

KLENEN'21

Mátrafüred, 2021. május 26-27.

Kompresszorok hasznosítható hulladék hőjének meghatározása

ETE Energiahatékonysági Szakosztály és AEE Magyar Tagozat
Szakmai nap
2021. május 26-27.

Dr. Zsebik Albin

okl. gépészmérnök, zsebik@jomuti.hu

Az előadás felépítése

- Statisztikai adatok, bevezető gondolatok,
- Léghűtésű kompresszorokra vonatkozó intézkedés ismertetése
- Példaszámítás a léghűtésű kompresszorok hulladékhő hasznosítására
- Vízhűtésű kompresszorokra vonatkozó intézkedés ismertetése
- Példaszámítás a vízhűtésű kompresszorok hulladékhő hasznosítására

Statisztikai adatok - energiagazdálkodásunk

PJ

1200

1000

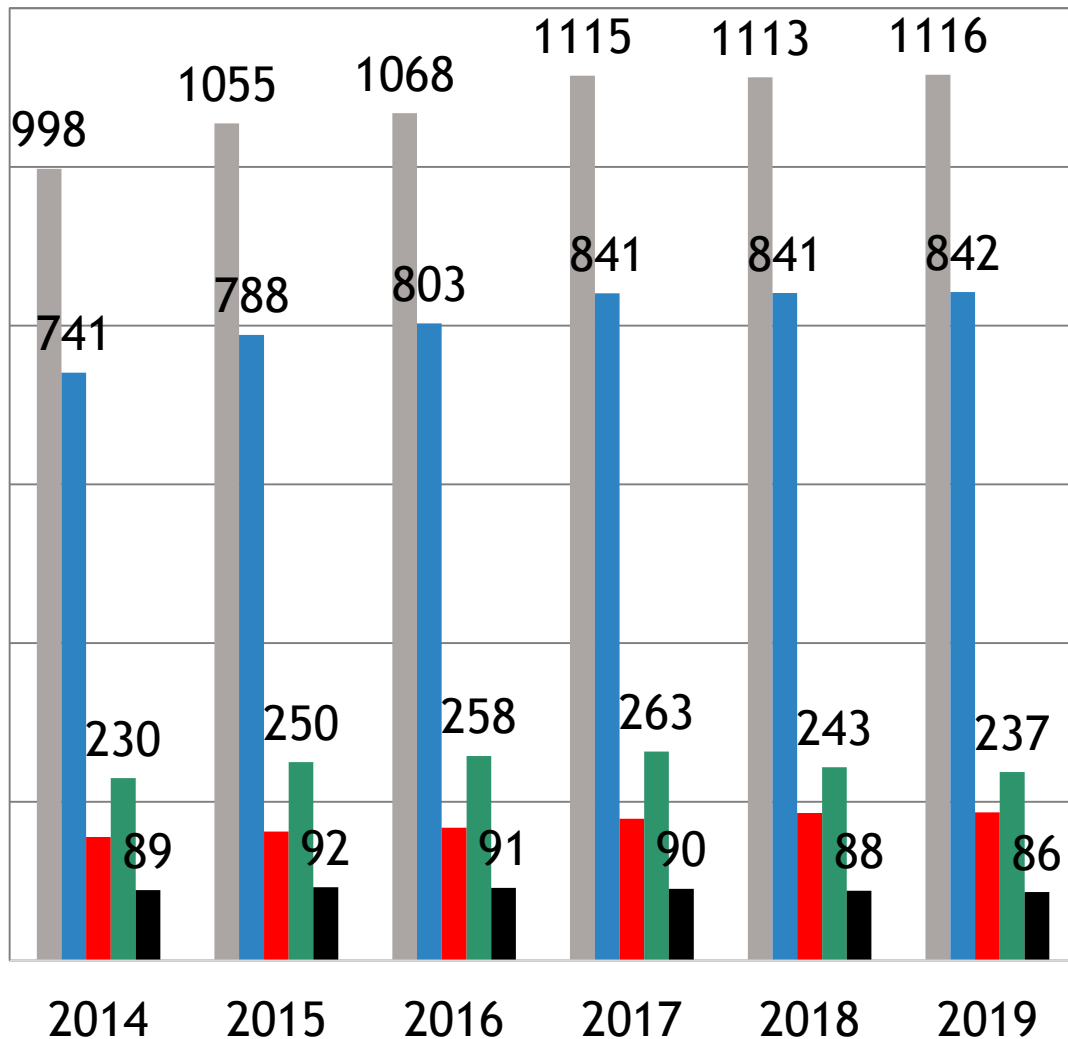
800

600

400

200

0



■ Primer

■ Végső

■ Ipar

■ Lakosság

■ Kereskedelem és közszolgáltatások

2019-ben végső/primer = 75,48%

Végsőben: Ipar = 22,14%

Lakosság = 28,17%

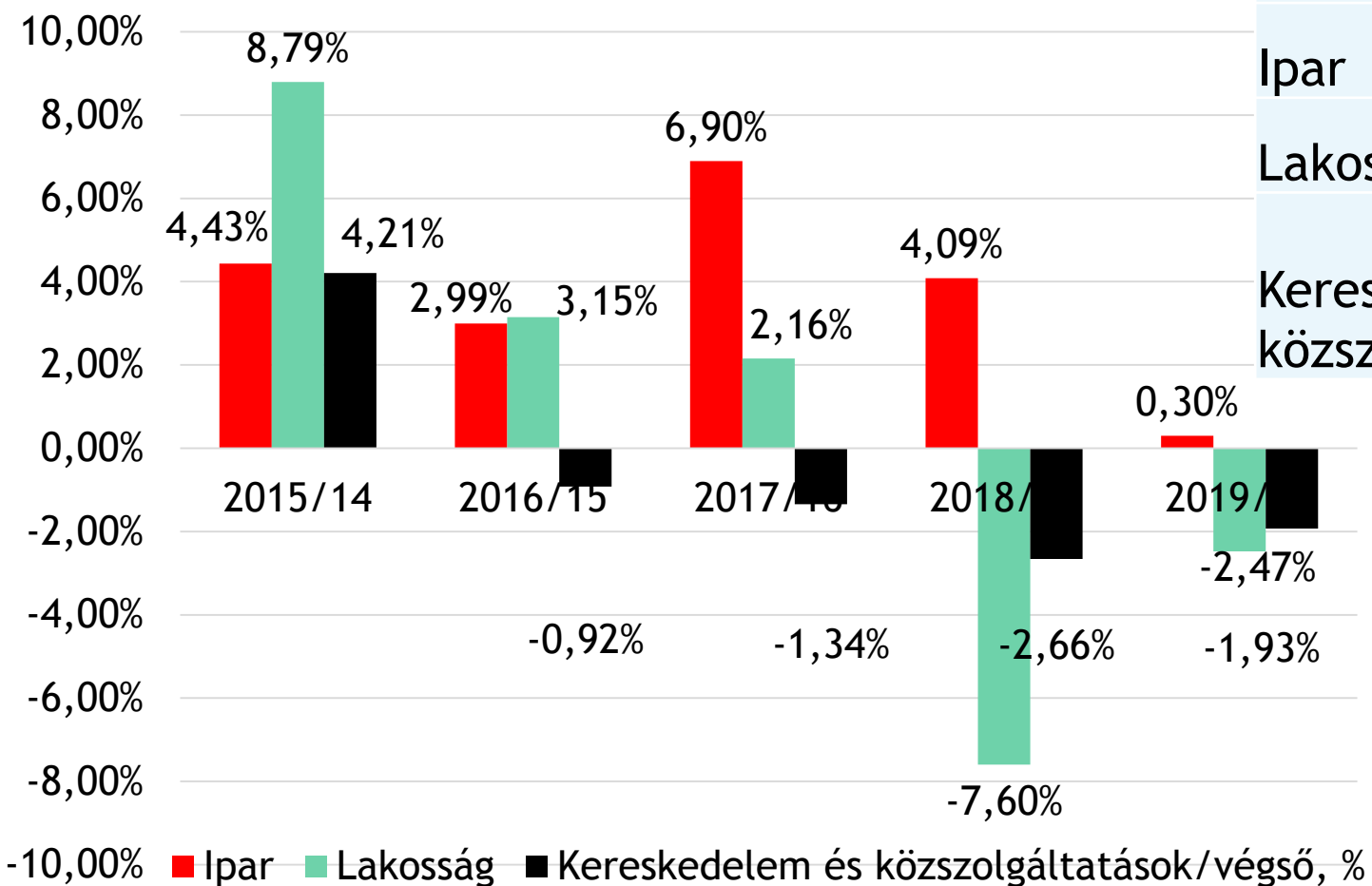
Kereskedelem, közszolg. = 10,22 %

3

Adatok forrása: <http://mekh.hu/eves-adatok>

Statisztikai adatok - energiagazdálkodásunk

Energiafelhasználás változás



	2018	2019
Ipar	22,11%	22,14%
Lakosság	28,93%	28,17%
Kereskedelem, közszolgáltatás	10,44%	10,22%

Bevezető gondolatok - 1.

Az EKR-ben elszámolni kívánt energiamegtakarításokat hitelesíteni kell - erre jogosultak a Hivatal által jegyzékbe vett energetikai auditáló szervezetek.

Felelősség így a hitelesítők vállán - a majdani kormányrendelettel a számítási módszereket és elveket tekintve összhangban lévő elszámolás szükséges.

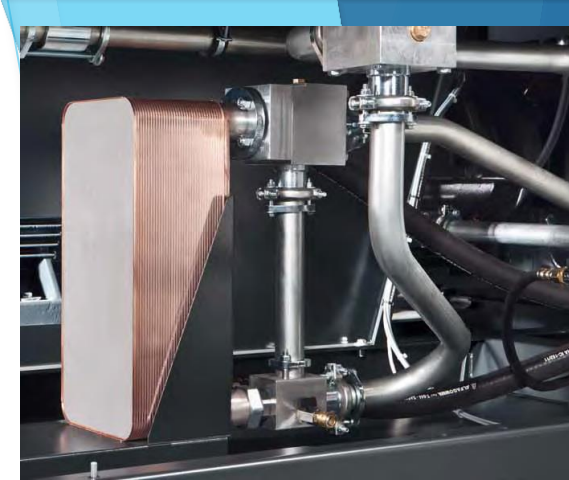
Az előadás célja, hogy példákkal segítsék az érdekelt feleket a lehetőségeik számbavételében.

Bevezető gondolatok - 2.

Víz- és léghűtésű kompresszorok hulladékhőjének hasznosítási lehetőségei - a gyártók a komprimálás során keletkező hő hasznosítását hőcserélők beépítésével segítik.

Hőhasznosítás: léghűtéses kompresszor esetén fűtésre, vízhűtéses kompresszor esetén fűtésre és HMV melegítésre.

Példák remélhetőleg összhangban lesznek a majdani kormányrendelettel.



Léghűtésű kompresszorok hulladékhőjének hasznosítása fűtésre

Kiinduló állapot - 1.

Telephelyen vannak sűrített levegő előállítására alkalmazott léghűtésű kompresszorok.

A sűrített levegő hűtése által elvont hulladékhőt nem hasznosítják.

Van igény és lehetőség a hőre - a hűtőberendezésben elvont hő nagy része hasznosítható a kompresszor biztonságos üzemvételének befolyásolása nélkül.

Fűtés: földgáz tüzelésű kazán, hőszugárzók és hőlégbefúvók.

Kiinduló állapot - 2.

Termékismertetőkből és gépkönyvekben adottak:

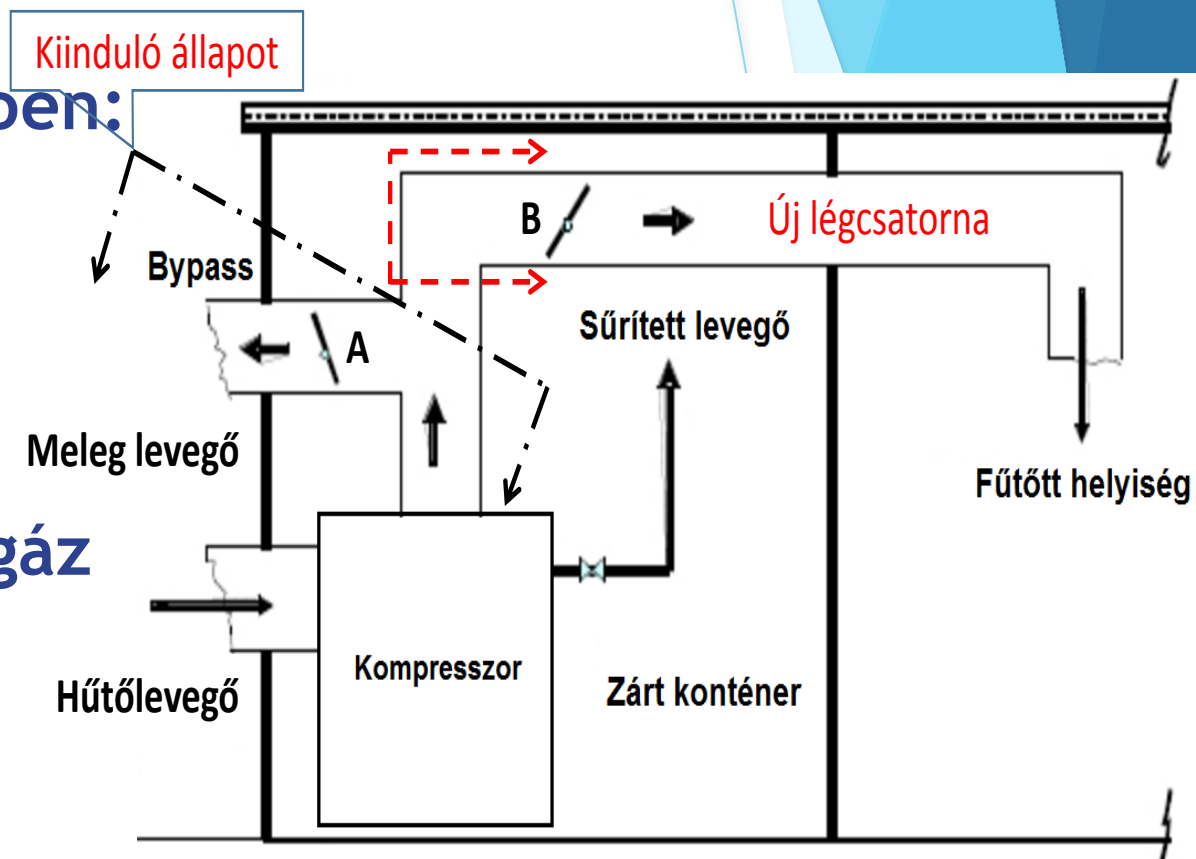
- a hőhasznosításra rendelkezésre álló hőteljesítmény, Q
- a hasznosítható meleg levegő térfogatárama
- a hűtőlevegő felfűtési hőmérsékletkülönbsége
 - a kompresszor teljesítményétől és típusától függ, $8 - 28 \text{ } ^\circ\text{C}$

Intézkedés utáni állapot

Légcsatorna került beépítésre a hulladékhő hasznosítása céljából - szabadba vezető légcsatorna és a fűtött helyiségek közé.

A hőigény függvényében a fűtési idényben:

- „A” szelep részleges/teljes zárása
- „B” szelep részleges/teljes nyitása
- Az így bevezetett hő kiváltja a földgáz egy részét



Az elszámolható megtakarítás számítása

Szükséges adatok, anyagjellemzők

➤ Hőhasznosításba bevont kompresszor névleges adatai:

- Kompresszorok száma: n , db és típusa
- Névleges teljesítményigény: P_i , kW
- Kompresszorok jelleggörbéje, vagy:
- Hasznosításra rendelkezésre álló hőteljesítmény: Q_h , kW
- Hasznosítható meleg levegő térfogatárama: V_m , m^3/h
- Hűtőlevegő felfűtési hőmérsékletkülönbsége: Δt , $^\circ C$

➤ Hulladékhő felhasználás névleges adatai:

- Fűtési hőszükséglet: Q_{fm} , kW
- Fűtési rendszer méretezési hőmérsékletei: t_{me}/t_{mv} $^\circ C$;
- Kiváltott kazán hatásfoka, η_k

➤ Anyagjellemzők

- A levegő referencia sűrűsége: $\rho_m=1,2$ kg/m^3
- A levegő referencia fajhője: $c_m=1$ $kJ/(kgK)$
- Fajlagos CO_2 kibocsátás földgáz tüzelés esetén: $c_{CO_2}=56$ kg/GJ

Energiamegtakarítás igazolásának dokumentumai

Auditor igazolása - egyszerűsített kapcsolási rajzokkal és számításokkal alátámasztva az intézkedés hatásáról, a próbaüzemi mérések eredményeiről.

A próbaüzem során mért adatok:

„A” szelep teljesen zárva, „B” szelep teljesen nyitva.

V_m - térfogatárama az új légcsatornában, m^3/h

t_k - a kompresszorba belépő hűtőlevegő hőmérséklete, $^{\circ}C$

t_m - a hűtőlevegő hőmérséklete az új légcsatornában, $^{\circ}C$.

A hulladékhő meghatározása:

$$Q_h = V_m / 3600 \cdot \rho_m c_m (t_m - t_k), \text{ kW}$$

Intézkedések nyomon követése

1. Javasolt a fűtési idényben a havi rendszerességű ellenőrzés
2. Mérések eredményeit összevetni a próbaüzemi mérésekkel
3. Eltéréskezelés - okok megkeresése, szükség esetén megszüntetése
4. Mérés elvégzése: üzembe helyezést követő második évben a fűtési időszak első napjaiban, a fűtési időszak közepén, majd a végén
5. Mérés alapján az éves megtakarítás utólagos meghatározása, majd rögzítése a kötelező éves adatszolgáltatásban
6. Mérései jegyzőkönyv és megtakarítás számítás megőrzése min. 5 évig

Rendelkezésre álló hulladékhő

Példa: 8 bar max. túlnyomású kompresszor gépkönyvi adatai alapján és τ_m , h/év üzemidővel számolva

P_i , kW	Q_h , kW	Q_h , MJ/h	V_i , m ³ /h	Δt_m °C	τ_m , h/év	$Q_{h\acute{e}v}$, MWh/év	Q_h , GJ/év
250	278	1000	40000	21	2000	556	2000

3 különböző esetet vizsgálunk.

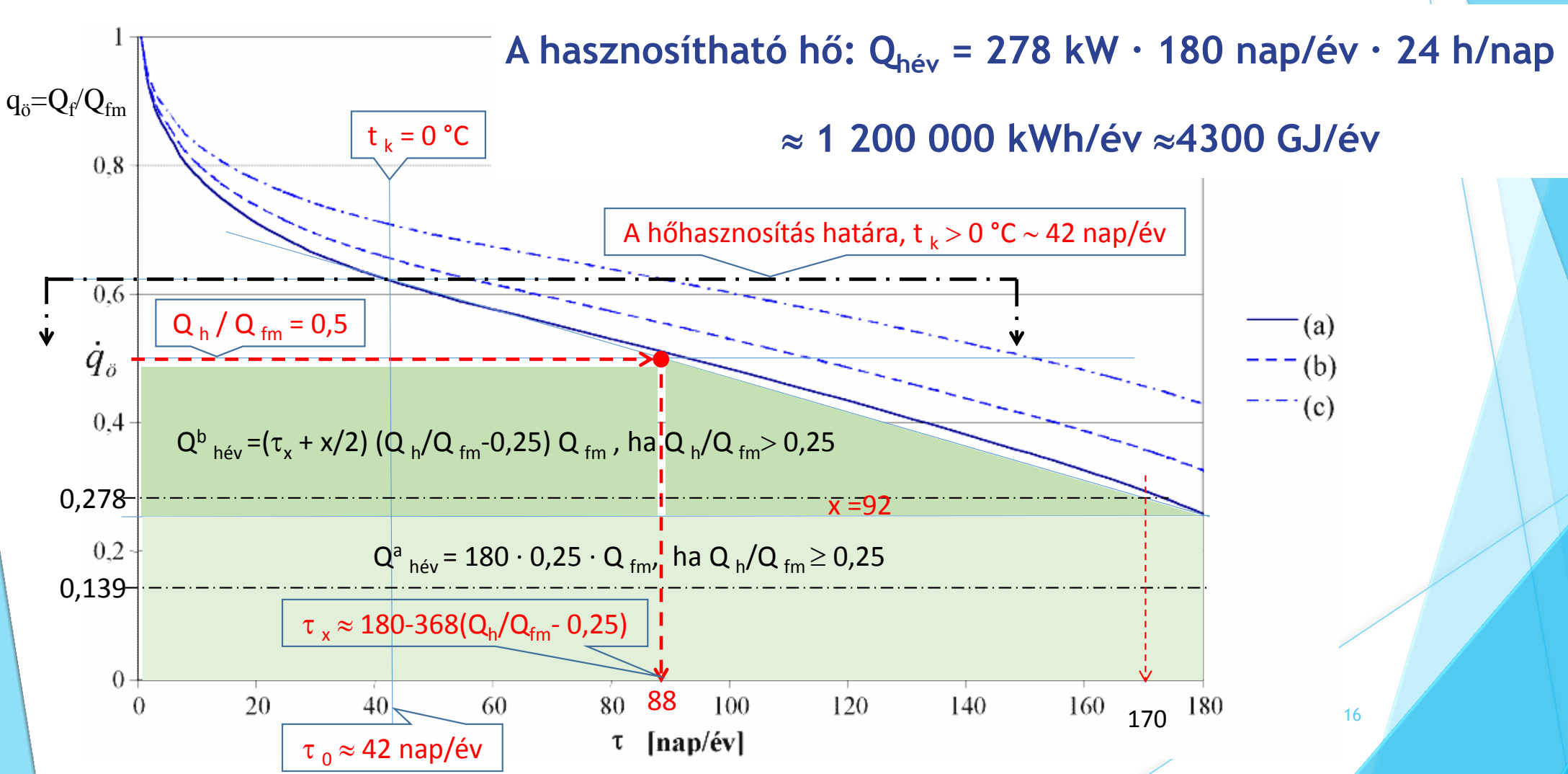
Minden esetben:

A befűjt levegőnek >20 °C kell, ezért: $t_k < 0$ °C esetén a meleglevetőt a beszíváshoz vissza kell keverni

Évente ~42 ilyen nap van ($t_k < 0$ °C), fűtési időszak: 180 nap

A megtakarítás számítása - 1.

Első eset: $Q_{fm} = 2000 \text{ kW}$, vagyis $Q_{fm} \gg Q_h = 278 \text{ kW}$ Ekkor: $q_{\ddot{o}} = 278/2000 = 0,139$



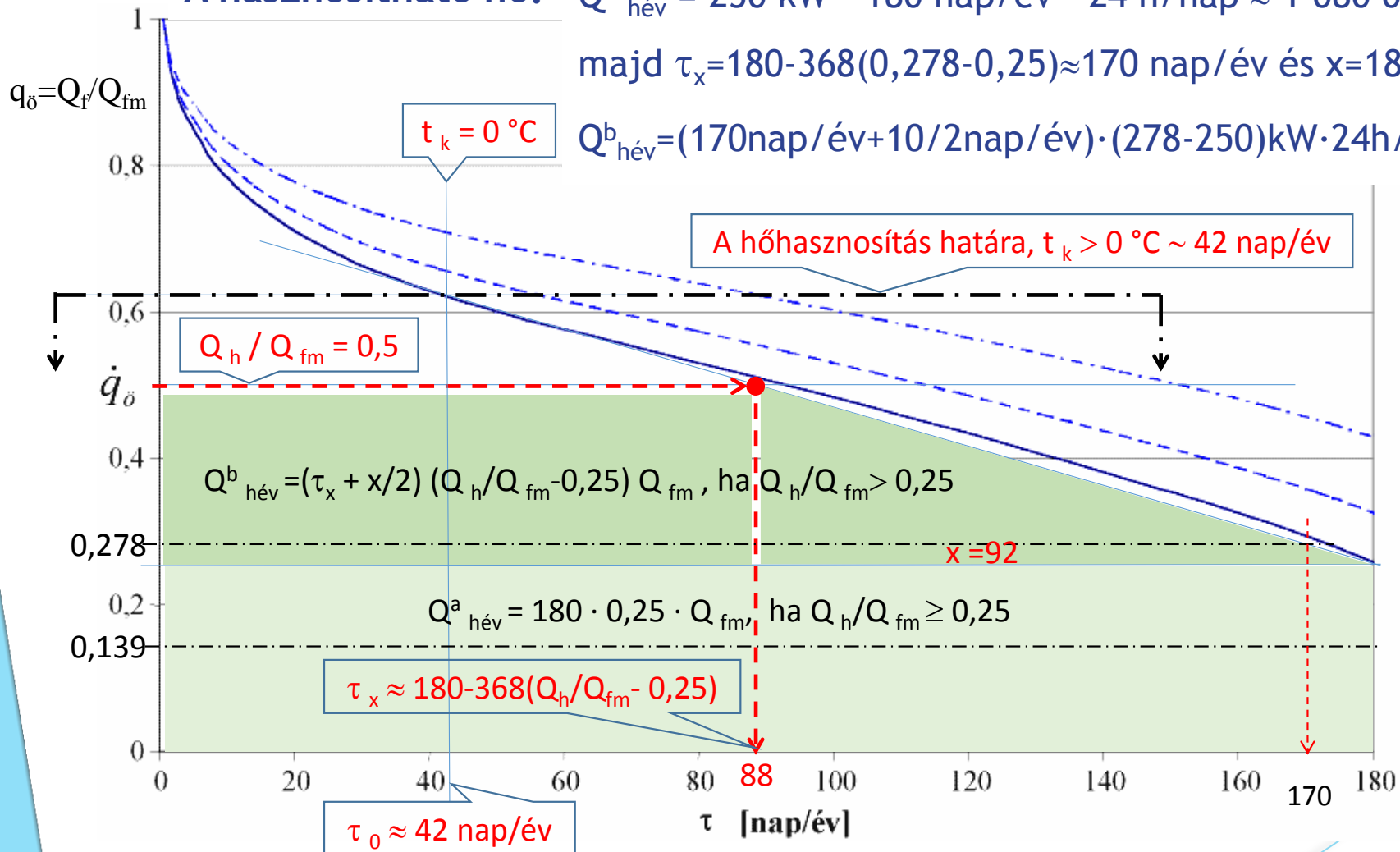
A megtakarítás számítása - 2.

Második eset: $Q_{fm} = 1000 \text{ kW}$, vagyis $q_{\ddot{o}} = 278/2000 = 0,278$

A hasznosítható hő: $Q^a_{h\acute{e}v} = 250 \text{ kW} \cdot 180 \text{ nap/év} \cdot 24 \text{ h/nap} \approx 1\,080\,000 \text{ kWh/év} \approx 3900 \text{ GJ/év}$

majd $\tau_x = 180 - 368(0,278 - 0,25) \approx 170 \text{ nap/év}$ és $x = 180 - \tau_x = 180 - 170 = 10 \text{ nap/év}$

$Q^b_{h\acute{e}v} = (170 \text{ nap/év} + 10/2 \text{ nap/év}) \cdot (278 - 250) \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/nap} \approx 22\,000 \text{ kWh/év} \approx 80 \text{ GJ/év}$

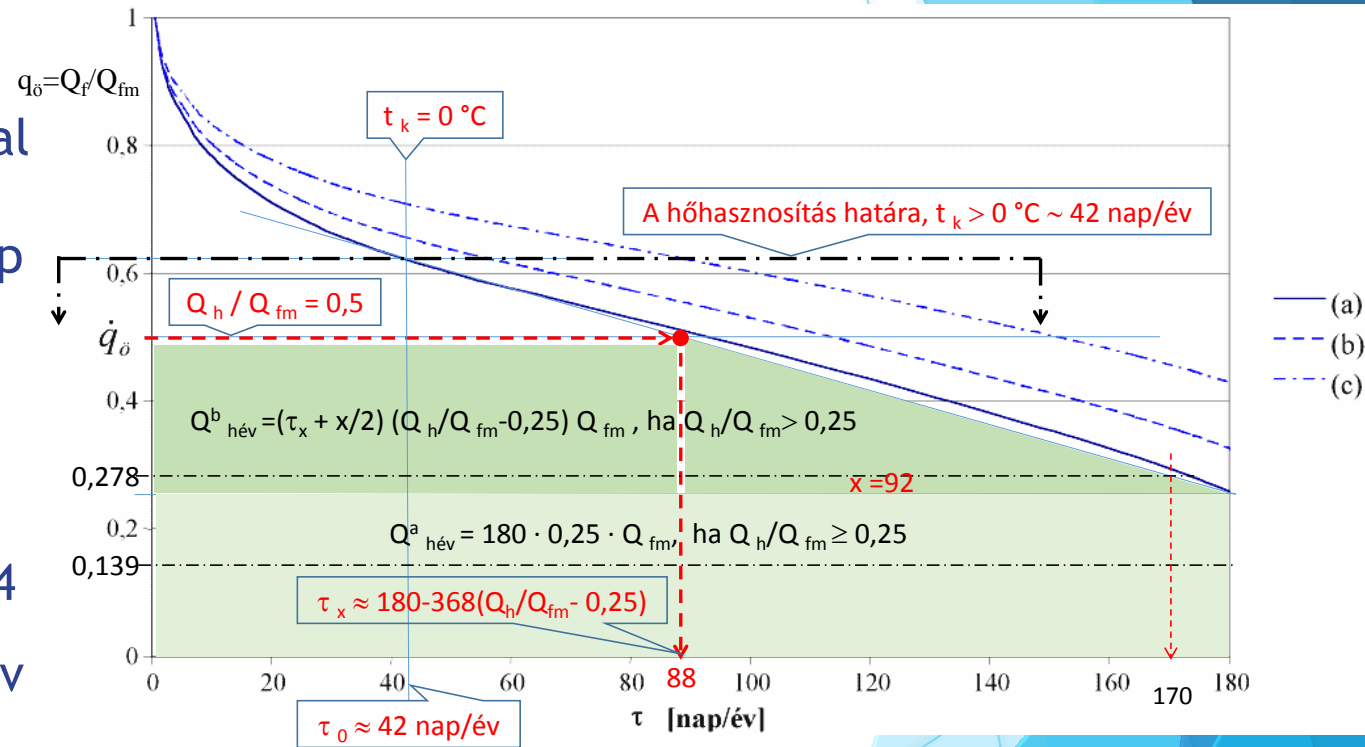


$$Q_{h\acute{e}v} = Q^a_{h\acute{e}v} + Q^b_{h\acute{e}v} = 3980 \text{ GJ/év hő}$$

A megtakarítás számítása -.

Harmadik eset:

- ▶ $Q_{fm} = 400 \text{ kW}$, vagyis $q_{\ddot{o}} = 278/400 = 0,7$,
ekkor $t_k < 0 \text{ }^\circ\text{C}$ esetén rá kell fűteni kazánnal
- ▶ $Q^a_{\text{hév}} = 0,25 Q_{fm} \text{ kW} \cdot 180 \text{ nap/év} \cdot 24 \text{ h/nap}$
 $\approx 432\ 000 \text{ kWh/év} \approx 1550 \text{ GJ/év}$
- ▶ $t_x = 42 \text{ nap/év}$ és $x = 138 \text{ nap/év}$
- ▶ $Q^b_{\text{hév}} = (42 \text{ nap/év} + 138/2 \text{ nap/év}) \cdot (0,62 - 0,25) 400 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/nap}$
 $\approx 394\ 000 \text{ kWh/év} \approx 1420 \text{ GJ/év}$
- ▶ $Q_{\text{hév}} = Q^a_{\text{hév}} + Q^b_{\text{hév}} = 2970 \text{ GJ/év}$



Megtakarítás számítás eredménye

$Q_h = 278$ kW és $\eta_k = 90\%$ mellett a három bemutatott esetben

A megtakarítás és a CO₂ kibocsátás csökkenés

	Q_h , kW	Q_{fm} , kW	Q_h/Q_{fm} , %	Q_f , GJ/év	Q_h , GJ/év	Q_h/Q_f , %	ΔCO_2 , t/év
1	278	2000	~ 14	15 642	4 300	27	~ 268
2	278	1000	~ 28	7 821	3980	51	~ 248
3	278	400	~ 70	3 128	2 971	95	~ 185

Vízhűtésű kompresszorok hulladékhőjének hasznosítása fűtésre és HMV-re

Kiinduló állapot - 1.

Telephelyen vannak sűrített levegő előállítására alkalmazott vízhűtésű kompresszorok.

A sűrített levegő hűtése által elvont hulladékhőt nem hasznosítják.

A hűtőberendezésben elvont hő nagy része hasznosítható a kompresszor biztonságos üzemvételének befolyásolása nélkül.

Fűtés és HMV: fűtési időszakban földgáz tüzelésű kazán

Fűtési időszakon kívül HMV előállítás villamos energiával

Kiinduló állapot - 2.

Vízhűtésű kompresszor nyitott vagy zárt hűtőkörű

➤ Nyitott rendszer:

- Visszakeringtetés nélkül folyik át a hűtendő felületeken vagy hűtőtoronyban hűtik

➤ Zárt rendszer:

- Hűtővíz hidraulikailag leválasztva a hűtési rendszerről (hűtőtorony vagy hőhasznosító berendezés)

➤ Intézkedés után:

- Fűtési és HMV hőcserélőt telepítettek a hulladékhő hasznosítására - földgáz és villamos energia megtakarítás

Az elszámolható megtakarítás számítása

Szükséges adatok

Hőhasznosításba bevont kompresszor névleges adatai

- Kompresszorok száma: n , db jelleggörbéje és típusa
- Névleges teljesítményigény: P_i , kW
- Hőhasznosításra rendelkezésre álló hőteljesítmény: Q_h , kW

A kompresszor hűtővizének

- Minimális térfogatárama: $V_{i\ min}$, l/s
- Maximális térfogatárama: $V_{i\ max}$, l/s
- Megengedett belépő hőmérséklete: $t_{i\ min}$, °C
- Megengedett kilépő hőmérséklete: $t_{i\ max}$, °C

Anyagjellemzők

- A víz referencia sűrűsége: $\rho_m = 1$ kg/l
- A víz referencia fajhője: $c_m = 4,2$ kJ/(kgK)
- Fajlagos CO₂ kibocsátás földgáz tüzelés esetén: $c_{CO_2} = 56$ kg/GJ

Hulladékhő felhasználás névleges adatai

- Hálózati hidegvíz referencia hőmérséklete: t_h , °C
- HMV referencia hőmérséklete: t_{HMV} , °C
- Használati melegvíz tároló(k) térfogata: $V_{T\ HMV}$, m³
- Használati melegvíz átlagos napi fogyasztása: $V_{N\ HMV}$, m³/nap
- Hulladékhőt fogadó fűtési rendszer hőszükséglete: Q_{fm} , kW
- Fűtési rendszer névleges méretezési hőmérsékletei: t_{me} és t_{mv} , °C
- Földgáz tüzelésű kazán hatásfoka: η_k ,

Energiamegtakarítás igazolásának dokumentumai

Auditor igazolása - egyszerűsített kapcsolási rajzokkal és számításokkal alátámasztva az intézkedés hatásáról, a próbaüzemi mérések eredményeiről.

A próbaüzem során mért adatok:

a hőhasznosító hőcserélőn áthaladó vízáramok és hőmérsékletek

$t_{m\ be}$ - a hőcserélőbe belépő meleg közeg hőmérséklete, °C

$t_{m\ ki}$ - a hőcserélőből kilépő meleg közeg hőmérséklete, °C.

V_h - a hőcserélőn áthaladó hideg közeg térfogatárama, m³/h

$t_{h\ be}$ - a hőcserélőbe belépő hideg közeg hőmérséklete, °C

$t_{h\ ki}$, $t_{h\ cél}$, - a hőcserélőből kilépő hideg közeg (cél)hőmérséklete, °C.

A hulladékhő meghatározása:

$$Q_h = V_h / 3600 \cdot \rho_v c_v (t_{h\ ki} - t_{h\ be}), \text{ kW}$$

Intézkedések nyomon követése

1. Javasolt a fűtési idényben a havi rendszerességű ellenőrzés
2. Mérések eredményeit összevetni a próbaüzemi mérésekkel
3. Eltéréskezelés - okok megkeresése, szükség esetén megszüntetése
4. Mérés elvégzése: üzembe helyezést követő második évben a fűtési időszak első napjaiban, a fűtési időszak közepén, majd a végén
5. Mérés alapján az éves megtakarítás utólagos meghatározása, majd rögzítése a kötelező éves adatszolgáltatásban
6. Mérései jegyzőkönyv és megtakarítás számítás megőrzése min. 5 évig

Egy vízűtészű kompresszor hűtési jelleggörbéje

- rendelkezésre álló hulladékű

Korlátok: $V_{h \min} = 1,1 \text{ l/s}$, $V_{h \max} = 3,6 \text{ l/s}$

Max. hasznosítható hőteljesítmény: $Q_{h \max} = 140,5 \text{ kW}$,

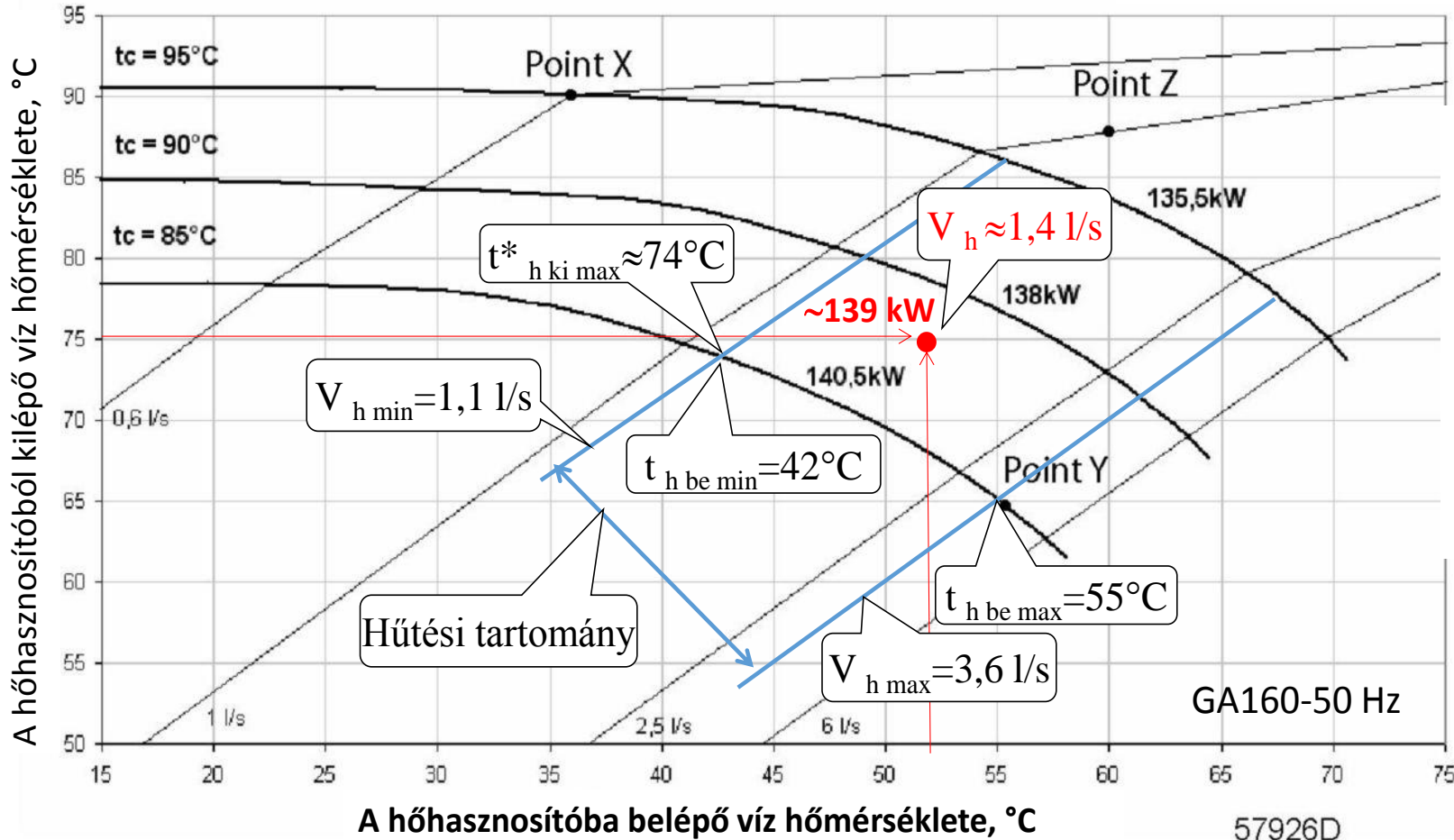
$t_{h \text{ be } \min} = 42^\circ\text{C}$ és $t_{h \text{ be } \max} = 55^\circ\text{C}$ mellett

Ekkor:

$t_{h \text{ be } \min} = 42^\circ\text{C}$ és $t_{h \text{ ki } \max}^* \approx 74^\circ\text{C}$

Ha $t_{h \text{ be}} = 52^\circ\text{C}$ és $t_{h \text{ cél}} = 75^\circ\text{C}$,

akkor $Q_h \approx 139 \text{ kW} < Q_{h \max}$



Forrás: Atlas Copco GA 160 APF184921 típusú vízűtészű kompresszor használati utasítása, www.atlascopco.com

$t_{h \text{ be}}, ^\circ\text{C}$	$t_{h \text{ cél}}, ^\circ\text{C}$	$Q_h, \text{ kW}$	$\tau_m, \text{ h/év}$	$Q_{h \text{ év}}, \text{ MWh/év}$	$Q_h, \text{ GJ/év}$
52	75	139	4320	600	2162

Hulladékhő hasznosítás - HMV

Feltételezések:

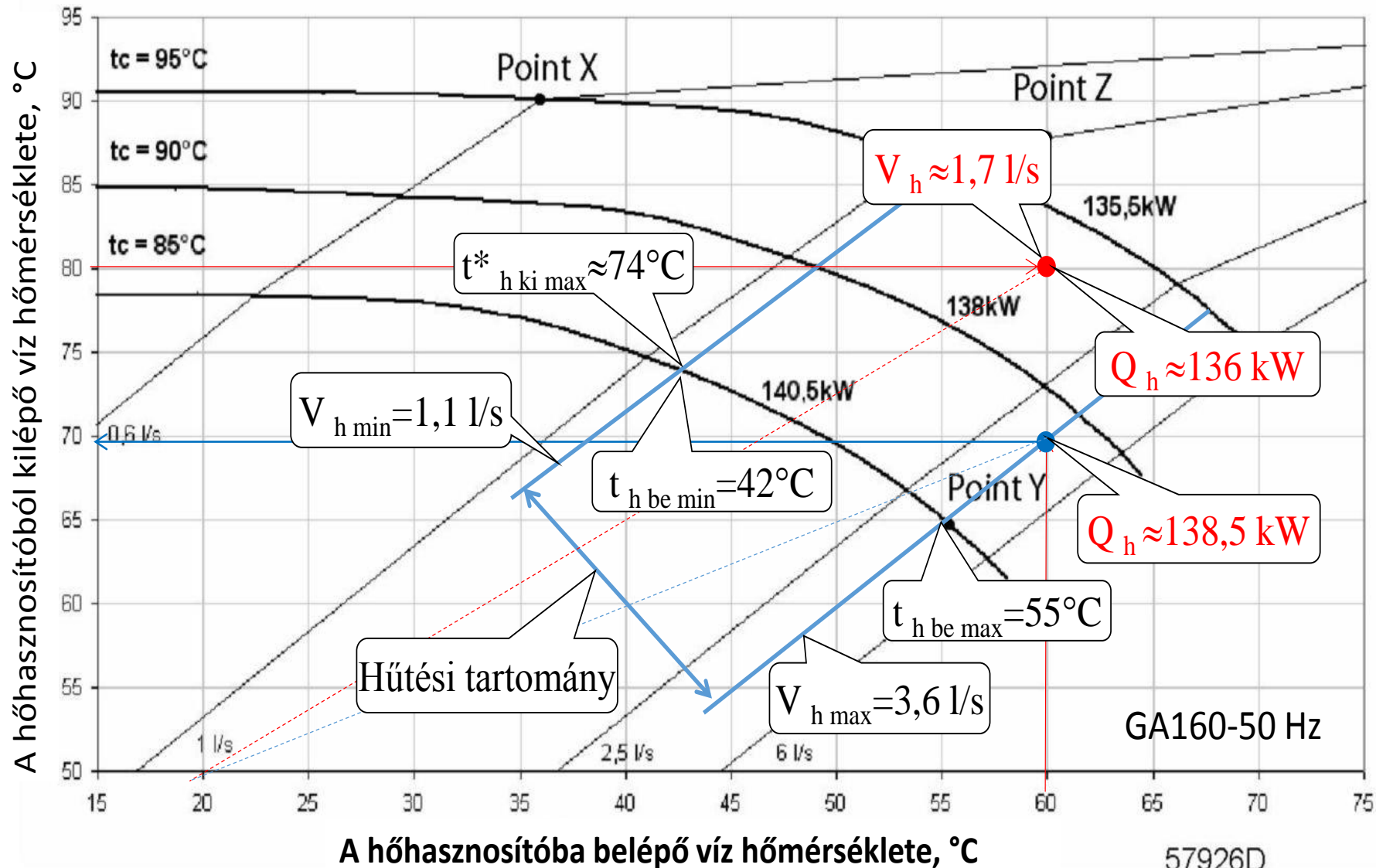
- Melegítés folyamatos, kompresszor üzemmel párhuzamos
- Ingadozások kielégítése a rendszerhez illesztett tárolókból

Két alapeset: $Q_h \geq Q_{HMV}$ és $Q_h < Q_{HMV}$

- Az energiamegtakarítás meghatározásának referencia ideje t_{mr} munkanap
- Az elérhető megtakarítás:
 - $Q_m^1 = 24 Q_{HMV} \cdot \tau_{mr}$, kWh/év, ha $Q_h \geq Q_{HMV}$
 - $Q_m^2 = 24 Q_h \cdot \tau_{mr}$, kWh/év, ha $Q_h < Q_{HMV}$

Hulladékhő hasznosítás - Fűtés 1.

1. eset: $Q_h \leq 0,25 \cdot Q_{fm}$ Ekkor : $Q_{h\acute{e}v}$ kWh / év = Q_h kW 180 nap/év · 24 h/nap



Hulladékhő hasznosítás - Fűtés 2.

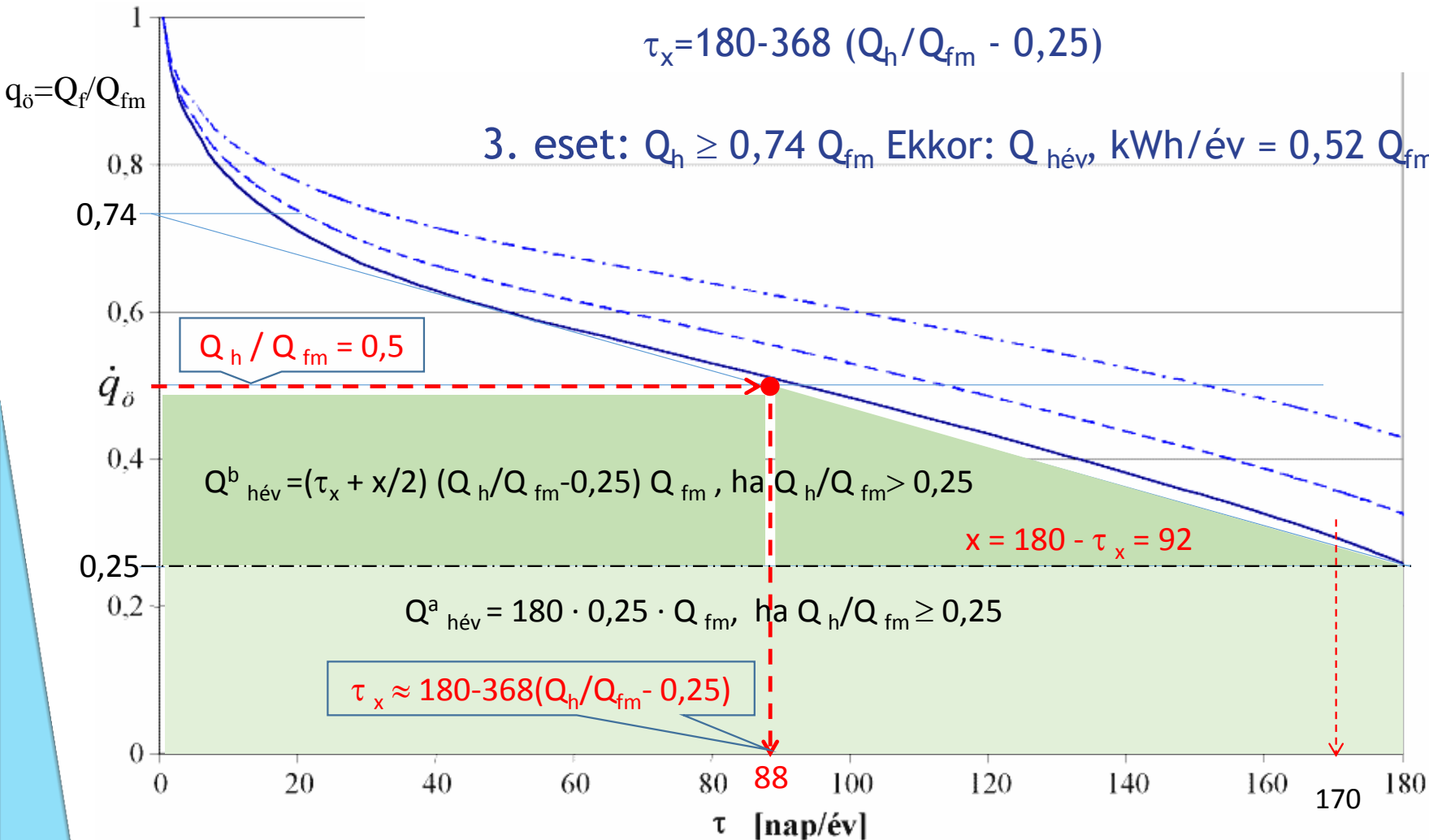
2. eset: $0,25 Q_{fm} < Q_h < 0,74 Q_{fm}$ Ekkor: $Q_{hév}^a$, kWh/év = $0,25 \cdot Q_{fm}$, kW · 180 nap/év · 24 h/nap

$Q_{hév}^b$, kWh/év = $(\tau_x, \text{nap/év} + x/2 \text{ nap/év}) (Q_h/Q_{fm} - 0,25) \cdot Q_{fm}$, kW · 24h/nap

$$\tau_x = 180 - 368 (Q_h/Q_{fm} - 0,25)$$

$$Q_{hév} = Q_{hév}^a + Q_{hév}^b$$

3. eset: $Q_h \geq 0,74 Q_{fm}$ Ekkor: $Q_{hév}$, kWh/év = $0,52 Q_{fm}$, kW · 180 nap/év · 24 h/nap



KLENNEN'21

Mátrafüred, 2021. május 26-27.

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

Dr. Zsebik Albin

okl. gépészmérnök, zsebik@jomuti.hu