SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

Co-funded by the European Union

2. modul
Az épületek hő- és hidegenergiaigényei

A SHaKE távfűtési és hűtési rendszerekről szóló oktatási csomagjának része

Útmutató

Újrahasználható oktatási forrás felsőoktatáshoz és szakmai képzéshez

Verzió: 1.0
Dátum: 2026 március

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

Projekt
Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities (SHaKE)
Erasmus+ KA220-HED Együttműködési partnerségek a felsőoktatásban
Project No.: 2023-1-HU01-KA220-HED-000160219

Szerzők
Dr. Antoine Fabre, Dr. Pascal Stabat (Mines Paris – PSL)

Szerkesztők
Eva Szalma, Dr. Antoine Fabre, Dr. Pascal Stabat

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 Közalapítvány 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:
Mines Paris – PSL. 2. modul: Az épületek hő- és hidegenergiaigényei. SHaKE projekt, 2026. https://www.shakeproject-dhc.eu/

Útmutató a 2. modul használatához

Ez a modul a SHaKE oktatási csomag része, amelyet a távfűtési és távhűtési (DHC) rendszerek felsőoktatási és szakmai képzési keretek közötti oktatásának támogatására fejlesztettek ki.

A modul a DHC-rendszereket az épület szintjétől egészen a primer hálózatig vizsgálja. Bemutatja a helyiségfűtési, helyiséghűtési és használati melegvíz- (HMV) igények meghatározásának különböző módszereit, valamint az épületekben alkalmazott hidraulikus elosztórendszerek főbb elveit.

A modul kitér a rendszer kulcsfontosságú elemeinek – többek között a hőleadók, csővezetékek, szivattyúk, szelepek, hőközpontok és primer hálózatok – működésére és méretezésére is. A hangsúly a gyakorlati mérnöki alkalmazásokon, valamint az épületoldali rendszerek és a távhőhálózatok közötti kölcsönhatások megértésén van.

Az útmutató elsősorban oktatók és trénerek számára készült, oktatási segédanyagként. Használható előadások, vegyes oktatási (blended learning) tevékenységek, tantermi megbeszélések, gyakorlati feladatok és szakmai továbbképzések támogatására. A mellékelt prezentációs diák, kérdésgyűjtemény, önellenőrző kvíz és gyakorlati feladat célja, hogy segítse az oktatókat a tartalom saját oktatási környezetükhöz való igazításában.

A modult hallgatók és szakemberek is használhatják önálló tanulásra, különösen akkor, ha már rendelkeznek alapvető ismeretekkel a termodinamika, a hőátadás és a áramlástan területén.

A modul fő témái

- Helyiségfűtési és -hűtési energiaigény-számítási módszerek
- Hőveszteségek, hőnyereségek és főbb termikus jellemzők
- Használati melegvíz-igény és -ellátó rendszerek
- Épületoldali hidraulikai rendszerek és hőleadók
- Hidraulikus elosztórendszerek, csővezetékek, szivattyúk és szabályozószelepek
- Hőközpontok és szabályozási stratégiák
- Primer távfűtési és távhűtési hálózatok kialakítása és üzemeltetése

A 2. modul tanulási eredményei

A modul célja az alábbi készségek és kompetenciák fejlesztésének támogatása.

A modul elvégzését követően a résztvevők képesek lesznek:

- becslést végezni az épületek fűtési és hűtési energiaigényére vonatkozóan, különböző számítási módszerek alkalmazásával;
- meghatározni a használati melegvíz-igényt és kiválasztani a megfelelő ellátási megoldásokat;
- elemezni és méretezni az épületoldali hidraulikus rendszereket és hőleadókat;
- ismertetni a hőközpontok és a hidraulikus elosztórendszerek működését és szabályozását;
- összehasonlítani a primer hálózatok különböző hidraulikus kialakításait és azok üzemeltetési sajátosságait;
- elemezni az épületek, valamint a távfűtési és távhűtési hálózatok közötti kölcsönhatást.

Becsült óraszám

Ez a modul hozzávetőlegesen 11 tanulási órát ölel fel, beleértve az irányított tanulást, az önálló olvasást és a gyakorlati feladatokat.

Az oktatók a kurzus szintjétől, a kiválasztott tananyagoktól és az oktatási formától függően módosíthatják az óraszámot. A modul felhasználható:

- teljes értékű oktatási egységként,
- válogatott előadásanyagok gyűjteményeként,
- hibrid oktatási (blended learning) elemként,
- gyakorlati feladatcsomagként,
- vagy meglévő kurzusok kiegészítő anyagaként.

Tevékenységek és tanulási órák

Tevékenység típusa	Időelosztás (órák)	Leírás
Előadások	4 óra 30	1. egység: Az épületek igényeinek leírása, kulcsfontosságú adatok 2. egység: A térfűtés és hűtés számításának leírása és módszertana. 3. egység: A használati melegvíz (HMV) igények számításának leírása és módszertana 4. egység: Leírás és módszertan az épület oldali hidraulikai rendszerek tervezéséhez 5. egység: A hőközpontok működésének és irányításának leírása 6. egység: Leírás és módszertan a primer hálózat tervezéséhez
Esettanulmányok	4h	Miniprojekt a 2., 3., 4. és 5. egységben tárgyalt fogalmak alkalmazására.
Önálló tanulás	2h	Felkészülés a projekt értékelésére és kutatására
Értékelés	30 perc	Kvíz, projekt
Teljes tanulási idő	11 óra	

Célcsoportok

Ez az útmutató elsősorban olyan oktatók, előadók és képzők számára készült, akik saját oktatási vagy képzési tevékenységük során szeretnék felhasználni vagy adaptálni a SHaKE tananyagait.

A fő célcsoportok a következők:

- a mérnöki tudományok, az épületgépészet, az energiarendszerek és a kapcsolódó szakterületek felsőoktatási oktatói,
- távhő- és távhűtési rendszerekkel foglalkozó szakmai vagy továbbképzések oktatói,

- vegyes (blended), moduláris vagy gyakorlatorientált tanulási tevékenységeket kidolgozó oktatók,
- fenntartható távenergia-rendszerekkel kapcsolatos, oktatási segédanyagokat kereső oktatók és kutatók.

Az anyagokat hallgatók, szakemberek és önállóan tanulók is használhatják, amennyiben egyes témaköröket egyénileg kívánnak elsajátítani. Az önálló tanuláshoz ajánlott az érintett mérnöki szakterületekkel kapcsolatos alapvető előismeretek megléte.

Ajánlott felhasználás oktatók és trainerek számára

A 2. modul rugalmasan használható teljes tanítási egységként vagy kiválasztott oktatási források halmazaként. Az oktatók az anyagok kombinálhatók a kurzus szintje, a tanítási idő és a tervezett tanulási eredmények szerint.

Tanítási igény	**Javasolt forrás a 2. modulhoz**
A téma bevezetése	Használja a modul áttekintését és a bevezető diákat, hogy bemutassa az épületekben a hő- és hidegenergia-igények hatókörét, kulcsfontosságú fogalmait és relevanciáját.
A tanulók előkészítése az óra előtt	Adja ki előzetes olvasmányként a kijelölt szakaszokat a fordított tantermi vagy vegyes tanulási tevékenységekhez.
Támogató előadások vagy szemináriumok	Használja a prezentációs diákat a számítási módszerek, rendszerkomponensek és mérnöki tervezési elvek elmagyarázására.
Megértés ellenőrzése	Használja kiválasztott kérdéseket a kérdésbankból beszélgetéshez, rövid tanórái ellenőrzésekhez, formatív értékelésekhez vagy LMS-alapú kvízekhez.
Alkalmazott mérnöki készségek fejlesztése	Használja a gyakorlati gyakorlatot csoportmunkához, házi feladathoz, projektalapú tanuláshoz vagy irányított számításokhoz.
Független felülvizsgálat támogatása	Irányítsa a tanulókat a modulszintű önellenőrzési kvízre, miután elsajátították a releváns anyagokat.
Alkalmazkodás a helyi oktatási kontextusokhoz	Válassza ki, kombinálja vagy módosítsa az útmutató részeket, diákat, kérdéseket és gyakorlatokat a tanterv, a résztvevői szint és a szakmai kontextus szerint.

Ajánlott út önálló tanulóknak

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

Tekintse át a bevezető prezentációt

Ismerkedjen meg a modul főbb fogalmaival, terminológiájával és felépítésével.

Tanulmányozza az útmutató anyagait

Olvassa el az útmutatóban ismertetett részletes magyarázatokat, mérnöki elveket és számítási módszereket.

Nézze meg a modulhoz tartozó videót

Használja a rövid kísérővideót tájékozódásként a modul fő témáiról és a tanulás fókuszpontjairól.

Oldja meg az önellenőrző kvízt

Ellenőrizze tudását a modulban tárgyalt kulcsfontosságú fogalmak és műszaki elvek tekintetében.

Végezze el a gyakorlati feladatot

Alkalmazza a megszerzett tudást távhő- és távhűtési rendszerekhez kapcsolódó, mérnöki szemléletű méretezési és számítási feladatokon keresztül.

Elérhető támogató anyagok

A kiegészítő anyagok a következőket tartalmazzák:

- prezentációs diák a modul részletezett témaköreihez,
- újrafelhasználható kérdésbank,
- modulszintű önellenőrző kvíz,
- gyakorlati mérnöki feladat,
- valamint egy rövid, a modult kiegészítő videó.

Tartalomjegyzék

Projekt 2

Szerzők 2

Szerkesztők 2

1. Bevezetés 9

2. Fűtési igény 9

a. A thermal signature módszer 9

b. Európai szabvány 12

i. A transzmissziós veszteségek 13

1. 1. Falon keresztüli transzmissziós veszteségek 13

2. Transzmisszió az ablakokon keresztül 15

3. Hőhidak 16

ii. Szellőzési veszteségek 17

1. Gépi szellőztetés 18

2. Infiltráció (infiltration) 18

2. Hűtési igény 21

a. Transzmissziós nyereség falak esetén 22

b. Transzmissziós nyereség transzparens felületeken 23

c. Szellőzés nyeresége 24

d. Belső nyereségek 24

3. Használati melegvíz-igény 24

a. Használati melegvíz-fogyasztás 25

b. Használati melegvízellátás 29

i. Átfolyós rendszerű 30

ii. Félig átfolyós ellátás 31

iii. Részleges tárolás 31

iv. Tárolásos rendszer 32

4. Épületoldali hidraulikai rendszerek 34

a. Hőleadók 34

i. Radiátorok 34

ii. Padlófűtés 39

iii. Fan-coil egység 42

b. Hűtési hőleadó (emitterek) 44

i. Fan-coil egység 44

ii. ii. Hűtőpadló és -mennyezet 47

c. Elosztás 47
i. Csövek 47
ii. Szelepek 51
iii. Szivattyú 53
5. Hőközpont és Szabályozás 56
a. Hőcserélő 57
b. Vezérlőrendszer 59
c. Hőmennyiségmérő 59
d. Hőközpont architektúrája 60
i. Az Egyfokozatú hőközponti kapcsolás konfiguráció 60
ii. A párhuzamos kapcsolás 61
iii. A Soros (vagy előkötött) hőközponti kapcsolás 62
iv. A Kétfokozatú (vagy soros-párhuzamos) hőközponti kapcsolás 63
6. Primer hálózat 64
a. Hőterhelési görbék 64
b. Primer csövek 67
Hivatkozások 71

1. Bevezetés

A primer távfűtési és távhűtési (DHC) hálózatok célja, hogy az épületek számára fűtést, használati meleg vizet vagy hűtést biztosítsanak az fogyasztók igényeinek kielégítése érdekében. Ezért elengedhetetlen a csatlakoztatott épületek fűtési, használati melegvíz- és hűtési igényeinek felmérése a rendszer – beleértve a csővezetékeket, a hőközpontokat és a hőtermelőket – megfelelő kialakítása érdekében.

2. Fűtési igény

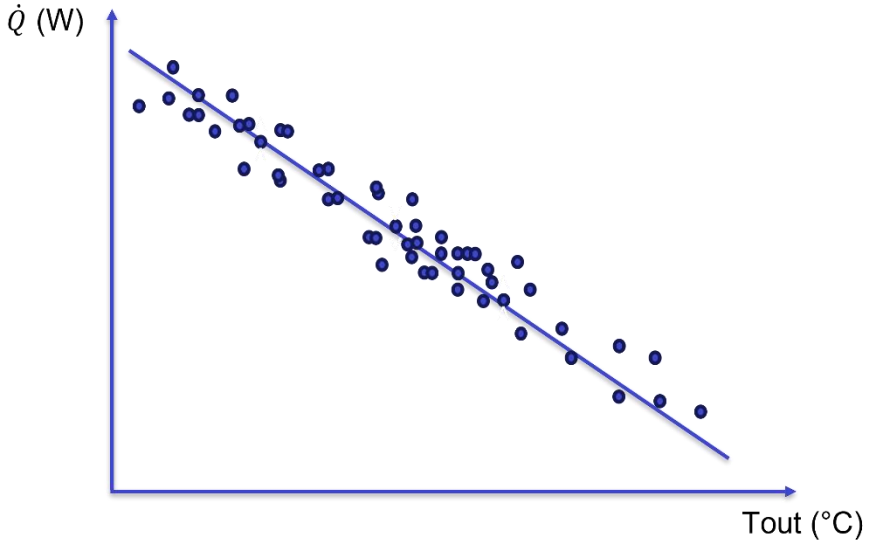
Az első lépés annak meghatározása, hogyan számítsuk ki az épületek fűtési energiaigényét. A rendelkezésre álló adatok függvényében többféle módszer is szóba jöhet: a hőtechnikai karakterisztika (thermal signature) módszere, az európai szabvány vagy az épületenergetikai szimuláció.

a. A thermal signature módszer

A thermal signature-módszer alkalmazható a helyiség fűtési igények gyors meghatározására. Ezt a módszert meglévő épületek esetében alkalmazzák, amennyiben rendelkezésre állnak a teljesítményre és a külső hőmérsékletre vonatkozó korábbi mérési adatok. A hőkarakterisztika-módszer célja a napi vagy óránkénti teljesítményigény és a külső hőmérséklet közötti összefüggés Ábra. Mivel a helyiségfűtési igény hőmérsékletfüggő, a Q̇ (W) teljesítmény és a T_ki (°C) külső hőmérséklet közötti kapcsolatnak lineárisnak kell lennie (lásd az 1. ábrát):

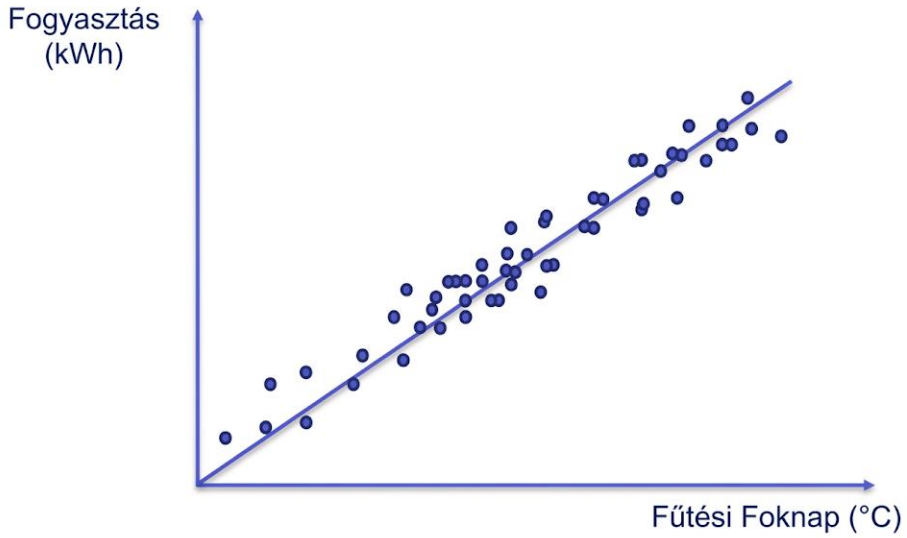
$$\dot{Q} = K\ (T_{in} - T_{out})$$

ahol az épület globális hőveszteségi együtthatóját (W/K) és az T_{in} épület beltéri hőmérsékletét gyakran 18 és 20 °C között méretezik.



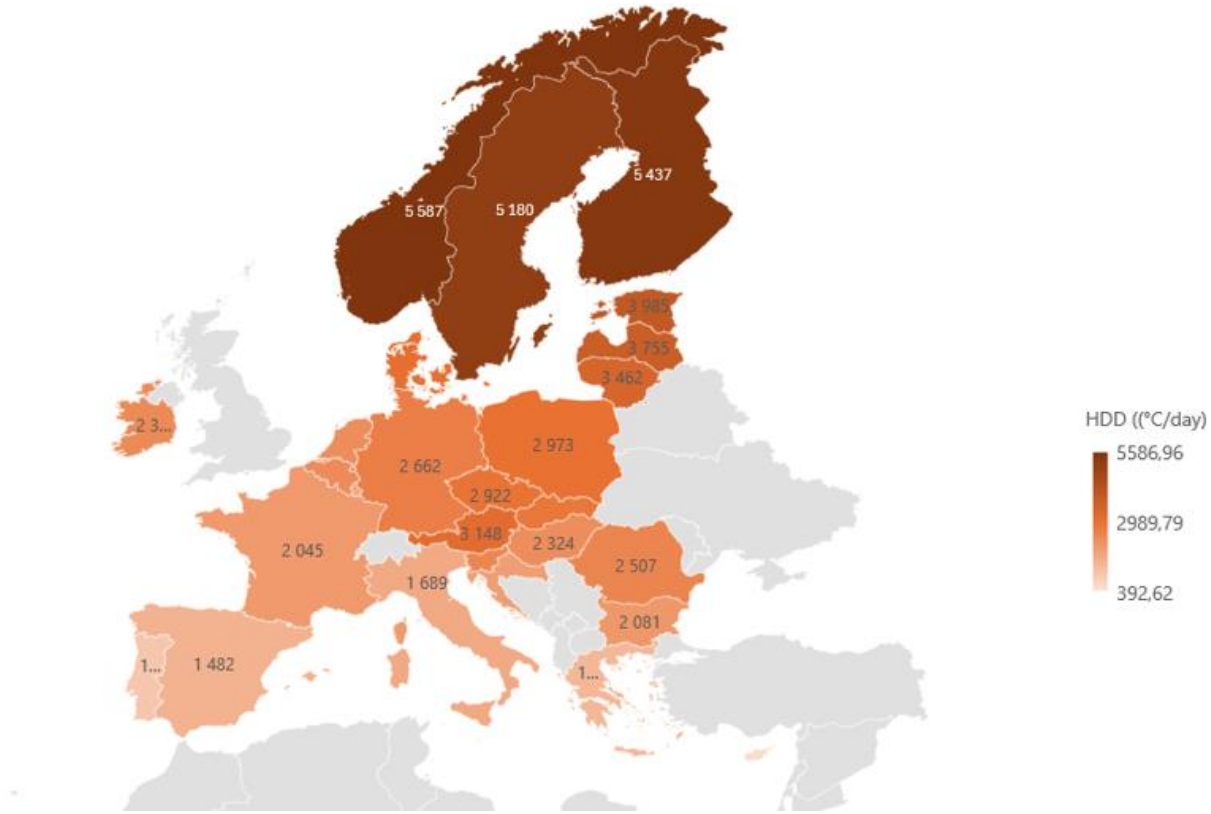
Ábra 1 Példa egy épület hőkarakterisztikájára

Egy épület éves fűtési energiafelhasználásának meghatározásához segítségünkre lehet a fűtési hőfokhíd (HDD) (lásd a 2. ábrát).



Ábra 2 Példa Egy épület fogyasztásának Ábra a fűtési hőfoknapok (HDD) függvényében

A fűtési hőfokhíd (HDD, mértékegysége napfok) az épület napi átlagos külső hőmérséklete és belső hőmérséklete (beállított hőmérséklet) közötti különbséget jelölik. Az éves HDD-összeg az éghajlatot tükrözi; minél magasabb az éves HDD-érték, annál hidegebb az éghajlat. A 3. ábra az EU-országok HDD-adatait mutatja be 2022-re vonatkozóan.



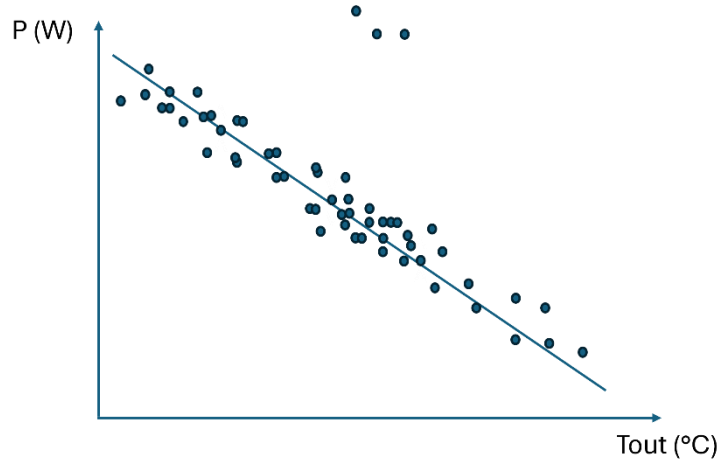
Ábra 3 Éves fűtési napok 2022-ben az EU országaiban

A fűtési hőfoknapok (HDD) számítása egy T_ref referencia-hőmérséklet alapján történik; ez az érték megfelel az épületek belső beállított hőmérsékletének, vagy annak az átlagos napi külső hőmérsékletnek, amelynél már nincs szükség az épület fűtésére (ez a hőmérséklet alacsonyabb a belső beállított hőmérsékletnél, és az épület

hőveszteségétől, valamint belső hőnyereségétől függ – értéke a hőtechnikai karakterisztikát (ún. „thermal signature") ábrázoló egyenes és az x-tengely metszéspontjaként határozható meg). Ha a nap folyamán a minimális külső hőmérséklet magasabb a referencia-hőmérsékletnél, a fűtési hőfoknapok száma 0; ilyenkor ugyanis a külső hőmérséklet minden esetben meghaladja a belső beállított hőmérsékletet, így nincs szükség helyiségfűtésre. Egyéb esetekben a fűtési hőfoknapok számítása az alábbiak szerint történik:

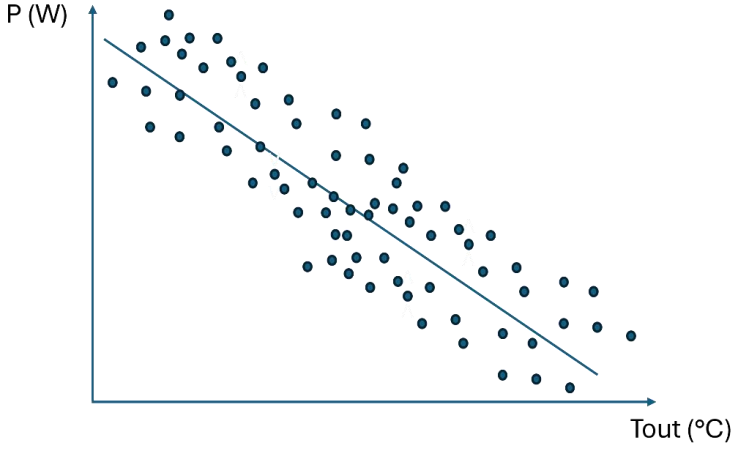
$$HDD = T_{ref} - \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2}\right)$$

Ahol T_max a nap folyamán mért legmagasabb, T_min pedig a legalacsonyabb külső hőmérséklet.
A termikus karakterisztika módszere alkalmas az épületek működésének időbeli nyomon követésére, valamint az esetleges rendellenességek azonosítására is. A 4. ábrán például látható néhány pont, amely eltér a referencia-működéstől; ez értelmezhető mérési vagy adatbeviteli hibaként, amelyek hátterében érzékelőhiba állhat.



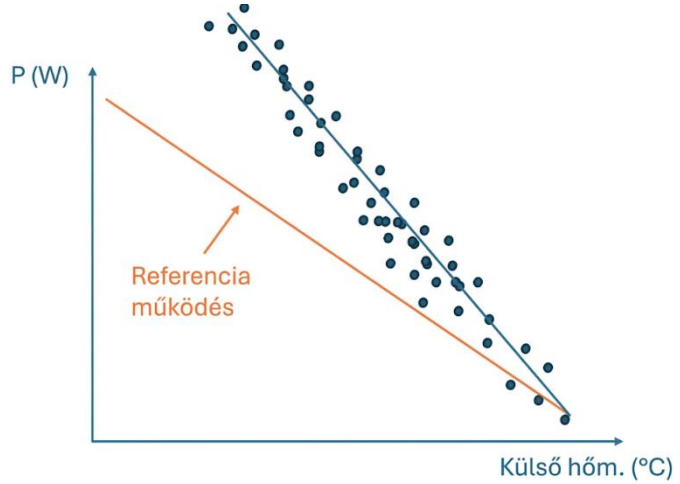
Ábra 4 Hőfogyasztási karakterisztika Ábra kiugró értékekkel.

Széles körű mérési pontok (lásd Ábra 5) azt mutatják, hogy potenciális probléma jelentkezik a vezérlőrendszerekben (szelepek, érzékelők vagy vezérlők).



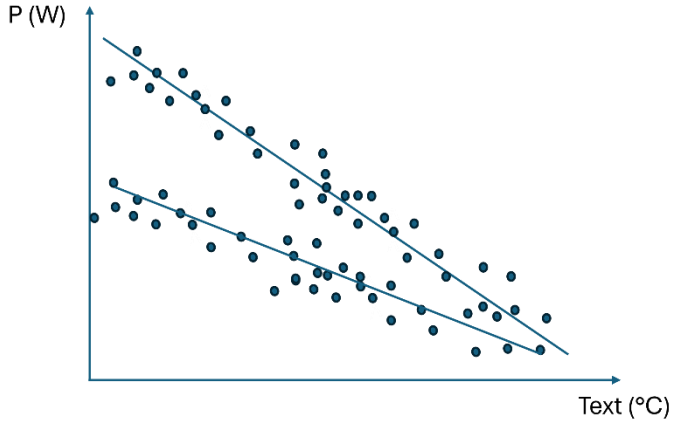
Ábra 5 Épület hőfogyasztási karakterisztikája nagy szórással

A mérési pontoknak a referencia-üzemállapothoz képest tapasztalt fokozatos eltolódása (lásd a 6. ábrát) az épület viselkedésének megváltozására utal – ilyen lehet például a hőellátás zavara, az épületburok tömítetlensége vagy a túlfűtés, amely esetlegesen a beltéri hőmérséklet alapjelének módosítására vezethető vissza.



Ábra 6 Hőfogyasztási karakterisztika progresszív eltolódással

A kétféle viselkedést mutató hőtechnikai karakterisztika (lásd a 7. ábrát) az épületben alkalmazott időkapcsolós szabályozás jellegzetes ismérve. Az időkapcsolós működés lényege a belső hőmérséklet-alapjel módosítása a nap egy bizonyos szakaszában (rendszerint az épület használati intenzitásának változásakor). Ez a fajta szabályozás gyakran fordul elő a szolgáltató szektor épületeiben.



Ábra 7 Hőfogyasztási karakterisztika két eltérő üzemállapottal (vagy viselkedéssel).

b. Európai szabvány

Az új és egyes meglévő épületek fogyasztási adatai nem mindig állnak rendelkezésre. Ezért a helyiségfűtési igény meghatározásához más módszereket kell alkalmazni.
A helyiségfűtés tervezési teljesítménye ($\dot{Q}_{sh}$ [W]) az EN-12831 [1] európai szabvány alapján számítható ki. A helyiségfűtési igény négy tényezőtől függ:

- a falakon, ablakokon, talajon stb. keresztül fellépő transzmissziós hőveszteség ($\dot{Q}_t$ [W]);
- a légbeszivárgás és a gépi szellőztetés miatti szellőzési hőveszteség ($\dot{Q}_v$ [W]);
- a napsugárzásból származó hőnyereség ($\dot{Q}_s$ [W]);

- a világításból, a bent tartózkodó személyekből és az elektromos berendezésekből származó belső hőnyereség

$$(\dot{Q}_i\ [W]).\dot{Q}_{sh} = \dot{Q}_t + \dot{Q}_v - [\dot{Q}_s + \dot{Q}_i]$$

Az európai szabvány célja a legkedvezőtlenebb esetben szükséges maximális helyiségfűtési teljesítmény meghatározása. Ennek megfelelően a szoláris és belső hőnyereség értékét nullának kell tekinteni; így elegendő csupán a transzmissziós és a szellőzési hőveszteséget kiszámítani.

i. A transzmissziós veszteségek

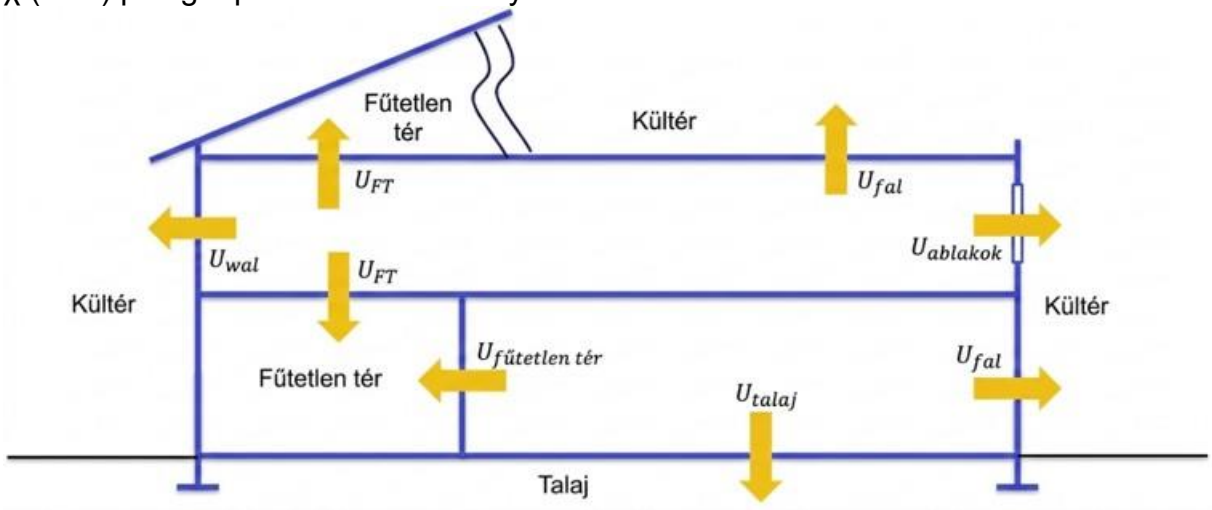
Olyan épület esetében, ahol a belső tér beállított hőmérsékletének állandónak kell lennie, a teljes transzmissziós hőátbocsátási tényezőt (U_(t,tot), W/K) a térfűtési teljesítmény és a külső-belső hőmérséklet-különbség hányadosaként határozzák meg. Az európai szabvány célja e tényező kiszámítása az épületek tervezési adatainak felhasználásával.

$$\dot{Q}_t = U_{t,tot}\ Q_t = U_{t,tot}(T_{be} - T_{ki}))$$

A transzmissziós hőátbocsátási tényező a falakon, az ablakokon, a talajon, a fűtetlen tereken és a hőhidakon keresztül történő hőveszteséghez tartozó hőátbocsátási tényezők összege (lásd a 8. ábrát).

$$U_{t,tot} = \sum_n U_{t,n}\ A\ f_n + \sum_i \psi_i L_i + \sum_k \chi_k$$

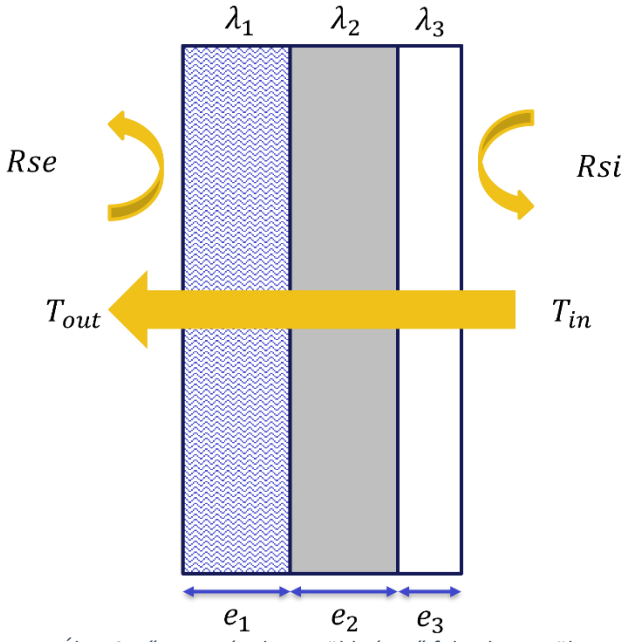
Ahol U_(t,n) a felületen keresztüli hőátbocsátási tényező (W/K/m²),
A a felület (m²), f_n egy korrekciós tényező,
ψ (W/m·K) a vonalmenti hőátbocsátási tényező,
L (m) a hőhíd hossza,
χ (W/K) pedig a pontszerű hőhídtényező.



Ábra 8 Az épületben található lehetséges átviteli veszteségek sémája

1. 1. Falon keresztüli transzmissziós veszteségek

A beltér és a kültér közötti, átlátszatlan falon keresztüli hőátvitel a fal rétegrendje és az egydimenziós termoelektromos analógia alapján határozható meg. A fal hőellenállása (R_fal) – amely az U_fal hőátbocsátási tényező reciproka – a fal egyes rétegeinek hővezetési ellenállásából, valamint a belső és külső oldali konvektív hőellenállásból tevődik össze (lásd a 9. ábrát).



Ábra 9 Hőveszteségek egy többrétegű falon keresztül

A hővezetési ellenállás $R_{fal,cond}$ (K/W) így fejezhető ki:

$$R_{fal,cond} = \frac{e}{\lambda S}$$

Ahol e (m) a rétegvastagság,
S (m²) a rétegfelület,
λ (W/m·K) pedig a hővezetési tényező.

A beltéri és kültéri konvektív hőátadási ellenállásokat (Rsi/Rse) az európai szabvány a hőáramlás iránya alapján határozza meg (lásd az 1. táblázatot).

Fal típusa és hőáramlási iránya	Rsi	Rse	$Rsi + Rse$
Vízszintes hőáramlás (>60°) (fal)	0.13	0.04	0.17
Felfelé irányuló hőáramlás (tető)	0.1	0.04	0.14
Lefelé irányuló hőáramlás (padló)	0.17	0.04	0.21

Táblázat 1 Konvektív hőellenállás (m². K/W)

Ezért egy fal globális hőellenállása:

$$R_{fal} = \frac{1}{S}\left(Rsi + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + Rse\right)$$

$$U_{fal} = \frac{1}{R_{fal}} = \left[\frac{1}{S}\left(Rsi + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + Rse\right)\right]^{-1}$$

A többi faltípusnál a hőátviteli együttható ugyanígy határozható meg:

$$U_{tető} = \frac{1}{R_{tető}} = \left[\frac{1}{S}\left(Rsi + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + Rse\right)\right]^{-1}$$

$$U_{padló} = \frac{1}{R_{padló}} = \left[\frac{1}{S}\left(Rsi + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}\right)\right]^{-1} \quad U_{NH} = \frac{1}{R_{FT}} = \left[\frac{1}{S}\left(Rsi + Rsi + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}\right)\right]^{-1}$$

Ahol az NH egy fűtetlen teret jelent.
A hőveszteségek a következőképpen fejezhetők ki:

$$\dot{Q}_t = \left[U_{fal} + U_{tető} + U_{padló} * f_{padló} + U_{FT} * f_{FT}\right](T_{be} - T_{kü})$$

A korrekciós együtthatókkal, figyelembe véve a talaj és a fűtetlen tér hőmérséklete:$f_{floor} f_{NH}$

$$f_{padló} = \frac{T_{be} - T_{talaj}}{T_{be} - T_{ki}}$$

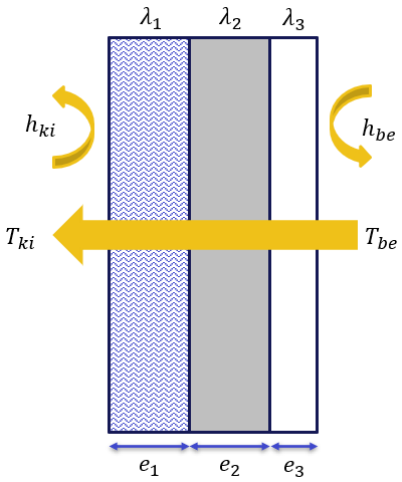
$$f_{FT} = \frac{T_{be} - T_{FT}}{T_{be} - T_{ki}} + \frac{T_{be} - T_{be}^*}{T_{be} - T_{ki}}$$

Ahol a talaj hőmérséklete, a fűtetlen tér és a belső fal átlagos hőmérséklete: $T_{talaj}, T_{FT}, T_{be}^*$

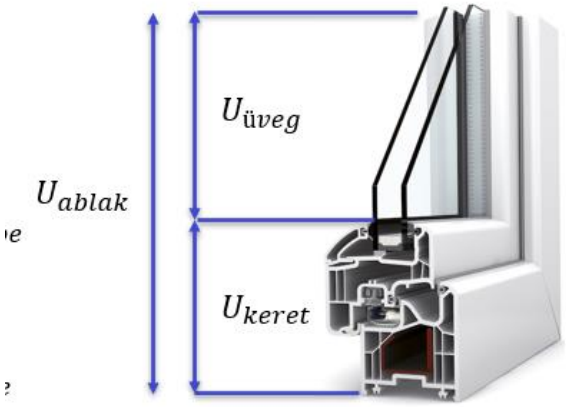
2. Transzmisszió az ablakokon keresztül

A beltér és a kültér közötti hőátvitel az ablak felépítése és az egydimenziós termoelektromos analógia alapján határozható meg. Az ablak hőátbocsátási tényezője (U_ablak) az üveg (U_g) és a keret (U_f) hőátbocsátási tényezőjének felülettel súlyozott összege.

$$U_{ablak} = \frac{U_{üveg} A_{üveg} + U_{Keret} A_{Keret}}{A_{üveg} + A_{Keret}}$$



Ábra 10 Hőveszteségek egy ablakon keresztül



Ábra 11 Az ablak keresztmetszete

Ezért egy ablak globális hőellenállása:

$$R_{ablak,tot} = \frac{1}{S_{ablak}} \cdot \left(R_{si} + \frac{1}{U_{ablak}} + R_{se}\right)$$

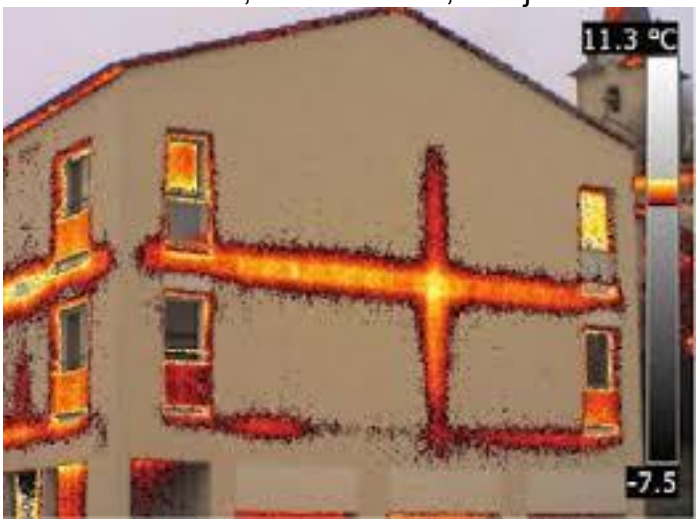
$$U_{ablak,tot} = \frac{1}{R_{ablak,tot}} = \frac{1}{S_{ablak}} \cdot \left(R_{si} + \frac{1}{U_{ablak}} + R_{se}\right)^{-1}$$

A hőveszteségek a következőképpen fejezhetők ki:

$$Q_t = \left(U_{fal} + U_{tető} + U_{padló} \cdot f_{padló} + U_{FT} \cdot f_{FT} + U_{ablak,tot}\right) \cdot (T_{be} - T_{ki})$$

3. Hőhidak

A hőhíd az épületburok olyan pontszerű vagy vonalmenti zónája, ahol a hőellenállás eltér a környezetétől (lásd a 12. ábrát); ilyen például a nyílászárók és a tömör fal csatlakozása, a közbenső födémek, a válaszfalak, az ajtóküszöbök stb.



Ábra 12 Példa hőhídokra, amelyeket hőkamerával kell mérni [2]

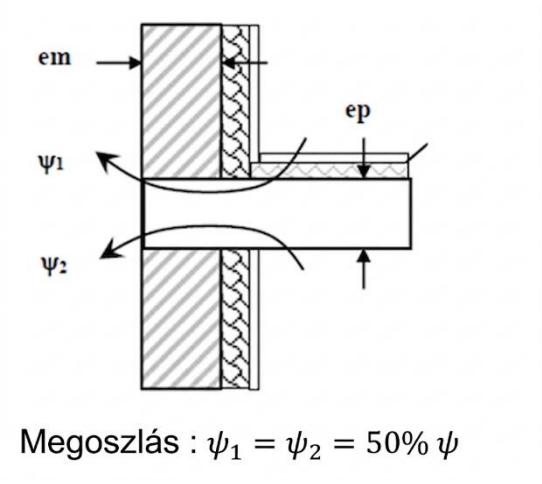
A hőhíd hőtechnikai hatása az anyagtól, a geometriától, a hőszigeteléstől és a fal típusától függ. A hőhidak okozta hőveszteség (Q̇_hőhíd [W]) az alábbi módon fejezhető ki:

$$Q_{Hőhíd} = U_{Hőhíd} \cdot (T_{be} - T_{ki})$$

$$U_{Hőhíd} = \sum \psi_i \cdot L_i + \sum \chi_k$$

Ahol U_hőhíd (W/K) a hőhíd hőátbocsátási tényezője,
ψ (W/m·K) a vonalmenti hőhíd-tényező,
L (m) a hőhíd hossza,
χ (W/K) pedig a pontszerű hőhíd-tényező.

A ψ és χ értékeit numerikus szimulációval határozzák meg. A vonalmenti és pontszerű hőhíd-tényezők katalógusa az [1] sz. európai szabványban található. A 13. ábra egy példát mutat be.



$e_m\ (cm)$	$e_p\ (cm)$		
	15	20	25
20 < e_m< 25	0.67	0.82	0.96
25 < e_m< 30	0.63	0.77	0.90

Ábra 13 Hőhíd-együtthatók egy köztes padló és egy fal közötti kapcsolathoz

ii. Szellőzési veszteségek

Olyan épület esetében, ahol a belső hőmérséklet alapértékét állandó szinten kívánják tartani, a szellőzésen keresztüli hőveszteség (Q_v [W]) a külső és belső hőmérséklet különbségétől, valamint a q_v (m³/h) légáramlási mennyiségtől függ.

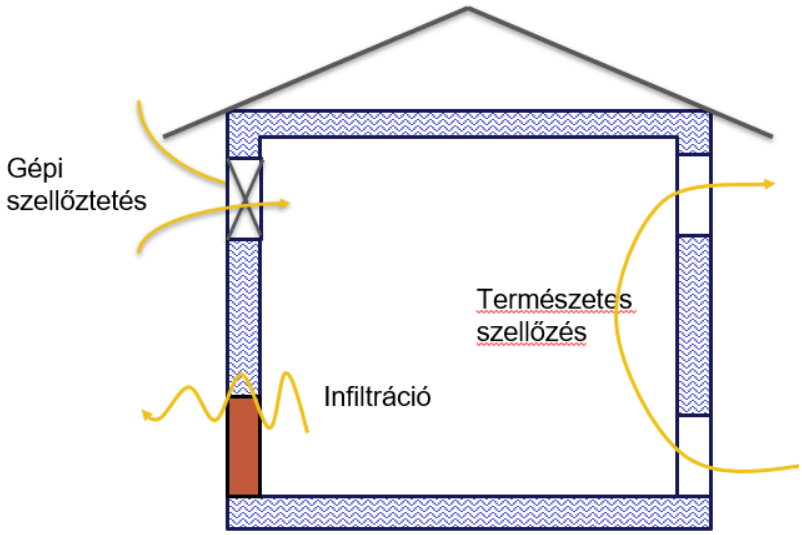
$$Q_v = 0.34 \cdot q_v \cdot (T_{be} - T_{ki})$$

A szellőzési légáramot az alábbiak határozzák meg:

- A gépi szellőztetés által előírt frisslevegő-utánpótlás: q_mv (m³/h)
- Az épületburok tömítetlenségei miatti infiltráció: q_bef (m³/h)
- A szél és a termikus felhajtóerő (huzathatás) okozta természetes szellőzés: q_nv (m³/h)

$$q_v = q_{mv} + q_{inf} + q_{nv}$$

A 14. ábra egy épület szellőzési hőveszteségének vázlatos képét mutatja. A természetes szellőzésből eredő légáramlási mennyiségek az ajtók és ablakok alkalmankénti nyitásához kapcsolódnak; ezeket a fűtési hőigény számításakor általában nem veszik figyelembe.



Ábra 14 A szellőzési hőveszteségek sematikus Ábra.

1. Gépi szellőztetés

Lakóépületek esetében az előírások meghatározzák az természetes szellőztetésű épületek levegőellátásának mértékét. A szabályozás nemzeti szabványokon alapul. Franciaországban például a frisslevegő-utánpótlás minimális mértéke az épület térfogatától vagy a helyiségek számától függ. A 2. táblázat a frisslevegő-utánpótlásra vonatkozó francia nemzeti értékeket mutatja be.

Táblázat 2 A minimális friss levegőáramlási sebesség a Franciaországban található épületben lévő helyiségek száma alapján [3]

Szobák száma	1	2	3	4	5	6	7
Minimális friss levegőellátás (m^3/h)	35	60	75	90	105	120	135

2. Infiltráció (infiltration)

Az ún. Blower-door teszt (légtömörségi vizsgálat) módszerrel mérhető az új épületek légáteresztő képessége. A berendezés egy ventilátorból és egy légmentesen záró fóliából áll; utóbbit egy olyan keret rögzíti a helyén, amely pontosan illeszkedik a vizsgált épület bejárati ajtajának keretéhez. A ventilátor működése közben a készülék egyidejűleg méri a ventilátoron (és ezáltal a légtömörségi hiányosságokon) átáramló levegő térfogatáramát, valamint az épület belső és külső tere közötti nyomáskülönbséget (Δp = |p_belső – p_külső| [Pa]). A vizsgálat és a több mérési pont rögzítése után elkészíthető az a grafikon, amely a két mennyiség közötti összefüggés K és n együtthatóit szemlélteti az alábbi alakban:

$$q_{inf} = K\,\Delta p^{n}$$

Ahol n egy 0,5 és 1 közötti értékű együttható. Ezen egyenlet alapján két mutató számítható ki:

- $Q_{4Pa,felület}$ ($m^3/h/m^2$) a Δp = 4 Pa nyomáskülönbséghez tartozó térfogatáram osztva az épület hőveszteségi felületével
- n_{50} (1/h) a Δp = 50 Pa nyomáskülönbségnél mért légcserearány

A francia hőszabályozás RE2020 a két mutatója alapján maximális beszivárgást írt elő (lásd Táblázat 3)

Táblázat 3 Maximális infiltrációs légáram a francia RE2020 szabályozás szerint

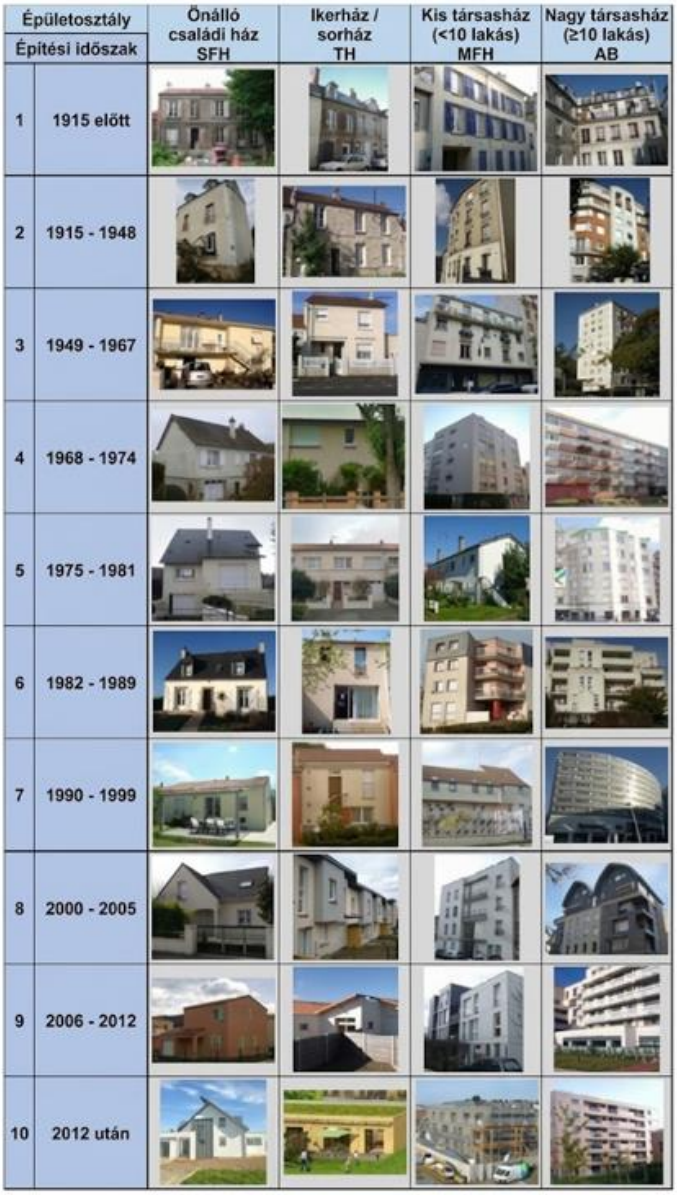
Épülettípusok	$Q_{4Pa,surf}$ maximális (m3/h/m²)	n_{50} maximális (volume/h)
Családi ház	0.6	2.3
Többlakásos ház	1	3.9
Középületek	1.6	6.2

c. Gyors archetípus-módszer

A meglévő épületek esetében nem mindig ismertek a fűtési energiafogyasztási adatok, a geometriai jellemzők és a falak szerkezeti felépítése. E probléma kezelésére országos szintű épülettípus-adatbázisokat hoztak létre, lehetővé téve az országok közötti összehasonlítást. Ez történt például a 2009 és 2016 között megvalósult európai Tabula és Episcope projektek [4] keretében is. E projektek célja az európai lakóépületek és azok energiafogyasztásának jellemzése volt, hogy gyakorlati támogatást nyújtsanak a nagyszabású energetikai felújítási programokhoz.

A program keretében – a tizenhárom résztvevő európai ország számára – kidolgoztak egy meghatározási módszertant, majd összeállították a lakásállományban előforduló épületeket reprezentáló épülettípusok körét. A típusokat kategóriák és építési időszakok szerint csoportosították, figyelembe véve az egyes országok sajátos jellemzőit. A Tabula projekt egyszerű módszert kínál az épületek fizikai jellemzőinek értelmezésére, lehetővé téve az energiaigény nagyságrendjének meghatározását. A projekt eredményeként létrejött a „TABULA webtool” elnevezésű döntéstámogató szoftver, amely tartalmazza a 13 résztvevő országra vonatkozó nemzeti tipológiákat.

Franciaország esetében 10 építési időszakot és 4 lakástípust határoztak meg: családi ház (szabadon álló), ikerház, valamint 10-nél kevesebb, illetve 10 vagy annál több lakást magában foglaló társasház (15. ábra).



Ábra 15 Francia épületarchetípus az Episcope/tabula projekt szerint [5]

Magyarország esetében az 5 építési időszak és a 4 lakástípus alkalmazása mellett döntöttek: kis családi ház (<80 m²), nagy családi ház (>80 m²), 4–9 lakásos társasház, valamint 10-nél több lakást tartalmazó társasház (lásd a 16. ábrát).



Ábra 16 Magyar építészeti archetípus az Episcope/tabula projekt szerint [6]

Ennek megfelelően minden egyes ország minden egyes épülettípusára vonatkozóan részletesen ismertetik a falak, ablakok, tetők stb. összetételét és termikus jellemzőit, valamint az épületburok felújításának különböző szintjeihez tartozó energiafogyasztást.

2. Hűtési igény

Az első lépés annak meghatározása, hogyan kell kiszámítani egy épület hűtési igényét. Az itt leírt módszert a [7] hivatkozás ihlette.

A helyiség hűtési tervezési teljesítménye Q˙_sc (W) 4 tételtől függ:

- Transzmissziós hőnyereség (Q̇_fal [W]) a felületeken keresztül
- Szellőzési hőnyereség (Q̇_v [W]) infiltráció és gépi szellőzés révén
- Transzmissziós hőnyereség (Q̇_s [W]) az átlátszó felületeken keresztül
- Belső hőnyereség (Q̇_i [W]) világítás, bent tartózkodó személyek és elektromos berendezések révén

$$Q_{sc} = Q_{fal} + Q_v + Q_s + Q_i$$

A helyiségek hűtési igényének meghatározásakor a legfőbb nehézséget a napsugárzásból származó hőnyereség hatása jelenti. A fűtési igény számításához hasonlóan a hűtési igényt is a legkedvezőtlenebb esetre – vagyis arra a helyzetre – kell meghatározni, amikor a napsugárzásból származó hőnyereség a legnagyobb.

a. Transzmissziós nyereség falak esetén

A falakon keresztül történő hőnyereséget ugyanúgy számítják ki, mint a fűtési hőigényhez tartozó hőveszteséget:

$$Q_{fal} = U_{fal} \cdot S \cdot \Delta T$$

Mindazonáltal az fal hőátbocsátási tényezője (U_fal) eltér a helyiségfűtésnél alkalmazott értéktől. A belső konvekció ugyanis más jellegű, továbbá figyelembe kell venni a napsugárzásból származó hőnyereséget is. Ennek megfelelően az átlátszatlan falon keresztül történő hőnyereség a következő [7]:

$$Q_{fal} = U_{fal} \cdot S \cdot \left(T_{eq} - T_{be}\right)$$

A következők

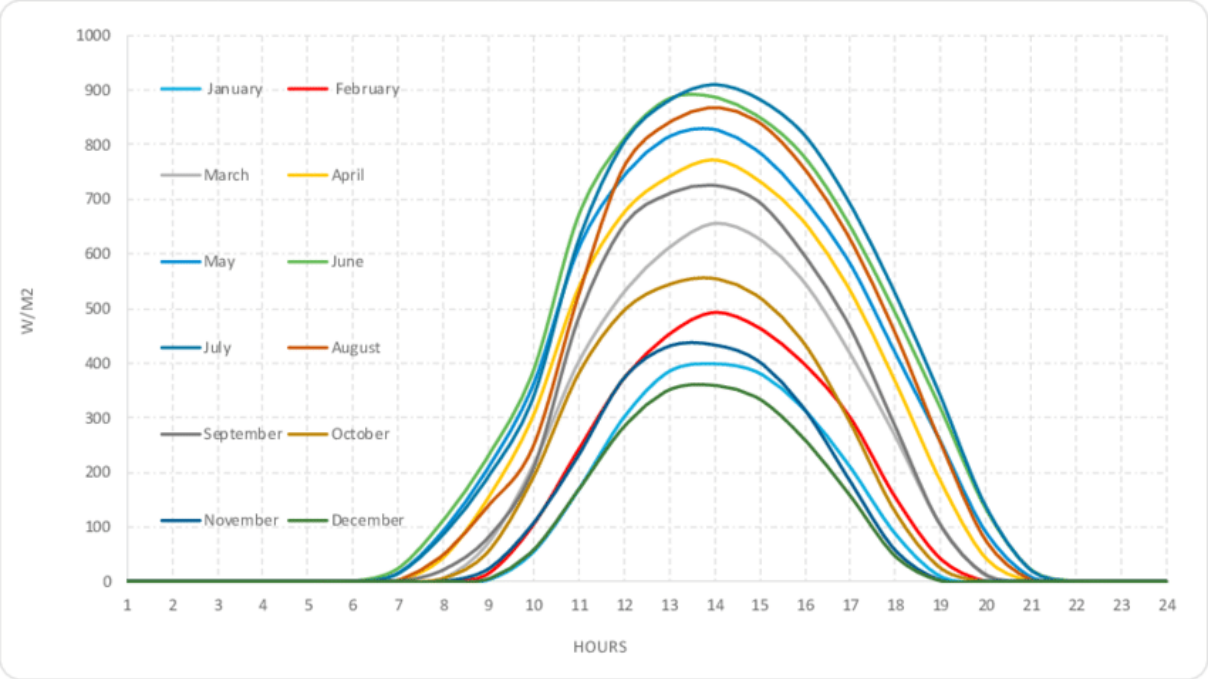
$$U_{fal} = \frac{1}{R_{fal}} = \left(R_{si} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i}\right)^{-1}$$

$$T_{eq} = T_{ki} + R_{se} \cdot \alpha \cdot E$$

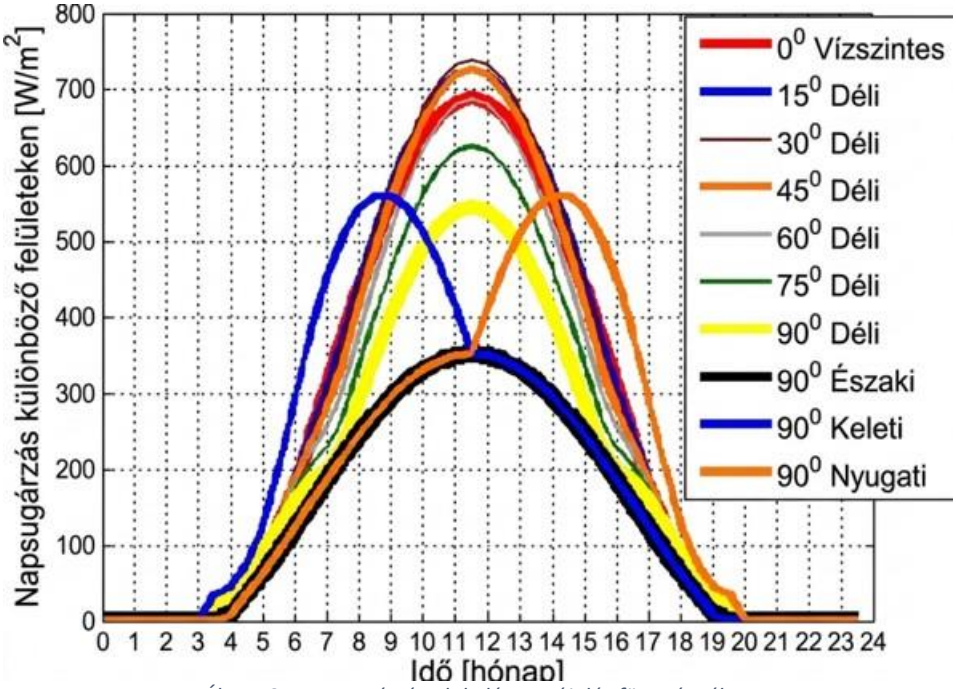
Ahol T_eq (K) az egyenértékű hőmérséklet, E (W/m²) a napsugárzási intenzitás, α pedig a fal abszorpciós tényezője. Nyári viszonyok esetén az Rse értéke függőleges felületeknél 0,06, vízszintes felületeknél pedig 0,05. Amennyiben a fal abszorpciós tényezőjére vonatkozó adatok nem állnak rendelkezésre, az alábbi értékek alkalmazhatók:

- $\alpha = 0.5$ világos színű falakhoz
- $\alpha = 0.9$ sötét falak
- $\alpha = 0.7$ vegyes színű falakhoz

A napsugárzás intenzitása függ a dátumtól, a napszaktól, a földrajzi helyzettől és a falak tájolásától (lásd a 17. és a 18. ábrát). A szükséges hűtési teljesítmény kiszámításához a maximális napsugárzási értéket kell alapul venni.



Ábra 17 A napsugárzás intenzitásának alakulása a dátum és a napszak függvényében



Ábra 18 A napsugárzás alakulása a tájolás függvényében

b. Transzmissziós nyereség transzparens felületeken

Az átlátszó felületeken keresztüli hőnyereséget a tömör falakéhoz hasonló módon számítják ki. Figyelembe kell azonban venni az ablaküveg g-értékét (szoláris tényezőjét). Emellett a napsugárzás intenzitása csökkenthető, ha az ablak felett árnyékoló szerkezet található.

$$\dot{Q}_s = g\ S\ E$$

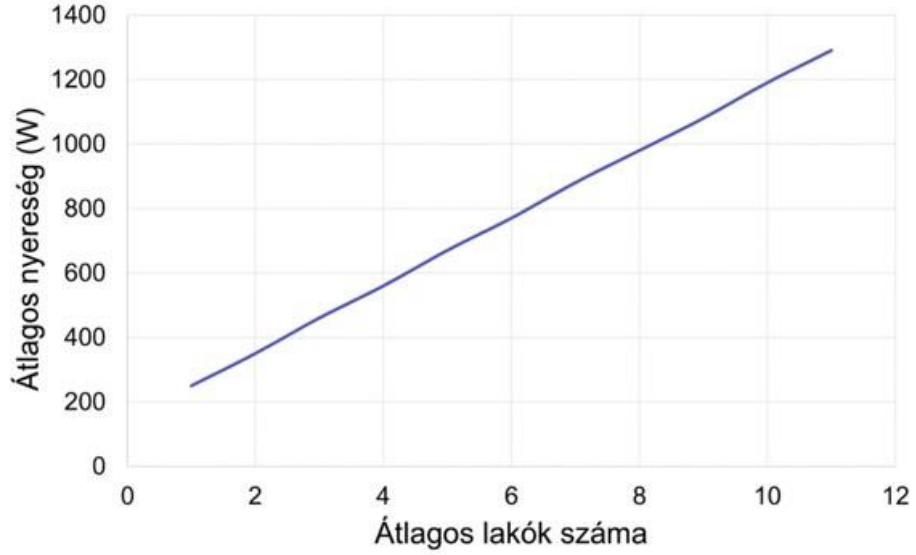
c. Szellőzés nyeresége

A szellőzési nyereségeket ugyanúgy számítják ki, mint a helyiségfűtési igényekhez tartozó szellőzési veszteségeket (lásd a 2.ii. bekezdést).

$$\dot{Q}_v = 0.34\, q_v \; (Q_v = 0.34 \cdot q_v \cdot (T_{be} - T_{ki})$$

d. Belső nyereségek

A belső hőnyereség magában foglalja a bent tartózkodó személyekből, a világításból és az elektromos berendezésekből származó összes hőbevitelt. Lakóépület esetében a teljes belső hőnyereség az épületben tartózkodó személyek száma alapján határozható meg, az 19. ábrán látható módon.



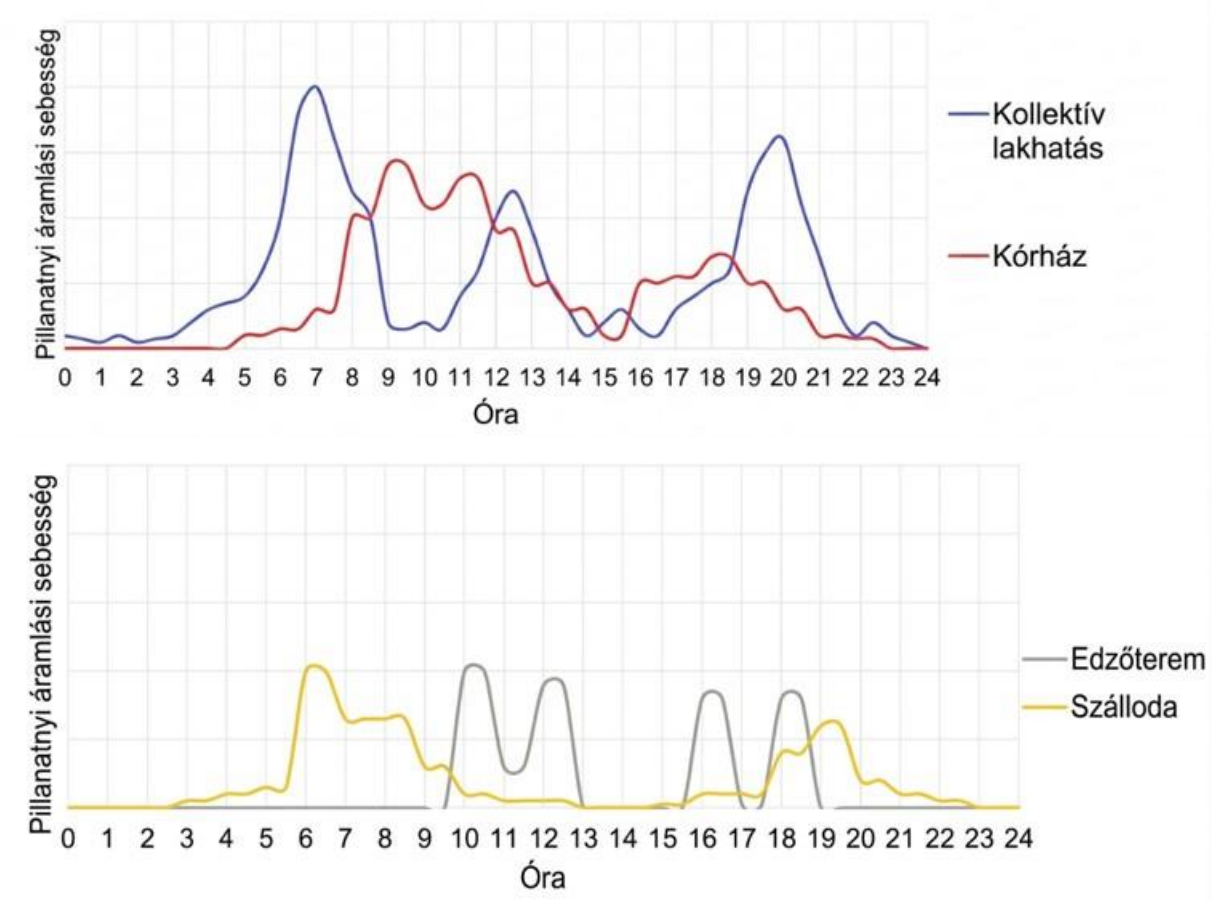
Ábra 19 A lakóépület belső össznyeresége a lakók számának függvényében (vagy ahhoz igazodva). [7]

3. Használati melegvíz-igény

A távhőhálózat nemcsak épületfűtést, hanem használati melegvíz-ellátást (HMV) is biztosít. A helyiségfűtési igényekhez hasonlóan a használati melegvíz iránti igény is számítással határozható meg. A használati melegvíz-ellátásnak két alapvető feltételnek kell megfelelnie: a komfortnak és az egészségügyi követelményeknek. A rendszernek ki kell elégítenie a napi vízmennyiségre, a pillanatnyi térfogatáramra és a hőmérsékletre vonatkozó igényeket. Emellett a szolgáltatott melegvíznek meg kell felelnie az egészségügyi előírásoknak, például meg kell akadályoznia a legionella baktérium elszaporodását. A legionella egy halálos veszélyt jelentő baktérium, amely a 20 °C és 55 °C közötti hőmérsékletű, álló vízben szaporodik. Emiatt a szabványok értelmében a használati melegvíz hőmérsékletének legalább 55 °C-nak vagy 60 °C-nak kell lennie, továbbá a víznek folyamatos áramlásban kell lennie.
Jelen fejezet célja a használati melegvíz-ellátás és az ahhoz kapcsolódó igények tervezése a fent részletezett korlátozó tényezők figyelembevételével.

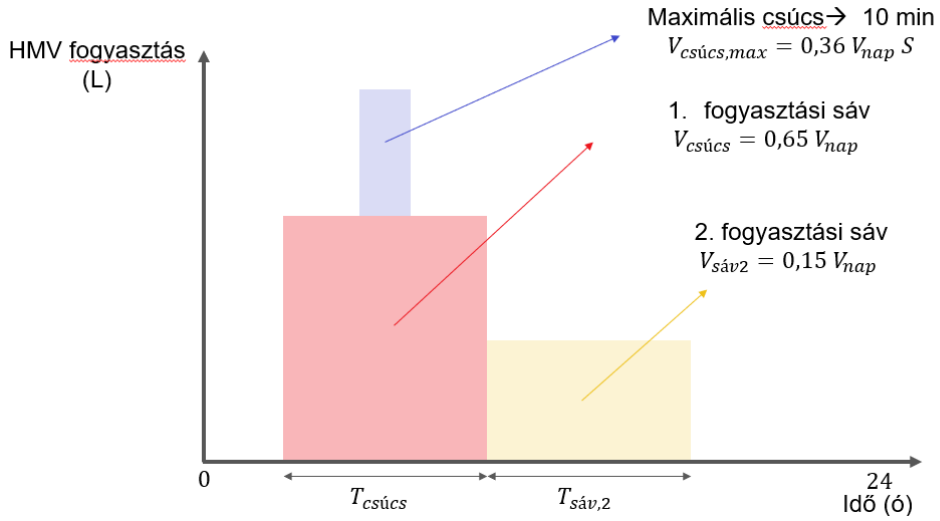
a. Használati melegvíz-fogyasztás

A használati melegvíz-ellátásnak stabil hőmérsékletűnek kell lennie, és megfelelő térfogatárammal, azonnal rendelkezésre kell állnia. A használati melegvíz-fogyasztást – az időpontoktól és a felhasználás jellegétől függően – erősen ingadozó vételezett mennyiség és pillanatnyi térfogatáram jellemzi. Mindazonáltal a fogyasztási mintázatokra jellemző, hogy az alacsony vagy nulla fogyasztású időszakokat egy vagy több, változó mértékű fogyasztással járó szakasz követi. A 20. ábra különböző épülettípusok használati melegvíz-fogyasztási mintázataira mutat példákat.



Ábra 20 Példa a HMV-fogyasztási profilra különböző típusú épületekhez [8]

Az ábrák azt mutatják, hogy a mintázatok eltérőek mind a napi fogyasztott mennyiség, mind a szükséges pillanatnyi átfolyási sebesség tekintetében. Jellemző rájuk továbbá a csúcs- és az alacsony fogyasztású időszakok váltakozása, ám ezek a nap különböző szakaszaiban jelentkeznek. A fogyasztási mintázatok tehát az épület típusától, pontosabban a berendezések (mosdókagyló, zuhanyzó, mosogatógép stb.) számától és típusától, valamint azok használati módjától függnek.
Egy épület használati melegvíz-ellátásának méretezésekor a napi fogyasztási mintázat három különálló időszakra bontható, ahogyan azt a 21. ábra szemlélteti.



Ábra 21 Normalizált HMV fogyasztási profil

A maximális csúcsidőszak az az intervallum, amely során a pillanatnyi térfogatáram magasabb. Ez a térfogatáram megegyezik azzal az értékkel, amelyet az épület használati melegvíz-hálózatának méretezéséhez használnak. A maximális csúcsidőszak időtartama 2 és 25 perc között változhat az épület típusától vagy lakóépületek esetén a lakások számától függően (10 lakásnál 4,32 perc, 100 lakásnál 12,5 perc, 200 lakásnál 18,27 perc). Az egyszerűsítés kedvéért a maximális csúcsfogyasztás időtartamát (T_(peak,max)) minden esetben 10 percben határozzák meg, mivel a használati melegvíz-ellátó berendezés méretezésekor is ezt az időtartamot veszik alapul. A maximális csúcsidőszak alatt felhasznált melegvíz-mennyiség (V_(peak,max)) lakóépület esetén a napi fogyasztás (V_nap) 36%-ának felel meg (kórházak, szállások és irodák esetében 39%-nak), amelyet egy egyidejűségi tényezővel (S) korrigálnak.

$$V_{csúcs,max} = \begin{cases} 0.36 * V_{nap} * S & lakó\ jellgű\ épületekre \\ 0.39 * V_{nap} * S & nem\ lakó\ jellegű\ épületre \end{cases}$$

Az egyidejűségi tényező azt a valószínűséget modellezi, hogy az összes használati melegvíz-berendezést egyszerre használják. Minél több berendezésről van szó, annál kisebb annak a valószínűsége, hogy mindegyiket egyidejűleg használják. E tényező matematikai meghatározását a következő bekezdés ismerteti. Hasonlóképpen kiszámítható a maximális pillanatnyi térfogatáram (l/h-ban):

$$\dot{Q}_{csúcs} = \begin{cases} 0.36 * V_{nap} * S * 6 & lakó\ jellgű\ épületekre \\ 0.39 * V_{nap} * S * 6 & nem\ lakó\ jellegű\ épületre \end{cases}$$

A második fogyasztási időszak a csúcsidőszak. Ez egy olyan, T_csúcs időtartam alatt zajlik, amelyet az épületekben található berendezések mennyisége alapján határoznak meg. A , T_csúcs meghatározását később ismertetjük. Az ezen időszak alatt felhasznált használati melegvíz-mennyiség (V_csúcs lakóépületek esetében a napi fogyasztás 65%-ának, egyéb épületek esetében pedig 78%-ának felel meg.

$$V_{csúcs} = \begin{cases} 0.65 * V_{nap} & lakó\ jellgű\ épületekre \\ 0.78 * V_{nap} & nem\ lakó\ jellegű\ épületre \end{cases}$$

Az utolsó fogyasztási időszak minden esetben a napi fogyasztás 15%-ának felel meg.
A napi használati melegvíz-fogyasztás az épületekben található összes berendezés ismeretében határozható meg. A 4. táblázat a hagyományos berendezések átlagos napi fogyasztását mutatja be.

Táblázat 4 HMV napi fogyasztása berendezésekre bontva [8]

Felszerelés	Egység	Napi fogyasztás (L)	Térfogatáram (L/min)
Egységcsapoló	1 meleg vízcsap	40	6
Kollektív csap	1 meleg vízcsap	120-240	3-6
Fürdőkád	1 fürdőkád	120	20
Egyéni zuhany	1 zuhany	80	15
Közös zuhany	1 zuhany	300	10
Konyhai mosogató	1 vízcsap	60	12
Mosogatógép	1 étkezés	4	10
Mosógép	1 mosógép	50	25
Kollektív mosógép	1 mosás	200-340	25

Ennélfogva a napi használati melegvíz-fogyasztás az épületben található összes berendezés fogyasztásának összege. Mivel azonban nem mindig ismertek a konkrét berendezések, e probléma áthidalására egy „modul” határozható meg. A modul olyan vételezési pontok (berendezések) együttese, amelyet várhatóan rendszeresen használ egy beazonosítható embercsoport; erre az 5. táblázatban találhatók példák.

Táblázat 5 Példa a HMV modulra [8]

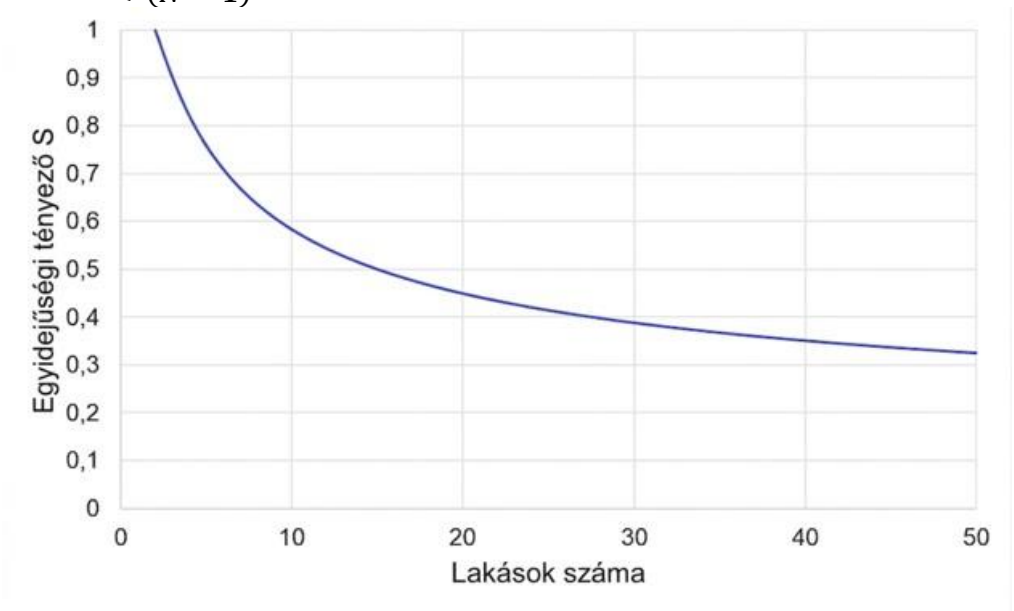
Épülettípusok	Modul	Példa	Leírás	Napi fogyasztás (L)
Lakóépület	1 lakóhely	1 szobás lakás	1 zuhany 1 konyhai mosogató	95
		3 szobás lakás	1 Kád 1 konyhai mosogató 1 Egyedi mosdó	180
Szállodai	1 szoba	Hotel *	1 Zuhany	90
		Hotel ***	Fürdőkád	160
Iroda	10 alkalmazott		1 Kollektív mosdó	40
Kórház	1 ágy		1 Egyedi mosdó 0.1 Fürdőkád 0,5 Kollektív mosdó	112

Ennélfogva az épületek napi használati melegvíz-igénye az egyes modulok napi fogyasztásának (V_(day,module)) és a modulok számának (N) a szorzata:

$$V_{nap} = V_{nap,modul} \cdot N$$

A használati melegvíz-igény túlbecsülésének elkerülése érdekében egy egyidejűségi tényezőt (S) kell meghatározni. Ez a tényező a modulok számától (azaz a berendezések vagy a vízvételi helyek számától) függ, és az alábbi egyenlettel írható le:

$$S = \begin{cases} \dfrac{1}{(N-1)^{0.3*i}} & lakó\ jellegű\ épületre \\ \dfrac{1}{(N-1)^{0.2*i}} & nem\ lakó\ jellegű\ épületre \end{cases} \qquad ahol\ \ i = \frac{N-1}{N+1}$$

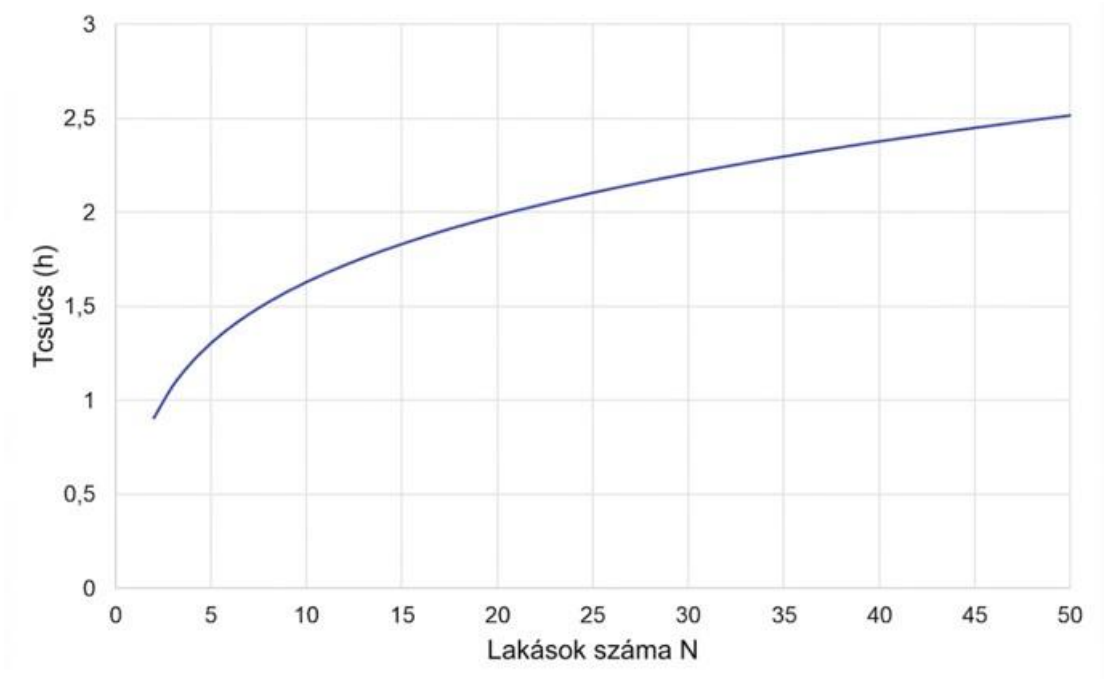


Ábra 22 Az egyidejűségi tényező fejlődése a lakóhelyek számának megfelelően

A lakóépületben lévő lakások számának függvényében változó egyidejűségi tényező alakulását a 22. ábra mutatja be.
Hasonlóképpen, a csúcsterhelés időtartama (T_csúcs, óra) is az alábbi módon számítható ki:

$$T_{csúcs} = \begin{cases} \dfrac{N^{0.889}}{(N+1)^{0.65}} & lakó\ jellegű\ épületre \\ \dfrac{N^{0.878}}{(N+1)^{0.70}} & nem\ lakó\ jellegű\ épületre \end{cases}$$

Ennélfogva – amint azt a 23. ábra mutatja – a csúcsidőtartam a lakások számának növekedésével párhuzamosan nő.



Ábra 23 A csúcsidő fejlődése a lakóhelyek számának megfelelően

Ezek a képletek (egyidejűségi tényező és csúcsidőtartam) nem pontosak a következő esetekben:

- Sportlétesítmények $T_{csúcs} = 30\ min$ max és $S = 1$
- Hostel és kórház max és $T_{csúcs} = 2\ hS = 0.25$
- Bentlakásos iskola max és $T_{csúcs} = 1\ hS = 1$

b. Használati melegvízellátás

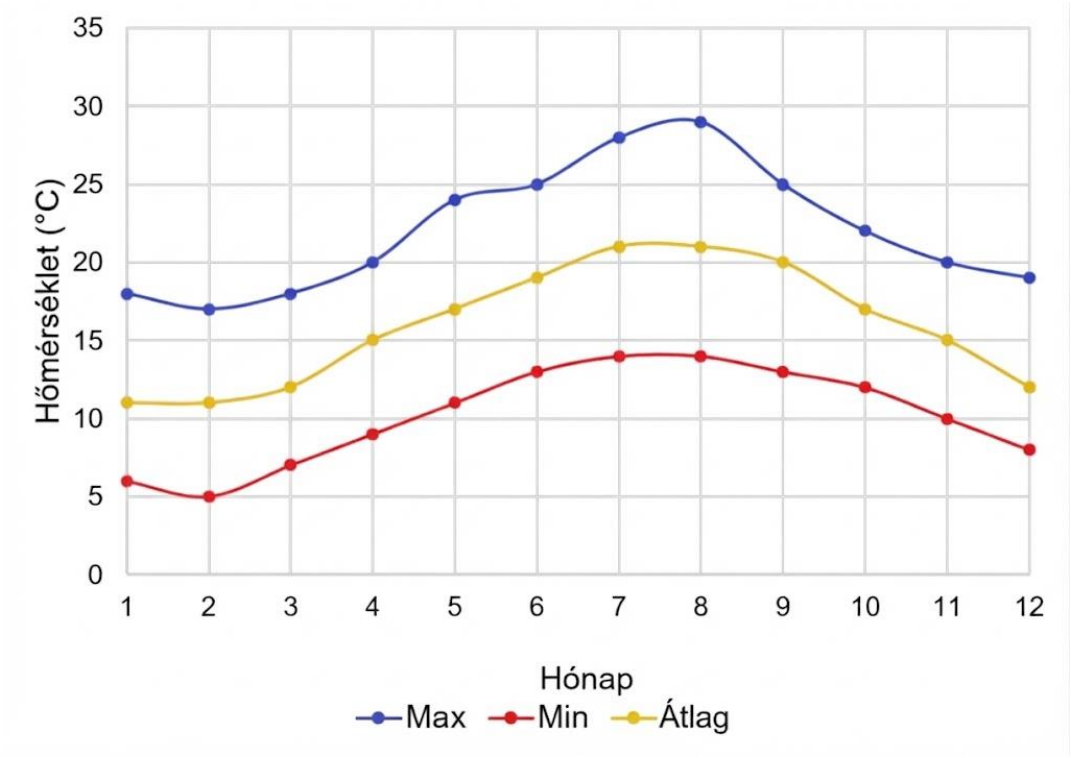
A használati melegvíz (HMV) maximális pillanatnyi térfogatáramának és napi fogyasztási mennyiségének meghatározását követően elvégezhető az ellátórendszer méretezése és tervezése. A HMV-ellátás energiaigénye (E_HMV [kWh]) az alábbi összefüggéssel fejezhető ki:

$$E_{HMV} = V_{nap} \cdot C_p \cdot \left(T_{HMV} - T_{hidegvíz}\right)$$

ahol Cp a víz fajhője (kWh/m³·K), T_HMV a HMV-ellátás hőmérséklete (°C) (azaz 55 °C és 60 °C közötti érték), T_hidegvíz pedig a vízhálózatból érkező hideg víz hőmérséklete. A hideg víz hőmérséklete az idő függvényében változik; a 24. ábra a hideg víz hőmérsékletének alakulását mutatja be Franciaországban.

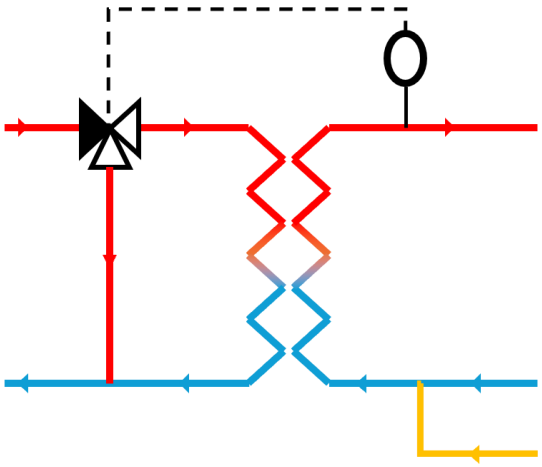
Ábra 24 A hidegvíz hőmérsékletének fejlődése az év során francia éghajlaton (Párizs) [8]

Ezt követően meg kell határozni a HMV-ellátást biztosító hőcserélő tervezési teljesítményét. Ez az érték a HMV-ellátórendszer hidraulikai kialakításától függ. A HMV-ellátásnak ugyanis négyféle módja létezik, amelyeket az alábbiakban ismertetünk.



i. Átfolyós rendszerű

Az átfolyós használati melegvíz-ellátás azt jelenti, hogy a használati melegvizet kizárólag a használati melegvíz-hálózat vezetékei és a hőtermelő (távhőhálózat esetén a primer hálózat) közé iktatott hőcserélőn keresztül biztosítják, tárolótartály alkalmazása nélkül (lásd a 25. ábrát).



Ábra 25 Az átfolyós rendszerű HMV sémája

Ennek megfelelően a hőcserélőt úgy méretezik, hogy képes legyen a 10 °C-os hideg vizet minden esetben – különösen a napi csúcsfogyasztás idején – 55 vagy 60 °C-ra felmelegíteni. Következésképpen a tervezési teljesítmény (Q̇) az alábbiak szerint számítható ki:

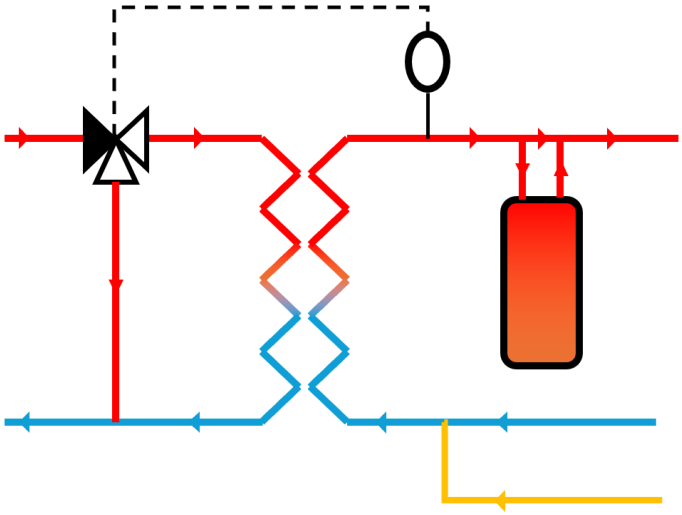
$$Q = C_p \cdot \left(T_{HMV} - T_{hidegvíz}\right) \cdot \frac{V_{csúcs,max}}{T_{csúcs,max}}$$

Ahol T_(peak,max) a maximális fogyasztási csúcs időtartama, amely 10 perc. Ennek a használati melegvíz-ellátási módszernek az az előnye, hogy kis helyigényű és

költséghatékony. Ugyanakkor a tervezési teljesítmény jelentős, és gyakran jóval meghaladja az épületek fűtési igényének fedezéséhez szükséges teljesítményt.

ii. Félig átfolyós ellátás

A fél-átfolyós rendszer egy hőcserélő és egy tárolótartály kombinációját alkalmazza, amely képes a használati melegvíz-igény teljes vagy részleges fedezésére a csúcsfogyasztás idején. A hidraulikai kapcsolási rajzot a 26. ábra mutatja be.



Ábra 26 A félig átfolyós HMV rendszer sémája

A félig átfolyós hőcserélő tervezési teljesítménye a tárolótartály méretétől függ. A Q̇_SI (W) tervezési teljesítmény és a Q̇_(SI,min) minimális teljesítmény az alábbiak szerint fejezhető ki:

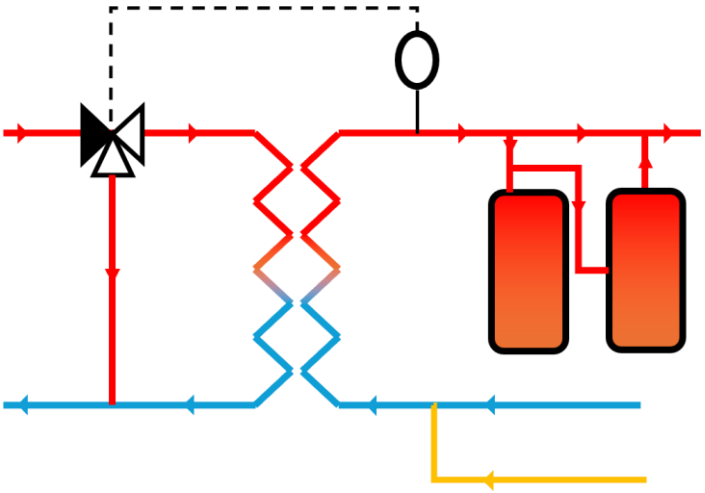
$$Q_{SI,min} = C_p \cdot \left(T_{HMV} - T_{hidegvíz}\right) \cdot \frac{V_{csúcs} - V_{csúcs,max}}{T_{csúcs}}$$

$$Q_{SI} = C_p \cdot \left(T_{HMV} - T_{hidegvíz}\right) \cdot \frac{V_{csúcs} - C_a}{T_{csúcs}}$$

Ennek következtében a Ca tárolótartály térfogata 0 és V_(peak,max) között változik. Ennek a használati melegvíz-ellátási módszernek az az előnye, hogy csökkenti a hőcserélőnél szükséges teljesítményt; ugyanakkor nagyobb helyigénnyel jár, és ez költségesebb megoldás.

iii. Részleges tárolás

A részleges tárolásos (félakkumulációs) ellátási mód egy hőcserélő és egy tárolótartály összekapcsolásán alapul; a rendszer képes a használati melegvíz-igény teljes vagy részleges fedezésére a fogyasztási csúcsidőszakban, valamint legalább a maximális fogyasztási csúcsidőszak alatti igények kielégítésére. A hidraulikai kapcsolási rajzot a 27. ábra mutatja be.



Ábra 27 Részleges tárolású HMV-rendszer sémája

A félakkumulációs hőcserélő tervezési teljesítménye a tárolótartály méretétől függ. A Q̇_SA (W) tervezési teljesítmény, valamint a Q̇_(SA,min) minimális és a Q̇_(SA,max) maximális érték az alábbi módon fejezhető ki:

$$Q_{SA,min} = C_p \cdot \left(T_{HMV} - T_{hidegvíz}\right) \cdot \frac{0.15 \cdot V_{nap}}{T_{csúcs}} + Q_{recirkuláció}$$

$$Q_{SA} = C_p \cdot \left(T_{HMV} - T_{hidegvíz}\right) \cdot \frac{V_{csúcs} - C_a}{T_{csúcs}} + Q_{recirkuláció}$$

$$Q_{SA,max} = Q_{SI,min}$$

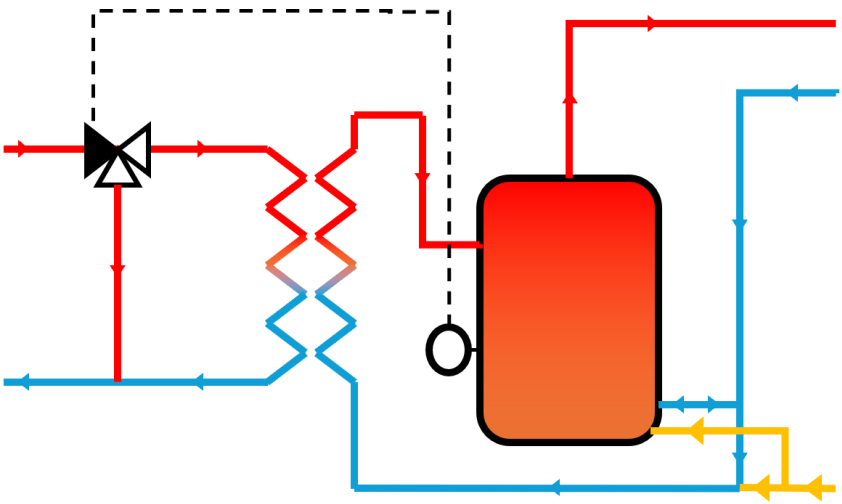
Ennek eredményeként a tárolótartály Ca térfogata V_(csúcs) és 〚0,5 V〛_(nap) között változik. A pangó víz elkerülése érdekében recirkulációs vezetéket használnak. A recirkulációs áramlási sebességet (ṁ_recirkuláció) úgy állítják be, hogy legalább 55°C-ot tartson fenn a HMV szekunder hálózatában. Ezért a recirkulációhoz szükséges teljesítmény:

$$Q_{recirkuláció} = C_p \cdot m_{recirkuláció} \cdot (T_{HMV} - 55)$$

Ennek a használati melegvíz-ellátási módszernek az előnye az egyszerűség, valamint az, hogy csökkenti a hőcserélőnél szükséges teljesítményigényt. Ugyanakkor nagyobb helyigénnyel jár, és ez költségesebb megoldás.

iv. Tárolásos rendszer

A tárolós rendszer egy hőcserélőből és egy tárolótartályból áll, amely képes teljes mértékben vagy részben fedezni a használati meleg víz (HMV) napi mennyiségi igényét, valamint legalább a csúcsfogyasztás alatti szükségletet. A hidraulikai kapcsolási rajz a 28. ábrán látható.



Ábra 28 Tárolós (akkumulációs) HMV-rendszer sémája

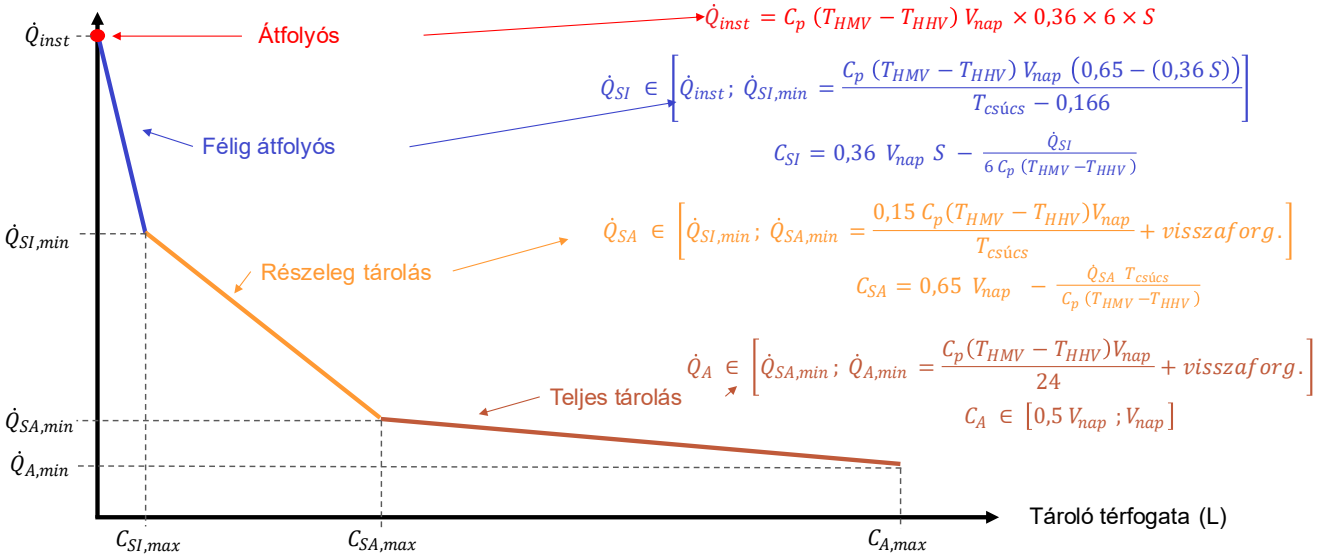
A gyakorlatban a tárolótartály méretezése úgy történik, hogy biztosított legyen a tartály 8 órán belüli felfűtése. A hőtároló hőcserélő tervezési teljesítménye a tárolótartály méretétől függ. A tervezési teljesítmény (Q̇_A [W]), valamint annak minimális (Q̇_(A,min)) és maximális (Q̇_(A,max)) értéke az alábbi módon fejezhető ki:

$$Q_{A,min} = C_p \cdot \left(T_{HMV} - T_{hidegvíz}\right) \cdot \frac{V_{nap}}{24} + Q_{recirkuláció}$$

$$Q_A = C_p \cdot \left(T_{HMV} - T_{hidegvíz}\right) \cdot \frac{V_{nap}}{8} + Q_{recirkuláció}$$

$$Q_{A,max} = Q_{SA,min}$$

Ennek a használati melegvíz-ellátási módszernek az előnye az egyszerűség, valamint az, hogy csökkenti a hőcserélőnél szükséges teljesítményt. Ugyanakkor nagyobb helyigénnyel jár, és ez a legköltségesebb megoldás. Emellett szükség van egy cirkulációs kör kiépítésére is, ami folyamatos hőveszteséget okoz.
Az összes megoldás a 29. ábrán található.



29. ábra A HMV ellátási technikák különböző típusainak összefoglalása

4. Épületoldali hidraulikai rendszerek

Ez a fejezet a hasznos terek (fűtendő vagy hűtendő helyiségek) és a hőközpont között elhelyezkedő berendezésekre, valamint az ott zajló folyamatokra összpontosít. A lehetséges hidronikai elrendezések, rendszerek és azok alkalmazási módjai rendkívül változatosak és sokfélék. A leírás nem törekszik teljességre; csupán a leggyakrabban alkalmazott megoldásokat tárgyalja. Kitér a hőleadók (radiátorok, felületfűtési és -hűtési rendszerek, fan-coil egységek), a hidraulikai hálózat, valamint a szelepek és szivattyúk működésére és méretezésére. A további részek a francia épületekben alkalmazott hagyományos hidraulikai rendszerek működésén és az európai szabványokon alapulnak.

a. Hőleadók

A távhőhálózatra csatlakoztatott épületekben általában háromféle hőleadót alkalmaznak: radiátorokat, padlófűtést és fan-coil egységeket. E berendezések mindegyike meleg víz segítségével, a helyiség levegőjének felmelegítésével fedezi a fűtési igényt, ám a hőkomfortot eltérő módon biztosítják. A radiátorok és a padlófűtés sugárzás és konvekció útján melegítik a helyiséget, hatással vannak a falak és a levegő hőmérsékletére, míg a fan-coil egység kizárólag a levegőt melegíti fel. Ennek köszönhetően a radiátor és a padlófűtés egyenletesebb és kellemesebb hőérzetet biztosít. A radiátor továbbra is a legelterjedtebb hőleadó; előnye az alacsony ár és az egyszerű szerelhetőség, ugyanakkor jelentős helyet foglal el a helyiségben, és általában nem alkalmas hűtésre. A padlófűtés szintén széles körben elterjedt megoldás, mivel nem vesz el helyet a hasznos térből, és hűtésre is használható. Ugyanakkor a padlófűtés költséges, és nagy hőtehetetlenséggel rendelkezik, ami bizonyos épületek esetében nem feltétlenül előnyös. A fan-coil egység a padlófűtéshez hasonló előnyökkel bír, ám olcsóbb, ugyanakkor energiahatékonysága alacsonyabb. A hőleadók típusa hatással van a teljes távhő- vagy távhűtő hálózat működésére: a maximális teljesítményigény alapján történő kiválasztásuk és méretezésük határozza meg a szükséges előremenő hőmérsékletet és tömegáramot.

i. Radiátorok

A radiátorok olyan hőleadó rendszerek, amelyek az elemeiken belül keringő meleg víz révén biztosítják a hőellátást; jellemzőjük a nagy víztartalom. Különböző anyagokból (öntöttvas, acél, alumínium, kő stb.) készülhetnek, és sokféle formát ölthetnek (lásd a 30. ábrát).



Ábra 29 Példák radiátorokra

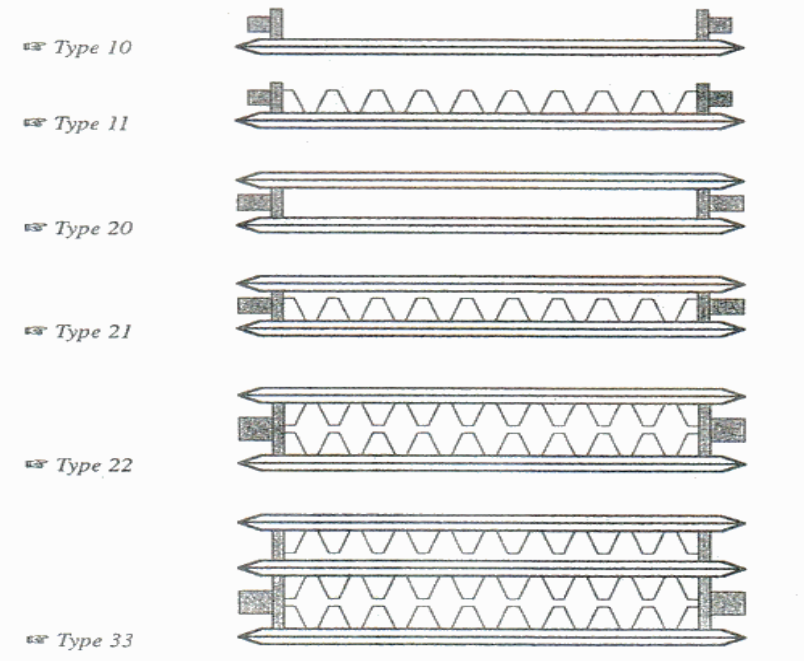
Az EN 442 [9] európai szabvány szerint a radiátor által átadott teljesítményt a következőképpen adjuk meg:

$$Q_{radiátor} = U \cdot A \cdot \Delta T^n = U \cdot A \cdot \left(\frac{T_{be,rad} + T_{ki,rad}}{2} - T_{beltéri}\right)^n$$

Ahol Q̇_radiator az átadott teljesítmény (W),
UA az átfogó hőátadási tényező (K/W),
∆T pedig a beltéri hőmérséklet
(T_beltér) és a radiátorban lévő víz átlaghőmérséklete
(T_átl,rad) közötti hőmérséklet-különbség (K).
A víz átlaghőmérsékletét a radiátorba belépő és a belőle kilépő víz hőmérsékletének átlagaként számítják ki. Az n a radiátor típusát jellemző tényező:

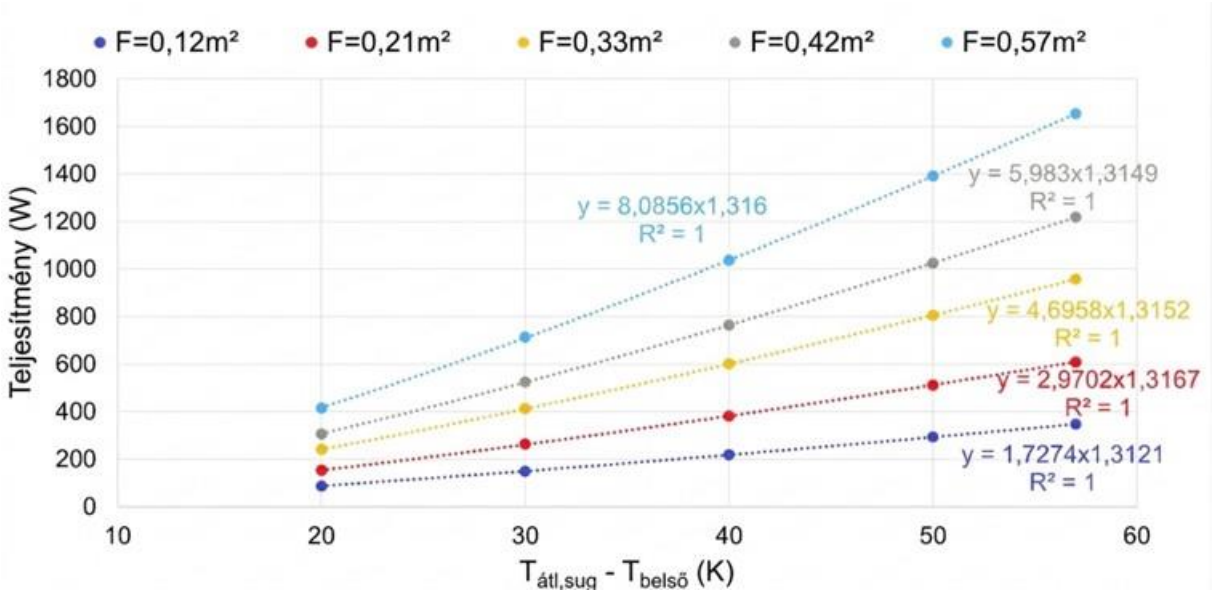
- $n = 1.3$ klasszikus radiátorokhoz
- $1.1 < n < 1.3$ konvektor esetén
- $n = 1$ fan-coil egységekhez

Az előző egyenlet alapján a radiátor által leadott teljesítmény a hőátadó felülettől, az össz-hőátadási tényezőtől, a víz hőmérsékletétől és a helyiség hőmérsékletétől függ. A helyiség hőmérsékletét a használó állítja be. A hőleadás fokozása érdekében a lehető legnagyobb hőátadó felületre van szükség; ezért a radiátorok gyakran sajátos kialakításúak, számos csővel és bordával (lásd a 31. ábrát).



Ábra 30 Példák a radiátorok felületére

A radiátor által leadott teljesítmény az U átbocsátási tényezőtől függ. Ezt a tényezőt a hőátadási mód alapján határozzák meg. A radiátor természetes konvekció és sugárzás útján adja át a hőt környezetének. Ennek köszönhetően nemcsak a helyiség levegőjét, hanem a falakat is melegíti, így kellemesebb hőérzetet biztosít. A hőátadás megközelítőleg 30%-a sugárzás, 70%-a pedig konvekció útján történik.
A radiátorokat leginkább az üzemi hőmérséklet-tartományuk, pontosabban a tervezési állapotnak megfelelő előremenő és visszatérő vízhőmérséklet alapján jellemzik. Így például a 80/60-as jelölésű radiátor esetében a tervezési külső hőmérsékletnél (Franciaországban például -7°C-nál) a víz hőmérséklete a radiátorba való belépéskor 80°C, a kilépéskor pedig 60°C. A magas hőmérsékletű radiátorok 80/60 vagy 75/55 °C-on üzemelnek; ezek gyakran alacsony átbocsátási tényezővel rendelkező, régebbi típusú hőleadók. Ezzel szemben az alacsony hőmérsékletű radiátorok 60/40 vagy 55/45 °C-on működnek; ezek az új építésű vagy felújított épületekben alkalmazott új generációs radiátorok közé tartoznak. Azonos fűtési teljesítmény mellett az alacsony hőmérsékletű radiátor felülete nagyobb, mint a magas hőmérsékletűé (lásd a 32. ábrát).



Ábra 31 Az áramot egy tipikus radiátor biztosítja, a csereterület és a radiátor hőmérséklete szerint

A szükséges fűtési teljesítmény alapján történő radiátortípus-választás meghatározza a radiátorban keringő meleg víz maximális tömegáramát:

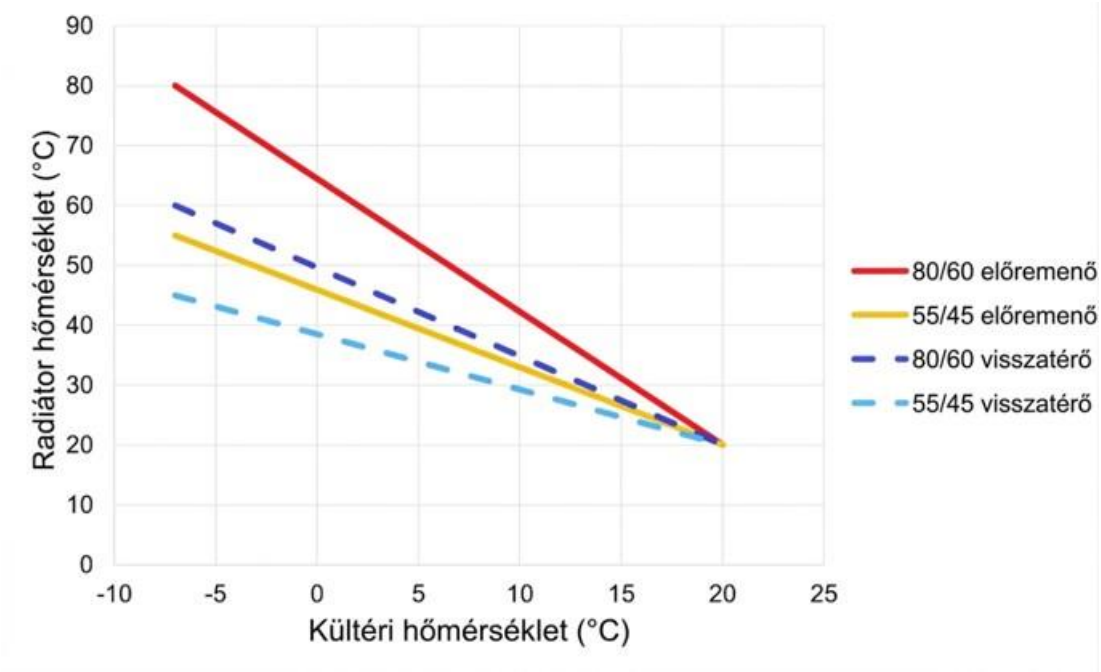
$$\dot{m}_{rad} = \frac{\dot{Q}_{radiátor}}{C_p \cdot \left(T_{be,rad} - T_{ki,rad}\right)}$$

A hőleadókat úgy méretezik, hogy képesek legyenek biztosítani a helyiség fűtéséhez szükséges maximális teljesítményt. A gyakorlatban azonban erre a maximális teljesítményre szinte soha nincs szükség, így a radiátorok által leadott teljesítményt szabályozni kell. A különböző külső hőmérsékleti viszonyok mellett elvárt belső hőmérséklet biztosítása érdekében a radiátorba belépő víz hőmérsékletét egy előremenő hőmérséklet-szabályozási görbe (vagy karakterisztika) alapján vezérlik.
Ezt a szabályozást úgy hangolják be, hogy a radiátorba belépő víz hőmérséklete a külső hőmérséklet emelkedésével párhuzamosan csökkenjen. Mivel a helyiségfűtés igénye hőmérsékletfüggő, minél magasabb a külső hőmérséklet, annál kisebb fűtési teljesítményre van szükség. Mivel a külső hőmérséklet és a fűtési igény közötti összefüggés alapvetően lineáris, az előremenő víz beállított hőmérsékletének változása is lineárisan alakul. Az előremenő hőmérséklet-szabályozási görbét két pont határozza meg: a külső méretezési hőmérsékletnél az előremenő hőmérséklet megegyezik a méretezési értékkel, amikor pedig a külső hőmérséklet megegyezik az elvárt belső hőmérséklettel (ekkor a fűtés leáll), a radiátorba belépő víz hőmérséklete szintén megegyezik az elvárt belső hőmérséklettel. Például -7°C-os külső méretezési hőmérséklet, 20°C-os belső hőmérséklet és 80/60-as radiátor esetén:

$$T_{in,rad} = a * T_{kű} + b$$

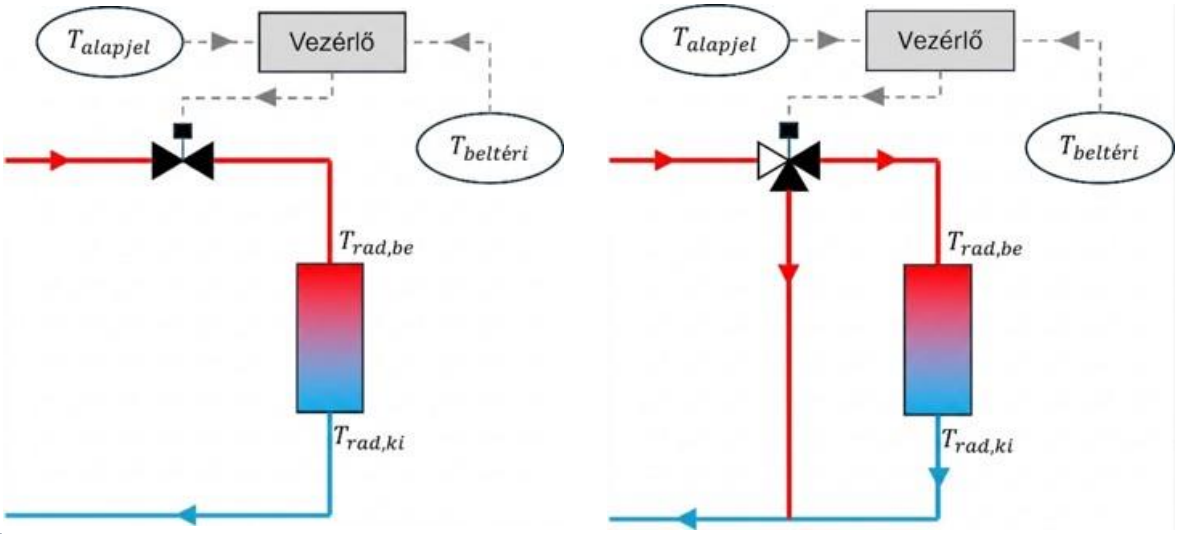
$$\begin{cases} 80 = a * -7 + b \\ 20 = a * 20 + b \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a = \dfrac{80 - 20}{-7 - 20} \\ b = 80 + 7 * a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a = -2.22 \\ b = 64.5 \end{cases}$$

A 33. ábra kétféle előremenő hőmérséklet-szabályozási egyenletet mutat be 80/60-as, illetve 55/45-ös radiátorokhoz.



Ábra 32 Radiátorok üzemi (előremenő és visszatérő) hőmérsékletei

Nem az előremenő hőmérséklet az egyetlen szabályozási paraméter, mivel a helyiségfűtéshez szükséges teljesítmény nem kizárólag a külső hőmérséklettől függ. Kisebb léptékben ugyanis a lakók viselkedéséből vagy a napsugárzásból eredő hőnyereség, illetve a hőveszteség is befolyásolja a szükséges fűtési teljesítményt, függetlenül a külső hőmérséklettől. Ezért a hőkomfort biztosítása érdekében a radiátoron átáramló víz tömegáramát is szabályozzák két- vagy háromjáratú szelepek segítségével (lásd a 34. ábrát).



Ábra 33 A radiátorok hidronikai szabályozása (bal oldalon kétjáratú (vagy kétutú) szelep, jobb oldalon a háromjáratú (vagy háromutú) szelep)

Ennek megfelelően a helyiség tényleges belső hőmérsékletét megmérik, és összehasonlítják a beállított hőmérséklettel. A beállított és a mért hőmérséklet közötti különbség alapján a

szelep kinyílik vagy bezárul, szabályozva ezzel az áramlási sebességet. Így a helyiség beállított hőmérséklete az alábbi egyenlet szerint érhető el:

$$\dot{Q}_{radiator} = UA\left(\frac{T_{ben,rad} + T_{ki,rad}}{2} - T_{indoor}\right)^{n} = m_{rad} \cdot C_p \cdot \left(T_{be,rad} - T_{ki,rad}\right)$$

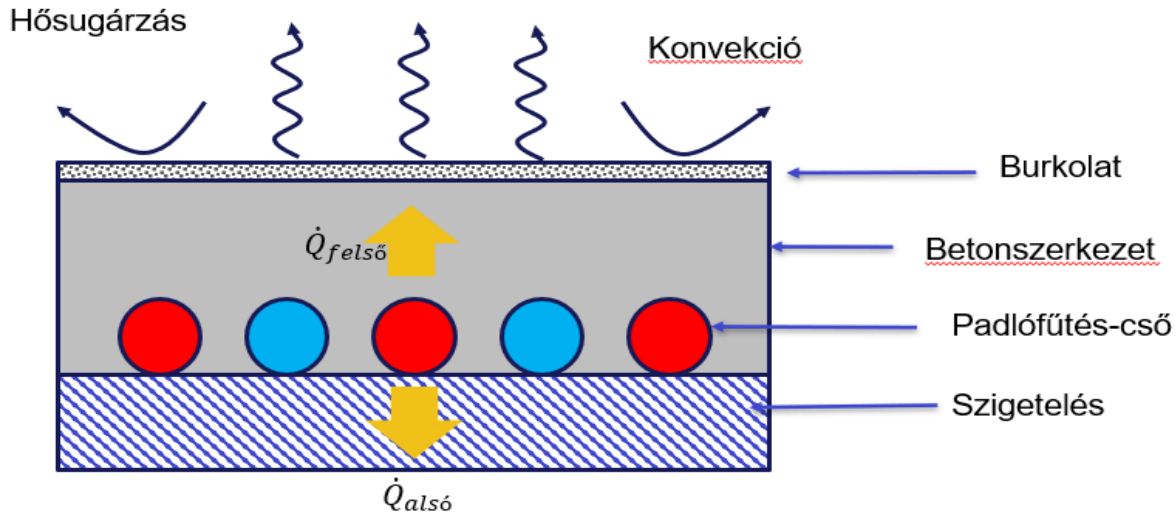
ii. Padlófűtés

A padlófűtési rendszerek lehetővé teszik a hőellátást a padlózatban keringetett meleg víz segítségével. A hő egyenletes eloszlása érdekében a csöveket csigavonalban fektetik le (lásd a 35. ábrát).



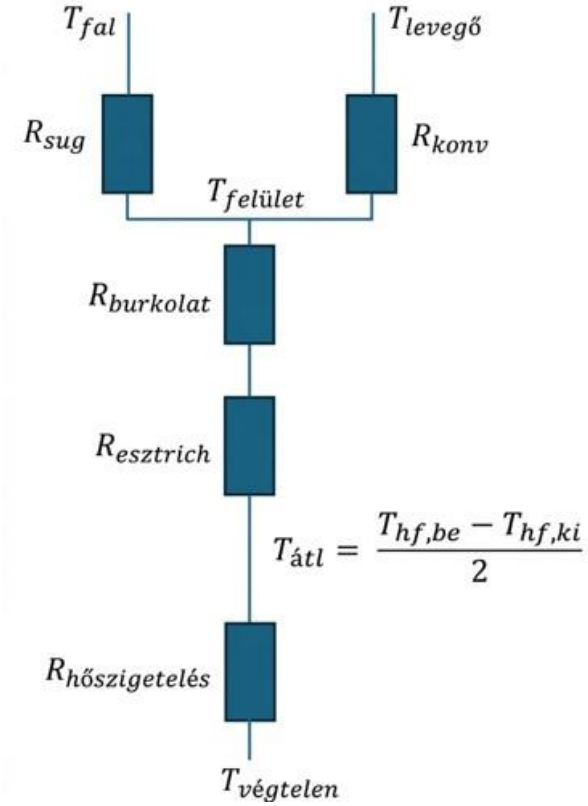
Ábra 34 Példa egy fűtőpadlóra

A padlófűtés jellemzően négy rétegből áll, ahogy azt a Ábra 35. mutatja.



Ábra 35 A padlófűtés sémája

A meleg vizet szállító csövek beton esztrichbe vannak ágyazva. Alattuk szigetelőréteg található, amely csökkenti a lefelé irányuló hőveszteséget, és ehelyett több hőt irányít a fűtendő helyiség felé. A 37. ábra a padlófűtés termikus-technikai vázlatát mutatja be:



Ábra 36 A fűtőpadló termoelektromos rendszere

Az előző ábra alapján a padlófűtés által átadott teljesítmény a következőképpen fejezhető ki:

$$Q_{hf} = m_{hf} \cdot C_p \cdot \left(T_{hf,be} - T_{hf,ki}\right) = Q_{sup} + Q_{inf}$$

Ahol :

- Q̇_hf a padlófűtés által közvetített teljesítményt (W),
- Q̇_sup és a Q̇_bef pedig a helyiség felé, illetve a padló alá irányuló hőáramot jelöli.
- ṁ_hf a padlófűtésben áramló víz tömegáramát (kg/s),
- Cp a fajhőt (kJ/(K·kg)),
- T_(hf,in) és a T_(hf,out) pedig a padlófűtésbe belépő, illetve az onnan kilépő víz hőmérsékletét jelöli.

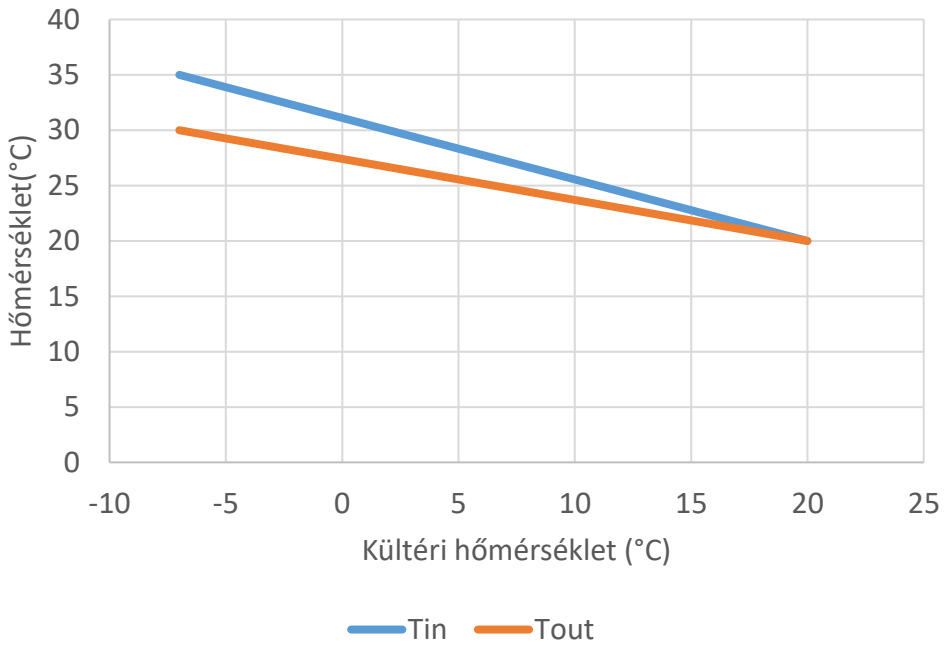
A helyiségfűtésre ténylegesen hasznosított teljesítmény a Q̇_sup. A Q̇_bef ebben az esetben veszteségnek tekintendő, amely az alábbi módon fejezhető ki:

$$Q_{sup} = \frac{T_{átl} - T_{surf}}{R_{esztrich} + R_{burkolat}}$$

$$Q_{inf} = \frac{T_{átl} - T_{inf}}{R_{szigetelés}}$$

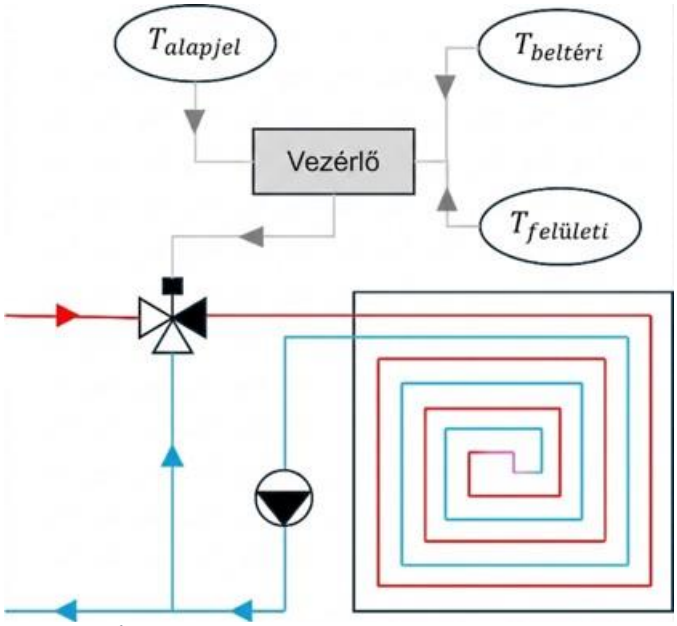
Ahol T_átl a fűtött padlószerkezetben lévő víz átlaghőmérséklete
(K), T_surf a fűtött padló felületi hőmérséklete (K),
T_bef pedig a hőszigetelés alatti réteg hőmérséklete (K).
R_screed, R_siding és R_besulation jelölések rendre az esztrich, a burkolat és a hőszigetelés hőellenállását (K/W) jelölik.

A padlófűtés által leadott teljesítmény az U átbocsátási tényezőtől függ. Ezt a tényezőt a hőátadás módja alapján határozzák meg. A padlófűtés természetes konvekció és sugárzás útján adja át a hőt környezetének. Ennek köszönhetően nemcsak a helyiség levegőjét, hanem a falakat is melegíti, így komfortosabb hőérzetet biztosít. A teljes hőleadáson belül a sugárzás aránya megközelítőleg 70%, a konvekcióé pedig 30%.
A radiátorokkal szemben a padlófűtés előnye a nagy felület. Ez lehetővé teszi, hogy a rendszer alacsonyabb hőmérsékleten üzemeljen, mint a radiátoros fűtés. Ráadásul egészségügyi szempontok miatt a felületi hőmérséklet nem haladhatja meg a 28°C-ot. Így az EN ISO 13370 [10] európai szabvány szerint a padlófűtés hőmérséklet-tartománya méretezési külső hőmérséklet mellett 35/30 (azaz T_(hf,in)=35°C és T_(hf,out)=30°C).
A radiátoros fűtéshez hasonlóan itt is szabályozzák a belépő hőmérsékletet és a tömegáramot a szükséges teljesítmény és a kívánt belső hőmérséklet biztosítása érdekében. A belépő hőmérséklet szabályozása megegyezik a radiátoros rendszernél alkalmazott módszerrel (lásd a 38. ábrát).



Ábra 37 Üzemi fűtési padlóhőmérséklet

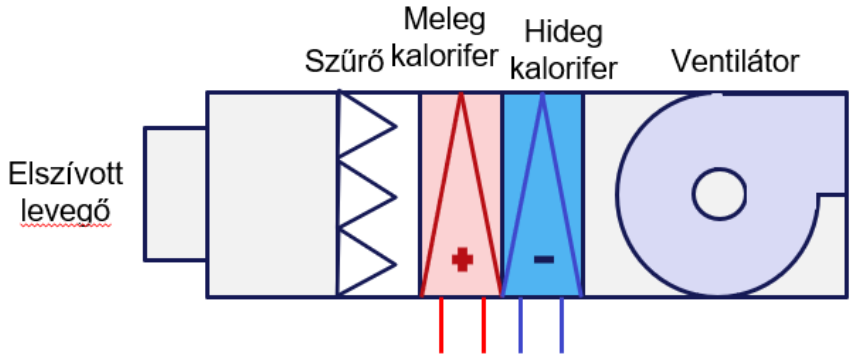
Az áramlási sebességet szintén szabályozzák a kívánt beltéri hőmérséklet elérése és a felületi hőmérsékletre vonatkozó korlátozás betartása érdekében. A padlófűtési kör bemeneti oldalán általában egy háromjáratú szelepet alkalmaznak a térfogatáramszabályozására, valamint arra, hogy a visszatérő ág folyadékának felhasználásával csökkentsék a bemenő hőmérsékletet a korlátozás betartása érdekében (lásd a 39. ábrát).



Ábra 38 A fűtési padló hidraulikus szabályozása

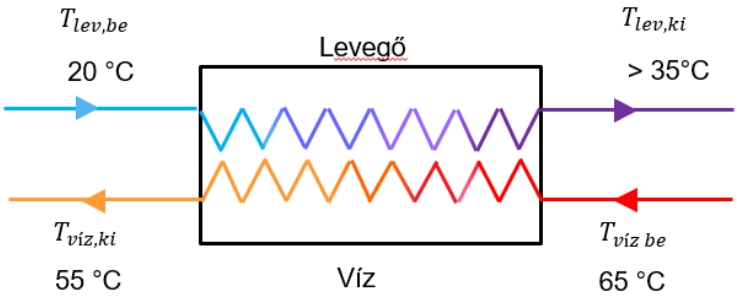
iii. Fan-coil egység

A fan-coil egységek olyan rendszerek, amelyek hőleadást tesznek lehetővé egy hőcserélőben keringetett meleg víz segítségével; a hőcserélő a hőt a ventilátor által mozgatott beltéri levegőnek adja át.



Ábra 39 A Fan-coil egység sémája

A fan-coil egység egy ventilátorból, egy vagy két hőcserélőből, egy kondenzátumgyűjtő tálcából és egy szűrőből áll (lásd a 40. ábrát). Képes fűtést vagy hűtést biztosítani a helyiség számára, akár ugyanazon hőcserélő, akár két különálló hőcserélő alkalmazásával. A helyiség fűtése elektromos fűtőbetéttel is megvalósítható. A radiátorokhoz képest a hőátadás hatékonyabb; a fan-coil egységek ugyanis kényszerített konvekcióval működnek, ami kedvezőbb hőátadási tényezőt eredményez. Ennek megfelelően 20 °C-os belső levegőhőmérséklet mellett az alkalmazott hőmérséklet-tartomány 50/40 °C, ami akár 35 °C-os kifújt levegőt eredményez (lásd a 41. ábrát).



Ábra 40 A hőcserélő sémája

Az energiaátvitelt leíró egyenletek megegyeznek a klasszikus ellenáramú hőcserélő egyenleteivel.

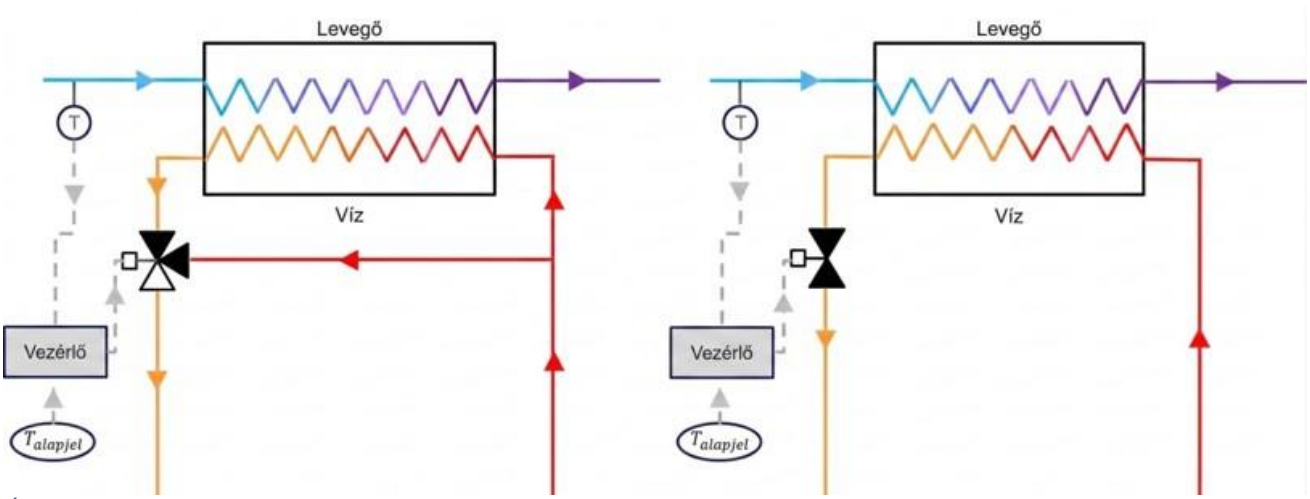
$$Q = m_{levegő} \cdot Cp_{levegő} \cdot \left(T_{levegő,ki} - T_{levegő,be}\right)$$

$$Q = m_{víz} \cdot Cp_{víz} \cdot \left(T_{víz,be} - T_{víz,ki}\right)$$

$$E = \frac{Q}{min\left(m_{levegő}Cp_{levegő}; m_{víz}Cp_{víz}\right) \cdot \left(T_{víz,be} - T_{levegő,be}\right)}$$

Amennyiben a helyiségek fűtésére és hűtésére egyfokozatú hőközponti kapcsolást használnak, újra meg kell határozni a melegvíz-belépő és -kilépő hőmérsékletet. Hűtési üzemmódban ugyanis a hőmérséklet-tartomány 7/12 °C, azaz a hőmérséklet-különbség 5 °C, ami fűtési üzemmódban a hőcserélő túlméretezéséhez vezetne. Ezért a fűtési üzemmódbeli alulteljesítés elkerülése érdekében a hőmérséklet-tartományt úgy kell újratervezni, hogy a hőmérséklet-különbség megegyezzen a hűtési üzemmódban alkalmazottal. A fan-coil egységeknek fűtési üzemmódban 50/40 °C-os vagy 35/30 °C-os hőmérséklet-tartományban kell működniük.

Radiátoros rendszer esetén a belépő hőmérsékletet és a tömegáramot a teljesítmény- és a belső hőmérsékleti igények kielégítése érdekében szabályozzák. A belépő hőmérséklet szabályozása megegyezik a radiátoros rendszernél alkalmazott módszerrel (lásd a 42. ábrát).



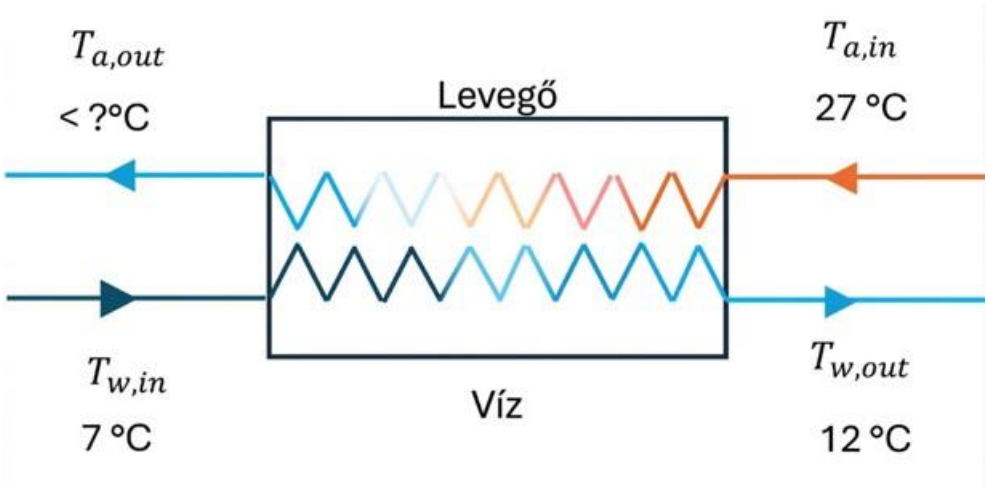
Ábra 41 A fan-coil egység hidraulikus szabályozása (balra háromjáratú szelep konfiguráció, jobbra kétjáratú szelep konfiguráció)

b. Hűtési hőleadó (emitterek)

A távhűtési hálózatra kapcsolt épületekben általában háromféle hűtési hőleadót alkalmaznak: hűtőmennyezetet, hűtőpadlót és fan-coil egységeket. E berendezések mindegyike a helyiség levegőjének hűtésével – hideg víz felhasználásával – biztosítja a hűtési igény kielégítését. A háromféle hőleadó egység a kondenzátumkezelés és a hőátadási képesség tekintetében különbözik egymástól. A hűtőmennyezetek és -padlók sugárzás és konvekció útján hűtik a helyiséget, befolyásolva a falak és a levegő hőmérsékletét, míg a fan-coil egységek kizárólag a levegőt hűtik. Ebből adódóan a hőkomfort biztosítása is eltérő módon történik, hiszen az emberi test mind a falakkal (sugárzás révén), mind a levegővel (konvekció révén) hőt cserél. Emellett a hűtőmennyezetek és -padlók esetében magasabb vízhőmérsékletre van szükség a kondenzáció megelőzése érdekében; ez ugyan korlátozza a rendelkezésre álló hűtési teljesítményt, ugyanakkor egyenletesebb és kellemesebb hűtést eredményez. Mivel a fan-coil egységek (FCU) képesek a kondenzátum elvezetésére, jellemzően 7/12 °C-os hőmérséklet-tartományban üzemelnek, ami nagyobb hűtési teljesítmény átadását teszi lehetővé. Mindegyik hőleadó típus reverzibilis. Végezetül, a fan-coil egységek olcsóbbak és könnyebben telepíthetők.

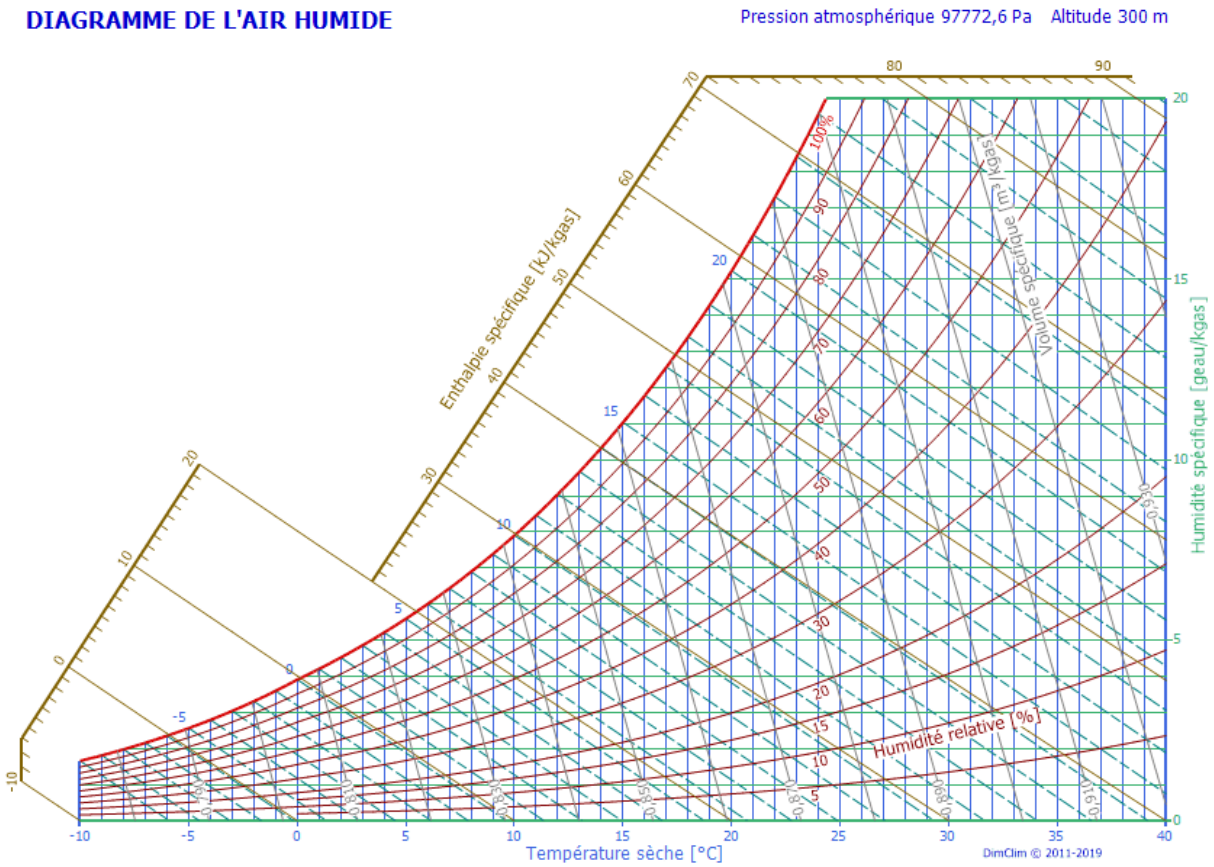
i. Fan-coil egység

Hűtési üzemmódban a fan-coil egységek ugyanúgy működnek, mint fűtési üzemmódban: a helyiség levegőjét egy levegő-víz hőcserélőn keresztül, 7/12 °C-os hőmérséklet-tartományú hideg vízzel hűtik le.



Ábra 42 Hűtőkalorifer (vagy hűtő hőcserélő) sémája.

Mindazonáltal hűtési üzemmódban – mivel a beltéri levegő vízgőzt tartalmaz – kondenzáció léphet fel. Ha ugyanis a levegő hőmérséklete a harmatpont alá csökken, a benne lévő pára kicsapódik; ilyenkor a hideg víz által szolgáltatott energia egyrészt a levegő lehűtésére (ez a kívánt funkció), másrészt a páratartalom részleges lecsapatására (ez nemkívánatos folyamat) fordítódik. A harmatponti hőmérséklet és a kondenzátum mennyiségének meghatározásához h-x (pszichrometrikus) diagramot használnak (lásd a 45. ábrát).



Ábra 43 A nedves levegő pszichrometrikus diagramja.

Ebből a grafikonból számos paraméter leolvasható. Az x-tengely a szárazhőmérő-hőmérsékletet (θ_s [°C] – azaz az egyszerű hőmérővel mért hőmérsékletet), az y-tengely pedig a levegő nedvességtartalmát (r [kg víz / kg száraz levegő]) jelöli:

$$r = \frac{m_{víz}}{m_{szárazlevegő}} = 0.622 \cdot \frac{p_v}{p - p_v}$$

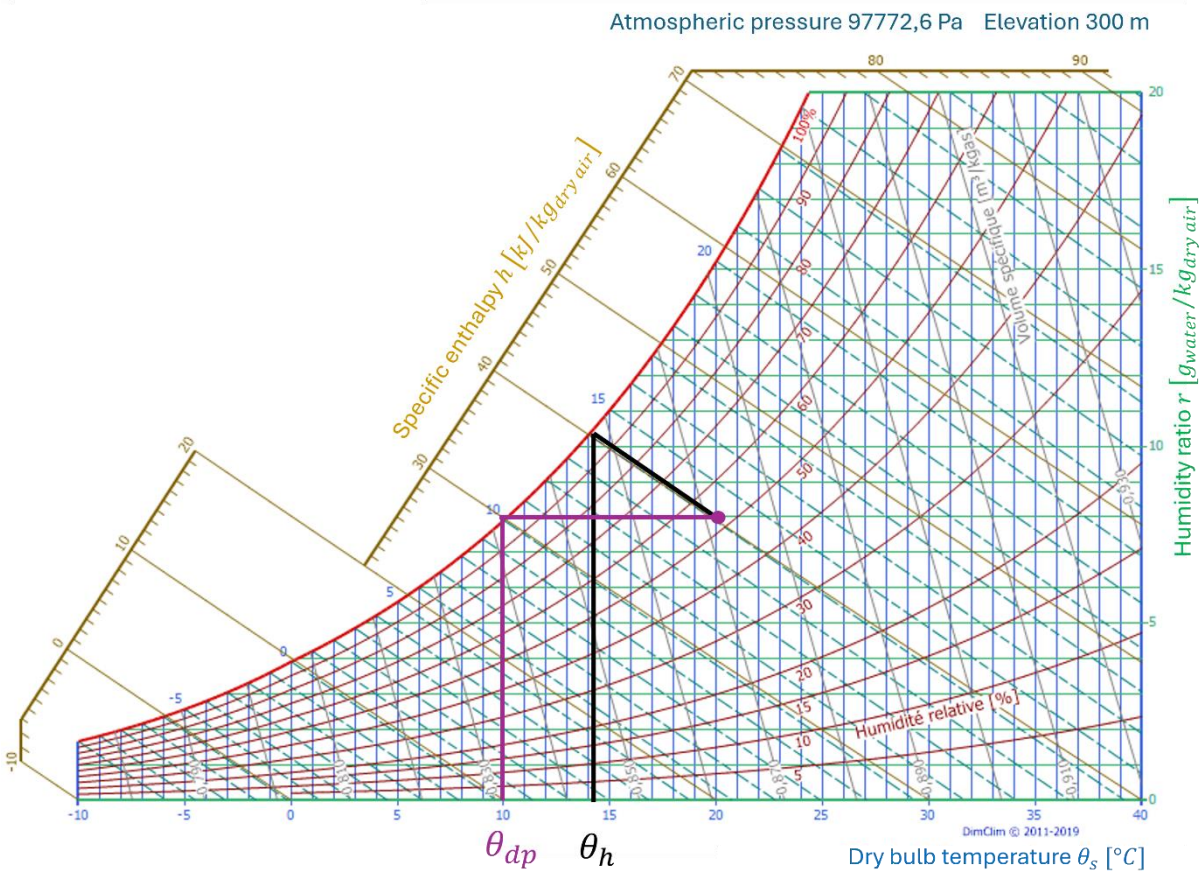
A levegő nedvességtartalma a vízgőz és a száraz levegő tömegének aránya. Ez a vízgőz parciális nyomása (p_v [Pa]) és a nedves levegő teljes nyomása (p [Pa]) alapján számítható ki.
A 44. ábrán a ferde barna vonal a fajlagos entalpiát (h [kJ/kg száraz levegő]) jelöli:

$$h = h_{szárazlevegő} + r \cdot h_{gőz} = Cp_{szárazlevegő} \cdot \theta_s + r \cdot \left(L_v + Cp_{gőz} \cdot \theta_s\right)$$

ahol h_szárazlevegő [kJ/kg száraz levegő] a száraz levegő fajlagos entalpiája,
h_gőz [kJ/kg száraz levegő] a gőz fajlagos entalpiája,
Cp_szárazlevegő és Cp_gőz [kJ/(K·kg száraz levegő)] a száraz levegő, illetve a gőz fajhője,
L_v [kJ/kg száraz levegő] pedig a párolgás látens hője.
A piros vonal a ϕ [%] relatív páratartalmat jelöli, amely a levegőben lévő gőz p_v parciális nyomásának és az azonos hőmérsékleten érvényes p_(v,s) telítési gőznyomásnak a hányadosa:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{v,s}}$$

Az átlós szürke vonal a v [m³/kg száraz levegő] fajtérfogatot jelöli.
A többi változó értékét a pszichrometrikus diagramon történő grafikus szerkesztéssel határozzuk meg. A θ_dp [°C] harmatponti hőmérsékletet a beltéri állapotot (száraz hőmérséklet és páratartalom) jelölő pontból kiinduló vízszintes vonal és a telítési görbe metszéspontja adja meg (lásd a 45. ábrát). A θ_h [°C] nedves hőmérséklet (nedvesgömb-hőmérséklet) az a hőmérséklet, amelyet olyan hőmérővel mérünk, amelynek érzékelőjét nedves vattával burkoljuk, és légáramba (2 m/s) helyezzük. A pszichrometrikus diagramon ez az érték úgy olvasható le, hogy az izentalpikus vonalakhoz közeli szaggatott vonalakat követjük a telítési görbéig (lásd a 45. ábrát).



Ábra 44 A nedves levegő pszichrometrikus diagramja.

A fan-coil hűtő hőcserélőjére vonatkozó egyenletek megegyeznek a fűtő hőcserélőével, kivéve a levegőoldalon átadott teljesítményt:

$$Q = Q_{érzékelhető} + Q_{kond}$$

$$Q = m_{levegő} \cdot Cp_{levegő} \cdot \left(T_{levegő,be} - T_{levegő,ki}\right) + m_{kond} \cdot L_v$$

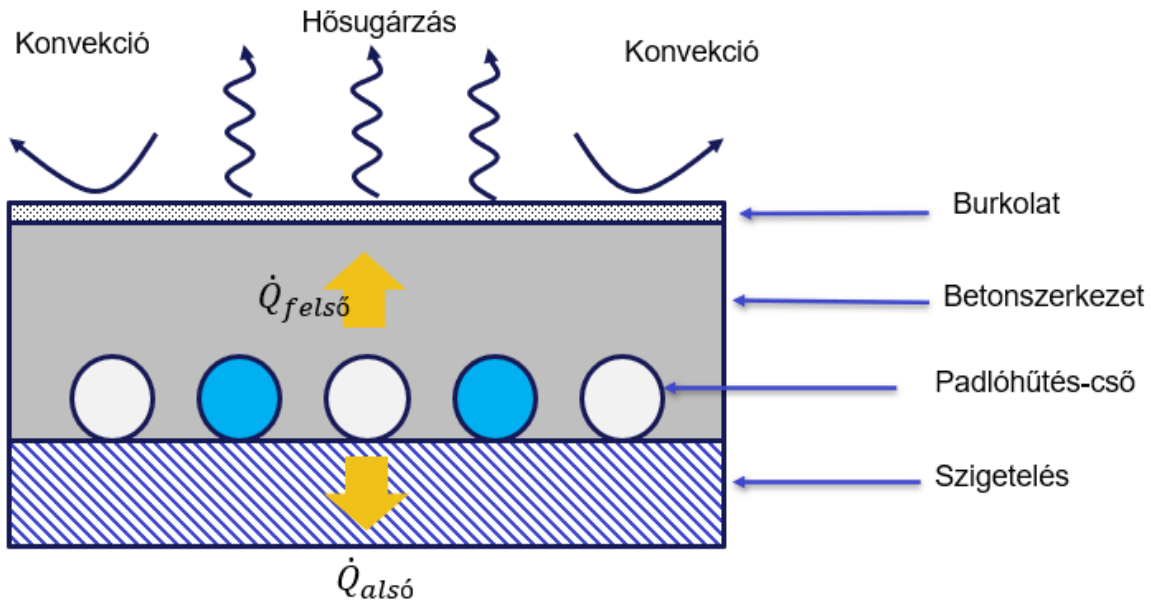
$$m_{kond} = m_{levegő} \cdot \left(r_{levegő,be} - r_{levegő,ki}\right)$$

Ahol Q_érzékelhető Q_kond (W) rendre az érzékelhető hőteljesítmény és a kondenzációs hőteljesítmény,
m_kond (kg víz/s) a kondenzátum tömegárama,

r_levegő, be és r_levegő, ki (kg víz/kg száraz levegő) pedig a nedvességtartalom a hőcserélő belépő, illetve kilépő oldalán.

ii. ii. Hűtőpadló és -mennyezet

A hűtőpadló és a hűtőmennyezet felépítése megegyezik a fűtőpadlóéval (lásd a 46. és 47. ábrát). A csövekben keringő hideg víz átadja energiáját a különböző rétegeknek, a helyiség hűtése pedig sugárzás és természetes konvekció révén történik.



Ábra 45 A hűtőmennyezet sémája

Ennélfogva a hőátadást leíró egyenletek hasonlóak. Csupán az átadási tényező értéke változik: a sugárzásos hőátadási tényező a felület emissziós tényezőjétől és hőmérsékletétől függően változhat, a konvektív hőátadási tényező pedig eltérő a mennyezet és a padló esetében. A fan-coil egységekhez hasonlóan a helyiség levegője kicsapódhat a hűtött padlóval vagy mennyezettel való érintkezés során; ám az ilyen hideg felületű hőleadóknál meg kell akadályozni a kondenzációt, hogy elkerüljük a víz megjelenését a padlón. Ezért a hűtött padló és mennyezet felületi hőmérsékletét mérsékeltebb éghajlaton legfeljebb 18 °C-ra korlátozzák.

c. Elosztás

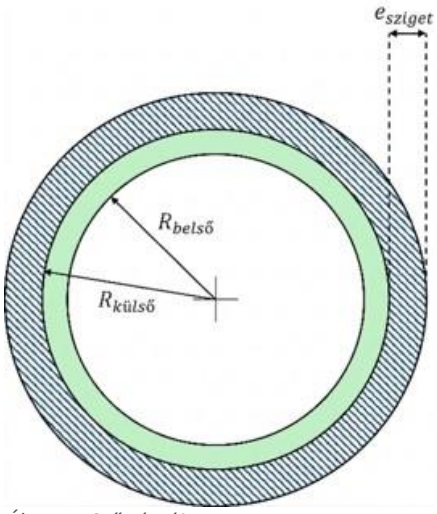
Ez a fejezet a távhő- és távhűtő hálózatok (DHC) szekunder oldalán zajló hidraulikai elosztással foglalkozik. A hálózat ezen részével általában ritkábban foglalkoznak, mivel a Távhűtés-fűtés-hálózat üzemeltetője rendszerint nem rendelkezik felette közvetlen irányítással. Ennek ellenére a szekunder oldali elosztórendszerek jelentős hatást gyakorolnak a DHC-hálózat egészének működésére. A fejezet célja a szekunder oldali hidraulikai elosztás működésének megismerése. Ezek a hidraulikai rendszerek három fő elemből épülnek fel: csövekből, szelepekből és szivattyúkból.

i. Csövek

Az épületoldali hidraulikai rendszerek csővezetékeinek feladata a hőátadó állomásról érkező meleg vagy hideg víz eljuttatása a hőleadó egységekhez. A vezeték acél- vagy PVC-csőből és hőszigetelésből áll (lásd a 48. és 49. ábrát).



Ábra 46 Példa egy forró vízvezetékre egy épület hidronikai rendszerében



Ábra 47 Cső sémája

Egy csővezetéknek számos követelménynek kell megfelelnie:

- A költségek csökkentése érdekében a lehető legkisebb átmérő alkalmazása
- A hőveszteség minimalizálása megfelelő vastagságú szigeteléssel
- A nyomásveszteség minimalizálása a szivattyú energiafogyasztásának csökkentése érdekében

A cső tervezésekor mindezeket a szempontokat figyelembe kell venni. Az első lépés a megfelelő átmérő meghatározása a csőben szükséges maximális tömegáram ismeretében. Ez a paraméter ugyanis hatással van a költségekre, valamint a hő- és nyomásveszteségre. Az európai szabvány két egyenértékű módszert ír le [11]. Az első módszer lényege, hogy a csőben áramló víz sebességét 1 m/s-ban korlátozzák. Ez a korlátozás lehetővé teszi a víz áramlásával járó zaj csökkentését, ezáltal biztosítva az épületek megfelelő akusztikai komfortját és megelőzve a cső esetleges rezgését. Ennek megfelelően a cső belső átmérőjének meghatározásához az alábbi egyenletet alkalmazzák:

$$m_{víz} = \rho \cdot v \cdot S = \rho \cdot v \cdot \frac{\pi \cdot D_{be}^2}{4}$$

$$D_{be} = \sqrt{\frac{4 \cdot m_{víz}}{\pi \cdot \rho \cdot v}}$$

Ahol ṁ_w a tömegáram (kg/s),
ρ a sűrűség (kg/m³), v a sebesség (m/s),
S a cső keresztmetszete (m²),
D_be pedig a cső belső átmérője (m):
A vízsebesség korlátozása lehetővé teszi a nyomásveszteség csökkentését is a Darcy–Weisbach-egyenlet alapján:

$$\Delta p = \Lambda \frac{L}{D_{be}} \frac{\rho\, v^2}{2}$$

Ahol Δp a nyomásveszteség (Pa), Λ a súrlódási tényező, L pedig a csőhossz (m).
Ennélfogva a csőátmérő meghatározásának második módszere a sebesség helyett közvetlenül a nyomásveszteség korlátozásán alapul. A vonalmenti nyomásveszteségnek rendszerint 100 Pa/m alatt kell maradnia. Ezért az átmérőt az alábbi (Darcy–Weisbach-) egyenlet segítségével határozzák meg:

$$\frac{\Delta p}{L} = \Lambda \frac{8}{\rho \pi^2} \frac{\dot{m}_w^2}{D^4} \Leftrightarrow D = \left(\frac{\Lambda \, \mathrm{L}}{\Delta p} \frac{8}{\rho \pi^2} \dot{m}_w^2 \right)^{1/4}$$

Ahol

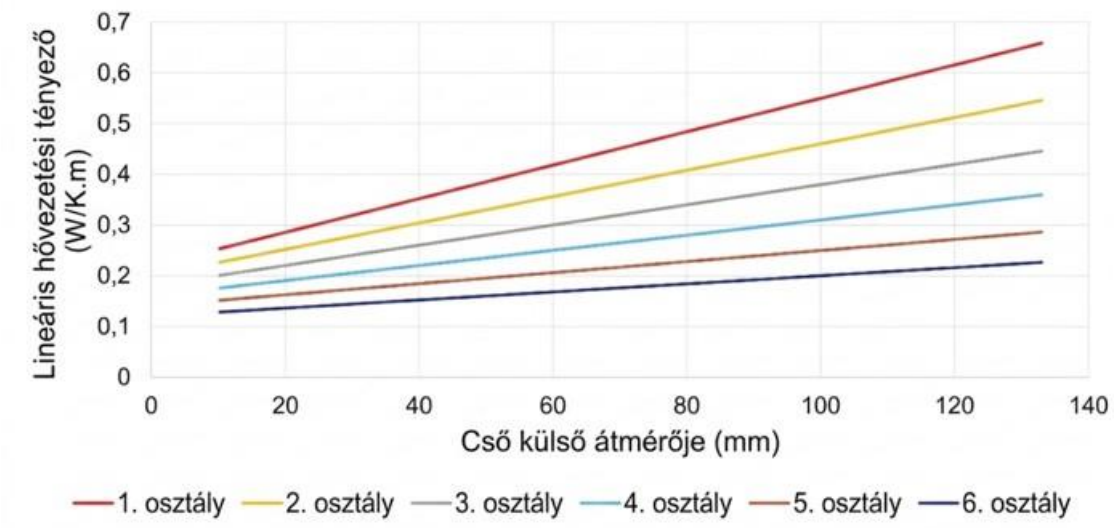
$$\begin{cases} \Lambda = \dfrac{64}{Re} & if\ Re < 2000 \\ \Lambda = 0.3164\, Re^{-0.25} & if\ Re > 4000 \end{cases}$$

A Re Reynolds-számot tekintve:
A gyakorlatban a csövek belső átmérője szabványosított. A tényleges csövet úgy választják ki, hogy a szabványos méretek közül azt veszik alapul, amelynek belső átmérője éppen meghaladja a számított értéket, így biztosítva, hogy a méret mindig megfeleljen a tervezési előírásoknak. A 6. táblázat a szabványos csőméreteket mutatja be.

Normalizált átmérő	Belső átmérő (mm)	Külső átmérő (mm)
DN 6	5	10
DN 8	8	13
DN 10	12	17
DN 15	15	21
DN 20	20	27
DN 25	26	34
DN 32	33	42
DN 40	40	49
DN 50	50	60
DN 60	60	70
DN 65	66	76
DN 80	80	90
DN 90	90	102
DN 100	102	114
DN 125	125	139
DN 150	150	168

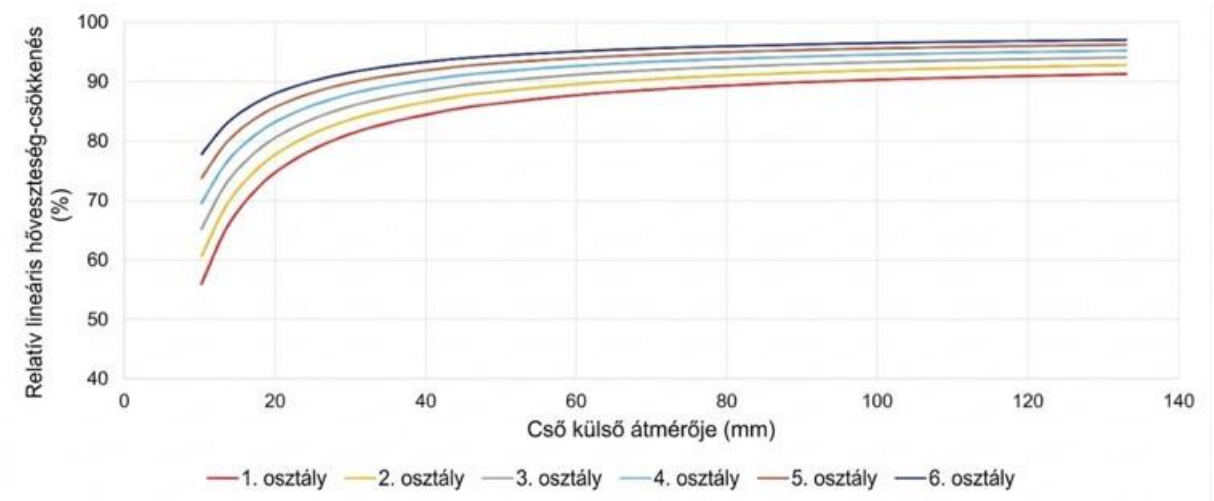
Táblázat 6 Kapcsolat a cső névleges átmérőjének DN és a belső és külső átmérő között

Ezt követően a cső külső átmérője alapján – az EN 15316-3 európai szabványnak megfelelően – meghatározható a hőszigetelés vastagsága. A szabvány a kívánt szigetelési osztály függvényében javasolja az elérendő lineáris hővezetési tényező értékét (lásd az 50. ábrát).



Ábra 48 A cső lineáris hővezetőképességének fejlődése a cső külső átmérője és a szigetelési osztály szerint

A szigetelési osztály a hőveszteség mértékének felel meg: minél magasabb az osztály, annál kisebb a hőveszteség (lásd az 51. ábrát).



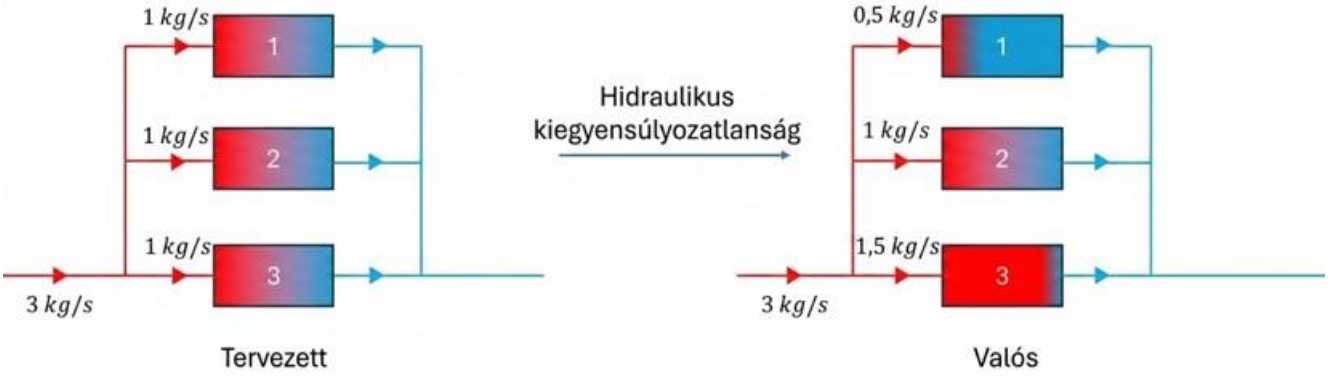
Ábra 49 A relatív fejlődése

A cső külső átmérőjének és a lineáris hővezetési tényezőnek az ismeretében a szükséges hőszigetelési vastagság az alábbi egyenlet alapján határozható meg – eltekintve a cső belsejében zajló konvektív hőátadástól, mivel a kényszerített áramlású víz konvektív hőátadási tényezője lényegesen nagyobb, mint a természetes áramlású levegőé:

$$\frac{1}{U_l} = \frac{ln\left(\frac{e_{iso} + R_{ext}}{R_{ext}}\right)}{2\pi\lambda_{iso}} + \frac{1}{h\ 2\pi\ (e_{iso} + R_{ext})}$$

Ahol U_l a lineáris hővezetési tényező (W/(K·m)),
e_iso a hőszigetelés vastagsága (m),
R_ext a cső külső sugara (m),
λ_iso a szigetelőanyag hővezetési tényezője (W/(K·m)),
h pedig a cső külső felületén érvényes hőátadási tényező (W/(K·m²)).

Miután meghatározták az épületoldali hidraulikai hálózat csöveinek összes geometriai méretét, ki kell számítani a tényleges nyomásveszteséget a tervezési munkaponton. Fontos ugyanis ellenőrizni, hogy a hőkomfort biztosítása érdekében minden hőleadó egységnél megvalósul-e a szükséges tömegáram. Ennek hiányában a legkedvezőtlenebb helyzetű hőleadó (azaz a legnagyobb összesített nyomásveszteséggel rendelkező egység) esetében fennáll a veszély, hogy a tervezési munkaponton a szükségesnél kisebb tömegárammal üzemel. Ezt a jelenséget nevezzük hidraulikai kiegyensúlyozatlanságnak (lásd az 52. ábrát).



Ábra 50 Különbség a kiegyensúlyozott és kiegyensúlyozatlan hidraulikus hálózat között

Az egyes ágak nyomásvesztesége a hidraulikai-elektromos analógia alapján számítható ki:

$$\Delta p = \Lambda \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 8 \cdot \frac{\Lambda \cdot \rho}{\pi^2} \cdot \frac{m_{víz}^2}{D^4} = Z \cdot m_{víz}^2$$

Ahol Z a hidraulikai ellenállás (Pa·s²/kg²).
A hidraulikai egyensúly elérése és a tervezett térfogatáram biztosítása érdekében beszabályozószelepeket kell beépíteni.

ii. Szelepek

A szelepek olyan eszközök, amelyek lehetővé teszik a folyadékáramlás mértékének módosítását nyomásveszteség hozzáadásával vagy csökkentésével. A hidraulikai beszabályozás biztosítása érdekében statikus szelepeket építenek be az elosztókörbe, hogy növeljék a nyomásveszteséget a hálózat meghatározott részein. Az ilyen típusú szelepek nem szabályozási célokat szolgálnak; feladatuk kizárólag a hidraulikai egyensúly biztosítása a tervezési munkaponton. Például olyan hálózat esetében, ahol minden hőleadó egységet azonos térfogatárammal kell ellátni, a statikus szelepeket úgy kell elhelyezni, hogy kiegyenlítsék a nyomásveszteséget az összes ágban (a szivattyútól a hőleadókig és vissza vezető útvonalon).
A hidraulikai beszabályozás elvégzése után további szelepeket kell beépíteni a hőleadókon átáramló közeg mennyiségének szabályozására a tervezési állapottól eltérő üzemállapotokban. Ezeket a szelepeket szabályozószelepeknek nevezzük. Működtetésüket egy szelepmozgató (aktuátor) végzi, amely módosítja a folyadék áthaladását biztosító nyílás méretét (a nyitás mértékét). Ily módon szabályozható a szelepen fellépő nyomásesés, és ezáltal a szelepen átáramló közeg mennyisége is (lásd az 53. ábrát).

A szabályozószelep különböző jelleggörbékkel rendelkezhet, azaz eltérő összefüggés állhat fenn a Kv-tényező és a nyitási mérték között. A lineáris szelep jellemzője egy olyan lineáris összefüggés, mint például:

$$\frac{\dot{m}}{\sqrt{\Delta p}} = \begin{cases} Kv_s & ha \text{ nyitás} = 1 \\ Kv & ha \text{ nyitás} \neq 1 \\ Kv_0 & ha \text{ nyitás} = 0 \end{cases} for \ \Delta p = 1 \, bar$$

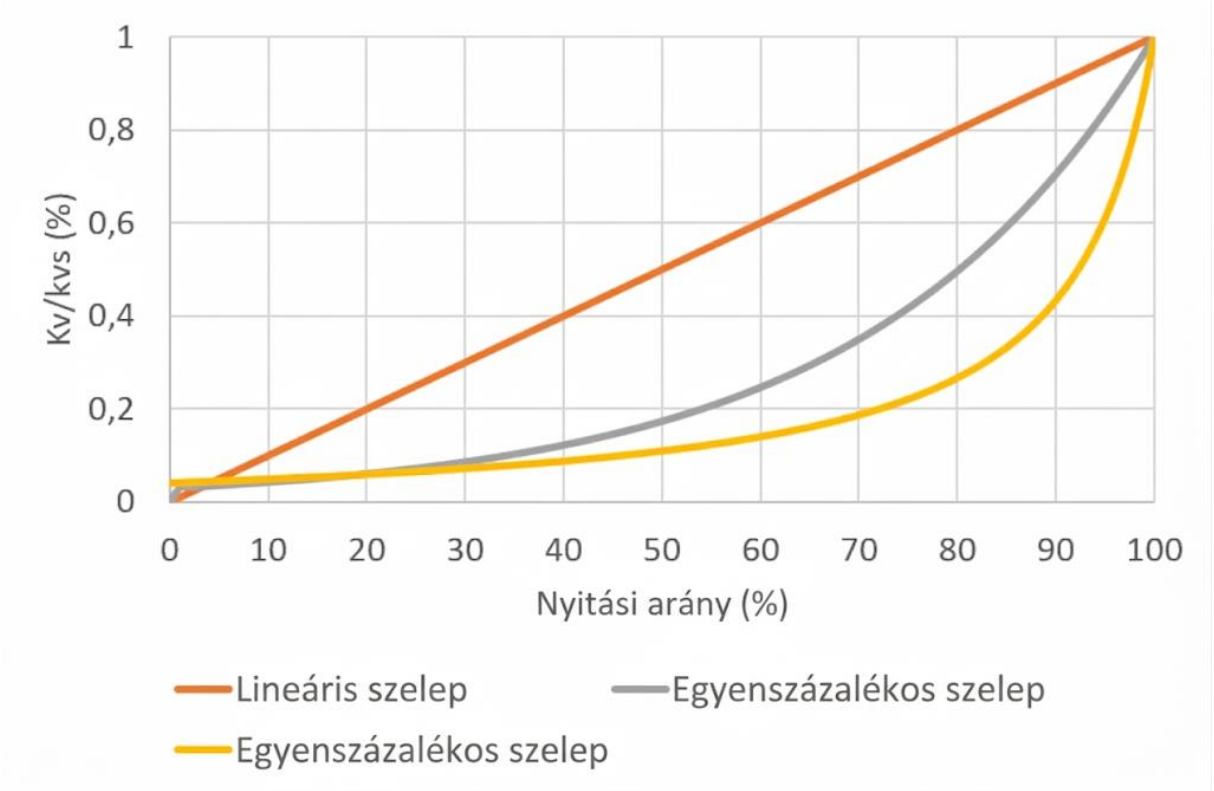
A vezérlőszelepnek lehetnek eltérő karakterisztikus görbéi, azaz eltérő viszonyok a szelepegyüttható és a nyitási sebesség között. A lineáris szelepet egy lineáris kapcsolat jellemezi, például: Kv

$$\frac{Kv}{Kv_s} = \text{nyitás}$$

A második lehetőség az egyenlő százalékos karakterisztika. Itt a nyitás mértékének változása a Kv-érték egyenlő százalékos változásának felel meg, a változás előtti Kv-értékhez viszonyítva:

$$\frac{(Kv - Kv_0)/(Kv + Kv_0)}{(Kv_s - Kv_0)/(Kv_s + Kv_0)} = \text{nyitás}$$

A gyakorlatban a Kv-szelepjellemző és a nyitási fok közötti összefüggés másodfokú.



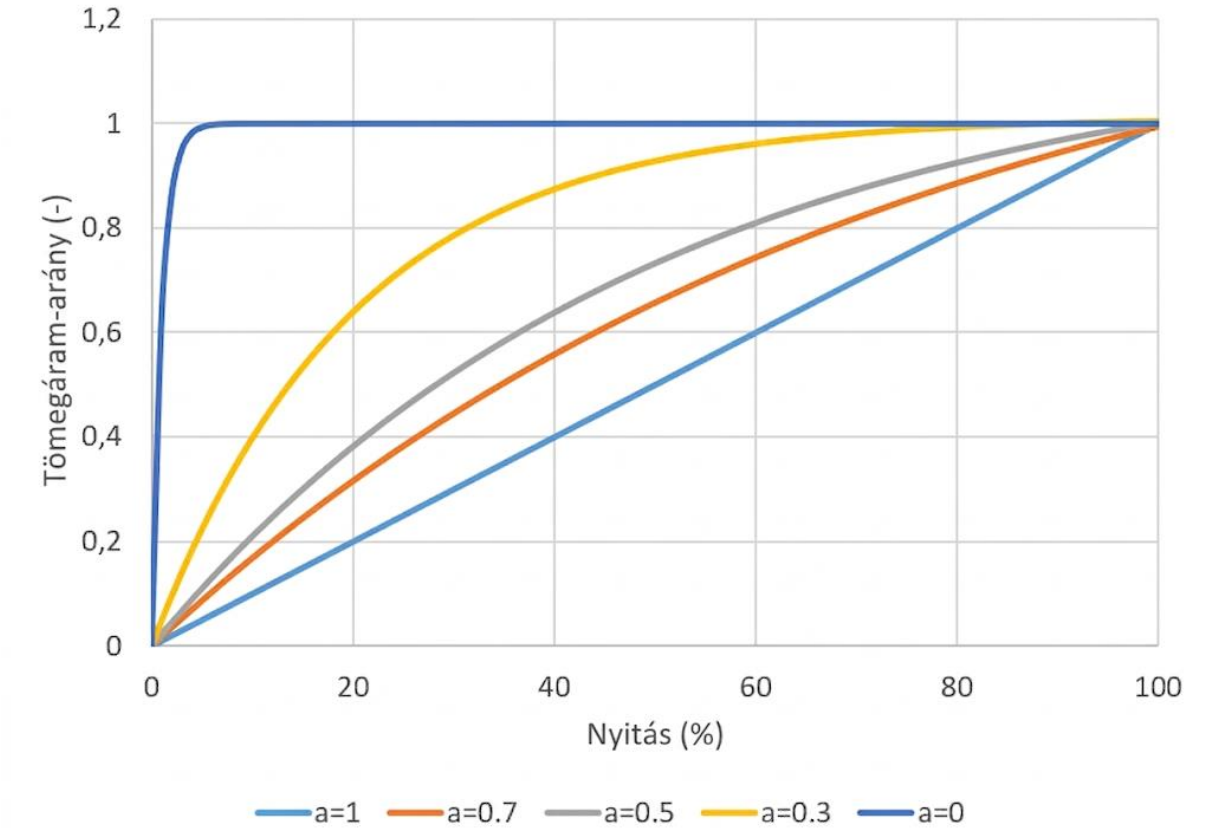
Ábra 51 Szelepjellemzők

A gyakorlatban a Kv-szelepjellemző és a nyitottsági fok közötti összefüggés másodfokú.
Ahhoz, hogy egy szelep hatékony legyen, jelentős nyomásveszteséget kell okoznia az általa szabályozott hálózat teljes nyomásveszteségéhez képest. Ezt a hatékonyságot nevezzük szelepautoritásnak:

$$a = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_v + \Delta p_c}$$

Ahol a szelepautoritás jelölése a megadott szimbólum, Δp_v a teljesen nyitott szelep nyomásvesztesége (Pa), Δp_c pedig a szabályozandó hálózat nyomásvesztesége (Pa). Minél

nagyobb az autoritás, annál inkább a specifikációjának megfelelően működik a szelep. Ha az autoritás értéke közel áll a nullához, a szelep kétállású (nyit/zár) szelepként működik (lásd az 54. ábrát).



Ábra 52 A szelep hatóságának hatása a szelep jellemzőire

Hőcserélőben vagy radiátorban az átadott teljesítmény nem arányos a tömegárammal. Ezért a pontosabb és stabilabb szabályozás érdekében nemlineáris jelleget kell bevinni a szabályozási körbe (a szelep vagy a szabályozó szintjén). Mivel a hőleadókhoz gyakran arányos (azaz lineáris) szabályozókat alkalmaznak, a szelep karakterisztikájának nemlineárisnak kell lennie. Két megoldás lehetséges: Kis szelepautoritású lineáris szelep, vagy nagy szelepautoritású egyenszázalékos szelep. A gyakorlatban a 0,3 és 0,7 közötti hatásfokú, egyenszázalékos karakterisztikájú szelep alkalmazása az előnyös.

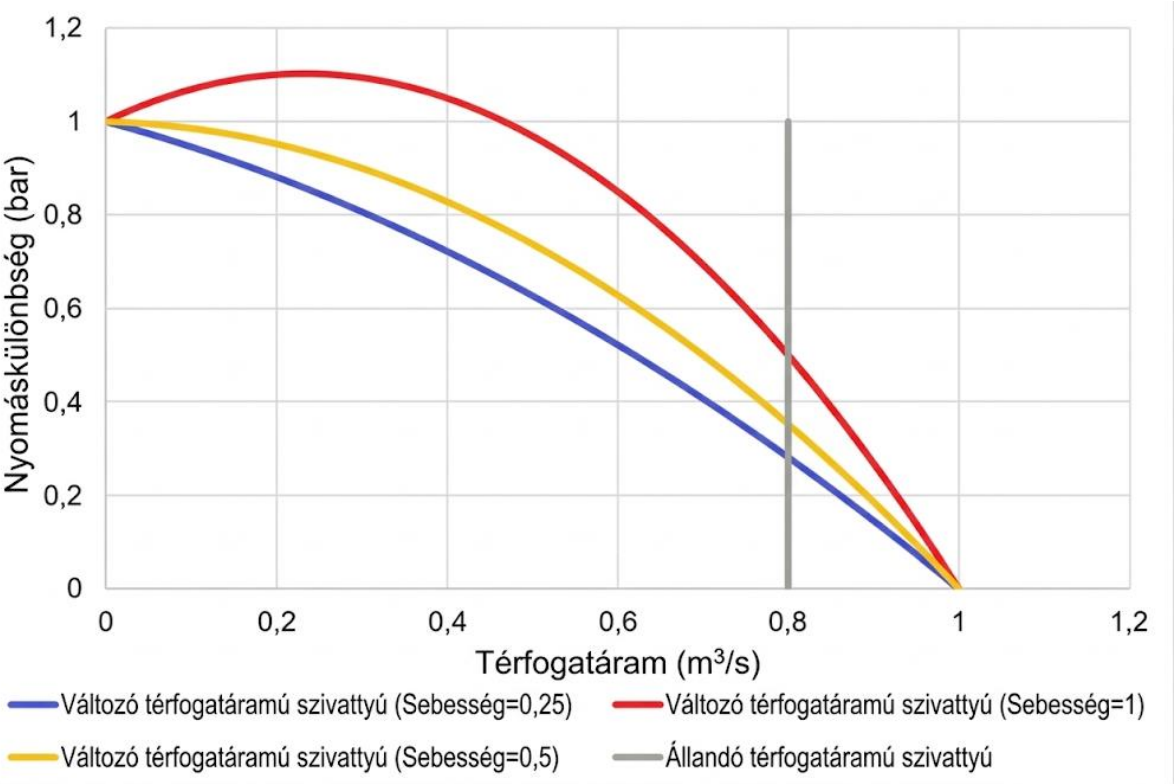
iii. Szivattyú

A szivattyú olyan hidraulikus berendezés, amely lehetővé teszi a folyadékok keringetését. Az épületoldali hidraulikus hálózatokban kizárólag centrifugálszivattyúkat alkalmaznak. A centrifugálszivattyú forgó mozgás átadásával gyorsítja fel a folyadékot, ezáltal bizonyos mértékű hidraulikus teljesítményt közölve vele. A szivattyút úgy kell méretezni, hogy képes legyen biztosítani a szükséges maximális térfogatáramot, ugyanakkor leküzdje a hálózat teljes nyomásveszteségét. A szivattyú által felvett villamos teljesítmény az alábbi képlettel fejezhető ki:

$$P_{szivattyú} = \frac{V \cdot \Delta p_c}{\eta}$$

Ahol P_pump a szivattyú által felvett villamos teljesítmény (W), V̇ a térfogatáram (m^3/s), Δp_c a teljes nyomásveszteség (Pa), η pedig a szivattyú hatásfoka.
Az épületoldali hálózatban háromféle szivattyút alkalmaznak (lásd az 55. ábrát):

- Állandó térfogatáramú szivattyú
- Változtatható térfogatáramú, állandó fordulatszámú szivattyú
- Változtatható fordulatszámú szivattyú

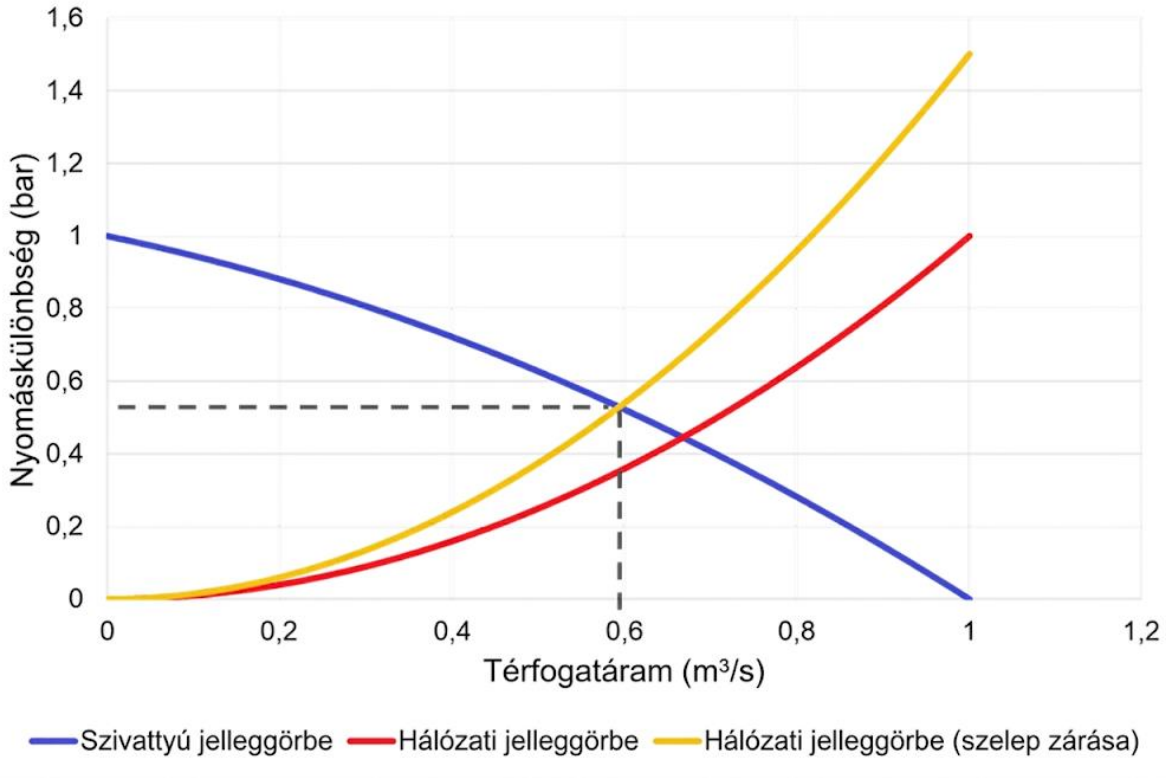


Ábra 53 Szivattyú jellemzőinek példája

Az állandó térfogatáramú szivattyú a leküzdendő nyomásveszteségtől függetlenül azonos térfogatáramot biztosít a hálózat számára. A szivattyú fordulatszámát úgy szabályozzák, hogy az bármely időpontban azonos térfogatáramot szolgáltasson. Ezt a rendszert – háromjáratú szelepekkel kombinálva – ma is alkalmazzák épületek elosztóhálózataiban; bár a megoldás telepítése és beszabályozása egyszerű, a szivattyú hidraulikai szempontból kedvezőtlen üzemállapotát eredményezi.
Az állandó fordulatszámon üzemelő, változó térfogatáramú szivattyú egy meghatározott jelleggörbe mentén működik, amelynél a Δp_c nyomásveszteség a térfogatáram függvénye, mégpedig az alábbihoz hasonló polinom-összefüggés révén:

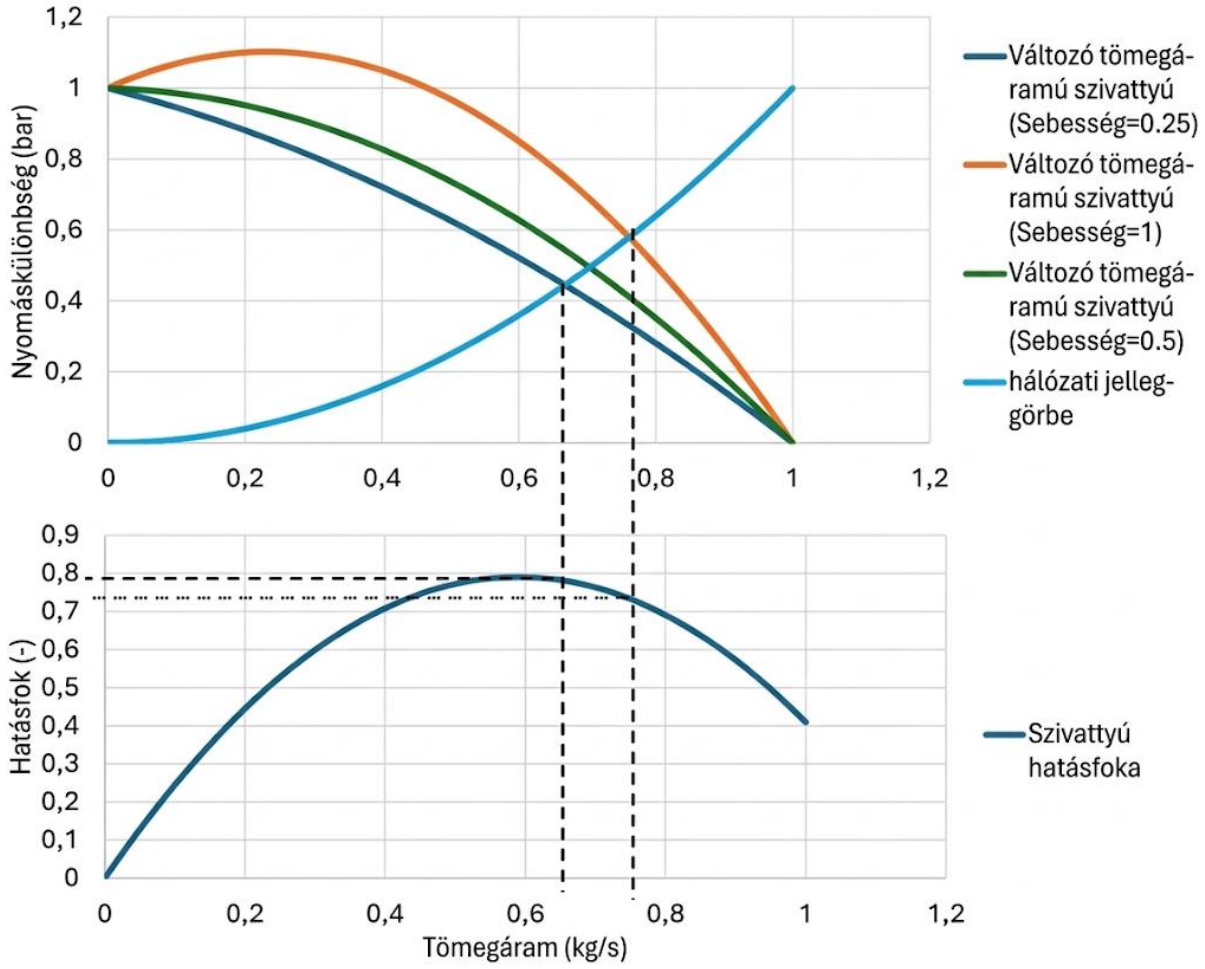
$$\Delta p_c = A\,\dot{m}^2 + B\,\dot{m} + C$$

Ahol A, B és C a szivattyú gyártója által megadott paraméterek. A teljes hálózat a szivattyúkarakterisztika és a hálózatkarakterisztika (az összes – vonalmenti és helyi – nyomásveszteség térfogatáram szerinti alakulása) metszéspontjában fog üzemelni (lásd az 56. ábrát).



Ábra 54 Szivattyú- és hálózatjellemzők példája

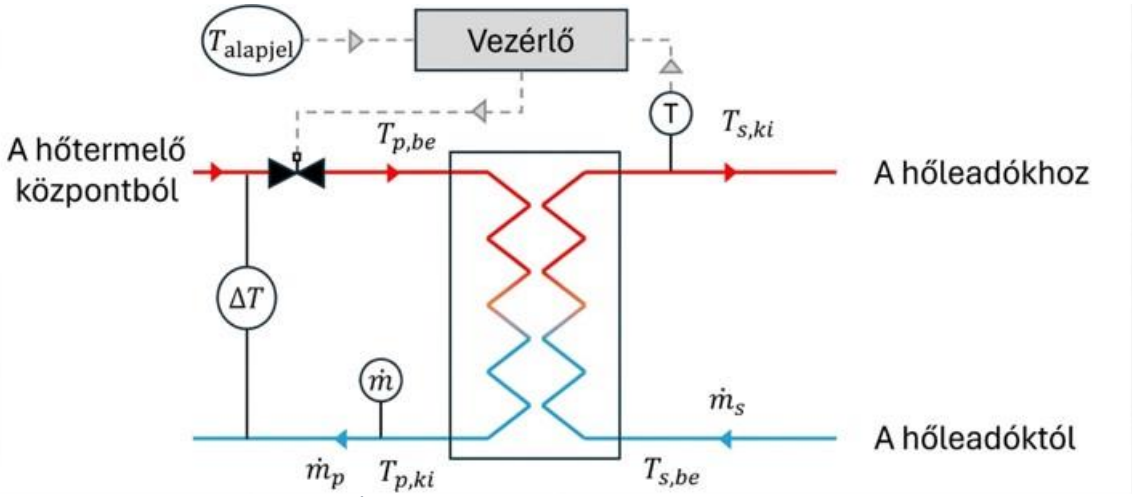
A rendszer hatásfokának javítása érdekében változtatható fordulatszámú szivattyú is alkalmazható. Első közelítésben – minden szivattyú esetében – a térfogatáram arányos a fordulatszámmal, a nyomásveszteség a fordulatszám négyzetével, az elektromos teljesítmény pedig a fordulatszám köbével arányos. Emellett a szivattyú hatásfoka is függ a fordulatszámtól. Így a fordulatszám módosításával – azonos hidraulikai teljesítmény mellett – javítható a szivattyú hatásfoka (lásd az 57. ábrát). A szivattyú valójában a korábban meghatározott különböző polinomiális görbék mentén üzemelhet (lásd az 57. ábrát).



Ábra 55 Szivattyú jelleggörbék példái és változó fordulatszámú szivattyú

5. Hőközpont és szabályozás

Ez a rész a hőközponttal és annak szabályozásával foglalkozik. Ismerteti a hőközpont felépítését és működését, valamint a hőközpontok leggyakoribb architektúráját.



Ábra 56 Hőközpont (Hőközpont) sematikus ábrája.

A hőközpont az Primer és a Szekunder hálózat közötti csatlakozási ponton elhelyezkedő egység. Lehetővé teszi a két hálózat hidraulikai szétválasztását, így azok eltérő hőmérsékleten és nyomásszinten üzemelhetnek. A hőközpont alkalmas a Szekunder hálózat felé irányuló teljesítmény és hőmérséklet szabályozására, valamint a hőfogyasztás mérésére és kiértékelésére. A hőközpont négy fő elemből áll (lásd az 58. ábrát):

- Egy vagy két hőcserélő…
- Szabályozószelep a Primer oldalon az átfolyási mennyiség szabályozására
- Szekunder hőmérséklet-érzékelő és vezérlőegység a szelep szabályozására
- Hőmennyiségmérő a hőfogyasztás mérésére

a. Hőcserélő

A hőközpontokban a hőcserélők kulcsfontosságú elemek, mivel lehetővé teszik a primer és a szekunder hálózat hidraulikai szétválasztását, valamint a szükséges teljesítmény átadását. Egyetlen hőközpontban egy vagy több hőcserélő is alkalmazható a helyiségfűtés vagy a használati melegvíz-ellátás biztosítására, illetve a rendszerek teljesítményének javítására. A hőcserélők hatásfoka a legfontosabb figyelembe veendő tényező a Primer kör visszatérő hőmérsékletének csökkentése, és ezáltal a távhőhálózat teljesítményének javítása érdekében. Rendszerint lemezes hőcserélőket (lásd az 59. ábrát) alkalmaznak ellenáramú elrendezésben, mivel ezek kompaktabbak és hatékonyabbak más típusú hőcserélőknél.



Ábra 57 Példa egy Hőközpontokon használt lemezes hőcserélőre

Egy hőcserélőnek elvileg tökéletes hatásfokkal kellene működnie, azaz az egyik közeg által leadott teljesítményt teljes egészében a másik közegnek kellene felvennie. Ennélfogva a hőcserélő által átadott teljesítmény a következőképpen írható fel:

$$Q = m_p \cdot C_p \cdot \left(T_{p,be} - T_{p,ki}\right) = m_s \cdot C_p \cdot \left(T_{s,ki} - T_{s,be}\right)$$

A hőcserélő méretezése során a lehető legnagyobb hatásosság elérésére törekednek, azaz arra, hogy a hatásosság közelítsen az 1-hez. Az E hatásosság meghatározása a következő:

$$E = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{Q}{min\left(m_p C_p; m_s C_p\right) \cdot \Delta T_{max}}$$

Ahol Q̇_max (W) az a maximális teljesítmény, amelyet a hőcserélő át tud adni, ha a hőátadó felület végtelen nagy,

ΔT_max (°C) pedig a két közeg közötti legnagyobb hőmérséklet-különbség.
Ennek megfelelően a hatásfok a következőképpen fejezhető ki:

$$E = \frac{Q}{min(m_p C_p; m_s C_p) \cdot (T_{p,be} - T_{s,be})}$$

Tervezési állapotban a cél a lehető legmagasabb – jellemzően 0,90 és 0,95 közötti – hatásfok elérése. Valóban, minél közelebb áll a hatásfok az 1-hez, annál kisebb a „pinch" (a minimális hőmérséklet-különbség). A pinch a két közeg közötti legkisebb hőmérséklet-különbséget jelöli. Távhőhálózatokban alkalmazott ellenáramú hőcserélők esetében ez az érték rendszerint a primer oldal kilépő hőmérséklete és a szekunder oldal belépő hőmérséklete közötti különbségnek felel meg.

$$Pinch = T_{p,ki} - T_{s,be}$$

A távhőhálózat-üzemeltetők rendszerint úgy tervezik meg a hőcserélőt, hogy a hőmérséklet-különbség (pinch) értéke 1 legyen (azaz az Primer kör visszatérő hőmérséklete a lehető legalacsonyabb legyen). Mivel a Szekunder kör hőmérsékleteit a hőleadók határozzák meg, így azok pontosan ismertek, az 1-es értékű hőmérséklet-különbség, az üzemeltető által beállított Primer előremenő hőmérséklet és a szükséges maximális teljesítmény ismeretében a UA hőátadási tényező az alábbi módon számítható ki:

$$\dot{Q} = UA\, \Delta TLM$$
$$\Delta TLM = \frac{T_a - T_b}{ln(T_a/T_b)}$$
$$T_a = max(T_{p,be} - T_{ski}; T_{p,\mathrm{ki}} - T_{s,\mathrm{be}})$$
$$T_b = min(T_{p,be} - T_{s,\mathrm{ki}}; T_{p,ki} - T_{s,\mathrm{be}})$$

A felületi hőátadási tényező (U) a Dittus–Boettler-összefüggés segítségével határozható meg:

$$U = \left(\frac{1}{h_p} + \frac{e}{\lambda_a} + \frac{1}{h_s}\right)^{-1}$$
$$Nu = 0.023\, Re^{0.8}\, Pr^{0.4} = \frac{h d_h}{\lambda_w}$$
$$Re = \frac{\rho\, v\, d_h}{\mu} \qquad Pr = \frac{Cp\, \mu}{\lambda_w}$$

ahol h_p és h_s rendre az Primer és a Szekunder oldal konvektív hőátadási tényezője (W/K/m²),
e a lemez vastagsága (m),
λ_a és λ_w rendre a lemez és a víz hővezetési tényezője (W/K/m),
Nu a Nusselt-szám,
Re a Reynolds-szám,
Pr a Prandtl-szám,
d_h a hidraulikus átmérő (m) (itt a két lemez közötti térköz),
ρ a sűrűség (kg/m³), v a sebesség (m/s),
μ pedig a dinamikai viszkozitás (Pa·s)

b. Vezérlőrendszer

Az üzemelés során a szükséges teljesítmény és a szekunder oldali előremenő hőmérséklet nem állandó; értékük általában a külső hőmérséklet függvényében változik. Ebből adódóan, ha az primer oldali tömegáram állandó marad, a primer oldali előremenő hőmérséklet növekedése következik be a teljesítményigény csökkenésekor. Ezt a jelenséget el kell kerülni a távhőhálózat általános teljesítményének romlása érdekében. Következésképpen a primer oldali tömegáramot a szekunder oldal igényeihez igazodva kell szabályozni. Ez a hőcserélő primer oldalán elhelyezett szabályozószelep állításával valósítható meg, egy szabályozóegység, egy előremenő hőmérséklet-alapjel-görbe és a szekunder oldali előremenő hőmérsékletet mérő érzékelő alkalmazásával (lásd a 60. és 61. ábrát).



Ábra 58 Vezérlőszelep [12]



Ábra 59 Hőmérséklet-érzékelő [13]

A mért és a beállított Szekunder betáplálási hőmérséklet közötti különbség alapján a vezérlő elrendeli a vezérlőszelep zárását vagy nyitását.

c. Hőmennyiségmérő

A mért és az előírt szekunder előremenő hőmérséklet közötti különbség alapján a szabályozó a szabályozószelep zárását vagy nyitását rendeli el.



Ábra 60 Hőmennyiségmérő [14]

A hőmennyiségmérő két hőmérséklet-érzékelőből – amelyeket az Primer kör előremenő, illetve visszatérő ágában helyeznek el –, egy térfogatáram-mérőből és egy számolóegységből áll.

$$\dot{Q} = \int_0^t \rho Cp\, \Delta T\, dV$$

Ezt a készüléket a fogyasztók felé történő hőelszámolásra használják. Ezért ellenőrizni kell az érzékelők pontosságát. Az EN 1434-1 [15] európai szabvány szerint a 2. pontossági osztályba tartozó (Használati használatra és kültéri telepítésre szánt) Hőmennyiségmérők érzékelőire vonatkozó maximális mérési bizonytalanságok az alábbiak:

$$E_f = \pm \left(2 + 0{,}02\ \frac{q_{max}}{q}\right) \text{ in } \%\ \ a\ 2.\ pontossági\ osztályú\ áramlásmérő\ esetében$$

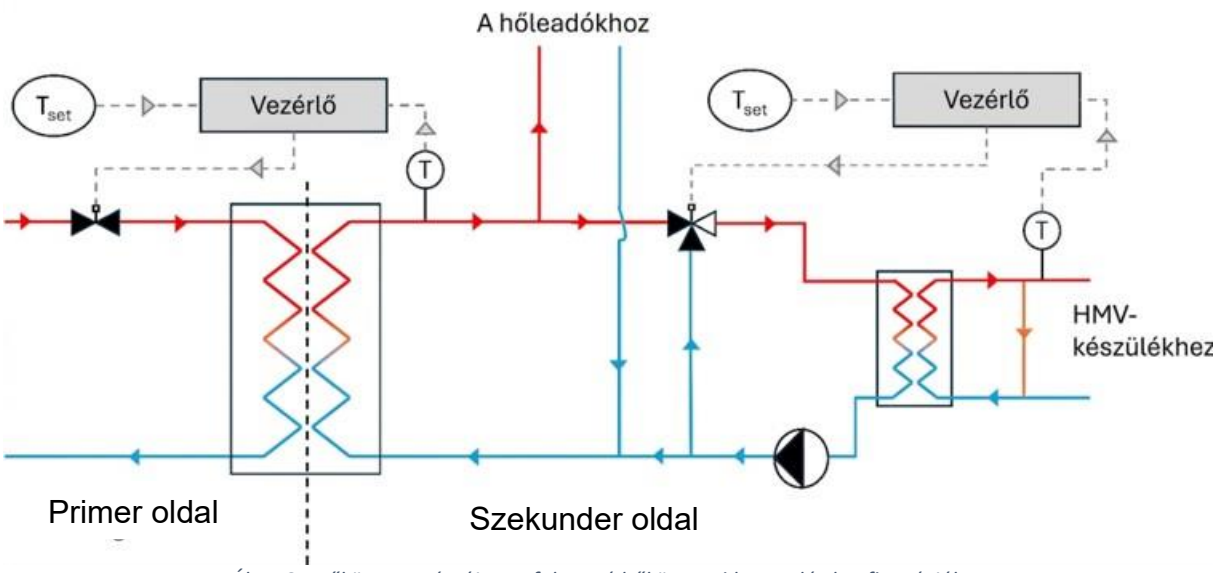
$$E_t = \pm \left(0{,}5 + 3\ \frac{\Delta T_{min}}{\Delta T}\right) \text{ in } \%\ a\ hőmérséklet - érzékelők\ számára$$

d. Hőközpont architektúrája

Miután minden alkatrészt megterveztek, a globális hőközpont architektúráját kell beállítani. Mivel a hőközpont általában térfűtést és használati melegvizet biztosít, legalább két hőcserélőt használnak egyetlen hőközpontban. Ezért széles körben használják a különböző hőközpont hidronikai architektúráit.

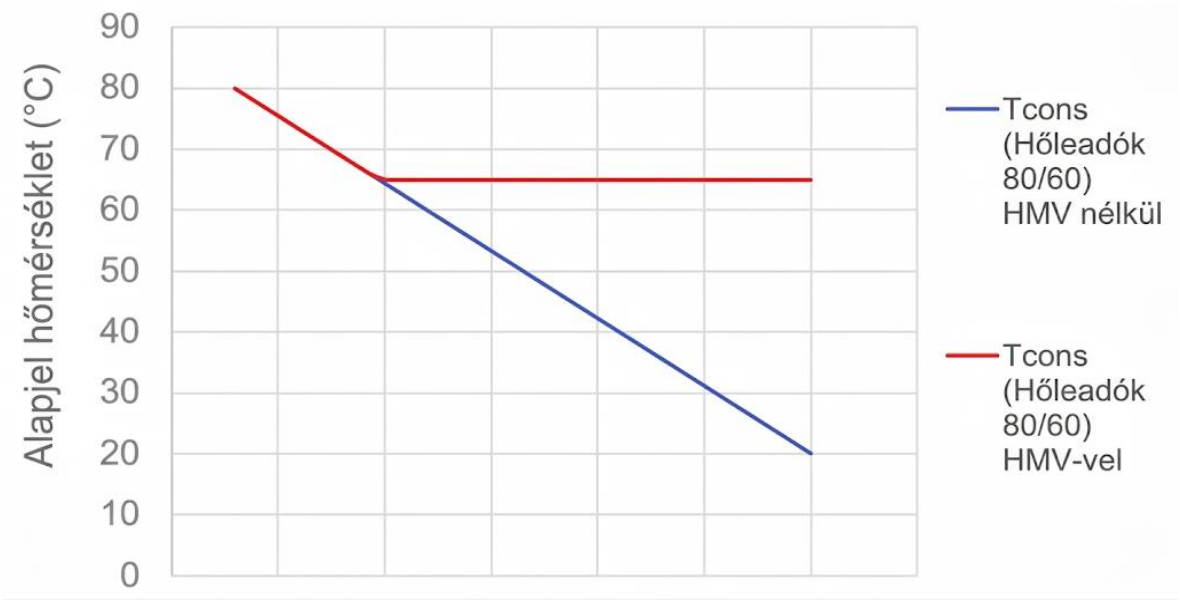
i. Az Egyfokozatú hőközponti kapcsolás konfiguráció

Az összes részegység megtervezését követően ki kell alakítani az Hőközpont általános felépítését. Mivel a hőközpontok jellemzően helyiségfűtést és használati melegvíz-ellátást biztosítanak, egyetlen hőközponton belül legalább két hőcserélőt alkalmaznak; emiatt a hőközpontok hidraulikai felépítésének számos különböző változata terjedt el.



Ábra 61 Hőközpont sémája Egyfokozatú hőközponti kapcsolás konfigurációban

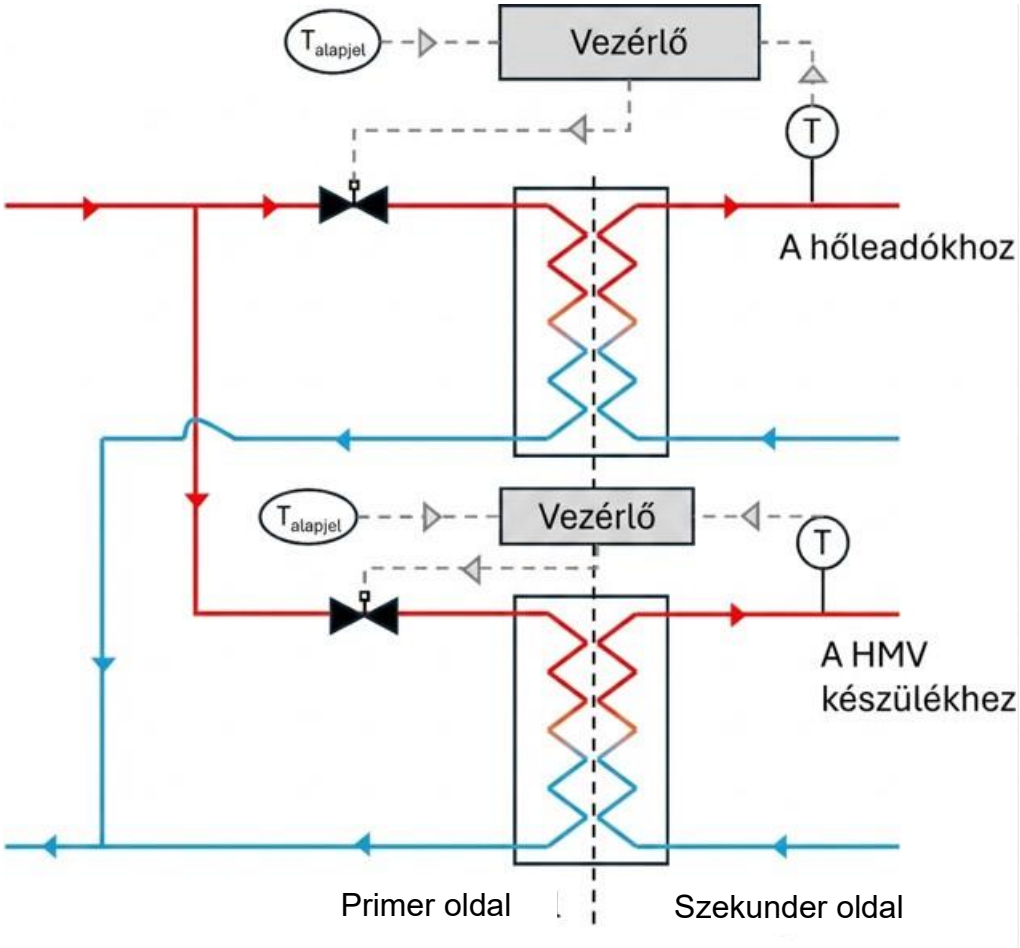
Ez a konfiguráció nem elterjedt, és kevésbé hatékony, mint az alább bemutatott egyéb megoldások. Egyszerűsége ellenére ugyanis a használati melegvíz-ellátás érdekében a rendszer hőmérséklete ebben az esetben mindig eléri vagy meghaladja a 60 °C-ot. Ez magasabb primer visszatérő hőmérsékletet eredményez (lásd a 64. ábrát).



Ábra 62 Szekunder tápegység hőmérséklet-beállítása a kültéri hőmérséklet alapján az Egyfokozatú hőközponti kapcsolás Hőközpont esetében

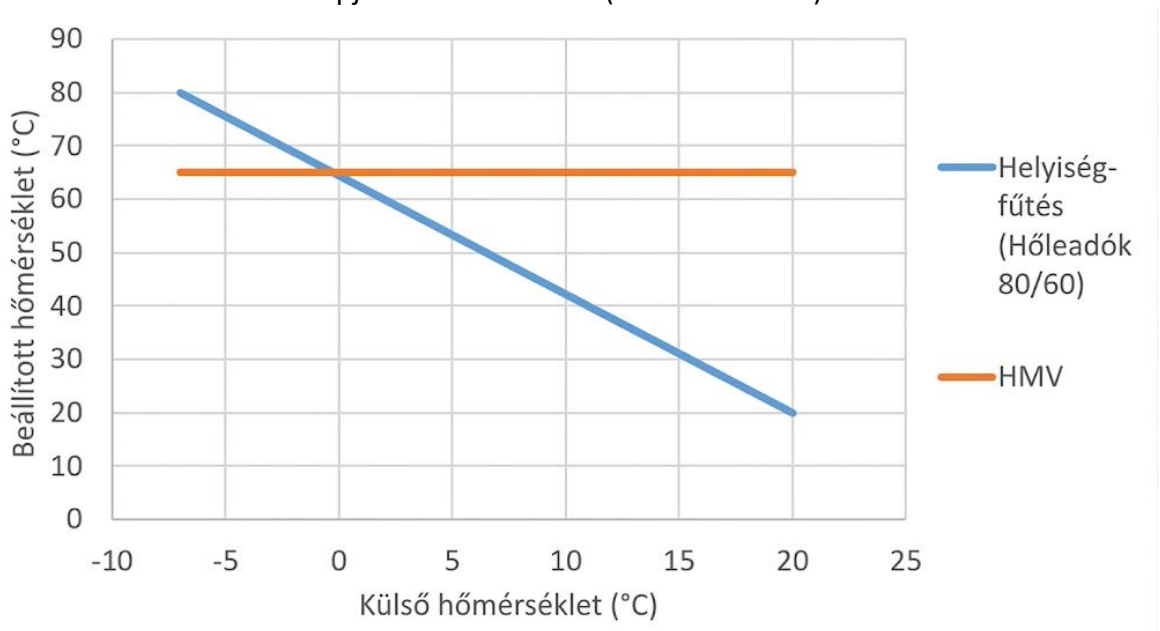
ii. A párhuzamos kapcsolás

A párhuzamos kapcsolású hőközpont a legelterjedtebb kialakítás. Két hőcserélő működik – az egyik a helyiségfűtést, a másik a használati melegvíz-ellátást szolgálja ki –, és mindkettő ugyanarról az azonos hőmérsékletű előremenő vezetékről kapja a hőenergiát (lásd a 65. ábrát).



Ábra 63 Hőközpont párhuzamos konfigurációs sémája

Mindegyik hőcserélő saját vezérlőrendszerrel rendelkezik, amelyek eltérő szekunder oldali előremenő hőmérséklet-alapjelekkel működnek (lásd a 66. ábrát).

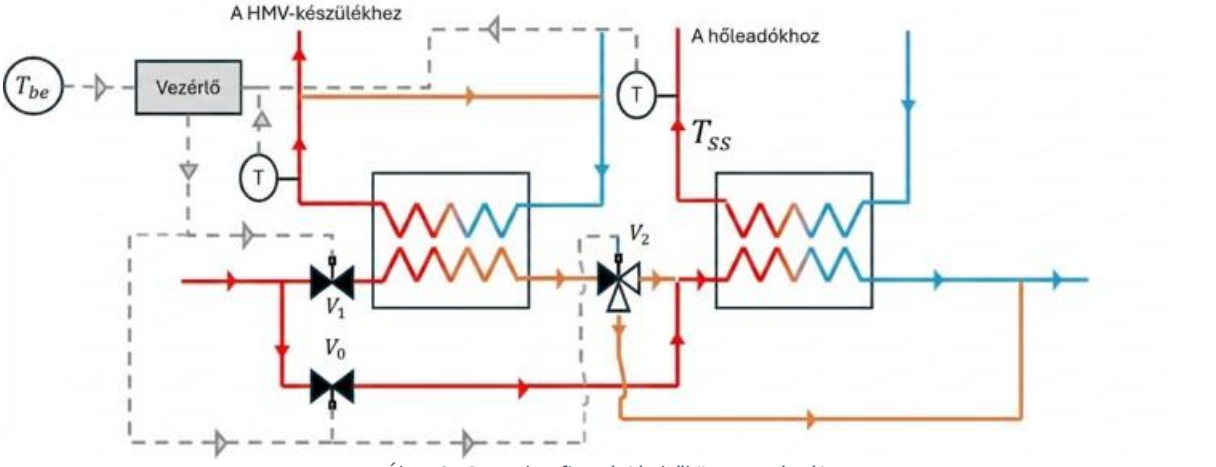


Ábra 64 Szekunder tápegység hőmérséklet-beállítási pont a párhuzamos Hőközpont konfigurációjának kültéri hőmérséklete szerint

Ez a konfiguráció egyszerű irányítható, telepíthető és nem drága.

iii. A Soros (vagy előkötött) hőközponti kapcsolás

A soros elrendezésű hőközpont két hőcserélőből áll, amelyek közül az egyik a helyiségfűtést, a másik pedig a használati melegvíz-ellátást szolgálja. Ez az elrendezés lehetővé teszi, hogy az egyik hőcserélőből kilépő primer visszatérő hőmérsékletű közeget felhasználják a másik hőcserélő igényeinek teljes vagy részleges kielégítésére (lásd a 67. ábrát).



Ábra 65 Soros konfigurációs hőközpont sémája

A helyiségfűtéshez szükséges hőmérséklettől függően a használati melegvíz- (HMV-) hőcserélő vagy ellátja a fűtési hőcserélőt, vagy maga részesül annak ellátásában. A HMV-ellátó hőmérséklet ugyanis 60–55 °C körüli érték. Így, amennyiben a fűtési hőleadók által igényelt hőmérséklet alacsonyabb a HMV-ellátó hőmérsékletnél, a HMV-hőcserélő primer visszatérő ága képes ellátni a fűtési hőcserélőt. Ezzel szemben, ha a fűtési hőleadók igénye magasabb a

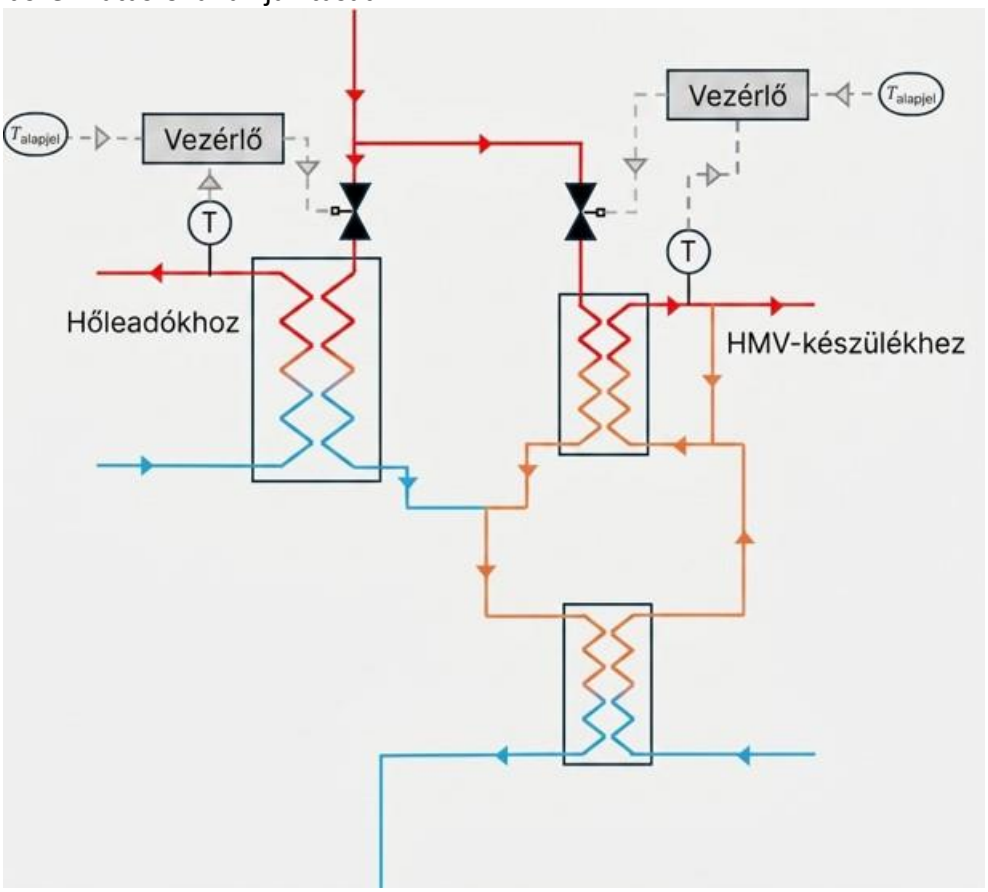
HMV-rendszer hőmérsékleténél, a fűtési hőcserélő visszatérő ága láthatja el a HMV-hőcserélőt.
A 68. ábrán bemutatott kapcsolási séma alapján a soros elrendezés működése a következő:

- Egyidejű használati melegvíz- (HMV) és fűtési igény:
  - Ha T_ss < T_(ss,set), a V_1 szelep nyitva van; először a V_2 szelep nyílik (ellátva a fűtési hőcserélőt), amennyiben ez nem elegendő, a V_0 szelep is kinyílik.
  - Ha T_ss > T_(ss,set), a V_1 szelep nyitva van; először a V_0 szelep záródik, amennyiben ez nem elegendő, a V_2 szelep is bezárul (megkerülve a fűtési hőcserélőt).
- Kizárólag fűtési igény: a V_1 szelep teljesen zárva van, a V_0 szelep kinyílik.
- Kizárólag HMV-igény: a V_0 szelep teljesen zárva van, a V_1 szelep kinyílik.

A soros elrendezés telepítése bonyolultabb a vezérlőrendszer összetettsége miatt.

iv. A Kétfokozatú (vagy soros-párhuzamos) hőközponti kapcsolás

A kétfokozatú kialakítású hőközpont három hőcserélőből áll: kettő – párhuzamosan kapcsolva – a helyiségfűtést, illetve a használati melegvíz-ellátást szolgálja, a harmadik pedig a másik két hőcserélő visszatérő vezetékéhez csatlakozva a használati melegvíz előmelegítését végzi. Ez a konfiguráció lehetővé teszi a primer oldali visszatérő hőmérséklet csökkentését, és ezáltal a távhőrendszer hatásfokának javítását.



Ábra 66 Hőközpont sémája kétfokozatos konfigurációban

A kétfokozatú elrendezés ötvözi a párhuzamos és a Soros (vagy előkötött) hőközponti kapcsolás előnyeit; valóban könnyen telepíthető és szabályozható, emellett csökkenti az Primer kör visszatérő hőmérsékletét. Általában mégis a párhuzamos elrendezést részesítik

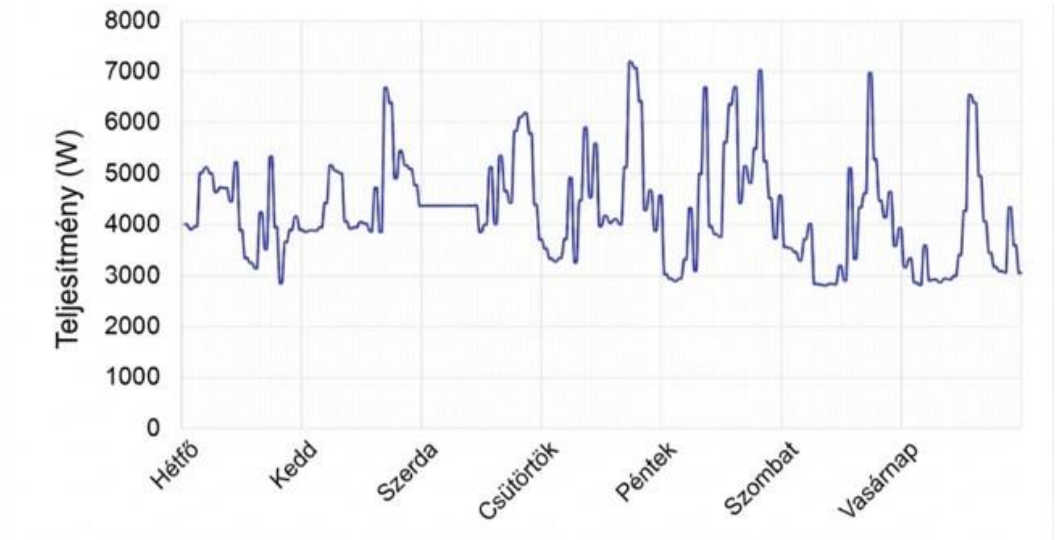
előnyben, mivel a hatásfok-növekedés nem indokolja a harmadik hőcserélő alkalmazásával járó többletköltséget.

6. Primer hálózat

A szekunder hálózat és a hőközpont tervezését követően el kell végezni a primer hálózat méretezését. Ez a fejezet áttekintést nyújt a primer hálózat kiépítésének különféle lehetőségeiről, valamint a csővezetékek tervezésének módjáról.

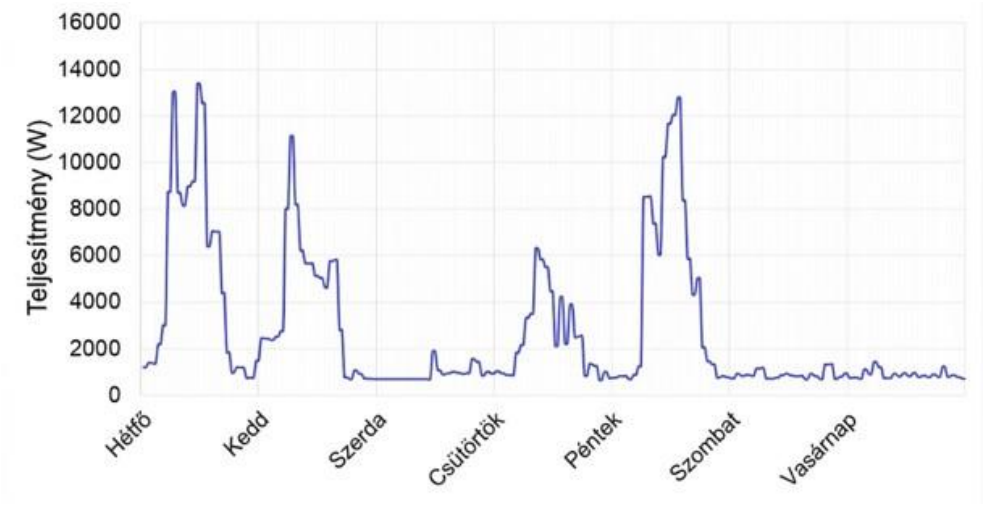
a. Hőterhelési görbék

A távfűtési és távhűtési (DHC) hálózatok gyakran városi környezetben találhatók, és különféle épülettípusokat – például lakóépületeket, iskolákat, irodákat, üzleteket, kórházakat – látnak el. Az egyes épülettípusok fűtési energiaigénye eltérő, amit olyan tényezők befolyásolnak, mint a használati idő, a használati melegvíz-igény, a csúcsfogyasztás stb.
A lakóépületek hőfogyasztását a folyamatos (napi szintű) használat, a jelentős mértékű használati melegvíz-igény, valamint két fogyasztási csúcs – egy reggeli és egy esti – jellemzi (ez az Ile-de-France régióban, egy hideg téli héten mért tipikus terhelési profil; lásd a 69. ábrát).



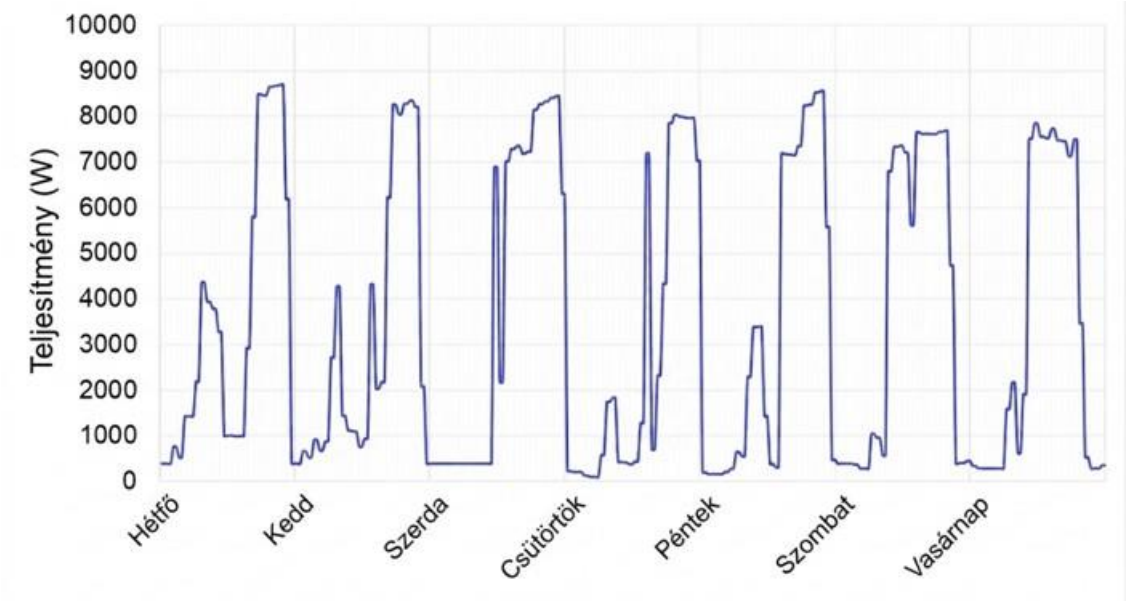
Ábra 67 Tipikus lakóépület-fogyasztási mintázatok

Az iskolák hőfogyasztására jellemző, hogy az épületet csak munkaidőben használják, a fogyasztás pedig reggelente tetőzik az éjszakai csökkentett üzemmód – vagyis a használaton kívüli időszakban alkalmazott alacsonyabb belső célérték – miatt (lásd a 70. ábrát).



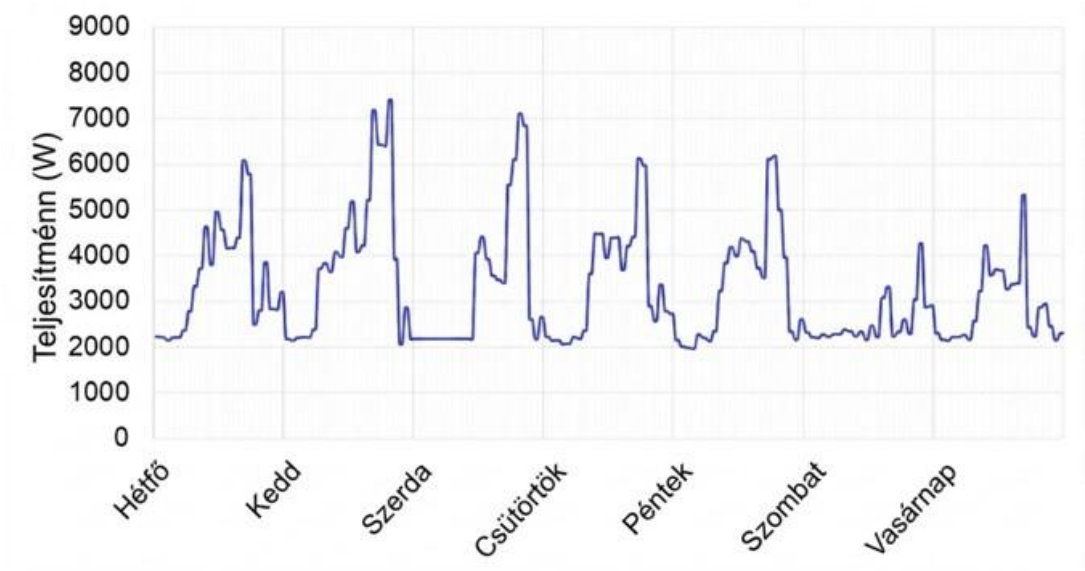
Ábra 68 Tipikus iskolai fogyasztási mintázat

A tornatermi hőfogyasztást a csak napközbeni elfoglaltság, a reggeli és kora délutáni fogyasztási csúcs, valamint a fontos HMV fogyasztás jellemzi (lásd 71. ábra).



Ábra 69 Tipikus tornatermi fogyasztási mintázatok

Az irodaépületek hőfogyasztását a kizárólag munkanapokra korlátozódó használat, valamint az éjszakai csökkentett üzemmód miatti reggeli fogyasztási csúcs jellemzi (lásd a 72. ábrát).

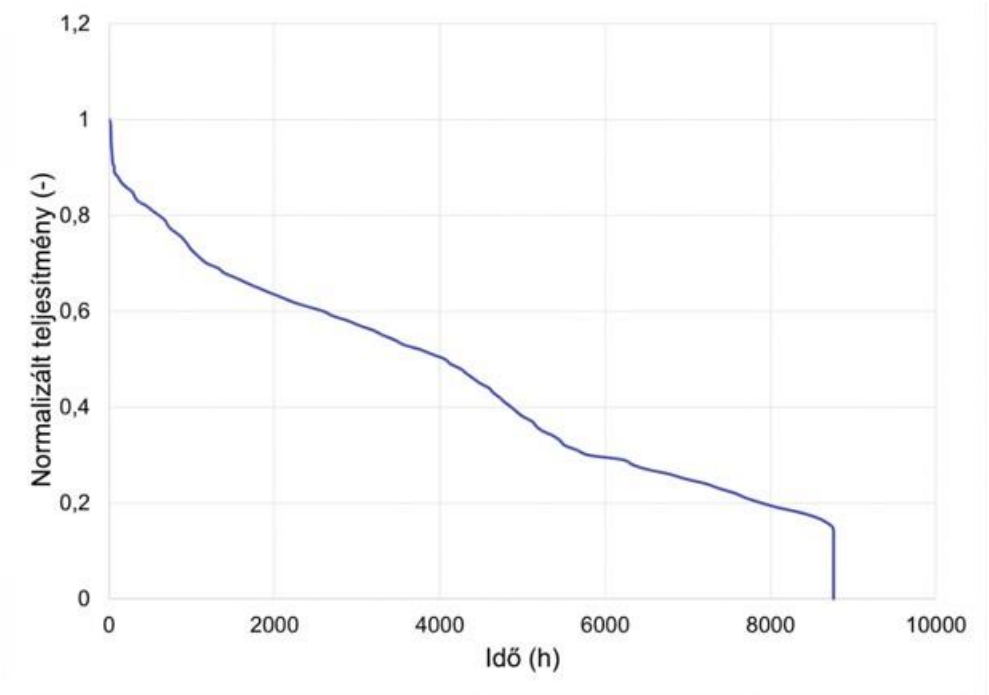


Ábra 70 Tipikus irodaház-fogyasztási szokás hétvégi visszaeséssel.

A hőterhelési mintázatok eltérése arra utal, hogy a távhőhálózatok (DHC) összes hőközpontjában nem egyszerre jelentkezik a fogyasztási csúcs. Ebből adódóan a hálózatok által igényelt összesített csúcsteljesítmény kisebb, mint az egyes hőközpontok csúcsteljesítményeinek összege. Ezt az arányt nevezzük S egyidejűségi tényezőnek:

$$S = \frac{\max \dot{Q}_{tot}}{\sum_i \max \dot{Q}_i}$$

Konkrétan fogalmazva, az alacsony egyidejűségi tényező csökkenti azt a csúcsteljesítményt, amelyet a távhő- és távhűtési (DHC) hálózatnak fedeznie kell. Ez lehetővé teszi a hőtermelő rendszerek méretének és költségeinek csökkentését (az egyedi rendszerekhez képest), miközben javul a fűtési hálózat teljesítménye és fenntarthatósága.
A hőtermelő rendszerek méretezéséhez egy hagyományos eszközt, az úgynevezett hőigény-időtartam görbét alkalmazzák. Ezzel az eszközzel kiszámítható, hány órán keresztül haladja meg az igény az adott teljesítményszintet egy évben. A hőigény-időtartam görbe (lásd a 73. ábrát) segítségével elkülöníthető a csúcsigény (kevés óra, nagy teljesítmény) az alapterheléstől (alacsonyabb teljesítmény, sok óra). A távfűtési és távhűtési hálózatokban a csúcsigényt rendszerint gázkazánok vagy tartalék egységek, az alapterhelést pedig megújuló energiaforrások vagy hulladékhő révén fedezik. Így ez az eszköz megkönnyíti az optimális energiamix – és ezzel együtt a leghatékonyabb, legköltséghatékonyabb rendszerek – kiválasztását az igényelt teljesítmény és az üzemórák függvényében.

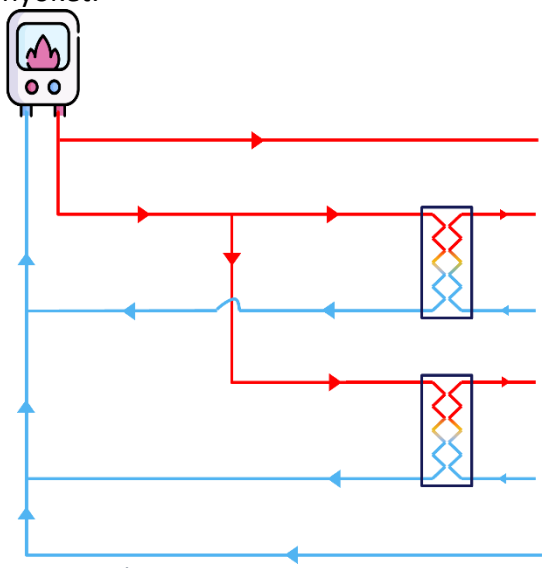


Ábra 71 Hőterhelési görbe példája

b. Primer csövek

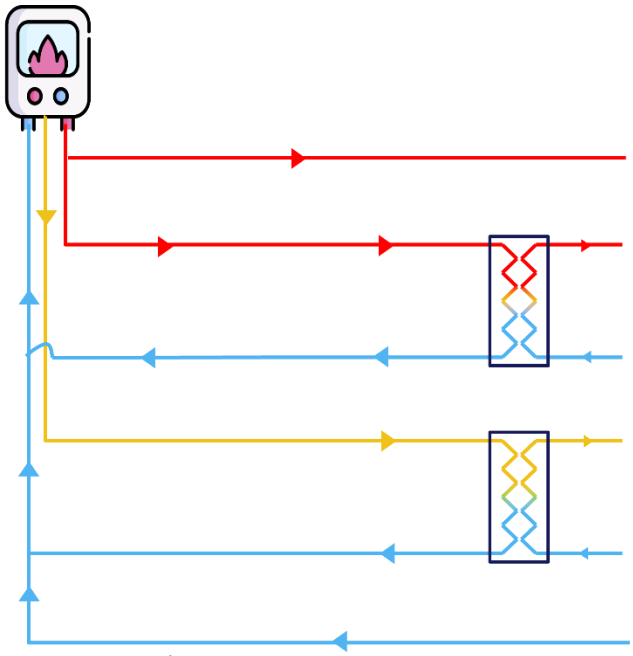
A primer csővezetékek alapvető feladata a meleg víz szállítása a hőtermelő üzemből a hőközpontokba, valamint a hideg víz visszaszállítása az ellenkező irányba. A választott stratégiától függően azonban a primer hálózat kialakítása bonyolultabbá is válhat, amennyiben eltérő hőmérsékletű közeget szállító csővezetékeket alkalmaznak.

A használati melegvíz-ellátás és a helyiségfűtés biztosítására általában az alapvető, kétcsöves megoldást alkalmazzák. A csővezetékek párhuzamosan futnak: az egyik az előremenő meleg vizet, a másik pedig a visszatérő vizet szállítja (lásd a 73. ábrát). Ez a legolcsóbb és legegyszerűbb kialakítás. Az előremenő hőmérsékletet úgy állítják be, hogy az megfeleljen a hőközpontokban szükséges legmagasabb hőmérsékleti igénynek. Ha a távhőhálózathoz olyan hőközpontok is csatlakoznak, amelyek alacsonyabb hőmérsékletet igényelnek, az ellátás ugyan megfelelő lesz, ám a hálózat működése nem tudja kihasználni az alacsony visszatérő hőmérséklet nyújtotta előnyöket.



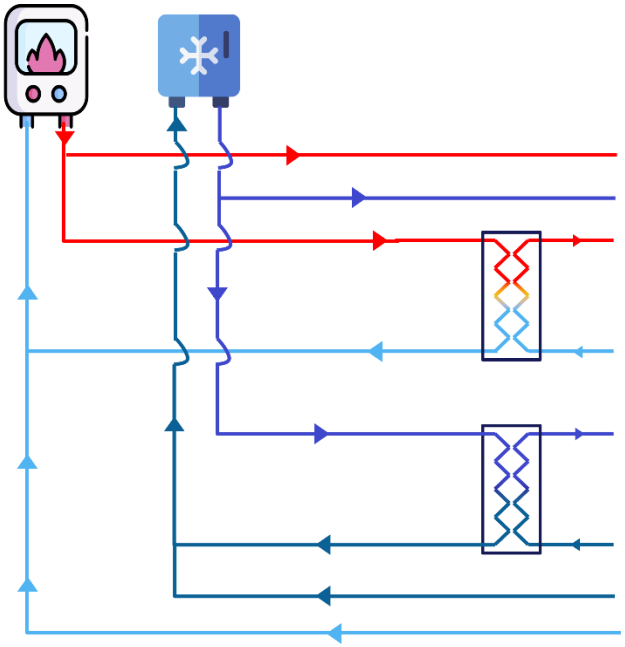
Ábra 72 Két csöves konfiguráció

A távhűtési távfűtési hálózat teljesítményének javítása érdekében az előző rendszerhez párhuzamosan egy harmadik csőkészlet is hozzáadható, amely eltérő hőmérsékletű hőellátást biztosít. Például egy cső a helyiség fűtésére vagy melegvíz ellátására, egy másik külön cső pedig az Hőközpont ellátására, amely csak alacsony hőmérsékletű sugárzókkal van összekötve (lásd 74. ábra). Ez a konfiguráció a telepítés szempontjából a legdrágább, de lehetővé teszi a csövek hőveszteségének csökkentését.



Ábra 73 Háromcső konfiguráció

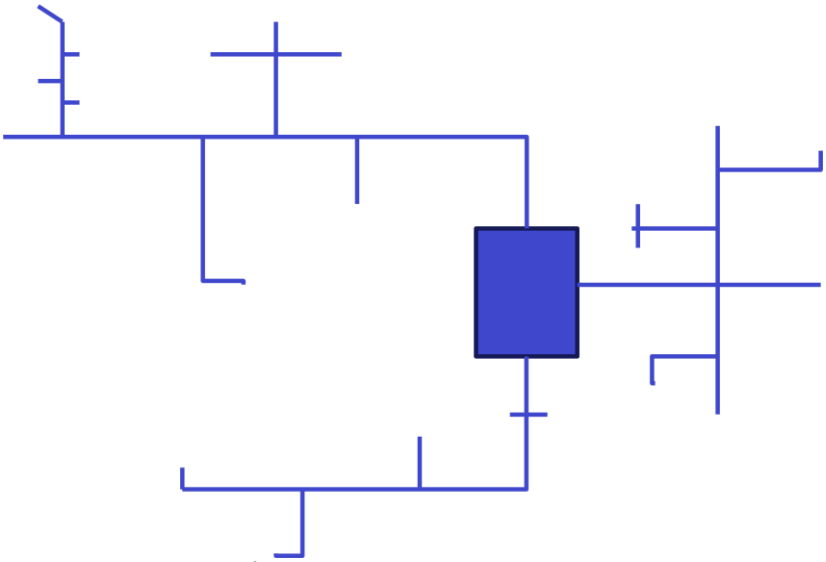
A helyiségfűtést, használati melegvíz-ellátást és helyiséghűtést is biztosítani képes távhő- és hűtési (DHC) hálózatok esetében párhuzamosan vezetett négycsöves kialakítást alkalmaznak (lásd a 75. ábrát). Ebben a rendszerben két cső szolgálja ki a fűtési igényt (egy a meleg előremenő, egy pedig a meleg visszatérő ág számára), a másik két cső pedig a hűtési igény kielégítésére szolgál (egy a hideg előremenő, egy pedig a meleg visszatérő ág számára). Így valamennyi igény egyidejűleg kielégíthető.



Ábra 74 Négycsöves konfiguráció

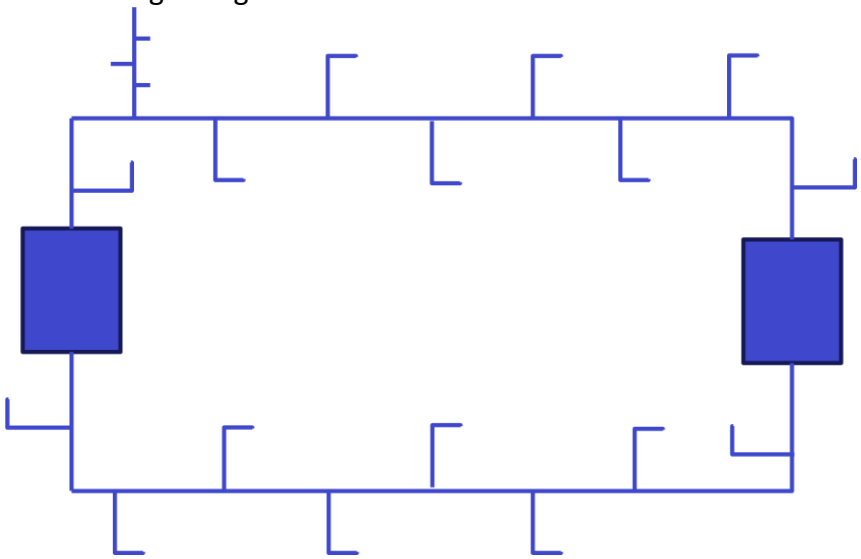
A DHC-hálózatban a csővezetékek számának meghatározását követően ki kell jelölni a hálózat szerkezetét. Háromféle szerkezet lehetséges: a sugaras, a hurok- és a hálós (vagy rácsos) elrendezés.

A sugaras szerkezet a legegyszerűbb és legelterjedtebb megoldás; ez egyetlen központi hőtermelő létesítmény és a fogyasztói Hőközpontok összekapcsolásából áll (lásd a 77. ábrát). A hálózat nyomvonala általában követi az úthálózat vonalvezetését. Ez a szerkezet lehetővé teszi az Primer hálózat hosszának és beruházási költségének csökkentését. Ugyanakkor – a jelentős hőveszteség miatt – nem alkalmas hosszú hálózatok kialakítására.



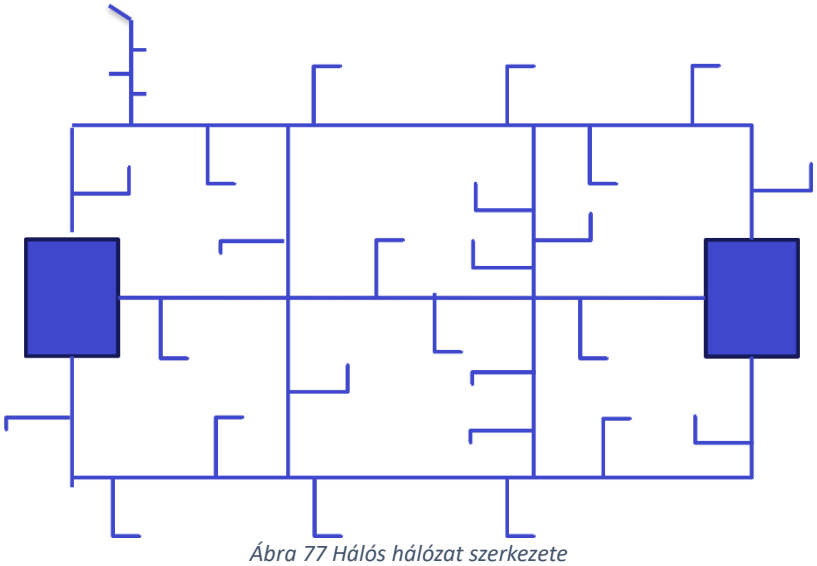
Ábra 75 Radiális hálózat szerkezete

Hosszú hálózatok esetében a hurokrendszerű kialakítás előnyös. Ez a struktúra több hőtermelő létesítménynek a hőközponttal való összekapcsolásából áll, hurok kialakításával (lásd a 78. ábrát). Kiépítése költségesebb a sugárirányú elrendezésnél, ugyanakkor lehetővé teszi a hőellátás biztonságának garantálását.



Ábra 76 Hurkos hálózatszerkezet

Hosszú hálózatok esetében hálós (meshed) struktúra is alkalmazható. Ez hasonlóan működik a hurokrendszerű struktúrához, azzal a különbséggel, hogy a hőközpont és a hőtermelő üzem összekapcsolására több útvonal is igénybe vehető (lásd a 79. ábrát). Ezt a struktúrát korábban olyan, nagy népsűrűségű városok hálózataiban alkalmazták, mint Párizs, Stockholm vagy Berlin. Napjainkban azonban már nem használják, mivel üzemeltetése nehézségekbe ütközik.



Ábra 77 Hálós hálózat szerkezete

Hivatkozások

[1] AFNOR, "Energy performance of buildings- Method for calulation of the design heat load- EN 12831," 2017.

[2] ICEB, "Asso ICEB," [Online]. Available: https://www.asso-iceb.org/communique/ponts-thermiques-non-traites-sante-negligee/. [Accessed 01 04 2026].

[3] F. m. o. U. P. a. Housing, "Legifrance," March 1982. [Online]. Available: https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000862344/. [Accessed 01 04 2026].

[4] "IEE Project TABULA/EPISCOPE," 2009-2016. [Online]. Available: https://episcope.eu/iee-project/.

[5] Pouget Consultants, "Bâtiments résidentiels - Typologie du parc existant et solution exemplaire pour la rénovation énergétique en France," Projet TABULA/EPISCOPE, 2015.

[6] T. Csoknyai, S. Hrabovszky-Horvàth, M. Seprodi-Egeresi and G. Szendro, "National typology of residential buildings in Hungary," Project TABULA/EPISCOPE, 2015.

[7] AICVF, Calcul des charges de climatisation et conditionnement d'air, Edition Pyc livres, 1998.

[8] G. Baeckroot and J. Cadoret, Mode de calcul des installations d'eau chaude sanitaire, EDIPA, 2011.

[9] AFNOR, "Radiators and convectors - Part 2: Test methods and rating - EN 442-2," 2014.

[10] AFNOR, "Thermal performance of buildings - Heat transfert wia the ground- Calcularion methods- EN ISO 13370," 2017.

[11] AFNOR, " Heating systems in buildings- Design for water-based heating systems NF EN 12828 + A1;2014," 2014.

[12] Sectoriel, "Sectoriel robinetterie industrielle," [Online]. Available: https://www.sectoriel.com/fr/kd-12-vanne-de-regulation-2-voies-pneumatique-inox-pn40.html. [Accessed 01 04 2026].

[13] Danfoss, "Danfoss," [Online]. Available: https://www.danfoss.com/fr-fr/. [Accessed 2026 04 01].

[14] Itron, "Itron," [Online]. Available: https://na.itron.com/. [Accessed 01 04 2026].

[15] AFNOR, "Thermal energy meters - part 4 Pattern approval tests - EN 1434-4," 2022.

[16] AFNOR, "Energy performance of buildings - Mathod for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 3: Space distribution systems- EN 15316-3," 2017.