KOVÁCS CSONGOR
TDK DOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ENERGETIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ENERGETIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK

KOVÁCS CSONGOR

TDK DOLGOZAT

Zuglói Fűtőerőművi gázmotorok önfogyasztás csökkentésének vizsgálata

Konzulens:
Szabó Zádor
Energetikai mérnök

Témavezető:
Szücs Botond
Doktorandusz

Budapest, 2021

Szerzői jog © Kovács Csongor, 2021.

TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések jegyzéke vii
1. Bevezetés 1
2. Szakirodalmi áttekintés/Előzmények 2
2.1. Zuglói Fűtőerőmű 2
2.2. Önfogyasztáscsökkentés lehetőségei 3
2.3. A gázmotorcellák hűtése 5
2.4. Ventilátorok szabályozása 6
2.4.1. Ventilátorok jelleggörbéi 7
2.4.2. Fojtás 7
2.4.3. Megkerülő vezeték 8
2.4.4. Perdületszabályozás 8
2.4.5. Lapátszögállítás 8
2.4.6. Lapátszám változtatás 8
2.4.7. Fordulatszám-szabályozás 8
3. Frekvenciaváltók beépítésének vizsgálata 10
3.1. Gázmotorcella hőmérséklete 10
3.2. Megtakarítható villamos energia számítása 11
3.3. A vizsgálatot zavaró tényezők 12
3.3.1. A befújt levegő hőmérséklete 12
3.3.2. Az elszívott levegő hőmérséklete 14
3.3.3. Zsaluk működtetése 15
3.4. Megtakarítható villamos energia 19
3.5. A beruházás költségei és megtérülés 23
4. Összefoglalás 24
5. Felhasznált források 25
6. Summary 26

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik tanácsaikkal, meglátásaikkal segítették e dolgozat létrejöttét. Elsősorban szeretnék köszönetet mondani külső konzulensemnek, Szabó Zádornak, hogy segítségével betekintést nyerhettem az erőművi üzemeltetés világába, és hogy lehetőséget kaptam jelen téma feldolgozására. Továbbá szeretném hálámat kifejezni témavezetőmnek, Szűcs Botondnak a több, mint féléven át ívelő folyamatos segítségnyújtásáért. Ezen személyek támogatása nélkül a dolgozatom nem jöhetett volna létre.

Szeretném továbbá megköszönni az ALTEO Energiaszolgáltató Nyrt. összes munkatársának, akik valamilyen formában hozzájárultak dolgozatom sikerességéhez.

Budapest, 2021. október 30.

Kovács Csongor

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
c	fajlagos hőkapacitás	kJ/(kgK)
E	energia	kWh
n	fordulatszám	1/s
n	ventilátorok száma	1
Δp	nyomásnövekedés	Pa
P	teljesítmény	kW
$\dot{Q}$	hőteljesítmény	kW
T	hőmérséklet	°C
$\dot{V}$	térfogatáram	[m^3/h]

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
ρ	sűrűség	kg/m^3

Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
be	cellába befújt
cella	gázmotorcellára jellemző mennyiség
el	elszívott levegőt jellemző mennyiség
elvont	gázmotorcellából elvont mennyiség
lev	levegőre jellemző mennyiség
max	maximális érték
ö	összesített érték (pl. össznyomás növekedés)
p	állandó nyomáson vett mennyiség
vill	villamos mennyiség (pl. villamos energia)
’	újraszámolt mennyiség

1. BEVEZETÉS

A klímaváltozás okozta szélsőséges időjárásnak és felmelegedésnek mostanra világszerte érezhető következményei vannak. A fenntartható jövő elérése érdekében az emberiség felelőssége, hogy az éghajlatváltozást megállítsa, e cél elérésében kiemelten fontos szerepet játszik az üvegházhatású gázok mérséklése. Az Európai Unióban az Európai Parlament kimutatásai alapján az üvegházhatású gázok kibocsátásának 78%-áért az energiaszektor felelős [1], így az üvegházhatású gázok kibocsátásnak csökkentésére ebben az iparágban különös figyelmet kell fordítani. A csekély kibocsátással rendelkező megújuló energiatermelés viszont önmagában nem tud választ adni a problémára, jelenleg szükség van a fosszilis alapon működő erőművekre, így energiamix átalakítása mellett ezen erőművek kibocsátásának csökkentésének is fontos szerepe van.

Az általam vizsgált létesítmény a Zuglói Fűtőerőmű, melyben három 6 MW villamos teljesítményű gázmotor üzemel. A fűtőerőműben önfogyasztás csökkentésre elsősorban a direkt hajtású segédberendezéseknél lehetséges frekvenciaváltó beépítésével. A vizsgált fűtőerőmű legtöbb berendezése vagy el van látva frekvenciaváltóval, vagy olyan berendezésekkel üzemel együtt, amelyek üzeme már szabályozott, egyedüli energiatakarékossági lehetőség a gázmotorcellákat szellőztető ventilátorok szabályozásával érhető el.

Dolgozatomban a fűtőerőmű szellőztetését vizsgálom energetikai és gazdasági szempontból. Az elszállítandó hő és a gázmotor cellák maximális hőmérsékletét figyelembe véve vizsgáltam, hogy ventilátorok szabályozása milyen módon megvalósítható, illetve, hogy ezzel évente mennyi villamos energia és költség takarítható meg, ezeknek ismeretében pedig megtérülési szempontból is vizsgáltam a lehetséges beruházást.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS/ELŐZMÉNYEK

A belsőégésű motorok fogyasztásának, emissziójának csökkentése és hatásfokának növelése jelenleg is egy sokakat foglalkoztató, aktuális téma. Ezt bizonyítja a témában megírt tudományos cikkek mennyissége, színessége. Chala Girma T., Abd R. Abd Aziz, és Ftwi Y. Hagos [2] a közlekedésben használt gáz-üzemű belső égésű motorok hatásfok javítási lehetőségeit vizsgálta. Ugyan a gáz üzemű motorok kibocsátása jóval alacsonyabb, teljesítményük még mindig messze áll a benzin és dízel üzemű társaiktól. Cikkükben olyan mechanizmusokat próbáltak feltárni, melyek növelhetik a gázmotorok hatásfokát annak érdekében, hogy leadott teljesítményük utolérje az elterjedtebben használt belső égésű motorokét. Park C., Oh S., Kim C., Choi Y. és Ha Y. [3] tanulmányukban az alacsony fűtőértékű gázok, valamint a földgáz teljesítményre, hatásfokra és emisszióra gyakorolt hatását vizsgálták egy busz belső égésű motorján keresztül. Samuel N. M. de Souza, Andreson M. Lenz, Ivan Werncke, Carlos E. C. Nogueira, Jhonatas Anatonelli, Juliano de Souza [4] egy biogáz-üzemű gázmotor hatásfokának változását vizsgálta a motorterhelés függvényében két különböző forrásból származó biogázzal. Annak ellenére, hogy ilyen sok irodalom érhető el a belső égésű motorok témakörében, erőművi megoldások terén viszonylag csekély mennyiségű szakirodalmi adat lelhető fel, ezért is tartottam fontosnak e téma részletes körüljárását egy konkrét példán keresztül.

2.1. Zuglói Fűtőerőmű

A Zuglói Fűtőerőmű 2005-ben kezdte meg kereskedelmi üzemét. A telephelyen 3 db, Wärtsilä gyártmányú, 18V34SG típusú gázmotor és segédrendszerei, valamint egy akkumulátoros villamos energia tároló helyezkedik el. A gázmotoros fűtőerőmű létesítésének célja a kapcsolt vagy kogenerációs energiatermelés volt. [5]

A fűtőerőmű villamos generátorai egy közös 11/22 kV-os transzformátorra kapcsoltak. Az aggregátok hőhasznosító rendszerei a gázmotorok kenőolajának, komprimált égéslevegőjének és motorköpeny hűtővízének, valamint füstgázának a hűtéséből nyert hővel melegítik fel a távhőhálózati vizet. [5]

A fűtőerőmű jelenleg frekvencia-helyreállító tartalékként vesz részt a villamos energia rendszer szabályozásában az ALTEO csoport szabályozási központjának részeként.

2.2. Önfogyasztáscsökkentés lehetőségei

A létesítmény villamos önfogyasztását alapvetően a technológiai igények határozzák meg. Az önfogyasztás csökkentésének az alábbi elvi lehetőségei vannak:

- A technológia számára nem létfontosságú berendezéseket a kérdéses időszakokban le kell, vagy le lehet kapcsolni.
- Direkt hajtású berendezést frekvenciaváltós hajtással lehet felszerelni, amennyiben a technológiai igények megengedik.
- A már frekvenciaváltós hajtással ellátott berendezéseknél meg kell vizsgálni, hogy a technológiai igények lehetővé tesznek-e további energiamegtakarítást alacsonyabb vagy magasabb célértékre való szabályozással.

A lehetőségek értékelésénél szem előtt kell tartani, hogy a gázmotorok rendelkezésre állása nem csökkenhet. A segédberendezések leállítása, vagy csökkentett módban való üzemeltetése nem csökkentheti az üzembiztonságot sem, és hosszú távon sem okozhat meghibásodásokat, vagy a berendezések élettartamának csökkenését. [6]

RWH 011, 021, 031 AP001 Hálózati víz szivattyúk	3x55 kW	További megtakarítás nem várható
VCA 011, 021, 031 Kényszerhűtő ventilátorok	3x19,8 kW	További megtakarítás nem várható
VCL 011, 012, 021, 022, 031, 032 Turbohűtő ventilátorok	6x23,1 kW	További megtakarítás nem várható
NGI 900 AN001 Transzf. hűtőlevegő ventilátor	45 kW	További megtakarítás nem várható
NGF010 AN002, 004; NGF020 AN002, 004; NGF030 AN002, 004 Gm. cella befúvó ventilátorok	6x22 kW	További megtakarítás nem várható

1. táblázat: Frekvenciaváltóval ellátott berendezések [6]

VCA 010, 020, 030 AP001 Kényszerhűtési szivattyú	3x7,5 kW	Megtakarítás nem várható.
Pipe modulok	3x60 kW	A motorok stand-by állapotának fenntartásához szükséges fogyasztók. Megtakarítás nem várható.
TSA 901 M001 Indító levegő kompresszor	19 kW	Szakaszos üzemű. Megtakarítás nem várható.
TCA 901 M001 Műszerlevegő kompresszor	16 kW	Szakaszos üzemű. Megtakarítás nem várható.
RWM 900 AP001, 002 GM cella fűtés primer ker. szivattyú	2x22 kW	Ritkán üzemel. Megtakarítás nem várható.
RWM 900 AP003,004 GM cella fűtés sec. ker. szivattyú	2x18,5 kW	Ritkán üzemel. Megtakarítás nem várható.
NGG 010 AN001, 002, 003; NGG 020 AN001, 002, 003; NGG 030 AN001, 002, 003 Gázmotorcella kifúvó ventilátor	9x22 kW	Megtakarítás lehetséges.
NGH 900 AN001, 002, 003 Térszellőzés befúvó ventilátor	4 kW	36 °C-nál kapcsolnak be, 33 °C-nál ki. További megtakarítás nem várható.
NGH 900 AN007, 008 Térszellőzés befúvó ventilátor	2,2 kW	36 °C-nál kapcsolnak be, 33 °C-nál ki. További megtakarítás nem várható.
NGI 900 AN002 Transzformátor hűtőlevegő ventilátor	3 kW	Megtakarítás nem várható.

2. táblázat: Direkt hajtású berendezések [6]

A 2. táblázat felsorolásában nem szerepelnek a szennyvízlefejtő, a zsomp, használtolaj, motorolaj ürítő, póthűtőfolyadék és glikol pótfolyadék szivattyúk. Ezeknek üzemelése csak időszakos, így az önfogyasztást érdemben nem befolyásolják. [6]

A fogyasztói listát elemezve azt láthatjuk, hogy a gázmotoros fűtőerőmű legtöbb berendezése vagy el van látva frekvenciaváltóval, vagy olyan berendezésekkel üzemel együtt, amelyek üzeme már szabályozott. A berendezések másik része eleve szakaszos üzemű, és csak a technológia által szükséges időben üzemel. Ilyenek például az indítólevegő kompresszor, vagy a pipe modulokon található motor-előmelegítő és generátor páramentesítő fűtések. Villamos önfogyasztás csökkentési lehetőség egyedül a szellőzési rendszereknél, azon belül is leginkább a gázmotorcellák szellőzési rendszerénél jelentkezhet. [6]

2.3. A gázmotorcellák hűtése

Egy-egy gázmotorcella egyedi szellőztető rendszere szolgálja az égési és szellőzési levegő áramoltatását, a vészszellőztetést és a cella temperálását. A szellőző rendszer készülékei a hangcsillapítók, a légszűrő, a befúvó oldali külső és visszakevert, illetve a kifúvó oldali visszakevert és szabadba távozó légáramokat terelő zsaluk, a befúvó és a kifúvó ventilátorok, valamint a vészszellőztető ventilátor. [5]

Gázmotorcellánként 3-3 légbefúvó és légkifúvó axiálventilátor, valamint 1 db vészszellőztető axiálventilátor található meg. Ezeknek adatai az 3., 4. és 5. táblázatban láthatóak. Minden cellában 2-2 légbefúvó ventilátor van ellátva frekvenciaváltóval, a légkifúvó, valamint a vészszellőztető ventilátorok fordulatszáma, légszállítása nem vezérelhető. [5]

Légbefúvó ventilátorok		
Típus	Maico-Dynair CC 1124-9-20°	
Légszállítás	50 000	m3/h
Szállítómagasság	860	Pa

3. táblázat: Légbefúvó ventilátorok adatai [5]

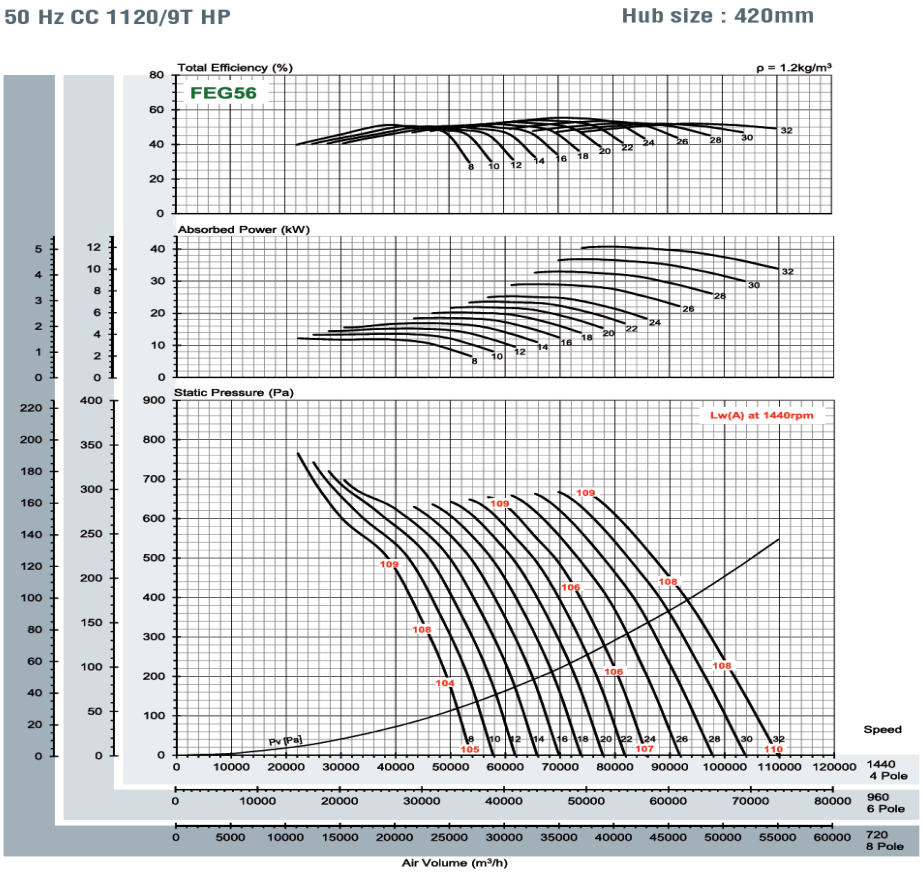
Légkifúvó ventilátorok		
Típus	Maico-Dynair CC 1124-9-18°	
Légszállítás	40 000	m3/h
Szállítómagasság	800	Pa

4. táblázat: Légkifúvó ventilátorok adatai [5]

Vészszellőztető ventilátorok		
Típus	Maico-Dynair CC Ex 502-9-18°	
Légszállítás	7500	m3/h
Szállítómagasság	800	Pa

5. táblázat: Vészszellőztető ventilátorok adatai [5]

Az 1. ábrán a jelleggörbék alatt megtalálható táblázatban kiemelve látható, hogy a befúvó ventilátorok (20°, 1440 rpm motor) 21,73 kW teljesítményt vesznek fel, a kifúvók (18°, 1440 rpm motor) pedig 20,09 kW-ot vesznek fel.



N (rpm)	Blade Pitch Angle [°]													LwA dB(A)
	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°	
720 motor	1.523	1.690	1.895	2.101	2.306	2.511	2.716	2.922	3.127	3.600	4.081	4.562	5.042	-17
	2.2					3			4			5.5		
960 motor	3.610	4.006	4.493	4.979	5.466	5.952	6.439	6.926	7.412	8.534	9.673	10.81	11.95	-10
	4		5.5				7.5				11		15	
1440 motor	12.18	13.52	15.16	16.81	18.45	20.09	21.73	23.37	25.02	28.80	32.65	36.49	40.34	0
	15			18.5		22			30		37		45	

1. ábra: Légbefúvó és kifúvó ventilátorok jelleggörbéi, valamint fogyasztásai

2.4. Ventilátorok szabályozása

Az áramlástechnikai gépeket, így a ventilátorokat is gyakran fordulatszám-szabályozás nélkül üzemeltetik. Az ilyen berendezések szabályozására gyakran valamilyen fojtást, bypasst, perdületszabályozást vagy lapátszögállítást alkalmaznak [7], mely jóval olcsóbb, mint a fordulatszám-szabályozás, azonban nagy hátrányuk, hogy csak az áramlás jellegét változtatják meg, a ventilátorok fogyasztását nem.

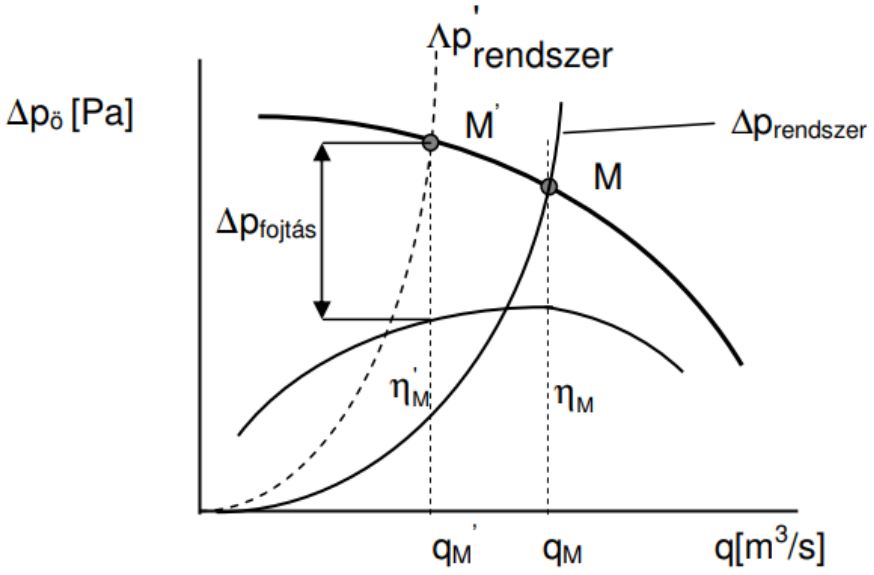
Az áramlás szabályozása azért szükséges, mert a ventilátorok esetén viszonylag ritkán fordul elő, hogy a ventilátor maximális térfogatárama kihasználásra kerüljön. Például a dolgozatomban ismertetett fűtőerőmű ventilátorai is úgy kerültek megtervezésre, hogy a csúcsigényeket is képesek legyenek kielégíteni, azonban a gázmotorok az idő jelentős részében részterhelésen üzemelnek, így az itt üzemelő cellaszellőztető ventilátorok üzemóráinak jelentős részében túlméretezettnek tekinthetőek.

2.4.1. VENTILÁTOROK JELLEGGÖRBÉI

Ventilátorok esetén a jelleggörbe az össznyomás növekedést mutatja meg a szállított közeg tömegáramának függvényében [8]. A ventilátor jelleggörbe mellett felvehető a légtechnikai rendszer csőhálózatának jelleggörbéje is. E jelleggörbe általában négyzetes vagy attól kis mértékben eltérő parabolával írható le. [7]. Amennyiben a két görbének van metszéspontja, akkor metszéspontban található meg a rendszer munkapontja. A rendszer hatásfoka a munkapontban a legmagasabb [7], így ezen az üzemi tartományon a leggazdaságosabb a ventilátorok üzemeltetése.

2.4.2. FOJTÁS

Fojtásos szabályozás esetén a csővezetékbe tolózárat vagy valamilyen szelepet építenek be, mellyel szabályozható az áramlás. A fojtás beépítése hatással van a rendszer munkapontjára, „balra”, egy kisebb térfogatáramhoz tartozó pontba tolja el azt, ahogyan a 2. ábrán is látható, az új munkapontban a hatásfok csökken. [7]. A 2. ábrán az eredeti munkapont „M”-mel, az új munkapont „M’”-vel van jelölve.



2. ábra: Munkapont megváltozása fojtás hatására [7]

2.4.3. MEGKERÜLŐ VEZETÉK

A térfogatáram szabályozása megoldható olyan módon is, hogy a ventilátor szívó- és nyomócsonkját összekötik egy külön vezetékkel. Ekkor az áramlás egy része a by-pass ágon, egy része pedig a rendszeren áramlik át. A munkapont ekkor is balra, egy kevésbé jó hatásfokú pontba tolódik. [7]

2.4.4. PERDÜLETSZABÁLYOZÁS

Amennyiben a ventilátorok elé állítható lapátokat szerelünk, befolyásolhatjuk a belépő közeg sebességének irányát, nagyságát. Ezzel a beavatkozással is változtatható a ventilátor jelleggörbéje, alacsony hatásfok romlás mellett. [7]

2.4.5. LAPÁTSZÖGÁLLÍTÁS

Axiálventilátorok esetében alkalmazható megoldás a lapátszögállítás, mely jelleggörbe és munkapont elmozdulást eredményez. Amennyiben a lapátszög növelésre kerül, a ventilátor jelleggörbéje jobbra mozdul el, lapátszög csökkentésead esetén pedig ellenkező, bal irányú elmozdulás tapasztalható, tehát térfogatáram változtatásra alkalmas ez az eljárás. [7]

2.4.6. LAPÁTSZÁM VÁLTOZTATÁS

Bizonyos ventilátoroknál lehetséges a lapátok eltávolítása. Ezek beszerelésével, levételével az össznyomás növekedés változtatható, a szállított közeg térfogatárama nem. [7]

2.4.7. FORDULATSZÁM-SZABÁLYOZÁS

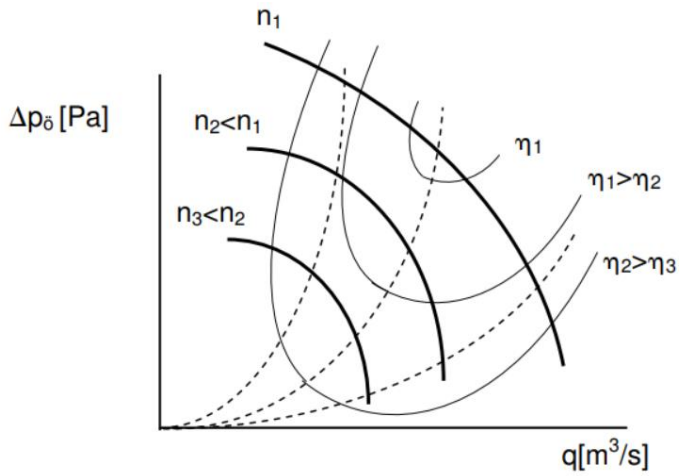
A ventilátorok fordulatszámának változtatásával módosítható a ventilátor jelleggörbéje az affinitás törvényeinek megfelelően [7]. A törvények segítségével megadható egy ismert fordulatszám mellett mért jelleggörbével rendelkező ventilátor jelleggörbéje egy eltérő fordulatszámon [8]. A jelleggörbe pontjai a térfogatáram négyzetével arányos parabolán mozdulnak el (2) [7].

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \tag{1}$$

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^2 = \frac{\Delta p_{ö2}}{\Delta p_{ö1}} \tag{2}$$

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 = \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3 = \frac{P_2}{P_1} \tag{3}$$

Ahol n [1/s] a ventilátorok fordulatszáma, $\dot{V}$ [m^3/h] a szállított közeg térfogatárama, $\Delta p_ö$ [Pa] az össznyomás növekedés, P [kW] a ventilátorok által felvett teljesítmény.



3. ábra: Ventilátor jelleggörbéi különböző fordulatszámon [7]

Ezek alapján jól látható, hogy a fordulatszám megváltozásának köbével arányos a felvett teljesítmény megváltozása. Tehát a névleges fordulatszám 50%-a mellett az eredeti teljesítmény mindössze 1/8-át veszi fel a ventilátort hajtó villanymotor. Így amennyiben frekvenciaváltóval látunk el egy áramlástechnikai gépet, akkor részterhelésen csökkenthető a ventilátorok fogyasztása. Továbbá a frekvenciaváltóval felszerelt ventilátorok esetében lehetséges a lágyindítás, mellyel növelhető a ventilátorok élettartama.

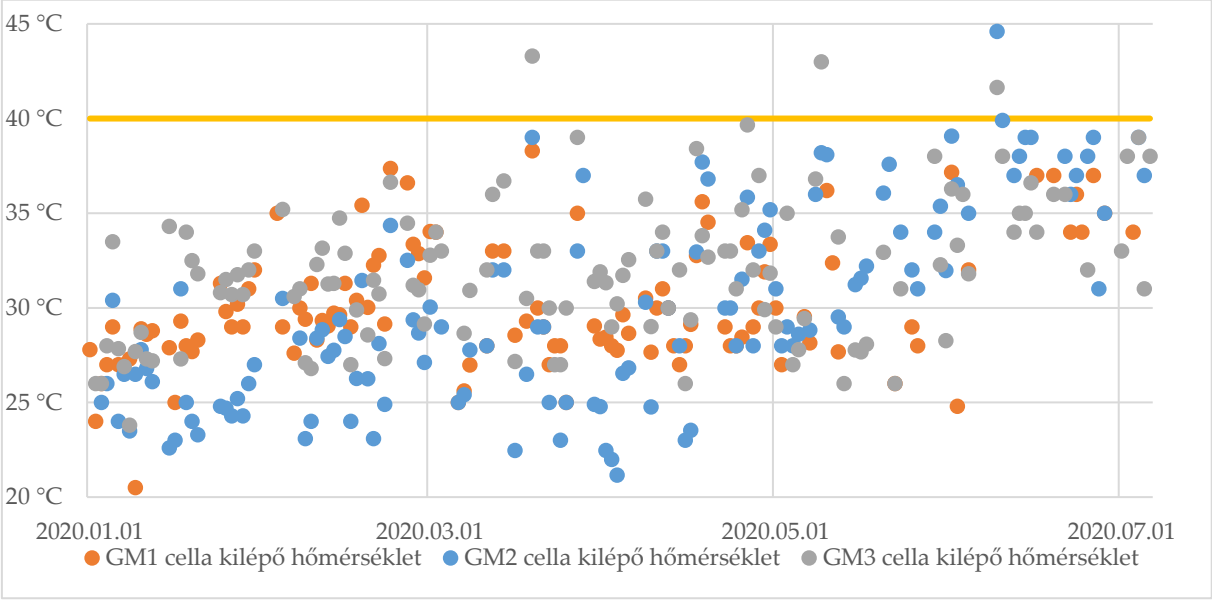
3. FREKVENCIAVÁLTÓK BEÉPÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA

3.1. Gázmotorcella hőmérséklete

A gázmotorcella hőmérsékletét adott motor terhelés mellett a cellába befújt levegő mennyisége, hőmérséklete, valamint az elszívott levegő mennyisége és hőmérséklete határozza meg. A cella hőmérsékletének szabályozás automatikusan történik, a rendszer feladata, hogy a be-, illetve kifúvó ventilátorok ki- és bekapcsolásával a cellaból kiáramló levegőt megfelelő hőmérsékleten, 49 °C alatt tartsa, valamint, hogy a cellánként két frekvenciaváltóval ellátott befúvó ventilátor fordulatszámszabályozásával beállítsa a kívánt túlnyomást a cellában, mely 0,3 mbar. Amennyiben a gázmotorcellából elszívott közeg hőmérséklete átlépi a 49 °C-ot, akkor a motorvédelem leállítja a motort és nem engedi újraindulni azt a gázmotortér visszahűléséig.

A motorok folyamatos terhelésváltozása miatt a gázmotortér hőmérséklete dinamikusan változhat, ezért a cella ideális hőmérsékletét néhány °C-kal a maximális hőmérséklet alá szükséges beállítani, hogy egy hirtelen teljesítményváltozás következtében a megugró cellahőmérséklet hatására ne álljon le a motor a védelem bekapcsolása miatt. Az erőmű műszaki vezetőjével történt konzultáció során 40 °C-os cellahőmérséklet tartását határoztuk meg célnak.

A 4. ábrán jól látható, hogy a cellahőmérsékletek a vizsgált időszakban jóval 40 °C alatt helyezkednek el. Ennek oka, hogy cellánként a frekvenciaváltóval ellátott 2-2 befúvó ventilátor kivételével a ventilátorok névleges teljesítményükön működnek, az esetek többségében több levegőt szállítva a szükségesnél, ezzel felesleges villamosenergia fogyasztást előidézve. Abban az esetben, ha a cellán átáramoltatott levegő mennyisége pontosabban szabályozható lenne, akkor a cella hőmérsékletének 40 °C közelében tartására is lehetőség nyílna. Tehát lehetséges lenne energiát megtakarítani a ventilátorok fordulatszámszabályozásával.



4. ábra: Gázmotorcellából kilépő hőmérsékletek motoronként

3.2. Megtakarítható villamos energia számítása

Először meghatároztam a cellából elvont hőteljesítményt a (4)-es egyenlet segítségével.

$$\dot{Q}_{elvont} = \rho_{lev} \cdot n \cdot \dot{V}_{lev} \cdot c_{p,lev} \cdot \left(T_{cella,\ el} - T_{cella,\ be}\right) \text{ [kW]} \tag{4}$$

Ahol ρ_{lev} [kg/m^3] a levegő sűrűsége adott hőmérsékleten, n a működő elszívó ventilátorok száma, $\dot{V}_{lev}$ a cellából elszívott levegő térfogatárama, $c_{p,lev}$ [kJ/(kgK)] a kifújt levegő fajhője adott hőmérsékleten, $T_{cella,\ el}$ [°C] és $T_{cella,\ be}$ [°C] pedig a cellából elszívott és a cellába befújt levegő hőmérséklete.

Az elvont hőteljesítmény ismeretében meghatározható a frekvenciaváltóval ellátott ventilátor ideális térfogatárama az (5)-ös egyenlet szerint, mely ahhoz szükséges, hogy a cellából elszívott levegő hőmérséklete 40 °C-os legyen.

$$\dot{V}'_{lev} = \frac{\dot{Q}_{elvont}}{\rho_{lev} \cdot c_{p,lev} \cdot \left(40\ [°C] - T_{cella,\ be}\right)} - (n-1) \cdot \dot{V}_{lev} \text{ [m}^3\text{/h]} \tag{5}$$

Ahol V'_{lev} [m^3/h] a ventilátorok által szállítandó levegő térfogatáram, mellyel a 40 °C-os elszívott levegő hőmérséklet állna be.

Az affinitás törvényét felhasználva pedig számítható, hogy mennyivel csökkenne a frekvenciaváltóval ellátott ventilátor teljesítménye, ha a cellából elszívott levegő hőmérsékletének értékét 40 °C-ra engednénk növekedni.

$$\Delta P_{vill} = P_{max} - P_{max} \cdot \left(\frac{\dot{V}'_{lev}}{\dot{V}_{lev}}\right)^3 \text{ [kW]} \tag{6}$$

Ahol ΔP_{vill} [kW] az elért teljesítménycsökkenés és P_{max} [kW] a ventilátor teljesítménye teljes terhelésen.

Az egyes időpillanatokban meghatározott teljesítménycsökkenések valamilyen időintervallumon vett (pl. órás) átlagával pedig számítható a megtakarítható villamos energia mértéke:

$$\Delta E_{vill} = \sum\left(\Delta P_{vill,i} \cdot t\right) \text{ [kWh]} \tag{7}$$

Ahol ΔE_{vill} [kWh] a vizsgált időszakban megtakarítható villamos energia, t [h] pedig az idő.

3.3. A vizsgálatot zavaró tényezők

3.3.1. A BEFÚJT LEVEGŐ HŐMÉRSÉKLETE

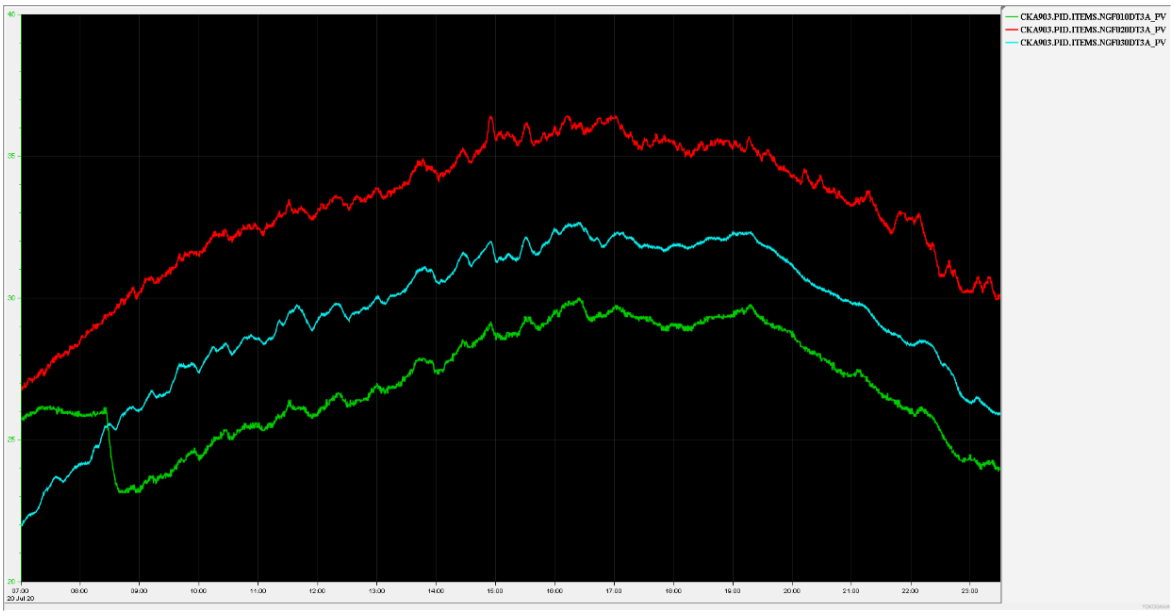
A befújt levegő hőmérsékletét mérő berendezés a gázmotorcellában a három befúvó ventilátor közül a bal oldali előtt helyezkedik el, az áramlásba helyezve. Ebből következik, hogy csak működő bal oldali ventilátor esetén van megfelelően átáramoltatva a hőmérőn a levegő, más esetben mérési hibával kell számolni.

5. ábra: Befújt levegő hőmérséklet mérésére szolgáló hőmérő

A hőmérőtől mindössze nagyjából 1-1,5 m távolságban kezdődik a gázmotor. A hőmérő helyzetéből adódóan felmerült, hogy a motorok hője befolyásolhatja a méréseket. Az adatsorok alapján kiderült, hogy járó motor esetén a belépő levegő hőmérsékletét mérő hőmérő nagyjából 2-4 °C-kal többet mutat (6. ábra), mint álló motor esetén, így a számítások során ezt a mérési pontatlanságot is figyelembe vettük. A (4)-es és (5)-as egyenletet így a következő összefüggésekre módosítottam:

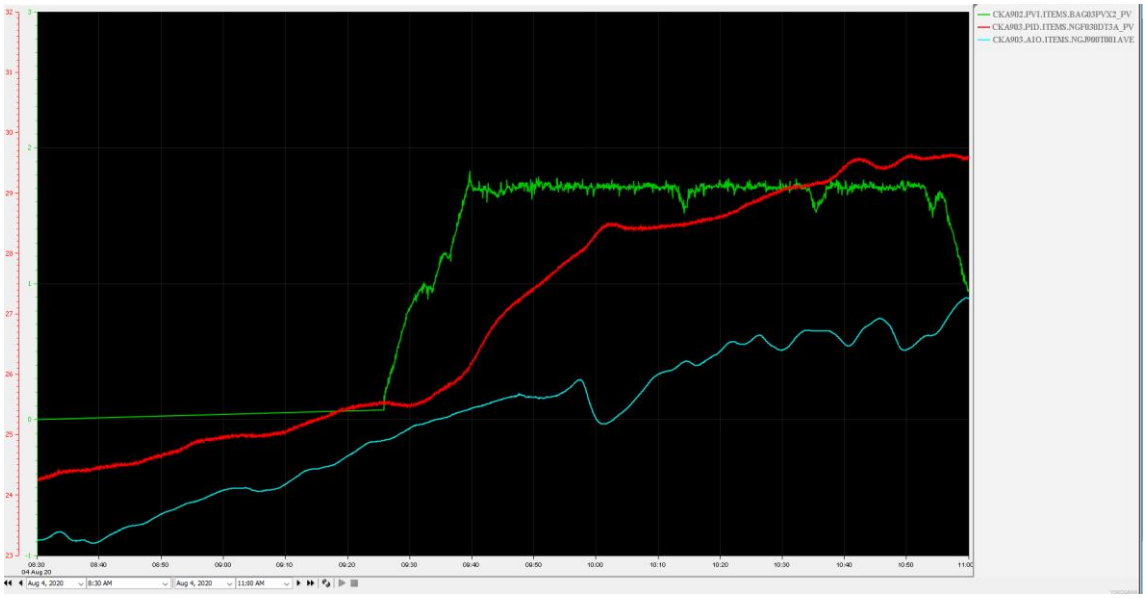
$$\dot{Q}_{elvont} = \rho_{lev} \cdot n \cdot \dot{V}_{lev} \cdot c_{p,lev} \cdot \left(T_{cella,\ el} - \left(T_{cella,\ be} - 4\ [°C]\right)\right) \text{ [kW]} \quad (8)$$

$$\dot{V}'_{lev} = \frac{\dot{Q}_{elvont}}{\rho_{lev} \cdot c_{p,lev} \cdot \left(40\ [°C] - \left(T_{cella,\ be} - 4\right)\right)} - (n-1) \cdot \dot{V}_{lev} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (9)$$



6. ábra: Gázmotorcellákba fújt levegő hőmérséklete

A 6. ábrán a három motorcellába befújt levegő hőmérsékletértékei láthatók. A zöld grafikonhoz tartozó motor a megjelenített időszakban nem üzemelt, a piros és a kék motor viszont közel azonos terhelésen működött. Látható, hogy a kék és a zöld grafikon értékei között nagyjából 3-4 °C különbség van, ez a járó, kék motor hőjének hatásával magyarázható. A piros grafikonra nézve viszont látható, hogy még a kéknél is 4-5 °C-kal magasabb hőmérsékletértékeket olvashatunk le róla. Ennek oka, hogy a gázmotor füstgázterében elhelyezkedő zsaluk – melyek lehetővé teszik a cellából elszívott meleg levegő és a beszívott hideg levegő összekeverését, növelve a cellába belépő levegő hőmérsékletét – nyitva voltak. Erre a funkcióra alapvetően a téli üzem során van szükség, akkor, ha a beszívott levegő hőmérséklete túl alacsony (kisebb, mint 5 °C).

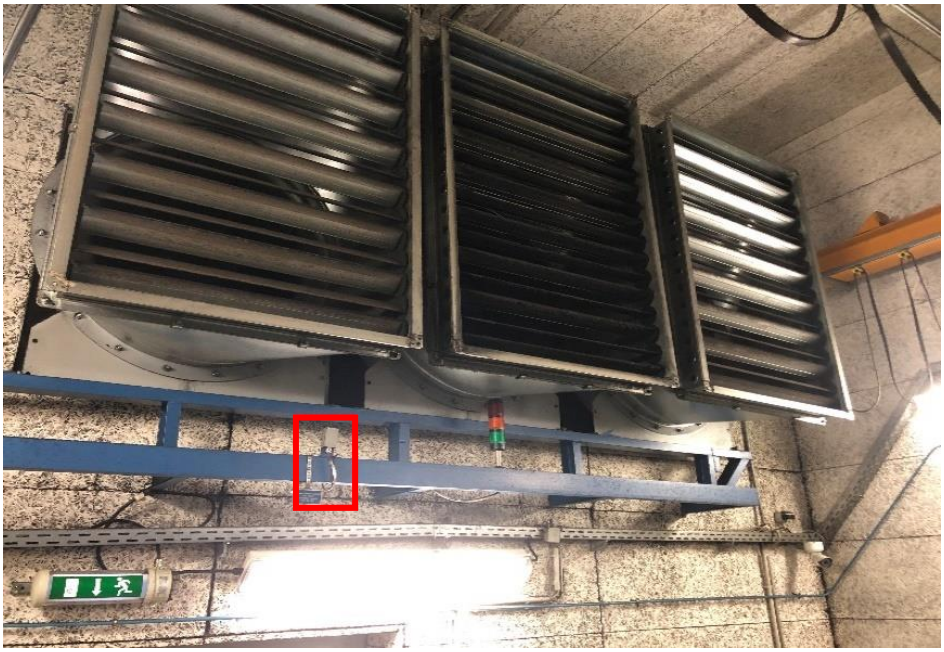


7. ábra: Cellahőmérséklet változása a motor indításakor

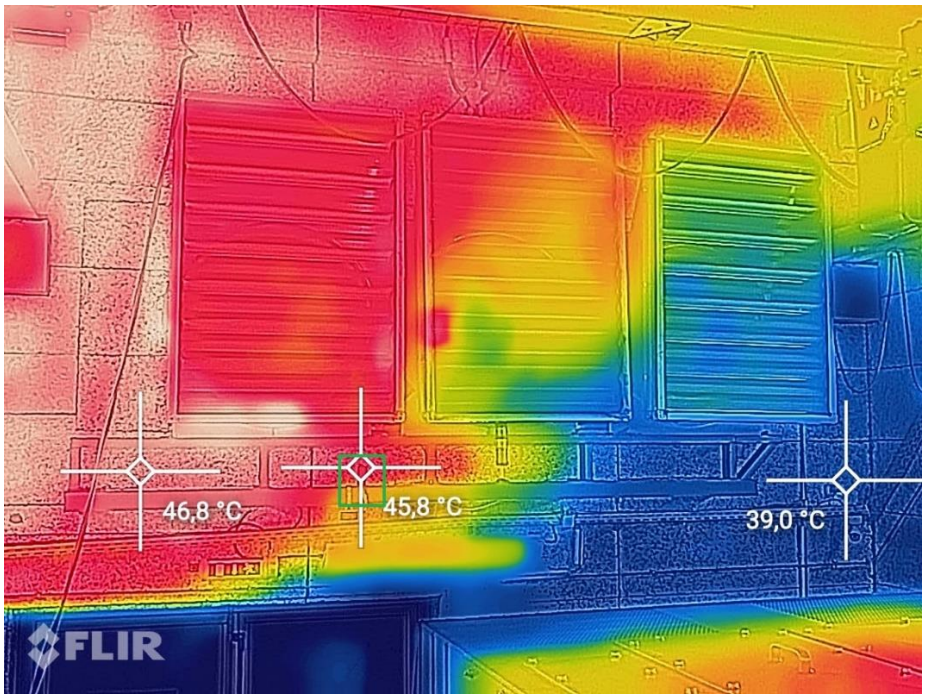
A 7. ábrán az egyik gázmotor teljesítménye, valamint a befújt és kültéri levegő hőmérséklete látható. A zöld grafikon a motor teljesítményét mutatja, látszik, hogy nagyjából 9:25-kor elkezdődik a motor felterhelése. A piros grafikon a cellába belépő levegő hőmérsékletet jelzi, a kék pedig a kültéri levegő hőmérséklete. Ugyan a vizsgált időtartam alatt növekszik a külső hőmérséklet, jól látható, hogy a motor indításakor a beszívott levegő hőmérséklete nagyjából 10:00-ig jóval nagyobb ütemben növekedett, mint a külső hőmérséklet a gázmotor melegedésének hatására.

3.3.2. Az elszívott levegő hőmérséklete

A cellából kilépő levegőt mérő berendezés a cella másik oldalán a gázmotortér ajtaja felett (8. ábrán pirossal, 9. ábrán zölddel jelölve), nemsokkal a kifúvó ventilátorok alatt helyezkedik el.



8. ábra: Kilépő levegő hőmérsékletét mérő hőmérő

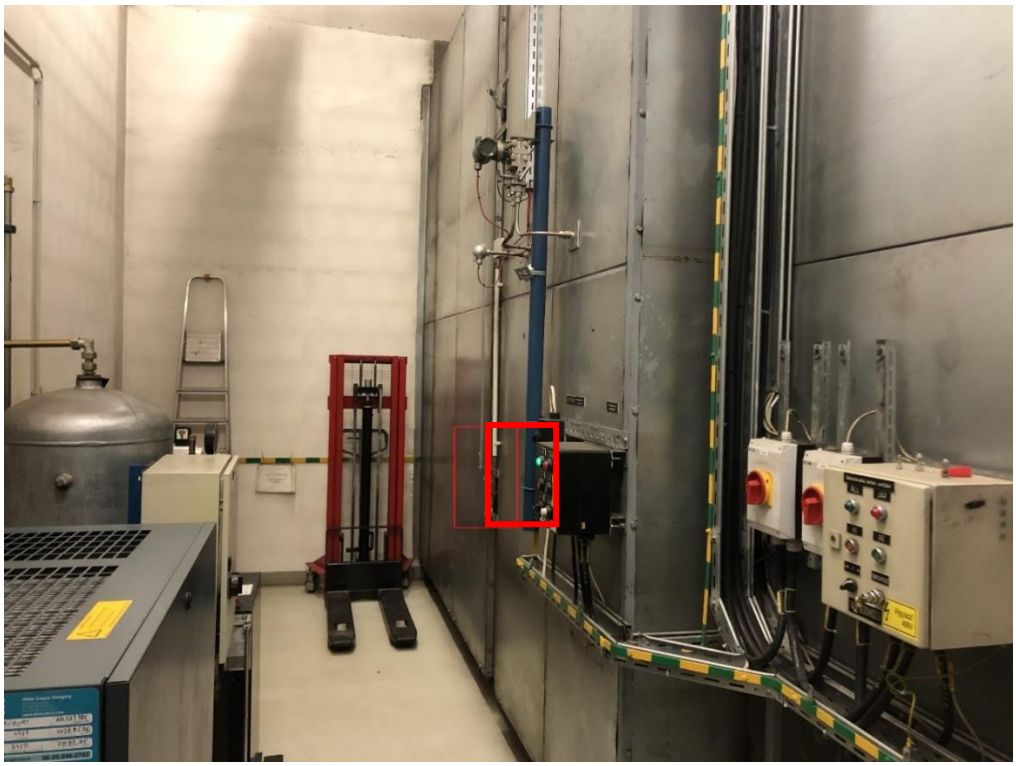


9. ábra: Elszívó ventilátorok hőkamerával készített képe

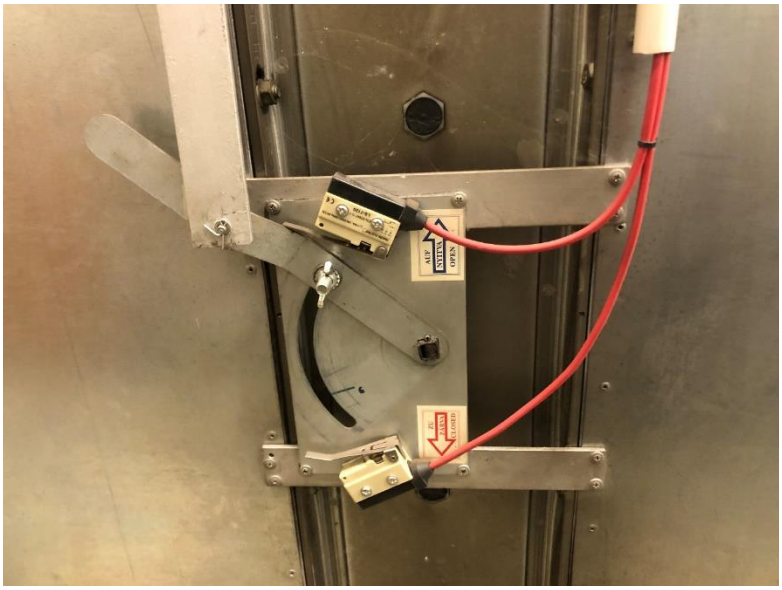
A 9. ábrán szereplő kép készítésének idejekor a motor üzemelt, azonban viszonylag alacsony teljesítményen, ezért mindössze egy, a jobb oldali elszívó működött. A hőkamerával készített képen látható, hogy a levegő hőmérséklete a hőmérő környezetében nem homogén, attól függően, hogy melyik ventilátor működik eltérő hőmérséklet mérhető. Így elmondható, hogy az elszívott levegő hőmérsékletének mérésekor is léphetnek fel mérési pontatlanságok abban az esetben, ha a hőmérő mögött elhelyezkedő ventilátor nem üzemel.

3.3.3. Zsaluk működtetése

A cellák hűtéséhez használt levegőt a ventilátorok a környezetből szállítják. A beszívott levegő mennyisége szabályozható a technológiai füstgáztérben található keverőkamrák oldalán található kézi vezérlésű zsalukkal (10. ábra). A karnak két állása van, nyitás esetén nő a beszívott levegő mennyisége, zárás esetén csökken. A beszívott levegő mennyiségének korlátozása egyedül téli hideg időjárás esetén célszerű, amennyiben túl alacsony a beszívott levegő hőmérséklete és van lehetőség a füstgáztérből melegebb levegő elszívására.



10. ábra: Környezetből beszívott levegő mennyiségének szabályozását végző zsalukat állító kar



11. ábra: Környezetből beszívott levegő mennyiségének szabályozását végző zsalukat állító kar

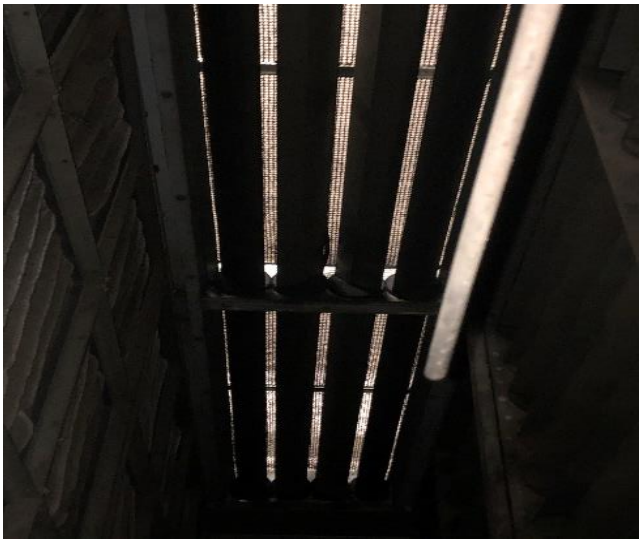
A gázmotorcellán áthaladó felmelegedett levegőt a kifúvó ventilátorok szállítják tovább. A szállított meleg levegő a környezetbe kerül kiengedésre egy zsalun keresztül, melynek állításával szabályozható a kifújt levegő mennyisége.

12. ábra: A környezetbe kifújt levegő mennyiségét szabályozó zsalukat mozgató motor

A cellában felmelegedett levegő nem csak a környezetbe kerülhet, hanem lehetőség van a füstgáztérbe való befúvására is, ennek oka a gázmotor cellába belépő levegő melegítése. A füstgáztérbe fújt levegő mennyiségének szabályozása a füstgáztérben található motoros zsalukkal tehető meg.

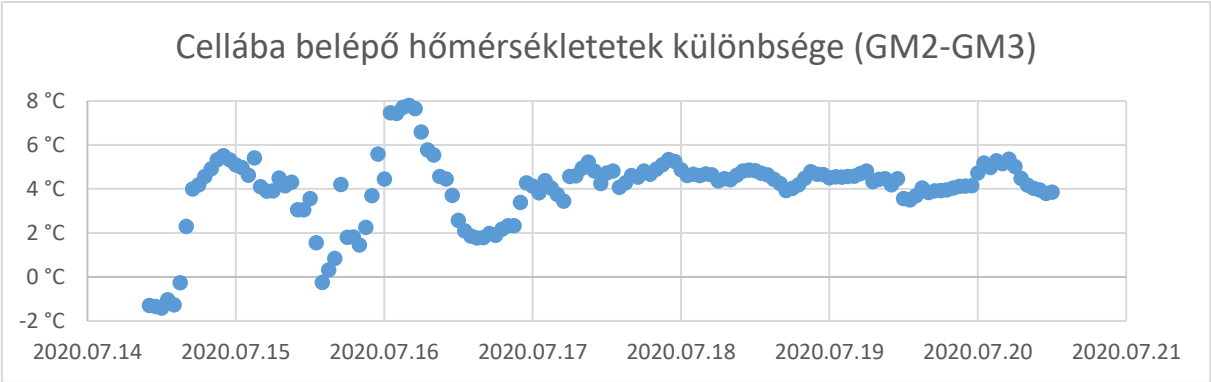
13. ábra: Füstgáztérbe fújt levegő mennyiségét szabályozó zsaluk

A füstgáztérbe fújt meleg levegővel segítségével fűthető a füstgáztérben található levegő, ezt hozzákeverve a környezetből beszívott levegőhöz lehetőség van a gázmotorcellába fújt levegő melegítésére. A kamra tetején található motoros zsalukkal lehet állítani a keverésre szánt meleg levegő mennyiségét.



14. ábra: A 2-es gázmotor keverőterének tetején elhelyezkedő motoros szabályozású zsaluk

A vizsgálat készítésének időpontjakor, a nyári időszakban a füstgáztérben megtalálható zsaluk nem mindegyike volt megfelelő állásban. Az elszívó ventilátor visszakerésért felelő zsalui nyitott állásban működtek az 1-es és 2-es motor esetében. Ezek nyitására a nyári időszakban nincsen szükség, nyitásukkal a füstgáztér melegítése érhető el, melyre csak hideg időjárás esetén lehet szükség. Továbbá befúvó ventilátoroknál a motoros szabályozó zsalukat a keverőtér tetején a 2-es motor esetében nyitva találtam, így nem csak a füstgáztér került fűtésre, hanem a 2-es gázmotorba fújt hűtésre szolgáló levegő is fűtve volt. Ha a 2-es és 3-as motor celláiba befújt levegő hőmérsékletét összehasonlítjuk, akkor látható is, hogy a 2-es motortérbe fújt levegő hőmérséklete jóval magasabb volt a 3-as motorénál.

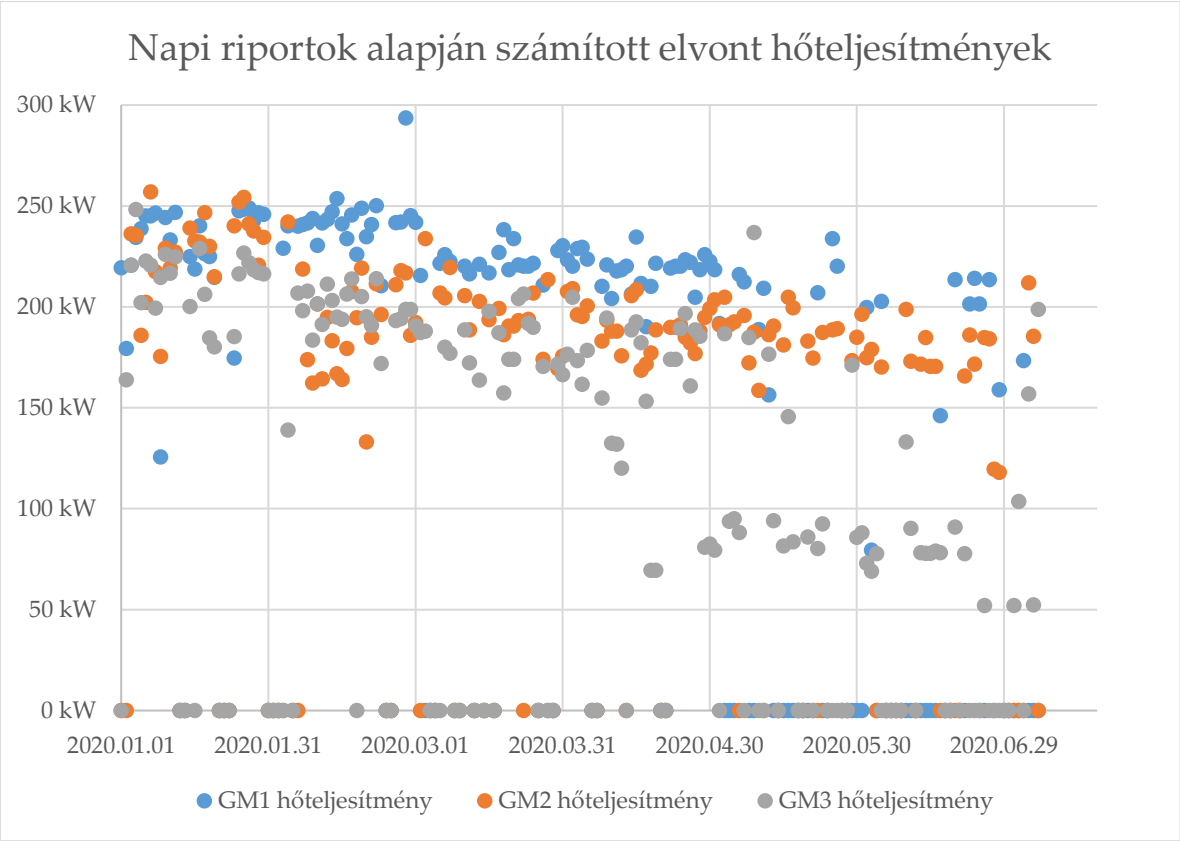


15. ábra: 2-es és 3-as motorcellába belépő hőmérsékleteinek különbségei

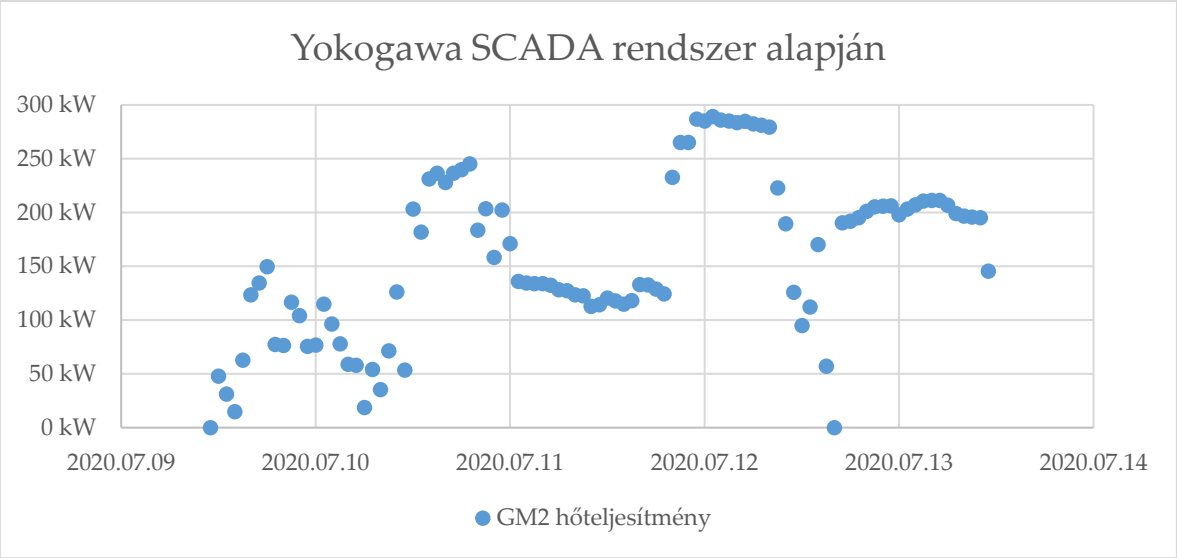
A zsaluk helyes üzemeltetésével megelőzhető lenne a 15. ábrán láthatóhoz hasonló jelenség.

3.4. Megtakarítható villamos energia

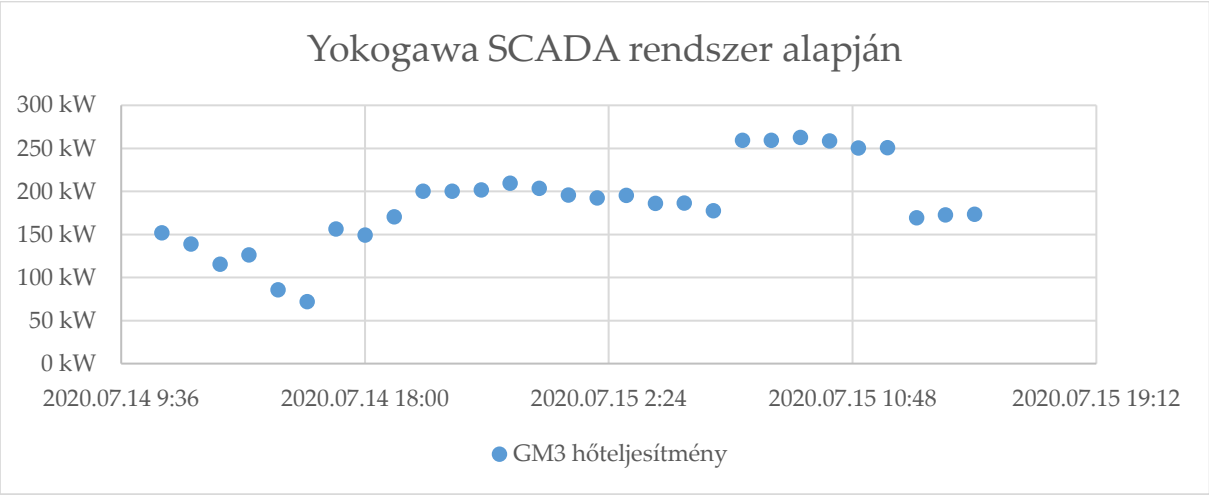
A vizsgálat időpontjakor a cellába fújt és cellából elszívott levegő hőmérséklete nem került automatikusan rögzítésre, így ezen adatokat az erőmű kezelő személyzete által január és június között vezetett napi riportokból szereztem meg. A riportokban a cellahőmérsékletek minden nap feljegyzésre kerültek minden motor esetében. Júliusban Yokogawa által telepített irányítási rendszer frissítésre került, mely lehetővé tette a hőmérséklet adatok tárolását, így lehetőségem nyílt júliusban néhány napot órás mérési adatokkal vizsgálni.



16. ábra: A gázmotorcellákból elvont hőteljesítmény a napi riportok alapján



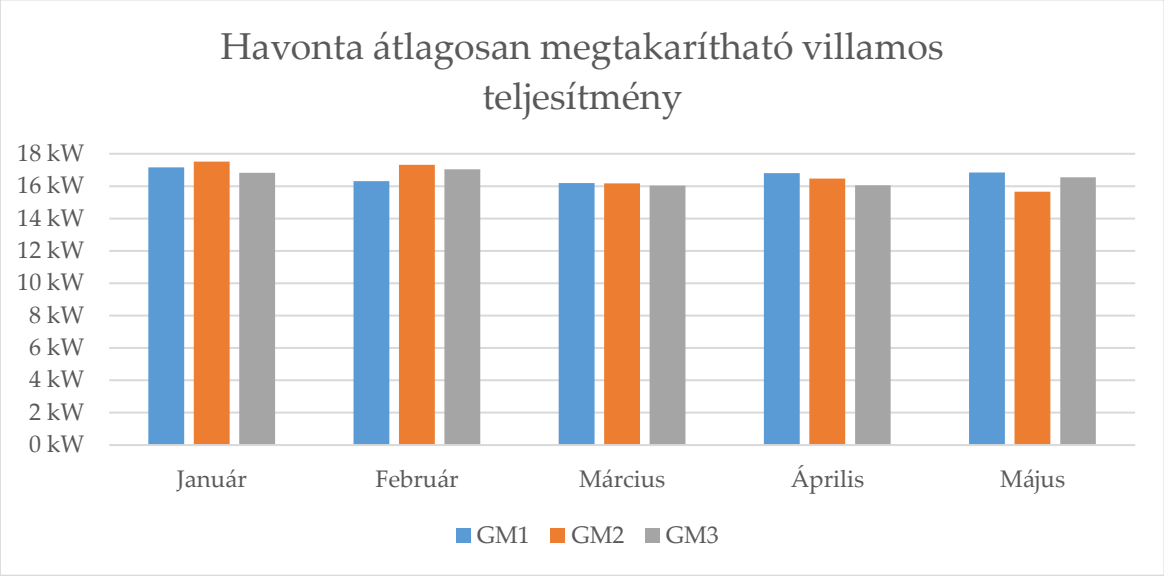
17. ábra: A 2-es gázmotorcellából elvont hőteljesítmények a SCADA aláltal tárolt adatok alapján



18. ábra: A 3-es gázmotorcellából elvont hőteljesítmények a SCADA aláltal tárolt adatok alapján

A megvalósulási tervben a gázmotor hőleadásából származó elvonandó hőteljesítmény maximumának 500 kW-ot határoztak meg. A 16., 17. és 18. ábrán is látható, hogy a vizsgált időszakban a hőteljesítmény értéke a közelében sem volt a tervezési adatokban megjelölt 500 kW-hoz. Ez alapján kijelenthető, hogy az év jelentős részében nincsen szükség a három elszívó ventilátor légszállítására.

A feljegyzett hőmérsékletek ismeretében meghatároztam a hőteljesítményt (8), amiből 40°C-os maximálisan megengedhető cellahőmérsékletet feltételezve szükséges térfogatáramot számoltam (9). Ezt követően az affinitás törvényeit (3), (7) alkalmazva megkaptam, hogy hány kW teljesítmény takarítható meg átlagosan a kifúvó ventilátorok esetén. Annak érdekében, hogy részterhelésen a ventilátorok hatásfoka ne csökkenjen nagy mértékben, a számítás során vett minimális ventilátor terhelésnek 50%-ot adtan meg. Számításaimat és becsléseimet a Yokogawa SCADA rendszer által tárolt adatsorok feldolgozásával ellenőriztem. Sajnos a teljes számítást nem tudtam az újonnan telepített rendszer alapján végezni, mert csak a telepítést követő pár nap alatt gyűjtött adatok álltak rendelkezésemre a vizsgálat készítésének idejekor.



19. ábra: Megtakarítható teljesítmények havi átlaga

A megtakarítható teljesítmény, valamint a havi gázmotor üzemóra adatok (6. táblázat) és átlagos villamos energia ár (7. táblázat) segítségével meghatározható, hogy mennyi villamos energia és pénz takarítható meg a vizsgált 5 hónapban.

	Január	Február	Március	Április	Május
GM1	694 h	693 h	715 h	710 h	202 h
GM2	734 h	670 h	720 h	693 h	655 h
GM3	735 h	673 h	727 h	673 h	625 h

6. táblázat: Az egyes gázmotorok havi üzemórái a vizsgált időszakban

Az 6. táblázatban látható, hogy az 1-es gázmotor a májusi időszakban jóval kevesebb üzemórát működött, mint a 2-es vagy a 3-as motor, ennek oka, hogy a gázmotor május-júniusban nagy karbantartáson esett át, így huzamosabb ideig nem üzemelt.

	Ja-nuár	Feb-ruár	Március	Április	Május
Villamos energia értékesítési ár [Ft/kWh]	19,13	14,80	11,62	10,62	9,62
Szabályozás [Ft/kWh]	1,53	1,52	1,50	1,73	3,14
Összesen [Ft/kWh]	**20,66**	**16,32**	**13,12**	**12,35**	**12,76**

7. táblázat: Havi átlagos villamos energia ár a vizsgált időszakban

	Január	Február	Március	Április	Május
GM1	227 819 Ft	154 207 Ft	138 470 Ft	133 414 Ft	40 224 Ft
GM2	256 447 Ft	180 575 Ft	147 110 Ft	130 172 Ft	115 137 Ft
GM3	233 305 Ft	164 299 Ft	137 762 Ft	120 977 Ft	127 043 Ft
Össze-sen	**717 571 Ft**	**499 081 Ft**	**423 342 Ft**	**384 563 Ft**	**282 403 Ft**

8. táblázat: Havonta megtakarítható összeg a vizsgált időszakban

Tehát az 5 hónapot tekintve összesen 2,2-2,3 millió forint takarítható meg. Feltételezhetően a nyarat tekintve mind a jóval magasabb külső hőmérséklet, mind az alacsonyabb villamosenergia-díj miatt csökkenne az előző hónapokhoz képest a megtakarítás összege. Ősztől kezdődően viszont hasonló vagy közel azonos megtakarítás érhető el. Így nagyjából egy év alatt 3,5-4 millió forint megtakarítás várható csak az elszívó ventilátorok teljesítményének csökkentésével.

Amennyiben az elszívó ventilátorok frekvenciaváltó segítségével kerülnének szabályozásra, villamosenergia megtakarítás nem csak az elszívó ventilátorok motorjainál jelentkezne, hanem a befúvókénál is. Minden cellában az ott található három befúvó ventilátorból kettő frekvenciaváltóval üzemel, ezek a ventilátorok képesek a névlegesnél alacsonyabb teljesítményen működni. Annak köszönhetően, hogy a kifúvó ventilátorok teljesítménycsökkenésének következtében az affinitás törvényeinek értelmében az elszállított levegő mennyisége is csökken, a befúvó ventilátorok teljesítménye is csökkenthető közel azonos mértékben, mint a befúvóké, hiszen így kisebb terhelésen is képesek a megfelelő nyomás (0,3 mbar járó motornál, 0,5 mbar álló motornál) fenntartására. Tehát a kifúvó ventilátorokéhoz hasonló mértékű megtakarítás érhető el a befúvó ventilátoroknál is. Így összességében évente akár 7-8 millió forintot takaríthatna meg az erőmű.

A megtakarítás számítása során egy elhanyagolással éltem, csak a gázmotor üzemórákat vettem alapul, azonban a motor leaállítását követően a motor lehűléséhez idő kell. Így a gázmotorcellának a motor leállása után további szellőzetetésre van szüksége, továbbá nyári időszakban is előfordul, hogy a cella álló motor mellett is olyannyira felmelegszik, hogy hűtés szükséges. Tehát a megtakarítható villamos energia valójában még több a számoltnál.

3.5. A beruházás költségei és megtérülés

A frekvenciaváltók irányítását a Yokogawa felsőszintű irányítástechnikai rendszerébe lehetne beilleszteni, így tőlük kértem árajánlatot a rendszer bővítésére. A Yokogawa által nyújtott ajánlatot összefoglalva a 9. táblázat tartalmazza. Továbbá kértem ajánlatot a frekvenciaváltókra is, melyeknek költsége egyenként 1450 EUR-ba kerülne. A beruházás teljes költségét annak függvényében, hogy egy vagy két elszívó ventilátort látunk el frekvenciaváltóval az 10. és 11. táblázat tartalmazza 360 Ft/EUR-s árfolyam mellett.

Yokogawa irányítástechnikai rendszer bővítése	
Stardom, FA-M3	1 542 EUR
System Configuration	4 485 EUR
Project Management	700 EUR
On site services	1 015 EUR
Összesen	**7 742 EUR**

9. táblázat: Yokogawa árajánlata az irányítástechnikai rendszer bővítésére

Cellánként egy frekvenciaváltó beépítése	
Frekvenciaváltó (3 db)	1 566 000 Ft
Beszerelés, beüzemelés	80 000 Ft
Kábelezés	160 000 Ft
Yokogawa	2 787 120 Ft
Összesen	**4 593 120 Ft**

10. táblázat: Cellánként egy frekvenciaváltó beépítésének költsége

Cellánként két frekvenciaváltó beépítése	
Frekvenciaváltó (6 db)	3 132 000 Ft
Beszerelés, beüzemelés	80 000 Ft
Kábelezés	160 000 Ft
Yokogawa	2 787 120 Ft
Összesen	**6 159 120 Ft**

11. táblázat: Cellánként két frekvenciaváltó beépítésének költsége

Tehát a beruházás cellánként egy frekvenciaváltó beépítésével nagyjából 7-8 hónap alatt, cellánként két frekvenciaváltó beépítésével pedig 9-11 hónap alatt térülne meg.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban a Zuglói Fűtőerőmű három gázmotorjának önfogyasztás csökkentését vizsgáltam. A három gázmotor jelenleg az ALTEO Szabályozási Központ részeként szabályozási feladatokat lát el frekvencia-helyreállító tartalékként, hőjét pedig jelenleg a távhőhálozat vizének fűtésére hasznosítják.

A telephely kapcsán előzetesen készített tanulmány tartalmából kiderült, hogy érdemi önfogyasztás csökkentésre egyedül a gázmotorcellákat szellőztető ventilátorok esetében van. Ezért a dolgozatomban ezek fogyasztásával és fogyasztáscsökkentési lehetőségeivel foglalkoztam.

A fűtőerőmű műszaki vezetőjével történt konzultációnk során 40 °C-os ideális cellahőmérsékletet határoztunk meg, e hőmérséklet felett terhelésváltozás esetén fennállna a cella túlmelegedésének lehetősége. A vizsgált 6 hónap adatsora alapján kiderült, hogy a gázmotorcellákból kifújt levegő az időszak nagyrészében a szükségesnél jóval alacsonyabb hőmérsékletű volt. Ennek oka elsősorban az, hogy a cellák elszívó ventilátorai csak teljes terhelésen képesek üzemelni, így amennyiben egy vagy két ventilátor légszállítása nem elég, egy újabb ventilátor kerül bekapcsolásra névleges teljesítményen, ami az esetek nagyrészében jóval nagyobb a szükségesnél, így a cellahőmérséklet jóval az ideális alá csökkent.

A kezelők által vezetett napi adatok alapján kiszámoltam az egyes időpillanatokban, hogy milyen levegő térfogatáram szükséges a 40 °C-os cellahőmérséklet beállításához. Ennek ismeretében az affinitás törvényeit felhasználva meghatároztam, hogy mekkora teljesítményfelvétel csökkenés lenne elérhető a ventilátoroknál az adatsor egyes időpontjaiban, így pedig meg tudtam határozni a vizsgált időszakban megtakarítható villamos energiát havi bontásban. A fűtőerőmű havi üzemóráinak és havi átlagos villamos energia árainak figyelembevételével számolható volt a megtakarítható villamos energiának az ára, mely a vizsgált időszakban 2,2-2,3 millió Ft.

Amennyiben ezt éves szinten nézzük, akkor ez az összeg jó közelítéssel 3,5-4 millió Ft-os megtakarítást is lehetővé tenne. Továbbá azzal, hogy a gázmotorcella elszívó ventilátorai kisebb fordulatszámon üzemelnének, a már frekvenciaváltóval ellátott befúvó ventilátorok teljesítménye is csökkenne. Ennek oka, hogy a megfelelő levegőmennyiség szállításán túl a befúvó ventilátorok feladata a gázmotorcella megfelelő túlnyomáson tartása. A befúvó ventilátorokon a kifúvó ventilátorokhoz hasonló megtakarítás lenne elérhető, így évi 7-8 millió Ft megtakarítás is elérhető.

A számolások során nem vettem figyelembe azon ventilátor üzemórákat, mikor a szellőztetés álló gázmotornál is működött, ennek figyelembevételével további megtakarítás is lehetséges.

A beruházás megtérülésének vizsgálatához ajánlatot kértem cellánként egy, illetve kettő frekvenciaváltó beépítésére is. Cellánként egy frekvenciaváltó beszerelése, valamint az iránytástechnikai rendszerbe való beépítésének költsége összesen közel 4,6 millió Ft-ba kerülne, két frekvenciaváltó esetén ez az összeg 6,2 millió Ft-ra módosulna.

Ezek alapján elmondható, hogy a beruházás cellánként egy frekvenciaváltó esetén 7-8, két frekvenciaváltó esetén 9-11 hónap alatt térülne meg. Tehát e beruházás viszonylag rövid időn megtérülne.

5. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

1. Európai Parlament (2013): *Üvegházhatású gázok kibocsátása az EU-ban.*
2. Chala Girma T., Abd R. Abd Aziz, and Ftwi Y. Hagos (2018): *Natural Gas Engine Technologies: Challenges and Energy Sustainability Issue.* Energies 11, no. 11: 2934.
3. Park C., Oh S., Kim C., Choi Y., Ha Y. (2021): *Effect of natural gas composition and gas interchangeability on performance and emission characteristics in an air-fuel controlled natural gas engine.*
4. Samuel N. M. de Souza, Andreson M. Lenz, Ivan Werncke, Carlos E. C. Nogueira, Jhonatas Anatonelli, Juliano de Souza (2015): *Gas emission and efficiency of an engine-generator set running on biogas.*
5. Kraftszer Kft. (2005): *Zugló-Therm Kft. Füredi úti gázmotoros projekt fűtőerőmű kezelési és karbantartási utasítás.*
6. Sinergy Energiaszolgáltató, Beruházó és Tanácsadó Kft.: *Előzetes vizsgálat a Füredi utcai gázmotoros erőmű villamos önfogyasztásának csökkentési lehetőségeiről.*
7. Dr. Marschall József (1999): *Áramlástani gépek: Ventilátorok*.
8. Dr. Kullman László (2017): *Áramlástechnikai gépek.*
9. Sinergy Energiaszolgáltató, Beruházó és Tanácsadó Kft. (2015): *Üzemviteli rutin eljárás: Füredi utcai gázmotoros erőmű.*

6. SUMMARY

In my dissertation I examined the self-consumption reduction of the three gas engines at the Zugló Heating Power Plant. The three gas engines currently perform regulatory tasks as part of the ALTEO Control Center as a frequency recovery reserve. And its heat is currently used to heat the water in the district heating network.

The content of the preliminary study shows that only in the case of fans ventilating the gas engine cells could contribute to the meaningful reduction of self-consumption. Therefore, in my dissertation I mainly focused on their consumption and consumption reduction possibilities.

During our consultation with the technical manager of the heating plant, we determined an ideal cell temperature of 40 °C, above said temperature the possibility of cell overheating could occur in the event of a load change. Based on the 6 month data series examined, it was found that the air blown out of the gas engine cells was at a lower temperature than required for most of the period. This is mainly due to the fact that the gas engine cell's exhaust fans can only operate at full load. Therefore if the air supply proves to be insufficient then another fan is switched on at rated power, which in most cases is higher than necessary, that is why cell temperatures were below the ideal.

Based on the daily data recorded by the operators, I calculated the air volume flow required to set the cell temperature to 40 ° C. Knowing this, using the laws of affinity, I determined how much power consumption reduction would be available, with that information I was able to determine the electricity that could be saved during the examined period in monthly breakdown. Taking into account the monthly operating hours of the heating power plant and the average monthly electricity prices, the price of the saving electricity could be calculated, which is HUF 2.2-2.3 million in the examined period.

If we look at this on an annual basis, then this amount would allow a saving of HUF 3.5-4 million with a good approximation. Furthermore, by operating the exhaust fans of the gas engine cell at a lower speed, the power of the supply fans already equipped with a frequency converter could be reduced. This is because in addition to delivering the right amount of air, the blowers are responsible for maintaining the proper pressure in the gas engine cell. Savings similar to exhaust fans would be available on the supply fans, therefore savings of HUF 7-8 million per year could also be achieved.

During the calculations, I did not consider the fan's operating hours when the ventilation was running when the gas engine did not, taking this into account further savings are possible.

In order to examine the return of investment, I also asked for an offer to install one or two frequency converters per cell. The installation of one frequency converter per cell, as well as the cost of its installation in the control system would cost a total of nearly HUF 4.6 million, in case of two frequency converters this amount would change to HUF 6.2 million.

Based on these, it can be said that the investment would return in 7-8 months for one frequency converter and 9-11 months for two frequency converters per cell.

Keywords: *gas engine, frequency converter, gas engine cell cooling, power plant self-consumption, self-consumption reduction*