

1. Megvalósíthatósági értékelés: A magas hűtési igényű területek alkalmasabbak DCN rendszerekre, mivel alacsonyabb az elosztási költségek egységnyi szállított energia után.
2. Hálózati optimalizálás: Hozzájárul a rendszerkomponens, például a csővezetékek, hőcserélő állomások és hűtőállomások megfelelő méretezéséhez.
3. Fenntarthatóság: A nagy sűrűségű területek lehetővé teszik a hatékony energiaelosztást, csökkentve a környezeti hatást és elősegítve a fenntarthatóságot.

Hűtő felhasználók

A hűtési igény általában a következőkből ered

1. Városi területek: Hőkényelmi megoldásokhoz, légkondicionáló rendszerekben, Fan-Coilokban, sugárzó mennyezetben vagy nagy rendszerekben hűtők helyettesítésére használják. Magában foglalja a háztartási alkalmazásokat, de irodákat, boltokat, középületeket stb. is. Hasonló hőmérséklet-tartomány.
2. Ipari folyamatok: Ebben az esetben a hőmérséklettartomány széles, mivel magában foglalja minden folyamatot, amelynek le kell hűtelnie a gyártott vagy manipulált folyamatot.
3. Adatközpontok: Városokban és ipari területeken is jelen vannak. Minden alkalommal reprezentatívabb.

Hűtési igény tényezők

Hűtési igénysűrűségét befolyásoló tényezők:

1. Városi jellemzők: A magas épületek és sűrűn lakott városi területek gyakran magasabb hűtési igényt mutatnak.
2. Éghajlat: A melegebb éghajlat növeli a hűtési igényt, így a DCN rendszerek vonzóbbá válnak.
3. Épülethasználat: A kereskedelmi és ipari övezetek általában több hűtést igényelnek, mint a lakóterületek.

A Hűtési igénysűrűség elemzése

A hűtési igény részletes elemzése alapvető egy hatékony és költséghatékony távhűtési hálózat (DCN) tervezéséhez. A következő lépéseket kell figyelembe venni:

1. Adatgyűjtés és előfeldolgozás

Épületadatok: Gyűjtsön részletes adatokat az épülettípusokról, a hasznosítási módról (lakó-, kereskedelmi vagy ipari célú), a méretekről és a kihasználtságról, valamint – amennyiben rendelkezésre állnak – a korábbi hűtési igények adatairól.
Éghajlati adatok: Használjon olyan időjárási adatkészleteket, amelyek figyelembe veszik a helyi hőmérsékletet, a páratartalmat és a napsugárzás mértékét, mivel ezek befolyásolják a hűtési igényt.
Energiafogyasztási mintázatok: Elemezze az energiafelhasználási profilokat a csúcsidőszaki és a csúcsidőszakon kívüli hűtési igények feltérképezése érdekében.

2. Hűtési terhelés becslése

Dinamikus szimuláció: Használjon energiaszimulációs eszközöket (pl. TRNSYS, EnergyPlus) az épületek óránkénti hűtési terheléseinek kiszámítására a burkolat-tulajdonságok, HVAC rendszerek és belső terhelések alapján.

Csúcsterhelés azonosítása: A csúcshűtési terhelések azonosítása, amelyek befolyásolják az erőművek és elosztóhálózatok méretét.

3. Térbeli keresleti térképezés

Földrajzi információs rendszerek (GIS): Térbeli feltérképezés a hűtési igényt a nagy igényű zónák vizualizálása és a hálózati elrendezések megvalósíthatóságának értékelése érdekében. Átfedés adatokat az infrastruktúra elérhetőségéről (utak, közművek stb.).
Zónázás: Ossza fel a szolgáltatási területet a keresleti sűrűség alapján zónákra, és helyezze előtérbe a nagy potenciállal rendelkező zónákat.

4. Keresletprofilok és terhelés sokszínűsége

Időbeli elemzés: Dolgozzon ki óránkénti, napi és szezonális hűtési keresletprofilokat az ingadozások figyelembevételére. Használja a diverzitás tényezőket az épületek közötti csúcsigények nem egybeeséseinek figyelembevételére.
Egyidejű terhelési tényezők: Értékelje az épületek egyidejű működését az üzemi kapacitásigények csökkentése érdekében.

5. Keresletnövekedési előrejelzések

Városfejlesztési trendek: Építse be a jövőbeli növekedési terveket lakó-, kereskedelmi és ipari területekre.
Energiahatékonysági fejlesztések: Figyelembe kell venni a változó építési előírásokat és az átalakítási erőfeszítéseket, amelyek csökkenthetik a hűtőterhelést.

6. Megvalósíthatósági elemzés

Küszöbérték sűrűség: Biztosítani kell, hogy a Hűtési igénysűrűsége meghaladja a küszöbértékeket (pl. 30-50 MWh/ha/év) a gazdasági életképesség érdekében.
Költség-haszon elemzés: Értékelje az infrastruktúra-beruházások és az üzemeltetési költségek közötti kompromisszumokat a központosított és egyedi hűtőrendszerekkel szemben.

7. Rendszerintegráció és optimalizálás

Forrásoldali elemzés: Értékelje a megújuló források, hulladékhővel hajtott abszorpciós hűtők vagy kombinált hő- és energia-rendszerek (CHP) integrálásának lehetőségét a hűtéshez.
Hálózati veszteségek: Elemzze és minimalizálja a hő- és hidraulikus veszteségeket az elosztórendszerben.
Rugalmasság: Olyan rendszerek tervezése, amelyek modularitást tartalmaznak, hogy alkalmazkodjanak a változó jövőbeli igényekhez.

4.3. A távfűtés életképessége más technológiákhoz képest

Általános jellemzők

A távhűtés két jelentős különbséget mutat az elosztott rendszerekhez képest.

1. Először is, a hideg vizet a központi üzemből az épületekbe keringtető csőhálózat plusz költséget jelent.
2. Másodszor, a távhűtés vizet fogyaszt. A vízfogyasztás mennyisége viszonylag kicsi a zárt kör működés miatt.

A hálózati költségek ellensúlyozásával a távhűtés három fő előnyt kínál:

1. Alacsony energiaigény.
2. Hatékony kapacitásfelhasználás a terhelés sokszínűsége és a kapacitástervezés és telepítés rugalmassága miatt.
3. Csúcsterhelés-csökkentés (peak shaving). A DCN akár a potenciális kibocsátás 30%-át is képes tárolni, ha hűtött vizet tart tartályokban.

A távhűtésii hálózat (DCN) rendszerek jelentős gazdasági előnyöket és kihívásokat jelentenek a hagyományos hűtési megoldásokhoz képest (5. táblázat).

1. Tőkebefektetés	
DCN	**HAGYOMÁNYOS**
Magas kezdeti költségek: A DCN rendszerek jelentős előzetes beruházást igényelnek a központosított üzemek, csővezeték-hálózatok és csatlakozási infrastruktúra számára. A méretgazdaságosság igazolhatja ezeket a költségeket olyan területeken, ahol magas a Hűtési igénysűrűsége, mivel a fix költségek nagyobb felhasználói bázisra oszlanak meg.	Az önálló légkondicionálók vagy tetőre szerelt hűtők kezdeti költsége alacsonyabb, mivel minden egység önállóan telepíthető és üzemeltethető. Azonban ezek a rendszerek berendezéseket másolnak az épületek között, ami tőkebefektetési hatékonyság csökkenéséhez vezet.
2. Működési költségek	
A központosított működés alacsonyabb energiaköltségeket eredményez a nagy hatékonyságú hűtőberendezések, optimalizált terhelésmegosztás és a csúcsidőn kívüli villamos energia hőtárolásra való felhasználása miatt. A karbantartási költségek is alacsonyabbak egy hűtési egységre jutva, mivel egyetlen rendszer több felhasználót szolgál ki.	A decentralizált rendszerek gyakran nagyobb energiafogyasztással rendelkeznek a kisebb, kevésbé hatékony hűtők és a kevés terhelési diverzitás miatt. A karbantartás költségesebb, mivel minden egységhez külön karbantartást igényel.
3. Költséghatékonyság az idővel	
DCN	**HAGYOMÁNYOS**
A hosszú távú költségmegtakarítás felülmúlhatja a kezdeti beruházást az alacsonyabb energiaszámlák, alacsonyabb karbantartási költségek és a méretgazdaságosság révén. Ezek a rendszerek különösen költséghatékonyak azokon a régiókban, ahol magas a hűtési igény és stabilak az energiaárak.	Bár elsőre olcsóbb, a költségek idővel nőnek a magasabb üzemeltetési és karbantartási költségek miatt.
4. Bevételi potenciál	
A DCN szolgáltatók hosszú távú ügyfelekkel kötött szerződéseken keresztül stabil bevételforrásokat generálhatnak, biztosítva a kiszámítható pénzáramlást. A felesleges hűtőkapacitás eladása vagy a megújuló energia rendszerekkel való integráció további bevételi lehetőségeket teremthet.	Nincs központosított bevételi modell, mivel az egyes rendszerek nem termelnek bevételt a működésükön túl.

5. Kockázat és pénzügyi rugalmasság	
DCN	**HAGYOMÁNYOS**
A pénzügyi kockázat a kezdeti fázisban magasabb a nagy beruházások és a keresleti sűrűségtől való függőség miatt. Működés után a DC rendszerek kiszámítható pénzáramokat és alacsonyabb piaci volatilitást élveznek.	Alacsonyabb kezdeti pénzügyi kockázat, de nagyobb kitettség az energiaárak és karbantartási költségek változásának.
6. Külső gazdasági előnyök	
Csökkenti a városi csúcsáram terhelést, ami potenciálisan csökkenti az energiadíjakat és az infrastruktúra fejlesztésének költségeit a közművek számára. Munkahelyteremtési lehetőségeket teremt az építési és üzemeltetési szakaszok során.	Korlátozott hatás a szélesebb gazdasági tényezőkre, az előnyök kizárólag a berendezésgyártókra és szolgáltatókra korlátozódnak.

5. táblázat. DCN gazdasági előnyei és kihívásai a hagyományos hűtési technológiákhoz képest.

Összefoglaló

1. Tőkeköltségek: A DCN rendszerek magas beruházási költségekkel rendelkeznek, de a méretgazdaságosság költséghatékonnyá teszi őket sűrű területeken, ellentétben az olcsóbb, önálló rendszerekkel, amelyek duplikált berendezésekkel rendelkeznek.
2. Üzemeltetési költségek: A DCN rendszerek energiatakosabbak és olcsóbban tarthatók a központosított működés miatt, míg a hagyományos rendszerek esetén hosszú távon magasabbak a költségek.
3. Hosszú távú megtakarítások: A DCN jelentős költségmegtakarítást kínál idővel, míg az önálló rendszerek magasabb összköltségeket igényelnek.
4. Bevétel: A DCN szerződéseken keresztül stabil bevételi forrásokat hoz létre, ellentétben a hagyományos rendszerekkel.
5. Kockázat: A DCN-nek magasabb a kezdeti pénzügyi kockázata, de stabil hosszú távú előnyei; a hagyományos rendszerek alacsonyabb beruházási kockázatokkal rendelkeznek, de ingadozó működési költségekkel.
6. Külső előnyök: A DCN csökkenti a városi csúcsterhelést és támogatja a helyi gazdaságokat, míg az önálló rendszerek korlátozott, szélesebb körű hatást nyújtanak.

Kormányzati tarifaszabályozás

A legtöbb közműhöz hasonlóan a távhűtéshez is megfelelő szabályozási keretrendszerre van szükség, amely védi a fejlesztőket, a szolgáltatókat, a fogyasztókat és a tágabb gazdaságot.

Szingapúr kijelölt meghatározott szolgáltatási területeket a távhűtési koncessziók odaítélésére, és a tarifákat meghatározott eszközmegtérülési rátához köti.

Dánia, Hollandia, Norvégia és Lengyelország kormányai ösztönözték a távfűtés bevezetését, és olyan módszereket alkalmaznak, mint az árszabályozás, a kötelező alkalmazási zónák, a pénzügyi támogatás és a hálózatok állami tulajdonlása.

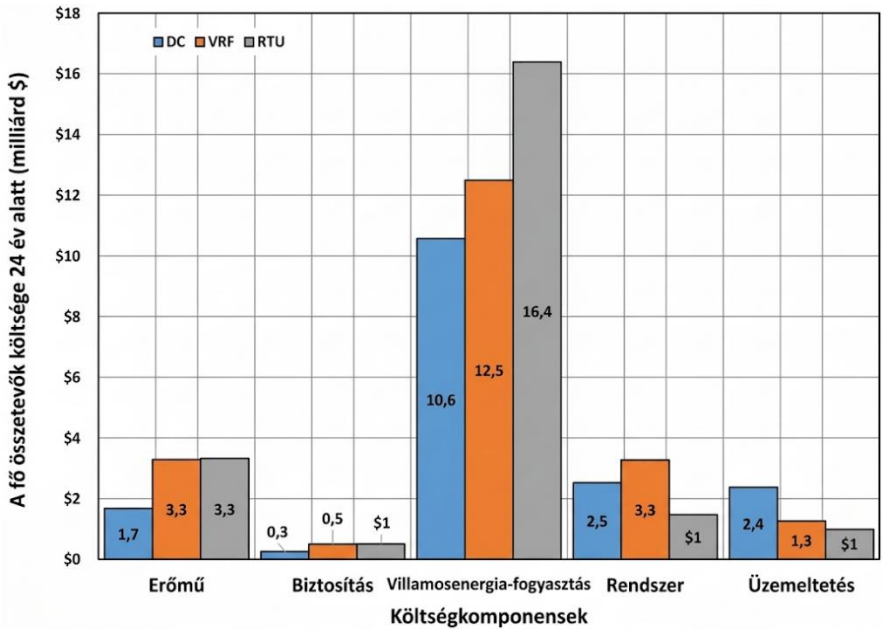
A kormányoknak következetes tarifarendszert kell létrehozniuk a távhűtésre. Ez azt jelenti, hogy meg kell határozniuk az előzetes, rendszeres és fogyasztási díjak elosztási modelljét az ingatlanfejlesztők, az egyes ingatlantulajdonosok és a bérlők számára. A kormányoknak érvényesíteniük kell az ilyen

díjszabási modellek következetes alkalmazását a projektek között. Ezeknek a modelleknek meg kell védeniük az egyes tulajdonosokat és bérlőket az ingatlanárak arbitrázsától.

A díjszabási modelleknek arra kell törekedniük, hogy a felhasználók által fizetett díjakat összehangolják a tényleges hűtési fogyasztással. Bizonyos esetekben árszabályozásra lesz szükség a felhasználók számára méltányos tarifák biztosítása érdekében, miközben a távhűtési közműveknek az iparági kockázatokkal arányos hozamot biztosítanak.

Alajmi és Zedan (2020) tanulmánya Kuvaitban (28. ábra).

Ez a tanulmány bemutatja a távhűtési (DC) rendszerek jelentős költség- és üzemeltetési előnyeit a hagyományos hűtési módszerekkel szemben. A teljes költség számottevően csökken: a tetőre szerelhető egységek (RTU) esetében mért 22 669 millió dollárról és a változó hűtőközeg-áramlású (VRF) rendszerekre jellemző 20 829 millió dollárról 17 395 millió dollárra a DC-rendszer esetében. Emellett, míg az RTU-rendszer 660 200, a VRF-rendszer pedig 220 800 hűtőegységet igényel, addig a DC-rendszernek mindössze 624 egységre van szüksége. Ez a drasztikus csökkenés számos tényezőre hatással van: mérsékli a szervizeléshez, karbantartáshoz és üzemeltetéshez szükséges munkaórák számát; csökkenti a lakóépületekben a hűtőberendezések számára szükséges tetőfelületet; mérsékli a szükséges pótalkatrészek mennyiségét; valamint – az üzemelő önálló egységek kisebb száma révén – jelentősen csökkenti a hűtőközeg-szivárgás kockázatát [36].



28. ábra. Különböző technológiák gazdasági költségei Kuvaitban (Alajmi és Zedan, 2020) [36]

Hogyan járulhatnak hozzá vállalkozások, kormányok és magánszemélyek a DHC-hez?

A kormányok kulcsszerepet játszanak a fejlődés előkészítésében ambiciózus klímacélok meghatározásával és támogató politikák bevezetésével. Az energiahatékony technológiák, például a körzeti hűtés ösztönzésével nemcsak csökkentik az üvegházhatású gázok kibocsátását, hanem ösztönzik a zöld iparágak gazdasági növekedését is.

Ezek a politikák ösztönözhetik a vállalkozásokat, hogy diverzifikálják portfóliójukat, befektetjenek tiszta energia projektekbe és innovatív megoldásokba. Ahogy a vállalkozások alkalmazkodnak és fejlődnek, hozzájárulnak egy virágzó zöld gazdasághoz, amely nemcsak munkahelyeket teremt, hanem hosszú távú fenntarthatóságot is biztosít.

Az egyének tudatosan hozhatnak döntéseket az energiafogyasztás terén, az energiahatékony készülékek használatától a vízpazarlás csökkentéséig. Ezen túlmenően az egyének közösségi kezdeményezésekben is részt vehetnek, és növelhetik a fenntarthatóság fontosságának tudatosságát.

Végső soron ez az együttműködés révén, ahol a kormányok, vállalkozások és egyének együtt dolgoznak, elérhetik azt a változást, amely szükséges a klímaváltozás sürgető kihívásainak kezeléséhez és egy fenntarthatóbb világ építéséhez a következő generációk számára.

A Perzsa-öböl országainak esete

Sok esetben az áramárak túl alacsonyak, így a körzeti rendszerek csak nagyon magas hűtési sűrűségnél tűnnek életképesek. A kormányoknak megfelelő zónákat kell kijelölniük a körzeti hűtéshez, és be kellene vonniuk a technológiát a várostervezésbe.

A hűtés az éves villamosenergia-fogyasztás 50%-át teszi ki, ami évente körülbelül 20 milliárd dolláros üzemanyag-lehetőség költséget jelent. Megfelelő alkalmazással a körzeti hűtés 2030-ra a jósolt hűtési igények mintegy 30 százalékát fedezhetné ki. Ez megakadályozná a régiónak 20 GW új villamosenergia-termelési kapacitást építenie, és napi 200 000 hordó olajekvivalens üzemanyagot takarítana meg [37].

4.4. A távhűtés környezeti hatása

Szén-dioxid-kibocsátás

Csökkentett üvegházhatású gázok (KHG) kibocsátása: A nagy hatékonyság és a megújuló energiaforrásokkal (pl. napenergia-hűtés, geotermális) vagy a hulladékhő visszanyerése jelentősen csökkentheti a CO_2 kibocsátást a hagyományos rendszerekhez képest. Az alacsony kibocsátású villamosenergiaforrások (pl. vízerőmű vagy szélenergia) használata ezeket az előnyöket tovább erősíti.

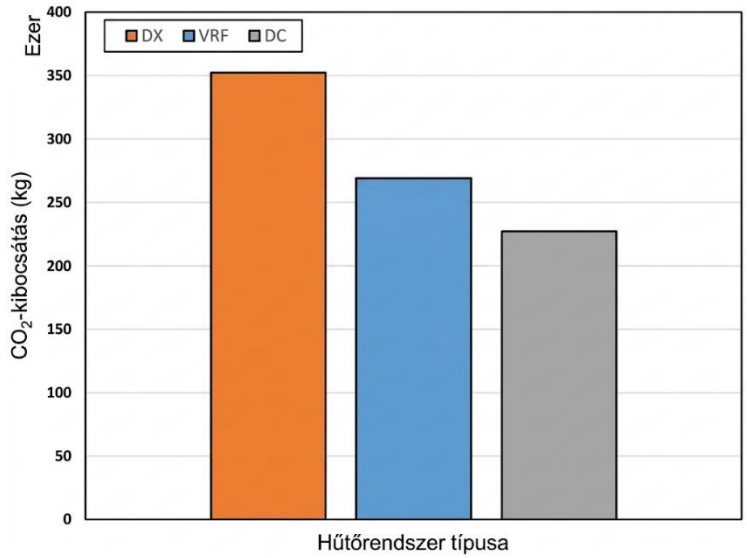
Hűtőközeg-kezelés: Központosított rendszerek lehetővé teszik környezetbarát hűtőközegek használatát, amelyek alacsony globális felmelegedési potenciállal (GWP) és jobb elszigeteléssel rendelkeznek a szivárgás csökkentése érdekében.

Erőforrás-optimalizálás

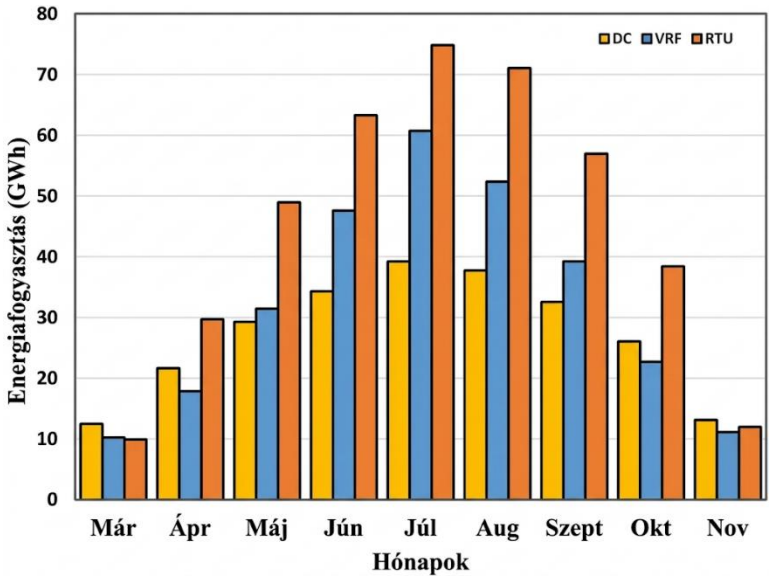
1. Vízhasználat: A központosított rendszerek optimalizálhatják a vízfogyasztást a hűtési folyamatokhoz, különösen a párologtató hűtési rendszerekben. Ugyanakkor a vízigényes rendszerek megterhelhetik a helyi vízforrásokat száraz területeken, hacsak nem használnak alternatív vízforrásokat (például kezelt szennyvízt).
2. Földhasználat: A DCN rendszerek csökkentik a mechanikai berendezések szükségességét az egyes épületekben, így a tető- és beltéri tereket szabadítják fel más célokra, például napelemekre vagy zöldtetőkre.

Alajmi és Zedan tanulmánya (2020) Kuvaitban.

A magas CO2-kibocsátási tényező még fontosabbá teszi a magas energiahatékonyságot (29, 30. ábrák).



29. ábra. CO2 kibocsátások a hűtőrendszer típusának függvényében [37].



30. ábra. Energiafogyasztás különböző hűtőrendszerek esetén [37].

Városi hősziget-jelenség

1. Központosított hőleadás: Azáltal, hogy a hőleadást több épületből egy központosított helyre helyezik át, a DCN rendszerek csökkentik a helyi hőtermelést, amely hozzájárul az UHI-hatáshoz.
2. Rendszertervezés: A DCN rendszerek víztesteket vagy föld alatti rendszereket használhatnak hőleadáshoz, minimalizálva a városi hőmérsékletre gyakorolt környezeti hatást.

Integráció a fenntartható technológiákkal

1. Hulladékhő felhasználása: A DCN rendszerek integrálhatók az ipari folyamatokból vagy erőművekből származó hulladékhő visszanyerésével, így a felesleges hőt hűtőforrássá alakítva és növelve az energiafelhasználást.

2. Megújuló energiaforrások és alacsony szén-dioxid-kibocsátású források: A DCN rendszerek beépíthetnek megújuló energiaforrásokat, mint például a naphős, geotermális vagy alacsony hőmérsékletű hulladékhő, csökkentve a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget.

Hulladékgazdálkodás és életciklus hatásai

1. Kevesebb leselejtezendő berendezés: A központosított rendszerek csökkentik a számos kisebb hűtőegység iránti igényt, ezáltal mérséklik a berendezések gyártásának és későbbi hulladékká válásának mértékét.

2. Hosszabb élettartamú infrastruktúra: A DCN-rendszerek élettartama jellemzően hosszabb a hagyományos hűtőrendszerekénél, ami alacsonyabb környezeti terhelést eredményez a teljes életciklus során.

Lehetséges hátrányok

1. Energiaforrás-függőség: Ha fosszilis tüzelőanyagokat használnak fel, a DCN rendszerek magasabb kibocsátással járhatnak, különösen azokban a régiókban, ahol szén-dioxid-intenzív villamosenergia-hálózatok működnek.
2. Építési hatások: Egy DCN hálózat építése jelentős feltárást és infrastruktúra-fejlesztést igényel, ami ideiglenesen megzavarhatja az ökoszisztémákat és a városi környezeteket.
3. Hőveszteségek: A nem hatékony csővezeték-szigetelés vagy a hosszú távú hőátadás energiaveszteségekhez vezethet, ami csökkenti a rendszer teljes hatékonyságát.

4.5. A távhűtésitechnológiák optimalizálása

Gazdasági optimalizálás az üzemeltetési költségek csökkentésére

Méretgazdaságosságok:

Nagy léptékű távhűtésii rendszerekben a kezdeti tőkeköltségek (pl. létesítményépítés, csővezeték-infrastruktúra) több fogyasztó között oszlik el. Ez csökkenti az egységenkénti tőkeköltséget a decentralizált rendszerekhez képest.

A berendezések (például hűtők, szivattyúk és csövek) gondos tervezése és szabványosítása alacsonyabb építési költségekhez és gyorsabb megvalósításhoz vezethet.

Moduláris tervezés:

A moduláris rendszerek lehetővé teszik a szakaszos bevezetést, ezáltal csökkentve a kezdeti beruházási terheket. Ez a rugalmasság lehetővé teszi az üzemeltetők számára a rendszer igények szerinti bővítését, biztosítva a tőke hatékony felhasználását.

Központosított karbantartás:

A központosított működés egyszerűsíti a karbantartást és csökkenti a költségeket, mivel az egész rendszer egyszerre szervizelhető, így elkerülve az egyes egységek külön karbantartását a decentralizált rendszerekben.

Az adatelemzéssel történő előrejelző karbantartás tovább csökkentheti a leállásokat és a váratlan javítási költségeket, javítva a működési hatékonyságot.

Energiahatékonyság:

Az energiafelhasználás optimalizálása a nagy hatékonyságú hűtők, változó sebességű hajtóművek és fejlett vezérlőrendszerek integrációjával csökkentheti a DCN rendszerek teljes energiafogyasztását.

A központi hőenergia-tároló rendszerek bevezetése lehetővé teszi a csúcsidőn kívüli hűtést, csökkentve a csúcsértékű villamosenergia-igény költségeit, amely gyakran drágább.

Integráció a hulladékhővel:

Az ipari folyamatokból vagy erőművekből származó hulladékhő felhasználása, lehetőséget teremtve a felesleges hőenergia újrahasznosítására sorpciós rendszerekkel a DCN-hez történő hűtéshez. A párologtatásból származó hűtő, amelyet nem használnak hőszivattyúkban, szintén befecskendezhető a DCN-be.

Megújuló energia integráció:

A megújuló energiaforrások, mint például a soláris, geotermális vagy alacsony szén-dioxid-kibocsátású elektromosság kombinálása sorpciós rendszerekkel kombinálva, amelyek a DCN-hez hűtést biztosítanak, tovább csökkenti az üzemeltetési költségeket azáltal, hogy csökkenti a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget és stabilizálja az energiaárakat.

Például a napelemes hűtés közvetlenül integrálható a DCN hálózatba, hogy csökkentse az üzemeltetési költségeket, különösen a napsütéses területeken. A technológiát tovább kell fejleszteni.

Alacsony GWP-jú hűtőközegek használata:

A hűtőközegek kiválasztásának optimalizálása, amelyek alacsony globális felmelegedési potenciállal (GWP) rendelkező folyadékokat használnak, például természetes hűtőközegek vagy alacsony GWP-tartalmú szintetikus alternatívák, csökkenti a hűtőrendszer környezeti hatását.

A hűtőközeg-kezelés fejlődése (pl. szivárgásérzékelő rendszerek és megfelelő karbantartás) biztosítja a minimális hűtőközegveszteséget, csökkentve a rendszer általános szénlábnyomát.

Energiaellátás dekarbonizálása:

A DCN rendszerek csatlakoztatása egy szénmentesített hálózathoz, amelyet megújuló források, például szél, napenergia vagy vízerőmű hajt, jelentősen csökkenti a hűtéssel járó kibocsátásokat.

Amikor a DCN rendszereket megújuló energia termeléssel párosítják (például napelemek kiegészítő energia esetén), a rendszer általános környezeti teljesítménye javul.

Hatékony vízgazdálkodás:

Azok az Átfolyós hűtővíz-rendszerek (once-through cooling systems), optimalizálhatják a vízfogyasztást zárt körű rendszerek bevezetésével vagy nem ivóvízforrások, például kezelt szennyvíz használatával.

Okos hálózatok és IoT:

Az okoshálózat technológia és az Internet of Things (IoT) érzékelők integrálása a DC-be valós idejű monitorozást, dinamikus terheléselosztást és előrejelző elemzést tesz lehetővé, optimalizálva az energiafelhasználást és a működési hatékonyságot.

Az intelligens algoritmusok képesek a rendszer paramétereit a kereslet, az időjárás-előrejelzések és az energiaárak alapján módosítani, csökkentve az energiapazarlást és optimalizálva a teljesítményt.

Keresleti válasz:

A keresletválasz-kezelési stratégiák alkalmazása, ahol a hűtési igényt nem csúcsidőre helyezik át, csökkenti az összenergia költségét és enyhíti a hálózati feszültséget. Emellett támogatja a változó megújuló energiaforrások integrációját is.

Biztonsági rendszerek:

A rendszertervezésbe való redundancia (pl. tartalék hűtők vagy hőtárolók) bevonása biztosítja, hogy a hűtési igények még a csúcsterhelés vagy berendezésmeghibásodás idején is kielégítődjenek, elkerülve a működési zavarokat és csökkentve a vészhelyzeti javítási költségeket.

A rugalmas rendszerek minimalizálják a rendszer leállását, ami egyébként magas költségeket és környezeti következményeket okozhat ideiglenes megoldások, például vészhűtés szükségessége miatt.

4.6. Következtetések

A távhűtőhálózat (DCN) alkalmasságának meghatározásához elengedhetetlen a keresletsűrűség alapos vizsgálata, figyelembe véve az épületeket, ipari fogyasztókat és adatközpontokat. Ez az elemzés túlmutat a hagyományos HVAC és hűtési projekteken, és további tudományágakat is beépít, mint például a földrajzi információs rendszerek (GIS). Ha a keresletsűrűség megfelelően indokolt és a kockázatok minimalizáltak, egy jól megtervezett DCN felülmúlhatja a hagyományos hűtőrendszereket, vonzó megtérülési időszakot kínálva. A hagyományos hűtési megoldásokkal ellentétben a kormány részvétele kulcsfontosságú a DCN-ek fejlesztésében és szabályozásában, gazdasági, környezeti és várostervezési szempontból történő előmozdításában. Az energiahatékonyságon túl a DCN-ek hozzájárulnak a városi hősziget hatásainak csökkentéséhez, a hulladék minimalizálásához és a fenntartható technológiákhoz való integráció elősegítéséhez. Ugyanakkor a DCN-ek kifinomultabb irányítási és optimalizálási stratégiákat igényelnek a nyereségesség és energiahatékonyság biztosítása érdekében, ahol az IoT és kommunikációs technológiák fejlődése kulcsfontosságú.

5. Megvalósított projektek esettanulmányai

Ez a téma tíz reprezentatív esettanulmányt mutat be, mindegyiknek megvannak a saját feltételei és sajátosságai. A cél a következő témák megértése:

1. Sikeres távfűtési és hűtési projektek különböző éghajlatú hűtőkkel
2. Teljesítmény és energiamegtakarítás hűtők használatával DCN-ben
3. Hőszivattyúk tervezése, telepítése és üzemeltetése távolsági fűtési és hűtési projektekben
4. A legjobb gyakorlatok a hőszivattyúk integrálására a távhűtési infrastruktúrába, beleértve a rendszer méretezését, hőtárolást és szabályozási stratégiákat

Az esettanulmányok csak a távfűtési hálózatokat, valamint kombinált távfűtési és hűtési hálózatokat fognak tartalmazni.

További esettanulmányok találhatók irodalomban.

5.1. DCN James Cook Egyetem (Townsville, Ausztrália) [38]

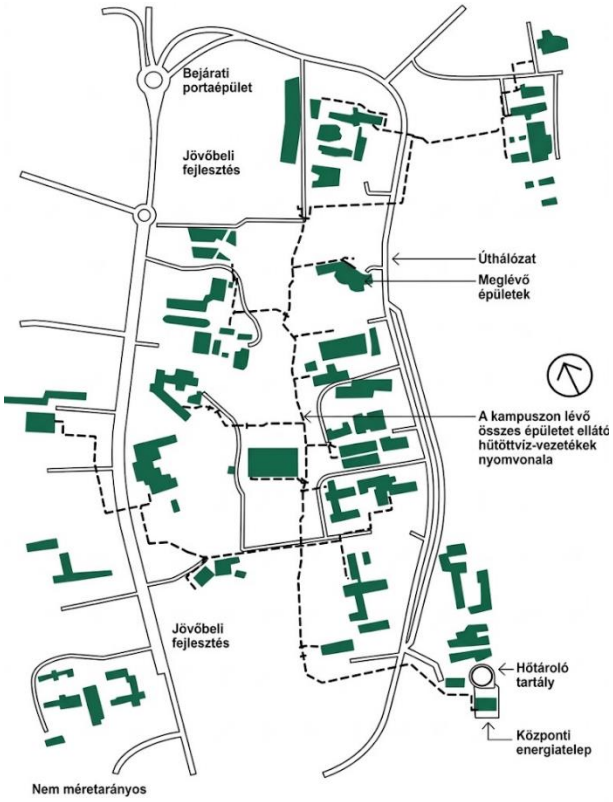
Áttekintés (31. ábra)

A James Cook Egyetem Townsville-ben mintegy 255 hektáros elosztott kampuszt foglal el, 28 tanulmányi épülettel. A teljes légkondicionált padlófelület 69 000 m². A campus fokozatosan bővült, minden új épület különálló, önálló légkondicionáló üzemmel szerelt fel. Sok hűtő elöregedett, némelyik akár 35 éves, és a legtöbbjük várhatóan a következő öt évben cserélni kell majd, becslések szerint 9 millió dollár. Jelenleg a helyszínen 29 helyszínen az összes üzemkapacitás körülbelül 11,5 MW hűtés. A campus további bővítését tervezi, 2010-re 25 200 m² légkondicionált padlóterületet bővítve, 2015-re pedig további 25 000 m²-t.

Tervezés (32. ábra)

A Hőenergia-tároló (TES) kihasználja azokat az időszakokat, amikor a hűtési igény meghaladja az átlagot, a központi hűtött víz üzemet működtetve, hogy a visszafolyó vizet (15°C-ról) A visszatérő vizet

lehűtse 6°C-nál. A Központi energiatermelő telep épületében három nagy hatékonyságú centrifugális hűtő található, mindegyik 4,2 MW teljesítményű, és a jövőben további két hűtőgép számára is helyet terveznek. Az üzem tartalmaz továbbá elsődleges és másodlagos hűtött vízszivattyúkat, amelyek változó sebességű hajtással vannak felszerelve, kondenzátor vízszivattyúk szintén változó sebességű hajtással, valamint négy hűtőtornyot, amelyek mindegyik 5,1 MW teljesítményre van beállítva, és egy ötödik torony számára van lehetőség. A hűtőtornyok ventilátorai változó sebességű hajtásokkal vannak felszerelve a hatékonyság növelése érdekében.



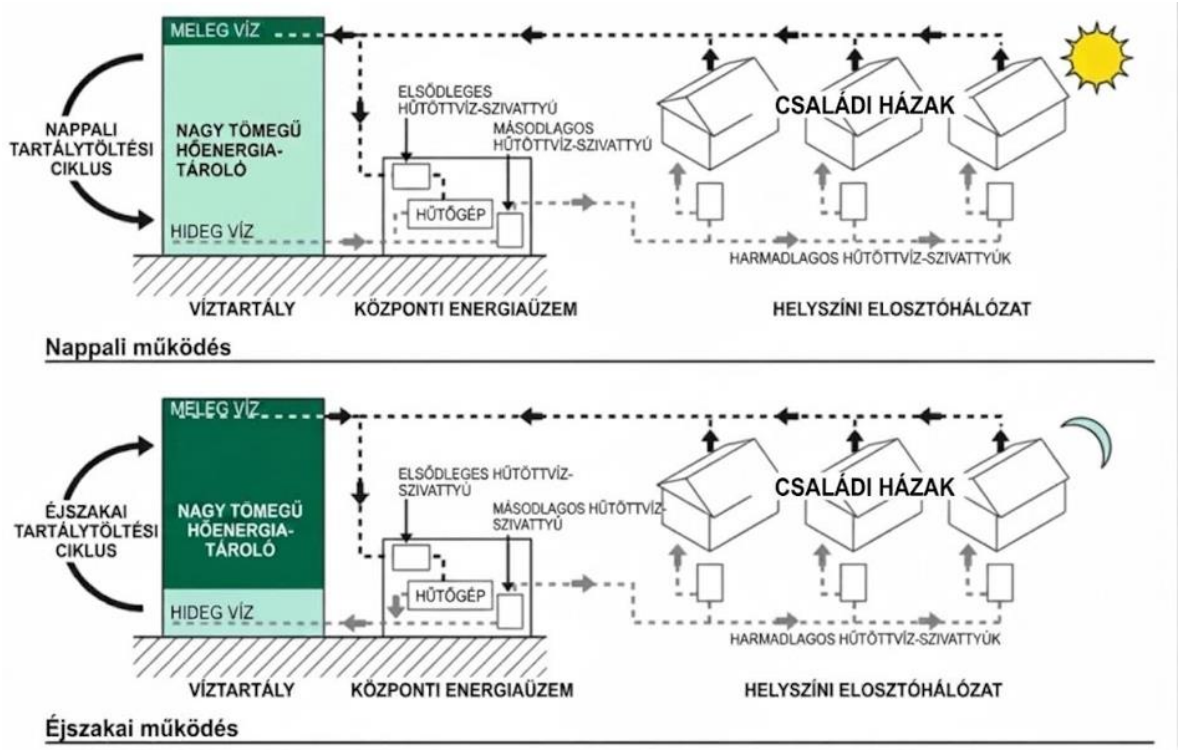
31. ábra. Helyszínrajz: James Cook Egyetem Townsville Campus [38].

A 12 megaliteres TES tartály speciálisan mérnöki Rétegző (stratifikációs) vízdiffúzorokat tartalmaz, amelyek lehetővé teszik, hogy a víz turbulencia nélkül távozzon vagy bejutjon a tartályba.

A hűtő- és víztároló létesítmény a campus délkeleti részén helyezkedik el, elég magasságban ahhoz, hogy a hőtároló vízszintje a hűtött vízhálózat legmagasabb pontját képviselje, így biztosítva a statikus vízvezetéket.

A központi energiaerőmű **tervezési teljesítményegyütthatója (a COP a hatékonyság mérője) 6 nyári körülmények között: 33°C száraz és 27°C nedves hőmérő hőmérséklete.**

A vizet 7,8 km földalatti, szigeteletlen csővezetékre osztják el, amelyeket minden épülethez vezetnek.



32. ábra. Folyamatábra [38].

Főbb következtetések

1. Rendszerhatékonyság-javítások: A hatékonyságot növelő főbb jellemzők közé tartozik a központi üzem szabályozási stratégiája, a nagyfeszültségű hűtőmotorok, az optimalizált CEP csővezeték-elrendezés és a földalatti hűtöttvíz-csövek használata, amelyek mind hozzájárulnak a költségmegtakarításhoz és a rendszer rugalmasságához.

2. Tőkeköltség-megtakarítás: A nagyfeszültségű motorok használata és az alacsony feszültségű transzformátorok elkerülése kiküszöböli a transzformátorveszteségeket és a további infrastruktúrát, így 800 000 dollárt takarít meg a tőkeköltségeken.

3. Hűtöttvíz-visszavezetés: Az MDPE csövek használata a szigetelt csövek helyett csökkenti a költségeket, minimalizálja az illesztéseket, és rugalmasságot kínál a jövőbeli bővítésekhez.

4. Energia- és hatékonyságnövekedés: A nagyobb hőmérséklet-különbség (9°C) csökkenti a szivattyúzási energiát és a csőméretet, ami alacsonyabb energiafogyasztást és hosszú távú megtakarítást eredményez.

5. Környezeti és gazdasági hatás: A projekt 990 000 dollárral csökkenti az energiaköltségeket, 4,5 MW-tal mérsékli a telephely maximális energiaigényét, és 12 000 tonna CO_2-egyenértékkel mérsékli az üvegházhatású gázok kibocsátását.

1.2. Barrio la Pinada [39]

Áttekintés

A La Pinada barrio egy magánvárosi fejlesztés, amely Paternában, Valencia városához közel található, és várhatóan 320 000 lakosat fed le.

A Barrio La Pinada egy új városfejlesztés, amelynek építése még nem kezdődött. Ez lehetőséget ad arra, hogy a hálózatot a nulláról hozzuk létre, illeszkedve egy új hálózati esettanulmány jellemzőihez.

A kielégítendő teljes kereslet 9,4 GWh (7,52 lakó- és 1,88 kereskedelmi terület).

A kínálat szintén egy új építmény, amely forrásként megújuló energia (RES) található. Konkrétan a kereslet 60%-át DCL (tervezési hűtőterhelés) geotermikus energia fedezi, a fennmaradó 40%-ot pedig aerotermikus hőszivattyúk. Bár ezt a megosztást elismerik, egy konzervatív esettanulmány elvégzéséhez a költségek a geotermikus erőmű költségei lesznek, amelyek magasabbak és ezért korlátozóbbak.

A készlet fő jellemzőit a 6. táblázat mutatja be.

	Ellátás
Technológia	Geotermális/aerotermikus
Felhasznált üzemanyag	Villamosenergia
Maximális kapacitás	5 MW
Fix költségek	200 000 €
Kapacitásköltségek	500 €/kW
Éves O&M költségek	30 €/kW
Ellátási költségek	1,4 c€/kWh

6. táblázat. Hálózati jellemzők [39].

Hálózati topológia

Barrio La Pinada azt tervezi, hogy a környék minden igényét a városi fűtési és **hűtési** hálózathoz köti, ezért szinte minden épületet a szükséges körülmények szerint állítottak be.

Az esettanulmányból csak kettő maradt ki a fejlesztés legdélebbi végén, amelyek egy iskolának felelnek meg. Ez a választás azért van, mert ezek az épületek már megépültek, így nem lesznek részei a közelgő fejlesztésnek. 73 épület csatlakozott, amelyek a javasolt kereslet 100%-át fedték le, és csak az iskolát hagyták ki.

Az optimalizálás megállapítja, hogy a rendelkezésre álló kapacitásból (5 MW) csak 3,3 MW szükséges a projekt keresletének kielégítéséhez. A kapcsolódó 2,14 millió € tőkeberuházás összhangban van más geotermikus energia fejlesztésekkel.

Hálózati megoldás (7. táblázat)

Csővezeték-megoldás		**Gyártási megoldás**		**Keresleti megoldás**	
Hossz	**6,76 km**	**Szükséges teljes kapacitás**	**3,88 MWp**	**Teljes csúcskereslet**	**6,16 MW**
Teljes költség	1,35 M€	Kimenet	11,05 GWh/év	Kereslet	9,2 Gwh/év
Lineáris költség	200 €/m	Tőkeköltség	2,14 M€	Bevételek	0,405 M€/év

Veszteségek	1,85 GWh/év	Működési költség: O&M	0,12 M€/év	-	-
Kapacitás	3,88 MW	Működési költség: hőtermelés	0,15 M€/év	-	-

7. táblázat. Hálózati megoldás Barrio la Pinada [39].

Elemzés (8. táblázat)

A projekt pénzügyi adatainak elemzésekor a legfontosabb szempont az a döntés, amely szerint a fejlesztés elsődleges mozgatórugója nem a gazdasági jövedelmezőség. A Barrio La Pinada célja ezzel szemben az, hogy tiszta és innovatív technológiát biztosítson lakói számára, miközben a lakások ára megfizethető marad.

Ennek érdekében módosították az esettanulmány módszertanát: ahelyett, hogy előre meghatározták volna a tarifát, majd a rendszert bízták volna annak eldöntésére, mely fogyasztói igényeket érdemes a projekthez kapcsolni a nyereségesség elérése érdekében, egy kezdeti tarifát határoztak meg, amelyet addig csökkentettek, amíg el nem érték a minimális pozitív nettó jelenértéket (NPV) – 50 éves időtávot és 3%-os diszkontrátát alapul véve. Így határozták meg a minimális nyereséges tarifát (15 €/kW + 3,4 c€/kWh), ami egyben magyarázatot is ad a projekt alacsony nettó jelenértékére.

	Tőkeköltség	**Működési költség**	**Működési bevétel**	**NPV**
Csővezetékek	-1,35 M€	-	-	-1,35 M€
Hőellátás	-2,14 M€	-0,27 M€/év	-	-9,35 M€
Követelések	-	-	0,41 M€/év	-10,74 M€
Kibocsátások	Jelenleg nem szerepel			
Hálózat	**-3,49 M€**	**-0,27 M€/év**	**0,41 M€/év**	**0,06 M€**

8. táblázat. Hálózatelemzés Barrio la Pinada [39].

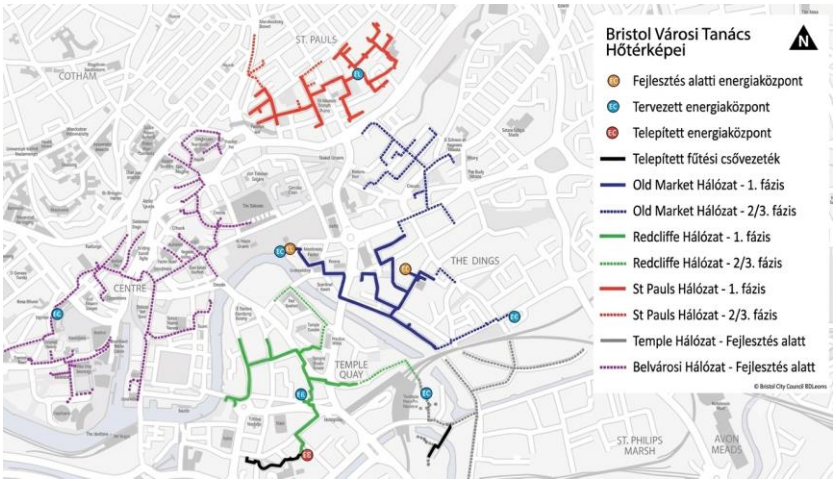
1.3. DHC Bristol Redcliff hálózati kiterjesztés [40]

Áttekintés

A Bristol Városi Tanács (33. ábra) több mint 10 éve tervezi aktívan a hőhálózatokat, hogy segítsen megfizethető, alacsony szén-dioxid-kibocsátású hőt biztosítani a városban, és hozzájáruljon a nettó nulla szén-dioxid-kibocsátási céljához 2030-ra.

A Tanács kezdetben egy városközponti hálózatot fejlesztett, amelyet a jövőben bővíteni kíván. Alacsony vagy nulla szén-dioxid-kibocsátású hőforrásokat fog használni, mint például hulladékhő, helyi vízi utak és régi bánya-üzemek.

Ez az esettanulmány a nyolc új épületből álló fejlesztési hálózat bővítését vizsgálja, egy vagy több épület hozzáadásával. A szélesebb hálózatterv végül körülbelül 60, főként meglévő épületeket fog összekötni.



33. ábra. DHC Bristol Redcliff hálózati terv [40].

Főbb eredmények

1. A THERMOS modellezés pontossága

A THERMOS-szal modellezett végső hőhálózat tervezést egy részletes hidraulikus modell alapján validálták. Az elemzés 47 csőt fedett fel, összesen 1 365 métert a teljes 5 969 méteres hálózatból. Az eredmények kimutatták, hogy a csőszegmensek 70%-a pontosan egyezett méretében a két modell között, és 97% egy csőméret-különbségen belül volt. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a THERMOS megbízható közelítést nyújt, és hatékonyan szolgálhat a részletesebb hidraulikus modellezés helyettesítőjeként

2. Terhelésbővítés és kapacitásértékelés

A hálózat rendelkezésre álló kapacitásának értékeléséhez két ágon további terheléseket vezettek be. Mivel a már megépített hőkapacitás adatai nem voltak elérhetők, a csőméret volt az elsődleges referenciaparaméter. A módszer során fokozatosan növelték az építési terhelést a hálózati vonalak végén, amíg a meglévő csőméret-határát át nem lépték. Ez a megközelítés lehetővé teszi a tartalék kapacitás gyors becslését, lehetővé téve az új terhelési igények gyors értékelését.

3. Csőméretezés és terhelési hatáselemzés

A hálózat egy adott szakaszát elemezték, amelyen egy 160 mm-es cső található. A THERMOS számításai szerint kezdetben csak egy 100 mm-es csőre volt szükség, ami megerősítette, hogy elegendő kapacitás van új csatlakozásokhoz. Azonban amikor két új, 1,75 MW-os és 2 MW-os terhelést adtak hozzá, a szükséges csőméret 150 mm-re nőtt. Mivel a telepített csőméret 160 mm, ez arra utal, hogy a szakasz közelít a teljes kapacitáshoz.

4. Energiaközpont kapacitásfelülvizsgálata

Az energiaközpont diverzifikált csúcsterhelése kezdetben 5,05 MW volt. A további terhelések hozzáadása után a csúcsterhelés 7,37 MW-ra nőtt.

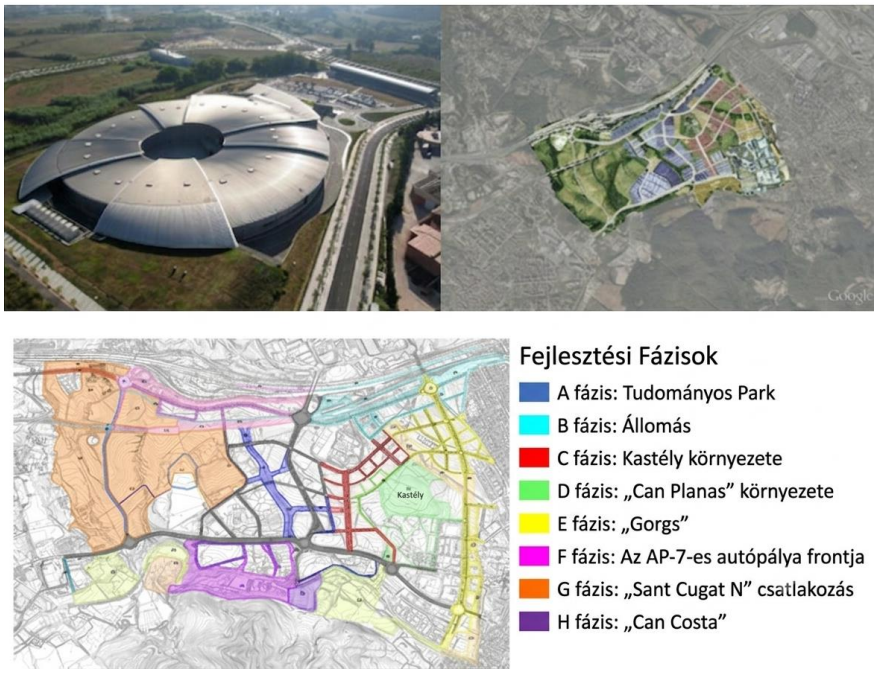
1.4. DHC Parc de l'Alba [41]

Hálózatbővítés áttekintése és motivációja (34. ábra)

A Parc de l'Alba már nyereséges kerületi energiahálózatot működtet, és azt a városfejlesztéssel összhangban fokozatosan bővíti.

Kezdetben a fókusz a kereskedelmi és oktatási épületekre irányul, amelyek potenciálisan a lakóövezetekre is kiterjedhetnek.

Az egyéni lakossági ügyfelekre való terjeszkedés menedzsment kihívásokat jelent a végfelhasználók nagy száma miatt. A bővítés különböző fázisokra van szervezve



34. ábra. DHC Parc de l'Alba hálózatbővítése [41].

Megvizsgált forgatókönyvek

a) Alapforgatókönyv (olyan épületek, amelyek már szerepelnek az építési tervekben, valamint közterületek telkei az útjukban helyezik el)

Hőigény: 63 GWh/év

Hideg kereslet: 165 GWh/év

b) Az 1. forgatókönyv (az alapforgatókönyvben szereplő anyagok mellett tartalmazza az összes további közlétesítményt és lakótelket)

Hőigény: 77 GWh/év

Hideg kereslet: 170 GWh/év

C) 2. Forgatókönyv

Ez a forgatókönyv ugyanazokat az épületeket tartalmazza, mint az 1. alternatív forgatókönyv. Ebben az esetben az összes közterület telke szükség szerint bekerül, így kényszerítve a hálózathoz való csatlakozásukat, és a lakóépületek opcionálisak maradnak.

Megfontolások

Az esettanulmányban vizsgált kibocsátásokat a következőképpen szolgáltatták:

CO_2 Kibocsátás: 0,202 kg/kWh.

Kibocsátási költség: 40 €/t. CO_2

A hálózatépítési költségeket és az energia-eladási díjakat a Parc de l'Alba társasággal folytatott beszélgetések során kidolgozták és validálták. A tanulmány során a következő tarifákat használták:

Egységdíj: 3,3 €c/kWh.

Kapacitásdíj: 28 €/kWp/év.

A kapacitásdíjban az egyszeri 152 EUR/kW csatlakozási költségeket is összevonták, és elosztották a projekt szempontjából figyelembe vetett időhorizonton.

Az alapforgatókönyv és annak két alternatívájának összehasonlítása (9. táblázat)

	Teljes ellátási kapacitás (MW)	Összekapcsolt épületek	Kereslet kielégítése (GWH/év)	Teljes hálózathossz (km)	Tőkeköltségek (M€)	NPV (M€)
Alapforgatókönyv	60,5	82	140.88	8.9	27.42	14.95
1. alternatíva	60,5	97	140.87	10.34	28.76	13.61
2. alternatíva	60,5	102	141.43	12.89	31.01	11.50

9. táblázat. A DHC Parc de l'Alba forgatókönyv-összehasonlítása [41].

1.5. DHC Barcelona (Spanyolország) [42]

Fázisos moduláris fejlesztés

A távfűtési és hűtési (DHC) rendszer 2012-ben kezdte meg működését, és háromfázisú bővítési tervet követ.

1. fázis (2011-2012) – Kezdeti infrastruktúra

A rendszer magában foglal egy biomassza üzemet, gázkazánokat, hagyományos és ipari hűtőket, valamint egy részleges elosztóhálózatot. Kiszolgálja a "La Marina" és a "Zona Franca" területeket, amelyek eredetileg ipari övezetek voltak, de most vegyes használatú fejlesztésekre térnek át új lakótelepekkel.

2. fázis (2017-2019) – A Hulladék-hidegenergia hasznosítása integrációja

A rendszer az LNG újragazosítási folyamatból származó felesleges hideget használja fel. Jégtároló létesítményekkel és egy szállítóhálózattal rendelkezik, amely a visszanyert hidegt osztja el, elsősorban a kikötő területét szolgálva.

3. fázis (2017-2024) – Hálózatbővítés

Célja, hogy 15 millió m² fűtött padlófelületet kövessen.

Főbb tények és helyszín (10. táblázat)

DH piaci részesedése	
Fűtési és hűtési kapacitás	DH: 23 MW (cél: 40 MW) DC: 14 MW (cél: 70 MW + 36 MW jégtároló)
Hő- és hidegtermelés	DH: 12 GWh/y (cél: 59 GWh/év) DC: 7,6 GWh/y (cél: 54 GWh)
Km hálózat (dupla cső)	12 km (cél: 36 km)
CO_2 Kibocsátások	DH: 94,9 kg/MWh DC: 0 kg/MWh (nettó kibocsátás, amelyet CHP villamosenergia-termeléssel kompenzál)

10. táblázat. DHC Barcelona jellemzők [42].

1. Fokozatos bővítés és adaptív energia keverék

A rendszer fokozatos növekedésre van tervezve, integrálva különböző energiaforrásokat és működési stratégiákat az idővel.

2. Fő energiatermelő és tároló létesítmények

A rendszer egy 10 MWth és 2 MWe kapacitású biomassza üzemet tartalmaz, amelyet kerti és regionális erdő biomasszával táplálnak, hogy alapterhelési energiát biztosítsanak. Gázkazánokat használnak a csúcskereslet időszakainak fedezésére. A felesleges hidegvisszanyerés a barcelonai Enagas LNG terminálban található LNG újragázolásból származó hőenergiát gyűjt vissza, kihasználva a korábban elpazarolt hideget. Hidegtároló tartályok találhatók Zona Francában az energia tárolására. Egy SCADA-alapú okos vezérlőrendszer, amely optikai szálon keresztül csatlakozik, valós idejű monitorozást és optimalizálást tesz lehetővé, okos hálózati megközelítést alkalmazva.

3. LNG terminál integráció

Az Enagas terminál 760 000 m³-es LNG tárolókapacitással és 1,95 millió m³(n)/h-s kibocsátási kapacitással rendelkezik. Az Ecoenergies megközelítése az LNG-ből történő hidegvisszanyerésre összpontosít -160 °C-on, ezzel hatékonyan csökkentve az energiapazarlást. Bár a szerződéses feltételek még tárgyalások alatt állnak, várhatóan az Enagas ingyenesen biztosítja a felesleges hideget.

Barcelona energiapiacán a kereslet és kínálat

1. Éghajlat- és energiaigény

    a) Barcelona szubtrópusi-mediterrán éghajlatú, enyhe telekkel (~1150 HDD) és magas hűtési igényrel.

    c) A fűtési igény viszonylag alacsony, miközben a hűtési igény tovább nő.

2. Jelenlegi energiaforrások és fogyasztás

    a) Fűtés: Főként földgázalapú egyedi megoldások.

    b) Hűtés: Elsősorban villamosenergia-alapú rendszerek.

c) Naptermikus integráció: Az 1999-es Naptermikus Rendelet értelmében az új és felújított épületeknek naptermikus rendszert kell beépíteni a háztartási melegvízhez (DHW).

d) Energiafelhasználás:

Meglévő épületek: ~80 kWh/m²/év.

Új épületek: ~45 kWh/m²/év.

3. Piaci struktúra

a) A fogyasztók szabadon választhatják meg gáz- és villamosenergia-szolgáltatóikat.

b) A piac mérsékelten koncentrálódott, 5-6 beszállító fedi le az összes energiaellátás 90%-át.

Távfűtési és hűtési (DHC) piac és árképzés

1. Szabályozás és vámkezelés

A távfűtést és hűtést (DHC) a barcelonai városi tanács szabályozza a Tersa nyilvános vállalaton keresztül, amely felügyeli a koncessziós szerződéseket. Az üzemeltetőknek versenyképes árakat kell kínálniuk a hagyományos energiaforrásokhoz képest.

2. A DHC árversenyképessége

Távfűtés (DH):

a) 42 EUR/MWh (az áfa és a csatlakozási költségek nélkül).
b) ~10%-kal olcsóbb, mint a földgáz (beleértve az üzemanyagot, az O&M-t és a berendezés költségeit is).
c) Távhűtés (DC): 38 EUR/MWh, 5-12%-kal olcsóbb, mint az áram.
d) Ipari fogyasztók (B2B modell): Az árképzés esetenként tárgyalva.

3. Versenyképesség bemutatása: Mercabarna esettanulmány

a) Nagyszabású villamosenergia-mérési kampány, amelyet az Ecoenergies hajtott végre.
b) Azonosították a 32 GWh/év villamosenergia-igény potenciális helyettesítését DC-vel.
c) Becsült megtakarítások:
d) 20%-os csökkenés az áramárakon.
e) 8 730 tCO_2 kibocsátáscsökkentés.

1.6. DHC Greater Stockholm [43]

DHN áttekintése

A távfűtés (DH) mint kulcsfontosságú dekarbonizációs stratégia: Svédország célja, hogy 2045-re elérje a szén-dioxid semlegességet, és a DH-t kulcsfontosságú támogatónak tekinti ebben a célban. Az ország az 1970-es években teljesen fosszilis tüzelőanyagokra – főként olajra – támaszkodott a mai napra mindössze 6%-ra, elsősorban földgázra. Ezt az üzemanyag-átállást eredetileg az 1970-es évekbeli olajválság indította, amely a fosszilis tüzelőanyagoktól való eltávolodást eredményezte, és az utóbbi időben a fenntartható energiaforrások egyre nagyobb alkalmazásával gyorsult.

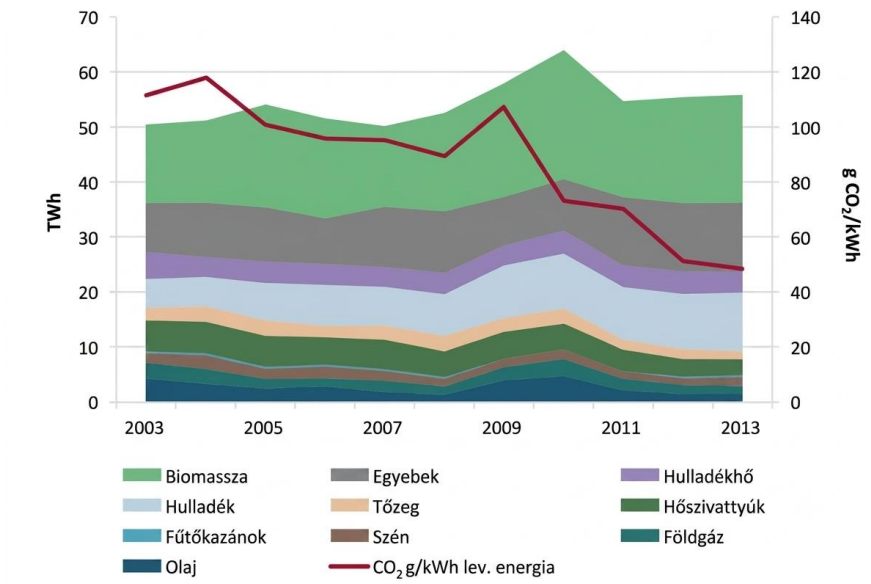
Jelenlegi energiaforrások DH-ben

1. Biomassza (főként CHP üzemeken keresztül).

2. Hulladékból energiává válik.
3. A felesleges hővisszanyerés.
4. Megújuló villamos energia (hőszivattyúk és elektromos kazánok révén).

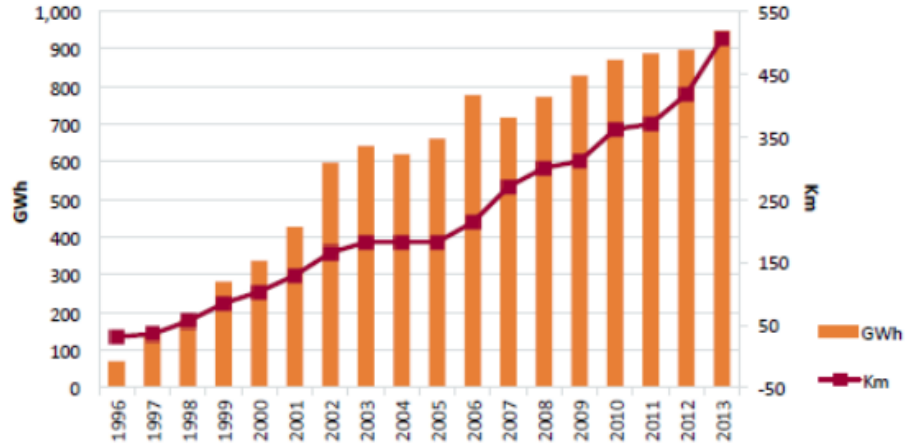
Hatás a CO_2 kibocsátásokra (35. ábra)

1. Az üzemanyagkeverék fejlődése 2003 és 2013 között jelentős csökkenést mutat a CO_2-kibocsátásban.
2. A DH kulcsszerepet játszott Svédország hőellátásának dekarbonizálásában.



35. ábra. Energiamix fejlődése 2003 és 2013 között a DHC Stockholmban [43].

A Svédországban a távhűtés (DC) gyors bővülésen ment keresztül (36. ábra), évente körülbelül 20%-os növekedést mutatott az első DC hálózat 1992-es megalakulása óta, majd jelentős ellátásnövekedést mutatott a kínálatban. Ennek a növekedésnek a fő mozgatórugói a növekvő hűtési igény, amelyet a magasabb komfortszabványok hajtottak, valamint a költségmegtakarítási potenciál, amely nagy fogyasztókat vonz, például irodaházak, adatközpontok és szupermarketek. Sok DC hálózat kihasználja a szabad hűtést természetes hidegforrások, például tengervíz és tavak felhasználásával, ami csökkenti az energiafogyasztást és növeli a rendszer hatékonyságát. A fő ügyfelek elsősorban irodák, adatközpontok és szupermarketek. Ez a növekedési tendencia várhatóan folytatódik, ahogy mind a kereslet, mind a fenntarthatósági célok nőnek.



36. ábra. Energia- és hálózatnövekedés az évek során a DHC Stockholmban [43].

Főbb tények

1. Nagy rendszer: átlagosan 8 TWh/év, ~10 000 ügyfél, közvetlen ellátás 6 településnek
2. Köz- és magánszféra partnerség: A DHC rendszert a Fortum Värme AB tulajdonolja és üzemelteti (50 % Stockholm városa, 50 % Fortum Heat & Power)
3. Rugalmas és optimalizált DH termelés:
    a) 7 CHP erőmű (bioüzemanyaggal, hulladékkal vagy fosszilis tüzelőanyaggal táplálkozik)
    b) Hőszivattyúk
    c) Elektromos kazánok
    d) Több HOB (bioolajokkal vagy fosszilis olajokkal táplálkozik)
4. Kerületi hűtés: Egy nagy rendszer a belvárosban, és több kisebb is a környékén.
5. Az eladások több mint 50%-a a tengerből és más víztestekből származó ingyenes hűtéssel keletkezik

A 11. táblázat a hálózat jellemzőit mutatja

DH piaci részesedése	80% (DH által lefedett terület)
Fűtési és hűtési kapacitás	DH: 3600 MW Egyenáram: 220 MW
Hő- és hidegtermelés	DH: 7,4-10,8 TWh/y DC: 380-440 GWh/y
Km hálózat (dupla cső)	DH: 1330 km DC: 200 km
CO_2 Kibocsátások	DH: 0,136 kg/MWh DC: 0 kg/MWh (tanúsított megújuló áram)

11. táblázat. DHC Stockholmi jellemzői [43].

5.7. DCN hidegenergia visszanyerése a folyékony földgáz párologtatásából [44]

Háttér

Az épületek teszik ki a globális energiafogyasztás mintegy 40%-át, miközben a hűtési igény folyamatosan növekszik. A globális lakossági hűtési igény várhatóan élesen nő 2000-es 300 TWh-ról

2050-re 4 000 TWh-ra, 2100-ra pedig eléri a 10 000 TWh-t. A fűtési igénytől eltérően a hűtési igény nehezebb előrejelzése, mivel érzékeny olyan tényezőkre, mint a napsugárzás, a belső hőnyereség és a városi hősziget hatása.

Körzeti Hűtési Rendszerek (DCS-ek)

A District Cooling Systems (DCS-ek) központosított hűtési megoldást nyújtanak több épület kiszolgálására (37. ábra). Ezek kulcsfontosságú elemekből állnak, beleértve a generátor egységet, az elosztóhálózatot, az ügyfeleket és a hőelzáró rendszert. A DCS-eket az Európai Unióban a Legjobb Elérhető Technológiaként (BAT) ismerik el.

Az LNG-ből származó hideg energia pazarlása

Az LNG újragazítása jelentős mennyiségű hidegenergiát bocsát ki Olaszországban, évente körülbelül 1 245 MWh az L-CNG állomásokból, ami ingyenes hűtés lehetőségét kínálja, amely csökkentheti az elektromos áramigényt a légkondicionáló rendszerekben. Azonban korábban nem készült tanulmány, amely a Távhűtési Rendszerek (DCS) és az L–CNG hidegenergia-visszanyerésének összekapcsolását vizsgálná.

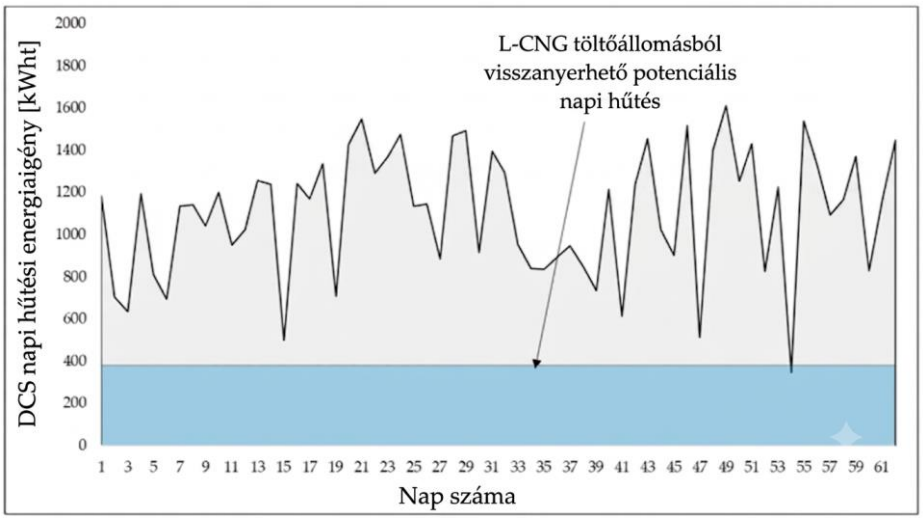
Esettanulmány

Hideg energia potenciál (38. ábra)

1. Éves LNG-fogyasztás L–CNG állomásokon: 5400 t/év
2. Az újragázosítás során elpazarolt hideg energia: 830 kJ/kg LNG
3. Visszanyerhető hidegenergia:

~380 kWht/nap (ha évente 365 napot üzemel)

~550 kWht/nap (ha hétvégéket nem számítva, évi 253 nap)



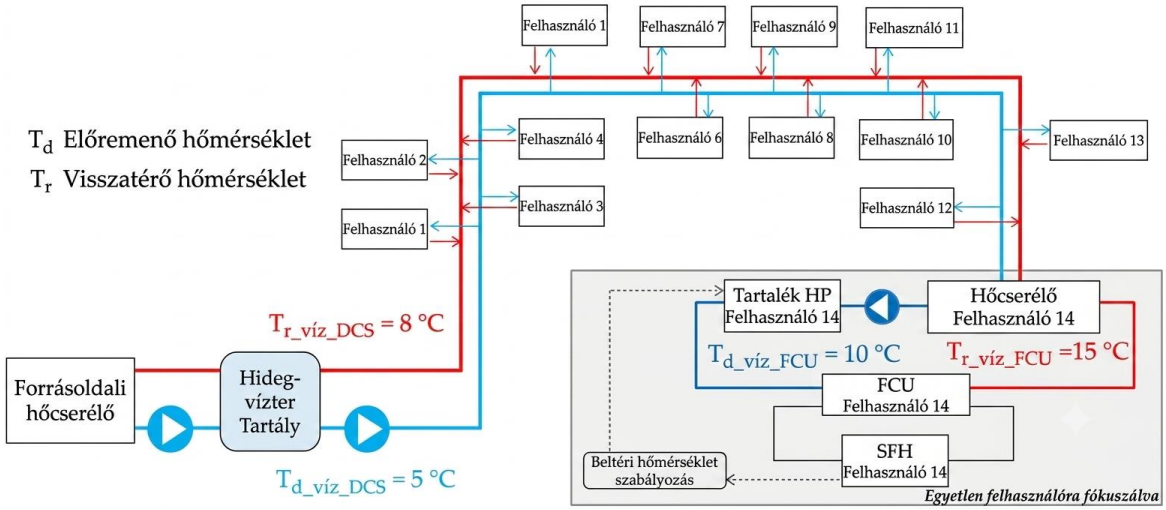
37. ábra. Potenciális napi hűtés L-CNG üzemanyag-állomásról kinyerhető DCS számára [44].

Hűtőteljesítmény profilok

P1: Állandó ellátás (10 óra/nap, 365 nap/év).

P2: Állandó ellátás (kivéve a hétvégéket és az ebédszüneteket).

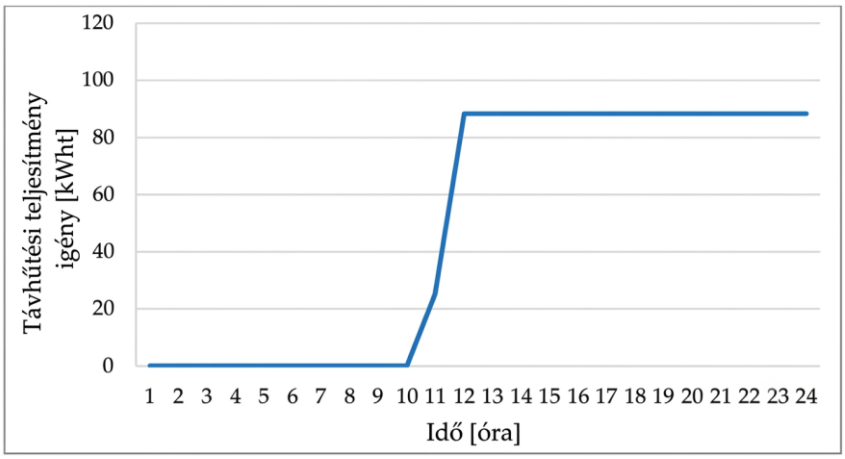
P3: Változó profil, csúcs 18–19 órakor.



38. ábra. DCS séma az LNG-re [44].

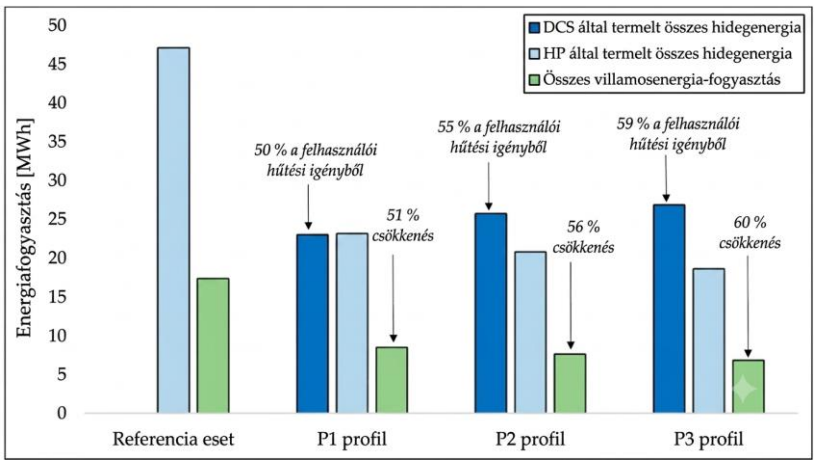
Szimulációs eredmények

A távhűtőrendszer igénye (39. ábra)



39. ábra. A távhűtőrendszer igénye az LNG-től [44].

Energiafogyasztás (40. ábra)



40. ábra. Energiafogyasztás [44].

Referencia eset

1. Külön hűtőrendszerek: fan coil egységek hőszivattyúval működtetve
2. Hűtési igény (július–augusztus): 47 MWht
3. Villamosenergia-fogyasztás: 17 MWhe

Szabad hűtési teljesítmény elemzés

DCS közvetlenül a hőcserélőhöz csatlakoztatva (nincs TES):

P1 (állandó ellátás): 50% hűtési igény fedezett, 52% villamosenergia-megtakarítás

P2 (hétköznapi korrekció): 58% villamosenergia-megtakarítás

P3 (változó kínálat): Kevésbé hatékony a kereslet-kínálat összeegyeztethetetlensége miatt

Hőenergia-tárolás (TES) hatása

60 m^3-es tartály bevezetése:

P3 eset: 59% hűtési igény, 60% árammegtakarítás

P1 és P2 esetek: Minimális hatás a rendszeres ellátás miatt

Jobb kereslet-kínálat egyensúlyt tesz lehetővé

TES méretezési szempontok

1. Optimális hatótávolság: 30–90 m^3
2. Kisebb tartályok: Elégtelen hőtehertés
3. Nagyobb tartályok: Megnövekedett hőveszteségek és lassabb rendszer válasz

Következtetések

A körzeti hűtőrendszerek (DCS) jelentős előnyöket kínálnak, beleértve az alacsony költségű hidegenergia-ellátást csökkentett CO_2-kibocsátással, megújuló energia-integrációt, háromgenerációt és hőtárolást, valamint a hulladékhideg energia hatékony visszanyerését, például L–CNG tankoló állomásokról. Egy esettanulmány kimutatta, hogy egy L–CNG állomás, amely hűtést biztosít egy lakónegyednek, akár 60%-os villamosenergia-megtakarítást is elér P3 terhelésprofil és 60 m^3-es hőenergia-tárolás kombinációjával, ami minden esetben meghaladja az 50%-os általános megtakarítást. Az eredmények azonban az LNG vaporizátor energia elérhetőségéről feltételezéseken függnek, ami további vizsgálatokra utal az optimális DCS méretezés és felhasználói csatlakozási stratégiák terén. Összességében az LNG párologtatás erős potenciált mutat a lakóövezeti hűtés hatékony ellátásában, és a közlekedési és lakóhelyi hűtési rendszerek integrálása javíthatja a városi fenntarthatóságot.

5.8. DCN Stockholm város [45]

Áttekintés (12. táblázat)

Egy előzetes tanulmány arra utalt, hogy egy meglévő fűtőszivattyús üzem tengervízzel való erőforrásként használható egyidejű hő- és hűtési termelés forrása a Stockholmi városi körzeti hűtéshez.

Stockholm városa különböző célokat szolgáló ingatlanokból áll, például irodákat és kereskedelmi központokat. A város hűtési igénye magas és növekszik a növekvő kereskedelemmel, szigorúbb komfortkövetelményekkel és számítógépesítéssel. Stockholm volt az első terület, amely

környezetbarát körzeti hűtést biztosított, amelyet fűtésszivattyúkkal és szabad hűtéssel állítanak elő hideg tengervízből. A kulcsfontosságú tényeket a 13. táblázat mutatja be.

	kW/szerződés	MWh/szerződés	Szerződések száma
Középület	300	300	35
Kórházak	1000	1500	5
Egyetemek és iskolák	2000	3000	5
Üzleti központok	1500	1500	15
Ipar és gyógyszeripar	500	500	10
Hivatalok	500	500	330

12. táblázat. A DCN Stockholm városának jellemzői [45].

Főbb tények

Beépített teljesítmény	170 MW
Energia	240 GWh/évi
Főszereplők	8,6 km
Terjesztési hálózat	12 km
Működési nyomás	10 bar
Táplálási hőmérséklet	+6 °C
Visszatérési hőmérséklet	+16 °C
Ügyfelek száma	300

13. táblázat. DCN Stockholm város kulcsfontosságú tények [45].

Elterjedés

A távhűtést egy 8,6 km hosszú és 800 mm átmérőjű vezetéken keresztül szállítják a város területére. A vezetékeket meglévő csőalagutakba és a földbe helyezik el. A város területén egy elosztóhálózatot hoztak létre, amelynek teljes hossza 12 km. Az elosztóhálózatot alagutakban és a talajban is telepítik.

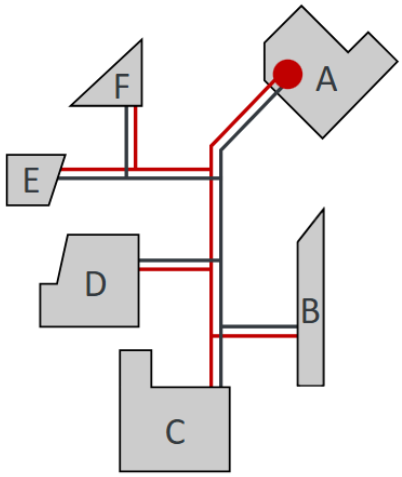
Főbb következtetések

Stockholm körzeti hűtőrendszerét 1995-ben indították el, egy 60 MW-os hűtőerővel egy meglévő hőszivattyú mellett Värtanban. A rendszer ötvözi a szabad hűtést és a hővisszanyerést, erős környezeti és gazdasági teljesítményt nyújtva. 1998-ban bevezették a Talajvizes hőtároló rendszert (ATES - Aquifer Thermal Energy Storage), amely elsősorban hideg tengervízzel tölt fel, és csúcskereslet időszakában 25 MW-t biztosított. 2000-re egy új, 50 MW-os Csúcserőmű (peaking plant) telepítése, amely hővisszanyeréssel rendelkezik, és támogatja mind a távolsági fűtést, mind a nyári csúcshűtési igényeket. Az elosztóhálózatot gondosan tervezték és építették ki speciális módszerekkel, hogy minimalizálják az útforgalom zavarát.

5.9. A DCN Elektrolizáló berendezés (hidrogén előállítására)val kombinálva [46]

Áttekintés

Ebben az esettanulmányban egy körzet, amelynek körfűtési és hűtési hálózata részben hidrogéntechnológiák által szolgálnak. Egy példamutató, 6 épületből álló kerülethez energiaellátást terveztek (az energiaközpont az A épületben található) (41. ábra). A kerület helyszíne Berlin (Németország) lesz, a keresletprofilt a 14. táblázatban ábrázolva.



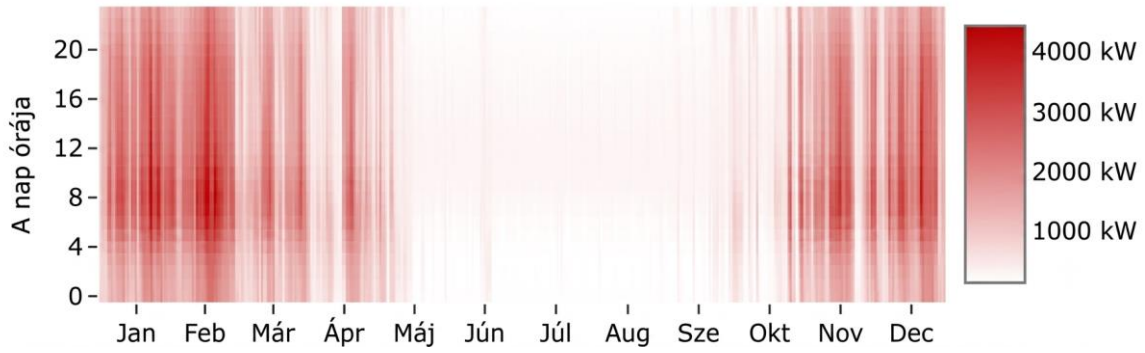
41. ábra. DCN hidrogénelektrolizátorokkal Németország [46].

Keresletprofil

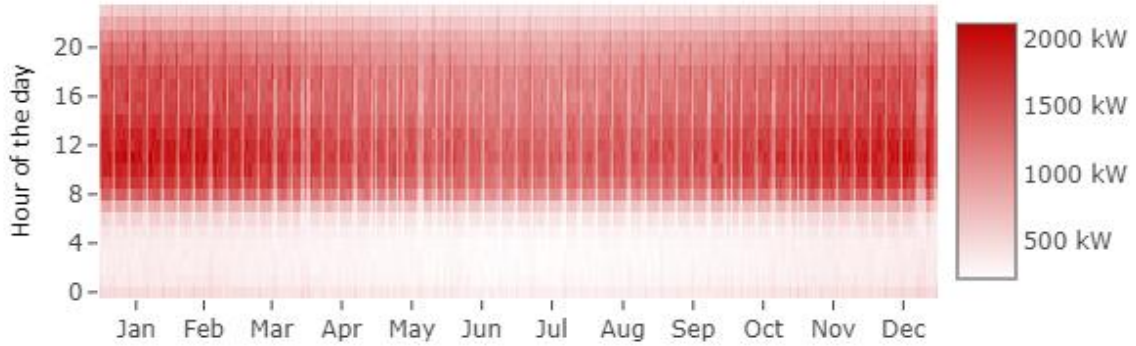
Épület	Használat	Alapterület (m^2)	Térfűtés (MWh)	Háztartási melegvíz (MWh)	Térhűtés (MWh)	Villamosenergia (MWh)
A	Szállodai	20,000	1700	640	980	3000
B	Iroda	18,000	1170	144	1062	936
C	Kiskereskedelem	24,500	1593	74	784	2352
D	Múzeum	16,500	1073	83	578	859
E	Színház	6,700	503	40	101	563
F	Étterem	2,500	188	125	50	358

14. táblázat. A DCN jellemzői minden épületre (hidrogénelektrolizátor eset) [46].

A 42. ábra a hőigényt, a 43. ábra pedig az elektromos energiaigényt mutatja



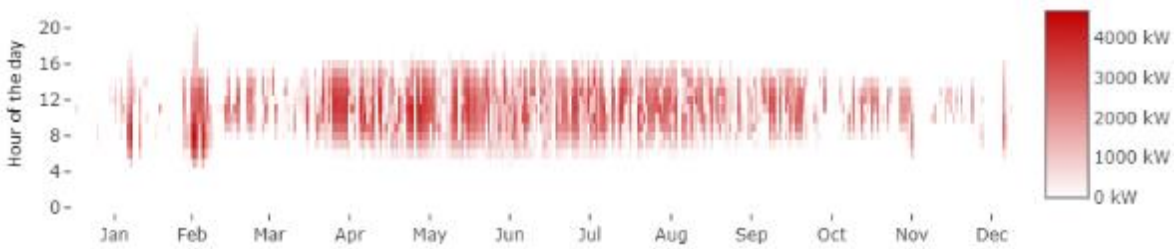
42. ábra. Hőigény (Elektrolizáló berendezés (hidrogén előállítására)k esete) [46].



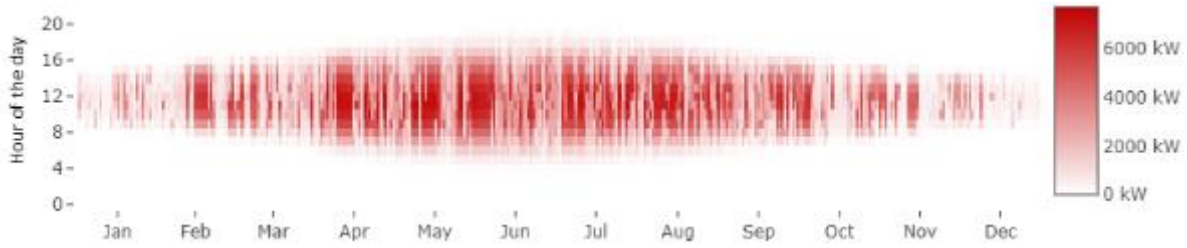
43. ábra. Villamosenergia-igény (hidrogénelektrolizátorok esete) [46].

Az energiaközpont tervezése

1. A hidrogéntechnológiák támogatják a fűtést és hűtést a körzetben, 3 MW-os csatlakozással egy meglévő távfűtési hálózattal.
2. Az elektrolîzátor a többletes PV áramot használja hidrogén előállítására, amelyet a földgázhálózatba táplálnak, a hulladékhőt pedig távfűtésre hasznosítják (44. ábra).
3. A kompressziós hűtők biztosítják a hűtést, és az optimális PV rendszer kapacitása 58 800 m², ami a körzet villamosenergia-igényének 62%-át fedezi (45. ábra).
4. A hőellátás 92,1%-a a távfűtési hálózatból származik, míg 7,9%-át elektrolízis hulladékhője fedi.
5. A kerület CO_2 kibocsátása évente 4 370 metrikus tonna.



44. ábra. Hidrogén betáplálása a hálózatba[46].



45. ábra. A PV elektromosság előállítása (hidrogén elektrolizátorok esete) [46].

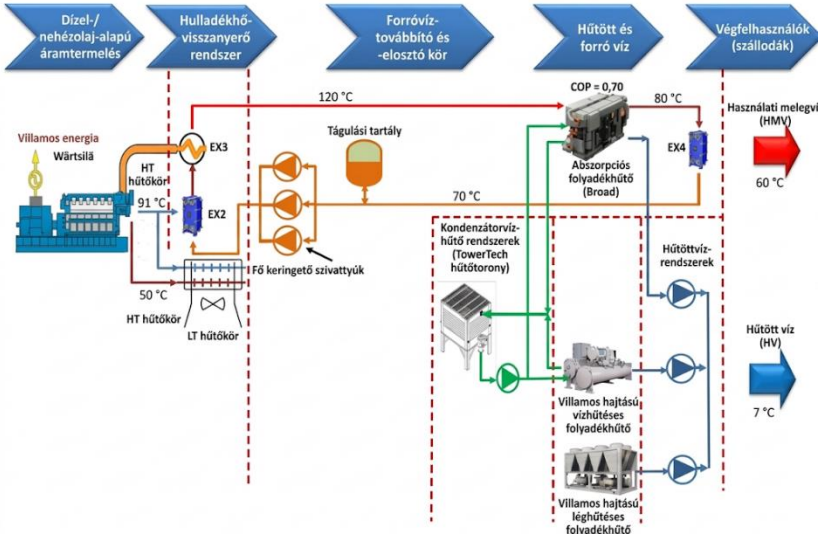
5.10. DCN a szállodai üdülőhelyekhez [47]

Háttér

Ez a kerületi energiaprojekt Punta Cana-ban, Dominikai Köztársaságban széles körben elismert, különösen a keleti turisztikai területen. A BROAD nyolc egyfokozatú melegvíz-hűtőt szállított, amelyek a Wartsila generátorokból származó hulladékhőt használják fel egy nehézolaj erőműben. A rendszer 19 MW hűtést biztosít, amikor 120°C-os nyomású melegvizet továbbít 4 km távolságon öt szálloda légkondicionáló egységeihez. A folyamatos hűtés elengedhetetlen a trópusi éghajlat miatt, amely szigorú teljesítmény- és stabilitási követelményeket követel. A projekt sikere elismerést kapott a CEPM oldalán, és felkeltette az érdeklődést az amerikai és latin-amerikai energiacégek körében, új együttműködési lehetőségeket nyitva meg.

Rendszertervezési koncepció (46. ábra)

1. A rendszer 17,58 MW hűtött vizet és háztartási melegvizet (HMV) biztosít a közeli szállodáknak.
2. A dízelmotor kipufogó- és hűtővízből származó hulladékhőt (6 MWe mindegyiken) fűtésre és hűtésre használják.
3. 248°F (120°C) HTHW-t állítanak elő az erőműben, majd szállodákba küldik, hogy egyfokozatú abszorpciós hűtőket hajtsanak meg.
4. Hűtés után a HTHW 158°F (70°C) hőmérsékleten tovább használják HMV előállítására, mielőtt visszatérne az erőműhöz.
5. Az 50°C-os hőmérsékletcsökkenés optimalizálja a hőfelhasználást, lehetővé téve egyetlen kört, hogy mind a hűtés, mind a HMV igényeit kielégítse.



46. ábra. Rendszertervezési koncepció a DCN Hotel üdülőhelyekhez [47].

Gazdasági és környezeti vonatkozások

1. 25%-os csökkenés az elektromos energia-fogyasztásban az üdülőhelyeken a hagyományos hűtési módszerekhez képest.
2. Korábban a üdülőhelyek villamosenergia-számlájának 34%-a hűtésre irányult, de a kogeneráció csökkentette a hálózattól való függőséget.
3. A projekt megszüntette a háztartási melegvízkazánok szükségességét, így az üzemanyag-fogyasztás nullára csökkent.
4. A hulladékenergiát hatékonyan újrahasznosították, kielégítve mind a hűtést, mind a HMV igényeket, ami mind az üdülőhelyek, mind a közművek javát szolgálta.
5. A hőenergia 25%-át visszanyerték, ami évente 35 740 hordó HFO-val és 32 881 hordó LPG-vel csökkentette az üzemanyag-felhasználást.
6. A CO_2 kibocsátás évente több mint 28 872 tonnával csökkent, ami jelentős környezeti előnyöket mutat.

Ez a projekt a Karib-térség leginnovatívabb energiaellátása, hatékonyan használja fel a maradvány hőenergiát és a kaszkád energiafelhasználást. A szállodák az alacsonyabb működési költségekből, a jobb versenyképességből és a fenntarthatóbb energiafogyasztásból profitálnak. A hőenergia optimalizálásával a rendszer felszabadítja az elektromos kapacitást a jövőbeli fejlesztések és új létesítmények támogatására. Összességében a projekt hozzájárul a regionális gazdasági növekedéshez, miközben elősegíti a hosszú távú fenntarthatóságot.

5.11. Következtetések

A 15. táblázat a DCN külső kulcsfontosságú sikeri tényezőit mutatja az esettanulmányok alapján, míg a 16. táblázat ugyanezt mutatja a belső tényezők esetében.

Főbb sikertényezők (külső)	**Leírás**
Megfelelő nemzeti politikai és szabályozási környezet	A nemzeti energiapolitikai és szabályozási környezet megfelelő alapot és ösztönzőket biztosít a DHC rendszerek fejlesztéséhez
Közvetlen/közvetett pénzügyi támogatás	A DHC projektjei profitálnak a meglévő közvetlen/közvetett támogatásokból
Fókuszált helyi politika és koherensség a várostervezéssel	A helyi önkormányzatok a DHC-t az energiaellátási és klímastratégiájuk részeként népszerűsítik, és beépítik a hőtervezést városfejlesztési projektjeikbe
Érdekek összehangolása / Együttműködés érettsége	A nemzeti és helyi szintű közhatóságok, szabályozó szervek, végfelhasználók, a DHC vállalat és más helyi szereplők hatékonyan működnek együtt a jó minőségű szolgáltatás, valamint a fenntartható és költséghatékony hő- és hidegellátás érdekében

15. táblázat. A DCN külső kulcsfontosságú sikertényezői.

Kulcsfontosságú sikertényezők (belső)	Leírás
A helyi erőforrások elérhetősége és relevanciája	A DHC rendszer nagymértékben a rendelkezésre álló helyi erőforrásokra, például megújuló energiaforrásokra támaszkodik
Átfogó projektfejlesztés	A DHC rendszert átfogó, zökkenőmentes megközelítéssel tervezték, fejlesztették és valósították meg, amely magas minőségű, költséghatékony és fenntartható hő/hideg ellátás elérésére törekedett.
Árversengés az alternatív energia megoldásokkal szemben	A DHC árak versenyképesek a piacon elérhető alternatív energia-megoldásokkal szemben. Ez az árversenyképesség fokozható optimalizált rendszertervezéssel, piaci versenyeljárásokkal, vagy a különböző hő/hideg ellátási megoldások közötti verseny engedélyezésével.
Rugalmas hő- és hidegtermelés	A rugalmas termelés jobb költséghatékonyságot tesz lehetővé, főként a kínálat dinamikus optimalizálásával. Ez elérhető egy diverzifikált és kiegészítő energia-összetételsel, a CHP alkalmazásával és a továbbfejlesztett felállási/kerékpározási gyakorlatokkal, az elektromos és fűtési piacok összekapcsolásával stb.
A technikai és nem technikai innováció ötvözése	A DHC rendszer minden szinten elfogadja és keresztezi az innovációt: a legmodernebb technológiák alkalmazásától az új irányítási módokig, hosszú távú megközelítést tartva a stratégiai döntéshozatal során.

16. táblázat. A DCN belső kulcsfontosságú sikerességi tényezői.

Hivatkozások

[1] Marina, A., Bak-Jensen, B., Schaltz, E., & Floristeanu, D. (2021). Hőszivattyú technológiák ipari alkalmazásokhoz. *Energia*, *231*, 120822. cikk. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120822

[2] Euroheat & Power. (2023). Távfűtés és hűtés: Kulcs az energiaátmenethez. https://www.euroheat.org/knowledge-hub.html

[3] Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018). *A mérnöki termodinamika alapjai* (9. kiadás). Wiley. https://www.wiley.com/en-us/Fundamentals+of+Engineering+Thermodynamics%2C+9th+Edition-p-9781119391388

[4] Shin, M. S., Jang, D. S., Jung, D., & Kim, Y. (2019). *Ipari alkalmazásokhoz szánt hulladékhővisszanyerő hőszivattyú rendszer energia- és exergiaelemzése*. Alkalmazott Hőmérnökség, 151, 107-116. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.096

[5] Mateu-Royo, J., Arpagaus, C., Mota-Babiloni, A., Navarro-Esbrí, J., & Bless, F. (2020). *Fejlett stratégia a magas hőmérsékletű hőszivattyúk integrálására a transzkritikus CO2 hűtőrendszerekbe*. Alkalmazott Hőmérnökség, 182, 116154. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116154

[6] El Samad, T., Żabnieńska-Góra, A., Jouhara, H., & Sayma, A. I. (2024). *Áttekintés a kompresszorokról magas hőmérsékletű hőszivattyúkhoz*. Hőtudomány és Mérnöki Fejlődés, 51, 102603. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102603

[7] Geotrainet. (2013). *Sekély geotermikus rendszerek: Európai tanterv mint az üzleti és oktatási alap*. https://geotrainet.eu/

[8] Mateu-Royo, J., Mota-Babiloni, A., Navarro-Esbrí, J., Peris, B., Molés, F., & Amat-Albuixech, M. (2021). *Többcélú optimalizálás egy magas hőmérsékletű hőszivattyú (HTHP) ipari hulladékhő visszanyerésére*. Energiaátalakítás és menedzsment, 245, 114540. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114540

[9] Stanford, H. W. (2020). *Fűtési, szellőztető és légkondicionáló rendszerek elemzése és tervezése* (2.ª kiadás). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429451157

[10] Kiron hidraulikus szükséglet. (2024). *Hidraulikus megoldások és ipari alkatrészek nagynyomású rendszerekhez*. https://kironhydraulic.com/

[11] Alpine Intel. (2019. július 13.). *Vízhűtéses hűtő diagram*. https://www.alpineintel.com/resources/chiller-basics-water-cooled-vs-air-cooled/

[12] Európai Szabványügyi Bizottság. (2022). *Légkondicionálók, folyékony hűtőcsomagok és hőszivattyúk, elektromosan hajtott kompresszorokkal, térfűtéshez és hűtéshez, kereskedelmi és folyamathűtéshez – Részterhelési körülmények között történő tesztelés és értékelés, valamint szezonális teljesítmény számítása* (EN 14825:2022). https://www.en-standard.eu/une-en-14825-2022-air-conditioners-liquid-chilling-packages-and-heat-pumps-with-electrically-driven-compressors-for-space-heating-and-cooling-commercial-and-process-cooling-testing-and-rating-at-part-load-conditions-and-calculation-of-seasonal-performance/

[13] Wang, J., Wang, R. Z., & Zhai, X. Q. (2024). *Az abszorpciós hűtő- és hőszivattyú technológiák fejlődése alacsony minőségű hőenergia-felhasználásra*. Megújuló és fenntartható energia Áttekintések, 192, 114210. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114210

[14] India Műszaki Intézet Kharagpur. (2024). *Összehasonlítás a gőzkompressziós és abszorpciós hűtőrendszerek között*. NPTEL – Gépészmérnöki szak. https://www.iitkgp.ac.in/

[15] Dincer, I., & Rosen, M. A. (2021). *Hőenergia-tárolás: Rendszerek és alkalmazások* (3. kiadás). Wiley. https://www.wiley.com/en-us/Thermal+Energy+Storage%3A+Systems+and+Applications%2C+3rd+Edition-p-9781119713098

[16] ASHRAE. (2013). *ASHRAE kézikönyv: Alapok* (I-P kiadás). Amerikai Fűtési, Hűtési és Légkondicionáló Mérnökök Társasága. https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook

[17] Kiron hidraulikus szükséglet. (2024). *Központi energiaerőmű működése: Nappali és éjszakai tartálytöltési ciklusok tömeges hőenergia-tároló rendszerekben*. https://kironhydraulic.com/

[18] Turgut, M. S., & Turgut, E. T. (2019). *Hőszivattyú rendszer hőtervezése és optimalizálása új algoritmussal*. Nemzetközi Hűtési Folyóirat, 106, 215-224. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.06.027

[19] Alpesi Intel. (2022, június 23.). *A hűtőközegek fejlődése: múlt, jelen és jövő*. https://www.alpineintel.com/resources/the-evolution-of-refrigerants-past-present-and-future/

[20] Nemzetközi Hűtési Intézet. (2019). *A hűtés szerepe a globális gazdaságban*. https://iifiir.org/en/resources/notes-informatives/the-role-of-refrigeration-in-the-global-economy

[21] Kuo, C. P., & Chien, C. H. (2021). *A hőmérséklet-csúszás hatásának elemzése a hőszivattyús rendszerek teljesítményére zeotróp hűtőközegkeverékekkel*. Energies, 14(11), 3124. https://doi.org/10.3390/en14113124

[22] Dáni Műszaki Egyetem (DTU). (2024). *Energiamérnöki Tanszék: Kutatás és innováció a hőenergia-rendszerek és hőszivattyúk területén*. https://www.energy.dtu.dk/

[23] Bitzer. (2024). *Hűtőközeg-jelentés 21*. Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH. https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/a-501-21.pdf

[24] ASHRAE. (2022). *ANSI/ASHRAE 34-2022-es szabvány: A hűtőközegek megjelölése és biztonsági osztályozása*. Amerikai Fűtési, Hűtési és Légkondicionáló Mérnökök Társasága. https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-34

[25] Nemzetközi Hűtési Intézet (IIR). (2024). *Az életciklus éghajlati teljesítményének irányelvei*. https://iifiir.org/en/resources/scientific-and-technical-publications/guidelines

[26] IEA Technológiai Együttműködési Program a hőszivattyúzási technológiák (HPT) területén. (2024). *A hűtőközegek globális felmelegedési potenciálja (GWP): 100 éves és 20 éves horizontok összehasonlítása*. https://heatpumpingtechnologies.org/

[27] GlobalSpec. (2024). *Teljes ekvivalens felmelegedési hatás (TEWI) számítása és elemzése modern hűtőközegek esetében*. Engineering360. https://www.globalspec.com/

[28] Höges, C., Müller, D., & Bardow, A. (2023). *Hűtőközegek életciklus-értékelése: Átfogó összehasonlítás a globális felmelegedésen túli környezeti hatásokról*. International Journal of Refrigeration, 149, 120-131. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2023.01.018

[29] Az ENSZ Környezetvédelmi Programja. (2016). *A Kigali módosítás a Montreali Protokollban: a HFC fokozatosan történő visszavonása*. https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol/amendments/kigali-amendment-2016

[30] Európai Bizottság. (2014). *Az Európai Parlament és a Tanács 517/2014-es rendelete a fluorozott üvegházhatású gázokról*. Az Európai Unió hivatalos folyóirata. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014R0517

[31] Lelieveld, J., & Pöschl, U. (2022). *A Kigali módosítás a Montreali Protokollhoz: Kulcsfontosságú lépés a HFC-kibocsátásokból eredő klímaváltozás mérséklésében*. Környezetvédelmi Kutatási Levelek. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac88f2

[32] Európai Unió. (2014, április 16.). *Az Európai Parlament és a Tanács 2014. április 16-i 517/2014-es rendelete a fluorozott üvegházhatású gázokról és az (EC) 842/2006-os rendelet hatályon kívül helyezéséről*. Az Európai Unió hivatalos folyóirata. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014R0517

[33] Európai Unió. (2024, február 7.). *Az Európai Parlament és a Tanács 2024/573-as 2024/573-as rendelete a fluorozott üvegházhatású gázokról, amely módosítja az (EU) 2019/1937-es irányelvet és*

visszavonja az 517/2014-es rendelet. Az Európai Unió hivatalos folyóirata. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R0573

[34] Behringer, D., Heydel, F., Gschrey, B., & Papst, I. (2021). *Halogénált hűtőközegek és fújóanyagok tartós lebomlási termékei a környezetben: típus, környezeti koncentrációk és sors, különösen az új, alacsony globális felmelegedési potenciállal rendelkező halogenált helyettesítők esetében*. Német Szövetségi Környezetvédelmi Ügynökség (Umweltbundesamt). https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/persistent-degradation-products-of-halogenated

[35] Norvég Környezetvédelmi Ügynökség. (2023). *PFAS korlátozási javaslat: XV. melléklet korlátozási jelentés*. https://www.miljodirektoratet.no/en/publications/2023/february-2023/pfas-restriction-proposal/

[36] Alajmi, A. F., & Zedan, A. (2020). *A termikus energia-tárolás elemzése egy körzeti hűtőerőműhöz: Egy nagyszabású alkalmazási esettanulmány*. Energia és épületek, 224, 110258. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110258

[37] Stratégia&. (2014). *Körzeti hűtés: Éghajlat-okos energiamegoldás a GCC számára*. PwC. https://www.strategyand.pwc.com/me/en/reports/district-cooling.html

[38] James Cook Egyetem (JCU). (2026). *Körzeti hűtőhálózat és hőenergia-tárolás: Esettanulmány a Townsville campus fenntarthatósági kezdeményezéséről*. https://www.jcu.edu.au/

[39] Zubi Labs. (2021). *Barrio La Pinada: Mesterterv és fenntarthatósági stratégia egy fenntartható ökonegyed számára Paternában*. https://www.barriolapinada.es/

[40] Bristol City Leap. (2024). *Bristol fűtési hálózat: Redcliff bővítése és az alacsony szén-dioxid-kibocsátású távfűtésre való átmenet*. https://www.bristolcityleap.co.uk/

[41] ST3 (Societat de Tractament de Trànsit Tèrmic). (2024). *Parc de l'Alba Körfűtés és Hűtés: Poligeneráció és hőenergia-tárolás a Sincrotró ALBA területén*. https://www.st3.cat/

[42] Districlima. (2024). *A Barcelona Távfűtési és Hűtési Hálózat: Energiahatékonyság és hulladék-energia integráció a 22@ és Fòrum területeken*. https://www.districlima.com/

[43] Stockholm Exergi. (2024). *Körfűtés és hűtés a Nagy-Stockholmban: Mélytengeri vízhűtés és nagyszabású hőszivattyú integráció*. https://www.stockholmexergi.se/

[44] Kanbur, B. B., Xiang, L., Dubey, S., & Duan, F. (2017). *Hidegenergia visszanyerése a cseppített földgáz (LNG) újraelgaztatásának folyamatából: áttekintés*. Megújuló és fenntartható energia Áttekintések, 79, 1171-1188. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.006

[45] Stockholm Exergi. (2023). *Kerületi hűtés: Stockholm energiarendszerének hideg lelke*. https://www.stockholmexergi.se/en/district-cooling/

[46] nPro. (2024). *Körzeti energiaszimuláció és tervezés: Hálózati topológia fűtési és hűtési rendszerekhez*. https://www.npro.energy/

[47] Nemzetközi Pénzügyi Társaság. (2021). *Piacteremtés a Dominikai Köztársaságban: A körzet hűlése egy fenntartható turisztikai szektor számára*. Világbank csoport. https://www.ifc.org/en/insights-reports/2021/dominican-republic-country-private-sector-diagnostic