

BIOMASSZA KAZÁNOKKAL ELÉRHETŐ CO₂ KIBOCSÁTÁS MEGTAKARÍTÁS BEMUTATÁSA EGY 100 KW-OS FATÜZELÉSŰ KAZÁNNAL

PÁGER SZABOLCS – FÖLDI LÁSZLÓ – GÉCZI GÁBOR

Összefoglalás

A CO₂ kibocsátás csökkentésére kézenfekvő megoldás a megújuló energiák alkalmazása. Ebben a cikkben a hazai hőmérsékleti adatok felhasználásával egy átlagos fűtési szezonban mutatjuk be a földgáz üzemű készülékekkel szemben mekkora CO₂ takarítható meg. A cikkben kitérünk az egyes hónapokban várható tüzelőanyag felhasználásról is. Környezetvédelmi szempontból kiemelt fontosságú a rendszer élettartama is, hiszen a készülékek és rendszerelemek gyártása, a kivitelezés és hulladék kezelés is környezetterheléssel jár. Fatüzelésű kazánok esetében a legnagyobb kockázatot (idő előtti meghibásodást) az égéstér korróziója jelenti. Kondenzáció az égéstérben hideg indítások alkalmával jelentkezik. Kondenzáció elkerüléséhez a gyártók a visszatérő hőmérséklet emelését írják elő. A cikkben bemutatjuk a megfelelően kialakított hidraulikai kapcsolást és a legjellemzőbb rendszerelem a szabályozószelep méretezésének módszerét lépésről lépésre. Bemutatjuk a kazán üzemi állapotaihoz tartozó áramlási viszonyokat. Végül bemutatjuk az általunk számított CO₂ kibocsátást is.

Kulcsszavak: megújuló energia, hidraulikai kapcsolás, fűtés

JEL kód: Q42

DEMONSTRATION OF CO₂ EMISSION SAVINGS FROM BIOMASS BOILERS WITH A 100 KW WOOD FIRED BOILER

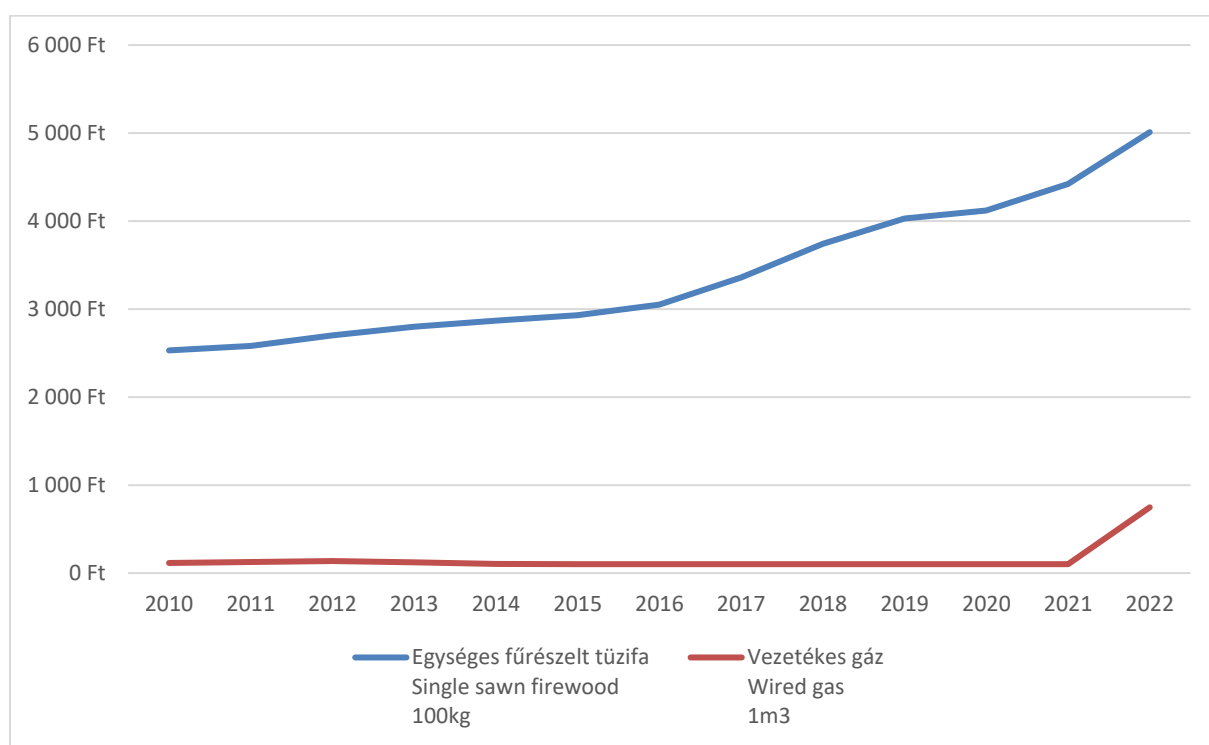
Abstract

An obvious solution to reducing CO₂ emissions is the use of renewable energies. In this article, using domestic temperature data, we show how much CO₂ can be saved compared to a natural gas appliance in an average heating season. In the article, we also discuss the expected fuel consumption each month. From the point of view of environmental protection, the lifetime of the system is also highly important, since the production of devices and system components, construction, and waste management are also associated with the environmental impact. In the case of wood boilers, the greatest risk (premature failure) is the corrosion of the combustion chamber. Condensation occurs in the combustion chamber during cold starts. To avoid condensation, manufacturers require the increase of the return temperature. In the article, we present the properly designed hydronic connection and the step-by-step method of sizing the most typical system element: the control valve. We present the flow conditions associated with the operating conditions of the boiler. Finally, we also present our calculated CO₂ emissions.

Keywords: renewable energy, hydronic circuits, heating

Bevezetés

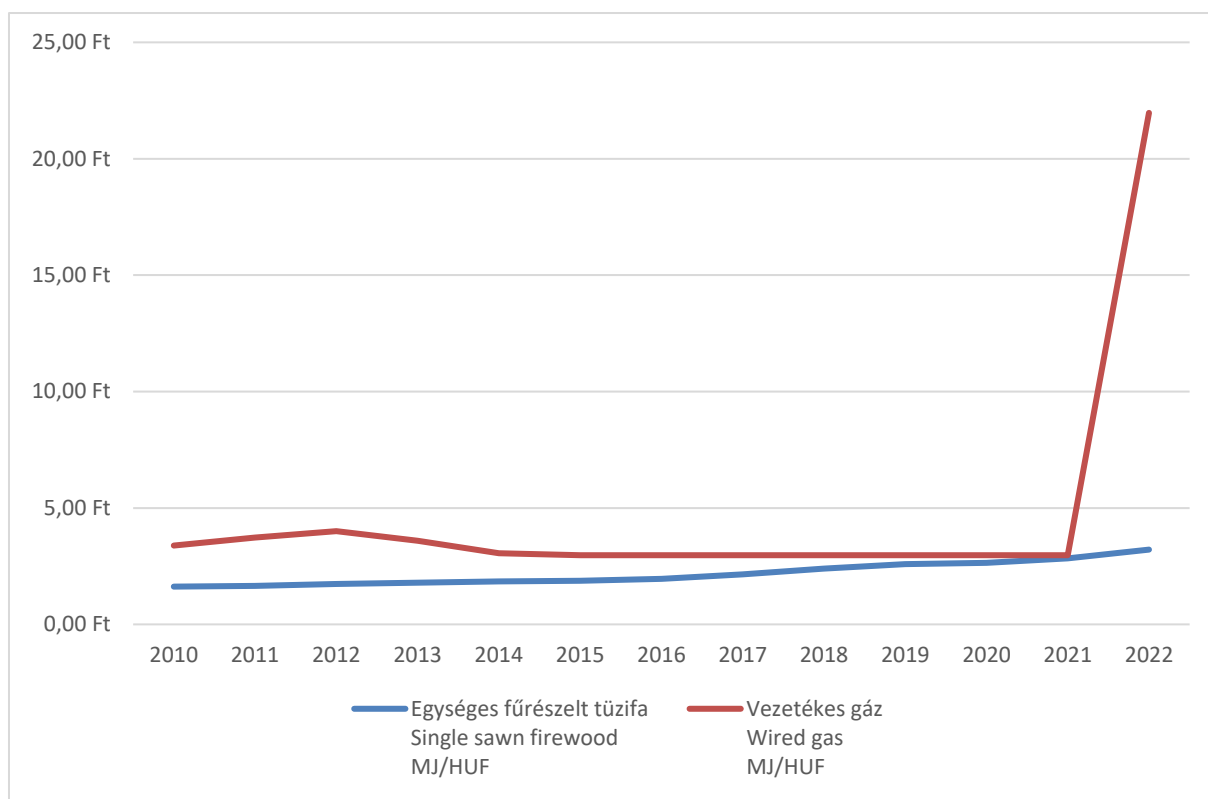
Az energiahordozó árak átrendeződése ismét kihívás és gazdaságossági számítások elvégzésére készíti a hőenergiát használókat. Változnak az egyes primer energiaforrások használatának költségei. A korábban, mint fejlesztési és energiakorszerűsítési javaslatok, amiket elvetettek (a hosszú megtérülési idő miatt) ismét előkerültek. Az energetikai piacon egyfajta bizonytalanságot láthatunk mind az egyes energiahordozók árára mind pedig elérhetőségére vonatkozóan. A mostani folyamatok még hangsúlyosabbá tették a megújuló energiák felé való fordulást. Ennek környezetvédelmi jelentősége is magas, hiszen a fosszilis energiahordozókról való áttérés a megújuló energiák hasznosítására CO₂ kibocsátás csökkentésével jár. A mostani folyamatok meggyorsítják a dekarbonizációs folyamatokat.



1. ábra: Tűzifa és gáz ár 2010-2022 / Figure 1. Firewood and gas price 2010-2022

Forrás: KSH https://www.ksh.hu/stadat_files/ara/hu/ara0044.html (2022) alapján saját szerkesztés / Source: Own construction based on KSH https://www.ksh.hu/stadat_files/ara/hu/ara0044.html (2022)

Az **1. ábrán** a tűzifa és a gáz árának összehasonlítása látható. Azonban az összehasonlíthatóság miatt MJ/HUF megjelenítésben célszerű megvizsgálni a tűzifa és a földgáz nem kedvezményes árait (2. ábra).



**2. ábra: Tűzifa és gáz MJ/HUF 2010-2022 /
Figure 2. Firewood and gas MJ/HUF 2010-2022**

Forrás: KSH https://www.ksh.hu/stadat_files/ara/hu/ara0044.html (2022) alapján saját szerkesztés / Source: Own construction based on KSH https://www.ksh.hu/stadat_files/ara/hu/ara0044.html (2022)

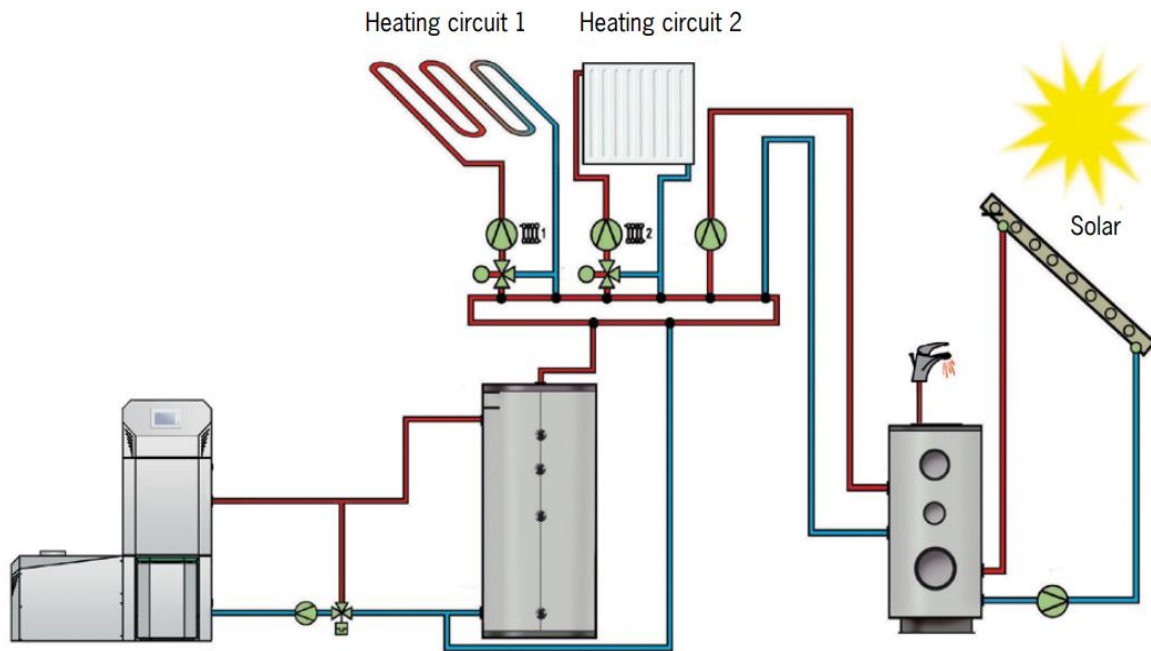
A 2021-es közel azonos egységnyi hőenergia ár 2022 őszére közel 6,84-szeres árat jelent gázfűtés esetén a biomasszához képest. Az energiahordozók áremelkedése miatt a fosszilis tüzelőanyagokról gazdaságosság tekintetében is racionális döntés a megújulóakra történő átállás. Így a környezetvédelmi szempontok és a gazdasági kérdések is azonos megoldást eredményeznek.

Milyen alternatívákkal számolhatunk, amik alkalmasak lehetnek a földgáz kiváltására? Napelemes rendszerek, hőszivattyúk, hulladékhő hasznosító rendszerek és biomassza. A megújuló energia részarány növelésére a 2009/28/EC RED recast megújuló-irányelv már arról rendelkezik, hogy 2030-ra az épületekben a megújuló energia-felhasználás részaránya a 49%-ot érje el. Természetesen ez is a megújulók térnyerésének kedvez. Az egyes megújuló energiaforrások előnyei és hátrányai az adott létesítmény adottságai befolyásolja, hogy melyiket célszerű alkalmazni. Ahol magas előremenő és visszatérő hőmérsékletű szekunder rendszer van kiépítve egyik alternatíva lehet a biomassza tüzelés.

Környezetvédelmi szempontból a megújuló energiaforrások felhasználása miatt a biomassza kazán használata előnyös. Más megközelítésben természetesen veszélyekkel jár (túlzott fakitermelés, megnövekedett szállópor koncentráció). Ahhoz, hogy ezek a készülékek a tervezett ~20-25 éves élettartamuk alatt megbízhatóan tudjanak üzemelni biztosítani kell az optimális üzemi körülményeket. (PRESS-KRISTENSE, 2016; SILLAPAPIROMSUK et al., 2013)

Biomassza tüzelés esetében a primer kör hidraulikai kapcsolásának nagy jelentősége van. Az elsődleges cél, hogy a kazánban a visszatérő hőmérséklet a lehető leghamarabb a kondenzációs hőmérséklet felé emelkedjen. Ezért olyan kialakítást kell választani, ahol biztosított a visszatérő hőmérséklet emelése. A kondenzáció ezen kialakítású kazánoknál kerülendő, a kazán

tönkrementeléhez vezet. A rendszerek másik sajátossága, hogy a magasabb hatásfok eléréséhez alacsonyabb kapcsolásszámot használnak. A rendszer tehetetlensége miatt a megtermelt hőenergiát pufferben tárolják. Majd ebből a pufferből juttatják el a fogyasztók felé a szekunder rendszeren keresztül. A primer köri rendszer hőtermelőből és a puffertárolóból áll. A hidraulikai kapcsolását tekintve osztó kapcsolást alkalmaznak. A primer körű szivattyú a kazán üzeme során a méretezett térfogatárammal üzemel, nem alkalmaznak frekvenciaváltós szivattyúkat. (GERRING, 2022)



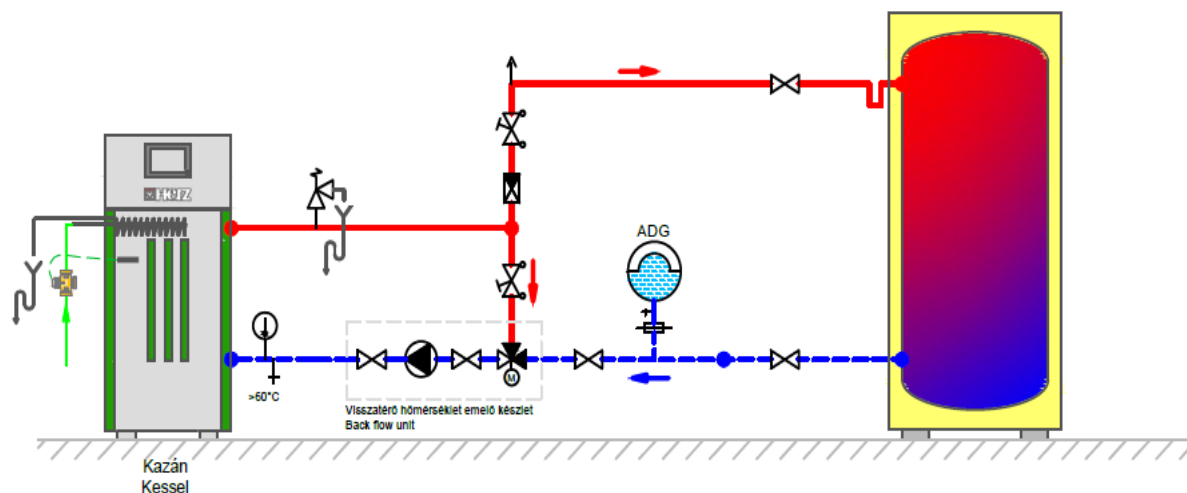
3. ábra: Biomassza kazán fűtési rendszere/ Figure 3. Biomass boilers heating system

Forrás: HERZ <https://www.herz-energie.at>

A 3. ábrán látható egy jellemző biomassza kazán primer- és szekunder körök kialakítása is. A kazán és a puffer között a visszatérő ágban elhelyezett szivattyúval és keverőszeleppel. A szivattyú és a keverőszelep túlhőmérséklettől való megóvása miatt kerül a visszatérő ágba.

Anyag és módszer

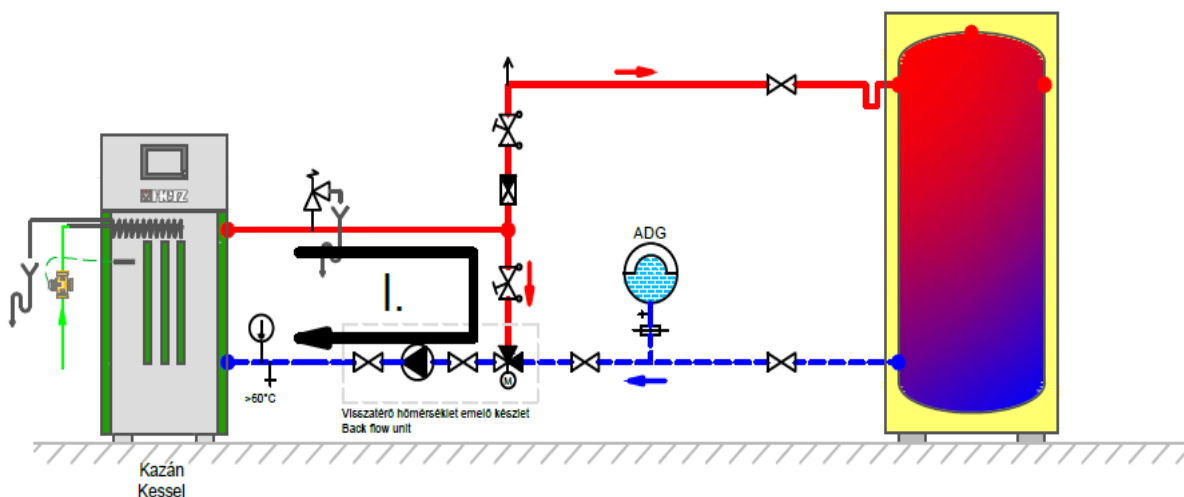
Jelen kutatásunk során a biomassza tüzelésű rendszerek környezetvédelmi szempontból optimális primer körű kapcsolását fogjuk elemezni. A 4. ábrán a kazán és a puffertárolót alkotó hidraulikai rendszer ajánlott osztó kapcsolás látható, feltüntetve az egyes szakaszokon kialakuló áramlási irányokat. (JAUSCHOWETZ, 2007; SIEMENS, 2019; VINKLER, 2015)



4. ábra: Biomassza kazán primer kör/ Figure 4. Biomass boilers primer circuits

Forrás: HERZ <https://www.herz-energie.at> alapján saját szerkesztés / Source: Own construction based on HERZ <https://www.herz-energie.at>

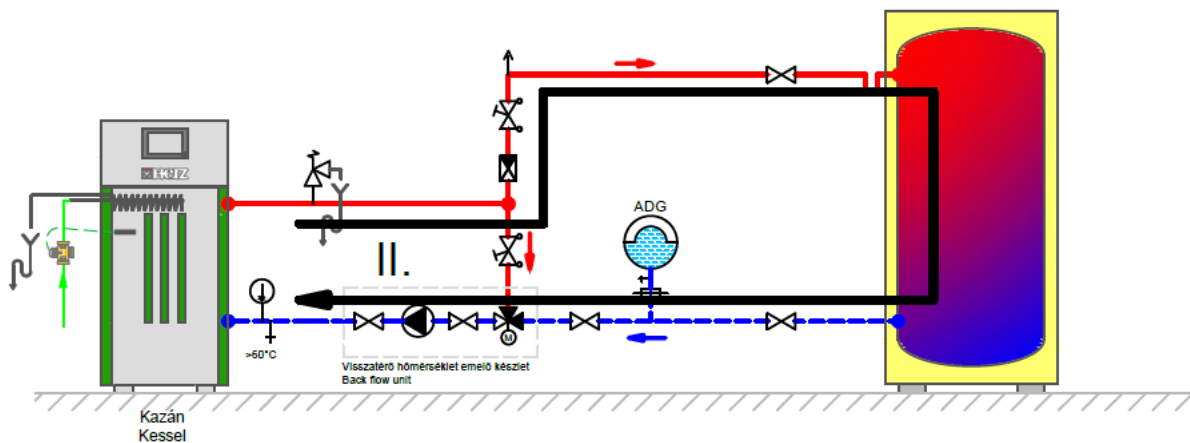
A következő ábrákon az egyes üzemállapotoknál kialakuló áramlási viszonyokat mutatjuk be. I. eset (5. ábra) kazán hideg, biomassza kazán indításakor fenálló állapotnak felel meg. Ebben az üzemállapotban a keverőszelep a I.-el jelölt áramlási útvonalat biztosítja. Ekkor a kazánnak a teljes rendszertérfogatnál kisebb mennyiséget kell felmelegíteni a kondenzációs hőmérséklet fölé. Ez a kazán víztartalma és a fűtési előremenő keverőszelep és visszataró vezetékcsakasa.



5. ábra: Biomassza kazán primer kör I. eset/ Figure 5. Biomass boilers primer circuits case I.

Forrás: HERZ <https://www.herz-energie.at> alapján saját szerkesztés / Source: Own construction based on HERZ <https://www.herz-energie.at>

II. állapotban (6. ábra) a kazán elérte az üzemi hőmérsékletet, a visszataró hőmérséklete magasabb a kondenzációs hőmérsékletnél, valamint a fűtési puffertárolóban lévő hőmérséklet nem érte el a beállított értéket. Azaz a puffer jelzi, hogy fűtési igény van. Ebben az üzemállapotban a keverőszelep a bypass ág felől lezár, az áramlás a II.-vel jelzett útvonalon történik.

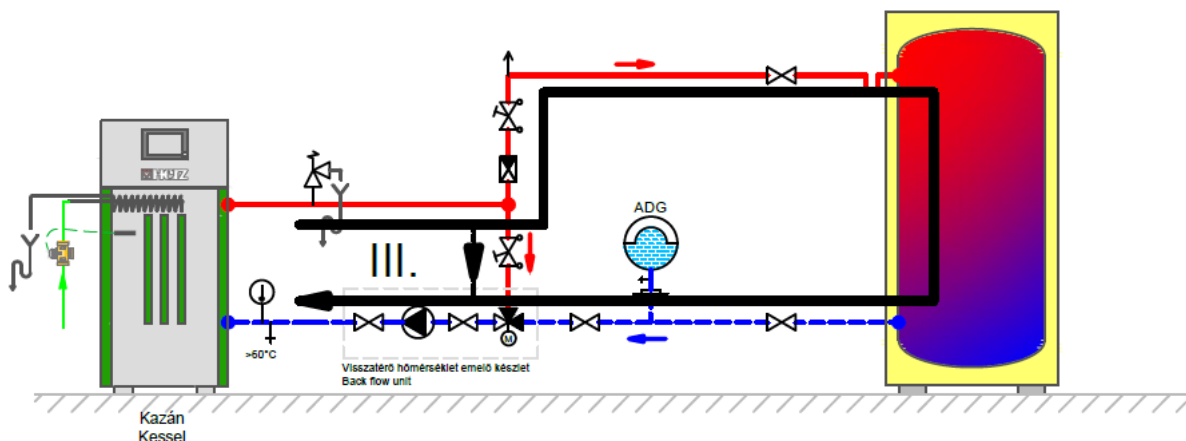


6. ábra: Biomassza kazán primer kör II. eset/

Figure 6. Biomass boilers primer circuits case II.

Forrás: HERZ <https://www.herz-energie.at> alapján saját szerkesztés / Source: Own construction based on HERZ <https://www.herz-energie.at>

III. üzemállapot (7. ábra) akkor alakul ki, ha a visszatérő hőmérséklet el kezdi megközelíteni a kondenzációs hőmérsékletet. Vagyis az I. és II. üzemállapotokon kívüli esetekben alakul ki az üzemállapot, ahol a bypass ág és a puffer ága is részben nyitott állapotban van.



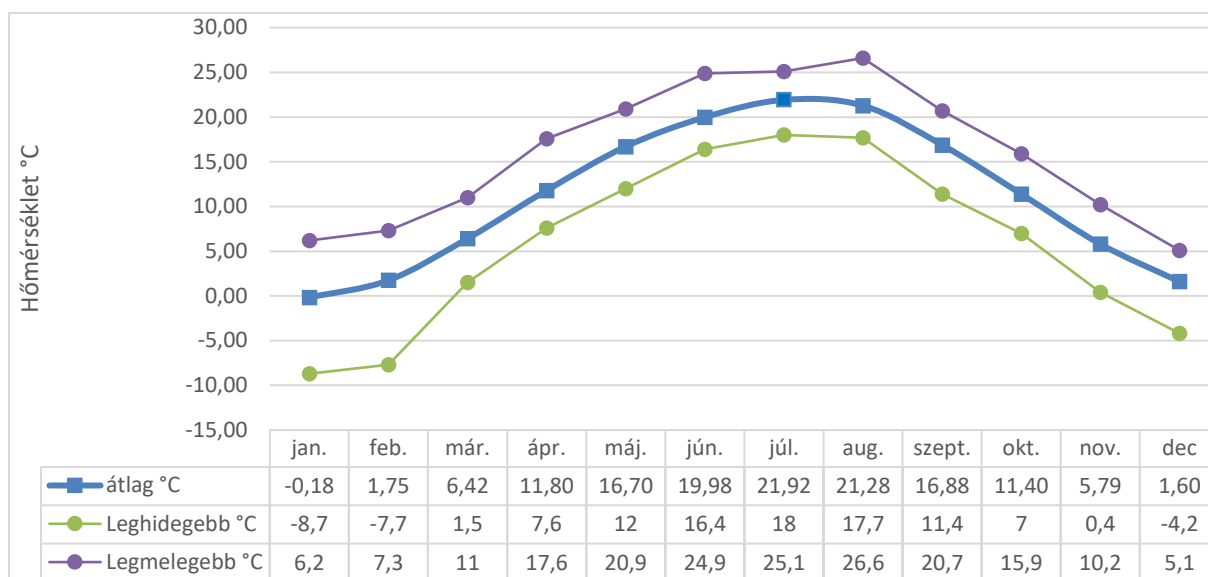
7. ábra: Biomassza kazán primer kör III. eset/

Figure 7. Biomass boilers primer circuits case III.

Forrás: HERZ <https://www.herz-energie.at> alapján saját szerkesztés / Source: Own construction based on HERZ <https://www.herz-energie.at>

A bemutatott 3 üzemállapotot biztosító szelep kiválasztását számítások alapján végezzük el. A biomassza kazán üzemeltetéséhez szükséges tüzelőanyag mennyiség meghatározása az átlagos külső hőmérséklet figyelembe vételével történik.

A fűtési energiaszükségletet a felhasználók igénye mellett elsősorban az épület hőveszteség illetve a környezeti hőmérséklet határozza meg. Erre vonatkozólag megvizsgáltuk a rendelkezésünkre álló időjárás adat sorokat 1901-2020 terjedő időszakra vonatkozólag.



8. ábra: Budapest havi átlaghőmérsékletek 1901-2020 /
Figure 8. Budapest monthly average temperatures 1901-2020
 forrás/source: <https://www.met.hu/eghajlat/>

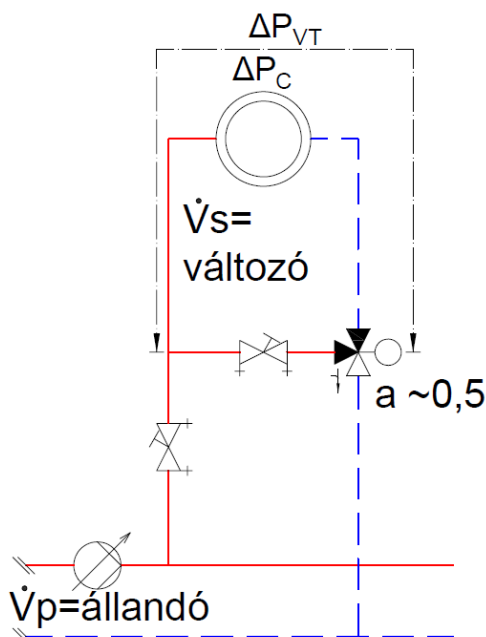
Számításaink során a fűtési időnyt október 15. - április 15-ig vesszük figyelembe. Az adatsorok alapján az éves gázfogyasztás havi százalékos aránya már meghatározható. (VANDENBULCKE et al., 2012)

Eredmények

Biomassza tüzelés esetében a primer körben javasolt hidraulikai kapcsolás az osztó kapcsolás, mivel a kazánban állandó térfogatáram a jellemző. Minimális víztérfogatot kell csak keringtetni a felfűtési időszakban. A kondenzációs hőmérséklet elérése után a keverőszelep folyamatosan vált át a puffertároló felfűtésére. A puffertároló felfűtése állandó előremenő hőmérséklet és változó térfogatáram mellett történik. Helyesen méretezett puffertároló esetén alacsony kapcsolásszám mellett tud üzemelni a készülék.

Az osztó kapcsolás mennyiségi szabályozás. Előnye, hogy nem kell további szivattyút beépíteni. Nincs holtidő, így biomassza esetében gyors reagálás jellemzi ezáltal csökken a felforrás veszélye. Nyomáskülönbséget a szivattyú biztosítja. Részterhelés esetén (feltöltött puffer) kis hőmérsékletkülönbség kialakulhat az előremenő és visszatérő között. Térfogatáramok tekintetében állandó primer kör térfogatáram (kazántest) szekunder körben változó térfogatáram alakul ki. A rendszerben a szelep autoritása állandó, mivel a primer kör térfogatárama is állandó. A szabályozó szelep méretezésekor teljesen nyitott állásban névleges terhelésen a puffertároló nyomásának kell esnie. A byass ágba szabályozó szelepen a puffertároló ellenállást kell beállítani. Szelep autoritás $a > 0,5$; $a = \frac{\Delta P_{V100}}{\Delta P_{V100} + \Delta P_C}$

Jellemző nyomásesés a szabályozó elemen $\Delta P_{V100} > \Delta P_{VT}$. Osztó kapcsolás esetén a szabályozó szelep nyomásesése $5 \text{ kPa} < \Delta P_{V100} < 50 \text{ kPa}$. A 9. ábra az osztó kapcsolás jellemzőinek megértését segíti.



9. ábra: Osztó kapcsolás / Figure 9. Divergent circuits

A szabályozószelep kiválasztása $Q=100$ kW névleges teljesítményű kazán esetén:

Méretezés szempontjából a fűtési előremenő hőmérsékletet $t_e=80^\circ\text{C}$ -ra, a fűtési visszatérő hőmérsékletet $t_v=60^\circ\text{C}$ -ra választottuk. Az alkalmazott mérőkör esetén a fogyasztó (puffer) nyomásesése $\Delta P_C=25$ kPa, a szabályozószelep minimális nyomásesése $\Delta P_{V_{min}}=25$ kPa, a rendelkezésre álló nyomáskülönbség $\Delta H=70$ kPa. Első lépésként a térfogatáramot \dot{V} [l/h] kell meghatározni.

$$\dot{V} = 3600 \cdot \frac{Q}{c \cdot (t_e - t_v)} = 3600 \cdot \frac{100}{4,19 \cdot (80 - 60)} = 4295,9 \text{ l/h}$$

A választott paraméterek alapján a térfogatáram 4296 l/h értékre adódott. A kiválasztott szelepnek teljesítenie kell, hogy $\Delta P_{V100} \geq \Delta P_C$, valamint ahhoz, hogy a szelep szabályozni tudjon a rendelkezésre álló nyomáskülönbségnek nagyobbnak vagy egyenlőnek kell lennie, mint a minimálisan szükséges nyomáskülönbség. A szabályozószelepek minimális nyomáskülönbsége 3kPa, ehhez adódik még hozzá a fogyasztó és a csőszakasz, valamint a szerelvények nyomásesése nyomásesése példánkban 25 kPa és 28 kPa. Mindösszesen 56 kPa, ez kisebb, mint a rendelkezésre álló nyomáskülönbség, tehát megfelel.

Ezután a szabályozószelep elemeleit $k_{v,elm}$ értékét kell meghatároznunk.

$$k_{v,elm} = \frac{\dot{V}}{100 \cdot \sqrt{\Delta P_{V_{min}}}} = \frac{4295,9}{100 \cdot \sqrt{25}} = 8,59 \text{ m}^3/\text{h}$$

Az épületgépészeti gyakorlatban alkalmazott k_{vs} sorból a hozzá közelebb eső kisebb értékűt kell kiválasztani. Ebben az esetben 6,3 m³/h.

Mivel a kisebb méretű került kiválasztásra, így a szelepen eső nyomás

$$\Delta P_{V100} = \left(\frac{\dot{V}}{100 \cdot k_{vs}} \right)^2 = \frac{4295,9}{100 \cdot 6,3} = 68,18 \text{ kPa}, \text{ ez nagyobb mint a } \Delta P_C, \text{ tehát megfelel.}$$

Végül a szelepautoritás értékét kell kiszámítani:

$$a = \frac{\Delta P_{V100}}{\Delta P_C + \Delta P_{V100}} = \frac{68,18}{25 + 68,18} = 0,73$$

Mivel a szelepautoritás , 0,5 feletti, ezért megfelel a kritériumoknak.

A helyesen kialakított osztókapcsolás esetén a biomassza tüzelésű rendszer jellemzői:

- Azonos hőmérséklet alakul ki a primer és szekunder oldalon.
- Állandó térfogatáram a hőtermelőnél, ez a kis kapcsolásszám mellett üzemelő berendezéseknél előnyös megoldás. Gyors reagálás jellemzi indításkor. Ez legfontosabb tulajdonsága teszi alkalmassá a kazánok kondenzáció elleni védelméhez.
- Nagy kiterjedésű rendszerekhez is alkalmas, a kis holtidő miatt.

Ezt a kapcsolást a biomassza kazánokon kívül még ott alkalmazzák, ahol közvetlenül a fogyasztónál végzik a mennyiségi szabályozást. Ilyen alkalmazások például a légkezelők fűtési- és hűtési hőcserélője, különböző zónaszabályzások, mennyiségi szabályozások a fogyasztóknál (termoventilátorok és Fan Coilok). Ugyanakkor nem javasolt a használata a hőszivattyús- és kondenzációs hőtermelők esetében valamint az előremenő és visszatérő ágak közötti kis hőmérséklet különbség miatt az eltérő hőfoklépcsőjű rendszerek esetében.

1. táblázat: Fűtési energiaszükséglet százalékos megoszlása a fűtési idényben forrás: saját szerkesztés / Table 1. Percentage distribution of heating energy demand during the heating season

	Átlag hőmérséklet	Fűtési szazon
	[°C]	[%]
október	11,40	8,32
november	5,79	14,04
december	1,60	18,23
január	-0,18	19,85
február	1,75	17,96
március	6,42	13,55
április	11,80	8,05

A 8. ábra átlag hőmérsékletei alapján meghatároztuk a havi százalékos arányát az éves tüzelőanyag mennyiségnek (1. táblázat). Ezek alapján meghatározható a tervezett 100 kW teljesítményű biomasszakereszték és egy referenciaként szolgáló azonos teljesítményű, 92% tüzeléstechnikai hatásfokú földgáz tüzelésű kazán tüzelőanyag mennyisége.

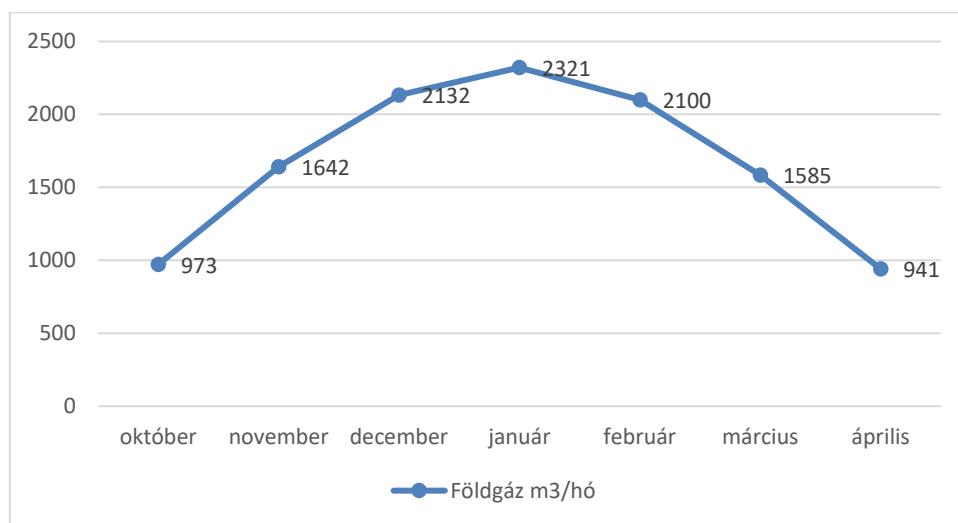
Az éves hőfokgyakorisági görbe alapján $G_{20/12}=3353$ Nap°Év értékre adódik. Az épület hővesztesége és a kazán névleges fűtőteljesítménye $Q_m=100$ kW, az épületre jellemző $const=10$ értéket vettük figyelembe. (korszerű jól szigetelt épület). A felhasznált földgáz fűtőértékét $H_a=34$ MJ/m³-val a hatásfokát pedig $\eta_k=92\%$ -al vettük figyelembe. A számítások során $t_i=20^\circ\text{C}$ belső hőmérsékletre terveztünk, $t_e=-13^\circ\text{C}$ külső hőmérséklet mellett. Így a következő tüzelőanyag mennyiség adódott:

$$B_{földgáz} = \frac{G_{20/12} \cdot Q_m \cdot const \cdot 3600}{H_a \cdot \eta_k \cdot (t_i - t_e)} = \frac{3353 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 3600}{34 \cdot 0,92 \cdot (20 - (-13))} = 11694 \text{ m}^3/\text{év}$$

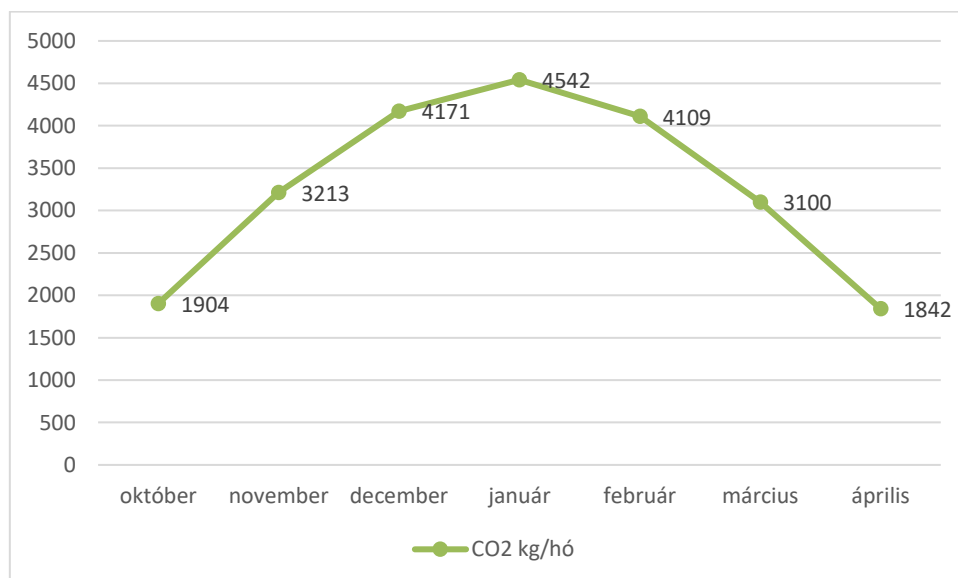
Ugyanazén számítási módszerrel, ha a tervezett faapríték fűtőértéke $H_a = 11 \text{ MJ/kg}$, és a biomasszakazán hatásfoka $\eta_k = 88\%$, az egy évben szükséges átlagos tüzelőanyag felhasználás:

$$B_{faapríték} = \frac{G_{20/12} \cdot Q_m \cdot const \cdot 3600}{H_a \cdot \eta_k \cdot (t_i - t_e)} = \frac{3353 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 3600}{11 \cdot 0,88 \cdot (20 - (-13))} = 37787 \text{ kg/év}$$

Földgázból $11694 \text{ m}^3/\text{év}$, míg faaprítékból $37,787 \text{ t/év}$ mennyiségre van szükség. A 10. ábrán a tervezett földgáz mennyiség havi földházfelhasználása látható, a 11. ábrán, pedig a földgáz felhasználásból eredő CO_2 kibocsátás mértékét mutatjuk meg. 1 m^3 földgáz elégetése során $1,956 \text{ kg CO}_2$ kibocsátást vettünk figyelembe, így a biomassza alapú megújulóval történő kiváltás esetén a megtakarítási potenciál $22,881 \text{ tCO}_2/\text{év}$. A biomasszát, mint megújuló energiaforrást karbonsemlegesnek tekintjük.



10. ábra: 100 kW-os gázkazán átlagos havi földgázfelhasználása a fűtési szezonban.
Figure 10. Average monthly natural gas consumption of a 100 kW gas boiler during the heating season



11. ábra: 100 kW-os gázkazán átlagos havi CO2 kibocsátása a fűtési szezonban.
Figure 11. Average monthly CO2 emissions from a 100 kW gas boiler during the heating season.

Következtetések

A jelenlegi energiaárak emelkedése miatt és a vonatkozó szabályozások következtében bővülni fognak a megújuló energiákat hasznosító rendszerek. A gazdasági és a környezetvédelmi szempontok is a megújuló energiák használatára ösztönzik a felhasználókat. Számos energiaforrás közül a biomassza tüzelés az egyik alternatíva. A megfelelően hatékony és hosszú élettartalmú rendszerek kialakításához a hidraulikai rendszert helyesen kell kialakítani. A helyesen kialakított hidraulikai rendszer primer körét mutattuk be, annak jellemzőivel. A tüzelőberendezés hosszú élettartalmáért a megfelelő üzemeltetés szükséges. Ezen feltételeknek a szokásos hidraulikai kapcsolások közül az osztó kapcsolat felel meg.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki, a Herz Armatúra Hungária Kft.-nek a rendelkezésünkre bocsátott szakmai anyagokért.

Hivatkozott források

GERRING, D. (2022): Renewable Energy Systems for Building Designers: Fundamentals of Net Zero and High Performance Design (1st ed.). Routledge, New York, 336p. <https://doi.org/10.1201/9781003297819>

JAUSCHOWETZ, R. (2007): Hidraulika a melegvízfűtés szíve. Herz Armatúra Hungária Kft Budapest, 145p. Elérhető: <http://ftp.herzarmatura.hu/>

KSH (2022): 1.2.1.6. Egyes termékek és szolgáltatások fogyasztói átlagára (nyers adatok), havonta*. Letöltés dátuma: 2022. szeptember 26. forrás: KSH: https://www.ksh.hu/stadat_files/ara/hu/ara0044.html

PRESS-KRISTENSE K. (2016): A lakossági tüzelés légszennyezése. Levegő Munkacsoport, Danish Ecological Council 40p. Letöltés dátuma: 2022.10.20. forrás: file:///C:/Users/Admin/Downloads/Pollution_from_residential_burning_hungarian_final.pdf

SIEMENS (2019): Einführung in die HLK- und Gebäudetechnik. Germany, Siemens AG, E10003-A38-H337, 132 p. Elérhető: <https://sid.siemens.com/v/u/A6V10332797>

SILLAPAPIROMSUK, S. – CHANTARA, S. – TENGJAROENKUL, U. – PRASITWATTANASEREEC, S. – PRAPAMONTOLD, T. (2013): Determination of PM10 and its ion composition emitted from biomass burning in the chamber for estimation of open burning emissions. *Chemosphere*, 93(9), 1912–1919. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.071>

VANDENBULCKE, R., MERTENS, L. & JANSSEN, E. (2012): A simulation methodology for heat and cold distribution in thermo-hydronic networks. *Build. Simul.* 5, 203–217. <https://doi.org/10.1007/s12273-012-0066-7>

VINKLER, K. (2015): Kézben tartott áramlás (hidraulikai beszabályozás épületgépészeti rendszerekben. PI Inoovációs Kft., Budapest, 247p.

2009/28/EC RED recast megújuló-irányelv. Letöltés dátuma: 2022. SZEPTEMBER 20. forrás: EUR-Lex <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0028>

Szerzők

PÁGER Szabolcs

levelező szerző

Phd. Hallgató

Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

szabolcs.pager@gmail.com

Dr. FÖLDI László PhD

tanszékvezető, egyetemi docens

Mechatronikai Tanszék, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

foldi.laszlo@uni-mate.hu

Dr. GÉCZI Gábor PhD

egyetemi docens

Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék, Magyar Agrár- és Élettudományi
Egyetem,

2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

geczi.gabor@uni-mate.hu

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

