DIPLOMADOLGOZAT

Jakab Ferdinánd

2024.

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Műszaki Intézet
Létesítménymérnök mesterképzési szak

PTVM forróvízkazán energiahatékonyabb megoldása füstgázhőcserélővel

Belső konzulens:	**Hermanucz Péter** egyetemi tanársegéd
Belső konzulens intézete:	Műszaki Intézet, Épületgépészeti és Energetikai Tanszék
Külső konzulens:	**Pap Gábor** gépészmérnök
Készítette:	**Jakab Ferdinánd**

Gödöllő
2024.

MŰSZAKI INTÉZET

LÉTESÍTMÉNYMÉRNÖK MESTERSZAK
Létesítményüzemeltető-energetikus

DIPLOMADOLGOZAT

feladatlap

Jakab Ferdinánd *(MAS9XV)*

részére

A diplomadolgozat címe:

PTVM forróvízkazán energiahatékonyabb megoldása füstgázhőcserélővel

Feladatkiírás:

Az erőmű rendszereinek és szinergiáinak kihasználásával tervezzen hatékonyabb és fenntarthatóbb energiamegoldást. Modernizálja az erőművet olyan technológiával, amely hatékonyabbá teszi az energiatermelést és csökkenti a káros kibocsátásokat.

Közreműködő tanszék: Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Külső konzulens: *Pap Gábor gépészmérnök*, Csepeli Erőmű Kft., 1211 Budapest, Színesfém u. 1-3.

Belső konzulens: *Hermanucz Péter egyetemi tanársegéd*, MATE, Műszaki Intézet

A dolgozat beadási határideje: 2024 év április hó 22 nap

Kelt: Gödöllő, 2024 év április hó 15 nap

Jóváhagyom		**Átvettem**
(tanszékvezető)	(szakfelelős)	(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Kelt: Gödöllő, 2024 év április hó 15 nap

(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés ... 4
1.1. Téma jelentősége ... 4
1.2. Célkitűzés a feladat megfogalmazása ... 4
2. Szakirodalmi alapismeretek ... 5
2.1. Hőtani alapismeretek ... 5
2.2. Hőhordozók ... 7
2.3. Hőcserélők ... 8
2.4. Hőcserélők csoportosítása ... 8
2.4.1. Hőcserélők csoportosítása alkalmazási területük alapján ... 8
2.4.2. Hőcserélők csoportosítása közegek halmazállapota alapján ... 8
2.4.3. Hőcserélők csoportosítása működési elv és szerkezeti kialakítás szerint ... 9
2.5. Szakaszos működésű, regeneratív hőcserélők ... 13
2.5.1. Álló hőtároló anyaggal ... 13
2.5.2. Mozgó hőtároló anyaggal ... 14
2.6. Folyamatos működésű, rekuperatív hőcserélők ... 15
2.6.1. Merev csőköteges hőcserélő ... 15
2.6.2. Merev csőköteges hőcserélő kettős csőkötegfallal, kompenzátorral és terelőkkel: ... 17
2.6.3. Úszófejes csőköteges hőcserélő ... 18
2.6.4. Hajtűcsöves (U-csöves) hőcserélő ... 18
2.6.5. Csőkígyós hőcserélő ... 19
2.6.6. Kettős csöves hőcserélő (A cső a csőben típusú hőcserélő) ... 20
2.6.7. Léghűtés csőkígyós hőcserélővel ... 22
2.6.8. Lamellás, füstgáz hőcserélők ... 23
2.6.9. Lemezes hőcserélő felépítése, működési elve ... 25
2.6.10. Csavarokkal összeszerelt lemezes hőcserélő ... 27
2.6.11. Keményforrasztott lemezes hőcserélő ... 28
2.6.12. Spirál lemezes hőcserélő ... 29
2.7. Hőcserélő kiválasztásának feltételei ... 31
2.7.1. Általános feltételek ... 31
2.7.2. Az általam megválasztott hőcserélővel szembeni elvárások ... 32

3. Az erőmű bemutatása ... 33
3.1. Az erőmű tevékenység leírása ... 33
3.2. A városi távhő ellátás ... 33
3.3. Forróvíz keringtetése és elosztása ... 33
3.4. Hőfokszabályozás ... 34
4. PTVM bemutatása ... 36
4.1. A technológiai objektum leírása ... 36
4.2. A PTVM 50-es kazán műszaki ismertetése ... 38
4.3. PTVM-50 kazán szerkezeti kialakítása ... 39
4.4. PTVM-50 kazán vízáram ... 42
4.5. PTVM-50 kazán gázégők ... 43
5. Számítások ... 43
5.1. Shiva adatgyűjtő rendszeréből felhasznált PTVM forróvízkazán mérési adatok ... 43
5.2. FGSZ - Informatikai Platform rendszerében rögzített fűtőérték ... 44
5.3. PTVM forróvíz-kazán hőtechnikai számítások az emisszió mérésekor rögzített jegyzőkönyv adatokból ... 44
5.3.1. Füstgázhőcserélővel hasznosítható hő számítás 60 °C-os és 100 °C-os lehűtött füstgáz hőmérsékletnél ... 44
5.3.2. Tüzeléstechnikai számítás (órás) ... 49
5.3.3. Kiinduló adatok kazán hatásfok ... 50
5.3.4. Energia megtakarítás számítása ... 51
5.4. Hőcserélő hőtechnikai számítás ... 52
5.4.1. Kapcsolási rajz ... 52
5.4.2. Hőcserélő csomópontszámítás ... 54
5.4.3. Hőcserélővel hasznosítható hatásfok nyereség számítás az emisszió mérésekor rögzített jegyzőkönyv adatokból ... 56
5.5. PTVM forróvíz-kazán éves gázfogyasztás és termelt hőmennyiség: ... 58
5.5.1. Átlag éves PTVM forróvíz-kazán gázfogyasztás és termelt hőmennyiség ... 58
5.5.2. $Q_{VÉHNY}$ PTVM átlag éves hőnyereség számítás [GJ] ... 59
5.6. PTVM éves energiamegtakarítás számítása éves átlagadatokkal számolva ... 59
5.6.1. Éves energiamegtakarítás, ha a PTVM kazán hatásfoka ($\eta_{ÉHP}$ átlag éves): 85,56% ... 59

5.6.2. Éves energiamegtakarítás, ha a PTVM kazán hatásfok ($\eta_{ÓRA}$): 89,68 (%) 60
5.7. Alpiq forróvíz-kazán éves gázfogyasztás és termelt hőmennyiség 61
5.7.1. Átlag éves Alpiq forróvíz-kazán gázfogyasztás és termelt hőmennyiség 61
5.8. Éves energiamegtakarítás számítása éves átlagadatokkal számolva, ha az Alpiq kazán hatásfoka (ηA): 90,00% 62
5.9. Gáz- és hő-díj árak (2023) 62
5.10. Pénzmegtakarítás, amit a hőcserélő használatából adódik 62
5.11. Szén-dioxid kibocsátás 63
6. Eredmény 64
Összefoglalás 65
Summary: 67
Irodalomjegyzék 71
Melléklet: 76

1. Bevezetés

1.1. Téma jelentősége

Az energiahatékony megoldások mind gazdasági, mind környezeti szempontból kiemelkedően fontosak napjainkban. Az energiatermelés és energiafelhasználás globális kihívásokat jelent a klímaváltozás, az erőforrások kimerülése és az energiabiztonság tekintetében. Az energiahatékonysági megoldások segíthetnek csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását, javítani a légminőséget, növelni az energiafüggetlenséget, valamint csökkenteni az energiafelhasználás költségeit.

1.2. Célkitűzés a feladat megfogalmazása

Diplomadolgozatom témája, a Csepeli Erőmű Kft. területén lévő PTVM 48 MW hőteljesítményű forróvíz-kazán energiahatékonyabb üzemállapotának a kialakítása. A kitűzött célok között szerepel a kazán hatékonyságának növelése, az üzemanyag-felhasználás csökkentése, a szén-dioxid-kibocsátás minimalizálása és az energiaveszteség csökkentése.

A kijelölt célok elérésének feltétele a meglévő rendszerek fejlesztése. A technológia központi eleme egy füstgáz-forróvíz hőcserélő beépítése a meglévő forróvízkazán füstgázrendszerébe. A dolgozatom első felében ismertetem a hőcserélők különböző típusait, valamint azt, hogy milyen feltételeket kell figyelembe venni a megfelelő hőcserélő kiválasztásakor. A másik részében a számításokat megelőzően szemléltetem az erőmű és a PTVM kazán rendszereit, azokat a tényezőket, amelyek hatással lehetnek a kivitelezés folyamatára.

Az erőmű által használt adatgyűjtő rendszerből és az emissziós mérési jegyzőkönyv hőtechnikai adatait felhasználva egy fejlesztési tervet állítottam össze a meglévő technológiai rendszerhez, a kapcsolódó füstgáz hőhasznosító rendszer megépítésére.

2. Szakirodalmi alapismeretek

2.1. Hőtani alapismeretek

A hőcserélődési folyamatokat hőátvitelnek nevezzük, ahol hőenergiát közvetítünk különböző hőmérsékletű testek között. A hőátvitel hajtóereje a hőmérsékletkülönbség és a termodinamika második főtétele alapján, a hő természetesen áramlik a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű helyre.

Ha különböző hőmérsékletű közegek vagy egy közeg különböző hőmérsékletű részei kölcsönhatásba lépnek egymással és a rendszeren külső hatások nem érvényesülnek, akkor a hőmérséklet kiegyenlítődés következik be. A hőenergia elterjedésének három alapvető módját különböztetjük meg:

- hővezetés
- konvekció
- hősugárzás

A **hővezetés** folyamata általában szilárd testekre jellemző, ahol a molekulák relatíve szorosan rendeződnek és kis mértékben rezegnek. Az egyes részecskék közötti kölcsönhatások révén a hőenergia hatékonyan terjed a szilárd testen belül. A szilárd testekben a hőátadás során a részecskék közötti rezgések és az atomok, molekulák közötti kölcsönhatások közvetítik a hőt, amelyek eredményeként a hőenergia diffúzióval terjed. Ez azért lehetséges, mert a szilárd testekben a részecskék közötti távolságok viszonylag kicsik és azok között erős kölcsönhatások vannak.

Konvekció vagy hőáramlás a hőszállítás egyik olyan formája, mely folyadékokban és gázokban léphet fel. Ez a hőterjedési mód a közegen belüli áramlással függ össze, amikor a hőhordozó közeg molekulái a közeg áramlási irányában makroszkopikus méretekben mozognak.

A konvekció főként két formában jelentkezik:

- Természetes konvekció:

  Ez az, amikor a hőmérsékletkülönbség miatt a folyadék vagy gáz önmagában áramlik. Például egy melegített test körül a levegő kezd áramlani, ami hűtéshez vezet. Ez azért történik, mert a meleg levegő könnyebb lesz, és emelkedik, míg a hidegebb levegő lesüllyed.

- Mesterséges konvekció:

Ebben az esetben valamilyen külső erő (például ventilátorok vagy szivattyúk) által indukált mozgás segíti elő a hőátadást, például autókban vagy légtisztító berendezésekben a ventilátorok segítenek a levegő keringtetésében és ezzel a hőeloszlásban.

Hősugárzás esetén a sugárzó közeg hőenergiájának egy része sugárzási energia formájában távozik, amely más testek felé irányulva részben vagy teljesen hővé alakul.

Hőátadásnak nevezzük azt az esetet, amikor áramló folyadék vagy gáz és az azt határoló felület között hőáram alakul ki. A hőátadást az jellemzi, hogy a hő két különböző halmazállapotú közeg határfelületén átterjed, így a folyamat a hő terjedési módok (vezetés, konvekció, sugárzás) kombinációjából áll.

Felületi hőcserélőknél a hőt leadó és hőt felvevő közegeket a fal választja el egymástól. A hő a falon keresztül vezetéssel terjed, míg a közegeknél hőátadás játszódik le. Ezt a bonyolult folyamatot a hőátbocsátási tényezővel jellemezhetjük, ami a két közeg oldali hőátadási tényezőtől és a fal hővezetésétől függ. Ez a tényező segít meghatározni, hogy mennyi hőt ad át az egyik közeg a másiknak a felületi hőcserélőn keresztül.

Ahol: $\boldsymbol{k}$: hőátbocsátási tényező (W/m²K)

$\boldsymbol{\alpha_1}$: az egyik közeg oldali hőátadási tényező (W/m²K)

$\boldsymbol{\alpha_2}$: a másik közeg oldali hőátadási tényező (W/m²K)

$\boldsymbol{\lambda_{fal}}$: a fal hővezetése (W/mK)

$\boldsymbol{s}$: a fal vastagsága (m)

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{1}{\alpha_2}$$

A hőcserélő teljes felületén az átadott hőmennyiség a hőátbocsátási tényező, a hőcserélő felülete és a hőmérsékletkülönbség által vezérelve határozható meg, az alábbi egyenlet szerint:

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta t_{köz}\ [W]$$

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta t\ [W]$$

Az esetek többségében a hőcserélő felületén pontról pontra változó hőmérsékletkülönbség tapasztalható annak ellenére, hogy általában a hőátvitel folyamatát stabilnak tekintjük. Ez azt jelenti, hogy a hőmérsékletkülönbség (Δt) csak átlagos értékkel jellemezhető, ami összefüggésben van a hőmérsékletkülönbség felület menti változásával.

Ahol: ***Q***: az átadott hőmennyiség (W)

k: a hőátbocsátási tényező (W/m²K)

A: a hőcserélő felülete (m²)

ΔT: a hőmérsékletkülönbség a hőt felvevő és leadó közeg között (K vagy °C)

[3] [5] [12] [15] [20] [24] [29] [30]

2.2. Hőhordozók

A hőhordozók olyan anyagok vagy közegcsoportok, melyek hőenergiát szállítanak vagy közvetítenek egy adott rendszerben vagy folyamatban, ezáltal kulcsszerepet játszanak az energiaátvitelben, hűtésben, fűtésben és számos ipari és háztartási alkalmazásban. A hőhordozók kiválasztása általában a konkrét feladathoz és körülményekhez igazodik, figyelembe véve a hőmérséklet-tartományt, az anyagok tulajdonságait, a hővezetési és hőátadási paramétereket, valamint az anyagok rendelkezésre álló mennyiségét és költségeit. Gyakran alkalmazott hőhordozók közé tartoznak a víz, olajok, hűtőközegek, gőz, levegő és más gázok. Az ipari folyamatokban és hűtés-fűtési rendszerekben a hőhordozók hatékony hőátadást és energiaátvitelt biztosítanak, hozzájárulva a rendszer stabil működéséhez és hatékonyságához. A megfelelő hőhordozó kiválasztása és kezelése kiemelten fontos a rendszerbiztonság és fenntarthatóság szempontjából. A hőenergia átvitele és szállítása jelentős energiát igényel a rendszerben. Ennek hatékony megvalósítása érdekében gondosan megválasztott készülékkonstrukciók és szükség esetén közvetítőközeg szükséges. A közvetítőközeg fontos szerepet tölt be, mivel a hőenergia átvitele vagy elvonása csak így lehetséges, figyelembe véve technológiai, kémiai és gazdasági tényezőket. A hőközvetítő közegekkel szemben támasztott követelmények közé tartozik a kis gőznyomás, jó hőátadási együttható, kedvező hőmérséklet-tartomány, szivattyúzhatóság, alacsony korróziós veszély, hőmérséklet-stabilitás, magas lobbanás- és gyulladáspont, valamint a tárolhatóság és regenerálhatóság. Az ipari környezetben elterjedt vízgőz számos előnnyel

rendelkezik más hőhordozókkal szemben. Ezek az előnyök részben a víz fizikai és kémiai tulajdonságaiból, részben pedig az előfordulásának gyakoriságából erednek. A víz és a vízgőz rendkívül nagy fajhővel és kondenzációs hővel rendelkezik, ami lehetővé teszi nagy mennyiségű energia tárolását, közvetítését és szállítását. A kondenzálódó gőznek nagy a hőátadási tényezője, és viszonylag kevés kondenzátum képződik belőle. Emellett alacsony a korróziós károsodás veszélye és gazdaságosan is előnyös. Ugyanakkor magasabb hőmérsékleteknél már nem feltétlenül ideális választás a gőz használata, mivel ilyenkor erősebb csöveket kell alkalmazni a nagyobb nyomás miatt. [13] [17] [20] [21] [22] [24] [25] [34]

2.3. Hőcserélők

A hőcserélők olyan berendezések, melyek elsődleges célja két vagy több cseppfolyós vagy gáz halmazállapotú hőhordozó közeg között a lehető legjobb hatásfokú, természetes hőátviteli művelet biztosítása. A hőcserélők fontos szerepet játszanak az ipari folyamatok hatékonyságában és az energiatakarékosságban. Ezek az áramlástechnikai gépek legalább az egyik közegben kényszerített áramlást végeznek. A hőátvitel során a közegek között kicserélt hőmennyiség a nagyobb hőmérsékletű közegből (hőleadó) a kisebb hőmérsékletű közegbe (hőfelvevő) áramlik természetes módon, így nem igényel külső energia befektetést. [13] [17] [20] [25]

2.4. Hőcserélők csoportosítása

2.4.1. Hőcserélők csoportosítása alkalmazási területük alapján

- Ipari hőcserélők: Nagyobb teljesítményű, ipari folyamatokban vagy rendszerekben alkalmazott hőcserélők.
- Lakossági hőcserélők: Háztartásokban, épületekben használt hőcserélők, például fűtési vagy melegvíz-rendszerek részei.
- Szállítóeszközök hőcserélői: Például járművekben, repülőgépekben, hajókon alkalmazott hőcserélők, amelyek a motorok hőjének kihasználására szolgálnak. [25]

2.4.2. Hőcserélők csoportosítása közegek halmazállapota alapján

I. Hőátvitel során egyik közegben sem történik fázisváltás:

- Gáz-gáz hőcserélők: Például a kazánok levegő-előmelegítői, ahol a hőátvitel a levegő között történik.

- Folyadék-gáz hőcserélők: Ilyenek például a füstgáz vezetékébe épített hőhasznosító hőcserélők vagy a gépjárműmotorok hűtőfolyadék hűtői.
- Folyadék-folyadék hőcserélők: Ide tartoznak például a hajómotorok hűtőfolyadék hűtői vagy a kenőolaj hűtők.

II. Hőátvitel során az egyik közegben fázisváltás történik:

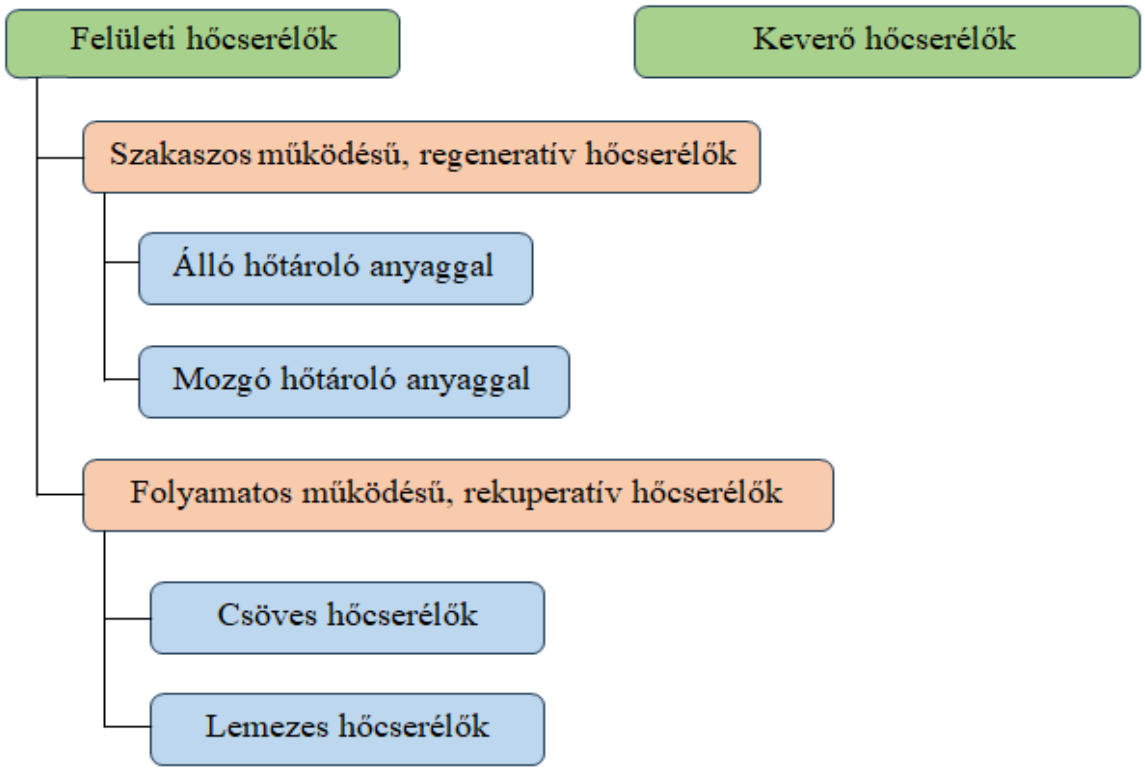
- Elpárologtatók, evaporátorok: Itt a hőfelvevő közeg cseppfolyós halmazállapotból gázhalmazállapotba megy át, mint például a hűtőgépek elpárologtatói.
- Kondenzátorok: Ezekben a hőcserélőkben a hőleadó közeg gáz halmazállapotából cseppfolyós halmazállapotba megy át, például a légkondicionálók kondenzátorai.

III. Hőátvitel során mindkét közegben történik fázisváltás:

- Elpárologtató-kondenzátor egységek: Ilyen például a kaszkád kapcsolású, kétfokozatú hűtőgépek fokozatok közötti hőcserélője, ahol mind a hőfelvevő, mind pedig a hőleadó közegben fázisváltás következik be. [20] [21] [22] [35]

2.4.3. Hőcserélők csoportosítása működési elv és szerkezeti kialakítás szerint

1. ábra: Hőcserélők csoportosítása
(Forrás: Saját szerkesztés) [20]



Az általános megközelítés szerint a hőátadás két módon történik: stacioner és instacioner körülmények között. Általában a hőátadás egyik közegből a másikba falon keresztül történik, amelyet felületi (indirekt) hőcserélőnek nevezünk. Ha a közeg direkt módon keveredik, akkor a hőcserélőt keverő (direkt) hőcserélőnek tekintjük.

Működésük alapján általában két fő típusú hőcserélőt különböztethetünk meg:

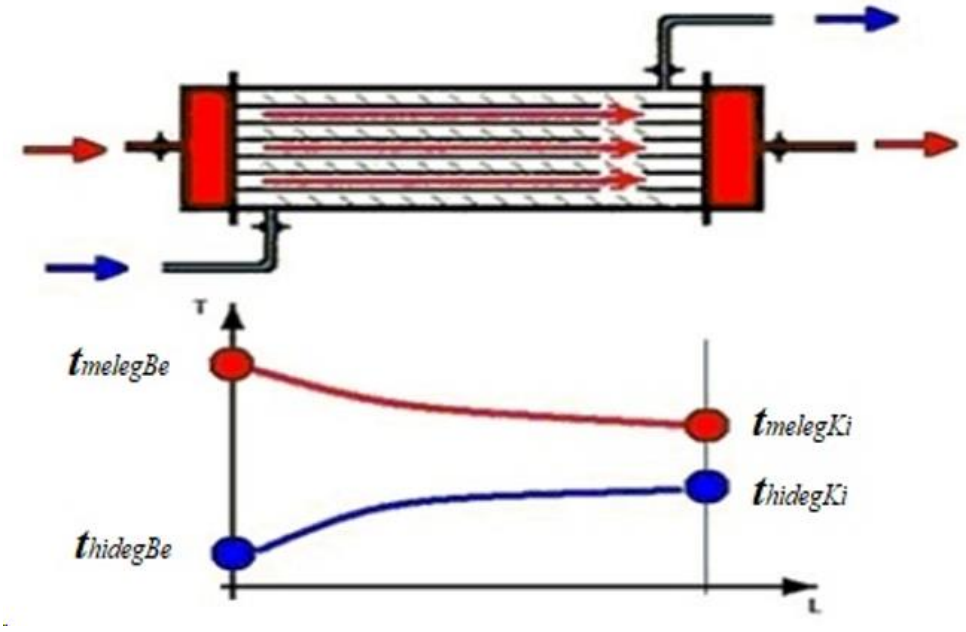
- Regeneratív hőcserélők (Regenerátorok): Regenerátorok olyan felületi hőcserélők, ahol a nagy hőkapacitású és nagy felületű hőtároló anyag váltakozva található meg a hőleadó és a hőfelvevő közegek között. A gép működése során hőátadási és hőtárolási folyamat játszódik le. Általában szilárd hőtároló anyagot használnak, amely a hőleadó közeg áthaladásakor felmelegszik, miközben hőt von el a közegtől, amely így lehűl. Amikor pedig a hideg hőfelvevő közeg áramlik át a hőtárolón, átveszi a tárolt hőmennyiséget, felmelegítve azt. Szerkezeti kialakítását illetően két fő típust különböztetünk meg: mozgó és álló hőtároló anyaggal működő regeneratív hőcserélőket. Ezeket általában gáz halmazállapotú közegeknél alkalmazzák, mivel ezeknél a kismértékű keveredés nem jelent problémát.
- Rekuperatív hőcserélők: Rekuperátorok olyan folyamatos működésű felületi hőcserélők, ahol a hőátadás során a hőhordozó közegek egyidejűleg és folyamatosan áramlanak, míg szilárd fal választja el őket egymástól. A közegek mindig ugyanazon oldalán áramlanak a fal mentén, így a hőcsere a falon keresztül történik, amelyet hőátadó felületnek nevezünk. Rekuperátorokban a hőátviteli folyamat során a szükséges hőmennyiséget a hőleadó közeg hőátadással viszi át a közvetítő falba. A falon keresztül az hővezetéssel jut el a fal másik oldalán lévő hőfelvevő közeghez, ahol ismét hőátadással történik a hőátvitel, ellentétben a regenerátorokkal, ahol a hőtároló anyag választásánál nagy hangsúlyt fektetünk a nagy hőkapacitású anyagokra. A folyamatos működésű felületi hőcserélőknél a kis hőkapacitású és kis hőellenállású, nagy szilárdságú anyagokat alkalmazzuk a fal vékony falvastagsága érdekében. Ennek célja, a lehető legkisebb hőellenállás biztosítása a falban. A legelterjedtebb az ipari gyakorlatban, valamint úszó járműveknél is a folyamatos működésű, felületi hőcserélők használata. Ezeket általában szerkezeti kialakításuk alapján csoportosítják. [5] [6] [19] [20] [25]

Mind a rekuperatív, mind a regeneratív hőcserélőkben a közegek áramlási irány szerint megkülönböztetünk egyenáramú, ellenáramú és keresztáramú hőcserélőket.

2. ábra: Áramlási irány
(Forrás: [4] [33])

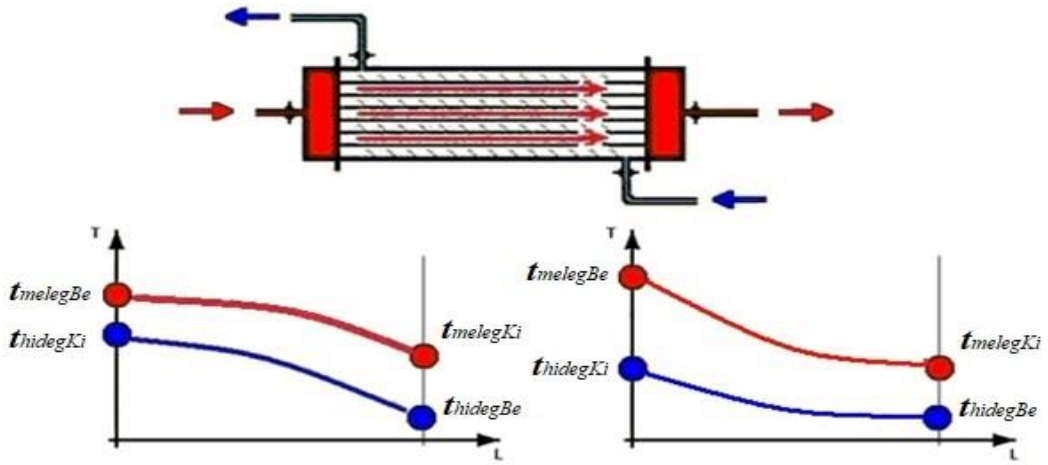
- Egyenáramban: Mindkét közeg ugyanabba az irányba áramlik a készülék mentén. Ebben az esetben, módosítva mindkét közeg kezdeti (belépő) hőmérsékletét, egy kiegyenlítődési hőmérsékletet érnek el, miközben az átszármaztatási hőmérséklet-különbség változik a hőcserélő felülete mentén. [4] [15]

3. ábra: Egyenáramú hőcserélő hőfoklefutása
(Forrás: [6] [28])



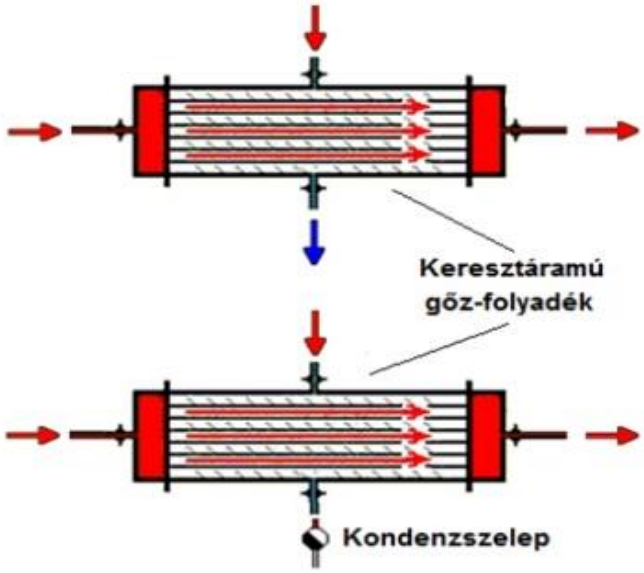
- Ellenáramban: A két közeg ellentétes irányban áramlik a hőcserélőn keresztül. Az ellenáramú hőcserével könnyen elérhető, hogy a hideg közeg kilépő hőmérséklete nagyobb legyen, mint a meleg közeg kilépő hőmérséklete, ami gazdaságosabbá teszi ezt a módszert. [4] [15]

4. ábra: Ellenáramú hőcserélő hőfoklefutása
(Forrás: [6] [28])



- Keresztáramban: Ebben az esetben a két közeg áramlási iránya egymásra merőleges. Az esetek többségében megfigyelhető, hogy a tiszta keresztáramban működő hőcserélő az egyenáramú és az ellenáramú közötti feltételek mellett ugyanolyan eredményeket produkál. [4] [15]

5. ábra: Keresztáramú hőcserélő
(Forrás: [6][28])



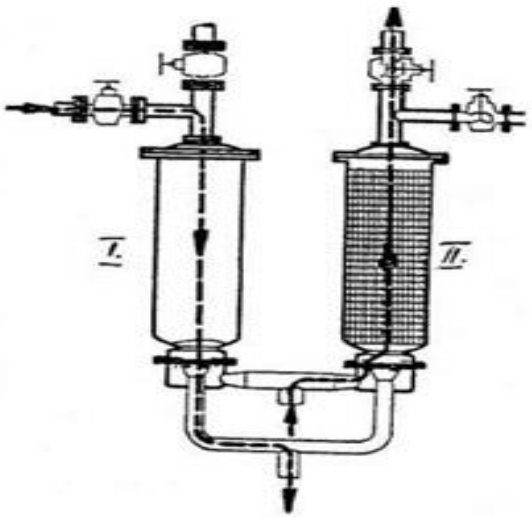
A folyadék - folyadék típusú hőcserélőket egyen- vagy ellenáramba kötve működtetünk, míg a gőz - folyadék hőcserélők, például a gőz kondenzációját biztosító berendezések általában keresztáramúak! [6] [25] [31] [34]

2.5. Szakaszos működésű, regeneratív hőcserélők

2.5.1. Álló hőtároló anyaggal

Az álló hőtároló anyagok esetében legalább két regenerátorra van szükség, amelyek közül az egyikben a hőfelvevő közeg, míg a másikban a hőleadó áramlik. Miután a hőtároló anyagok felvettek vagy leadtak egy meghatározott mennyiségű hőt, a közegáramok átkapcsolásával a regenerátorok szerepe megfordul. A hatodik ábrán látható regenerátorpárban a hengeres köpenyrészeket porózus, csatornákkal átjárható vagy rácsos hőtároló anyaggal töltik meg. A csapok állásától függően a hőleadó vagy hőfelvevő közeg áramlik át a hőtároló anyagon, amely így felmelegszik vagy lehűl. Ebben az időszakban a hőleadó közeg hűl, míg a hőfelvevő melegszik. A szelepek rendszeres átkapcsolásával a hőtároló anyagok szerepe és a közegáramlás iránya megfordul, így időben eltolt, bizonyos mértékben ellenáramú hőcserét érünk el. A regenerátorok ezt a típusát általában szűk hőmérséklet-tartományban alkalmazzák, főként ipari célokra, míg járműipari alkalmazásuk ritka. Az előnye, hogy a hőcserélő működéséhez nem szükséges folyamatos energiaellátás, csak időnként a szelepek átkapcsolását kell végezni. Emellett ezek a regenerátorok a legkisebb mértékű közegek keveredését eredményezik a regenerátorok között, mivel a megfelelően működő szelepeknek köszönhetően a két közeg nem lehet egyszerre jelen a hőcserélőben. Így legfeljebb csak a csőfalakon és a hőtároló anyag felületén esetlegesen lerakódott részek találkozhatnak. [6] [19] [21]

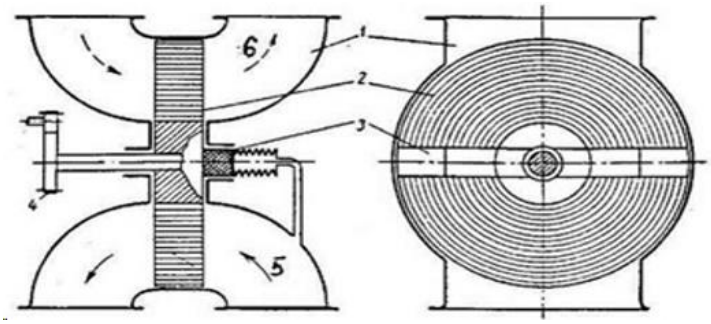
6. ábra: Álló hőtároló anyagú regeneratív hőcserélő beépítése
(Forrás: [6])



2.5.2. Mozgó hőtároló anyaggal

Amikor mozgó hőtároló anyagot alkalmaznak, a regenerátorban állandóan áramlik a hőfelvevő és a hőleadó közeg. Egy mechanizmus mozgatja a hőtároló anyagot, először az egyik, majd a másik áramlás irányában. Amikor a hőtároló anyag áthalad a hőleadó közegen, hőt von el tőle, majd ezt átadja a hőfelvevő közegnek, amikor azon halad keresztül. A forgó regeneratív hőcserélők széles körben alkalmazottak épületek szellőzőrendszereiben. Ezekben az esetekben az épület belső tereiből, például a konyhából vagy fürdőszobából, kiszívott levegő hőjét átadják a befúvott külső levegőnek, például irodákba vagy közösségi terekbe, ezáltal csökkentve az épület fűtési energiaszükségletét. A forgó regenerátorok gyártói adatai szerint akár a hideg és meleg levegő közötti hőmennyiség 90%-a is átadható ezekkel a rendszerekkel. Mivel viszonylag kis méretűek, a forgó regenerátorok egyre népszerűbbek a járműiparban is, például a gázturbináknál, ahol az égéstér előtti levegő hőmérsékletét a füstgáz hőjével lehet növelni. A gázturbinás járművek forgó hőcserélőjének vázlata (7. ábra) azt mutatja, hogy a hőtároló anyag forogni képes, így egyes részei érintkeznek a kisebb nyomású, nagy hőmérsékletű gázokkal (6), míg más részei a nagy nyomású, kisebb hőmérsékletű gázokkal (5). A hőtároló anyagot fogaskerék-áttétel hajtja, melynek jellegzetessége a méhsejt szerkezet, amelynek csatornái 1 mm-nél is kisebb hidraulikai átmérővel rendelkeznek. A járművek gázturbinájában kiemelkedő fontosságú a két közeg közötti tömítés (3), ami elválasztja a nagy és kis nyomású területeket. Általában műszénből készül, amit a gáznyomás vagy rugó szorít a forgó hőtároló anyagra. Fontos, hogy a tömítés megfelelően működjön, hogy elkerüljük a nagy nyomású gáz átszivárgását. Ha a tömítés jól működik, a kompresszió utáni nyomásveszteség a gázturbinában kicsi marad (legfeljebb 3-5%), ami növeli a gázturbinák hatásfokát a hőcserélő beépítésével. A tömítés kialakításánál figyelembe kell venni a hideg és meleg közeg tömegáram-különbségét, ezért a forgó betét felületét nem 50-50%-ban, hanem inkább 1/3 - 2/3 arányban osztja meg a kisnyomású, meleg gázáram javára. [6] [19] [21]

7. ábra: Forgó regeneratív hőcserélő vázlata
(Forrás: [6])



2.6. Folyamatos működésű, rekuperatív hőcserélők

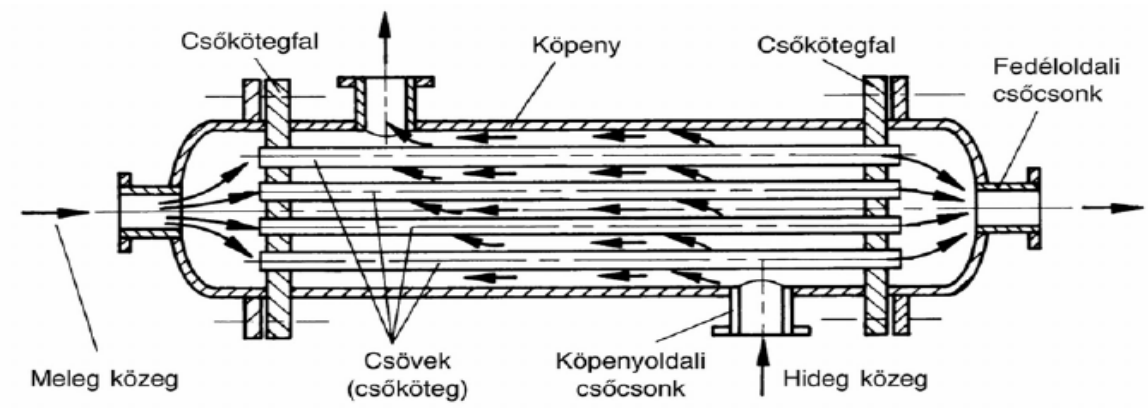
2.6.1. Merev csőköteges hőcserélő

A csővezetékekből álló hőcserélők az ipari alkalmazásokban rendkívül elterjedtek, mivel egyszerűségük, sokoldalú alkalmazhatóságuk és viszonylagos olcsóságuk miatt kedvelt megoldások. Ezek a hőcserélők egyaránt alkalmasak folyékony és gáz halmazállapotú hőhordozó közeg átvételére.

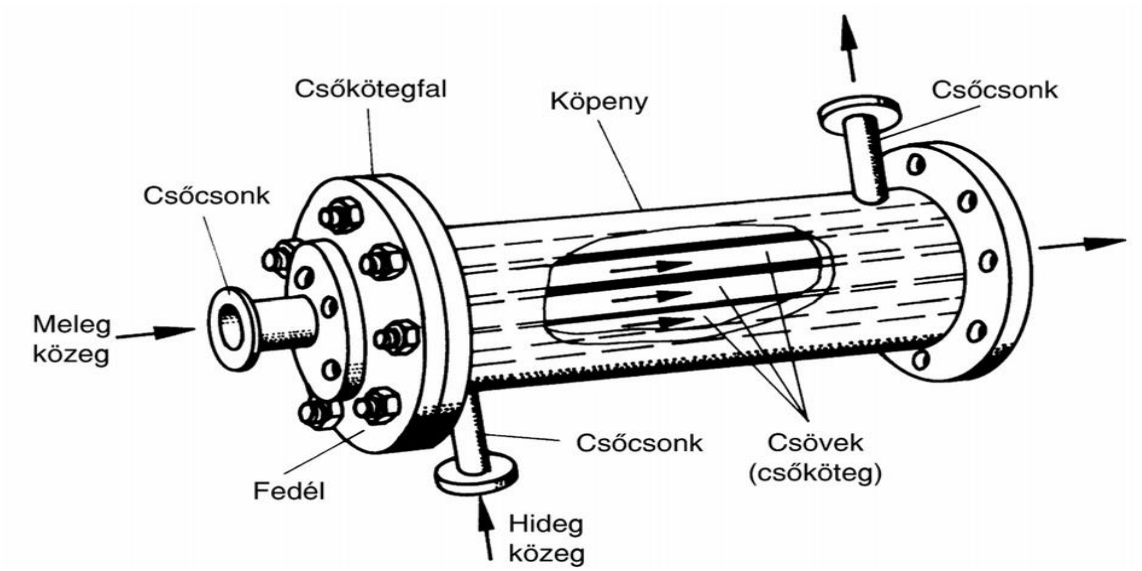
A csöves hőcserélőkben egyik közeg a párhuzamosan kapcsolt csövekben, a másik pedig a csövek között a készülék határolta köpenytérben áramlik. [22]

8. ábra: Merev csőköteges hőcserélő a), b), c)
(Forrás: [3] [6])

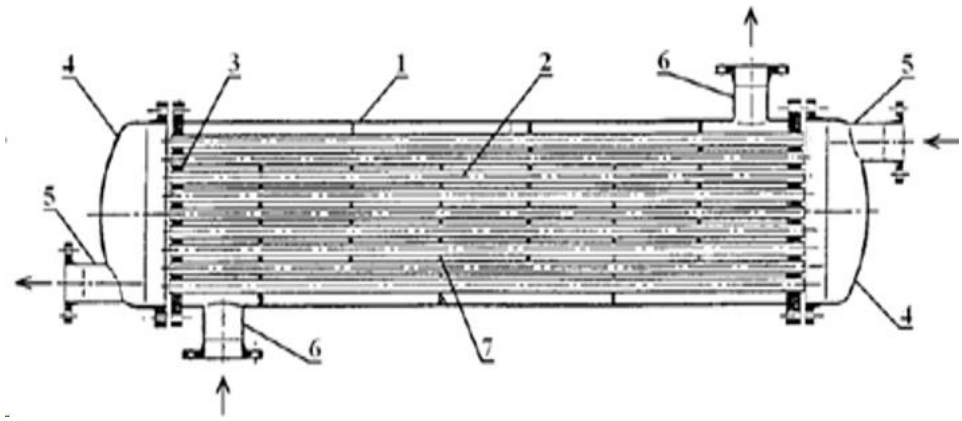
a)



b)



c)



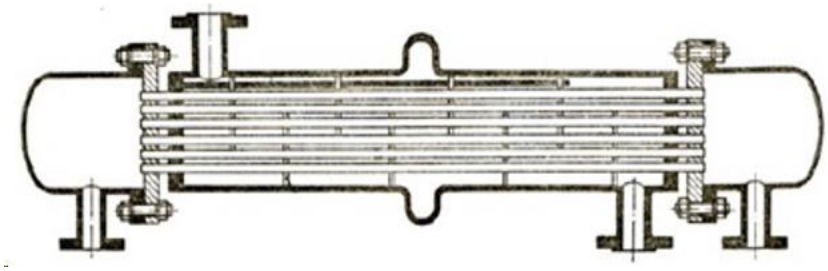
Az egyik legegyszerűbb típusú hőcserélő a csőköteges hőcserélő, melynek felépítését a 8. c) ábra bemutatja egy merev csőköteges hőcserélővel. A berendezés külső teste a hőcserélőköpeny (1), melynek mindkét végén egy-egy csőköteg-fal (3) zár le. A csőköteg-falakba szorosan illeszkednek a csőköteget (2) alkotó hőcserélőcsövek. A köpeny két végét fedelek (4) zárják le, melyekbe a csőkötegben áramló közeget a fedélcsonkokon (5) át vezetjük be. A másik hőhordozó közeg a csőkötegen kívül, a köpenytérben áramlik, ahova a köpenycsonkokon (6) keresztül jut. A hőcserélőben arra törekszünk, hogy a két közeg áramlási sebessége fokozott, de összhangban legyen. Ugyanis a nagyobb áramlási sebességhez nagyobb hőátadási tényező tartozik, azonban a hőcserélő hőátbocsátási tényezőjét mindig a kisebb hőátadási tényező határozza meg. Ezért gyakran előfordul, hogy a csőkötegben vagy a köpenytérben gyorsítani próbáljuk az áramlást. A köpenytérben elhelyezett terelőlemezek (7) mind az áramlási sebességet, mind az örvényességet növelik, jelentősen növelve ezzel a hőátadási tényezőt. A csőkötegnél az áramlási sebességet a csőátmérők csökkentésével fokozhatjuk egészen egy minimális csőátmérőig, ami az áramló közegtől és a hidraulikai ellenállástól függ. Ha még mindig nem elegendő a sebesség, akkor többjáratú hőcserélőt kell alkalmazni (9. ábra). [6] [19] [22]

9. ábra: A csőtérben kétjáratú, merev csőköteges hőcserélő terelő-lemezekkel
(Forrás: [7])

2.6.2. Merev csőköteges hőcserélő kettős csőkötegfallal, kompenzátorral és terelőkkel:

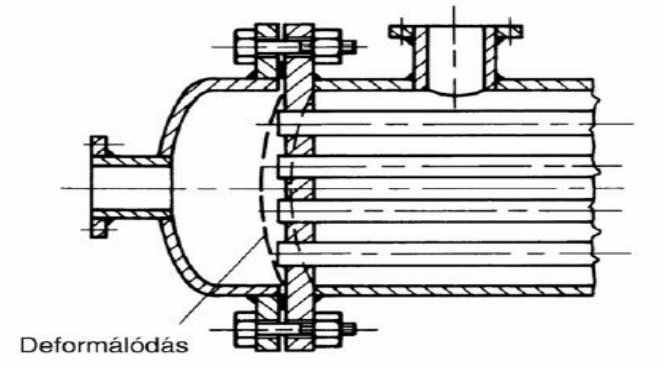
Ha a két hőhordozó közeg között jelentős hőmérsékletkülönbség van, a hőcserélő köpenye és csőkötege között hőfeszültség keletkezhet, ami miatt a csövek kilazulhatnak a csőköteg falából. Ebben az esetben a merev csőköteges hőcserélőknél lencse alakú kompenzátorral a köpenyben próbálják kiegyenlíteni a hőfeszültséget. A csőkilazulást azonban rezgés vagy korrózió is okozhatja, ezért gyakran alkalmazzák a kettős csőköteg-falat. Ez a kivitel különösen hasznos olyan hőhordozó közegnél, ahol a keveredés súlyos üzemzavarokhoz vezethet, mivel a hőcserélő csövek kilazulása azonnal észlelhető üzem közben. Fontos azonban megjegyezni, hogy ez a konstrukció sem nyújt teljes védelmet a csőkilyukadás ellen. [22]

10. ábra: Merev csőköteges hőcserélő kettős csőkötegfallal, kompenzátorral és terelőkkel
(Forrás: [7])



Ha a merev csőköteges hőcserélőkben a fal és a köpeny közötti hőmérsékletkülönbség jelentős (100–120 °C vagy annál nagyobb), akkor a csövek és a köpeny nem azonos értékben nyúlnak meg. Ez jelentős feszültségeket okoz, elszakíthatja a varratokat, illetve másfajta tömítési hibát okozhat, ami a hőcserélőben áramló közegek meg nem engedett keveredését idézi elő, illetve ártalmára van a készüléknek. Ilyen jelenséget szemléltet a 11. ábra.

11. ábra: A hőmérsékletkülönbség okozta deformáció
(Forrás: [3])

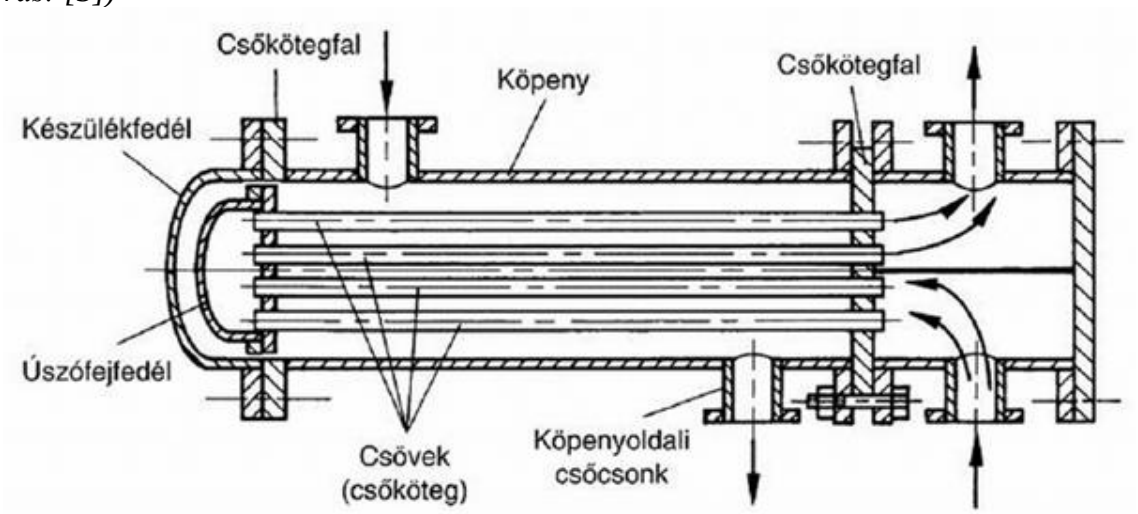


Ha a csövek és a köpeny közötti hőmérséklet-különbség nagy, vagy a csövek túlságosan hosszúak, hőtágulást kompenzáló csőköteges hőcserélőket alkalmaznak. Ezeknél a megoldásoknál a csövek a köpenyhez képest bizonyos mértékben elmozdulhatnak. Ilyen megoldás a hajtűcsöves és az úszófejes csőköteges hőcserélő. [3] [6] [7]

2.6.3. Úszófejes csőköteges hőcserélő

180 °C hőmérséklet-különbség felett vagy kényes, gyúlékony, mérgező és általában mindenféle közegnél 10 bar nyomás felett az úszófejes hőcserélőt használjuk. Ennél a fordulókamra olyan megoldású, hogy a csövek tágulása esetén a csőkötegfal és a fordulókamra együtt szabadon elmozdulhat a külső álló fejben (12. ábra). Az úszófejet központosan kell elhelyezni, hogy a súly ne terhelje a csöveket. A külső fej leszerelése után az úszófej fordulókamrája is leszerelhető, és a csövek mind kívülről, mind belülről tisztíthatók. [3] [6] [22]

12. ábra: Úszófejes csőköteges hőcserélő
(Forrás: [3])

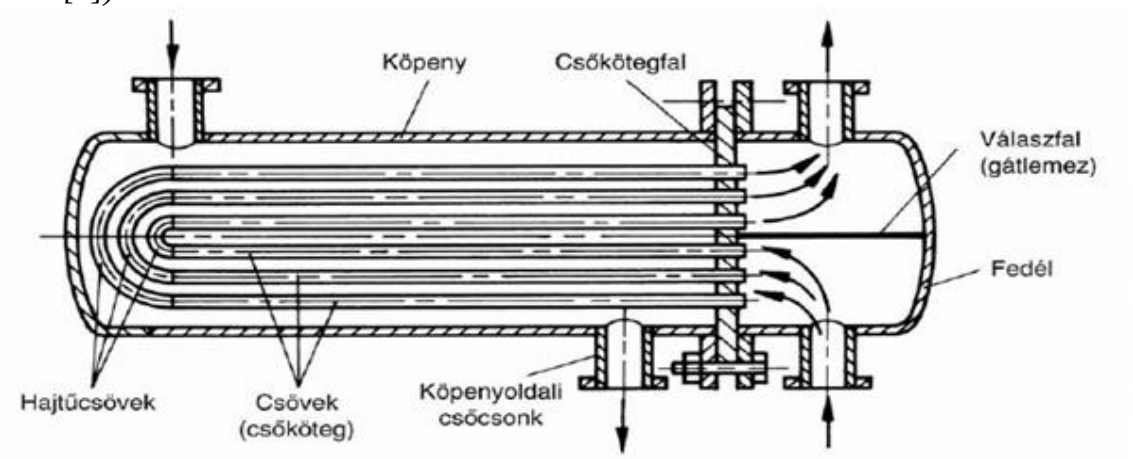


2.6.4. Hajtűcsöves (U-csöves) hőcserélő

Az U-alakban hajlított csövek szabadon mozognak a köpenytérben, ezért főként nagy nyomású hőhordozó közegnél használják őket, ezeket U-csöves hőcserélőknek nevezik (13. ábra). Ennél a típusnál nem szükséges úszófej vagy lencsés kompenzátor. Az U-ívek hidegalakításakor kialakulhat elhidegedés és feszültség-korrózió, de ezt hőkezeléssel lehet kezelni. Általában nem ajánlott a stabilizálatlan ausztenites acélból készült U-ívek hőkezelése. A csövek mindkét vége ugyanabba a csőkötegfalba van erősítve, így könnyen szerelhető a hőcserélő. A csőköteg tisztítása, különösen belül, nehézkes lehet a 180°-os kanyarok miatt, így csak tiszta közegekre ajánlott. Ezek

a hőcserélők alapvetően két- vagy többjáratúak, így intenzív a hőátadásuk. Középen hosszterelő alkalmazásával ellenáramú hőcserét lehet megvalósítani. Gyakran nyomástartó edénybe építve vagy gőzfűtésű forralóként használják őket. Tüzelőolaj- és más nagyobb viszkozitású folyadéktárolókhoz alkalmazhatóak. [3] [6] [22]

13. ábra: Hajtűcsöves csőköteges (U - csöves) hőcserélő
(Forrás: [3])

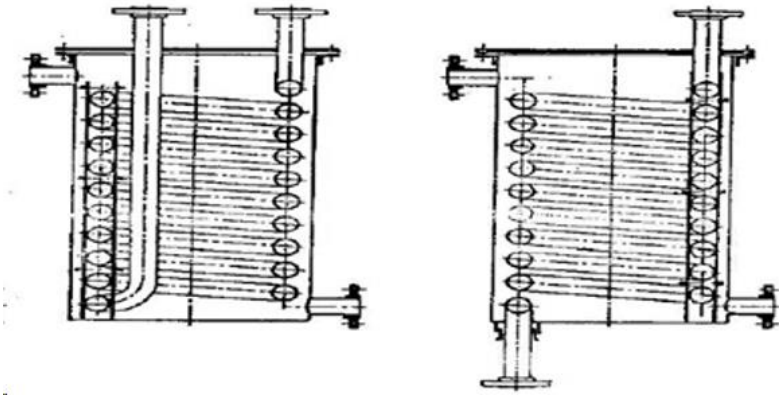


2.6.5. Csőkígyós hőcserélő

A csövekből kialakított felületi hőcserélők egy másik alaptípusa a csőkígyós hőcserélő, melyben a hőcserélő felületet a többszörösen hajlított csőkígyó biztosítja, akár spirál alakban is. Ezeket a hőcserélőket leginkább a közlekedési iparágban alkalmazzák, például hajómotorok hűtőfolyadékának hűtésére, nedves karteres motorok kenőolajának hűtésére vagy fűtésére, valamint a járművek és hajók utastér légkezelő rendszereiben hűtésre vagy fűtésre.

14. ábra: Tartályban elhelyezett csőkígyó
(Forrás: [32])

15. ábra: Csőkígyós hőcserélő vázlata
(Forrás: [6])

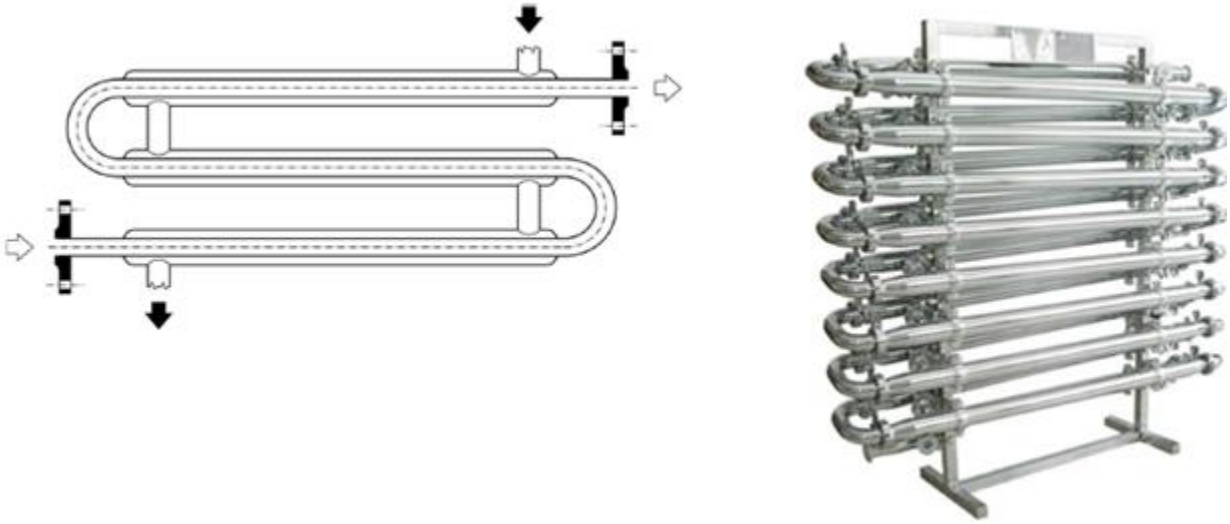


A 15. ábrán látható csőkígyós hőcserélők általában hűtőként működnek, ahol a csővezetékben a hűtendő folyadék, míg a köpenyen át a hűtőfolyadék áramlik. Ennek a megoldásnak az a hátránya, hogy a köpenyben áramló folyadék alacsony sebessége miatt a hőátadási tényező is alacsony, ami csökkenti a hőcserélő teljesítményét. A hőcserélő hőátadási képességét leginkább a környezeti oldalon kialakuló hőátadási tényező határozza meg. [[6] [22] [32]

2.6.6. Kettős csöves hőcserélő (A cső a csőben típusú hőcserélő)

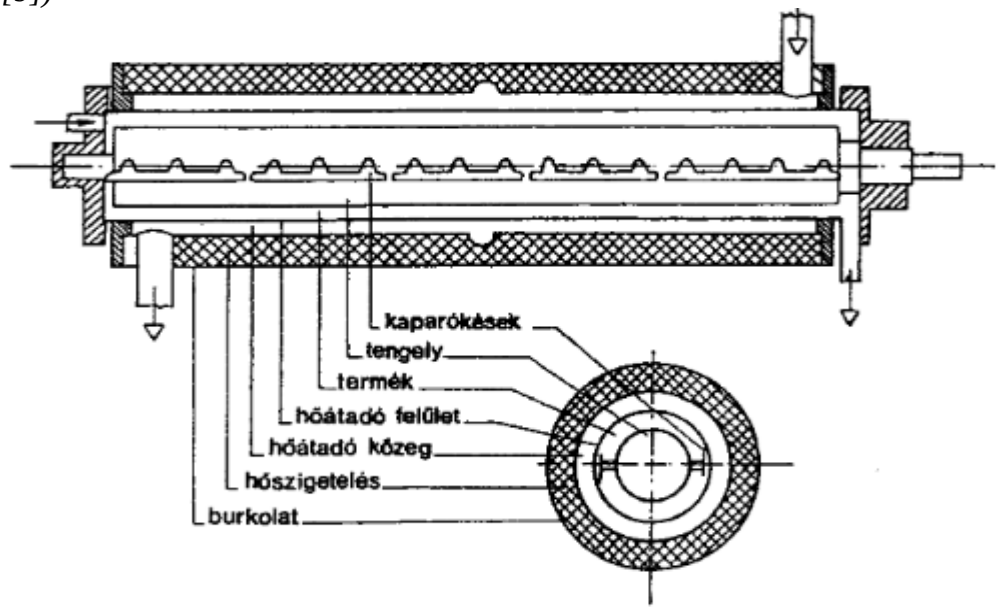
Az iparban gyakran használt hőcserélő a cső a csőben típusú. Ezt úgy melegítésre, mint hűtésre használhatják. Kivitelezés szempontjából két koncentrikus csőből áll. A belső csőben áramlik az egyik közeg (mindenkor a nagyobb nyomású és lerakodást okozó, hisz könnyebb tisztítani), a külső csőben pedig a másik közeg (kondenzálandó gőzök, gázok általában a külső, köpenytérben áramolnak). Az ilyen típusú hőcserélőben a tökéletes ellenáram elvét lehet megvalósítani, ami az intenzív hőátadás feltétele. Lehet egyenáramban is használni, de ilyenkor alkalmazása nem gazdaságos, mivel gyártási hossza függ a rendelkezésre álló csövek hosszától, a nagyobb felület elérésére több egyedi hőcserélőt kapcsolunk össze. A helykihasználás végett nem vízszintes kapcsolást használunk, bár kevesebb áramlási ellenállást nyújtana, hanem a függőleges síkban való kapcsolási rendszert, mint ahogy a 16. ábrán is láthatjuk. [9] [22]

16. ábra: Cső a csőben típusú hőcserélők
(Forrás: [18])



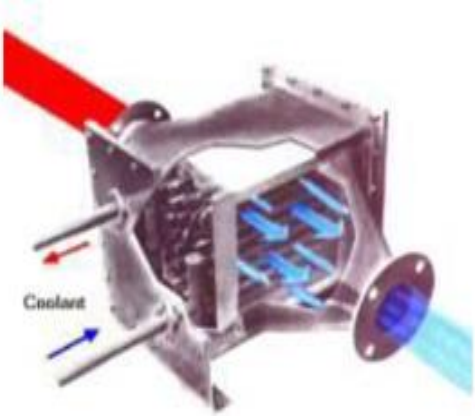
Ez a szerelési mód lehetővé teszi csőtér tisztítását is. Mivel elég nagy a helyigénye, és kizárt a köpenytér tisztítási lehetősége, sok esetben elkerülik használatát. Olyan közegek esetén, ahol a csőtéri részen könnyen képződhet lerakódás, a cső a csőben típusú hőcserélő egy másik változatát alkalmazzuk, éspedig a kapartfalú hőcserélőt. Itt a belső csőben egy tengelyre szerelt kaparókések (lásd a 17. ábrát) mozognak elég nagy fordulatszámmal (300-2000 ford./perc), felújítva a felületet, megakadályozva ezzel a lerakódást, vagy annak vastagodását. Ilyen készüléket alkalmaznak a konzerviparban pasztaszerű anyagok bepárlására vagy kristályosítására. [9] [19] [22]

17. ábra: Kapartfalú hőcserélő
(Forrás: [9])



2.6.7. Léghűtés csőkígyós hőcserélővel

18. ábra: Léghűtés csőkígyós hőcserélővel
(Forrás: [36])



A közlekedési eszközökben gyakran alkalmazzák a csőkígyós hőcserélőket légkezelő rendszerekben fűtésre vagy hűtésre, valamint járművek légkondicionálóinak párologtató (evaporátor) vagy kondenzátor berendezéseként. A cső külső oldalán a közeg hőátadási tényezője kisebb, mint a belső oldalon, azonban nem a kis közegsebesség miatt, hanem a légnemű közegek alacsonyabb hőátadási tényezője miatt. Mivel a hőcserélőben a levegőt kényszerítetten mozgatják, a hőátadási tényezőt az áramlási sebesség növelésével lehet javítani. A nagy légsebességek azonban a szellőztetett térben nem kívánatosak, ezért a hőcserélő hőteljesítményét a csövek bordázásával lehet növelni. [19]

19. ábra: Kondenzátor hőcserélő autó légkondicionálóhoz

2.6.8. Lamellás, füstgáz hőcserélők

A lamellás hőcserélőknél a közegek a páronként összehegesztett, lamellákból kialakított csatornák és ezek kötegének köpenybe való helyezésekor kialakult külső terében áramolnak (lásd a 20. ábrát). A lamellaköteg és köpeny különböző hőtágulását tömszelence alkalmazásával kompenzálják. Az ilyen típusú hőcserélő nagy felületű (kb. 1000 m^2) és nagy térkihasználású. Jó minőségű fluidumokat igényel, főleg a köpenytérben. [9]

20. ábra: Lamellás hőcserélő
Forrás: [9]

21. ábra: Füstgáz hőcserélő
(Forrás: [37])

A hőcserélők nemcsak a hőhordozók felmelegítésében és lehűtésében töltenek be fontos szerepet, hanem a hőhasznosításban is, amit fűtőtestek, közvetett fűtésű kemencék, vegyipari reaktorok és számos más berendezés példáz. Az ilyen típusú hőcserélőket füstgáz hőcserélőknek nevezzük (lásd a 21. ábrát). Ezek a hőcserélők a hasznosítható füstgáz hőjét melegvízzé, forró levegővé vagy a termeléshez szükséges hőfolyadékká alakítja, fűtés, anyagszárítás és egyéb felhasználási célokra. Nagyobb teljesítményű gáz és szilárd tüzelésű kazánokhoz egyaránt használható, ezért a társasházak, intézmények, pékségek, mosodák, mezőgazdasági üzemek, üvegházak, olvasztó, szárító és festék beégető kemencék füstgáz hőjének visszaforgatására alkalmas berendezés. Akár kondenzációs egységként is működik. A füstgáz hőcserélők használata természetbarát megoldás, mivel segítenek csökkenteni az energiafelhasználást és csökkentik a környezeti terhelést. [16] [25] [26]

A WätaS Multi típusú füstgáz hőcserélők nem csupán a szokványos beállításokat kínálják, hanem lehetőséget nyújtanak az egyedi szerkezeti kialakításokra is. Ezenkívül elérhetők U- vagy V-alakú, valamint kanyargós kivitelben is.

22. ábra: Egyedi szerkezeti kialakítású WätaS Multi típusú füstgáz hőcserélők
(Forrás: [37])

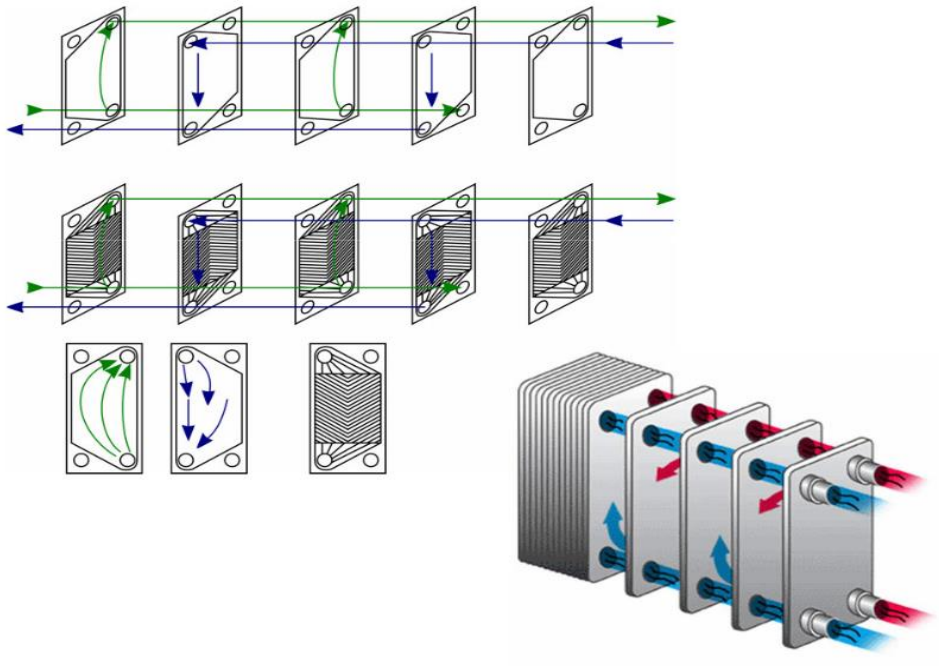
A hullámos, nagy teljesítményű bordák lehetnek alumíniumból, bevonatos alumíniumból, AlMg3-ból, rézből, acélból vagy rozsdamentes acélból készült szalagok.
A magcsövek különböző átmérővel rendelkezhetnek, és rézből, rozsdamentes acélból, CuNi-ból vagy alumíniumból készülhetnek, és mechanikus tágítással vannak rögzítve a bordákhoz.
A gyűjtő csövek lehetnek rézből, acélból, rozsdamentes acélból vagy alumíniumból. A csatlakozások a szervizmódtól függően forrasztott végekkel, menetes anyákkal szerelhetőek fel.
Az alap kínálatunkban szereplő hőcserélők mellé standard 50 mm-es U-keretek alumíniumból, rézből, horganyzott rézből, sárgarézből, horganyzott acélból vagy rozsdamentes acélból. Az oldalfalak perforáltak, és a bordák alakjától és az alkalmazástól függően burkolattal vannak ellátva, amelyek nagymértékben megakadályozzák a kopást. [37]

2.6.9. Lemezes hőcserélő felépítése, működési elve

A lemezes hőcserélők, ellen- és párhuzamos áramban egyaránt működhetnek. Általában az ellenáramú elrendezés biztosítja a jobb hatásfokot, ami akár 10%-kal hatékonyabb hőátadást eredményezhet. Ezek a típusok kiemelkedő teljesítményt nyújtanak a hőcserélő térfogat – hőátadó felület arány tekintetében, hiszen 1 m^3 hőcserélőbe akár 100 m^2 hőcserélő felület is beépíthető. Ezek a készülékek számos kialakítási lehetőséggel rendelkeznek, de alapvetően két fő csoportba sorolhatók. Az első csoportba tartoznak a szétszedhető kialakítású hőcserélők, amelyeknél a lemezek közötti tömítés gumival történik. Ezeket általában nagyobb teljesítményigényű fűtési rendszerekben és melegvíz-ellátó rendszerekben alkalmazzák. A második csoportba tartoznak a nem szétszedhető kialakítású hőcserélők, amelyeknél a lemezek közötti tömítés forrasztással vagy hegesztéssel történik.
A készülék csonkjai az esetek többségében az előlapon helyezkednek el, de előfordul, hogy a véglapon kell elhelyezni őket. A hullámosított, redőzött lemezek páronként (1,6-6 mm távolságban) egy-egy csatornát alkotnak. A csatornák közötti hőátadás az igen vékony (0,5-3 mm vastagságú) lemezen át történik, a hőátadás hatékonyságát és szabályozhatóságát jelentősen befolyásolja a lemezek vastagsága. A csöves hőcserélőkhöz képest valamivel nagyobb nyomáseséssel is kell számolnunk a lemezes hőcserélőben. Ez az ára a magasabb hatásfoknak, ami már alacsony nyomásesés mellett is kitűnően működik megfelelő méretezés esetén. Kedvezőbb azonban, különösen a különböző szennyeződések és vízkőlerakódás csökkentése szempontjából, ha magasabb nyomásesést engedünk meg. Ekkor a készülék öntisztulási képessége magasabb fokú. [49] [50]

A 23. ábrán látható, hogy a négy sarkon levő furatok biztosítják a fluidumok be- és kivezetését. A meleg és a hideg közeget felváltva vezetik a lemezek közötti térbe. A lemezek a felületnövelés érdekében bordázottak és egymás mellett úgy helyezkednek el, hogy egyik oldalukon a hőátadó a másik oldalukon a hőfelvevő közeg áramlik. [19]

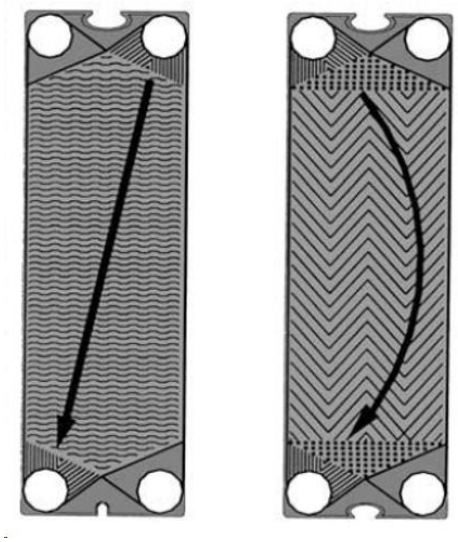
23. ábra: Fluidumok be- és kivezetését lemezes hőcserélőknél
(Forrás: [18])



A lemezeket bordázatokkal látták el, melynek számos szerepe van. Először is, a bordázatok szolgálnak a lemezek merevítésére, mivel a hőcserélők méretének, tömegének csökkentése érdekében a lehető legvékonyabb falvastagságú lemezeket alkalmazzák. Másodszor, a bordázatok segítik a turbulencia keltését. A turbulens áramlás hatékonyabb hőátadást eredményez, mivel a keveredés fokozza a hőátadást a közeg és a hőcserélő felületek között. A kompakt lemezes hőcserélőknél, amikor a látszólagos Re (Reynolds-szám) = 400, az áramlás gomolygó lesz, és bár sok hőcserélőnél már a Re = 180-nál is kialakul a turbulencia. Harmadszor, a bordázat irányítja az áramlást párhuzamosan a lemezfelülettel. Bordázat nélkül a közeg a legrövidebb útvonalon haladna a be- és kilépő nyílások között, ezáltal nem használná ki teljesen a lemezfelületet és hőfeszültséget okozhatna. A megfelelően kialakított bordázat segítségével a tábla teljes felülete egyenletesen kihasználható. Végül, bár nem elsődleges, a bordázatok növelik a felületet, ami pozitív hatással van a hőcserélő teljesítményére. A megfelelő áramlásirány és a szivárgás, valamint a keveredés elkerülése érdekében a lemezes hőcserélőkbe préselt tömítéseket vagy a lemezek

vonalhegesztését (vagy keményforrasztását) alkalmazzák. A tömítés típusa és a szerkezeti kialakítás az adott hőcserélő alkalmazási területétől függ. [18] [19] [51]

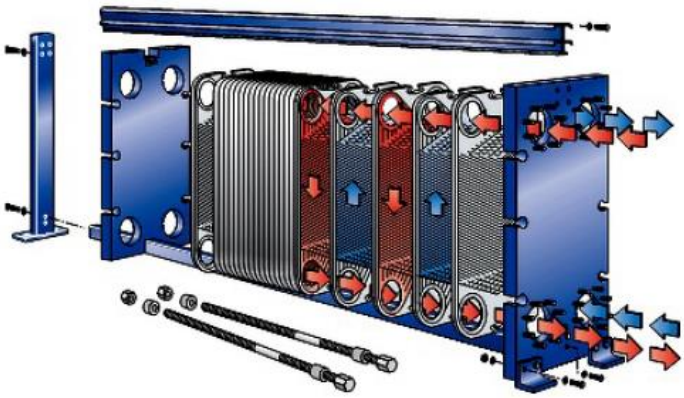
24. ábra: Bordázat áramlás irányító hatása
(Forrás: [51])



2.6.10. Csavarokkal összeszerelt lemezes hőcserélő

A hagyományos, szerelhető kivitelű készülékben a gumitömítésekkel ellátott lemezek által alkotott lemezköteg az úgynevezett elő- és véglap között van. Az elő- és véglapot szorítócsavarok húzzák össze. A lemezek tartósínre vannak felfüggesztve. A szerelhető lemezes hőcserélő felépítését a 25. ábra mutatja.

25. ábra: Szerelhető lemezes hőcserélő felépítését
(Forrás: [32])



A csavarokkal rögzített lemezes hőcserélők, attól függően, hogy milyen típusú tömítőanyagot használnak, legfeljebb 150 °C hőmérsékletig és maximum 20 bar nyomáson működtethetőek. Az előnyük, hogy bővíthetőek, könnyen és gyorsan szerelhetőek és igy a hőcserélő rendszeres

tisztítását egyszerűvé teszi. Amennyiben a hőhordozó közegek keveredése súlyos üzemzavart okozna (például atomerőművekben), akkor biztonsági lemezeket alkalmaznak. Ezekben a hőcserélőkben a lemezek és a tömítések is duplázva vannak, így a lemez vagy a tömítés meghibásodása még a két közeg keveredése vagy a szivárgás előtt észlelhetővé válik.

26. ábra: Bővíthető, csavarokkal összeszerelt lemezes hőcserélő
(Forrás: [52])

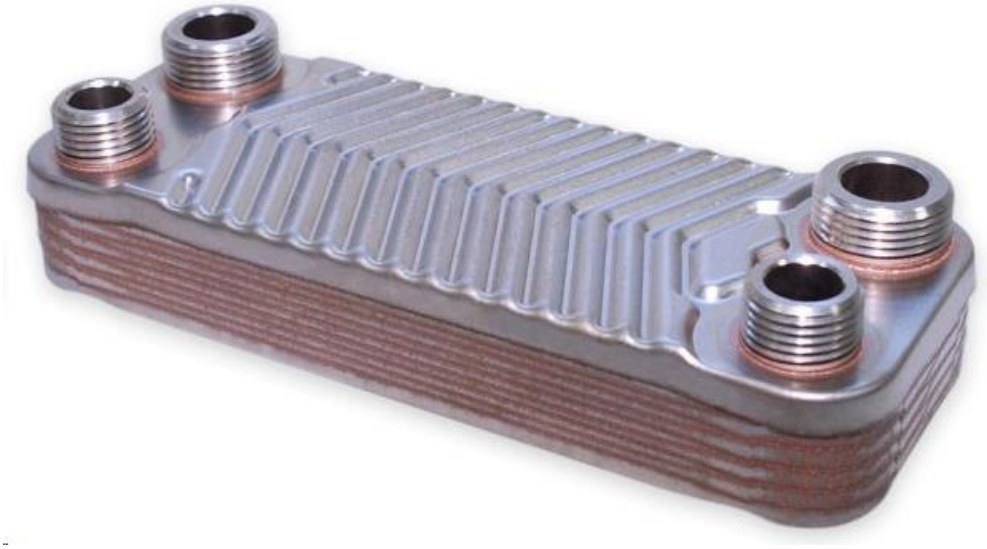
A bővíthetőséget a következő 50. ábra mutatja, ahol látható a nagyobb keretrendszer, ami további lemezek behelyezését teszi lehetővé. A csavarokkal rögzített lemezes hőcserélő hőmérséklet- és nyomástartományának kiterjesztését lehetővé teszi a félig hegesztett hőcserélő kialakítás. Ebben az esetben két hőcserélő lemezt úgy hegesztenek össze, hogy a táblák összekapcsolásakor csak az egyik oldalon kell tömítést alkalmazni. Ennek köszönhetően a hőcserélő könnyen javítható marad és biztosított az egyik oldalon a nagy nyomásállóság. Általában olyan hőátviteli feladatoknál választják ezt a konstrukciót, ahol egy nagy és egy kis nyomású hőhordozó közeg között történik a hőátvitel. [52]

2.6.11. Keményforrasztott lemezes hőcserélő

A forrasztott lemezes hőcserélő egy változata a hagyományos lemezes hőcserélőknek. Felépítése hasonlít a tömítéssel ellátott lemezes hőcserélőhöz, vagyis szintén egy lemezkötegből áll, azzal a különbséggel, hogy nem tartalmaz tömítéseket, szorítócsavarokat, tartósíneket. Így a forrasztott

lemezes hőcserélő csak hullámosított, rozsdamentes acéllemezekből, két zárólemezből és csatlakozókból áll. A lemezeket és a többi alkatrészt a vákuumkemencében végzett keményforrasztás tartja össze, ami még a hagyományos lemezes hőcserélőnél is kompaktabb készüléket eredményez. Ezek a hőcserélők lehetőséget kínálnak az úszófejes csőköteges hőcserélők alternatívájaként, akár 35 bar nyomáson és 250 °C hőmérsékleten is üzemeltethetők. Ugyanakkor javításuk nem lehetséges és csak oldószerekkel lehet őket tisztítani. A hőátadó felületet az egymásra rakott lemezek alkotják. Így a lemezek között csatornák alakulnak ki. A közegeket a lemezek széle körül, illetve a lemezek érintkezési pontjai között lévő keményen forrasztott rézréteg tartja össze. Ez a rézréteg szolgál egyben a lemezek közti tömítésként is. A szállított közegek nyomásából eredő igénybevételt az ellentétes irányban hullámosított lemezek érintkezési pontjainál lévő forrasztások veszik fel. A csatornalemezeket a fedőlapok zárják le.

27. ábra: Keményforrasztott lemezes hőcserélő
(Forrás: [52])



Általánosságban elmondható, hogy a kompakt lemezes hőcserélőket nem alkalmazzák nagy mennyiségű gőz kondenzálására, mivel kis közegtérfogatuk miatt nem érik el a csöves hőcserélők hatékonyságát ezen a területen. [19]

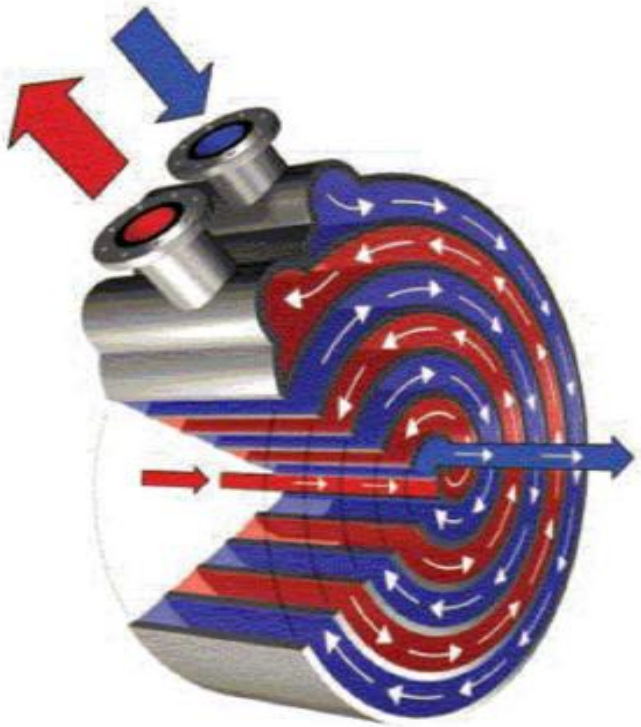
2.6.12. Spirál lemezes hőcserélő

Az első lemezes hőcserélők az úngynevezett spirállemezes hőcserélők voltak. Alapvető szerkezeti eleme két fémlemez, melyek csigavonalban hajlítottak és két párhuzamos négyzet keresztmetszetű spirális csatornát alkotnak. A csatornák egyik vége a spirál magjában található, míg a másik a

spirál külső szélén, tangenciális elhelyezkedésű. A spirál tetejét és alját fedéllel zárják le, mely rögzítése lehet hegesztett vagy karimás. A karimás rögzítés előnye a könnyű tisztíthatóság, míg a hegesztett változat biztosítja a tökéletes gáztömörséget.

Az alkalmazásuk elsődlegesen a kedvező hőcserélő-térfogat (tömeg) és hőcserélő felület arányuk miatt indokolt. A hosszú élettartamú, megbízható működésű, olcsón és könnyen gyártható lemezes hőcserélőkhöz kiemelkedő minőségű lemezalapanyag és precíz lemezmegmunkálás szükséges. A spirállemezes hőcserélők üzemi nyomása általában legfeljebb 10 bar, míg üzemi hőmérsékletük a szerkezeti anyagoktól függően 50 °C-tól 200 °C-ig terjedhet. Főként cseppfolyós halmazállapotú közegek közötti hőcserére alkalmazzák, gyakran ellenáramú kapcsolásban. Ez azt jelenti, hogy a hőleadó közeg a spirál magjában áramlik a hőcserélőbe, míg a hőfelvevő közeg a spirál közelebbi részén, tangenciálisan áramlik az ellenkező irányba. [18] [19]

28. ábra: Spirál lemezes hőcserélő
(Forrás: [18])



2.7. Hőcserélő kiválasztásának feltételei

2.7.1. Általános feltételek

A megfelelő hőcserélő kiválasztásakor és üzemeltetésekor fontos szempontokat kell figyelembe venni:

- Hőmérséklet-különbség: Fontos szempont a hőmérséklet-különbség meghatározása. Ennek során figyelembe kell venni, hogy milyen hőmérsékletű lesz a közeg, amelyen keresztül az áram halad és milyen hőmérsékletű lesz a kivezető áram. Emellett szükséges meghatározni az átadni kívánt hőmérséklet-különbséget is. Ezek az adatok meghatározóak lehetnek a hőcserélő méretének és teljesítményének szempontjából és befolyásolhatják a megfelelő típusú hőcserélő kiválasztását a megfelelő hatékonyság és teljesítmény eléréséhez.
- Anyagválasztás: Az anyagot az alkalmazási körülményekhez kell kiválasztani, beleértve a hőmérsékletet, a nyomást, a korrozív kémiai anyagok jelenlétét és egyéb tényezőket. A megfelelő anyaghasználat, a hőhasznosító élettartamát biztosítja.
- Áramlás jellege: Fontos figyelembe venni az áramlás jellegét (lamináris vagy turbulens), mivel ez hatással van a hőcserélés hatékonyságára és a hőcserélő méretére.
- Áramlási sebesség és nyomásesés: Az áramlási sebességet és a nyomásesést megfelelően kell meghatározni annak érdekében, hogy megfelelően működjön a rendszer és ne legyen túl nagy energiafogyasztás vagy veszteség.
- Hőátadási tényezők: Meg kell határozni a hőátadási tényezőket az adott anyagok és az áramlás jellege alapján. Ez segít abban, hogy megfelelően méretezhessük a hőcserélőt, és biztosítsuk annak hatékony működését. A hőátadási tényezők pontos meghatározása lehetővé teszi, hogy a hőcserélő optimális teljesítménnyel működjön és hatékonyan hasznosítsa fel a rendelkezésre álló hőenergiát.
- Tisztítás és karbantartás, szerkezeti kialakítás: A hőcserélők hőtechnikai követelmények figyelembevétele mellett fontos a szerkezeti kialakítása. A könnyű hozzáférhetőség és tisztítás nagyon fontos, mivel a hőcserélők hatékonysága csökkenhet a lerakódások és szennyeződések miatt. Olyan modelleket válasszunk, amelyek könnyen tisztíthatók és karbantarthatók.

- Hőcserélő szerepe az adott alkalmazási területen. Ezek az eszközök nemcsak a hőhordozók felmelegítésében és lehűtésében töltenek be fontos szerepet, hanem a hőhasznosításban is. [14] [25]

A felsoroltak csak néhány fontos tényezők a hőcserélők tervezésénél és kiválasztásánál, minden egyes alkalmazás más egyedi szempontokat is felvet.

2.7.2. Az általam megválasztott hőcserélővel szembeni elvárások

A hőcserélő szerepét és a helyi adottságokat figyelembe véve, csak egy lamellás füstgáz-hőhasznosító lehet megfelelő választás a kijelölt területre. A megfelelő működésű rendszer megtervezéséhez további feltételeknek kellet érvényesülni:

- Teljesítmény és hatékonyság: Fontos, hogy a kiválasztott hőcserélő megfelelő teljesítménnyel rendelkezzen a tervezett felhasználásra. Az optimális hatékonyság érdekében olyan modellt kell alkalmazni, amely hatékonyan képes visszanyerni a füstgázokból származó hőt.
- Méret és kapacitás: A hőcserélő méretének és kapacitásának megfelelőnek kell lennie a fűtési rendszer méretéhez és igényeihez. Túl kicsi hőcserélő nem fog elegendő hőt visszanyerni, túl nagy pedig feleslegesen emeli az árat és helyet foglal.
- Anyagminőség és tartósság: Saválló acéllemezek és más korrózióálló anyagok alkalmazása. Fontos, hogy az alkalmazott anyagok minősége és a gyártási folyamatok megfelelőek legyenek annak érdekében, hogy a hőcserélő hosszú élettartamú legyen és hatékonyan működjön.
- Költséghatékonyság: Fontos, hogy a kiválasztott hőcserélő megfelelő ár-érték aránnyal rendelkezzen. Figyelembe kell venni az élettartamot, üzemeltetési költségeket és az esetleges hosszú távú megtakarításokat is.
- Harmatpont alá hűlés veszélyének az elkerülése, továbbá a füstgáz oldali ellenállás (tűztér nyomás) betartása. A harmatpont alá hűlés veszélyének elkerülése azért fontos, mert megakadályozza a hőcserélő felületén a kicsapódó nedvesség képződését és a potenciális károsodást. A füstgáz oldali ellenállás betartása pedig biztosítja, hogy a hőcserélő megfelelően működjön a tűztér nyomásával összhangban, ezáltal optimalizálva a fűtési vagy hőtermelési folyamatot. [2] [13] [14] [16] [17] [23] [26]

3. Az erőmű bemutatása

3.1. Az erőmű tevékenység leírása

Csepeli Erőmű Kft. fő tevékenységei közé tartozik a hőtermelés és szolgáltatás. A társaság közreműködik a FŐTÁV részére nyújtott fűtési célú forróvíz szolgáltatási tevékenységben, korábban a Csepeli Ipartelep forróvíz fogyasztóinak ellátását is biztosította. A szolgáltatáshoz szükséges forróvíz előállítása döntő mértékben az Alpiq Csepel II. kombinált ciklusú erőműben történik, de tartalék és csúcs üzemben a forróvíz kazánokban is történik forróvíz előállítása. A FŐTÁV felé történő forróvíz ellátást a két erőmű egy közösen használt zárt rendszerű forróvíz hálózaton képes biztosítani. A hőfokszabályzás a FŐTÁV által megadott napi menetrend szerint történik.

3.2. A városi távhő ellátás

A városi távhőellátó vezetékek az Alpiq Csepel Kft. tulajdonában és a Csepeli Erőmű Kft. üzemeltetésében vannak a szolgáltatási terület határáig. A városi rendszereket két vezetékpár látja el, az úgynevezett keleti egyes a „K1” jelzésű, illetve déli kettes a „D2” jelzésű. Üzemállapottól függően működhetnek egyszerre párhuzamosan, két oldalról ellátva a FŐTÁV Zrt. rendszerét, illetve külön-külön is, egy oldali betáplálást biztosítva. Az utóbbi üzemállapot általában karbantartási időszakban működik. A különböző üzemállapotok kialakítását a FŐTÁV Zrt-vel közösen határozzuk meg. A vezetékpárok beton oszlopokon, magas vezetésben, illetve bakos alátámasztásokon vannak kiépítve. A városi területek ellátását biztosító vezetékpárok csatlakozási, illetve átadási pontja a FŐTÁV Zrt. forróvíz hálózatához az ipartelep volt kerítésvonalában van meghatározva.

3.3. Forróvíz keringtetése és elosztása

A forróvíz keringtetése és elosztása a forróvíz keringtető szivattyúházban telepített három darab, egyenként 1 MW villamos teljesítményű szivattyúval, illetve nyári üzemvitelben egy darab 400 kW villamos teljesítményű szivattyúval történik. Egyszerre egy keringtető szivattyú üzemel. A forróvíz elosztása a szivattyúházban lévő segéd, illetve a szivattyúház Északi oldalán kívül telepített keverő, előremenő és visszatérő osztók segítségével történik. Az előremenő és visszatérő osztón lévő szerelvények egyben átadási pontjai is a távhő elosztó hálózatnak. A forróvíz előállítás, keringtetés és elosztás folyamatát a keringtető szivattyúház emeletén lévő

hővezénylő helyiségben telepített műszerek, folyamatellenőrző és szabályozó rendszerek segítségével a Csepeli Erőmű Kft. üzemviteli személyzete irányítja, felügyeli és működteti.

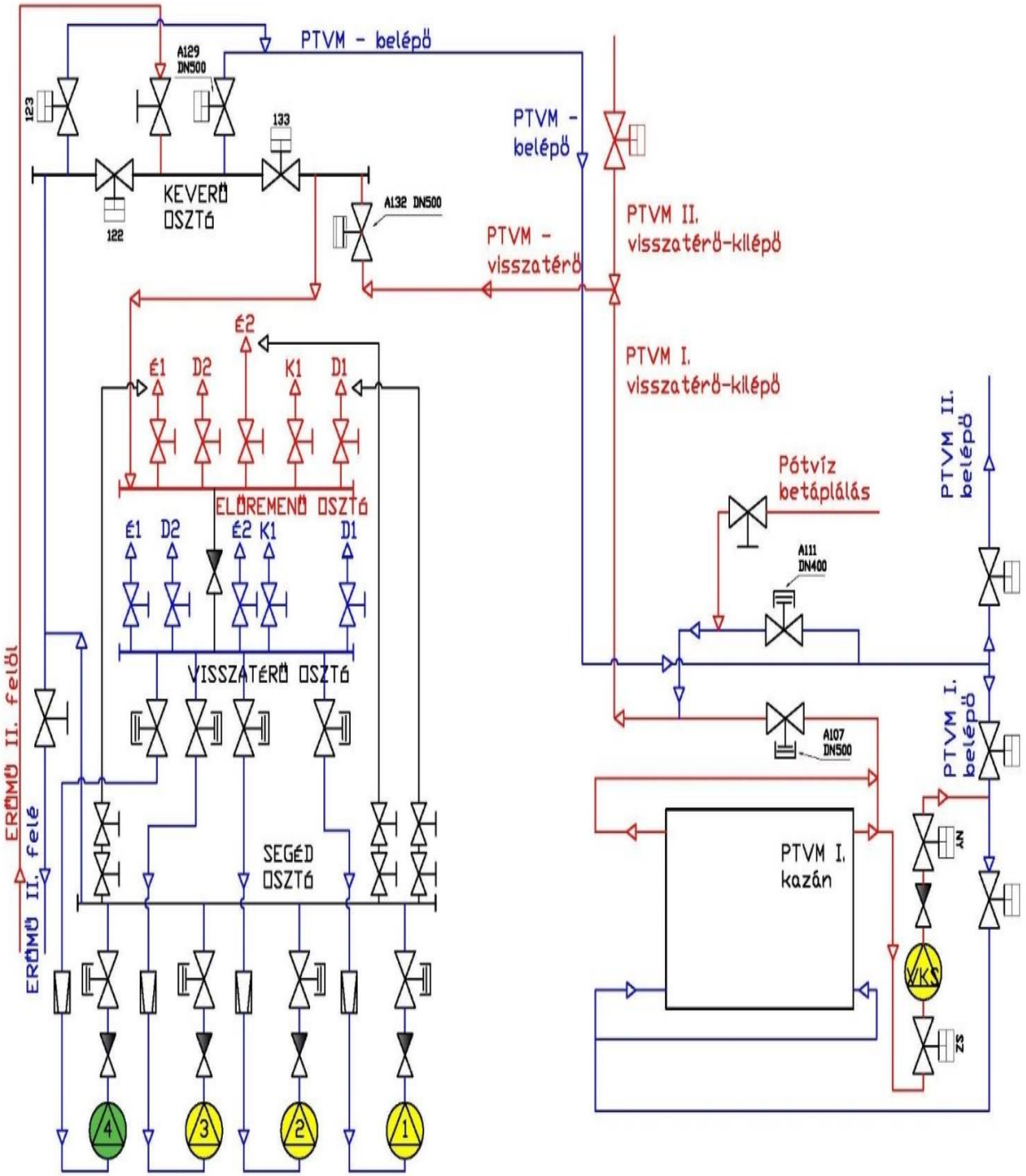
3.4. Hőfokszabályozás

A forróvíz előállítása, hő bevitele a rendszerbe, háromféleképpen lehetséges a Csepeli Erőmű Kft.-nél:

1. Az összes kért hőmennyiséget a Csepel II állítja elő és egyedül végzi a forróvíz rendszer fűtését.
2. Az összes hőmennyiséget a PTVM kazánokkal állítjuk elő.
3. Csepel II bevisz egy bizonyos hőmennyiséget a forróvíz rendszerbe és a hiányzó részt a PTVM kazánnal pótoljuk.

- Az 1-es pont esetén a hőfok szabályozása úgy történik, hogy a Hővezénylőkezelő közli a Csepel II vezénylő személyzettel a FŐTÁV által e-mail-en leadott 24 órás menetrendet (előremenő vízhőfokot) és a műszak folyamán együttműködnek a menetrend betartásához.
- Amikor a Csepel II nem tud betáplálni a forróvíz rendszerbe hőt, (leállás esetén), akkor az összes hő a PTVM kazánnál állítható elő. Ebben az esetben (2-es pont) a hőfokszabályozás úgy történik, hogy a forróvíz kazánnál, annyi égő üzemel, amennyi szükséges az előremenő vízhőfok előállításához. Az égők száma növelésével, vagy csökenésével (szakaszos üzemeltetésével) van szabályozva a hőfok.
- Adódik olyan üzemmód is, amikor Csepel II csak egy bizonyos rész hőmennyiséget tud betáplálni a rendszerbe. A többi hiányzó hőmennyiséget a PTVM kazánnal, kell pótolni. Ebben az esetben is a hőfokszabályozás úgy történik, hogy a kazán üzemeltetése során növelni, vagy csökkenteni kell az égők számát a hőigény szerint, (durva szabályozás). A „finom” hőfokszabályozást Csepel II látja el.

29. ábra: Forróvíz rendszer, kapcsolási rajz
(Forrás: Saját szerkesztés a meglévő rendszer alapján)



4. PTVM bemutatása

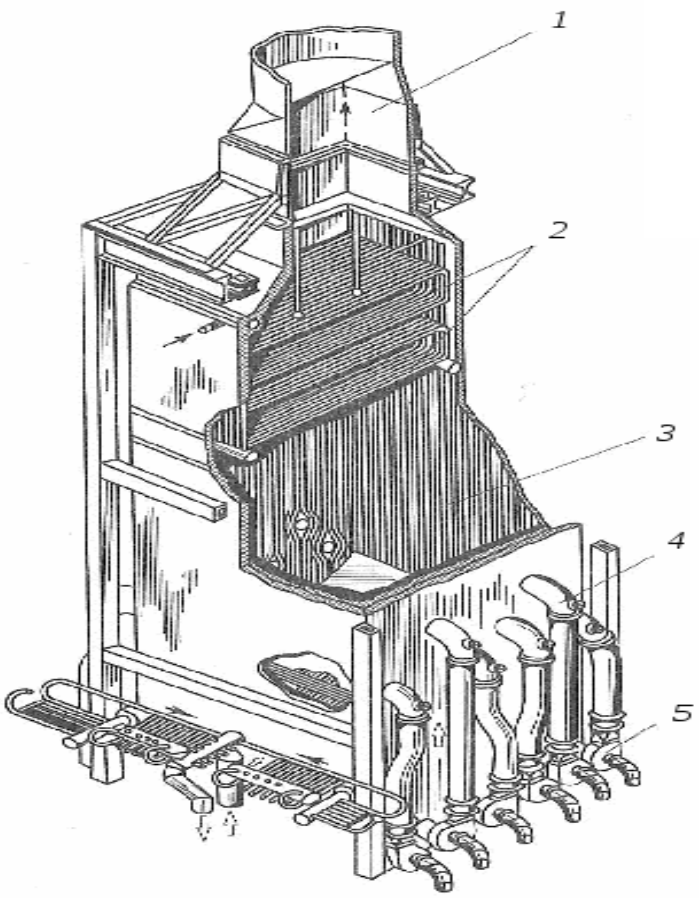
A 70-es évek végén és a 80-as évek elején az erőmű területére egy füstgáz kibocsátó pontforrással rendelkező, kettő darab egyenként 58 MW hasznos hőteljesítményű PTVM-50-1 típusú forróvíz kazán került megépítésre. A kazánokat a dorogobuzsi Kazángyárban gyártották. Az eredetileg gáz- és olajtüzelésre alkalmas kazánok olajellátó- és olajtüzelési rendszere a későbbiekben megszüntetésre került, a kazánok ettől kezdve csak gáztüzeléses üzemre voltak alkalmasak. Az üzembehelyezésüket követően 2000-ig közepes kihasználtsággal üzemeltek, de az Alpiq Csepel II. gázturbinás erőmű üzembe jöttét követően kihasználtságuk drasztikusan lecsökkent, alig 200-300 órát üzemelnek egy évben, minimális terheléssel, úgynevezett biztonsági tartalékai a város fűtési rendszernek, ezzel együtt az ellátásbiztonság fenntartásában fontos szerepe van továbbra is. A kazánokra vonatkozó szigorodó környezetvédelmi normák teljesítése érdekében az emissziós (NOx kibocsátási) határértékek változása miatt a PTVM2 kazán leállításra került, a PTVM1-es kazán maximális bemenő hőteljesítménye 48 MW-ra csökkent. A teljesítmény csökkentést az eredetileg 12 égős kazánból maximum 8-égős kazánra történő átalakításnak, valamint teljes körű irányítástechnikai rekonstrukciónak (terepi műszercserék és relés vezérlőrendszer biztonsági PLC-re történő cseréjének) köszönhetően sikerült megvalósítani. A 48 MW bemenő hőteljesítmény eléréséhez, a vezérlő automatika a nyolc darab gázégőből maximum hat darab gázégő beüzemelését engedélyezi egyszerre, a megmaradt két darab gázégő ilyenkor tartalékként van jelen. A nyolc darab gázégőből bármelyik hat indítható, betartva az üzemeltetéssel kapcsolatos előírásokat.

(Forrás: PTVM kazánkönyv, üzemeltetési utasítás)

4.1. A technológiai objektum leírása

A PTVM-50 kazán legfeljebb 150 °C hőmérsékletű forróvíz előállítására szolgál szabadon álló kazánházakban, ipari és háztartási fűtési és melegvíz-ellátó rendszerekben történő felhasználásra. A PTVM-50 kazánokat alap üzemmódban és csúcs üzemmódban (hálózati víz fűtésére) egyaránt használják, 70-150 °C hőfoklépcsőkkel. A PTVM-50 kazán egy égésteret és egy konvektív fűtőfelületet egyesítő csőrendszerből, valamint gázégőkből áll. [27] [44]

30. ábra: PTVM-50 kazán vázlata a), b)
(Forrás: [27] [40] [41])



1 – kémény;
2 – konvektív fűtőfelületek;
3 – kamrás tűztér;
4 – gázégő;
5 – ventilátor

(a)

(b)

4.2. A PTVM 50-es kazán műszaki ismertetése

Tartós teljesítmény:	48 MW
Min. Teljesítmény:	15 MW
Engedélyezett legnagyobb víznyomás:	18 bar
Üzemi víznyomás (max.):	9,5 bar
Keringtetett névleges tömegáram:	1500 t/h
Távhő visszatérő névleges hőmérséklet:	55 °C
Kilépő víz névleges hőmérséklet (max.):	150 °C
Tüzelőanyag:	földgáz
Ált. kazánhatásfok:	87,6%
A kazánbelső fűtőfelülete:	1215,8 m2

Levegőventilátor műszaki adatai:

Szállított levegőmennyiség:	q = 2600-7000 m/h
Emelőmagasság:	H = 106 -130 mm v.o. (vízoszlop)
Fordulatszám:	n = 1440 f/p
Motorteljesítmény:	N = 7,5 kW

Visszakeverő szivattyú (VKS):

Típus:	B7S 300 / 350
Teljesítmény:	940 t/h
Max. emelőmagasság:	15 m v.o.
Vízhőmérséklet:	150 °C
Nyomás a szívócsőben (max.):	25 bar
Teljesítményszükséglet:	47 kW
Fordulatszám:	960 f/p

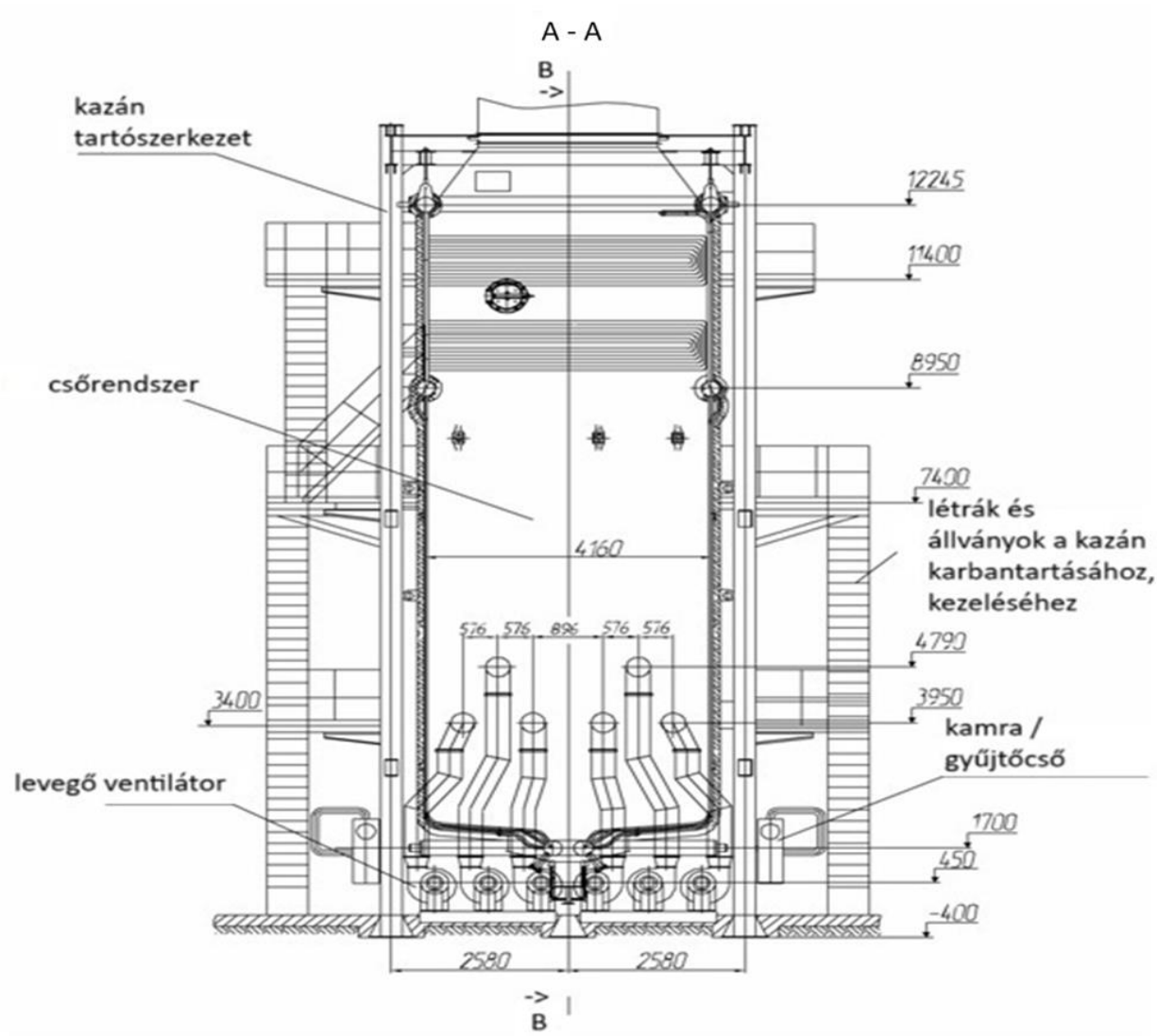
Vízminőség előírások:

Karbonát keménység:	2 nk (német keménységi fok)
Oxigén tartalom:	0,05 mg/l
Lebegő anyag tartalom:	5 mg/l

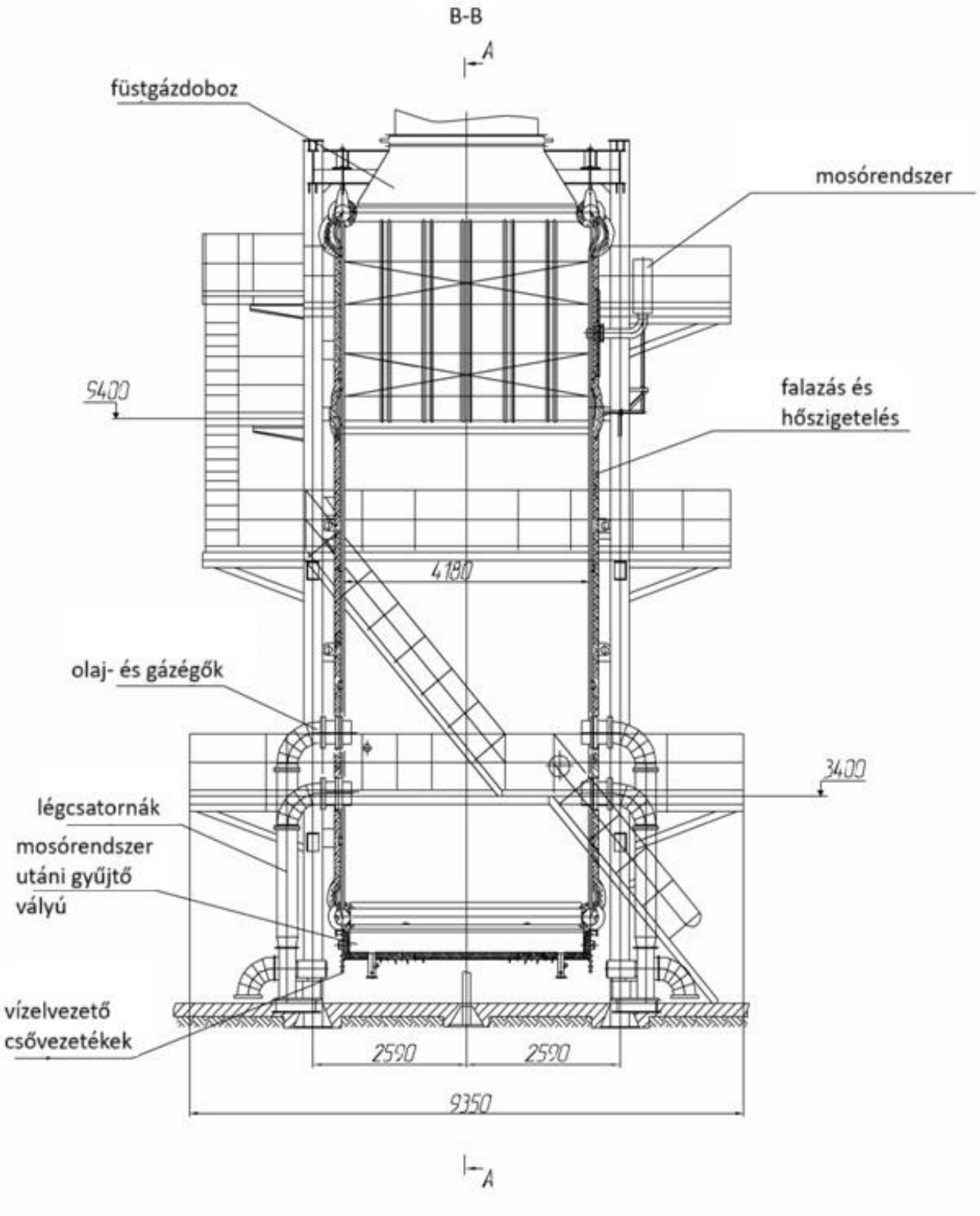
4.3. PTVM-50 kazán szerkezeti kialakítása

A PTVM 50-es forróvizes kazán földgáz- és olajtüzelésre egyaránt kiépített volt, de jelenleg csak földgáztüzelés lehetséges. A forró vizes kazánból kilépő, előremenő vízhőmérséklet csúcsüzem esetén maximum 150 °C, ennek megfelelően a vízáram, illetve a belépő vízhőfok változó. A vízcsöves, kényszeráramlású, besugárzott tűzterű, a tűztér felett kb. 9,2 m-es szinten kezdődő konvektív hőátadó felületekkel ellátott kazán egyhuzamú, azaz toronykazán, természetes huzattal és füstgáz-elszívó ventilátor nélkül, 100 m magas vasbeton kéménnyel biztosítva a depressziót a tűztérben. Füstgázelvezetés a kazánkémény bekötőtől a különálló vasbeton kéményig egy vízszintesen kialakított füstgázcsatornán keresztül történik.

31. ábra: A PTVM-50 kazán tűztér oldalfal
(Forrás: [27] [39] [42] [43])

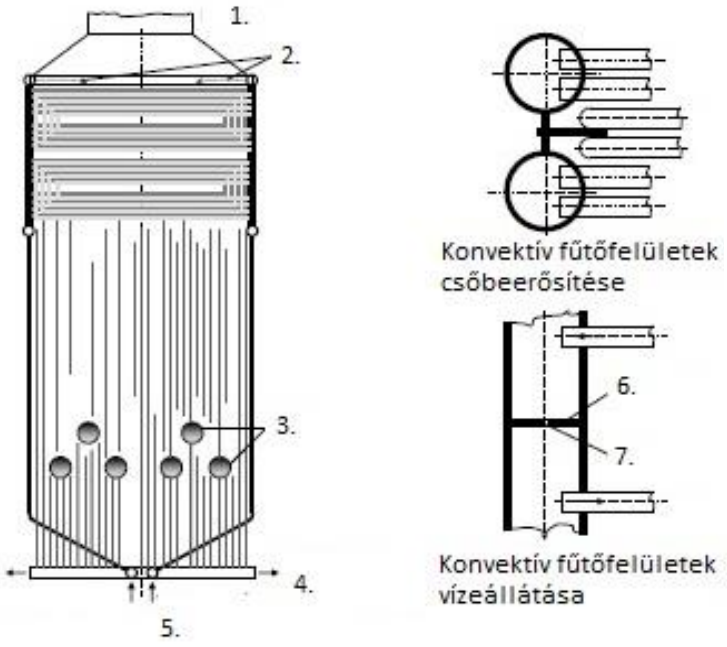


32. ábra: A PTVM-50 kazán oldalfal
(Forrás: [27] [42] [43])



A négyzet keresztmetszetű (4180×4160 mm) tűztér oldalfalai Ø 60,3 × 3 mm-es méretű csövekből állnak, 64 mm osztású csövek határolják, amelyeket az oldalfalakon, a tűztér végén, a 273 mm átmérőjű, 10 mm falvastagságú közbenső kamrákat követően 128 mm osztású, 83 mm átmérőjű, 4 mm falvastagságú csövek váltanak. Ezek a szemközti oldalakon egymáshoz képest 64 mm-el eltolva helyezkednek el. A tűztéri csövek falai több helyen vízszintes merevítő övekkel, bandázsokkal vannak egymással összefogva. A kazánfenék hűtött, hőálló betonozással ellátott, elhelyezkedése 1,7 m-es szinten. A 83 mm átmérőjű csövekbe (csőkamrákba) sakktáblás csőelrendezéssel, 32 mm vízszintes, 65 mm függőleges csőosztással (a vázolt módon, a csőfalon átdugva) csatlakoznak a konvektív fűtőfelületek, 28 mm átmérőjű, 3 mm falvastagságú, U alakú csőkígyói. A függönyökbe rendezett csőkígyók a kazán másik oldalán a 83 mm átmérőjű csövek közé behegesztett gátlemezre támaszkodnak. Az osztásközt a másik oldalról benyúló függönyök töltik ki. Így egy egyenletesen elrendezett, konvektív fűtőfelület alakul ki. A konvektív rész két csoportra oszlik, közöttük a távolság 660 mm. A függőleges csőből kilépő és belépő csonkok elhatárolását átfúrt, záró tárcsa biztosítja. A furat a teljes légtelenítés, illetve leüríthetőség érdekében szükséges. [1] [10] [11] [27] [38] [45] [48]

33. ábra: Kényszerített áramlású PTVM forróvíz-kazán
(Forrás: [1] [11])



1. füstgáz elvezetés
2. átömlés
3. égők
4. víz elvezetés
5. víz bevezetés
6. záró tárcsa
7. légtelenítő, víztelenítő lyuk

4.4. PTVM-50 kazán vízáram

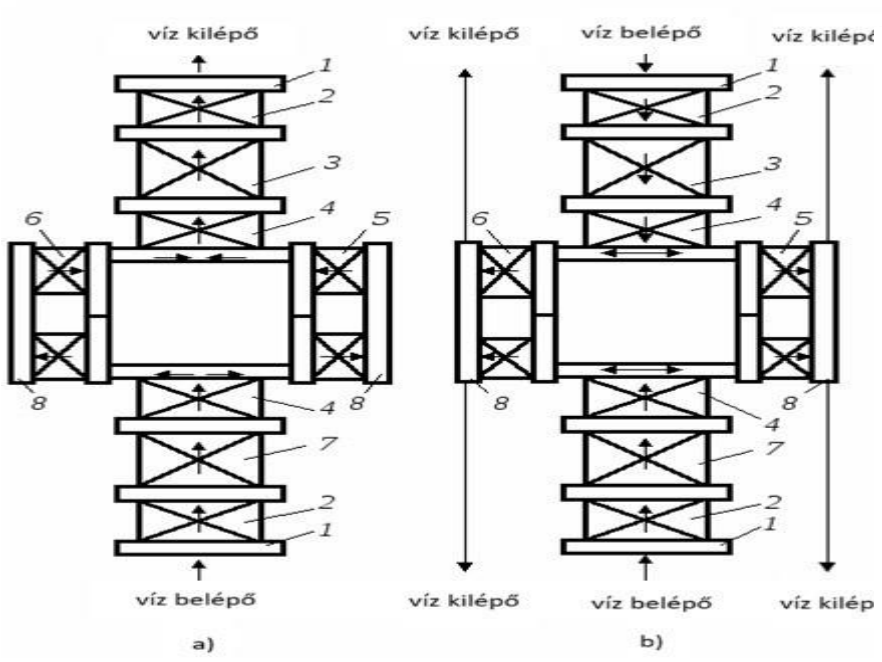
A kazán belsejében a minimális, névleges 850 t/h vízáramot a kazánnal párhuzamosan kapcsolt VKS visszakeverő szivattyú biztosítja, függetlenül a távhőrendszer aktuális vízmennyiségétől, lehetővé téve a biztonságos kazánüzemet.

A kazán jelenlegi kiépítésében kétutas kapcsolásban üzemeltethető.

PTVM-50 kazán vízoldalon kétutas vagy négyutas áramlási kapcsolás lehetséges:

- Az előbbinél, a hőhordozó közeg az alsó kamrákon lép be, végighalad a tűztéri oldalfalakon, a tűztér végi közbenső kamrákon, konvektív elosztócsöveken, a kétfokozatú konvektív fűtőfelületeken, és a felső kamrákon átömlik a homlok és hátfali felületek felső kamrájába, ahonnan lefelé haladva a két alsó kamrához csatlakozó csonkokon távozik.
- A négyutas kapcsolásnál csak az egyik oldali alsó kamrán át van bevezetés és a felső kamrából az átömlés a mellső és hátsó fali kamrák egyik felébe történik. A víz csak a felületek egyik felén halad lefelé és az alsó kamrákban visszafordulva a felületek másik felén felfelé áramlik. A felső kamrákban átömlik a másik, konvektív felületeket is tartalmazó oldalfalba, melyen lefelé áramlik és az alsó kamrához csatlakozó csonkon távozik. A mellső-, hátsófali felső kamrák szakaszolását a kamrák függőleges, hosszirányú osztósíkjában beépített választólemezek biztosítják. [1] [11] [27] [38]

34. ábra: A vízáramlás sémája a PTVM-50 fűtőkazánban
(Forrás: [27] [38])



1 – bemeneti és kimeneti kollektorok;
2 – összekötő csövek;
3 – elülső oldalfal;
4 – konvektív csőköteg;
5, 6 – bal és jobb oldali (gázégők oldali) oldalfal;
7 – hátsó oldalfal;
8 – vízáramlás kollektorokban

a.) *négyutas üzemmódban*
b.) *kétutas üzemmódban*

4.5. PTVM-50 kazán gázégők

A kazán eredeti kialakítása szerint a szemközti oldalfalakon 6-6 db gázégő-berendezés (1-1 főégő és 2-2 mellékégő) helyezkedik el a 3,95 m és 4,79 m-es magassági szintek között. A kazán jelenleg 8 égővel rendelkezik, a szemközti oldalfalakon 4-4 db helyezkedik el. Minden égő egyedi ventilátorral van felszerelve. PTVM forróvíz-kazán, fűtési hőteljesítménye a kazánon átáramló víz mennyiségének és az üzemelő égők számának változtatásával szabályozható. A kazán üzemhez minimum két átlósan elhelyezett alapégőt kell üzemeltetni. Az égők ki-be kapcsolásával a kazán teljesítménye fokozatosan csökkenthető 100% terheléstől 0%-ig. A legkisebb nullánál nagyobb terhelési szintet a 2 égős üzem határozza meg. E fölött az alapégők önmagukban is, a mellékégők csak működő alapégővel együtt indíthatók be. 2 égős üzemállapotban a kazán hőteljesítménye megközelítőleg 15 MW, durván 90% kazánhatásfok mellett.

A fűtőkazán félig nyitott: csak égők, szerelvények, ventilátorok stb. (azaz a kazánegység alsó része), a kazán összes többi eleme a szabadban található.

5. Számítások

5.1. Shiva adatgyűjtő rendszeréből felhasznált PTVM forróvízkazán mérési adatok

Adatgyűjtés időpontjának a behatárolására az emissziós merési jegyzőkönyvben meghatározott 4 főégős üzemállapot kezdeti időpontját és azt követő egy órás adatokat vettem alapul.

Adatgyűjtés időpontja: 2023.03.12 5:28 - 2023.03.12 6:27

$PTVM_V$	földgáz térfogatáram:	3460,00 [Nm^3/h]
$PTVM_{FV}$	forróvíz tömegáram:	1500,00 [t/h]
$PTVM_{QG}$	földgáz hőmennyiség:	120,19 [GJ/h]
$PTVM_{QV}$	termelt hőmennyiség:	109,00 [GJ/h]
$PTVM_{t2}$	előremenő vízhőmérséklet:	93,47 °C
$PTVM_{t1}$	visszatérő vízhőmérséklet:	76,30 °C

Shiva adatgyűjtő rendszerének adataiból számolt PTVM kazán hatásfok számítás η (%):

$$\boldsymbol{\eta} = \frac{\boldsymbol{PTVM_{QV}\ termelt\ hőmennyiség}\ \mathbf{[GJ/h]}}{\boldsymbol{PTVM_{QG}\ földgáz\ hőmennyiség}\ \mathbf{[GJ/h]}} = \frac{109{,}0}{120{,}19} = \mathbf{90{,}69\%} \qquad (1)$$

5.2. FGSZ - Informatikai Platform rendszerében rögzített fűtőérték

Földgáz (2023.03.12.) napi átadói fűtőérték: 34,73647 [MJ/m^3]

5.3. PTVM forróvíz-kazán hőtechnikai számítások az emisszió mérésekor rögzített jegyzőkönyv adatokból

Az átalakítás utáni üzemi próbák (2023.03.12.) alatt rögzített és az elvégzett emissziós merésnél elkészült jegyzőkönyvben szereplő hőtechnikai adatok elegendő információt adnak további költséghatékonyabb megoldások elemzésére.

5.3.1. Füstgázhőcserélővel hasznosítható hő számítás 60 °C-os és 100 °C-os lehűtött füstgáz hőmérsékletnél

Kiinduló adatok, füstgáz ($_{FG}$):

$\boldsymbol{V_{FG}}$ füstgáz térfogatáram: 46 736 [m^3/h]

$\boldsymbol{\rho_{FG}}$ füstgáz sűrűsége: 1,22 [kg/m^3]

$\boldsymbol{m_{FG}}$ füstgáz tömegáram [kg/h]:

$$\boldsymbol{m_{FG}} = \boldsymbol{V_{FG}} \cdot \boldsymbol{\rho_{FG}} = 46\,736 \cdot 1{,}22 = \mathbf{57\,018\ [kg/h]} \qquad (2)$$

$\boldsymbol{m_{FG}}$ füstgáz tömegáram: 15,84 [kg/s]

$\boldsymbol{t_{1FG}}$ füstgáz hőmérséklet: 395,9 K

$\boldsymbol{t_{1FG}}$ füstgáz hőmérséklet: 122,9 °C

$\boldsymbol{t_{2FG\,60}}$ tervezett hőcserélő utáni füstgáz hőmérséklet: 60 °C

$\boldsymbol{cp_{FG}}$ füstgáz fajhő: 1,25 [kJ/kgK]

$\boldsymbol{Qh}$ (füstgáz hőcserélővel) hasznosítható hő [kW]:

$$\boldsymbol{Qh} = \boldsymbol{m_{FG}} \cdot \boldsymbol{c\,p_{FG}} \cdot \left(\boldsymbol{t_{1_{FG}}} - \boldsymbol{t_{2_{FG}}}\right)\ \mathbf{[kW]} \qquad (3)$$

$$\boldsymbol{Qh_{60}} = 15{,}84 \cdot 1{,}25 \cdot (122{,}9 - 60) = \mathbf{1245{,}287\ [kW]}$$

$$\boldsymbol{Qh_{100}} = 15{,}84 \cdot 1{,}25 \cdot (122{,}9 - 100) = \mathbf{453{,}372\ [kW]}$$

Ha a kazánból kilépő 122,9 °C-os füstgázhőt a hőcserélőn keresztül 60 °C-os hőmérsékletre hűtenénk, akkor a hasznosítható hőteljesítmény 1245,287 [kW] lenne. Amennyiben 100 °C-os lehűtésre törekednénk, a hasznosítható hőteljesítmény 453,42 [kW] lehetne.

Amennyiben a hőmérséklet a füstgáz harmatpontja alatt van, lecsapódással, korrózióval kell számolni. A kazánokból kiáramló füstgáz harmatponti hőmérséklete függ a tüzelőanyag nedvességtartalmától és a légfelesleg-tényezőtől. Ez az érték jellemzően 45-70 °C között mozog. A levegő arányának csökkenése vagy a tüzelőanyag nedvességtartalmának növekedése magasabb harmatponti hőmérsékletet eredményez, ami nagyobb lecsapódási kockázatot jelent. Alacsonyabb füstgáz hőmérséklet esetén a kondenzáció jelentős kockázatot hordoz magában, különösen a kazánok felfűtési és lehűlési szakaszában. Ennek oka, hogy a füstgázok hőmérséklete a felfűtési szakaszban magasabb, majd a lehűlés során közelíti meg a harmatpontot, ami kondenzációhoz vezethet. [2] [23]
Az alacsony füstgáz hőmérsékletnek két lényeges következménye van:

I. Állandó kondenzációs veszély van a kéményben. A kéménynek el kell viselnie a nedvességet és a savas kondenzátumot. A hasznosítható 1245,287 [kW] hőmennyiség a 60 °C-os lehűtött füstgáz hőmérsékletnél a kazán hatásfokát növelné, de a füstgázelvezető rendszereknél kiemelten fontos átalakításokat kellene végezni a kondenzáció megelőzése és a korrózió védelme érdekében. A korrózió elleni védelem fontossága nem hagyható figyelmen kívül!
   A kémény vagy füstgázcsatorna korrodálódása komoly biztonsági kockázatokat is jelenthet. Azonban a saválló acéllemezek és más korrózióálló anyagok alkalmazása, a füstgázcsatornában és a 100 m magas, 5 m átmérőjű kéményben, magas anyagi költségekkel járhat. Ezek az anyagok általában drágábbak és nehezebben dolgozhatók, ami további munkaerő- és gyártási költségeket von maga után. Emellett a nagy kémények és hosszú füstgázcsatorna esetén a nagy mennyiségű anyag felhasználása még tovább növelheti az összköltségeket.

II. A kémény huzata, a meleg füstgázok és a hidegebb külső levegő sűrűség-különbségéből származik. A füstgázok lehűtésével gyakorlatilag megszűnik a huzat. A füstgázokat ventilátorral kellene eltávolítani. A nyomásviszonyokat a kémény huzata és a füstgázcsappantyú határozza meg. A füstgázcsappantyú optimális beállítása segítheti a természetes huzat kialakulását és fenntartását a rendszerben. A füstgáz-hőcserélő kiválasztásánál kulcsfontosságú tényező, hogy olyan típust válasszunk, amely lehetővé teszi a füstgázrendszer folyamatos működését anélkül, hogy füstgáz-elszívó ventilátorra lenne szükség. Egy kis teljesítményű füstgáz-hőcserélőnél különösen fontos, mivel a füstgáz-elszívó ventilátor működtetése további energiát igényelne, és így növelné a rendszer üzemeltetési költségeit.

Figyelembe véve a harmatpont alá hűlés veszélyének az elkerülését, továbbá a füstgáz oldali ellenállás betartását (tűztér nyomás), füstgázok hőmérsékletét, az üzemeltetési körülményeket, valamint a rendelkezésre álló beépíthető méreteket, egy egyedileg megtervezett hőcserélő megtervezése indokolt. A Greentech Energy Kft. által forgalmazott WätaS Multi lamellás füstgáz hőcserélő megfelelőnek bizonyult a tervekhez és elvárásokhoz. Ezek a hőcserélők több lamellás felépítésüknek köszönhetően nagyobb fűtőfelülettel rendelkeznek, ami lehetővé teszi a hatékonyabb hőátadást és a jobb teljesítményt. Emellett a lamellák közötti elrendezés lehetővé teszi a füstgázok optimális áramlását, ami tovább javítja a hőcserét.

A Társaság a füstgázzal távozó energiamennyiség hasznosítására lehetőséget kínált az alábbiak szerint:

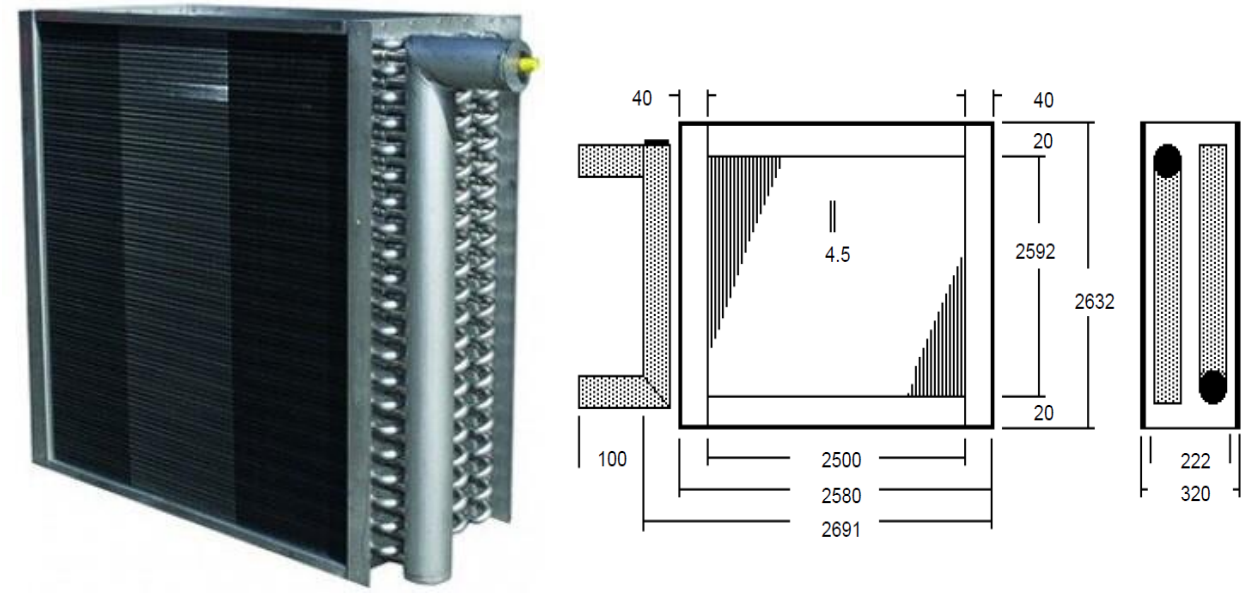
A hőcserélő teljesítménye 298,22 [kW] és 100 °C-os lehűtött kilépő füstgáz hőmérsékletet biztosít (figyelembe véve a harmatponti alá hűlés elkerülését). Rozsdamentes acélból készülő, hővisszanyerő berendezés, mely a hőtermelő berendezés kilépő füstgázcsatorna méreteihez igazodva beépíthető, a berendezés rendszeréhez tartozó szerelvényekkel és csővezetékekkel együtt. A rendszer füstgáz oldali ellenállása igen alacsony, 30 Pa. Ezért a kazán esetében jellemzően nem merül fel a füstgáz elszívásának ventillációs igénye.

A saválló (V2A) WätaS Multi lamellás, vizes léghűtő hőcserélő darabára (csatlakozókkal):

nettó érték: 8 500 000 Ft/db

A számítások további részében hasznosítható hőmennyiségként a hőcserélő megadott teljesítményével; 298,22 [kW]-al számolok.

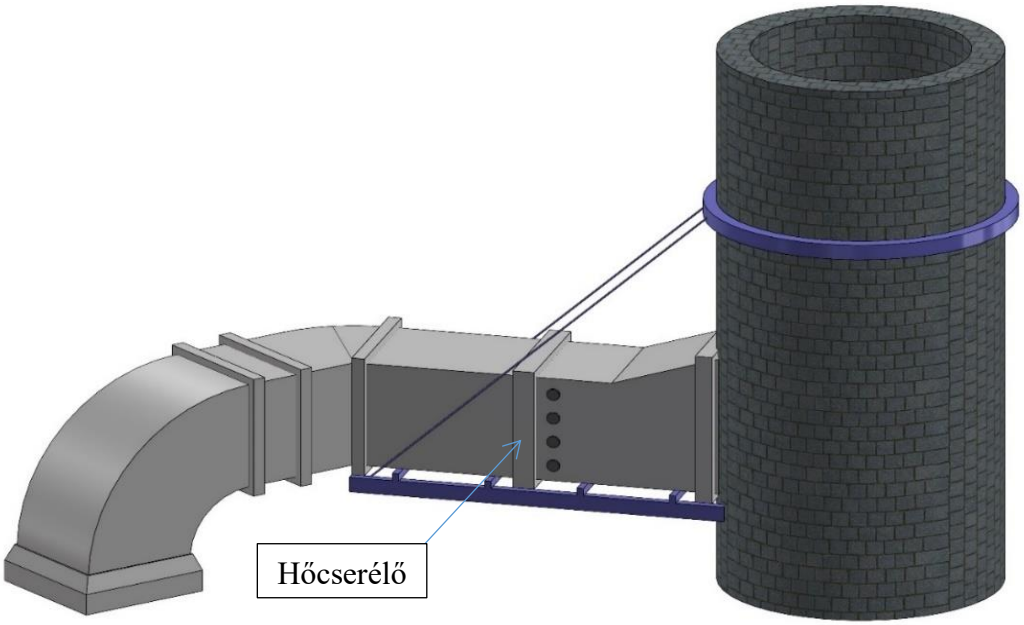
35. ábra: WätaS Multi lamellás füstgáz hőcserélő
(Forrás: [WätaS Multi katalógus])



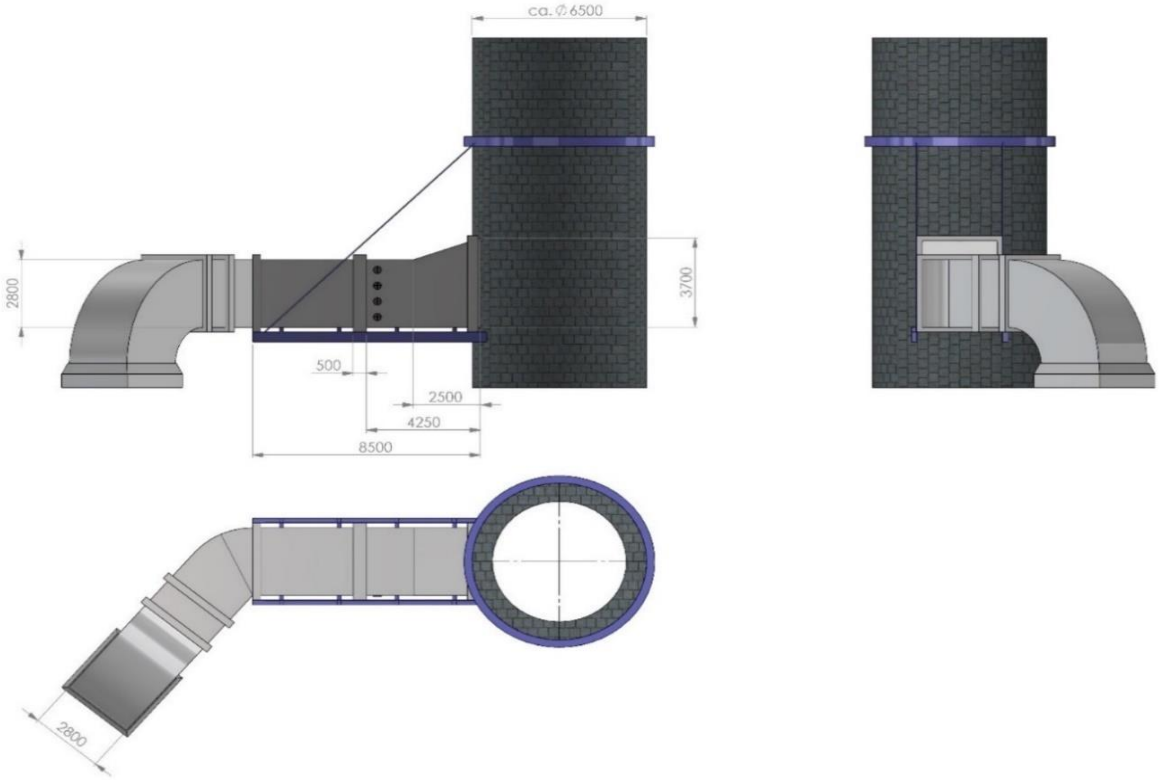
A hőcserélő műszaki adatai az 1. sz. mellékletben csatolva.

36. ábra: *Füstgázcsatorna (jelenlegi állapot)*

37. ábra: Füstgázcsatorna hőcserélővel, illusztráció
(Forrás: Saját szerkesztés)



38. ábra: Füstgázcsatorna hőcserélővel vázlatrajz
(Forrás: Saját szerkesztés)



5.3.2. Tüzeléstechnikai számítás (órás)

1. táblázat: Füstgáz O_2 tartalom
(Forrás: Az emisszió mérésekor elkészült jegyzőkönyvből)

Minta száma	Mintavételi időszak	Komponens	Félórás átlagkoncentráció (%)	Átlagkoncentráció (%)
P38	4:27-4:57	Oxigén	10,71	6,78
	4:57-5:27		6,74	
	5:27-5:57		6,13	
	5:57-6:27		5,45	
	6:27-6:57		4,85	

Átlagkoncentrációt a jegyzőkönyvben rögzített 5:27 és 6:27 közötti időszak adatainak átlagából számoltam.

Füstgáz O_2 tartalom: 5,79 %

A normál köbméter (Nm^3) a 0 °C-os (273,15 K) és 1,013 bar (101,32 kPa) nyomású gáz térfogategysége. A levegő átlagosan 21 tf% oxigént tartalmaz. A levegő térfogatát megkapjuk, ha a benne levő oxigén térfogatát 100/21 = 4,76-tal megszorozzuk. Ezért az egyes elemi alkotók oxigénszükségletét 4,76-tal szorozva és a tüzelőanyag elemi összetételével súlyozva a tüzelőanyag tökéletes égéséhez szükséges elméleti levegőmennyiséget kapjuk. [8] [47]

n légfeleslegtényező:

A ténylegesen felhasznált levegő (L) és az elméleti levegőmennyiség (L_0) hányadosa. A légfeleslegtényezőt a füstgáz oxigén és széndioxid koncentrációjának ismeretében egyaránt kiszámíthatjuk, mivel a mérésünknél a füstgáz oxigéntartalmát határozzuk meg, ezért az O_2 koncentráció alapján határozzuk meg a légfeleslegtényezőt. [8] [46]

$$\boldsymbol{n} = \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{Lo}}\left[\frac{\mathbf{m^3/m^3}}{\mathbf{m^3/m^3}}\right] = \frac{21}{21 - O_{2mért}} = \frac{21}{21 - 5{,}79} = \mathbf{1{,}38067} \qquad (4)$$

$\boldsymbol{V_{FG}}$ füstgáz térfogatáram: 46 736 [m^3/h]

$\boldsymbol{V_0}$ elméleti fajlagos füstgáz mennyiség: 10,02 [m3/m3 földgáz]

$\boldsymbol{L_0}$ elméleti fajlagos levegő igény: 9,02 [m3/m3 földgáz]

$\boldsymbol{V'}$ ténylegesen keletkező füstgázmennyiség:

A tüzelőberendezések az égéslevegő és a tüzelőanyag tökéletlen keveredése miatt légfelesleg alkalmazásával égetik el a tüzelőanyagot, ezért a gyakorlatban keletkező füstgáz mennyisége meghaladja az elméleti füstgáz mennyiséget, amely a tüzelőberendezés és a füstgáz elvezetőrendszer méretezésénél fontos tényező. [8] [46]

$$\boldsymbol{V' = V_0 + L_0 \cdot (n - 1)} \left[\mathbf{Nm^3}/_{\mathbf{Nm^3}}\right] \tag{5}$$

$$\boldsymbol{V'} = 10{,}02 + 9{,}02 \cdot (1{,}38067 - 1) = \mathbf{13{,}4536} \left[\mathbf{Nm^3}/_{\mathbf{Nm^3}}\right]$$

$\boldsymbol{V_G}$ földgáz térfogatáram:

$$\boldsymbol{V_G} = \frac{\boldsymbol{V_{FG}}[\mathbf{m^3/h}]}{\boldsymbol{V'}\,[\mathbf{Nm^3}\ /\ \mathbf{Nm^3}]} = \frac{46\,736}{13{,}4536} = \mathbf{3473{,}853}\ [\mathbf{m^3/h}] \tag{6}$$

5.3.3. Kiinduló adatok kazán hatásfok

$\boldsymbol{V_G}$ földgáz térfogatáram: 3473,853 [m^3/h]

$\boldsymbol{V_G}$ földgáz térfogatáram: 0,96 [m^3/s]

$\boldsymbol{Hi}$ földgáz fűtőérték: 34 736,47 [kJ/m^3]

$\boldsymbol{Q_b}$ tüzelővel bevitt teljesítmény:

$$\boldsymbol{Q_b} = V_G \cdot Hi\ [\text{kW}] \tag{7}$$

$$\boldsymbol{Q_b} = 0{,}96 \cdot 34\,736{,}47 = 33\,519\ [\text{kW}]$$

$\boldsymbol{t_1}$ víz visszatérő hőfok: 76,30 °C

$\boldsymbol{t_2}$ víz előremenő hőfok: 93,47 °C

$\boldsymbol{m}$ keringtetett víz tömegáram: 1500,00 [t/h]

$\boldsymbol{\rho}$ víz sűrűsége: 1000 [kg/m^3]

$\boldsymbol{m}$ víz tömegáram:

$$\boldsymbol{m} = m \cdot 1000/3600 = 416{,}667\ \ [\text{kg/s}] \tag{8}$$

$\boldsymbol{cp_v}$ víz fajhő: 4,2 [kJ/kg,K]

$\boldsymbol{Q_{víz}}$ hasznosított hő teljesítmény:

$$\boldsymbol{Q_{víz}} = m \cdot cp_v \cdot (t_2 - t_1)\ [\text{kW}] \tag{9}$$

$$\boldsymbol{Q_{víz}} = 416{,}667 \cdot 4{,}2 \cdot (93{,}47 - 76{,}30) = 30\,061{,}5\ [\text{kW}]$$

$\boldsymbol{\eta}$ emisszió mérésekor rögzített jegyzőkönyv adatokból számolt PTVM hatásfok (%):

$$\boldsymbol{\eta} = \frac{Q_{víz}\ [\mathrm{kW}]}{Q_b\ [\mathrm{kW}]} = \frac{30\ 062}{33\ 519} = 89{,}68\% \tag{10}$$

Az adatgyűjtő rendszer adataiból és az emisszió mérés adataiból számított hatásfok értékek eltérése minimális (1%). Mivel az emisszió mérés eszközei a mérést megelőző napokban lettek hitelesítve, ezért a továbbiakban az abból számított hatásfokkal számolok.

5.3.4. Energia megtakarítás számítása

$\boldsymbol{Q_h}$ hasznosítható hő: 298,22 [kW]

$\boldsymbol{\eta}$ órás PTVM kazán hatásfok ($\boldsymbol{Q_{víz}/Q_b}$): 89,68%

$\boldsymbol{Q_b}$ megtakarítás (tüzelővel bevitt hőteljesítmény):

$$\boldsymbol{Q_b} = \frac{Q_h}{\eta} = \frac{298{,}22\ [kW]}{89{,}68\%} = 332{,}522\ [\mathrm{kW}] \tag{11}$$

$\boldsymbol{Hi}$ földgáz fűtőérték: 34 736,47 [kJ/m^3]

$\boldsymbol{V_{GT}}$ földfáz megtakarítás: [m^3/s]

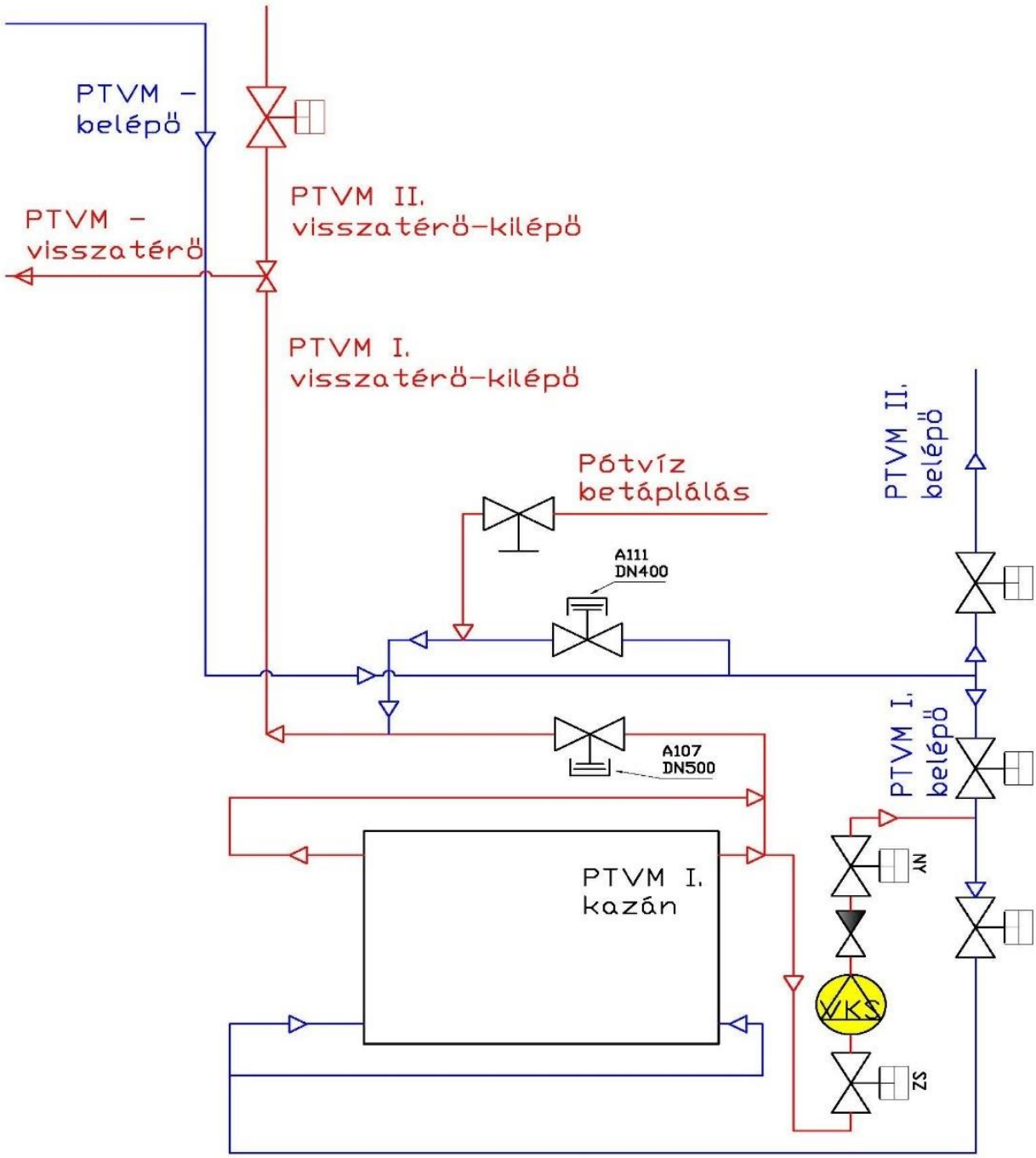
$$\boldsymbol{V_{GT}} = \frac{\boldsymbol{Q_b}[\mathbf{kW}]}{\boldsymbol{Hi}\ [\mathbf{kJ/m^3}]} = \frac{\mathbf{332{,}522}}{\mathbf{34\ 736{,}47}} = \mathbf{0{,}00957}\ [\mathbf{m^3/s}] \tag{12}$$

$\boldsymbol{V_{GT}}$ földfáz megtakarítás [m^3/h]: **34,462 [m^3/h]**

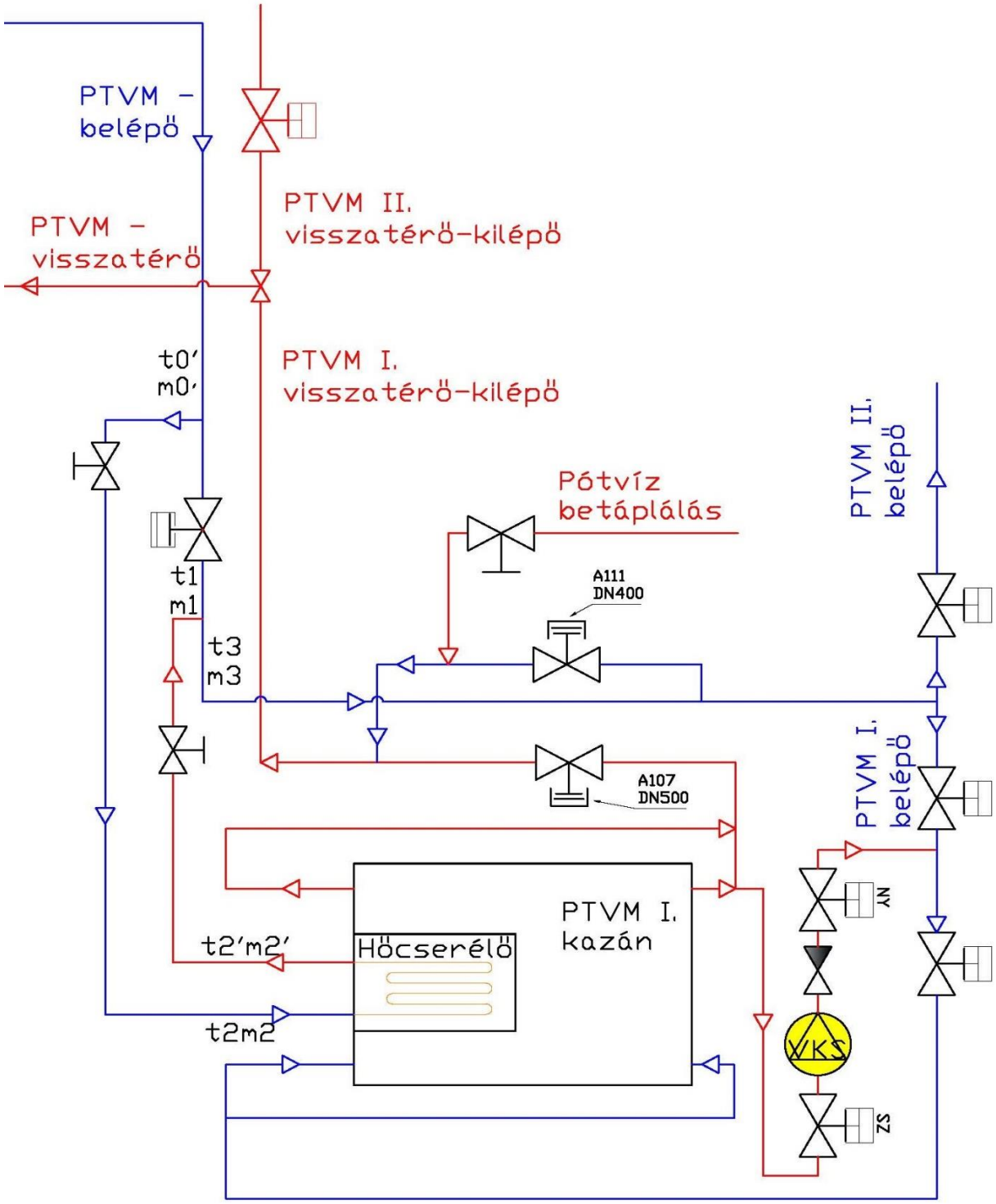
5.4. Hőcserélő hőtechnikai számítás

5.4.1. Kapcsolási rajz

39. ábra: PTVM 50 forróvíz-kazán víz oldali kapcsolásirajz jelenlegi állapot
(Forrás: Saját szerkesztés)



40. ábra: PTVM 50 forróvíz-kazán víz oldali kapcsolásirajz hőcserélővel
(Forrás: Saját szerkesztés)



5.4.2. Hőcserélő csomópontszámítás

$\boldsymbol{Q_h}$ (füstgáz hőcserélővel) hasznosítható hő: 298,22 [kW]

$\boldsymbol{t_2}$ víz visszatérő hőfok: 76,30 °C

$\boldsymbol{t_{2'}}$ víz előremenő hőfok: 100 °C

$\boldsymbol{cp_v}$ víz fajhő: 4,2 [kJ/kg,K]

$\boldsymbol{m_2}$ víz tömegáram:

$$\boldsymbol{Q_h} = m_2 \cdot cp \cdot (t_{2'} - t_2) \text{ [kW]} \tag{13}$$

$$\boldsymbol{m_2} = \boldsymbol{m_{2'}} = \frac{Q_h}{cp \cdot (t_{2'} - t_2)} [\text{m}^3/\text{s}] = \frac{298{,}22}{4{,}2 \cdot (100 - 76{,}3)} = 2{,}995 \text{ [kg/s]}$$

$\boldsymbol{V_2}$ víz térfogat számítás:

$$\boldsymbol{m_2} = m_{2'} = \varrho \cdot V \text{ [kg/s]} \tag{14}$$

$$\boldsymbol{V_2} = \frac{m_2}{\varrho} = \frac{2{,}995}{1000} = 0{,}003 [\text{m}^3/\text{s}]$$

$\boldsymbol{m_0}$ víz tömegáram: 416,667 [kg/s]

$\boldsymbol{v}$ **DN500** - PTVM kazán belépő csőben áramló víz sebessége:

PTVM belépő: DN500=> d= 0,5m

$\boldsymbol{A_{DN\,500}}$ keresztmetszet számítás:

$$\boldsymbol{A_{DN\,500}} = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot 3{,}14 = \left(\frac{0{,}5}{2}\right)^2 \cdot 3{,}14 = 0{,}196 \text{ [m}^2\text{]} \tag{15}$$

$\boldsymbol{v_{DN\,500}}$ víz áramlási sebessége:

$$\boldsymbol{m_0} = A \cdot v \text{ [m/s]} \tag{16}$$

$$\boldsymbol{v_{DN500}} = \left(\frac{m_0/1000}{A_{DN500}}\right) = \left(\frac{416{,}667/1000}{0{,}196}\right) = 2{,}12 [\text{m/s}]$$

Térfogatáram számítás: az adott keresztmetszeten időegység alatt átáramló folyadék térfogata.

$$\boldsymbol{V = v \cdot A\ [\mathrm{m^3/s}]} \tag{17}$$

$\boldsymbol{A_2}$ keresztmetszet számítás:

$$\boldsymbol{A_2} = \frac{V_2}{v} = \frac{0{,}003}{2{,}12} = 0{,}001\ [\mathrm{m^2}]$$

Hőcserélő előremenő és visszatérő csőátmérő számítás:

$$\boldsymbol{A_2} = \frac{(d^2 \cdot 3{,}14)}{4}\ [\mathrm{m^2}] \tag{18}$$

$$\boldsymbol{d} = \sqrt{\frac{(A_2 \cdot 4)}{3{,}14}} = \sqrt{\frac{(0{,}001 \cdot 4)}{3{,}14}} = 0{,}042\ [\mathrm{m}] = 42{,}394\ [\mathrm{mm}]$$

A számított belső csőátmérőhöz legközelebb a DN40 (44,5 x 2,6) méretű cső áll, amelynek a belső átmérője 44,5 mm. A szabványos csőben az áramlási sebesség az 2,12 m/s-nál kisebb lesz, de az a további számításokat nem befolyásolja.

Csomópont számítás:

$$\boldsymbol{m_1 + m_2 = m_3} \tag{19}$$

$$\boldsymbol{m_1 \cdot cp \cdot T_1 + m_2 \cdot cp \cdot T_2 = m_3 \cdot cp \cdot T_3}$$

$$\boldsymbol{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2 = m_3 \cdot T_3}$$

$\boldsymbol{m_{2'} = m_2 =}$ 2,995 [kg/s]

$\boldsymbol{m_0 =}$ 1500 [t/h]

$\boldsymbol{m_0 = m_3 =}$ 416,667 [kg/s]

$\boldsymbol{m_1 = m_3 - m_{2'}} = 416{,}667 - 2{,}995 = 413{,}671\ [\mathrm{kg/s}]$

$\boldsymbol{t_1 = t_0 = t_2 =}$ 76,30 °C

$\boldsymbol{t_{2'} =}$ 100 °C

$$\boldsymbol{t_3} = \frac{(m_1 \cdot t_1 + m_2' \cdot t_2')}{m_3} = \frac{(413{,}671 \cdot 76{,}3 + 2{,}995 \cdot 100)}{416{,}667} = 76{,}47\ °\mathrm{C}$$

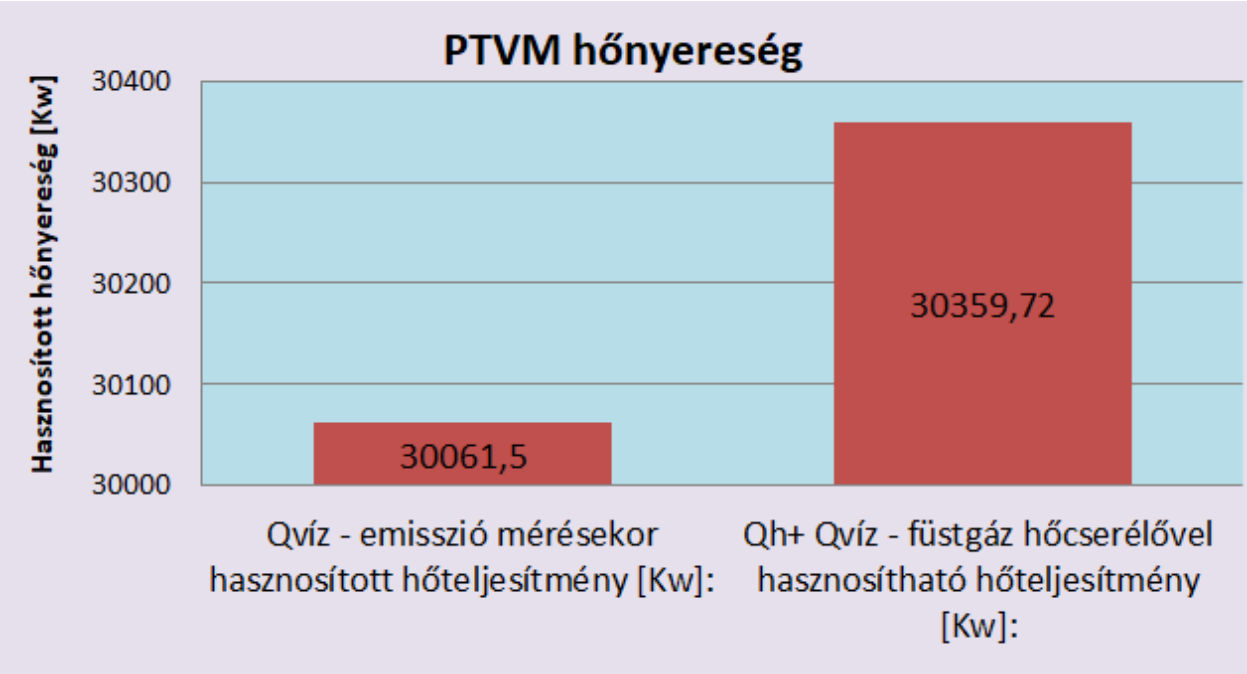
5.4.3. Hőcserélővel hasznosítható hatásfok nyereség számítás az emisszió mérésekor rögzített jegyzőkönyv adatokból

$\boldsymbol{Q_h}$ (füstgáz hőcserélővel) hasznosítható hőteljesítmény: 298,22 [kW]

$\boldsymbol{Q_{víz}}$ Hasznosított hőteljesítmény: 30 061,500 [kW]

$\boldsymbol{Q_h + Q_{víz}} =$ 30 359,720 [kW]

1. diagram: Hőcserélővel hasznosítható hőteljesítmény (számítás az emisszió mérésekor rögzített jegyzőkönyv adatokból).

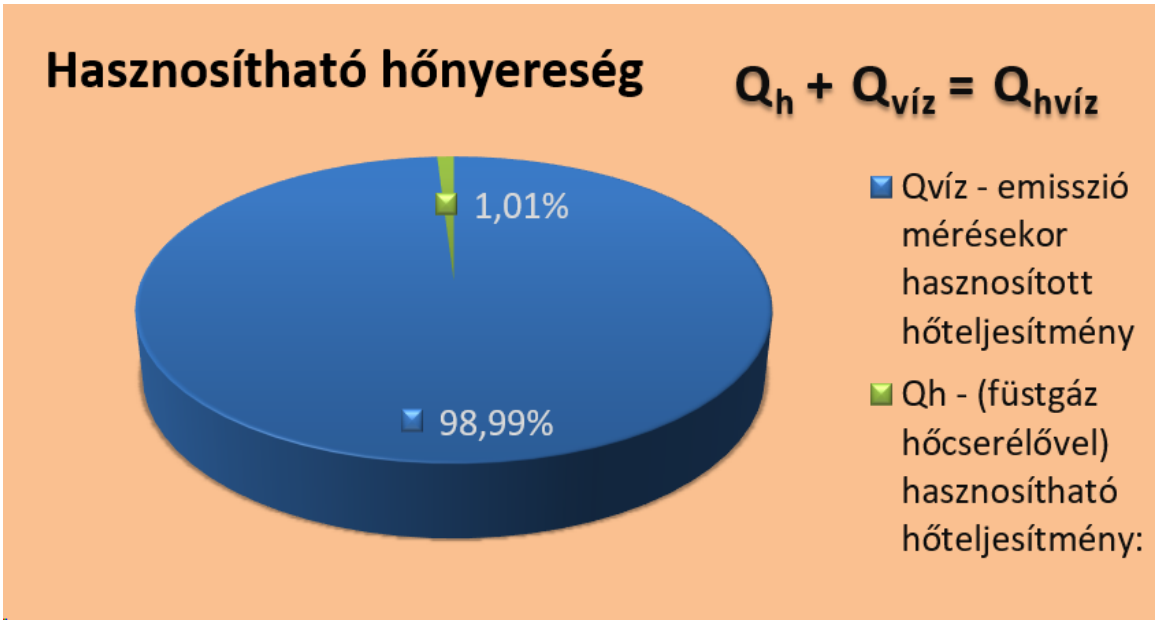


$\boldsymbol{Q_b}$ Tüzelővel bevitt teljesítmény: 33 519,276 [kW]

$$\boldsymbol{\eta} = \frac{\boldsymbol{Q_h + Q_{víz}}\ [\mathbf{kW}]}{\boldsymbol{Q_b}\ [\mathbf{kW}]} = \frac{30\ 359{,}720}{33\ 519{,}276} = 90{,}57\% \qquad (20)$$

$$\boldsymbol{PTVM\ százalékos\ hőnyereség} = \frac{\boldsymbol{Q_h + Q_{víz}}\ [\mathbf{kW}]}{\boldsymbol{Q_{víz}}\ [\mathbf{kW}]} = \frac{30\ 359{,}720}{30\ 061{,}500} = 1{,}010\% \qquad (21)$$

2. diagram: Hasznosítható hőnyereség

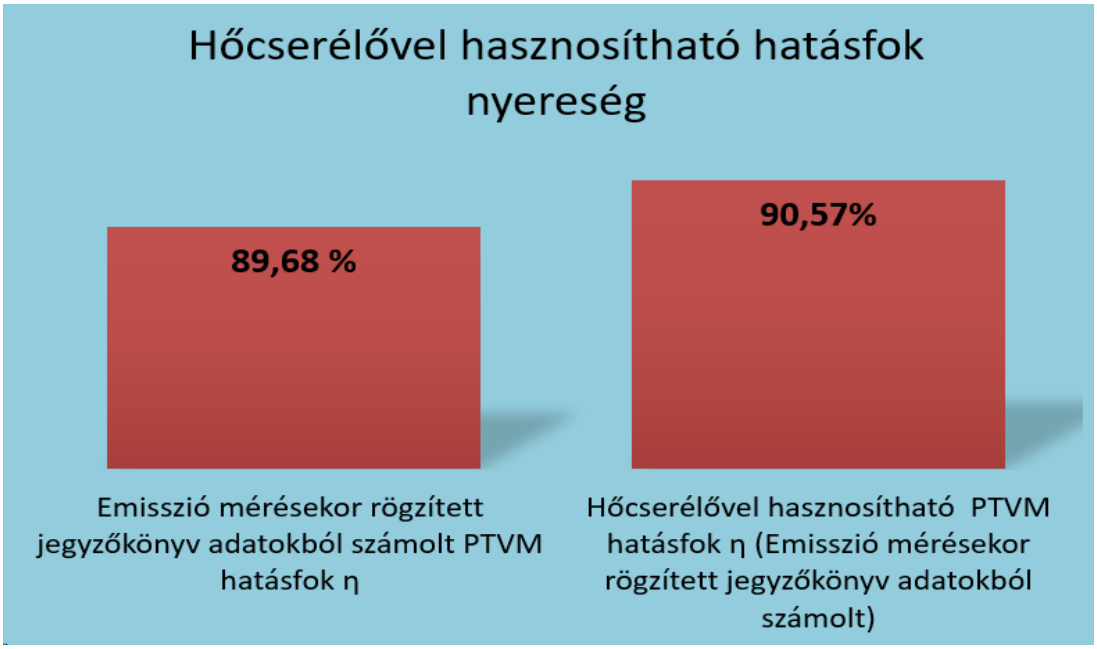


η órás PTVM kazán hatásfok $(Q_{víz}/Q_b)$: 89,68%

89,68%-os hatásfok, a PTVM kazán átalakítás utáni, működő állandósult állapot.

Hőcserélővel hasznosítható hatásfok nyereség: 90,57% - 89,68% = 0,89% (22)

3. diagram: Hőcserélővel hasznosítható hatásfok nyereség



5.5. PTVM forróvíz-kazán éves gázfogyasztás és termelt hőmennyiség:

A számítási adatok az elmúlt 3 év adataiból lettek átlagolva

5.5.1. Átlag éves PTVM forróvíz-kazán gázfogyasztás és termelt hőmennyiség

$\boldsymbol{V_{GÉP}}$ átlag éves felhasznált gázfogyasztás: 1 168 019,265 [gNm^3 /év]

$\boldsymbol{Q_{VÉP}}$ átlag éves termelt forróvíz hőmennyiség: 34 792 [GJ/év]

Hi földgáz fűtőérték (elmúlt 3 év adataiból): 34,8127 [MJ/m^3]

$\boldsymbol{Q_{GÉP}}$ átlag éves gázhő: [GJ/év]

$$\boldsymbol{Q_{GÉP} = \frac{V_{GÉP}\ [\mathrm{gNm^3/év}] \cdot Hi\ [\mathrm{MJ/m^3}]}{1000}\ [\mathrm{GJ/év}]} \qquad (23)$$

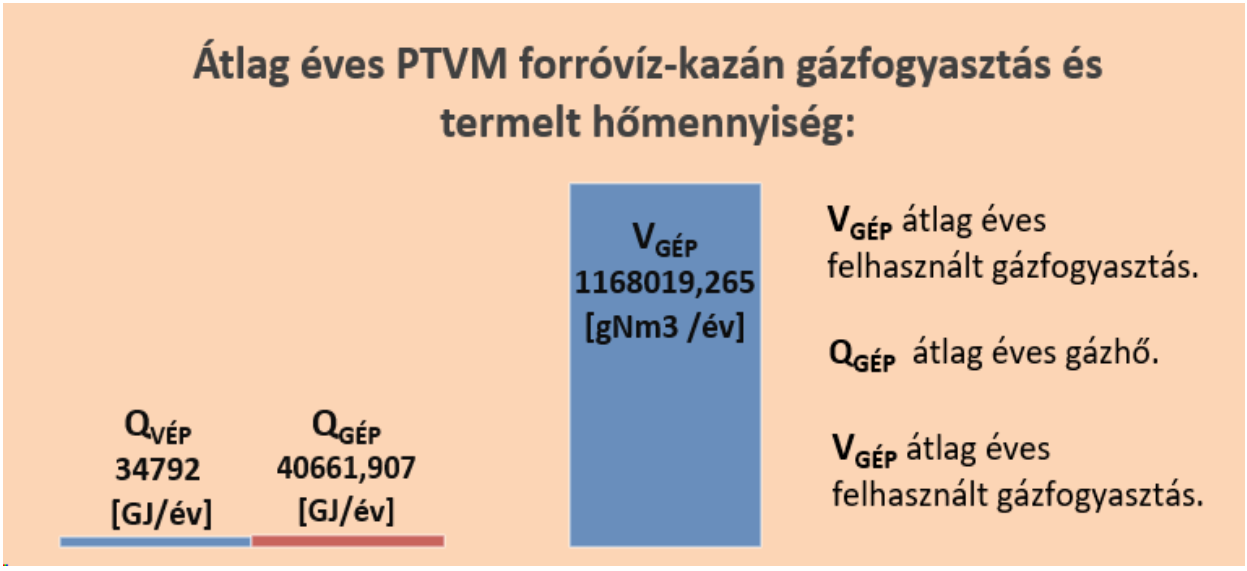
$$\boldsymbol{Q_{GÉP}} = \frac{1\,168\,019{,}265 \cdot 34{,}8127}{1000} = \mathbf{40\,661{,}907}\ [\mathbf{GJ/év}]$$

$\boldsymbol{\eta_{ÉHP}}$ átlag éves PTVM kazán hatásfok:

$$\boldsymbol{\eta_{ÉHP} = \frac{Q_{VÉP}\ \textit{éves termelt forróvíz hőmennyiség}\ [\mathrm{GJ/év}]}{Q_{GÉP}\ \textit{gázhő mért értékkel}\ [\mathrm{GJ/év}]}} = \frac{34\,792}{40\,661{,}907} = \mathbf{85{,}56\%} \qquad (24)$$

85,56%-os átlag éves PTVM kazán hatásfoka a gyakori hideg indítások és a rövid üzemóra miatt alacsony.

4. diagram: Átlag éves PTVM forróvíz-kazán gázfogyasztás és termelt hőmennyiség



5.5.2. $Q_{VÉHNY}$ PTVM átlag éves hőnyereség számítás [GJ]

$$\boldsymbol{\eta_{ÉHP'}} \text{ Éves hatásfok + hasznosítható} = 85{,}56\% + 0{,}89\% = 86{,}45\% \qquad (25)$$

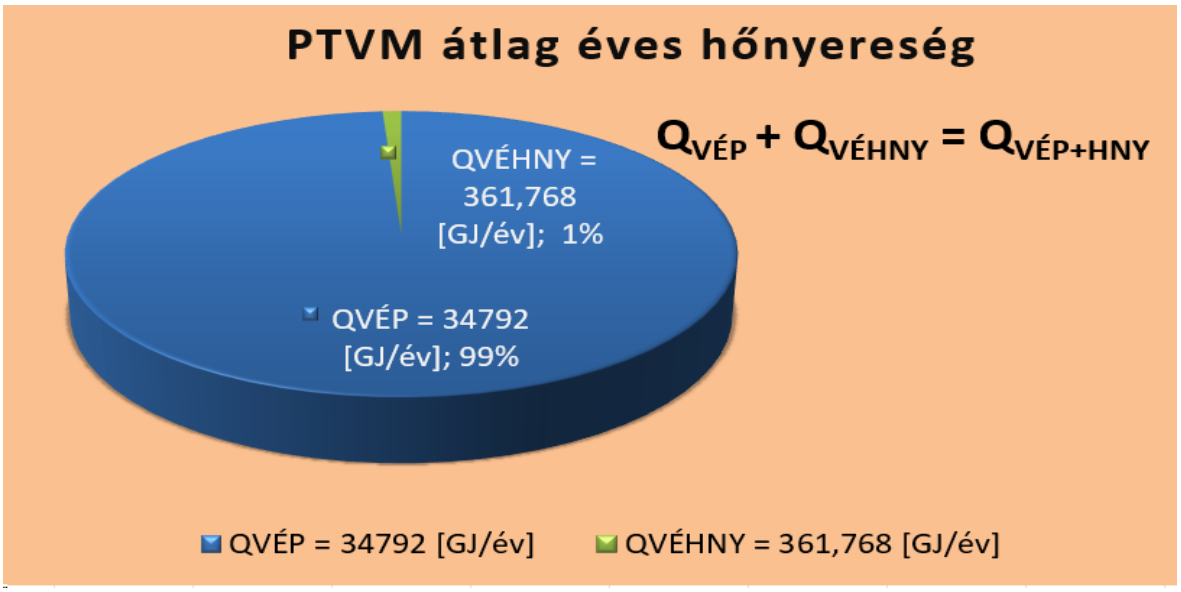
$\boldsymbol{Q_{VÉP+HNY}}$ = hőnyereséggel felhasználható éves átlag (termelt) hőmennyiség: [GJ/év]

$$\boldsymbol{Q_{VÉP+HNY}} = \boldsymbol{Q_{GÉP}} \cdot \boldsymbol{\eta_{ÉHP'}} = 40\,661{,}907 \cdot 86{,}45\% = 35\,153{,}768 \text{ [GJ/év]} \qquad (26)$$

$\boldsymbol{Q_{VÉHNY}}$ = éves átlag hőnyereség: [GJ/év]

$$\boldsymbol{Q_{VÉHNY}} = \boldsymbol{Q_{VÉP+HNY}} - \boldsymbol{Q_{VÉP}} = 35\,153{,}768 - 34\,792 = \mathbf{361.768} \text{ [GJ/év]} \qquad (27)$$

5. diagram: PTVM átlag éves hőnyereség



5.6. PTVM éves energiamegtakarítás számítása éves átlagadatokkal számolva

5.6.1. Éves energiamegtakarítás, ha a PTVM kazán hatásfoka ($\eta_{ÉHP}$ átlag éves): 85,56%

PTVM ($\eta_{ÉHP}$) 85,56%-os átlag éves kazán hatásfok az elmúlt 3 év adataiból számolva.

Hi földgáz fűtőérték (elmúlt 3 év adataiból): 34,8127 [MJ/m^3]

$\boldsymbol{Q_{VÉHNY}}$ átlag éves hőnyereség: 361,768 [GJ/év]

$\boldsymbol{Q_{GÉHNY}}$ átlag éves gázhő: [GJ/év]

$$\boldsymbol{Q_{GÉHNY}} = \frac{\boldsymbol{Q_{VÉHNY}}\,\mathbf{[GJ/év]}}{\boldsymbol{\eta_{ÉHP}}} = \frac{361{,}768}{85{,}56\%} = 422{,}803 \text{ [GJ/év]} \qquad (28)$$

$\boldsymbol{V_{GÉHNY}}$ átlag éves megtakarított gázfogyasztás: [gNm^3/év]

$$\boldsymbol{V_{GÉHNY}} = \mathbf{1000} \cdot \frac{\boldsymbol{Q_{GÉHNY}}\,\mathbf{[GJ/év]}}{\boldsymbol{Hi}\,\mathbf{[MJ/m^3]}} = 1000 \cdot \frac{422{,}803}{34{,}8127} = \mathbf{12\,145{,}083}\ \mathbf{[gNm^3/év]} \qquad (29)$$

5.6.2. Éves energiamegtakarítás, ha a PTVM kazán hatásfok ($\eta_{ÓRA}$): 89,68 (%)

PTVM ($\eta_{ÓRA}$) hatásfok a kazán felújítás utáni emisszió mérésekor rögzített jegyzőkönyv adatokból számolt PTVM **89,68 %-os hatásfok, működő állandósult állapot.**

Éves súlyozott átlag fűtőérték MJ/m^3, Érvényes 2023. október 01-től 2024. szeptember 30-ig:

Hi földgáz fűtőérték: 34,7826 [MJ/m^3]

$\boldsymbol{Q_{VÉHNY}}$ átlag éves hőnyereség: 361,768 [GJ/év]

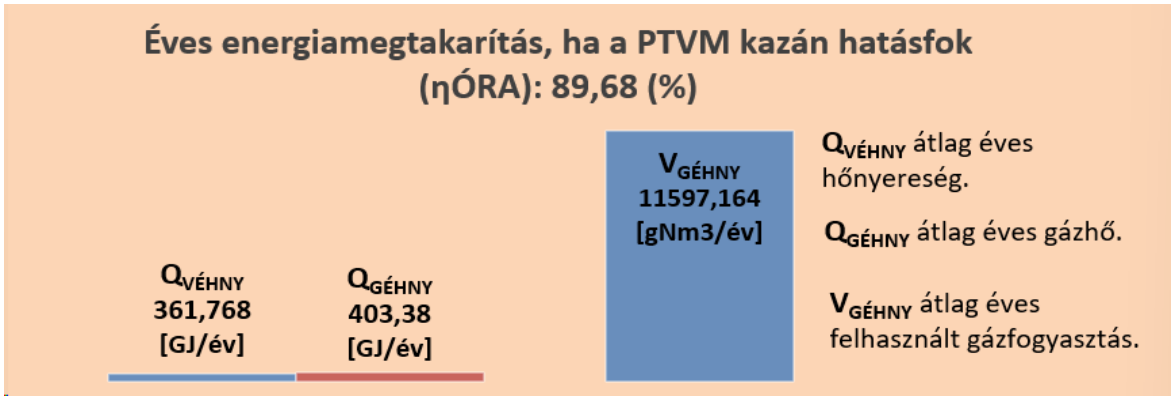
$\boldsymbol{Q_{GÉHNY}}$ átlag éves gázhő: [GJ/év]

$$\boldsymbol{Q_{GÉHNY}} = \frac{\boldsymbol{Q_{VÉHNY}}\,[\mathbf{GJ/év}]}{\boldsymbol{\eta_{Ó}}} = \frac{361{,}768}{89{,}68\%} = 403{,}380\ [\text{GJ/év}] \qquad (30)$$

$\boldsymbol{V_{GÉHNY}}$ átlag éves felhasznált gázfogyasztás: [gNm^3/év]

$$\boldsymbol{V_{GÉHNY}} = \mathbf{1000} \cdot \frac{\boldsymbol{Q_{GÉHNY}}\,[\mathbf{GJ/év}]}{\boldsymbol{Hi}\,[\mathbf{MJ/m^3}]} = 1000 \cdot \frac{403{,}380}{34{,}7826} = \mathbf{11\,597{,}164}\ [\mathbf{gNm^3/év}] \qquad (31)$$

6. diagram: Éves energiamegtakarítás, ha a PTVM kazán hatásfok (ηÓRA): 89,68 (%)



PTVM forróvíz-kazán, hő teljesítményének a szabályozása úgy történik, hogy a kazán üzemeltetése során növelni, vagy csökkenteni kell az égők számát a hőigény szerint, (durva szabályozás). A kazán üzemhez minimum két átlósan elhelyezett alapégőt kell üzemeltetni. Az égők ki-be kapcsolásával a kazán teljesítménye fokozatosan csökkenthető 100% terheléstől 0%-ig. A minimális terhelési szintet a 2 égős üzem határozza meg. E fölött az alapégők önmagukban is, a mellékégők csak működő alapégővel együtt indíthatók be. A 2 égős üzemállapotban a kazán hőteljesítménye megközelítőleg 15 MW, durván 90% kazánhatásfok mellett. A hőcserélővel kinyert Q_h hőnyereség javítja a PTVM kazán hatékonyságát, de a kis hőnyereség és a kazán durva hőfokszabályozása miatt az energiamegtakarítás a finom szabályozási (Alpiq Csepel II.) oldalon érvényesíthető, mégpedig a közösen használt zárt rendszerű forróvíz hálózatának köszönhetően.

5.7. Alpiq forróvíz-kazán éves gázfogyasztás és termelt hőmennyiség

A számítási adatok az elmúlt 3 év adataiból lettek átlagolva:

5.7.1. Átlag éves Alpiq forróvíz-kazán gázfogyasztás és termelt hőmennyiség

$\boldsymbol{Q_{VÉA}}$ átlag éves termelt forróvíz hőmennyiség: 371 296,960 [GJ/év]

$\boldsymbol{Hi}$ földgáz fűtőérték (elmúlt 3 év adataiból): 34,8127 [MJ/m^3]

$\boldsymbol{\eta_A}$ Alpiq forróvíz-kazán hatásfok: 90,00 (%)

Alpiq 90% kazánhatásfok reciproka (szorzótényező): 1,111

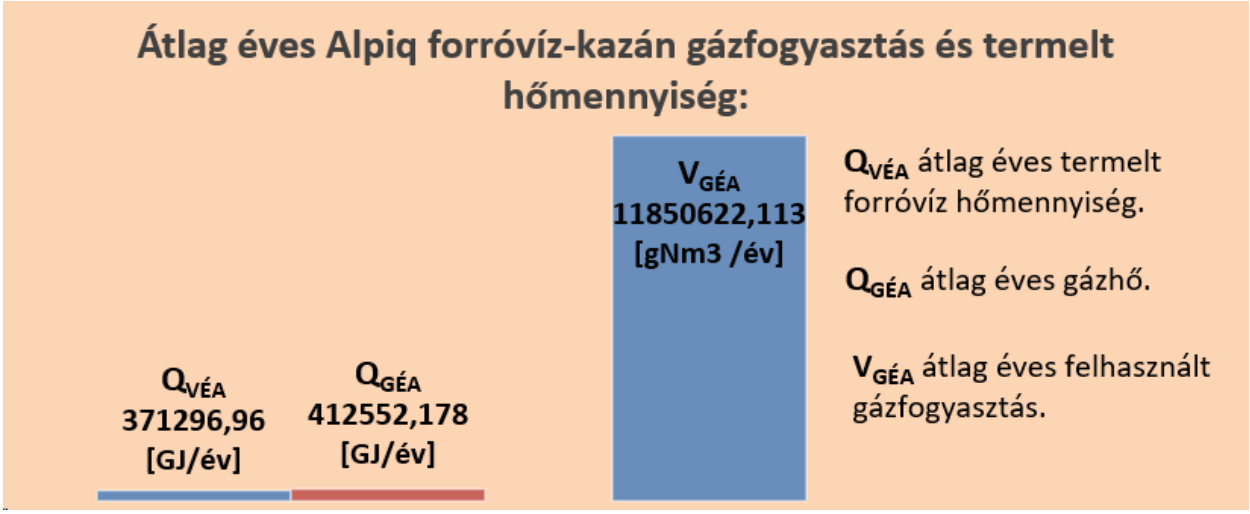
$\boldsymbol{Q_{GÉA}}$ átlag éves gázhő: [GJ/év]

$$\boldsymbol{Q_{GÉA}} = \boldsymbol{Q_{VÉA}} \cdot \mathbf{1,111} = 371\,296{,}960 \cdot 1{,}111 = 412\,552{,}178 \text{ [GJ/év]} \quad (32)$$

$\boldsymbol{V_{GÉA}}$ átlag éves felhasznált gázfogyasztás: [gNm^3 /év]

$$\boldsymbol{V_{GÉA}} = \mathbf{1000} \cdot \frac{\boldsymbol{Q_{GÉA}}\ \mathbf{[GJ/év]}}{\boldsymbol{Hi}\ \mathbf{[MJ/m^3]}} = 1000 \cdot \frac{412\,552{,}178}{34{,}8127} = 11\,850\,622{,}113 \left[\text{gNm}^3/\text{év}\right] \quad (33)$$

7. diagram: Átlag éves Alpiq forróvíz-kazán gázfogyasztás és termelt hőmennyiség



5.8. Éves energiamegtakarítás számítása éves átlagadatokkal számolva, ha az Alpiq kazán hatásfoka (ηA): 90,00%

Éves súlyozott átlag fűtőérték MJ/m^3, Érvényes 2023. október 01.-től 2024.szeptember 30.-ig:

Hi földgáz fűtőérték: 34,7826 [MJ/m^3]

$\boldsymbol{Q_{VÉHNY}}$ átlag éves hőnyereség: 361,768 [GJ/év]

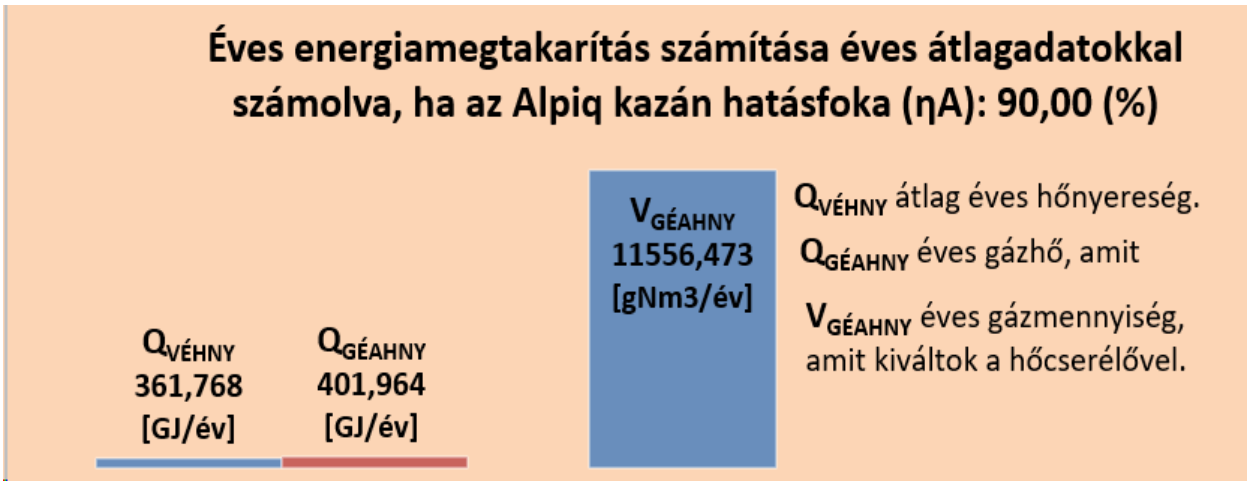
$\boldsymbol{Q_{GÉAHNY}}$ éves gázhő, amit kiváltok a hőcserélővel: [GJ/év]

$$\boldsymbol{Q_{GÉAHNY}} = \boldsymbol{Q_{VÉHNY}} \cdot \mathbf{1,111} = 361{,}768 \cdot 1{,}111 = 401{,}964 \text{ [GJ/év]} \quad (34)$$

$\boldsymbol{V_{GÉAHNY}}$ éves gázmennyiség, amit kiváltok a hőcserélővel: [gNm^3/év]

$$\boldsymbol{V_{GÉAHNY}} = \mathbf{1000} \cdot \frac{\boldsymbol{Q_{GÉAHNY}}\ \mathbf{[GJ/év]}}{\boldsymbol{Hi}\ \mathbf{[MJ/m^3]}} = 1000 \cdot \frac{401{,}964}{34{,}7826} = 11\,556{,}473 \left[\text{gNm}^3/\text{év}\right] \quad (35)$$

8. diagram: Éves energiamegtakarítás számítása éves átlagadatokkal számolva, ha az Alpiq kazán hatásfoka (ηA): 90,00 (%)



5.9. Gáz- és hő-díj árak (2023)

$\mathbf{Q_G}$ TTF2 gázhődíj (fogyasztással arányos díj): 4488 [Ft/GJ]

5.10. Pénzmegtakarítás, amit a hőcserélő használatából adódik

Megspórolt (átlagéves) $\boldsymbol{Q_{GM}}$ gázhődíj költség:

$$\boldsymbol{Q_{GM}} = 4488 \text{ [Ft/GJ]} \cdot 401{,}964 \text{ [GJ]} = 1804015{,}289 \text{ [Ft/év]} \quad (36)$$

2. táblázat: Beruházási költség

Beruházási költség:		
munkadíj (beépítés):	17 620 000	Ft
anyagköltség:	2 000 000	Ft
hőcserélő:	8 500 000	Ft
összesen:	28 120 000	Ft

$$\text{Megtérülési idő} = \frac{\textbf{\textit{beruházási költség}}\ [\text{Ft}]}{1804015{,}289\ [\text{Ft/év}]} = \frac{28120000}{1804015{,}289} = 15{,}6\ [\text{év}] \qquad (37)$$

5.11. Szén-dioxid kibocsátás

Kibocsátott CO_2 (t) = eltüzelt földgáz (gáztechnikai Nm^3) x karbon tartalom (kg C/m^3) x x 1000 (kg - t) átváltási szorzó x 3,664 (t CO_2/t C) konverziós tényező x 1 oxidációs tényező

3. táblázat: Emissziós méréskor 1 órás üzemállapot alatt kibocsátott CO_2 (4 darab főégő üzemelésekor)

gázfogyasztás:	34,462	gNm^3
karbontartalom:	0,539	kgC/m^3
kg - tátváltás:	1000	-
szén- CO_2 konverziós tényező:	3,664	tCO_2/tC
oxidációs tényező:	1	-
CO_2 kibocsátás:	**0,068**	tCO_2

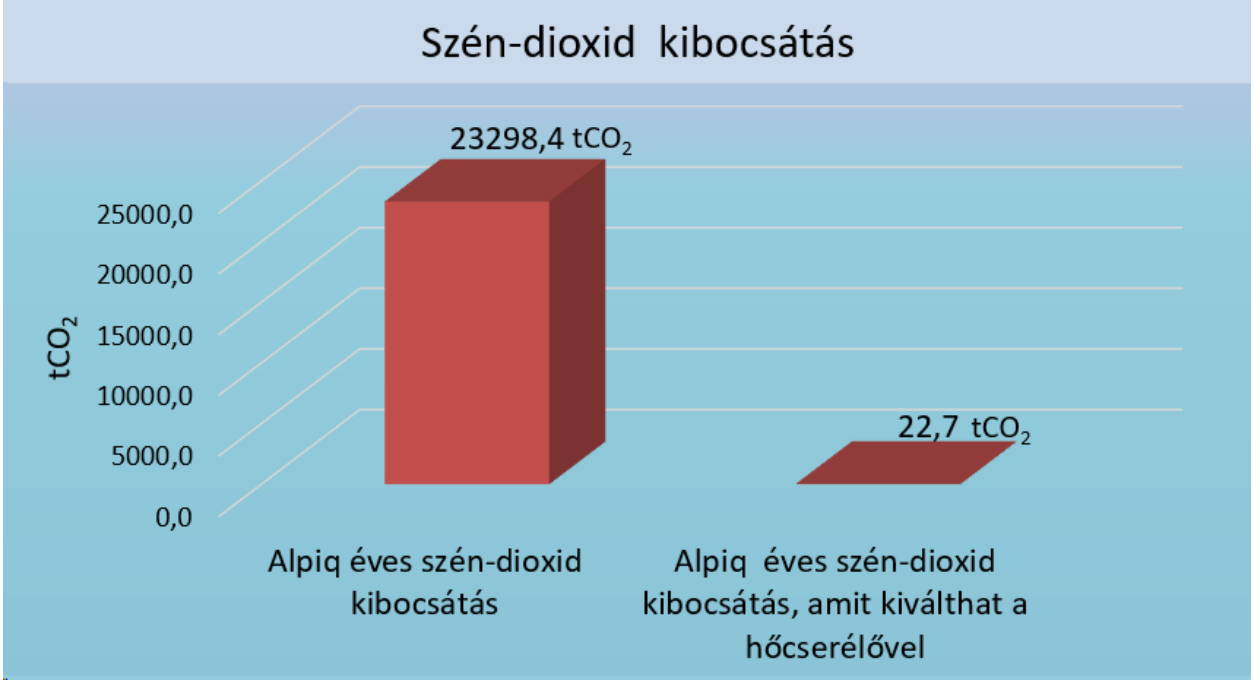
4. táblázat: Alpiq - Éves felhasznált gázmennyiség alatt kibocsátott CO_2

gázfogyasztás:	11 850 622,11	gNm^3
karbontartalom:	0,537	kgC/m^3
kg - tátváltás:	1000	-
szén- CO_2 konverziós tényező:	3,664	tCO_2/tC
oxidációs tényező:	1	-
CO_2 kibocsátás:	**23 298,376**	tCO_2

5. táblázat: Alpiq - Hőcserélővel kiváltott éves gázmennyiség CO_2 kibocsátása

gázfogyasztás:	11556,473	gNm^3
karbontartalom:	0,537	kgC/m^3
kg - t átváltás:	1000	-
szén- CO_2 konverziós tényező:	3,664	tCO_2/tC
oxidációs tényező:	1	-
CO_2 kibocsátás:	**22,720**	tCO_2

9. diagram: Szén-dioxid kibocsátás: Alpiq - Hőcserélővel kiváltott éves gázmennyiség CO_2 kibocsátása



6. Eredmény

Összességében egy füstgáz hőcserélő beépítése hosszú távon is fenntartható megoldás lehet, mivel hozzájárul a hővisszanyeréshez és az energiahatékonysághoz, ami javítja a rendszer teljesítményét és csökkenti az üzemeltetési költségeket. A füstgázrendszer megfelelő tervezése során kiemelkedő fontosságú a helyi adottságok figyelembevétele. A kazán hatékonyságát megnövelő 298,22 [kW]-os teljesítményű füstgáz hőcserélő használata növeli az általunk használt rendszerek hatékonyságát, csökkentve ezzel a szén-dioxid kibocsátást és más környezeti terheléseket.

Az elmúlt években kitermelt hőmennyiség alapján a hőnyereség minimálisnak tűnik, azonban a PTVM kazán intenzívebb üzemelésével kedvezőbb fejlesztési költségek és hatékonyabb felhasznált primer energia eredmények érhetők el. Mindez hozzájárulhat a környezetterhelés csökkenéséhez, a levegő tisztaságának megőrzéséhez és a globális felmelegedés mérsékléséhez. Kevesebb fosszilis tüzelőanyagot kell felhasználni és ezáltal csökken azok kimerülésének és káros hatásainak veszélye. Összességében tehát a füstgáz hőcserélők használata nagymértékben elősegítheti a természetbarát megoldások elterjedését és hozzájárulhat a fenntartható jövő megvalósításához.

Összefoglalás

Diplomadolgozatom témája a Csepeli Erőmű Kft. területén lévő PTVM 48 MW hőteljesítményű forróvíz-kazán energiahatékonyabb üzemállapotának a kialakítása. A kitűzött célok között szerepel a kazán hatékonyságának növelése, az üzemanyag-felhasználás csökkentése, a szén-dioxid-kibocsátás minimalizálása és az energiaveszteség csökkentése. Ezek a célok összhangban vannak a fenntartható fejlődés elveivel, és hozzájárulnak a környezeti és gazdasági fenntarthatósághoz. A kijelölt célok elérésének feltétele a meglévő rendszerek fejlesztése. A technológia központi eleme egy füstgáz-forróvíz hőcserélő beépítése a meglévő forróvízkazán füstgázrendszerébe. A füstgáz hőhasznosító, a kazánt és a különálló vasbeton kéményt összekötő, vízszintesen kialakított füstgázcsatornába kerülne beépítésre. A füstgáz hőhasznosító a kazánból kiáramló füstgáz hőjét felhasználva a PTVM forróvíz-kazán belépő, keringtetett fűtési forróvízét melegítené elő. A kazánokból kilépő 120-140 °C-os füstgáz jelentős energiatartalommal rendelkezik. A füstgázból kinyert energiát visszavezetve a rendszerbe, javíthatja az energetikai hatékonyságot. Emellett a földgáz felhasználásának csökkentése révén a károsanyag-kibocsátás is csökkenhet. Az erőmű által használt adatgyűjtő rendszerből és az emissziós mérési jegyzőkönyv hőtechnikai adatait felhasználva egy fejlesztési tervet állítottam össze a meglévő technológiai rendszerhez, a kapcsolódó füstgáz hőhasznosító rendszer megépítésére. A számításokat megelőzően alapvető fontosságú a rendszer alapos ismertetése és azoknak a tényezőknek a felmérése, amelyek hatással lehetnek a kivitelezés folyamatára. A rendszer megértéshez elengedhetetlenül fontos bemutatni a Csepeli Erőmű Kft. fő tevékenységeit. A vállalat a hőtermelés mellett, részt vesz a FŐTÁV részére nyújtott fűtési célú forróvíz szolgáltatásában. A szolgáltatáshoz szükséges forróvíz előállítása döntő mértékben az Alpiq Csepel II. kombinált ciklusú erőműben történik, de tartalék és csúcs üzemben a forróvíz kazánokban is történik forróvíz előállítása. A FŐTÁV felé történő forróvíz ellátást a két erőmű egy közösen használt zárt rendszerű forróvíz hálózaton képes biztosítani. A forróvíz keringtetése és elosztása a forróvíz keringtető szivattyúházban telepített három darab, egyenként 1 MW villamos teljesítményű szivattyúval, illetve nyári üzemvitelben egy darab 400 kW villamos teljesítményű szivattyúval történik. A forróvíz előállítása, hő bevitele a rendszerbe, háromféleképpen lehetséges a Csepeli Erőmű Kft.-nél:

- Az összes kért hőmennyiséget a Csepel II. állítja elő és egyedül végzi a forróvíz rendszer fűtését.

- Az összes hőmennyiséget a PTVM kazánokkal állítjuk elő.
- Csepel II. bevisz egy bizonyos hőmennyiséget a forróvíz rendszerbe és a hiányzó részt a PTVM kazánnal pótoljuk.

PTVM forróvíz-kazán fűtési hőteljesítménye, a kazánon átáramló víz mennyiségének és az üzemelő égők számának változtatásával szabályozható. A kazán üzemhez minimum két átlósan elhelyezett alapégőt kell üzemeltetni. A legkisebb, nullánál nagyobb terhelési szintet a 2 égős üzem határozza meg, ami megközelítőlegesen 15 MW-os kazán hőteljesítmény, durván 90% kazánhatásfok mellett. A Csepeli Erőmű Kft. területén lévő PTVM forróvíz-kazán hőteljesítménye csak „durva", míg az Alpiq Csepel II. forróvíz-kazánok finom hőfokszabályozással üzemeltethetőek. Mindezek ismeretében a megfelelő működésű füstgáz hőhasznosító rendszer megtervezéséhez további feltételeknek kellet érvényesülni. Figyelembe véve a harmatpont alá hűlés veszélyének az elkerülését, továbbá a füstgáz oldali ellenállás betartását (tűztér nyomás), füstgázok hőmérsékletét, az üzemeltetési körülményeket, valamint a rendelkezésre álló beépíthető méreteket, egy egyedileg megtervezett hőcserélő megtervezése indokolt. Az egyedileg megtervezett, saválló anyagból készülő hőcserélő teljesítménye 298,22 [kW] és 100 °C-os lehűtött kilépő füstgáz hőmérsékletet biztosít (figyelembe véve a harmatponti alá hűlés elkerülését). A rendszer füstgáz oldali ellenállása igen alacsony, 30 Pa, ezért a kazán esetében jellemzően nem merül fel a füstgáz elszívásának ventillációs igénye. Egy ilyen kis teljesítményű füstgáz-hőcserélőnél különösen fontos, mivel a füstgáz-elszívó ventilátor működtetése további energiát igényelne, és így növelné a rendszer üzemeltetési költségeit. A kis hőnyereség és a kazán durva hőfokszabályozása miatt az energiamegtakarítás a finom szabályozási (Alpiq Csepel II.) oldalon érvényesíthető, mégpedig a közösen használt zárt rendszerű forróvíz hálózatának köszönhetően. A hőcserélő által kinyert hőnyereség összességében minimális az erőmű átlagéves felhasználásához képest. Azonban jelentősége abban rejlik, hogy lehetővé teszi a primer energiaforrások hatékonyabb felhasználását. Ezáltal hozzájárul az energiatakarékossághoz és a fenntarthatóbb energiagazdálkodáshoz. A füstgázcsatornába beépített hőcserélő alkalmazásával a PTVM kazán hatásfoka 0,89%-kal növelhető, csökkentve ezzel a szén-dioxid-kibocsátást és más környezeti terheléseket. A PTVM kazán hosszabb üzemidejének kihasználásával csökkenthetőek lennének a fejlesztés beruházási költségei és kedvezőbb eredmények érhetőek el a felhasznált primer energia terén, miközben a környezeti terhelések is csökkenhetnének.

Summary:

The topic of my diploma thesis is the development of a more energy-efficient operating state of the PTVM 48 MW hot water boiler on the territory of Csepeli Erőmű Kft. The objectives include increasing boiler efficiency, reducing fuel consumption, minimizing carbon dioxide emissions, and reducing energy loss. These goals are in line with the principles of sustainable development and contribute to environmental and economic sustainability. A condition for achieving the designated goals is the development of existing systems. The central element of the technology is the installation of a flue gas-hot water heat exchanger in the flue gas system of the existing hot water boiler. The flue gas would be installed in a horizontal flue gas channel connecting the boiler and the separate reinforced concrete chimney, which utilizes heat. The flue gas heat recovery would use the heat of the flue gas coming out of the boiler to preheat the incoming, circulated heating water of the PTVM hot water boiler. The 120-140°C flue gas leaving the boilers has a significant energy content. Energy efficiency can be improved by feeding the energy extracted from the flue gas back into the system. In addition, by reducing the use of natural gas, harmful emissions can also be reduced. Using the data collection system used by the power plant and the thermal data of the emission measurement protocol, I compiled a development plan for the existing technological system, for the construction of the related flue gas heat recovery system.

Prior to the calculations, it is essential to thoroughly describe the system and assess the factors that may affect the construction process. To understand the system, it is essential to present the main activities of Csepeli Erőmű Kft. In addition to heat production, the company participates in the hot water service provided to Főtáv for heating purposes. The production of the hot water required for the service is crucial to the Alpiq Csepel II. it takes place in a combined cycle power plant, but hot water is also produced in hot water boilers in reserve and peak operation. The two power plants can supply hot water to FŐTÁV via a shared closed system hot water network. Hot water is circulated and distributed in the hot water circulation pump house with three pumps, each with an electric power of 1 MW, and in summer operation with one pump with an electric power of 400 kW. The production of hot water and the introduction of heat into the system are possible in three ways at Csepeli Erőmű Kft.:

- All the requested amount of heat is supplied by Csepel II. produces and alone heats the hot water system.
- All heat is produced with PTVM boilers.

- Csepel II. brings a certain amount of heat into the hot water system and the missing part is replaced with the PTVM boiler.

The heating output of the PTVM hot water boiler can be regulated by changing the amount of water flowing through the boiler and the number of burners in operation. For boiler operation, at least two diagonally placed base burners must be operated. The smallest load level, greater than zero, is determined by the 2-burner operation, which is approximately 15 MW boiler heat output, with roughly 90% boiler efficiency. The heat output of the PTVM hot water boiler on the premises of Csepeli Erőmű Kft. is only "rough", while the Alpiq Csepel II. hot water boilers can be operated with fine temperature control. Knowing all of this, additional conditions had to be met to design a properly functioning flue gas heat utilization system. Considering the avoidance of the risk of cooling below the dew point, as well as compliance with the resistance on the flue gas side (fireplace pressure), the temperature of the flue gases, the operating conditions and the available installation dimensions, the design of an individually designed heat exchanger is justified. The individually designed heat exchanger, made of acid-resistant material, has a power of 298.22 [kW] and provides a cooled exhaust gas temperature of 100°C (taking into account the avoidance of cooling below the dew point). The resistance on the flue gas side of the system is very low, 30 Pa. Therefore, in the case of the boiler, there is typically no need for ventilation to exhaust the flue gas. It is particularly important for a flue gas heat exchanger with such a small capacity, since the operation of the flue gas extraction fan would require additional energy and thus increase the operating costs of the system. Due to the small heat gain and the rough temperature control of the boiler, energy savings can be achieved on the fine control side (Alpiq Csepel II.), namely thanks to the shared closed system hot water network. Overall, the heat gain obtained by the heat exchanger is minimal compared to the average annual use of the power plant. However, its significance lies in the fact that it enables more efficient use of primary energy sources. In this way, it contributes to energy saving and more sustainable energy management. By using the heat exchanger built into the flue gas duct, the efficiency of the PTVM boiler can be increased by 0.89%, thereby reducing carbon dioxide emissions and other environmental burdens. By taking advantage of the longer operating time of the PTVM boiler, the investment costs of the development could be reduced, and more favourable results could be achieved in terms of the primary energy used, while the environmental burdens could also be reduced.

NYILATKOZAT

diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Jakab Ferdinánd
A Hallgató Neptun kódja:	MAS9XV
A dolgozat címe:	PTVM forróvízkazán energiahatékonyabb megoldása füstgázhőcserélővel
A megjelenés éve:	2024
A konzulens intézetének neve:	Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Épületgépészeti és Energetikai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitoriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitoriumában.

Kelt: 2024 év 4 hó 18 nap

Hallgató aláírása

A DOKUMENTUMOT DIGITÁLIS ALÁÍRÁSSAL LÁTTA EL:

AVDH Bélyegző

KORMÁNYZATI AZONOSÍTÁSSAL HITELESÍTETT

NYILATKOZAT

Jakab Ferdinánd (hallgató Neptun azonosítója: MAS9XV) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védésre **javaslom** / **nem javaslom**[1].

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*[2]

Kelt: 2024 év április hó 15 nap

belső konzulens

[1] A megfelelő aláhúzandó.
[2] A megfelelő aláhúzandó.

Irodalomjegyzék

[1.] Bajáczy Jenő, Jankus Ferenc, Koványi Sándor, Molnár József, Tallér Ferenc (1984): Kazánüzemeltetési és karbantartási zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 444. p.

[2.] Garbai László (2007) Hidraulikai számítások az épületgépészetben és az energetikában, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 687 p.

[3.] Bertalan Zsolt, Csirmaz Antal, Szabó László, Uhlár Zoltán (1999): Műszaki ismeretek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 221. p.

[4.] Cséfalvay Edit, Mika László Tamás (2012): Vegyipari műveletek II. 1-2. kötet, e-könyv, 1084 p.

[5.] Dr. Beke János (2000): Műszaki hőtan mérnököknek, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 542. p.

[6.] Dr. Kiss Endréné, Dr. Hunyadi Ildikó: Hőcserélők, kézirat

[7.] Dr. Mucskai László (1973): Hőcserélők termikus és hidraulikai méretezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 283. p.

[8.] Dr. Pátzay György, Tungler Antal és Mika László Tamás (2012): Kémiai Technológia, e-könyv, 273 p.

[9.] Fonyó Zsolt, Fábry György (2004): Vegyipari művelettani alapismeretek, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 1040. p.

[10.] G.V. Reznikh, A. P. Bordyukov (1980): Vízkazánok szerelése, Moszkva, 94 p.

[11.] Gerse Károly (2014): Kazánok. BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, Budapest, 466. p.

[12.] Hans Faltin (1970): Műszaki hőtan, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 634. p.

[13.] Lukács Gergely Sándor (2011): Gazdaságos zöldenergia, Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest, 259 p.

[14.] Macskásy Árpád és Bánhidi László (1985): Sugárzó fűtések, Akadémia Kiadó, Budapest, 629 p.

[15.] Mika László Tamás (2008): Környezettechnológiai műveletek, gépek és folyamatok (jegyzetek) ELTE Kémiai Intézet, Budapest, 109. p.

[16.] Reményi Károly (2002): Az energetika fejlesztések fő irányai, Akadémia Kiadó, Budapest, 243 p.

[17.] Reményi Károly (2007): Megújuló energiák, Akadémia Kiadó, Budapest, 291 p.
[18.] Simándi Béla, Székely Edit: Hőtan - Vegyipari és biomérnöki műveletek segédanyag, Műegyetem, Budapest, 77 p.
[19.] Simongáti Győző, Gausz Tamás, Hargitai L. Csaba (2011): Járművek hő- és áramlástechnikai berendezései II., Műegyetem, Budapest, 289 p.
[20.] Szabó László Zsolt, Dr., Balikó Sándor, Bartha Tibor (1999): Energiagazdálkodás I., Budapest, MÁV Rt., 199 p.
[21.] Tóth László (2012): Alternatív energiaellátási rendszerek az agrárgazdaságban, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 312 p.
[22.] Tóth László (2016): Hagyományos és megújuló energiarendszerek, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 268 p.
[23.] Vajda György (1981): Energetika I., Akadémiai Kiadó, Budapest, 414 p.
[24.] Vajda György (1984): Energetika II., Akadémiai Kiadó, Budapest, 434 p.
[25.] Vajda György (2004): Energiahasznosítás, Akadémiai Kiadó, Budapest, 348 p.
[26.] Vajda György (2014): Okok és következmények az energetikában, Akadémia Kiadó, Budapest, 392 p.
[27.] Vergazov V S. (1991): Kazánok felépítése és üzemeltetése, Stroyizdat, Moszkva, 270 p.

Internetes források

[28.] https://petrik.hu/wp-content/uploads/2020/09/muszismeret_2.pdf
[29.] https://petrik.hu/wp-content/uploads/2020/09/vegyipari_muveletek_3.pdf
[30.] https://doksi.net/hu/get.php?lid=23001
[31.] https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/13250/alkalmazott_muszaki_hotan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
[32.] https://docplayer.hu/14399033-Munkaanyag-volgyi-lajos-hocserelok-uzemeltetese-szerelese-a-kovetelmenymodul-megnevezese-erjedes-es-boripari-nyersanyag-feldolgozas.html
[33.] https://technologia.chem.elte.hu/hu/muvelettan/Vegyipari_Muvelettan_teljes.pdf
[34.] https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/vegyipar/muszaki-ismeretek/a-hocsere-alapjai/a-hohordozok-fogalma-tulajdonsagaik-a-legfontosabb-hohordozok-jellemzese-4

[35.] https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/vegyipar/muszaki-ismeretek/hohordozok/a-hohordozok-kivalasztasanak-legfontosabb-szempontjai-gazdasagi-es-biztonsagtechnikai-megfontolasok
[36.] https://xchanger.com/products/
[37.] https://www.greentechenergy.hu/waetas-fustgaz-hocserelo/
[38.] https://mersz.hu/gerse-kazanok//
[39.] https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3491
[40.] https://alteps.ru/ptvm-50.html
[41.] https://toplivopodacha.ru/heat-hot-water-boilers.html
[42.] https://pandia.ru/text/78/369/1322.php
[43.] https://biyskiykotelnyuzavod.ru/catalog/kotel_ptvm/
[44.] http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-2/2-10
[45.] https://instrukciyame.ru/instrukcziya-po-ekspluataczii-ptvm-50/
[46.] http://kkft.bme.hu/attachments/article/69/Labor_2%20G%C3%A1zt%C3%BCzel%C3%A9s_2015.pdf
[47.] http://kkft.bme.hu/attachments/article/33/4.T%C3%BCzel%C3%A9stechnikai%20alapismeretek.pdf
[48.] https://tehnavigator.ru/Biblioteka/304.1reznik_g_v_bordyukov_a_p_montazh_vodogreynykh_kotlov.pdf
[49.] https://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2000/szeptember/113-lemezes-hocserelok-az-epuletgepeszetben
[50.] https://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2008/majus/1204-futestechnikai-es-hmv-eloallito-hocserelok
[51.] https://water-cti.com/pdf/ESPG/HX3-APV-SPX_Heat_Transfer_Handbook_2008.pdf
[52.] https://hu.exheatindustries.com/productlist-4

Ábrák

1. ábra: Hőcserélők csoportosítása 9
2. ábra: Áramlási irány 11
3. ábra: Egyenáramú hőcserélő hőfoklefutása 11
4. ábra: Ellenáramú hőcserélő hőfoklefutása 12

5. ábra: Keresztáramú hőcserélő 12
6. ábra: Álló hőtároló anyagú regeneratív hőcserélő beépítése 13
7. ábra: Forgó regeneratív hőcserélő vázlata 14
8. ábra: Merev csőköteges hőcserélő a), b), c) 15
9. ábra: A csőtérben kétjáratú, merev csőköteges hőcserélő terelő-lemezekkel 16
10. ábra: Merev csőköteges hőcserélő kettős csőkötegfallal, kompenzátorral és terelőkkel 17
11. ábra: A hőmérsékletkülönbség okozta deformáció 17
12. ábra: Úszófejes csőköteges hőcserélő 18
13. ábra: Hajtűcsöves csőköteges (U - csöves) hőcserélő 19
14. ábra: Tartályban elhelyezett csőkígyó 19
15. ábra: Csőkígyós hőcserélő vázlata 20
16. ábra: Cső a csőben típusú hőcserélők 21
17. ábra: Kapartfalú hőcserélő 21
18. ábra: Léghűtés csőkígyós hőcserélővel 22
19. ábra: Kondenzátor hőcserélő autó légkondicionálóhoz 22
20. ábra: Lamellás hőcserélő 23
21. ábra: Füstgáz hőcserélő 23
22. ábra: Egyedi szerkezeti kialakítású WätaS Multi típusú füstgáz hőcserélők 24
23. ábra: Fluidumok be- és kivezetését lemezes hőcserélőknél 26
24. ábra: Bordázat áramlás irányító hatása 27
25. ábra: Szerelhető lemezes hőcserélő felépítését 27
26. ábra: Bővíthető, csavarokkal összeszerelt lemezes hőcserélő 28
27. ábra: Keményforrasztott lemezes hőcserélő 29
28. ábra: Spirál lemezes hőcserélő 30
29. ábra: Forróvíz rendszer, kapcsolási rajz 35
30. ábra: PTVM-50 kazán vázlata a), b) 37
31. ábra: A PTVM-50 kazán tűztér oldalfal 39
32. ábra: A PTVM-50 kazán oldalfal 40
33. ábra: Kényszerített áramlású PTVM forróvíz-kazán 41
34. ábra: A vízáramlás sémája a PTVM-50 fűtőkazánban 42
35. ábra: WätaS Multi lamellás füstgáz hőcserélő 47

36. ábra: Füstgázcsatorna (jelenlegi állapot) 47
37. ábra: Füstgázcsatorna hőcserélővel, illusztráció 48
38. ábra: Füstgázcsatorna hőcserélővel vázlatrajz 48
39. ábra: PTVM 50 forróvíz-kazán víz oldali kapcsolásirajz jelenlegi állapot 52
40. ábra: PTVM 50 forróvíz-kazán víz oldali kapcsolásirajz hőcserélővel 53

Diagramok

1. diagram: Hőcserélővel hasznosítható hőteljesítmény (számítás az emisszió mérésekor rögzített jegyzőkönyv adatokból) 56
2. diagram: Hasznosítható hőnyereség 57
3. diagram: Hőcserélővel hasznosítható hatásfok nyereség 57
4. diagram: Átlag éves PTVM forróvíz-kazán gázfogyasztás és termelt hőmennyiség 58
5. diagram: PTVM átlag éves hőnyereség 59
6. diagram: Éves energiamegtakarítás, ha a PTVM kazán hatásfok (ηÓRA): 89,68 (%) 60
7. diagram: Átlag éves Alpiq forróvíz-kazán gázfogyasztás és termelt hőmennyiség 61
8. diagram: Éves energiamegtakarítás számítása éves átlagadatokkal számolva, ha az Alpiq kazán hatásfoka (ηA): 90,00 (%) 62
9. diagram: Szén-dioxid kibocsátás: Alpiq - Hőcserélővel kiváltott éves gázmennyiség CO_2 kibocsátása 64

Táblázatok

1. táblázat: Füstgáz O_2 tartalom 49
2. táblázat: Beruházási költség 63
3. táblázat: Emissziós méréskor 1 órás üzemállapot alatt kibocsátott CO_2 (4 darab főégő üzemelésekor) 63
4. táblázat: Alpiq - Éves felhasznált gázmennyiség alatt kibocsátott CO_2 63
5. táblázat: Alpiq - Hőcserélővel kiváltott éves gázmennyiség CO_2 kibocsátása 63

Melléklet:

1. sz. melléklet; A választott hőcserélő műszaki adatai.

LUFTKÜHLER - OPT.Reserve

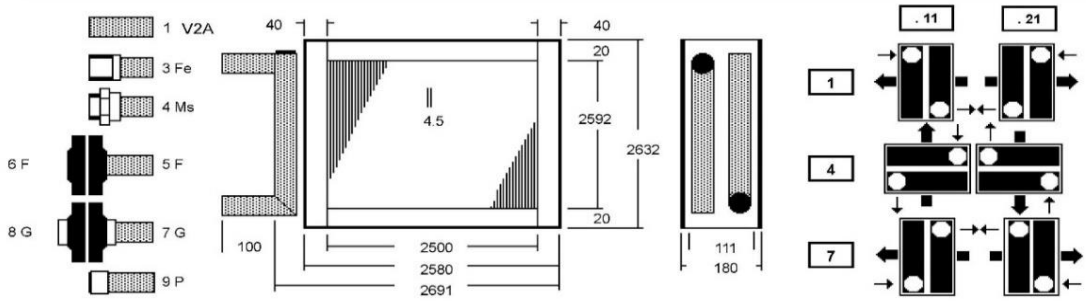
90.01.0-A

WÄTAS Wärmetauscher Sachsen GmbH
D-09526 Olbernhau
Lindenstraße 5/21

KW 3228 -4.5/2500- 81RL- 4RR- 54K-E2E2/111 (6/ /WAT.1233W)

Cégnév	Csepeli Erőmű Kft.	Projekt	**H23_066**
Telefon			09.11.23
Címzett	Jakab Ferdinánd	Oldal	1
e-mail	ferdinand.jakab@acse.hu	Szerkesztő	Krisztian Komma
Pozíció		Telefon	
Referencia		Fax	
		e-mail	kkomma@greentechenergy.hu

LEVEGŐ			Tengerszint	**0**	m	Légnyomás	**1013**	mBar
Levegő mennyiség	**46700**	m3/h	Tömegáramlás	**46669**	kg/h	Referencia hőmérséklet	**80.00**	oC
	12.97	m3/s	Sebesség	**2.00**	m/s	Sűrűség	**0.999**	kg/m3
Bejárat - száraz	**122.0**	oC	Kilépés - száraz	**100.0**	oC	(**99.2**)		
Belépő - relatív páratartalom	**6.5**	%	Kilépő - relatív páratartalom	**14.0**	%			
Belépő - Entalpia	**389.93**	kJ/kg	Kilépő - Entalpia	**362.89**	kJ/kg	Nyomásesés száraz	**30**	Pa
Belépő - abs. páratartalom	**98.00**	g/kg	Kilépő - abs. páratartalom	**98.00**	g/kg	Nyomásesés nedves	**30**	Pa
Teljesítmény	**298.22**	kW			%	Ködeltávolító	**0**	Pa
		kW			%	SHR	**100**	%
KÖZEPES			**Víz**	**100.00**	%	Fagypont	**0**	oC
Közepes - Belépő	**40.00**	oC	Közeg mennyisége	**4.37**	m3/h	Sűrűség	**978**	kg/m3
Medium - Kilépő	**100.00**	oC	Sebesség	**0.22**	m/s	Hőkapacitás	**4.1853**	kJ/kgK
Nyomásesés	**2.56**	kPa				Viszkozitás	**0.4129**	mm2/s
(	**30.00**)		Kondenzáció	**0.00**	lit/h	Hővezetés	**0.6631**	W/mK



Elszennyeződés be/ki	0.00000 / 0.00000 m2W/K		
Súly	**465.85** kg	LAMELLA: V2A-1.4301-0.2	/
Terület	**318.75** m2	CSŐ V2A-1.4301-12x0.5	/
Tartalom	**99.59** lit	KERET 2,00 mm - V2A-1.4301	

	Csatlakozó cső V2A (ZOLL)-1.4301				Gyűjtőcső	
BELÉPŐ	1 db	**1 9**	2 0/0"	V2A	2 0/0"	V2A
KILÉPŐ	1 db	**1 9**	2 0/0"	V2A	2 0/0"	V2A

GYŰJTŐ: Rozsdamentes acél V2A-1.4301

1	100-0001	1 db	Hőcserélő	465.85	kg
2	701-0701	2 db	Szellőztető-/Leeresztő/Tömítőgyűrű	0.14	kg
3	858-0001	1 db	Páraleválasztó keret + tálca (rozsdamentes acél)	161.51	kg
4	725-0001	1 db	Szifon	0.20	kg
5	900-0900	1 db	szigetelt ház		kg
6					
7					
8					
9					
	Kurs	€ / €	1,00000	**627.70**	kg

Preisstellung ab € 2500,-- frei Deutschland

Lieferzeit
Angebot Bindefrist 1 Monat

Mass Toleranzen gemaess ISO 2768 - c
Es gelten die AGB der WätaS GmbH. Bitte Luftrichtung angeben. LZ CU/AL ca. 10 AT +30%

Herstellung & Prüfung nach DGRL 2014/68/EU, kleiner Kategorie I, Mehrpreis: € 350,--

1-0.5-4-2-5-15-15-8-5-5-0-0/28.11.22/ VER11 /2/FAJ2G<1/1/1/1.333>/04.11.2022

Aenderung der technischen Daten vorbehalten