

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK



KECSKEMÉTI BALÁZS
Füstgáz-hőhasznosítás energetikai értékelése

Konzulens:

Laczus Péter
Győr-Szol Zrt. távhőszolgáltatási igazgató

Témavezető:

Dr. Bokor Balázs
Egyetemi Adjunktus

Budapest, 2024

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezető	2
2. A Győr-Szol zrt. Rozgonyi úti telephelyének ismertetése	3
2.1. A telephely elhelyezkedése	3
2.2. A kazánház	4
2.3. A tápvíz előkészítése	4
2.4. A hőtermelők	7
2.5. Égéstermék elvezetés, égéstermék paraméterei	8
2.5.1. Füstgáz mennyiségének meghatározása	9
2.5.1.1. Tüzelőanyag összetétele	9
2.5.1.2. Tüzeléstechnikai számítások	10
3. A hőhasznosítással elérhető energiamegtakarítás	13
3.1. Kinyerhető energiamennyiség	13
4. Javaslat a hőhasznosítás módjára	16
4.1.1. Rendelkezésre álló befogadó technológiák	16
4.1.2. 105 °C-os kazán tápvíz	16
4.1.3. Távfűtési primer visszatérő víz	17
4.1.4. Hőhasznosítási koncepció	17
5. Berendezés méretezése és kiválasztása	20
5.1. Hőcserélő méretezése	20
5.2. Beruházás költsége	20
5.3. Projekt egyszerű megtérülése	22
6. Összefoglalás	25
7. IRODALOMJEGYZÉK	26

1. BEVEZETŐ

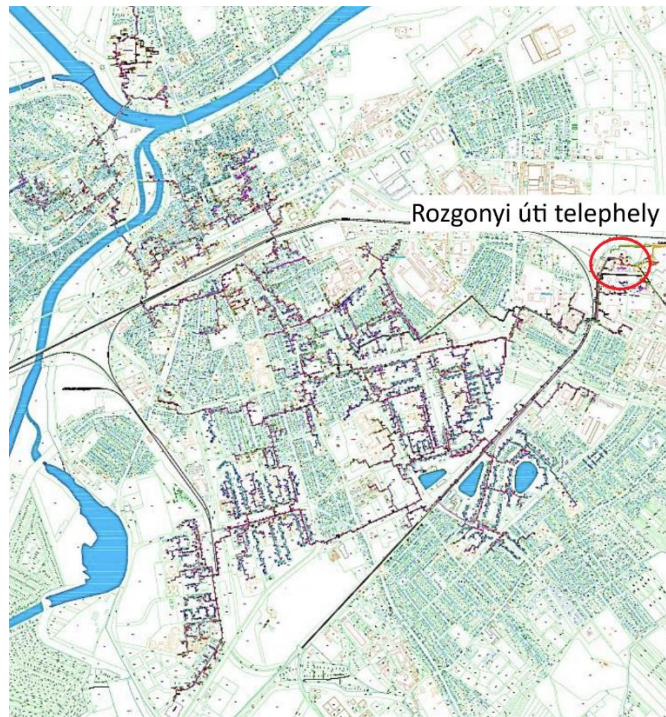
A mai világ dráguló energiahordozói mellett egyre nagyobb jelentőséget kap a fenntartható energiagazdálkodás és energiahatékonyság. A sokszor kiszámíthatatlan energiaárak és növekvő környezeti terhelés sürgetőbbé teszi az innovatív megoldások keresését, a fosszilis energiahordozóktól való függés mérséklését, és felhasználásának mérséklését. Sok iparágban előtérbe kerül a veszteségek minimalizálása, a hulladékhő újrahasznosítása, így van ez a távhőszolgáltatásban is. Szakdolgozatomban irodalomkutatás céljából bemutatok magyarországi megvalósult füstgáz hasznosító projekteket.

Saját feladatomban a Győr-Szol Zrt. Rozgonyi úti telephelyén üzemelő gőzös kazánház működésekor fellépő füstgázvesztesség hasznosítására adok megoldást és értékelem energetikailag. Felmérem a telephelyen üzemelő gőzös rendszert, az égéstermék-elvezetést és annak paramétereit. A jellemző termelési adatok alapján becslést adok a hőhasznosítással megtakarítható energiamennyiségről és javaslatot annak megvalósításáról. Számításaim során méretezek és kiválasztok egy hőhasznosító berendezést. Ezen beruházás megtérülésére gazdasági számítást végzek a világpiaci energiaárak és euroárfolyam felhasználásával. A munka során olyan eredményeket várok, amik nem csak technológiai, hanem gazdasági és környezeti szempontból is nagy jelentőséggel bírnak. A növelt energiahatékonysággal az ipari résztvevők versenyképesebbé válnak, a csökkentett károsanyag-kibocsátással pedig hozzájárulhatnak a fenntartható fejlődési célok eléréséhez. Mindez a mindennapi életben is érzékelhetővé válik a tisztább levegő és a kedvezőbb energiaárak formájában, ami tovább erősíti a téma gyakorlati jelentőségét.

2. A GYŐR-SZOL ZRT. ROZGONYI ÚTI TELEPHELYÉNEK ISMERTE- TÉSE

2.1. A telephely elhelyezkedése

A telephely Győr-Gyárváros városrészben található. Környezetében számos gyár, közintézmény és lakótelep fekszik.



1. ábra: Győr távhővel ellátott területei [1]



2. ábra: A telephely kazánházai és erőműve madártávlatból [2]

2.2. A kazánház

A győri távhőszolgáltatás gondolata egészen 1936-ig vezethető vissza. 1968 októberében működésbe lépett a Rozgonyi úti gőzös kazánház, mely először a szomszédos GYÁÉV házgáznak szolgáltatott hőt. 1969-ben megalakult a Győri Hőszolgáltató vállalat, tevékenységei a hőtermelés, értékesítés, szállítás, valamint a hőtermelő, hőelosztó és hőfelhasználó berendezések létesítése, üzemeltetése Győr városában. A folyamatosan bővülő távfűtési igény megkövetelte forróvíz kazánok telepítését. Ezek 1971-es létrejöttéig gőz-víz hőcserélőkkel oldották meg a lakások fűtését. A kazánház több felújításon is átesett üzembehelyezése óta. Az eredetileg fűtőolajat hasznosító készülékeket felszerelték alternatív földgáz-fűtőolaj tüzelésre alkalmas égőkkel. A jelenleg üzemelő 3 gőztermelő közül egy ilyenrel van felszerelve, azonban ma már kizárólag földgáz tüzelése zajlik a telephely egészén. Ezen készülékek óránként 4-12-12 tonna gőz termelésére alkalmasak. A megtermelt gőz fő felhasználói a közeli ipari parkban található Austrotherm Hőszigetelőanyag Gyártó Kft. és Agrifirm Magyarország Kft. Ezen kívül a forróvízes primer távfűtési rendszer gőzpárnás nyomástartása, a kazántápvíz termikus gáztalanítása és a kazánház gőzfűtésű kaloriferekkel történő fűtése is ezzel a gőzzel van megoldva. [3]

2.3. A tápvíz előkészítése

A kazánok nyersvize két forrásból származik. Egyik a telephelyen található 180 m mély kút, az innen szivattyúzott víz 8-10 °C fokon áll rendelkezésre. A kútból nyert vizet első lépésként a vas-és mangántalanító berendezéssel kezelik, ugyanis ezek az anyagok kárt tehetnek a kazánokban, és a további tisztító berendezések képtelenek kiszűrni őket. Ezután következik egy 5 µm-es szűrő a nagyobb szennyeződések kiszűrésére. A szűrt vizet a fordított ozmózis elven működő víz-tisztítón juttatják át. A berendezés megfelelő működése érdekében a vizet 20 °C-ra melegítik elő a belépés előtt. Utolsó lépés a kationcserélő berendezés a só-talanított víz eléréséhez.



3. ábra: vas-és mangántalanító

A másik forrás az ipari víz, ami csak egy kezelési lépésen esik át, az ioncserélő oszlopokban. A víz kalcium- és magnéziumionjait cseréli le az ioncserélő gyanta vízkövesedést nem okozó nátriumionra. Ezzel kapjuk a lágyított vizet.



4. ábra: Vízlágyító berendezés (balra) és fordított ozmózis berendezés (jobbra), háttérben a zöld ioncserélő oszlopok

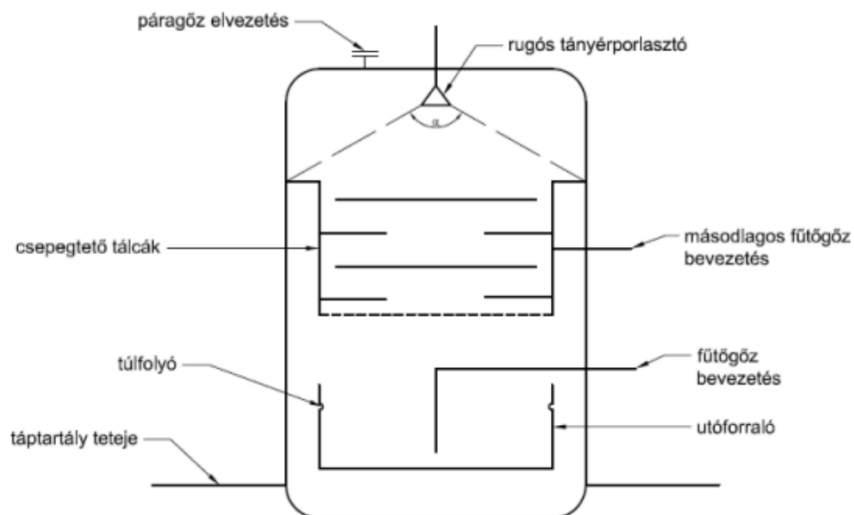
A lágyított víz hátránya, hogy nagy mennyiségű kazániszap keletkezik, az iszapolási veszteséget 10-15%-ig emelve. A sótalan víz esetében ez csak 3-4%. Az elkészített sótalan és lágyított vizet keverve kapjuk a kazánok póttápvizét.

Ezután következik a termikus gáztalanítás. Ez a folyamat a sótalanításhoz és vízlágyításhoz hasonlóan elengedhetetlen a kazánok biztonságos üzemeltetése és élettartalmának növelése szempontjából. A vízben oldott gázok a kazán korróziójához vezethetnek. A gáztalanítás táptartály a kazánházon kívül helyezkedik el, magasan a talajszint felett. Erre a magasságra a szivattyúk kavitáció elleni védelme miatt van szükség. A termikus gáztalanítás a gázdifúzió elvén működik. A vízben oldott oxigén, szén-dioxid és nitrogén koncentrációjának minimalizálására egészen 105 °C-ig fel kell melegítenünk a vizet. A legjobb gáztalanítás eléréséhez 3 fokozaton halad keresztül a víz.

A betáplálás a torony tetején történik a rugós tányérporlasztó által. A hőhordozó gőz két lépésben, a tartály alján és valamivel feljebb az oldalán lép be. A közeg fűtése mellett a gőz látja el a diffúzió létrehozásának feladatát, túlnyomást képezve. A porlasztásra a két közeg lehető legnagyobb felületen való találkozásáért van szükség, ez maximalizálja az oxigén diffúzióját.

A második lépés a csepegtetőtálcás szakaszon történik. Az eltoltan elhelyezkedő egymás alatti tálcákon a víz gyors irányváltásokkal folyik le, nagy tartózkodási idővel és nagy felületen adja ki a gázokat.

Az utolsó szakasz a bukólemezes utóforraló, ami a véletlenszerűen előforduló nyomásesés adta megnövekedett oxigéntartalmat redukálja. [4]



5. ábra: termikus gőztelenítés elvi működése [4]



6. ábra: gáztalanító táptartály

2.4. A hőtermelők

A gőz készítéséről három darab nagyvízterű, láng- és füstcsöves, háromhuzamú kazán gondoskodik, a Láng Gépgyár által gyártott 1 db HLG 4/12, 1 db HLG 12/16 és 1 db HOK 12/12. A kazánok 11,5 bar nyomású gőzt tudtak előállítani. Az első huzam a FOX-típusú hullámos lángcső, ennek a végére szerelhető fel a tüzelőberendezés. A kedvező vízáramlás érdekében a lángcső a függőleges tengelyhez képest jobbra van eltolva, a huzamok egy oldalon helyezkednek el. A lángcső a belső fordulókamrába torkollik, ezt víz húti. A fordulókamra hátsó felén található egy hőálló falazattal bélelt búvónyílás, rajta figyelőnyílás. Itt ellenőrizhető működés közben a tűztér. A belső fordulókamra mellső falába csatlakoznak a második huzam füstcsövei, ezeken keresztül jut a füstgáz a mellső fordulókamrába. Innen a füstgáz 180°-os irányváltozás után kerül a harmadik huzam füstcsöveibe. Ezek vezetik a kazán hátsó részére szerelt füstkamrába, mely tetején helyezkedik el az állítható rudazattal működtetett füstcsappantyú, végállaskapcsolóval ellátva, ez akadályozza meg az égő indítását zárt füstcsappantyú állásnál.

Az égési levegő beszívása a kazánház felső részéből valósul meg, annak érdekében, hogy melegebb levegő kerüljön az égőkbe.

A három kazán együttes üze me ritkán fordul elő, általában egy kazán üzemel, a másik kettő pedig tartalék kapacitásként szolgál. Az egyik kazán új 5500 kW teljesítményű földgáztüzelésű égőt kapott, ez tekinthető a rendszer maximális teljesítményének. Ebben a felépítésben a kazán maximum gőztermelése 7 t/h, ez az igényeket mind az ipari, mind a távhőszolgáltatói oldalon ki tudja szolgálni. [5]



7. ábra: HOK 12/12 nagyvízterű gőzkazán a régi és új égővel

1. Táblázat: Kazánok műszaki adatai [5]

	HLG 4/12	HOK 12/12	HLG 12/16
Engedélyezési nyomás	12,0 bar	12,0 bar	16,0 bar
Üzemi nyomás	11,5 bar	11,5 bar	11,5 bar
Próbanyomás	15,0 bar	15,0 bar	20,0 bar
Gőzteljesítmény	4,0 t/h	7,0 t/h	12,0 t/h
Kazán tömege üresen	15,0 t	19,5 t	25,6 t
Kazán tömege vízzel töltve	25,2 t	35,6 t	45,0 t

2.5. Égéstermék elvezetés, égéstermék paramétere

Az égéstermék a kazánok fűtgázcsappantyúját elhagyva a föld alatt kialakított fűtgázvezető csatornákon keresztül hagyja el a kazánházat. A csatornák a kazánházon kívül egyesülnek, majd lépnek be a kéménybe. A kémény egy 50 m magas falazott téglakémény, belső átmérője 2,2 m. A kémény ellenkező oldalán lépett be a negyedik kazán fűtgáz csatornája, azonban ez ma már nem üzemel. A belépés a kéménybe be lett földelve, viszont a már hasznosított fűtgázt, amennyiben nem éri el a harmatponti hőmérsékletet, ide bevezethetjük. A megfelelő áramlás érdekében a kémény aljában 3 m magas falazott áramláselválasztó fal található. Mérésünk alapján a fűtgáz hőmérséklete 200-240 °C között változik a teljesítménytől függően. Sajnos a fűtgáz paramétereire nem áll rendelkezésre folyamatos adatszolgáltatás, csak a saját mérés, mely során különböző részterheléseket vizsgáltam összetétel, hőmérséklet és légellátási tényező szempontjából.

2. táblázat: Fűtgáz összetétele

terhelés [%]	T [°C]	O ₂ [%]	CO [ppm]	NO _x [ppm]	λ [1]
15	167	2,4	23	71	1,12
30	203	3,4	28	84	1,17
50	218	6,6	43	113	1,22
60	227	7,4	54	127	1,31

A kazánok néhány napot leszámítva az év jelentős részében közepes teljesítményen dolgoznak, ezért a mérések közepes teljesítményhez tartozó értékeivel számolok. Ez 220 °C hőmérséklet és λ=1,2 légellátási tényező.

A füstgáz kondenzációjával keletkező savas kondenzvíz reakcióba léphet a habarcsban és téglában található kalcium-karbonáttal, az anyagok bomlásához vezethet. Ezt nevezzük mészkivonásnak, vagy dekalifikációnak. Továbbá a víz miatt a falazat megfagyhat hideg időben, ami fagykárhoz vezet.

Ezen indokok miatt ezt az eredeti égéstermék elvezető rendszert használva nem szabad a rendszerben kondenzációt megengedni, beleértve a kémény kilépési pontját, oda célszerű egy hőmérséklet érzékelőt elhelyezni a biztonság kedvéért.

Amennyiben kondenzációs technikával szeretnénk hasznosítani a füstgázt, egy új, saválló nemesacél égéstermék elvezető rendszer kiépítésére, vagy a meglévő téglakémény saválló anyaggal való kibélelésére van szükség. Ha a teljes füstgáz térfogatáramot kondenzáltatjuk, a téglakémény elbontása szükségessé válhat, mivel a benne áramló meleg füstgáz állagvédelmi célt szolgál, nélküle a falazat szerkezete idővel romlana, omlásveszély alakulhatna ki. Ennek kiküszöbölésére lehetséges a füstgáz részarámban való hasznosítása, tehát egy részét kivezetjük a füstgáz hőcserélőre, a maradék pedig az eredeti kéményen keresztül távozik.

2.5.1. FÜSTGÁZ MENNYISÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A hőcserélőnk kiválasztásához meg kell határozni a füstgáz tömegáramát. Saját mérés alapján megállapítottam, hogy az égéstermék hőmérséklete a jellemző közepes termelésen 220 °C, oxigéntartalma 6%, a tüzelés légellátási tényezője $\lambda=1,2$.

2.5.1.1. Tüzelőanyag összetétele

A tüzelőanyag égése során keletkező füstgáz mennyiségéhez ismernünk kell a földgáz összetételét, szén-, és hidrogéntartalmát.

Földgáz összetétele az FGSZ Zrt. jelentése alapján:

Metán (CH ₄)	Etán (C ₂ H ₆)	Propán (C ₃ H ₈)
96%	3%	1%

3. táblázat: földgáz összetétele az FGSZ Zrt. által szolgáltatott adatsorból

A földgáz szén-, és hidrogéntartalmának meghatározása:

1. Metán

- Moláris tömeg:

$$M_{CH_4} = 12(C) + 4 \cdot 1(H) = 16g/mol$$

- Szén tömegaránya:

$$\frac{12}{16} = 0,75 = 75\%$$

- Széntartalom hozzájárulása:

$$0,96 \cdot 0,75 = 0,72 \text{ kg}_{\text{szén}}/\text{kg}_{\text{tüza.}}$$

2. Etán

- Moláris tömeg:

$$M_{C_2H_6} = 2 \cdot 12(C) + 6 \cdot 1(H) = 30 \text{ g/mol}$$

- Szén tömegaránya:

$$\frac{24}{30} = 0,8 = 80\%$$

- Széntartalom hozzájárulása:

$$0,03 \cdot 0,8 = 0,024 \text{ kg}_{\text{szén}}/\text{kg}_{\text{tüza.}}$$

3. Propán

- Moláris tömeg:

$$M_{C_3H_8} = 3 \cdot 12(C) + 8 \cdot 1(H) = 44 \text{ g/mol}$$

- Szén tömegaránya:

$$\frac{36}{44} = 0,818 = 81,8\%$$

- Széntartalom hozzájárulása:

$$0,01 \cdot 0,818 = 0,00818 \text{ kg}_{\text{szén}}/\text{kg}_{\text{tüza.}}$$

4. Összesített széntartalom:

Összeadva az egyes komponensek hozzájárulását

$$0,72 + 0,024 + 0,00818 = 0,75218 \text{ kg}_{\text{szén}}/\text{kg}_{\text{tüza.}}$$

Hidrogéntartalom:

$$1 - 0,75218 = 0,24782 \text{ kg}_{\text{hidrogén}}/\text{kg}_{\text{tüza.}}$$

2.5.1.2. Tüzeléstechnikai számítások

A füstgáz energiatartalmának meghatározásához szükséges tudnunk a tömegáramot. Ennek számítására szükségünk van a földgáz égésével keletkező fajlagos füstgáz mennyiségére. A következő tüzeléstechnikai számításokkal határozhatjuk meg: [6]

A tüzelőanyag égéséhez szükséges elméleti fajlagos oxigénigény:

$$\mu_{O_2} = 2,6642 \cdot C + 7,9367 \cdot H + 0,9979 \cdot S - O \text{ [kg}_{O_2}/\text{kg}_{\text{tüza.}}]$$

$$\mu O_{2'} = 2,6642 \cdot 0,752 + 7,9367 \cdot 0,248 = 3,972 \text{ [kg}_{O_2}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}]$$

A tüzelőanyag égéséhez szükséges elméleti fajlagos levegőigény:

$$\mu L_0 = 4,31 \cdot \mu O_{2'} \text{ [kg}_{lev}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}]$$

$$\mu L_0 = 4,31 \cdot 3,972 = 17,12 \text{ kg}_{lev}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}$$

Az égéssel keletkező fajlagos elméleti füstgázmennyiség:

$$\mu V_0 = 12,4822 \cdot C + 35,2067 \cdot H + 5,3009 \cdot S - 3,31 \cdot O + N + n \text{ [kg}_{fg}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}]$$

$$\mu V_0 = 12,4822 \cdot 0,752 + 35,2067 \cdot 0,248 = 18,118 \text{ kg}_{fg}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}$$

Fajlagos vízgőz-mennyiség:

$$\mu H_2O = 8,9367 \cdot H \text{ [kg}_{h_2o}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}]$$

$$\mu H_2O = 8,9367 \cdot 0,248 = 2,216 \text{ kg}_{h_2o}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}$$

Fajlagos elméleti száraz füstgázmennyiség:

$$\mu V_{0sz} = \mu V_0 - \mu V_{H_2O} \text{ [kg}_{h_2o}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}]$$

$$\mu V_{0sz} = 18,118 - 2,216 \text{ kg}_{sz.fg}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}$$

Valós tüzelési körülmények:

Füstgázban maradó levegő fajlagos mennyisége:

$$\mu_{leveg\ddot{o}} = (\lambda - 1) \cdot \mu_{L_0} \text{ [kg}_{leveg\ddot{o}}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}]$$

$$\mu_{leveg\ddot{o}} = (1,2 - 1) \cdot 17,12 = 3,424 \text{ kg}_{leveg\ddot{o}}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}$$

Égéssel keletkező fajlagos nedves füstgáz mennyisége:

$$\mu_{Vn} = \mu_{V_0} + (\lambda - 1) \cdot \mu_{L_0} \text{ [kg}_{fg}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}]$$

$$\mu_{Vn} = 18,118 + (1,2 - 1) \cdot 17,12 = 21,542 \text{ kg}_{fg}/\text{kg}_{t\ddot{u}za.}$$

A tüzelőberendezés 5500 kW teljesítményű égőjével elégethető maximális földgáz térfogatáram (mivel ez tekinthető a rendszer maximum teljesítményének, ennél nagyobb füstgáz térfogatáram nem fog jelentkezni):

$$\dot{V}_{max\ddot{u}za.} = P_{max}[kW]/NCV[\frac{MJ}{m^3}] \cdot 1000 [\frac{m^3}{s}]$$

$$\dot{V}_{max\ddot{u}za.} = \frac{5500}{35} \cdot 1000 = 0,1571 \frac{m^3}{s} = 565,71 \frac{m^3}{h}$$

A földgáz tüzelésével keletkező fajlagos füstgázmennyiség ismeretében meghatározható a távozó égéstermék mennyisége és tömegárama:

$$\dot{m}_{fg} = \dot{V}_{max\ddot{u}za.g\ddot{a}z} \cdot \rho_{g\ddot{a}z} \cdot \mu_{Vn} [kg/s]$$

$$\dot{m}_{fg} = 0,1571 \cdot 0,68 \cdot 21,542 = 2,3019 kg/s$$

Tömegáram és fajhő ismeretében a füstgáz maximális hőkapacitásárama:

$$\dot{w} = \dot{m}_{fg} \cdot c_{pfg} [\frac{W}{K}]$$

$$\dot{w} = 2,3019 \cdot 1200 = 2762,3 \frac{W}{K}$$

A tüzeléstechnikai számítások eredményei alapján megállapítható, hogy az égéstermék hőkapacitásárama kulcsfontosságú tényező a hőtechnikai folyamatok elemzésében. Az érték azt mutatja, hogy az égéstermék 1 K hőmérsékletváltozás mellett 2762 W hőteljesítményt képes leadni, ami egyértelműen jelzi a rendszer hőátviteli hatékonyságát. Ez az adat alapvető támpontot nyújt a továbbiakban a hőcserélő méretezéséhez.

3. A HŐHASZNOSÍTÁSSAL ELÉRHETŐ ENERGIAMEGTAKARÍTÁS

3.1. Kinyerhető energiamennyiség

A füstgáz hasznosításával elérhető megtakarítás számolásához meg kell határoznunk a füstgázvesztést. Ezt a következő képlet alapján számíthatjuk százalékos formában:

$$\xi_{fg} = T_{fg} - T_k \cdot \left(\frac{A}{21 - O_2} + B \right)$$

ahol:

ξ_{fg} : füstgázvesztés [%]

T_{fg} : füstgáz hőmérséklete [°C]

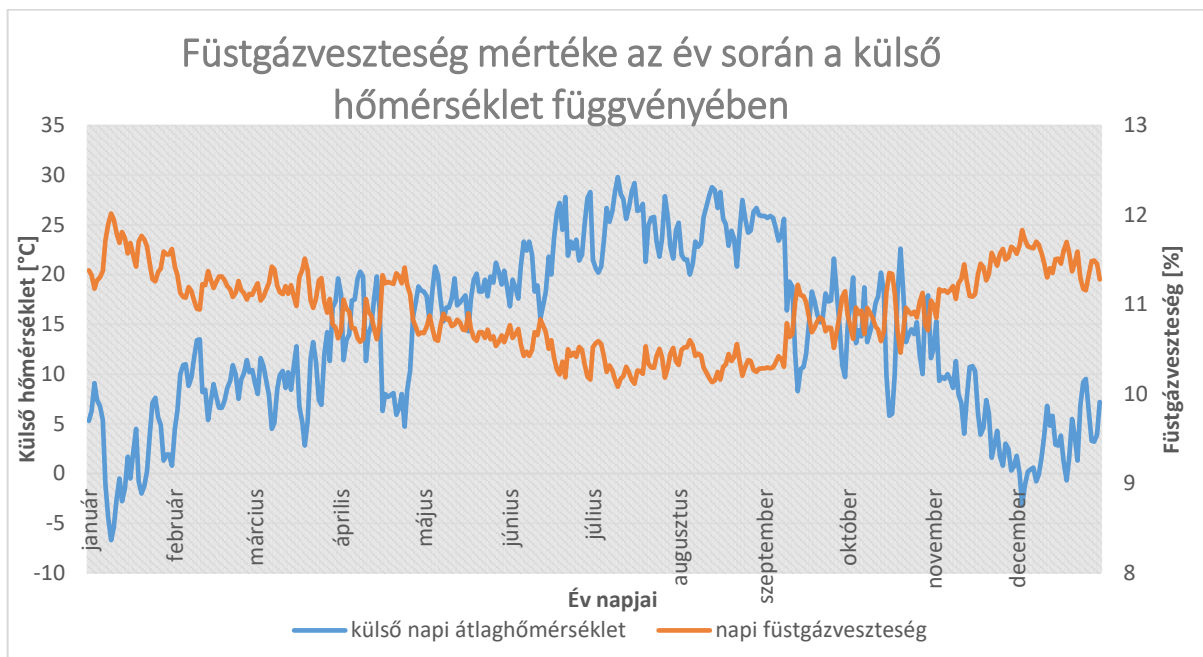
T_k : külső hőmérséklet [°C]

A : tüzelőanyagra jellemző tényező, értéke 0,66

B : korrekciós tényező, értéke 0,009

O_2 : füstgáz oxigéntartalma [%]

Mérésünk alapján a füstgáz oxigéntartalma jellemzően 6%, hőmérséklete 220 °C, ezzel az értékkel számolok minden napra. Egy adott napra kiválasztva 10 °C külső hőmérséklet mellett a füstgázvesztés 11,13%. Ezt a napi átlaghőmérséklet alapján minden napra kiszámítom, a 11. ábra mutatja az értékeket. A kazánüzem napi jelentések táblázataiban rendelkezésre áll az elégetett gázmennyiség. Ezt a tüzelőanyag havi átlagos fűtőértékével megszorozva kapjuk a bevitt energiát. A teljes betáplált hőmennyiség ismeretében meghatározható minden napra a füstgázvesztés mennyisége a százalékos értékkel megszorozva, az aznapi külső hőmérséklettől függően. Az év egyes napjain jelentkező füstgázvesztést szummázva megkapjuk az egész éves vesztést, ennek mennyisége jelen esetben 3193,4 GJ.



8. ábra: Füstgázvesztesség alakulása az év során

A 11. ábrán jól látható, hogy a füstgázvesztesség mértéke a környezeti hőmérséklettől függ. A legnagyobb veszteség fajlagosan a téli leghidegebb napokon jelentkezik, a legkisebb pedig a legmelegebb nyári napokon.

Amennyiben a kilépő füstgázt környezeti hőmérsékletre vissza tudnánk hűteni, és ezt a hőt visszatermelni a rendszerbe, nullára tudnánk csökkenteni a füstgázvesztiséget. Ez jelentős energiamegtakarítást jelentene a távhőszolgáltatónak.

Az energiamennyiség megtakarításra történő átváltása a következő számításokkal végezhető el:

- tüzelőanyag térfogata:

$$V = \frac{E}{NCV \cdot \eta} [m^3]$$

ahol:

V: tüzelőanyag térfogata [m^3]

E: megtakarítható energia [MJ]

NCV: fűtőérték (net calorific value) [MJ/ m^3]

η : tüzelőberendezés hatásfoka [%]

- megtakarítás:

$$K = V * P \text{ [Ft]}$$

ahol:

K: megtakarítás [Ft]

V: tüzelőanyag térfogata [m^3]

P: földgáz ára [Ft/m^3]

A kéményen távozó energiamennyiséget a földgáz alsó átlagos fűtőértékével és a kazánhoz tartozó hatásfokkal leosztva megkapjuk, hogy hány köbméter gázzal lenne kevesebb a kazánház fogyasztása. Az üzemeltető által megadott földgázárral megszorozva ezt kijön az egy év alatt megtakarítható pénzösszeg. A tőzsdei energiaárak alapján 2024-ben a tüzelőanyagot 50 EUR/MWh értéken vásárolhatjuk, ami 400 Ft/EUR árfolyamon átszámítva 195 forint köbméterenként. [7], [8]

$$V = \frac{3175}{35,2 \cdot 0,92} = 98594,6 \text{ m}^3$$

$$K = 98037,3 \cdot 195 = 19225942 \text{ Ft}$$

Ezen számítás alapján egy év során 98594,6 m^3 tüzelőanyagot takaríthatnánk meg, ez mintegy 19,225 millió forintos költség. Fontos megemlíteni, hogy ez az elméleti maximális megtakarítás mértéke, ha a 10 °C hőmérsékleten belépő földgáz elégetése után a kilépő füstgázt 10 °C-ra tudnánk visszahűteni. A gyakorlatban ekkora megtakarításra nincs lehetőség, határt szabnak a közegek, amikkel le lehet hűteni a füstgázt.

4. JAVASLAT A HŐHASZNOSÍTÁS MÓDJÁRA

4.1.1. RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ BEFOGADÓ TECHNOLÓGIÁK

4.1.2. 105 °C-OS KAZÁN TÁPVÍZ

A kazánba érkező víz már az előzőleg végbement termikus gáztalanítás által jelentős hőmérséklettel bír

. A közeg előnye hőhasznosítás tekintetében leginkább az egyidejűsége a füstgázzal. A kazánok üzeme alatt folyamatos tápvízellátásra van szükség, és a füstgáz is ekkor keletkezik. Mivel a gáztalanítás 105 °C-on megy végbe, ezért a füstgáz nem fog ez alá hűlni és nem kell kondenzációval számolnunk, nincs szükség saválló berendezésekre. A kilépő égéstermék elvezetésére használhatjuk a meglévő falazott téglakéményt. A tápvíz előmelegítésére úgynevezett economisert (ECO) használnak, ami a kazán kilépő füstgáz csonkjához kerül beépítésre.

Nézzük meg mennyi az elméletileg megtakarítható energiamennyiség. A 220 °C-os füstgáz 105 °C-ra való visszahűtésével számolt füstgázvesztesség megegyezik a rendszerbe visszatáplálható mennyiséggel. Ez a [4.1.](#) fejezetben alkalmazott képletekkel való számítás alapján a bevitt energia 6,095 %-a. Fontos megjegyezni, hogy ilyen mértékű hatékonyság nem érhető el, mivel végtelen nagy hőcserélő felületre lenne hozzá szükség. Ebben az esetben is minden napra meghatároztam a betáplált energiából a füstgázvesztességet és szummáztam az egész évre. Ez éves szinten 1780 GJ hőenergia, ami 54955 m³ földgáz és 10,716 millió forint megtakarítást jelentene.

Mivel a távozó füstgáz így még mindig jelentős hőtartalommal bír, és jóval a kondenzációs határ felett van, további visszahűtése lehetséges.

4.1.3. TÁVFŰTÉSI PRIMER VISSZATÉRŐ VÍZ

A Győr város felől visszatérő primer távfűtési víz átlagosan 50-60 °C hőmérsékletű és a füstgázhoz képest szinte végtelen mennyiségben és folyamatosan áll rendelkezésre. A gőzös kazánházban technológiai víz melegítésének céljából a primer visszatérőből mérés alapján 20 m³/h víz fordul meg. Ezt a vízmennyiséget felmelegítve a visszatáplált energia a kazánházon belül felhasználásra kerülhet. Amennyiben nincs hőcsere a kazánházban, a víz visszaáramlik a forróvízes kazánokhoz.

A hőmérséklet éppen a harmatpont közelében mozog. Amennyiben a kondenzációt el akarjuk kerülni, egy visszakeverő kapcsolással a már felmelegített vizet bekeverhetjük a hőcserélő elé.

A hőcserélőre vezetett vizet 65 °C-on tartva biztonsággal el tudjuk kerülni az 58 °C-os harmatponti hőmérsékletet. Szakmai tapasztalatok alapján a füstgázt a kéményben végbemenő további lehűlés miatt, ami télen nagy szélben igen jelentős lehet, nem érdemes 80 °C foknál tovább kihűteni biztonsági okokból. Ennél a koncepciónál szükség van egy hőmérséklet érzékelőre a kémény tetején, hogy ott se kondenzálódhasson a vízgőz, mert ez a téglafalazat bomlását eredményezné. Ha a kéményen kilépő hőmérséklet túlságosan lecsökken, a bekeverő ágon több meleg vizet kell a hőcserélőre vezetni egy motoros szelep segítségével.

A 9900 m³/h térfogatáramú égéstermék 80 °C-ra való hűtésével a 20m³/h térfogatáramú 65 °C-os primer visszatérő vizet 79,39 °C-ra tudjuk felmelegíteni. Ehhez egy 326,78 kW teljesítményű hőcserélőre van szükség, aminek hőcserélő felülete 168,26 m². [9]

Ezzel a megoldással a füstgázvesztést 7,42%-kal csökkenthetjük a mostani, hőhasznosítás nélküli esethez képest. Az egyes napi bevezetett energiamennyiségek ezen hányadát szummázva megkapjuk az egész évben hasznosítható energiát, aminek mennyisége 1983,6 GJ. Ennyi hőt az átlagos 35,2 MJ/m³ fűtőérték és 92% hatásfok figyelembevételével 61243,7 m³ földgáz eltüzelésével lehetne megtermelni. Mivel a távfűtési rendszerbe tápláljuk vissza a hőt, ennyivel kevesebb földgázfelhasználásra lesz ott szükség. Ez a távhőszolgáltató számára évente 11,94 millió forint megtakarítást eredményezhet.

4.1.4. HŐHASZNOSÍTÁSI KONCEPCIÓ

Ahhoz, hogy a füstgáz energiatartalmát hasznosíthassuk, ki kell vezetni az eredeti füstgázcsatornából, rá a hőcserélőre. A hőcserélő a kazánházon kívül, a kémény

mellett kaphat helyet. A füstgázcsatornát a kémény előtti szakaszon bontjuk meg, miután már egyesült a három kazánból kivezető csatorna, hogy a teljes térfogatáramot hasznosítani tudjuk, több kazán együttes üzeme mellett is. A már kihűtött füstgáz bevezetésére a kéménybe a régi negyedik kazán már nem használatos becsatlakozásán van lehetőség. A hőcserélő füstgáz oldali ellenállása 32 Pa [9], valamint az iránytörések és hosszabb vezeték miatt további ellenállás jelentkezik ezen az ágon. Mivel a kilépő füstgáz a kisebb ellenállású utat választja, be kell építeni a kivezetett ágba egy ventilátort. Erre a redukált hőmérséklet okozta kéményhuzat-csökkenés miatt is szükség van. A huzat a következőképpen alakul a füstgáz visszahűtésével:

- Kéményhuzat az eredeti, 220 °C-os füstgázzal:

$$\Delta p_{220^{\circ}\text{C}} = (\rho_{20^{\circ}\text{C}} - \rho_{220^{\circ}\text{C}}) \cdot g \cdot h$$

$$\Delta p_{220^{\circ}\text{C}} = (1,2 - 0,753) \cdot 9,81 \cdot 50 = 219,25 \text{ Pa}$$

- Kéményhuzat a visszahűtött, 80 °C-os füstgázzal:

$$\Delta p_{80^{\circ}\text{C}} = (\rho_{20^{\circ}\text{C}} - \rho_{80^{\circ}\text{C}}) \cdot g \cdot h$$

$$\Delta p_{80^{\circ}\text{C}} = (1,2 - 1,033) \cdot 9,81 \cdot 50 = 81,91 \text{ Pa}$$

ahol:

Δp : kéményhuzat 220, és 80 °C-hoz [Pa]

q : levegő, és füstgáz sűrűsége 20, 80 és 220 °C-on [kg/m³]

g : gravitációs együttható [m/s²]

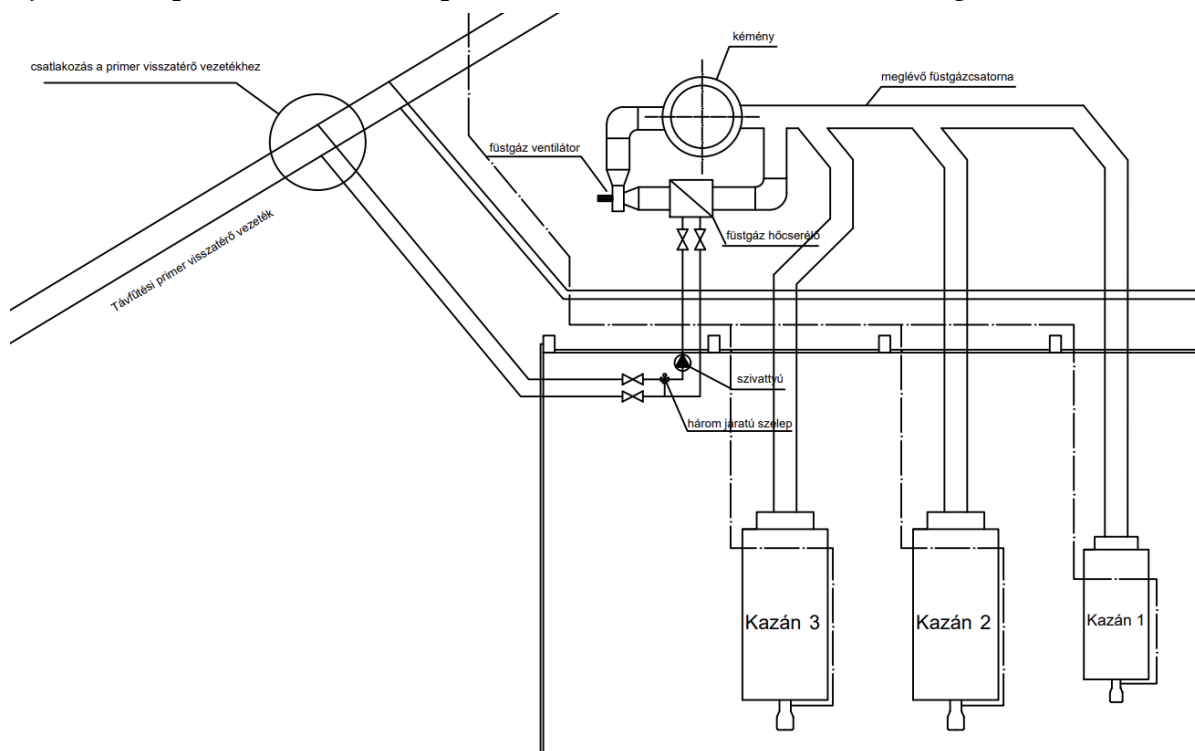
h : kémény magassága [m]

A hőcserélő után kaphat helyet a centrifugál füstgázventilátor. Ebben az elrendezésben a ventilátornak a már lehűtött füstgáz 80 °C-os hőmérsékletét kell elviselnie, nem pedig az eredeti 220 °C-t. Mivel nem éri el a közeg a harmatponti hőmérsékletet, nem szükséges saválló berendezés használata.

A kivitelezésnél ügyelni kell a berendezések üzembiztonságára. Abban az esetben, ha például a szivattyú elromlik, nem üzemelhet tovább a hőcserélő, mert elforralhatja a benne lévő vizet. Ilyen szituációban a ventilátort le kell állítani, és a füstgázt hőhasznosítás nélkül kiengedni a kéményen. A frekvenciaváltóval szabályozott ventilátor működését a megfelelő térfogatáram szállításához a kazán égőjének frekvenciaváltójával kell szinkronizálni.

A primer visszatérő vizet szállító szivattyú és tartozékai, valamint a vezérlés a kazánházban kaphatnak helyet fagyvédelmi szempont miatt. A berendezések elvi vázlatát a [12. ábra](#) szemlélteti, ami a mellékletben is megtalálható. Szemléltettem a kibővített

füstgázcsatorna új nyomvonalát, a hőcserélő helyét és a visszatáplálást a kéménybe. A rajzon szerepel a csatlakozás a primer távfűtési visszatérő vezetékághoz.



9. ábra: A berendezés vázlata

5. BERENDEZÉS MÉRETEZÉSE ÉS KIVÁLASZTÁSA

5.1. *Hőcserélő méretezése*

A hőcserélő méretezéséhez meghatároztam a bemenő paramétereket mind füstgáz, mind víz oldalon. A füstgázban rejlő hőteljesítményt a 3.4.1.2 fejezetben számítottam ki. A közegek közti hőcsere szempontjából mértékadó mennyiség a hőkapacitásáram. Megmutatja, hogy egységnyi hőmérsékletváltozás mellett mennyi hőt képes átadni az adott közeg.

A méretezési értékek megadása után a Greentech Energy Kft. biztosította számomra egy konkrét berendezés szoftveres méretezését és ajánlatát. A részletes dokumentáció a mellékletben található.

A berendezés 326,78 kW teljesítményű bordáscsöves hőcserélő, a 65 °C-os vizet 79,39 °C-ra tudja melegíteni. Ehhez 168,26 m² belső hőcserélő felületre van szükség. A kilépő füstgáz hőmérséklete 80 °C-ig csökken.

5.2. *Beruházás költsége*

A beruházás teljes összege a hőcserélőn kívül magába foglalja az egyéb gépészeti elemeket (pl. szivattyú, ventilátor, szerelvények, csővezetékek stb.), a füstgáz lemezevezeték és tartozékait (pl. füstgáz csappantyúk, tartószerkezet, szigetelés stb.), villamos munkákat (pl. erős- és gyengeáramú szekrény, kábelezés, érzékelők stb.), tervezést, munkadíjakat, üzembe helyezést és garanciát is.

A projekthez tartozó részletes beruházási költséget az Energo Prompt Kft. szolgáltatatta számomra, és a következő táblázatok tartalmazzák egységekre lebontva.

4. táblázat: Gépészeti berendezések költségei

Gépészeti berendezések:	
Hőcserélő	2 400 000 Ft
Szivattyú, ventilátor	2 200 000 Ft
Szerelvények, szabályzó szelep, hőmennyiségmérő	2 800 000 Ft
Csővezeték, peremek	1 500 000 Ft
Tartószerkezet	800 000 Ft
Szerelés	3 500 000 Ft
Szigetelés, burkolás	1 000 000 Ft
Szállítás, daruzás	500 000 Ft
Gépészeti részösszeg:	14 700 000 Ft

5. táblázat: Füstgáz lemezvezeték költségei

Füstgáz lemezvezeték	
Nemesacél lemezvezeték, peremes kötéssel egyenes, íves elemekkel, dilatációs idomokkal	3 200 000 Ft
Füstgáz csappantyúk 2db csappantyú	800 000 Ft
Tartó szerkezet	700 000 Ft
Szerelés	2 100 000 Ft
Szigetelés, burkolás	2 000 000 Ft
Szállítás, gépköltség	700 000 Ft
Építészeti, füstcsatorna és kémény megszúrás	500 000 Ft
Füstgáz lemezvezeték	10 000 000 Ft

6. táblázat: Villamos berendezések költségei

Villamos munkák:	
Erősáramú szekrény és kábelezés	1 500 000 Ft
Gyengeáramú szekrény szerelés, érzékelők, beavatkozók, PC	3 500 000 Ft
Év mérés	100 000 Ft
Üzembe helyezés	280 000 Ft
Tervezés	500 000 Ft
Villamos részösszeg:	4 880 000 Ft

7. táblázat: Tervezés és beüzemelés költségei

Generál tervezés, beüzemelés:	
Tervezés és engedélyeztetés	2 300 000 Ft
Beüzemelés, égő beállítás	300 000 Ft
Tervezés részösszeg:	2 600 000 Ft

8. táblázat: Garancia és karbantartás költségei

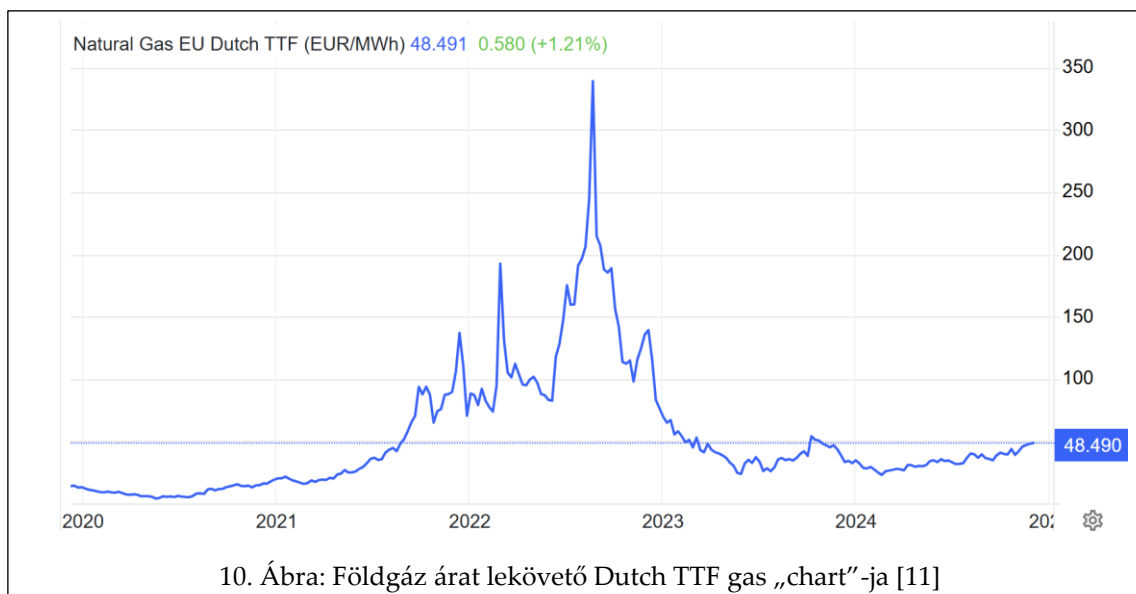
Garancia, karbantartás:	
2 éves karbantartás és garancia	500 000 Ft
Garancia részösszeg:	500 000 Ft

9. táblázat: Összes költség

Beruházás teljes költsége	32 680 000 Ft
---------------------------	---------------

5.3. Projekt egyszerű megtérülése

Ezen számítás alkalmazása olyan esetekben célszerű, amikor a megtérülési idő nagyon rövid. Számításához meg kell határozni a beruházás teljes összegét. Ez a be-
rendezéseken és tartozékokon kívül magába foglalja a munkadíjat is. Ezen kívül szükséges tudni a földgáz világpiaci árát és a forint-euro árfolyamot.



10. Ábra: Földgáz árat lekövető Dutch TTF gas „chart”-ja [11]

A [13.](#) ábrán látható diagram jól szemlélteti, hogy a földgáz világpiaci ára mennyire kiszámíthatatlan mértékben tud változni egy adott időszakon belül. Az energiaválságos időszakokban még inkább előtérbe helyeződnek az energiamegtakarítással járó beruházások, a magas energiaárakkal lecsökkennek a megtérülési idők. Amennyiben a jövőben újra nagy mértékben elszállnak a költségek, egy energiahatékonyabb rendszerrel csökkenteni lehet a tőzsdei áraktól való függést és a nem kívánt plusz kiadásokat. A számításaimban a földgáz árát 50 euro/MWh - nak vettem alapul, ami a jelenlegi piaci helyzetet tükrözi.

A tüzelőanyag euróban megadott árának forintra történő átváltásához szükséges ismerni a forint-euro árfolyamot. Mivel a következő időszakra növekvő árfolyamtenencia várható, ezért a számítások során 1 euróra 400 forinttal számolok. Az árfolyam változásának szemléltetésére a mellékelt diagram ad áttekintést.



11. Ábra: Forint-euro árfolyam [8]

A kiszámított pénzmegtakarítás és a beruházás költsége alapján a projekt egyszerű megtérülését úgy lehet meghatározni, hogy a beruházás teljes költségét elosztjuk az éves pénzmegtakarítással.

A megtérülési idő számítása:

$$t = \frac{\text{beruházás költsége [Ft]}}{\text{éves megtakarítás [Ft/év]}} [\text{év}]$$

$$t = \frac{32,68 \text{ millió Ft}}{11,94 \text{ millió Ft/év}} = 2,74 \text{ év}$$

A projekt megtérülése a magas megtakarítás miatt rendkívül rövid, mindössze 2,74 év. Ekkor éri el a beruházás a „0” eredményt, és kezd el profitot termelni. A megtérülési idő segít felmérni a projekt gazdaságosságát, és lehetőséget ad a befektetés megtérülésének gyors és hatékony követésére. Minél rövidebb a megtérülési idő, annál kedvezőbb a projekt pénzügyi szempontból.

Elmondható, hogy egy ilyen rövid megtérülésű projektbe mindenképp érdemes beruháznia a vállalatnak, hiszen csökkenthető a földgázfelhasználás és a kitétség a piaci ár ingadozásainak. A keletkező profit további beruházásokba fektethető az energiahatékonyság növelésének érdekében.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkám célja a Győr-Szol Zrt. Rozgonyi úti telephelyén üzemelő gőztermelő rendszer égéstermék-hőhasznosításának energetikai értékelése volt.

A hőhasznosítási koncepció kidolgozásához részletesen meg kellett vizsgálnom a helyszínen működő gőztermelő rendszert és annak egyes részeit. Bemutattam a hőtermelő berendezéseket, a tápvíz-előmelegítést, és nagy hangsúlyt fektettem az égéstermék-elvezető rendszerre és a keletkező égéstermék paramétereire. Méréssel, majd számítással meghatároztam a füstgázban rejlő hőteljesítményt.

A külső- és égéstermék hőmérséklet figyelembevételével kiszámítottam a füstgázvesztesség mértékét százalékos formában, majd a földgázfogyasztási adatok alapján az egész éves energiamennyiséget. A szemléltetés kedvéért bemutattam, mekkora pénzügyi megtakarítás érhető el az energia visszatáplálásával ebbe a rendszerbe. A helyi adottságok elemzése során megvizsgáltam, hogy mely közegek alkalmazásával lehet visszahűteni a füstgázt, és ezáltal milyen mértékű energiahatékonyság-növekedés érhető el. A lehetőségek áttekintése után a nagyobb energiamegtakarítást biztosító hidegebb közeg, a távfűtési primer visszatérő víz mellett döntöttem. Erre az esetre méreteztem a hővisszanyerő berendezést és vázoltam fel egy lehetséges koncepciót. A beruházás költségeit és az általa évente megtakarítható pénzösszeget összevetve megállapítottam a projekt egyszerű megtérülését. Az eredmények azt mutatják, hogy a beruházás gyors megtérülését követően, 2,74 év után nyereséget hoz a vállalat számára, miközben mérsékli a piaci földgázár ingadozásából eredő pénzügyi kockázatokat.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] „6466374834cfid_Gyor_Energiaellatas_fejlesztese_Tanulmany_2023_05_02_Vegleges.pdf”. Elérés: 2024. december 16. [Online]. Elérhető: https://gyor.hu/wp-content/uploads/easydocs/uploads/2023/05/6466374834cfid_Gyor_Energiaellatas_fejlesztese_Tanulmany_2023_05_02_Vegleges.pdf
- [2] „Google Earth”. Elérés: 2024. december 16. [Online]. Elérhető: https://earth.google.com/web/@47.68141186,17.6701974,124.07687909a,464.17212704d,35y,-131.79759237h,82.97961099t,0r/data=CgRCAGgBOgMKATBCAg-gASgOI_____ARAA
- [3] Győr-Szol, „A győri távhőszolgáltatás története”, Győr-Szol zRt. | Győri Közzolgáltató és vagyongazdálkodó zRt. Városgazdálkodás, hulladék, távhő, kommunális, ügyfélszolgálat. Elérés: 2024. október 13. [Online]. Elérhető: <https://www.gyorszol.hu/tavho/a-gyori-tavhoszolgáltatás-története/>
- [4] A. Szeiffert, „Hankook Tire Hungaria Kft. komplex hőhasznosításának bővítése”.
- [5] Láng Gépgyár, „Középnymású gőzkazánok”.
- [6] F. Dr Lezsovits, „Tüzeléstechnika gyakorlata”.
- [7] „EU Natural Gas TTF - Price - Chart - Historical Data - News”. Elérés: 2024. november 25. [Online]. Elérhető: <https://tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas>
- [8] „Euro árfolyam (EUR/HUF) - Portfolio.hu”. Elérés: 2024. november 25. [Online]. Elérhető: <https://www.portfolio.hu>
- [9] „Füstgáz hőcserélő adatlap”.

MELLÉKLETEK

- Kiválasztott hőcserélő adatlapja
- Berendezés elrendezésének vázlata



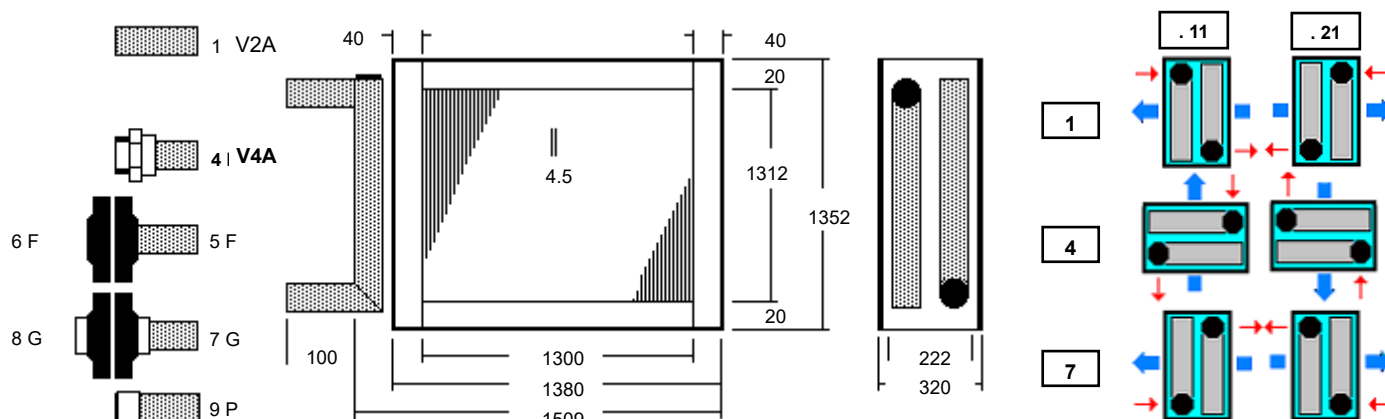
KW 3228 -4.5/1300- 41RL- 8RR- 41K-E2AL/111 (8/ WAT.1232W)

Firma WÄTAS Wärmetauscher
Telefon +49 (0) 3735 6680-0
Fax +49 (0) 3735 6680-66
e-mail info@waetas.de
Position
Referenz

Herr Enders

Projekt 00000001
27.11.24
Seite 1
Bearbeiter Krisztian Komma
Telefon +36 30 414 555 7
Fax
e-mail kkomma@greentechenergy.hu

LUFT		Seehöhe	0 m	Luftdruck	1013 mBar
Luftvolumen	9900 m ³ /h	Massenstrom	8257 kg/h	Bezugstemperatur	150.00 °C
	2.75 m ³ /s	Geschwindigkeit	1.61 m/s	Dichte	0.834 kg/m ³
Eintritt - trocken	220.0 °C	Austritt - trocken	80.0 °C	(80.0)	
Eintritt - rel. Feuchte	0.6 %	Austritt - rel. Feuchte	29.5 %		
Eintritt - Enthalpie	513.78 kJ/kg	Austritt - Enthalpie	346.04 kJ/kg	Druckabfall trocken	32 Pa
Eintritt - abs. Feuchte	100.00 g/kg	Austritt - abs. Feuchte	100.00 g/kg	Druckabfall feucht	32 Pa
Leistung	326.78 kW			Tropfenabscheider	0 Pa
				SHR	100 %
MEDIUM		Wasser	100.00 %	Erstarrungspunkt	0 °C
Medium - Eintritt	65.00 °C	Mediummenge	20.00 m ³ /h	Dichte	976 kg/m ³
Medium - Austritt	79.39 °C	Geschwindigkeit	1.31 m/s	Wärmekapazität	4.1860 kJ/kgK
Druckabfall	30.22 kPa			Viskosität	0.4020 mm ² /s
	(30.00)	Kondensat	0.00 lit/h	Wärmeleitfähigkeit	0.6647 W/mK



Fouling Inn/Aus 0.00000 / 0.00000 m²W/K
Gewicht 159.25 kg
Fläche 168.26 m²
Inhalt 61.72 lit

LAMELLE: Aluminium-0.15 /
ROHR: V2A-1.4301-12x0.5 /
RAHMEN: 2,00 mm - V2A-1.4301

SAMMLER: Edelstahl V2A-1.4301

ANSCHLUSS-Muffe Edelstahl -Aussengewinde				Sammelrohr	
EINTRITT	1 Stk	1 4 9	3 0/0	V4A	3 0/0 V2A
AUSTRITT	1 Stk	1 4 9	3 0/0	V4A	3 0/0 V2A

1	100-0001	1 Stk	Wärmetauscher	159.25	kg
2	701-0701	2 Stk	Entlüft-/Entleerung/Dichtring	0.14	kg
3	858-0001	1 Stk	Tropfenabscheider Rahmen + Wanne Edelstahl	63.69	kg
4	725-0001	1 Stk	Syphon	0.20	kg
5	900-0900	1 Stk	Gehäuse isoliert		kg
6					
7					
8					
9					
Kurs € / €				1,00000	223.28 kg

Preisstellung ab € 2500,- frei Deutschland

Lieferzeit

Angebot Bindefrist

1 Monat

Mass Toleranzen gemäss ISO 2768 - c

Es gelten die AGB der WätaS GmbH. Bitte Lüfrichtung angeben. LZ CU/AL ca. 10 AT +30%

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



