



SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
SZEGEDI ÉLELMISZERIPARI FŐISKOLAI KAR

Prof. Dr. Szabó Gábor - Péter Szabó István:

ALKALMAZOTT MŰSZAKI HŐTAN

Szeged, 2003.

A jegyzet és a kapcsolódó Powerpoint prezentációk bármilyen megváltoztatásához, átalakításához, egyes részeinek vagy a teljes anyagnak más dokumentációkban való felhasználásához a szerzők előzetes, írásos engedélye szükséges.

Az alkalmazott animációk a Powerpoint 2002-es verziójában működnek, mely az Office XP szoftvercsomag része.

Ezen változat az Oktatási Minisztérium OM KFP 48/2002-2003 programfejlesztési pályázatának támogatásával készült.
2005.02.14. változat

Tartalomjegyzék

1. A TERMODINAMIKA ALAPJAI. ÁLLAPOTJELZŐK, ÁLLAPOTEGYENLETEK, ÁLLAPOTVÁLTOZÁSI DIAGRAMOK. A TERMODINAMIKA FŐTÉTELEI. IDEÁLIS GÁZELEGYEK	1–1
1.1. TERMODINAMIKAI RENDSZER	1–1
1.2. A RENDSZER TERMODINAMIKAI ÉS KALORIKUS ÁLLAPOTJELZŐI	1–2
1.3. A FAJLAGOS MUNKA, ÉS A FAJLAGOS HŐ	1–4
1.4. IDEÁLIS GÁZOK ÁLLAPOTFÜGGVÉNYEI	1–6
1.5. A TERMODINAMIKAI RENDSZER ENERGIATARTALMA	1–7
1.5.1. A termodinamika főtételei	1–7
1.6. ÁLLAPOTVÁLTOZÁSI DIAGRAMOK	1–9
1.6.1. $p - v$ állapotváltozási diagram	1–9
1.6.2. $T - s$ állapotváltozási diagram	1–9
2. IDEÁLIS GÁZOK REVERZIBILIS ÁLLAPOTVÁLTOZÁSAI	2–1
2.1. IZOTERM ÁLLAPOTVÁLTOZÁS, $T = \text{CONST.}$	2–1
2.2. IZOCHOR ÁLLAPOTVÁLTOZÁS, $v = \text{CONST.}$	2–2
2.3. IZOBAR ÁLLAPOTVÁLTOZÁS, $p = \text{CONST.}$	2–3
2.4. ADIABATIKUS ÁLLAPOTVÁLTOZÁS, $s = \text{CONST.}$	2–4
2.5. POLITROPIKUS ÁLLAPOTVÁLTOZÁS	2–5
3. AKTÍV ENERGIATRANSZPORT	3–1
3.1. ELEMI KÖRFOLYAMAT-PÁROK VIZSGÁLATA	3–1
3.2. TETSZŐLEGES KÖRFOLYAMAT	3–3
3.3. CARNOT KÖRFOLYAMAT	3–4
3.4. MUNKÁT ADÓ TECHNIKAI KÖRFOLYAMATOK	3–5
3.4.1. Belsőégésű motorok körfolyamatai	3–5
3.4.2. Gázturbína körfolyamatok	3–13
3.4.3. Kompresszorok körfolyamata	3–14
4. TÖBBFÁZISÚ RENDSZEREK TERMODINAMIKAI ALAPJAI	4–1
4.1. TÖBBFÁZISÚ RENDSZEREK ÁLLAPOTJELZŐI	4–1
4.2. A VÍZGŐZ $p - v$, $T - s$, $h - s$ FÁZISVÁLTOZÁSI DIAGRAMJAI	4–4
4.3. GŐZTÁBLÁZATOK	4–8
4.4. A VÍZGŐZ ÁLLAPOTVÁLTOZÁSAI, GÁZOK ÉS GŐZÖK KIÖMLÉSÉNEK TERMODINAMIKÁJA	4–17
4.4.1. Izoterm – izobar állapotváltozás, $p = \text{const.}$, $T = \text{const.}$	4–17
4.4.2. Izobar állapotváltozás, $p = \text{const.}$	4–18
4.4.3. Izochor állapotváltozás, $v = \text{const.}$	4–19
4.4.4. Izoterm állapotváltozás, $T = \text{const.}$	4–20

4.4.5.	<i>Adiabatikus állapotváltozás, $s = \text{const.}$</i>	4–21
4.4.6.	<i>Fojtásos állapotváltozás, $h = \text{const.}$</i>	4–21
5.	A GŐZGÉPEK TERMODINAMIKÁJA	5–1
5.1.	RANKINE-CLAUSIUS KÖRFOLYAMAT	5–1
5.1.1.	<i>A körfolyamat energiamérlege</i>	5–3
5.1.2.	<i>A körfolyamat hatásfokát befolyásoló tényezők</i>	5–4
5.2.	GÁZOK ÉS GÖZÖK KIÖMLÉSÉNEK TERMODINAMIKÁJA	5–6
5.3.	GÖZFEJLESZTŐ BERENDEZÉSEK	5–10
5.3.1.	<i>Természetes és mesterséges vízcirkulációjú kazánberendezések</i>	5–11
5.3.2.	<i>A kazánhatásfok meghatározása direkt és indirekt módszerrel</i>	5–18
6.	PASSZÍV ENERGIATRANSZPORT	6–1
6.1.	EGYSZERŰ HŐÁTMENET	6–1
6.1.1.	<i>Hővezetés</i>	6–1
6.1.2.	<i>Hőátadás</i>	6–2
6.1.3.	<i>Hősugárzás</i>	6–2
6.2.	ÖSSZETETT HŐÁTVITEL	6–6
6.2.1.	<i>Hőátszármaztatás</i>	6–6
6.3.	A HŐVEZETÉS FOURIER – FÉLE DIFFERENCIÁLEGYENLETE	6–7
6.3.1.	<i>A stacioner hővezetés esetei</i>	6–8
6.4.	A KONVEKTÍV HŐÁTVITEL FOURIER-KIRCHOFF-FÉLE DIFFERENCIÁL EGYENLETE	6–11
7.	A HŰTÉS FOGALOMRENDSZERE. A KOMPRESSZOROS ÉS ABSZORPCIÓS HŰTÉS ELVE	7–1
7.1.	A HŰTÉS FOGALOMRENDSZERE	7–1
7.1.1.	<i>A kompresszoros hűtőberendezés</i>	7–2
7.1.2.	<i>Az abszorpciós hűtőberendezés</i>	7–2
7.1.3.	<i>A hűtőközegek tulajdonságai</i>	7–6
7.1.4.	<i>A hűtőközegek $l_{gp} - h$ fázisváltási diagramjai</i>	7–8
7.2.	EGYFOKOZATÚ KOMPRESSZOROS HŰTŐKÖRFOLYAMATOK	7–12
7.3.	TÖBBFOKOZATÚ KOMPRESSZOROS HŰTŐKÖRFOLYAMATOK	7–14
7.4.	KASZKÁD HŰTŐGÉPEK	7–19
7.5.	TURBÓLÉGHŰTŐK	7–19
7.6.	A HŰTŐKÖRFOLYAMATOK ENERGIAMÉRLEGE	7–19
7.7.	A HŰTŐKÖRFOLYAMATOK TERMIKUS MÉRETEZÉSE	7–21
8.	HŰTŐBERENDEZÉSEK GÉPEI, KÉSZÜLÉKEI	8–1
8.1.	HŰTŐKOMPRESSZOROK	8–1
8.1.1.	<i>Lengődugattyús hűtőkompresszorok</i>	8–1
8.1.2.	<i>Forgódugattyús kompresszorok</i>	8–5
8.1.3.	<i>Csavarkompresszorok</i>	8–6

8.1.4.	<i>Centrifugális vagy turbókompresszorok</i>	8–7
8.2.	HŰTŐKÖZEG SZIVATTYÚ	8–9
8.3.	ELPÁROLOGTATÓ SZERKEZETEK	8–9
8.3.1.	<i>Az elpárologtatók termikus méretezésének alapjai</i>	8–13
8.4.	KONDENZÁTOROK	8–13
8.4.1.	<i>A kondenzátorok termikus méretezésének alapjai</i>	8–18
8.5.	FOLYADÉKLEVÁLASZTÓK, FOLYADÉKGYŰJTŐK, OLAJLEVÁLASZTÓK, LÉGTELENÍTŐK	8–20
9.	A HŰTŐBERENDEZÉSEK ENERGETIKÁJA	9–1
9.1.	A HŰTŐBERENDEZÉSEK STACIONER ÜZEME	9–1
9.2.	A KONDENZÁTOR HŐ HASZNOSÍTÁSA	9–3
9.3.	NAPENERGIA HASZNOSÍTÁS	9–4
9.4.	A HŰTŐBERENDEZÉSEK AUTOMATIKÁJA	9–5
9.4.1.	<i>Az elpárologtatók szabályozása</i>	9–5
9.4.2.	<i>Kompresszorszabályozás</i>	9–8
9.4.3.	<i>Kondenzátorszabályozás</i>	9–8
10.	A KLIMATIZÁLÁS ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA	10–1
10.1.	A NEDVES LEVEGŐ FÁZISDIAGRAMJAI	10–1
10.2.	A NEDVES LEVEGŐ ÁLLAPOTVÁLTOZÁSAI	10–3
10.3.	IPARI KLÍMÁK HŐ- ÉS NEDVESSÉGTERHELÉSE	10–5
10.3.1.	<i>A klimatizált tér hő- és nedvességterhelésének meghatározása</i>	10–6
11.	AZ ENERGIAGAZDÁLKODÁS FOGALOMRENDSZERE, A FAJLAGOS ENERGIAFELHASZNÁLÁSI MUTATÓK, ENERGIAHÁLÓZATOK MUTATÓSZÁMAI	11–1
12.	ENERGIASZÜKSÉGLET TERVEZÉSE. HULLADÉK ENERGIAGAZDÁLKODÁS	12–1
13.	VILLAMOS ENERGIAGAZDÁLKODÁS, ENERGIAMENEDZSMENT	13–3
14.	FELADATKIÍRÁS, GÁZOK TERMODINAMIKÁJA	14–1
15.	FELADATKIÍRÁS, GŐZÖK TERMODINAMIKÁJA	15–1
16.	FELADATKIÍRÁS AZ ENERGIAMENEDZSMENT TÉMAKÖRÉBŐL	16–1
16.1.	ESETTANULMÁNY 1: MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK LEHETSÉGES HASZNOSÍTÁSA	16–2
16.2.	ESETTANULMÁNY 2: RADIOAKTIVITÁS A KÖRNYEZETBEN	16–2
17.	JELÖLÉSRENDSZER	17–1
18.	SZAKIRODALOM	18–1

1. A TERMODINAMIKA ALAPJAI. ÁLLAPOTJELZŐK, ÁLLAPOTEGYENLETEK, ÁLLAPOTVÁLTOZÁSI DIAGRAMOK. A TERMODINAMIKA FŐTÉTELEI. IDEÁLIS GÁZELEGYEK

1.1. TERMODINAMIKAI RENDSZER

Az anyagi valóság egy, általunk kiválasztott szempont vagy szempontrendszer szerint elhatárolt része. Az elhatárolás történhet egy valóságos **fallal** vagy egy látszólagos (nem valóságos, képzelt) elhatároló felülettel. A termodinamikai rendszernek a határoló falon kívüli részét **termodinamikai test**nek nevezzük. Az anyagi valóságnak a termodinamikai rendszeren kívüli részét **környezet**nek nevezzük.

A termodinamikai rendszer és a környezet közti **kölcsönhatások** lehetnek:

- mechanikai (munkavégzés),
- termikus (hőáram),
- tömeg (anyagcsere),
- egyéb, a mechanikai kölcsönhatásokkal analóg folyamatok.

Fal:

- merev: meggátolja a mechanikai kölcsönhatást,
- leárnyékoló: meggátolja a külső erők befolyását,
- nem áteresztő vagy félig áteresztő, meggátolja az összes anyag vagy bizonyos anyagok áthatolását,
- diatermikus: lehetővé teszi a termikus kölcsönhatást,
- adiatermikus: megakadályozza a termikus kölcsönhatást.

A termodinamikai rendszerek csoportosítása:

- zárt rendszer: nincs tömeg kölcsönhatás (magára hagyott: nincs semmilyen kölcsönhatás),
- nyitott rendszer: van tömeg kölcsönhatás a rendszer és a környezete közt.

Más csoportosításban:

- homogén rendszer: a tulajdonságok függetlenek a helykoordinátáktól,
- heterogén rendszer: többfázisú rendszerek.

1.2. A RENDSZER TERMODINAMIKAI ÉS KALORIKUS ÁLLAPOTJELZŐI

A fizika különböző ágai definiált, makroszkopikusan mérhető mennyiségek. A rendszer állapotának egyértelmű (egyértékű) függvényei, csak a rendszer pillanatnyi állapotától függenek, és függetlenek a rendszer előző állapotától és az állapotváltozástól, melyen keresztül a rendszer az adott állapotba jutott. Minden állapotjelző makroszkopikus tulajdonság, de nem minden makroszkopikus tulajdonság állapotjelző.

Az állapotjelzők lehetnek: – skalár-,
– vektor-,
– tenzormennyiségek.

Az állapotjelzők lehetnek: – extenzív,
– intenzív mennyiségek.

Extenzív állapotjelzők: a termodinamikai rendszer kiterjedésével arányos állapotjelzők. Összegzendő mennyiségek, a termodinamikai rendszer egyes részeiben mért mennyiségek összegei jellemzőek a teljes rendszerre. Ilyen pl.: a tömeg, az entrópia, az energia, stb.

Intenzív állapotjelzők: kiegyenlítődő állapotjelzők. A termodinamikai rendszer egyes részeiben a teljes rendszerre jellemző mennyiség mérhető. Ilyen pl.: a nyomás, a hőmérséklet, stb.

Fajlagosított extenzív állapotjelzők: két extenzív állapotjelző hányadosa. Ilyen pl.: a sűrűség, a fajtérfogat, stb.

Fázisjellemző mennyiségek: anyagjellemzők, pl. fajhő, köbös hőtágulási együttható, hővezetési tényező, dinamikai viszkozitás.

1. táblázat

Megnevezés	Jelölés	SI mértékegység	Képlet
Fajtérfogat	v	$\frac{m^3}{kg}$	
Termodinamikai hőmérséklet	T	K	
Abszolút nyomás	p	Pa	
Fajlagos belső energia	u	$\frac{J}{kg}$	$u = c_v \cdot T$
Fajlagos entalpia	h	$\frac{J}{kg}$	$h = u + p \cdot v = c_p \cdot T$
Fajlagos entrópia	s	$\frac{J}{kgK}$	$ds = \frac{dq}{T}$

Nem állapotjelző a **fajlagos hőmennyiség** ($q, \frac{J}{kg}$) és a **fajlagos munka** ($w, \frac{J}{kg}$), mivel megváltozásuk nagysága függ az állapotváltozás módjától.

Az entrópia

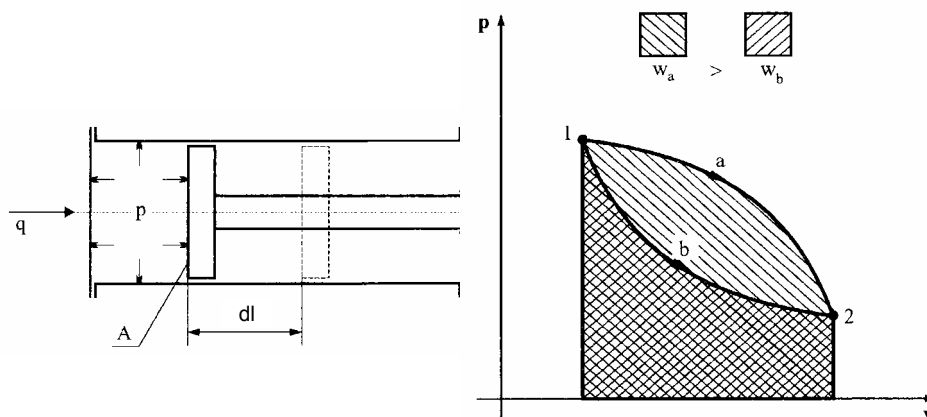
A termodinamikai rendszerekben lezajló állapotváltozások irányának, illetve a folyamatok során fellépő energiaveszteségek számszerű jellemzésére használt mennyiség.

Az entalpia

Izobar állapotváltozás esetén a rendszerrel közölt hő egy része térfogatváltozási munkára fordítódik, ez a műszaki gyakorlat számára nem hasznos munkavégzés. Hogy ezzel ne kelljen számolni, bevezették az entalpiát, ami a rendszer belső energiájának és térfogatváltozási munkájának összege. Így elmondható, hogy izobar állapotváltozás esetén a közölt hő teljes egészében az entalpia növelésére fordítódik.

1.3. A FAJLAGOS MUNKA, ÉS A FAJLAGOS HŐ

Belső energia: a rendszer mikroszkopikus építőelemeinek tömegközéppontra vonatkoztatott kinetikus és potenciális energiájának összege. Extenzív állapotjelző. Nullapontja általában önkényesen megválasztható. Egy test teljes energiája a makroszkopikus mozgásból származó mozgási energia, a potenciális energia, valamint a belső energia összegeként határozható meg.



1. ábra

Munka: az erő és az elmozdulásvektor skaláris szorzata: $dW = F \cdot dl = pA \cdot dl = pdV$

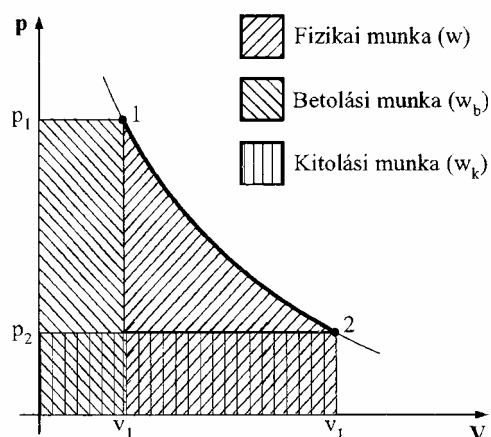
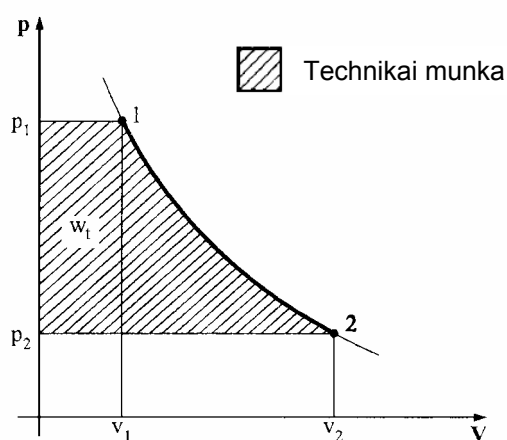
A munka a rendszer határfelületén fellépő energiatranszport-mennyiség, melyet a kölcsönhatáshoz tartózkodó és a hőmérséklettől különböző intenzív állapotjelzők inhomogenitása hoz létre.

A fizikai és a technikai munka

A fizikai munka magában foglal mindenfajta, a rendszeren, illetve a rendszer által végzett munkát. Ez lehet kémiai, elektromos, mágneses, stb. munka, valamint lehet térfogati munka:

$$\delta w_{\text{térf}} = p dv$$

A rendszer által végzett (expanzió) munka



2. ábra

pozitív, a rendszeren végzett (kompresszió) munka negatív előjelű.

Nyitott rendszer esetén a fizikai munkán kívül számolnunk kell a belépési és a kilépési munkával is. Ezen három munka algebrai összegeként adódik a technikai munka:

$$\delta w_t = -vdp$$

Zárt rendszer esetén fizikai, nyitott rendszer esetén a technikai munka a meghatározó. Az állapotváltozást p-v diagramban ábrázolva annak fizikai munkája egyenesen arányos az állapotváltozás görbéje alatti területtel, technikai munkája a görbe melletti területtel.

A hő: a rendszer határfelületén fellépő, tömeg-kölcsönhatás nélküli energiatranszport-mennyiség, melyet a hőmérséklet-eloszlás inhomogenitása indukál. Nem állapotjelző, és nem azonosítható a rendszerben tárolt energiával. A hő átlépve a rendszer határát a rendszert alkotó elemi részek (atomok, molekulák, szubatomi részecskék) potenciális és/vagy kinetikus energiáját növeli, vagy éppen az említett energiák csökkenése a forrása annak a hőnek, mely a rendszerből kilép. Annak a hőnek az előjelét tekintjük pozitívnak, amely az adott rendszer felé áramlik és negatívnak a rendszerből távozót. Az adott rendszerrel kapcsolatos összes hő jelölésére a Q -t használjuk, a tömegegységre fajlagosított mennyiségét q -val jelöljük, a szokásos nagybetű-kisbetű használatnak megfelelően.

A munka és a hő közös tulajdonságai:

1. Mind a munka, mind pedig a hő a rendszer határfelületén fellépő, a rendszer és környezete közötti **kölcsönhatáshoz tartozó** jellemző.
2. Mindkettő a termodinamikai rendszer két állapota közötti **átmenetet (tranzienst) jellemzi** és nem a rendszert.
3. Mindkettő az átmeneti folyamathoz tartozó jellemző, azaz **folyamatjellemzők** és nem állapotjelzői a rendszernek.
4. Mindkettő függvénye az állapotváltozás módjának, azaz **útfüggők**, ebből következően nem állapotjelzői a rendszernek.

Fajhő: az a hőmennyiség, ami egységnyi tömegű közeg hőmérsékletének 1K-nel történő emeléséhez szükséges. A folyamat jellegétől függően megkülönböztetünk:

- izobar: c_p
- izochor: c_v fajhőt.

$$[c] = \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Egységnyi térfogatra vonatkoztatva:

$$[c] = \frac{kJ}{m^3 \cdot K}$$

Az állandó térfogaton történő melegítés kevesebb hőt igényel, mivel a közeg ekkor nem végez térfogatváltozási munkát, ezért a közölt hő teljes egészében a belső energia növelésére fordítódik:

$$c_v < c_p$$

A fajhő függ a hőmérséklettől. Az adott $t_1 - t_2$ hőközön számított közepes fajhő:

$$c|_{t_1}^{t_2} = \frac{c|_0^{t_2} \cdot t_2 - c|_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1}$$

$c|_0^{t_2}$ – a közeg közepes fajhője a $0^\circ\text{C} - t_2$ tartományon, táblázatból vett érték

$c|_0^{t_1}$ – a közeg közepes fajhője a $0^\circ\text{C} - t_1$ tartományon, táblázatból vett érték

1.4. IDEÁLIS GÁZOK ÁLLAPOTFÜGGVÉNYEI

Egyesített gáztörvény (Clapeyron – egyenlet)

$$\frac{p_1 \cdot v_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot v_2}{T_2} = \text{const.} = R$$

$$p \cdot v = R \cdot T$$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

R – specifikus gázállandó, $[R] = \frac{J}{kgK}$

$$R = c_p - c_v$$

A gázállandó az a munkamennyiség, amelyet egységnyi tömegű gáz végez izobar állapotváltozás során, 1K hőmérséklet-változás alatt.

$$\left. \begin{aligned} p \cdot (v_2 - v_1) \\ p \cdot v_1 = R \cdot T_1 \\ p \cdot v_2 = R \cdot T_2 \end{aligned} \right\} -$$

$$R = \frac{p \cdot (v_2 - v_1)}{T_2 - T_1}$$

R_0 – univerzális gázállandó

M – móltömeg

V_M – móltérfogat

$$R_0 = 8,314 \frac{kJ}{kmol \cdot K}$$

$$R = \frac{R_0}{M}$$

Boyle – Mariotte törvény

$$T = const.$$

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 = const.$$

Gay – Lussac I.

$$v = const.$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} = const.$$

Gay – Lussac II.

$$p = const.$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = const.$$

1.5. A TERMODINAMIKAI RENDSZER ENERGIATARTALMA

► 1.5.1. A termodinamika főtételei

0. főtétele:

Egymással kölcsönhatásban lévő rendszereknek egyensúlyban annyi intenzív állapotjelzőjük van közös számértékkel, ahánnyal a rendszereket elválasztó fal átjárható.

I. főtétele:

Energia nem keletkezhet, és nem semmisülhet meg, csak átalakulhat egyik formából egy másik formába. A rendszerrel közölt hőmennyiség egyik része növeli a rendszer belső energiáját, másik része munkává fordítható.

$$Q = U + W$$

I. főtétele, zárt rendszerekre

$$\delta q = du + \delta w$$

$$\delta q = c_v \cdot dT + p \cdot dv$$

δq – az állapotváltozás elemi kis szakaszához tartozó fajlagos hőmennyiség (nem a fajlagos hőmennyiség elemi kis megváltozása)

du – a fajlagos **belső energia** elemi kis megváltozása

δw – az állapotváltozás elemi kis szakaszának fajlagos **fizikai munkája** (nem a fajlagos fizikai munka elemi kis megváltozása)

Kis d helyett δ -t használunk azon változók jelölésére, amelyek nem teljes differenciálok.

I. főtétele, nyitott rendszerekre

$$\delta q = dh + \delta w_t$$

$$\delta q = c_p \cdot dT - v \cdot dp$$

dh – a fajlagos **entalpia** elemi kis megváltozása

δw_t – az állapotváltozás elemi kis szakaszának fajlagos **technikai munkája**

Az I. főtétele mindkét alakja felírható zárt, illetve nyitott rendszerre, de zárt rendszerre az első, nyitott rendszerre a második alak a meghatározó.

II. főtétele

Clausius: a hő magától sem közvetve, sem közvetlenül nem áramlik az alacsonyabb hőmérsékletű helyről a magasabb hőmérsékletű helyre.

Nem lehetséges olyan gép szerkesztése, amely folyamatos működésű, és működése során nem történik más, mint egy súly felemelése és egy hőtartály lehűlése.

III. főtétele

Nem lehetséges véges számú lépésben egy termodinamikai rendszer hőmérsékletét az abszolút nulla értékre csökkenteni.

1.6. ÁLLAPOTVÁLTOZÁSI DIAGRAMOK

1.6.1. $p - v$ állapotváltozási diagram

$p - v$ diagramban a függőleges tengelyen a nyomás, a vízszintes tengelyen a fajtérfogat van felvéve. *A görbe alatti terület arányos az állapotváltozás során végzett fizikai munka nagyságával*, a görbe melletti terület a technikai munkával.

1.6.2. $T - s$ állapotváltozási diagram

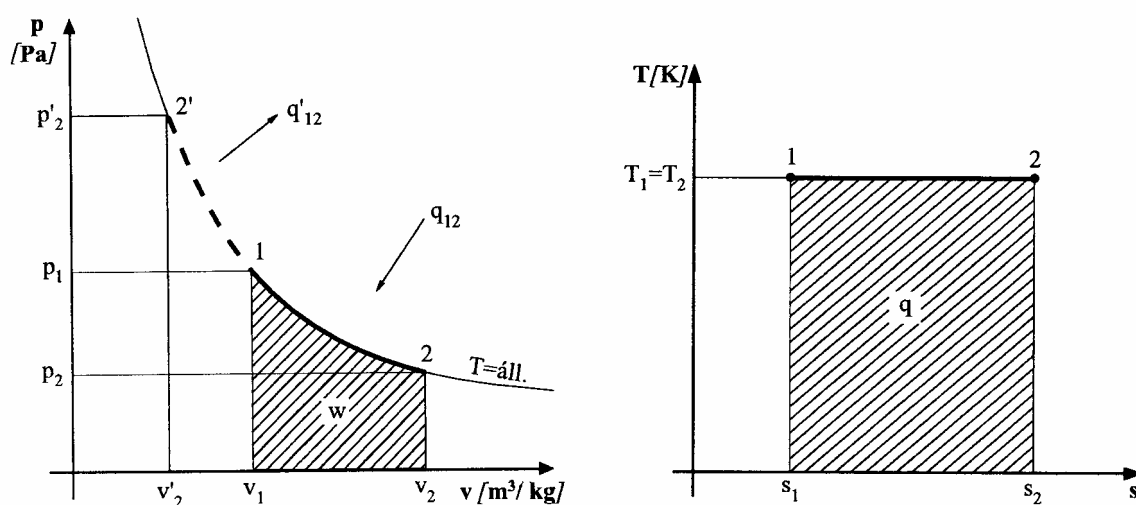
$T - s$ diagramban a függőleges tengelyen a hőmérséklet, a vízszintes tengelyen az entrópia van felvéve. *A görbe alatti terület az állapotváltozás során közölt vagy elvont hőmennyiséggel arányos.* Az entrópia vonatkoztatási pontja, tehát az $s = 0$ állapot tetszőleges lehet, így a $T - s$ diagram origója vízszintes irányban eltolható.

2. IDEÁLIS GÁZOK REVERZIBILIS ÁLLAPOTVÁLTOZÁSAI

Az állapotváltozásokat $p - v$ és $T - s$ diagramokban ábrázoljuk. $p - v$ diagramban a görbe alatti terület arányos az állapotváltozás során végzett fizikai munka nagyságával, a görbe melletti terület a technikai munkával. $T - s$ diagramban a görbe alatti terület az állapotváltozás során közölt vagy elvont hőmennyiséggel arányos.

2.1. IZOTERM ÁLLAPOTVÁLTOZÁS, $T = \text{const.}$

$$T = \text{const.} \rightarrow p \cdot v = \text{const.}$$



3. ábra

Izotermikus kompressziónál (az ábrán 1-2' állapotváltozás) hőt kell elvonni, expánziónál (az ábrán 1-2 állapotváltozás) hőt kell közölni.

$$\delta q = du + \delta w$$

$$\delta q = c_v \cdot dT + p \cdot dv$$

$$dT = 0 \rightarrow \delta q_T = p \cdot dv$$

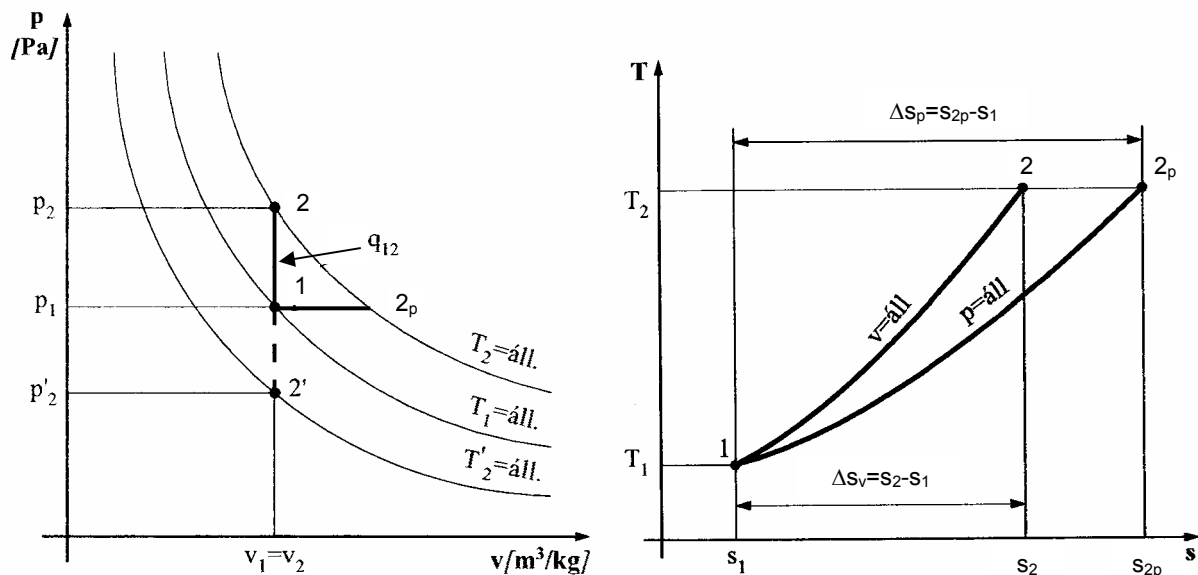
Izoterm kompressziónál az összes befektetett munka hővé, izoterm expánziónál az összes közölt hő munkává alakul.

Izoterm folyamatoknál a technikai és a fizikai munka egyenlő.

$$q_{12} = w_{12} = w_{t12} = R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = T \cdot (s_2 - s_1)$$

2.2. IZOCHOR ÁLLAPOTVÁLTOZÁS, $v = \text{const.}$

$$v = \text{const.} \rightarrow \frac{p}{T} = \text{const.}$$



4. ábra

$$\delta q = du + \delta w$$

$$\delta q = c_v \cdot dT + p \cdot dv$$

$$dv = 0 \rightarrow \delta q_v = du = c_v \cdot dT$$

Fizikai munkavégzés nincs: $\delta w = p \cdot dv = 0$. A közeg technikai munkája:

$$w_t = -v \int_{p_1}^{p_2} dp = -v \Delta p_{12} = v(p_1 - p_2)$$

Zárt rendszer izochor állapotváltozása esetén a közölt hő csak a belső energia növelésére fordítódik, nyitott rendszer esetén nő a közeg entalpiája is:

$$h_2 - h_1 = u_2 - u_1 - v(p_2 - p_1) = q - w_t$$

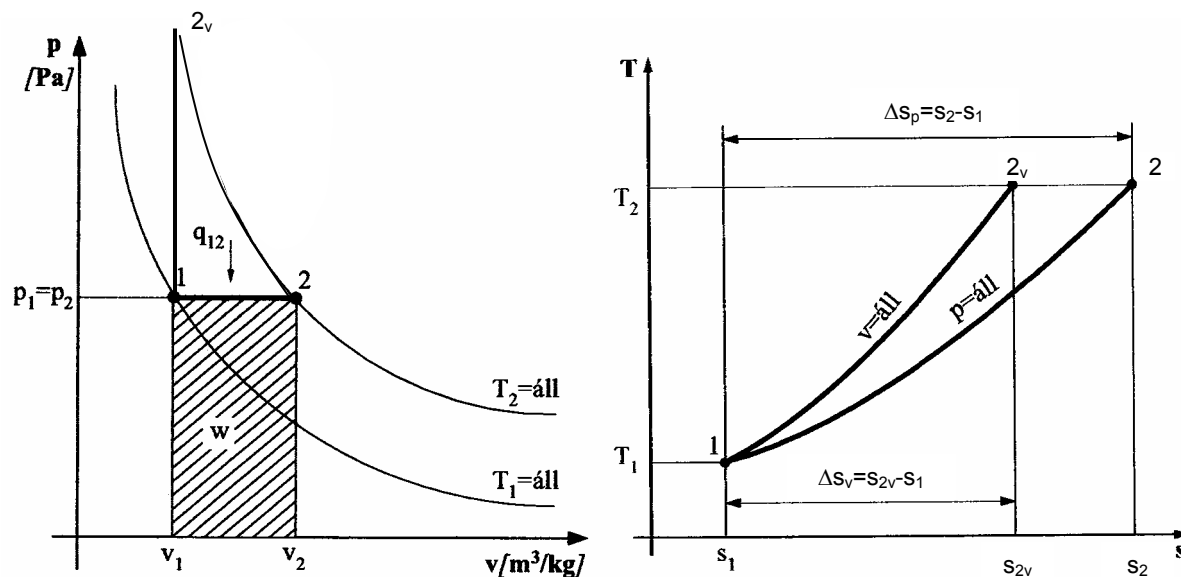
Az entrópia változása:

$$ds = c_v \frac{1}{T} dT$$

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 ds = \int_1^2 c_v \frac{1}{T} dT = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

2.3. IZOBAR ÁLLAPOTVÁLTOZÁS, $p = \text{const.}$

$$p = \text{const.} \rightarrow \frac{v}{T} = \text{const.}$$



5. ábra

$$\delta q = du + \delta w$$

$$\delta q = c_v \cdot dT + p \cdot dv = c_p \cdot dT = dh$$

Az állapotváltozás fizikai és technikai munkája:

$$w = p(v_2 - v_1)$$

$$w_t = 0$$

Az entrópiafüggvény:

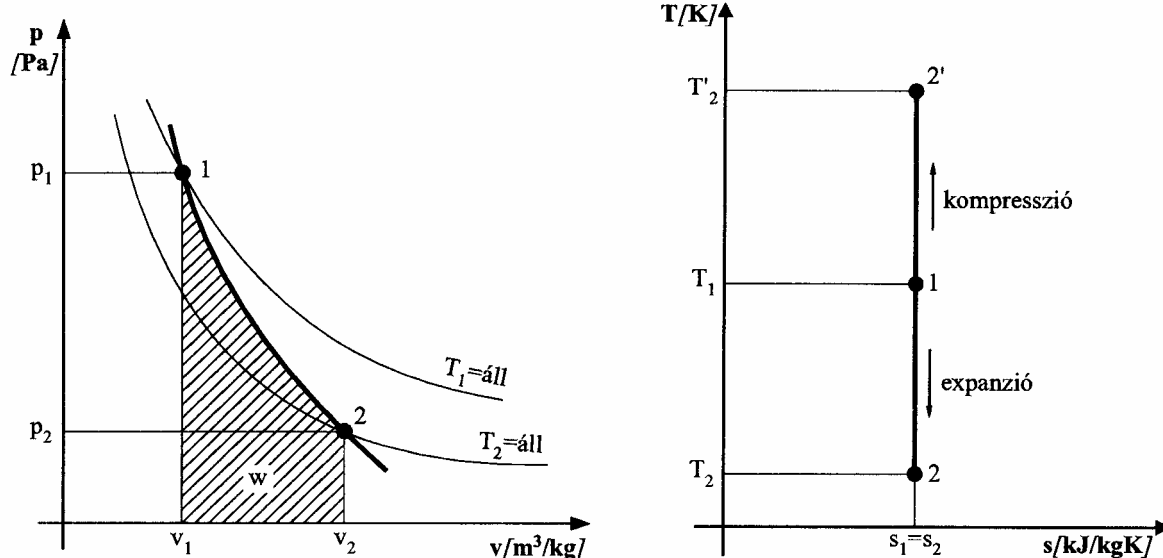
$$ds = \frac{dq}{T} = c_p \frac{dT}{T}$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

2.4. ADIABATIKUS ÁLLAPOTVÁLTOZÁS, $s = \text{const.}$

Az állapotváltozás során a rendszer és a környezete közt nincs hőcsere. Ez kétféleképp valósítható meg:

- tökéletesen elszigetelt rendszerrel,
- gyorsan végbemenő állapotváltozással.



6. ábra

$$\delta q = 0 = du + \delta w$$

$$\delta w = -du = -c_v dT$$

$$w = -\Delta u = -c_v \Delta T = c_v (T_1 - T_2)$$

Az adiabatikus kitevő:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (\text{Tisztán kétatomos gázokra } \kappa = 1,4)$$

$$pv = RT$$

$$R = c_p - c_v = c_v (\kappa - 1)$$

$$c_v = \frac{R}{\kappa - 1}$$

$$w = \frac{R}{\kappa - 1} (T_1 - T_2) = \frac{1}{\kappa - 1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

Az állapotváltozás technikai munkája az I. főtételek szerint:

$$dw_t = -dh$$

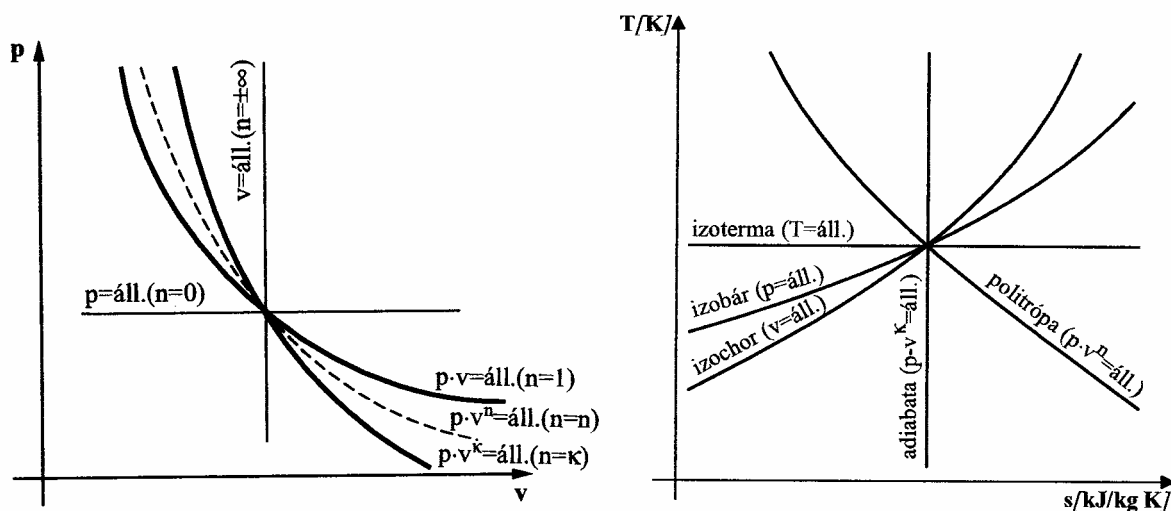
$$w_t = h_1 - h_2$$

A Poisson - egyenlet:

$$p \cdot v^\kappa = \text{const.}$$

2.5. POLITROPIKUS ÁLLAPOTVÁLTOZÁS

A politropikus állapotváltozás egy olyan, általánosított adiabatikus állapotváltozásként fogható fel, melynél van hőcsere a rendszer és a környezet közt. Az állapotváltozás jellegét a hőcsere mértéke határozza meg, ezt a politróp kitevő (n) jellemzi.



7. ábra

$$p \cdot v^n = \text{const.}$$

$$w = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{1}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

$$w_t = \frac{nR}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{n}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

A közölt hőmennyiség:

$$\begin{aligned} q = u_2 - u_1 + w &= c_v (T_2 - T_1) + \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) = \left(c_v - \frac{R}{n-1} \right) (T_2 - T_1) = \left(c_v - \frac{c_v (\kappa - 1)}{n-1} \right) (T_2 - T_1) = \\ &= c_v \frac{n - \kappa}{n-1} (T_2 - T_1) = c_n (T_2 - T_1) \end{aligned}$$

Ahol a $c_n = c_v \frac{n - \kappa}{n-1}$ mennyiség a politropikus fajhő.

A közölt hő és a munka viszonya:

$$\frac{q}{w} = \frac{\kappa - n}{\kappa - 1}$$

Az entrópiafüggvény:

$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{c_n dT}{T}$$

$$s_2 - s_1 = c_n \ln \frac{T_2}{T_1}$$

A politropikus állapotváltozás általánosítása

A politropikus kitevő értéke elméletileg $-\infty < n < \infty$ is lehet, a műszaki gyakorlatban

$1 < n < \kappa$.

2. táblázat

Állapotváltozás	Egyenlet	Változó állapotjelzők	Ható energiafajták	A görbe jellege p – v diagramban	Az általános egyenlet kitevője	A politropikus fajhő
izochor	$v = \text{const.}$	p; T	q; u	p tengellyel párhuzamos	$n = \infty$	$c_n = c_v$
izobar	$p = \text{const.}$	v; T	q; u; w	v tengellyel párhuzamos	$n = 0$	$c_n = c_p$
izotermikus	$pv = \text{const.}$	p; v	q; w	egyenlő szárú hiperbola	$n = 1$	$c_n = \pm\infty$
adiabatikus	$pv^\kappa = \text{const.}$	p; v; T	u; w	hiperbola	$n = \kappa$	$c_n = 0$
politropikus	$pv^n = \text{const.}$	p; v; T	q; u; w	hiperbola	$n = n$	$c_n = c_n$

3. AKTÍV ENERGIATRANSZPORT

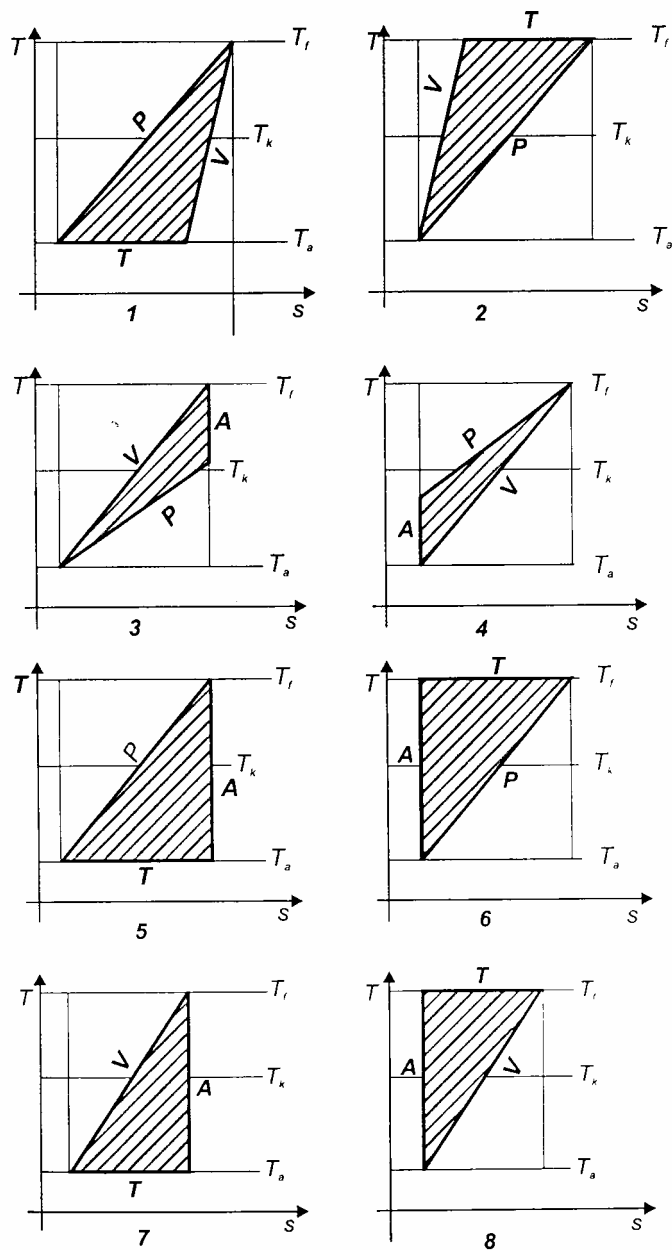
3.1. ELEMI KÖRFOLYAMAT-PÁROK VIZSGÁLATA

Azonos hőmérséklet-határok közt a termodinamikai körfolyamatok közül a legjobb hatásfokot a Carnot-körfolyamat adja. A Carnot-körfolyamat a gyakorlatban megvalósíthatatlan. Mivel az egyes állapotváltozások munkája és a közölt vagy elvont hő függ az állapotváltozás jellegétől, szükséges a megvalósítható körfolyamatok elemzése, mellyel meghatározható a megvalósítandó körfolyamatban az egyes állapotváltozások optimális helye, vagyis a legjobb megvalósítható hatásfokhoz tartozó állapotváltozás-kombináció meghatározása.

A vizsgálat során a következő egyszerűsítéseket tesszük:

- az állapotváltozások képét egyenesként ábrázoljuk,
- 3 egyszerű állapotváltozásból építjük fel a körfolyamatokat,
- a politropikus állapotváltozásokat adiabatikusként közelítjük, a felírt állapotváltozások tehát a körfolyamatokban izochor: V , izobár: P , izoterm: T és adiabatikus: A állapotváltozások szerepelnek.

Az így felírt elemi körfolyamatok $T-s$ diagramja a következő ábrán látható:



8. ábra. Elemi körfolyamat-párok: 1 – PVT, 2 – VTP, 3 – VAP, 4 – APV, 5 – PAT, 6 – ATP, 7 – VAT, 8 – ATV körfolyamat

A négy osztályba sorolható nyolc alapvető elemi erőgépi körfolyamat energetikai összehasonlítása a következő eredményekhez vezet:

$$\eta_{PVT} = \eta_{VAP}$$

$$\eta_{VTP} = \eta_{APT}$$

$$\eta_{PAT} = \eta_{VAT}$$

$$\eta_{ATP} = \eta_{APV}$$

3.2. TETSZŐLEGES KÖRFOLYAMAT

Az olyan termodinamikai folyamatokat, melyeknél a kezdeti és a végállapot jellemzői megegyeznek, körfolyamatoknak nevezzük.

A kapott vagy befektetett munka folyamatfüggő. Ahhoz, hogy a körfolyamat által technikailag hasznosítható munkát kapjunk, a közeget úgy kell visszatérítenünk (kompresszió) a kezdeti termodinamikai állapotba, hogy a visszatérítése kevesebb munkát igényeljen, mint a közeg által a körfolyamat másik szakaszában (expanzió) végzett munka. Ez úgy valósítható meg, hogy az expanszió magasabb hőmérsékleten megy végbe, mint a kompresszió, azaz diagramban ábrázolva a munkát adó körfolyamatok forgásiránya az óramutató járásával megegyező. A kompresszió és expanszió munkák előjelhelyes összege a körfolyamat hasznos munkája.

A körfolyamat megismételhetőségét a műszaki gyakorlatban általában gázcserével érik el. Ezen **valóságos körfolyamatok** nyitott modellnek tekintendők. Az elméleti vagy **ideális körfolyamatok**ban nincs gázcsere, a rendszer zárt.

Az I. főtétel, megfordítható állapotváltozásokkal felépített körfolyamatokra:

$$\oint dQ = \oint dU + \oint dW$$

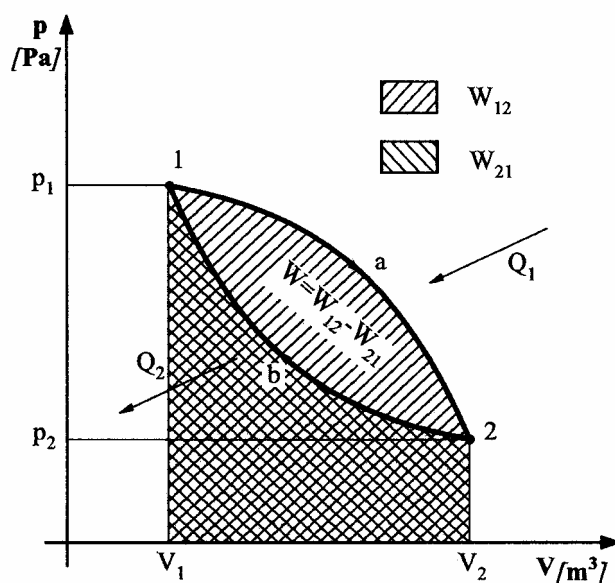
$$\oint dU = 0 \rightarrow \oint dQ = \oint dW$$

A kapott munka a közölt és az elvont hő különbsége (előjelhelyes összege, mivel az elvont hő negatív):

$$W = |Q_{be}| - |Q_{el}| = \sum Q$$

A termodinamika II. főtétele szerint a hő csak bizonyos veszteségek árán alakítható át munkává. A veszteség az elvont hőben nyilvánul meg. A körfolyamat termodinamikai hatásfoka a keletkezett hasznos munka és a bevezetett hőmennyiség hányadosa.

$$\eta_t = \frac{W}{Q_{be}}$$

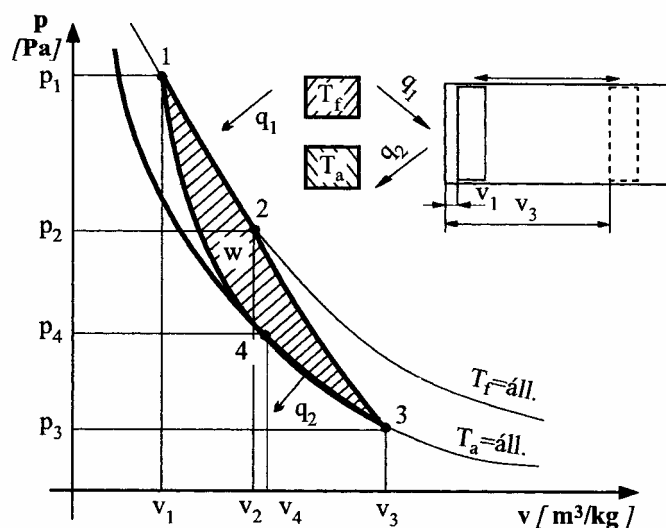


9. ábra

3.3. CARNOT KÖRFOLYAMAT

A körfolyamat állapotváltozásai:

- 1 – 2.: izotermikus expanzió,
- 2 – 3.: adiabatikus expanzió,
- 3 – 4.: izotermikus kompresszió,
- 4 – 1.: adiabatikus kompresszió.



10. ábra

Ha ismert p_1 , p_2 , T_a , T_f , a többi állapotjelző az egyes állapotpontokban a következők szerint határozható meg:

$$T_2 = T_1 = T_f$$

$$v_2 = v_1 \frac{p_1}{p_2} = \frac{RT_2}{p_2}$$

$$T_3 = T_4 = T_a$$

$$v_3 = v_2 \left(\frac{T_2}{T_3} \right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$$

A hőmennyiségek és a munka meghatározása:

$$q_{be} = q_{T1-2} = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$q_{el} = q_{T3-4} = RT_3 \ln \frac{v_4}{v_3} = p_3 v_3 \ln \frac{v_4}{v_3}$$

$$w = \sum q = q_{T1-2} + q_{T3-4}$$

$$p_3 = p_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

$$p_4 = p_1 \left(\frac{T_4}{T_1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

$$v_4 = \frac{p_3 v_3}{p_4}$$

A termodinamikai hatásfok:

$$\eta_t = \frac{w}{q_{be}} = \frac{w}{q_{T1-2}}$$

Speciálisan Carnot-ciklusra:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_a}{T_f}, \text{ vagyis a Carnot – körfolyamat hatásfoka csak az alsó és felső}$$

hőmérséklettől függ. Azonos hőfokhatárok közt a Carnot – körfolyamatnak van a legjobb hatásfoka.

3.4. MUNKÁT ADÓ TECHNIKAI KÖRFOLYAMATOK

3.4.1. Belsőégésű motorok körfolyamatai

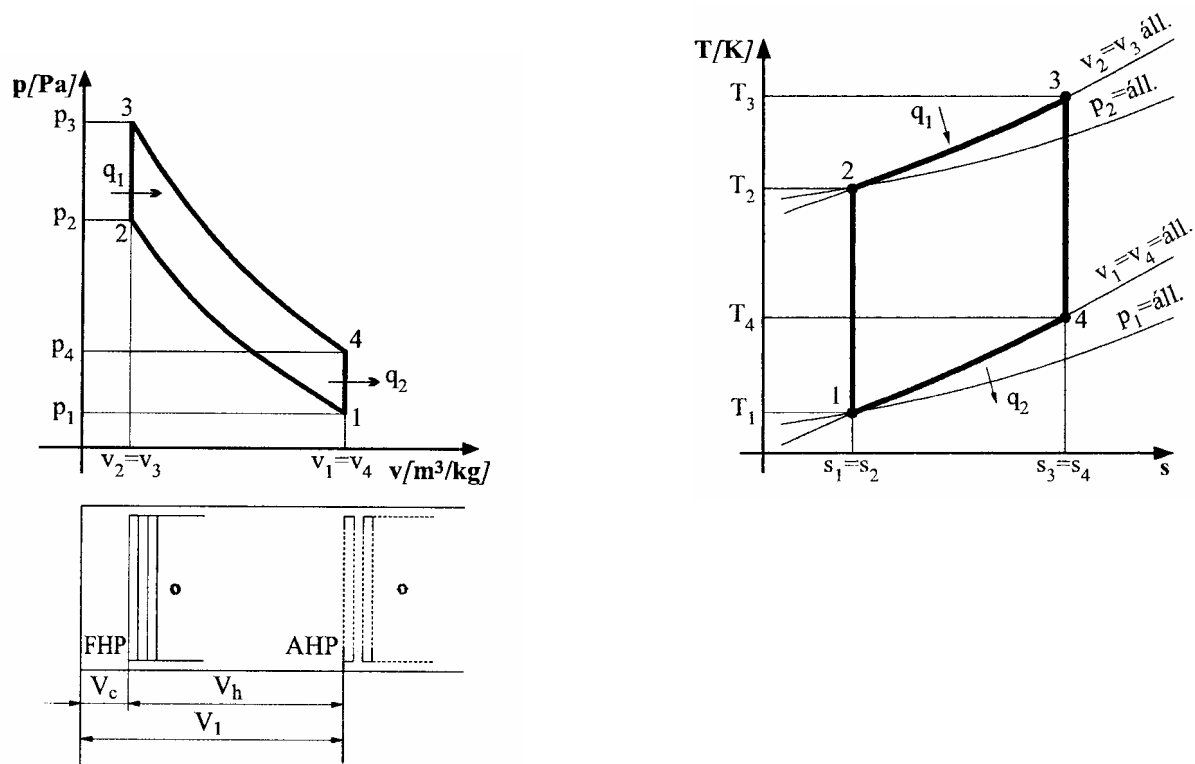
Otto – körfolyamat

1 – 2.: adiabatikus kompresszió

2 – 3.: izochor hőközlés

3 – 4.: adiabatikus expanzió

4 – 1.: izochor hőelvonás



11. ábra

A kompresszióviszony:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_c + V_h}{V_c}$$

A nyomásemelkedési tényező:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

Az állapotpontok meghatározása, ha ismert a munkaközeg, illetve $p_1, \varepsilon, \lambda, V_h, m$:

1–2.:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_1 - V_h} \rightarrow V_1 = \frac{\varepsilon V_h}{\varepsilon - 1}$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$$

$$T_1 = \frac{p_1 v_1}{R}$$

$$p_1 v_1^\kappa = p_2 v_2^\kappa \rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^\kappa = p_1 \varepsilon^\kappa$$

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{R}$$

2–3.:

$$v_2 = v_3$$

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} \rightarrow p_3 = \lambda p_2$$

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \rightarrow T_3 = T_2 \frac{p_3}{p_2}$$

3–4.:

$$v_4 = v_1$$

$$p_3 v_3^\kappa = p_4 v_4^\kappa \rightarrow p_4 = p_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^\kappa = p_3 \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^\kappa = p_3 \varepsilon^{-\kappa}$$

$$T_4 = \frac{p_4 v_4}{R}$$

A közölt és elvont hőmennyiség:

$$q_{be} = q_{v2-3} = c_v (T_3 - T_2)$$

$$q_{el} = q_{v4-1} = c_v (T_1 - T_4)$$

A körfolyamat egy ciklusának munkája:

$$w = \sum q = q_{be} - |q_{el}|$$

Az egyes folyamatok munkája:

$$w_{1-2} = -\Delta u_{12} = u_1 - u_2 = \frac{1}{\kappa - 1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

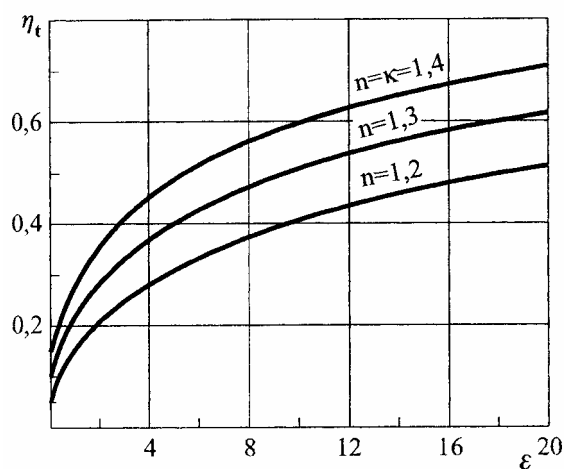
$$w_{2-3} = 0$$

$$w_{3-4} = -\Delta u_{34} = u_3 - u_4 = \frac{1}{\kappa - 1} (p_3 v_3 - p_4 v_4)$$

$$w_{4-1} = 0$$

A körfolyamat termikus hatásfoka:

$$\eta_t = \frac{w}{q_{be}}, \text{ speciálisan Otto-körfolyamatra: } \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$



12. ábra

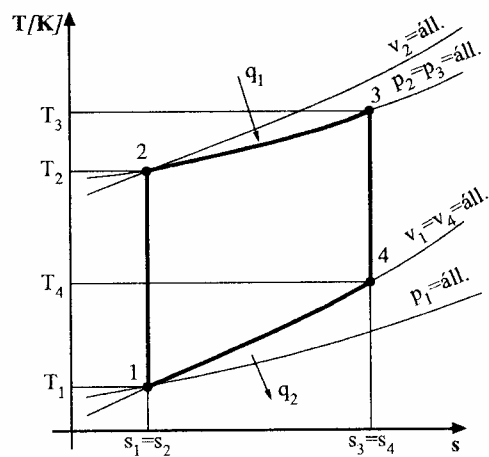
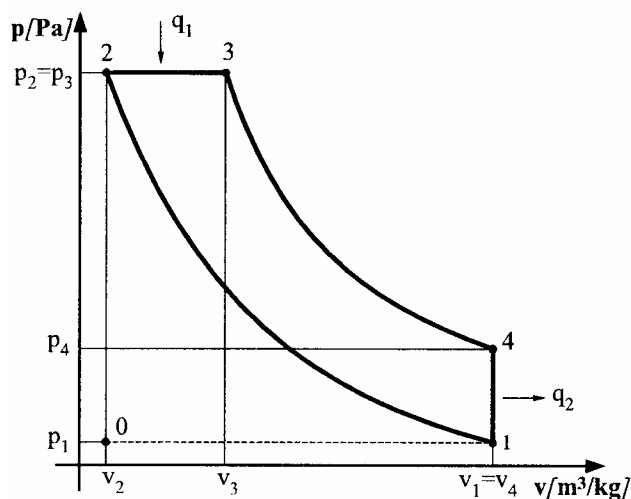
Diesel – körfolyamat

1 – 2.: adiabatikus kompresszió

2 – 3.: izobar hőközlés

3 – 4.: adiabatikus expanzió

4 – 1.: izochor hőelvonás



13. ábra

A kompresszióviszony:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_c + V_h}{V_c}$$

Az előzetes expanzióviszony:

$$\rho = \frac{V_3}{V_2} = \frac{v_3}{v_2}$$

Az utólagos expanzíóviszony:

$$\delta = \frac{V_4}{V_3} = \frac{v_4}{v_3}$$

$$\varepsilon = \rho \delta$$

Az állapotpontok meghatározása, ha ismert a munkaközeg, illetve p_1 , ε , ρ , V_h , m :

1–2.:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_1 - V_h} \rightarrow V_1 = \frac{\varepsilon V_h}{\varepsilon - 1}$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$$

$$T_1 = \frac{p_1 v_1}{R}$$

$$p_1 v_1^\kappa = p_2 v_2^\kappa \rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^\kappa = p_1 \varepsilon^\kappa$$

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{R}$$

2–3.:

$$p_2 = p_3$$

$$\rho = \frac{v_3}{v_2} \rightarrow v_3 = \rho v_2$$

$$\frac{v_2}{T_2} = \frac{v_3}{T_3} \rightarrow T_3 = T_2 \frac{v_3}{v_2}$$

3–4.:

$$v_4 = v_1$$

$$p_3 v_3^\kappa = p_4 v_4^\kappa \rightarrow p_4 = p_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^\kappa = p_3 \delta^{-\kappa}$$

$$T_4 = \frac{p_4 v_4}{R}$$

A közölt és elvont hőmennyiség:

$$q_{be} = q_{p2-3} = c_p (T_3 - T_2)$$

$$q_{el} = q_{v4-1} = c_v (T_1 - T_4)$$

A körfolyamat egy ciklusának munkája:

$$w = \sum q = q_{be} - |q_{el}|$$

Az egyes folyamatok munkája:

$$w_{1-2} = -\Delta u_{12} = u_1 - u_2 = \frac{1}{\kappa - 1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

$$w_{2-3} = p_2 (v_3 - v_2)$$

$$w_{3-4} = -\Delta u_{34} = u_3 - u_4 = \frac{1}{\kappa - 1} (p_3 v_3 - p_4 v_4)$$

$$w_{4-1} = 0$$

A körfolyamat termikus hatásfoka:

$$\eta_t = \frac{w}{q_{be}}, \text{ speciálisan Diesel-körfolyamatra: } \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\rho^{\kappa} - 1}{\kappa(\rho - 1)}$$

Sabathier – körfolyamat (vegyes körfolyamat)

Felépítése az Otto és Diesel körfolyamatok kombinációjaként értelmezhető. A hőközlés részben állandó térfogaton, részben állandó nyomáson történik.

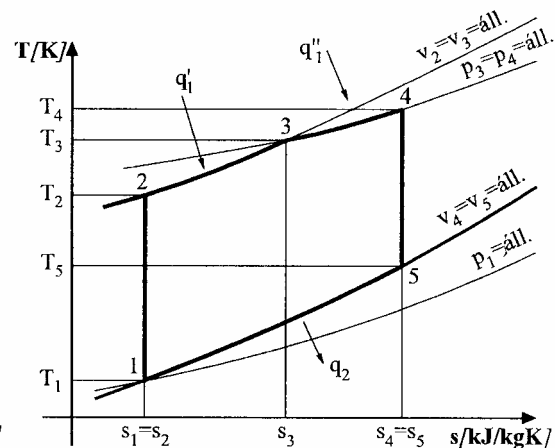
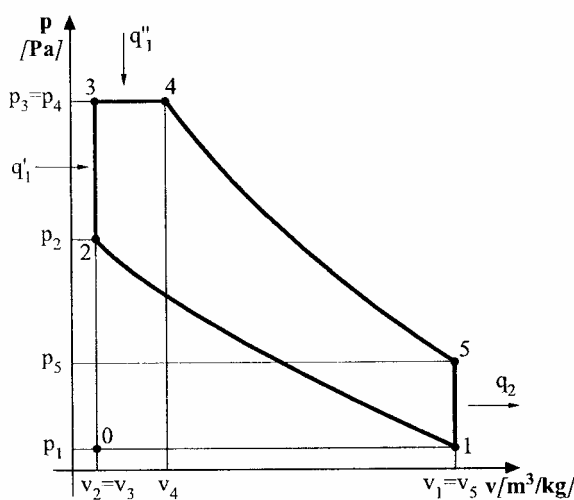
1 – 2.: adiabatikus kompresszió

2 – 3.: izochor hőközlés

3 – 4.: izobar hőközlés

4 – 5.: adiabatikus expanzió

5 – 1.: izochor hőelvonás



14. ábra

A kompresszióviszony:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_c + V_h}{V_c}$$

A nyomásemelkedési tényező:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}$$

Az előzetes expanzióviszony:

$$\rho = \frac{V_4}{V_3} = \frac{v_4}{v_3}$$

Az utólagos expanzióviszony:

$$\delta = \frac{V_5}{V_4} = \frac{v_5}{v_4}$$

$$\varepsilon = \rho \delta$$

Az állapotpontok meghatározása, ha ismert a munkaközeg, illetve p_1 , ε , λ , ρ , V_h , m :

1–2.:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_1 - V_h} \rightarrow V_1 = \frac{\varepsilon V_h}{\varepsilon - 1}$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$$

$$T_1 = \frac{p_1 v_1}{R}$$

$$p_1 v_1^\kappa = p_2 v_2^\kappa \rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^\kappa = p_1 \varepsilon^\kappa$$

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{R}$$

2–3.:

$$v_2 = v_3$$

$$\lambda = \frac{v_3}{v_2} \rightarrow v_3 = \lambda v_2$$

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \rightarrow T_3 = T_2 \frac{p_3}{p_2}$$

3–4.:

$$p_3 = p_4$$

$$\rho = \frac{v_4}{v_3} \rightarrow v_4 = \rho v_3$$

$$\frac{v_3}{T_3} = \frac{v_4}{T_4} \rightarrow T_4 = T_3 \frac{v_4}{v_3}$$

4–5.:

$$v_4 = v_1$$

$$p_4 v_4^\kappa = p_5 v_5^\kappa \rightarrow p_5 = p_4 \left(\frac{v_4}{v_5} \right)^\kappa = p_4 \delta^{-\kappa}$$

$$T_5 = \frac{p_5 v_5}{R}$$

A közölt és elvont hőmennyiség:

$$q_{v2-3} = c_v (T_3 - T_2)$$

$$q_{p3-4} = c_p (T_4 - T_3)$$

$$\sum q_{be} = q_{v2-3} + q_{p3-4}$$

$$q_{el} = q_{v4-1} = c_v (T_1 - T_4)$$

A körfolyamat egy ciklusának munkája:

$$w = \sum q = \sum q_{be} - |q_{el}|$$

Az egyes folyamatok munkája:

$$w_{1-2} = -\Delta u_{12} = u_1 - u_2 = \frac{1}{\kappa - 1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

$$w_{2-3} = 0$$

$$w_{3-4} = p_3 (v_4 - v_3)$$

$$w_{4-5} = -\Delta u_{45} = u_4 - u_5 = \frac{1}{\kappa - 1} (p_4 v_4 - p_5 v_5)$$

$$w_{5-1} = 0$$

A körfolyamat termikus hatásfoka:

$$\eta_t = \frac{w}{\sum q_{be}}, \text{ speciálisan vegyes körfolyamatra: } \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\lambda \rho^\kappa - 1}{\lambda - 1 + \lambda \kappa (\rho - 1)}$$

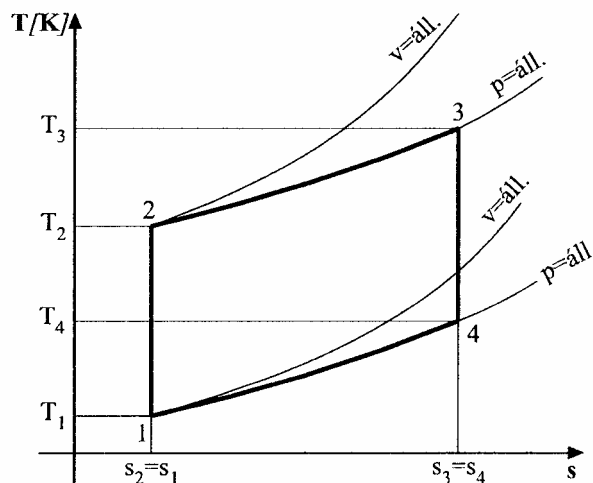
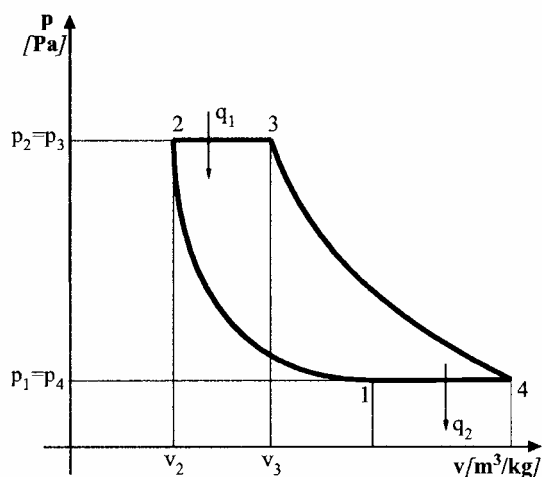
3.4.2. Gázturbina körfolyamatok

Megkülönböztetünk zárt és nyitott ciklusú gázturbinákat.

- Zárt ciklusú: a turbinában mindig ugyanaz a gáz kering.
- Nyitott ciklusú: a munkát végzett gázok a környezetbe távoznak, és a gépbe mindig friss gáz kerül.

Izobar hőbevezetésű Humphrey – körfolyamat

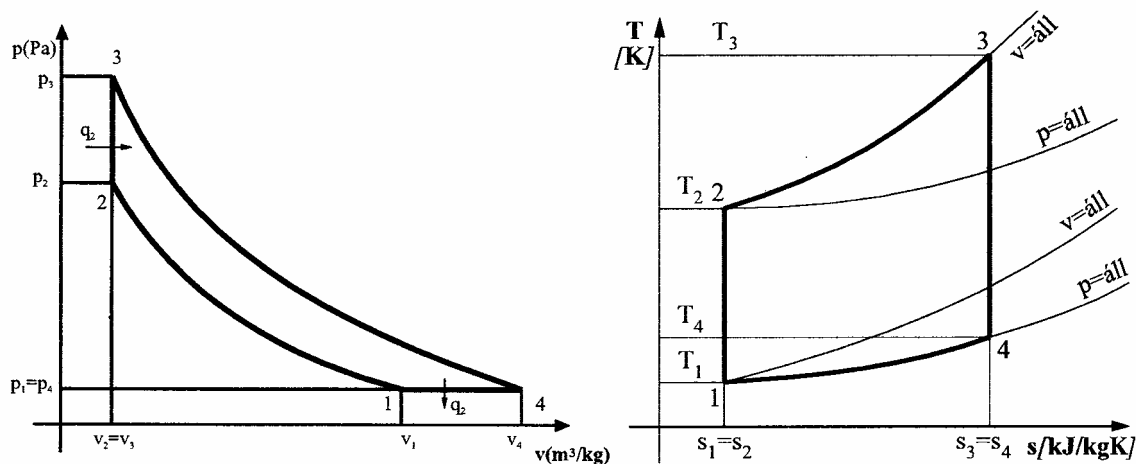
- 1 – 2.: adiabatikus kompresszió
- 2 – 3.: izobar hőközlés
- 3 – 4.: adiabatikus expanzió
- 4 – 1.: izobar hőelvonás



15. ábra

Izochor hőbevezetésű Humphrey – körfolyamat

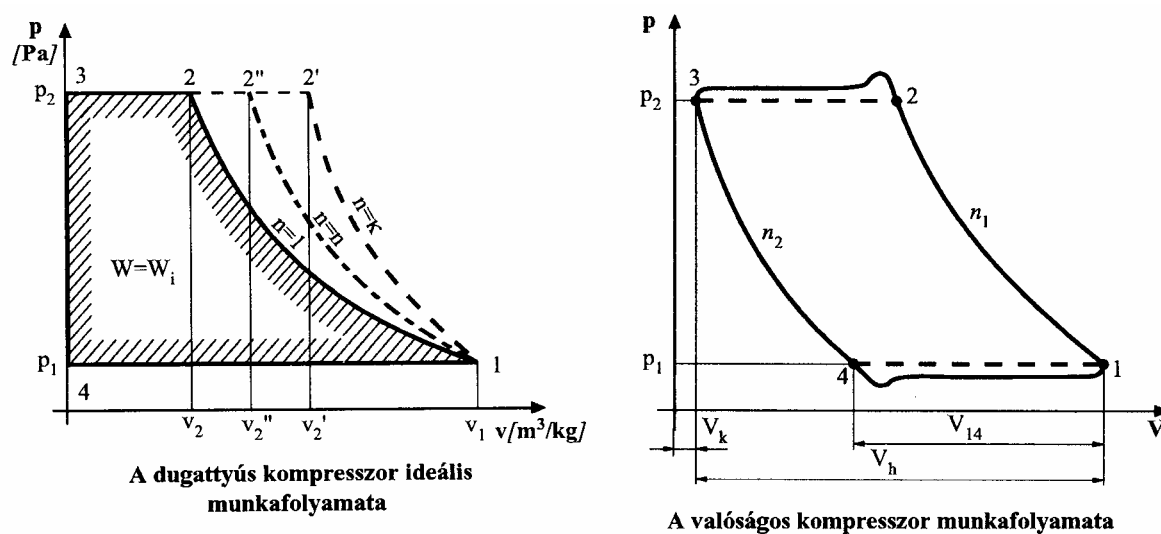
- 1 – 2.: adiabatikus kompresszió
- 2 – 3.: izochor hőközlés
- 3 – 4.: adiabatikus expanzió
- 4 – 1.: izobar hőelvonás



16. ábra

3.4.3. Kompresszorok körfolyamata

A következő ábrán elméleti (káros tér nélküli) és valóságos, dugattyús kompresszor körfolyamata látható:



17. ábra

1 – 2.: sűrítés (adiabatikus vagy politropikus)

2 – 3.: kitolás

3 – 4.: nyomásesés

4 – 1.: szívás

A 3 – 4. és 4 – 1. folyamatok alatt a hengerben a közeg mennyisége változik, ezért ezek nem termodinamikai folyamatok.

Az ideális kompresszor körfolyamatának fenntartásához szükséges munka az 1 – 2. állapotváltozás technikai munkája. A hűtéstől függően az állapotváltozás lehet:

- izotermikus: $w_t = q_{el} = RT \ln \frac{v_2}{v_1}$
- adiabatikus: $w_t = \frac{\kappa}{\kappa - 1} R(T_1 - T_2) = h_1 - h_2$
 $q_{el} = 0$
- politropikus: $w_t = \frac{n}{n - 1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$
 $q_{el} = c_n (T_2 - T_1)$

A valóságos kompresszor esetében a dugattyú felső helyzetekor a szelepek miatt marad tér a dugattyú és a hengerfedél közt. Ez a V_k káros tér, mely csökkenti a kompresszor szállítási teljesítményét, mivel a benne lévő gáz a hengerben marad, és a szívás alatt expandál, így a kompresszor a lökettérfogatánál kevesebb gázt $(V_1 - V_4)$ tud beszívni. Ez a veszteség a volumetrikus hatásfokkal jellemezhető:

$$\eta_V = \frac{V_1 - V_4}{V_h}$$

$$\eta_V = 0,82 \div 0,95$$

Az egy fordulat alatt szállított közegmennyiség:

$$V = \eta_V \cdot V_h = V_1 - V_4$$

Az elméleti és geometriai térfogatáram:

$$\dot{V}_{th} = V_h n = \frac{d^2 \pi}{4} s n z$$

$$\dot{V}_{geo} = V_h n \eta_V$$

ahol:

- d – a hengerátmérő
- s – a lökethossz
- n – a fordulatszám
- z – a hengerek száma

A kompresszor hajtásához szükséges elméleti és effektív teljesítmény:

$$P_{th} = \dot{m} w_t$$

$$P_{eff} = \frac{P_{th}}{\eta_{eff}}$$

ahol:

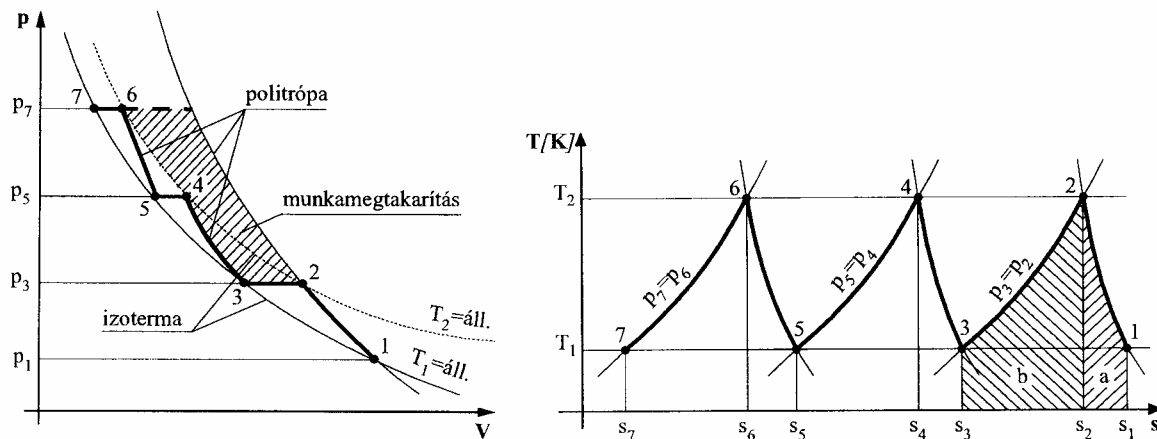
- η_{eff} – a hajtás effektív hatásfoka

Többfokozatú kompresszorok

A sűrítési folyamatot több fokra osztjuk, és az egyes fokozatok közé közbenső hűtőt építünk, amelyben a közeg hőmérséklete lecsökken a kompresszió kiindulási hőmérsékletére. A több fokozat alkalmazásának célja:

- a szállítóképesség kedvező értéken tartása,
- kedvezőbb energetikai viszonyok kialakítása.

A következő ábra többfokozatú, politropikus kompressziót szemléltet:



18. ábra

Az egyes fokozatok nyomásviszonyait 3 – 6 értékre szokás felvenni.

4. TÖBBFÁZISÚ RENDSZEREK TERMODINAMIKAI ALAPJAI

A termodinamikai rendszer nyomásától és hőmérsékletétől függően az anyag különböző fázisokban lehet jelen (pl. H_2O esetében: jég, víz és vízgőz). Ugyanazon anyag különböző fázisainak belső mikroszkopikus felépítése eltérő, ebből következően az anyag termodinamikai (helyesebben termosztatikai) tulajdonságait leíró összefüggések (állapotegyenlet, fázisjellemző mennyiségek stb.) is fázisonként különbözőek.

A hőmérséklet és a nyomás változtatásával különböző fázisátalakulásokat hozhatunk létre. Bizonyos körülmények között az anyagnak egyszerre több fázisa is jelen lehet. Az ilyen rendszereket **többfázisú rendszer**eknek nevezzük.

Elsőrendű fázisátalakulások:

- olvadás szilárd fázisból folyadékba,
- párolgás folyadék fázisból gőz fázisba,
- szublimáció szilárd fázisból gőz fázisba,
- fagyás folyadék fázisból szilárd fázisba,
- kondenzáció gőz fázisból folyadék vagy szilárd fázisba,
- átkristályosodás szilárd fázisból más szerkezetű szilárd fázisba.

A felsorolt fázisátalakulások közös jellemzője, hogy **hőhatással járnak** és az extenzív állapotjelzők számértéke ugrásszerűen megváltozik (pl. térfogat, belső energia, entrópia stb.).

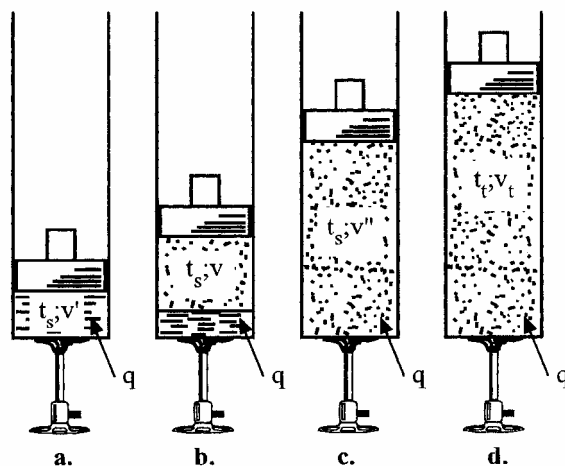
Másodrendű fázisátalakulások:

Ezen változások **nem járnak hőhatással** és az extenzív állapotjelzők számértéke sem változik meg ugrásszerűen. Ilyen átalakulások például a következők:

- a hélium szuperfolyékonnyá válása 2,18 K-nél,
- a ferromágneses anyagok paramágnesessé válása a Curie – pontban,
- a szupravezetés kialakulása alacsony hőmérséklete stb.

4.1. TÖBBFÁZISÚ RENDSZEREK ÁLLAPOTJELZŐI

A fázisátmenet folyamatát a következő ábrán látható kísérlet mutatja be:



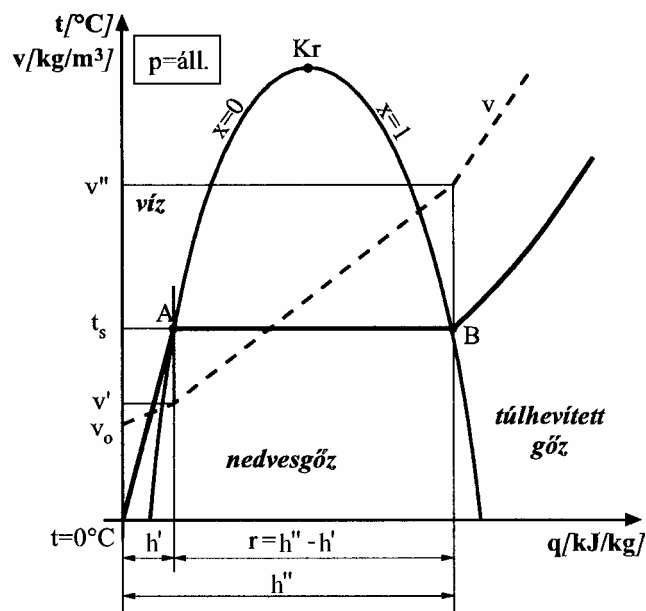
19. ábra

A gőzképződés folyamata a melegített, **izobar** hengerben:

- Telítetlen folyadék (a): a víz melegszik, és térfogata kismértékben nő.
- Telített folyadék: a nyomástól függő telítési hőmérsékleten (t_s) a víz forrni kezd.
- Nedves gőz (b): a forrás során t_s hőmérsékletű gőz keletkezik, a hengerben folyadék és gőz van együtt.
- Száraz telített gőz (c): folyadék már nincs jelen a hengerben, a gőz még mindig t_s hőmérsékletű, mivel a fázisátmenet idején a hőmérséklet állandó.
- Túlhevített gőz (d): további melegítés hatására a gőz hőmérséklete nő.

A kísérletet különböző nyomásokon lefolytatva, a folyamatot $t - q$ diagramban ábrázolva az ábrán látható görbéket kapjuk:

A különböző nyomásokhoz tartozó A pontok a **baloldali vagy alsó határgörbét** (a telített vagy forrponti folyadék állapothoz tartozó görbét), a B pontok a **jobboldali vagy felső határgörbét** (a száraz telített gőz állapothoz tartozó határgörbét) alkotják. A két görbe a **kritikus**



20. ábra

pontban találkozik. A kritikus pont hőmérsékleténél magasabb hőmérsékletű légnemű fázist **gáznak**, az annál alacsonyabb hőmérsékletűt **gőznek** nevezzük.

Az állapotjelzőket a következők szerint jelöljük:

3. táblázat

	Telített folyadék	Nedves gőz	Száraz telített gőz	Túlhevített gőz
Hőmérséklet	t_s	t_s	t_s	t_t
Fajtérfogat	v'	v	v''	v_t
Belső energia	u'	u	u''	u_t
Entalpia	h'	h	h''	h_t
Entrópia	s'	s	s''	s_t

Izobar körülmények közt a fázisátmenet során a közeg hőmérséklete nem változik, mert a közölt hő a fázisátmenethez szükséges, a hőmérsékletet nem emeli. Az egységnyi anyagmennyiség izobar fázisváltozásához szükséges hőmennyiség a párolgáshő. A belső párolgáshő az állandó térfogaton történő fázisátmenethez szükséges hő. A külső párolgáshő a közeg izobar fázisátmenete során végzett munkája.

r – párolgáshő

ρ – belső párolgáshő

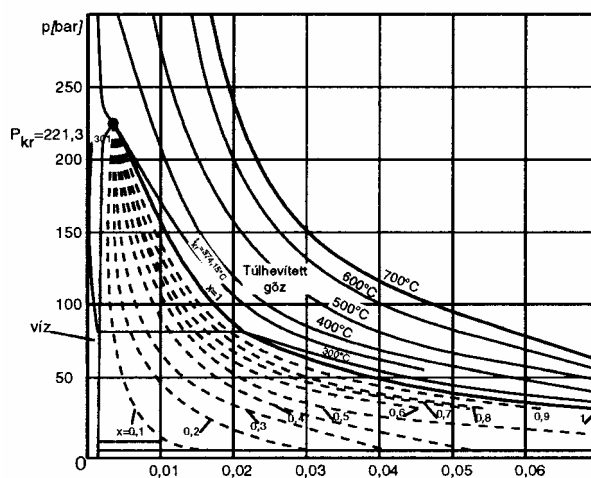
ψ – külső párolgáshő

$$r = \rho + \psi$$

Nedves gőz állapot esetén a rendszerben gőz és folyadék is jelen van. A **fajlagos gőztartalom** az 1 kg vízből gőzzé vált komponens mutatószáma. A baloldali határgörbén $x = 0$, a jobboldalin $x = 1$.

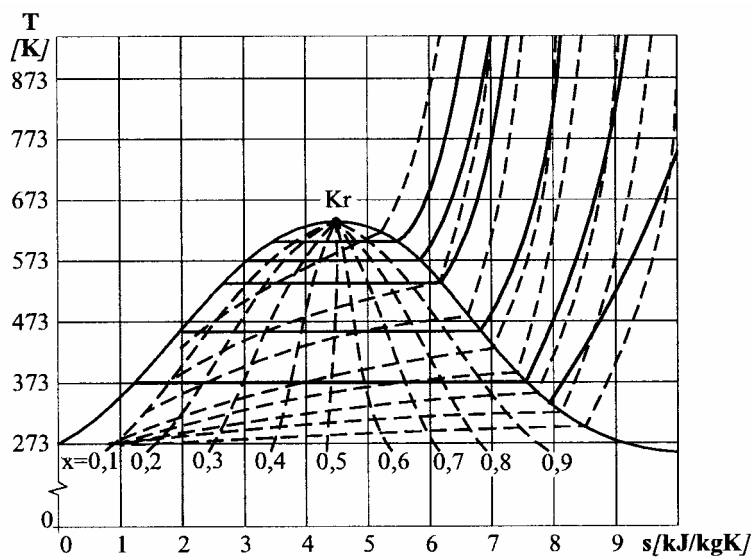
4.2. A vízgőz $p - v$, $T - s$, $h - s$ FÁZISVÁLTOZÁSI DIAGRAMJAI

A vízgőz $p - v$ diagramja:



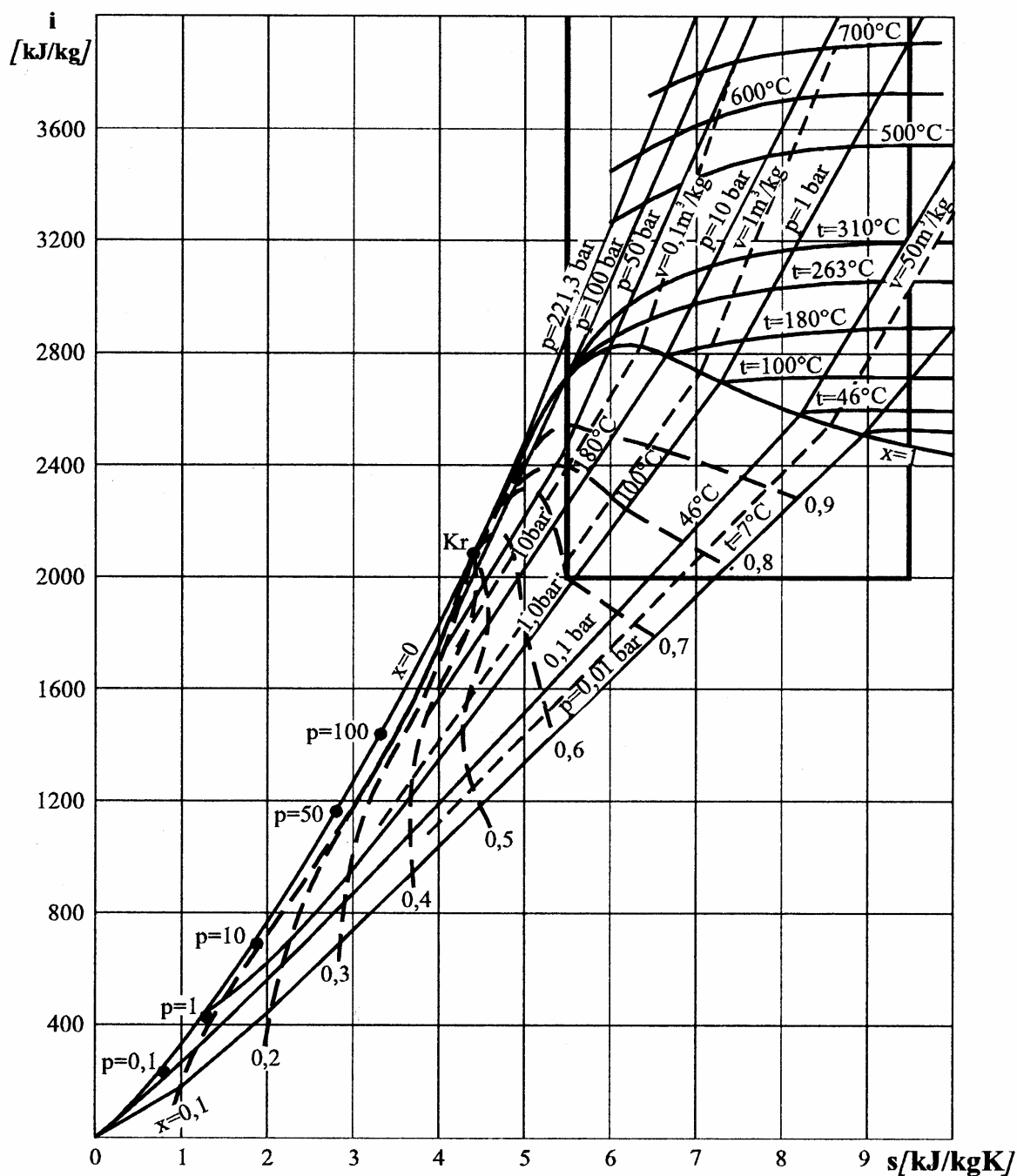
21. ábra

A vízgőz $T - s$ diagramja:



22. ábra

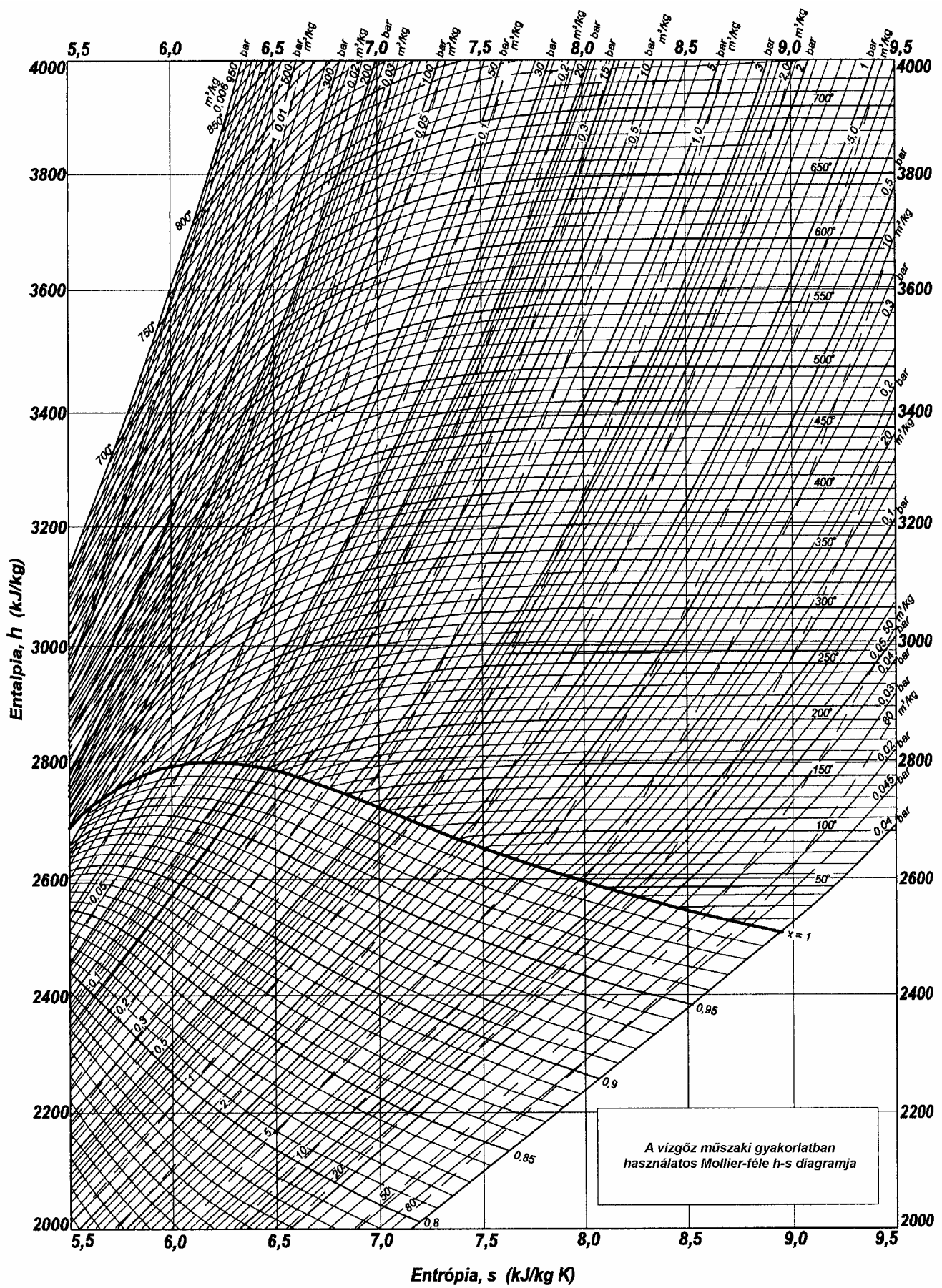
A vízgőz $h - s$ diagramja:



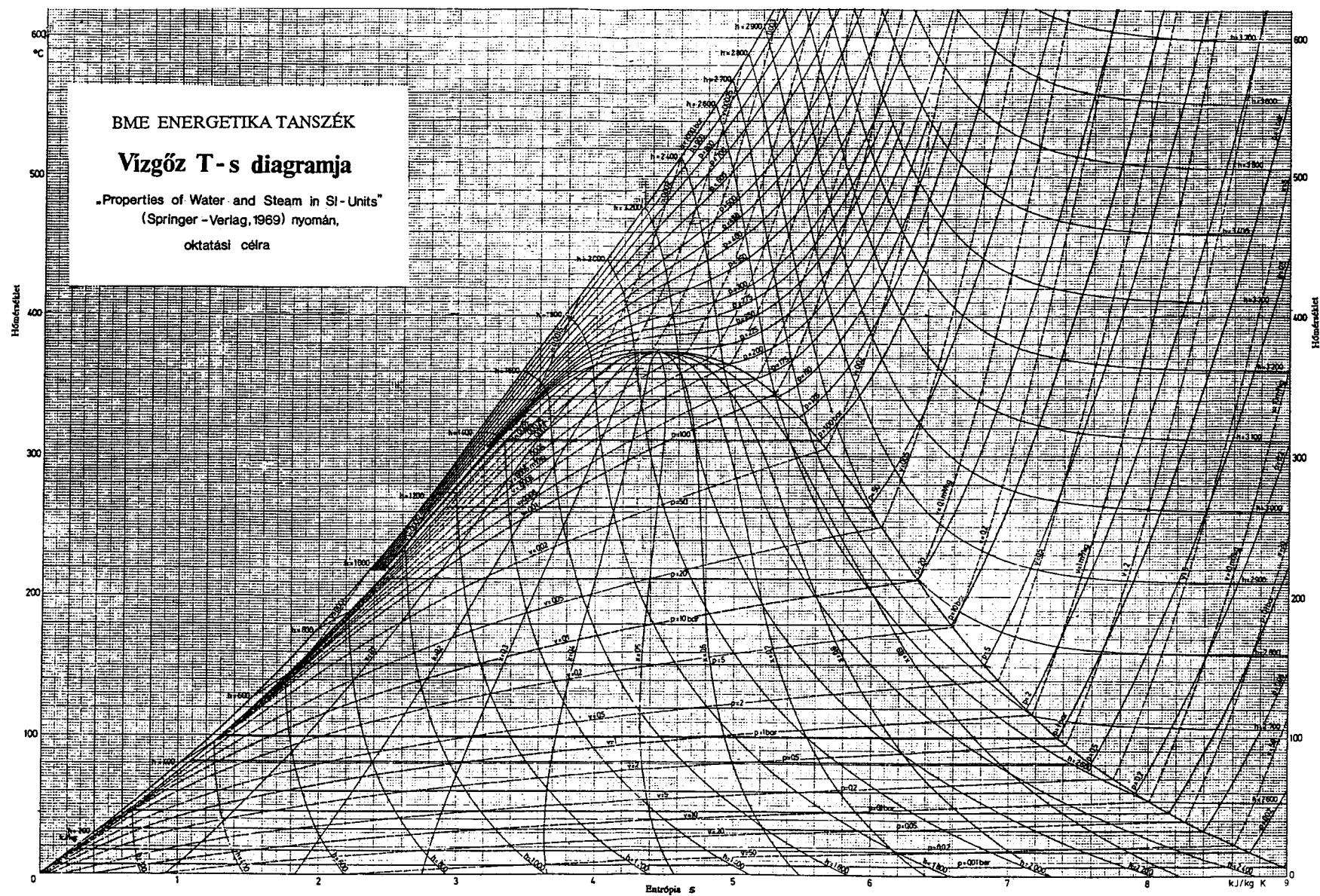
23. ábra

A $h - s$ diagramon vastag keret jelzi a gyakorlatban használt területet. Nyomtatásban csak ezt a részt szokás megjelentetni, ahogy az a következő ábrán látható.

Az izochor görbék – ahogy a gázoknál – itt is meredekebbek az izobar görbékénél. Az izochor görbéket szaggatott vonal jelöli.



24. ábra



25. ábra

4.3. GŐZTÁBLÁZATOK

Elsner – Fischer – Klinger – féle vízgőztáblázat

A táblázatban található nyomásadatok MPa-ban értendők. A táblázat a vízgőz adatait 100 MPa nyomásig és 800 °C hőmérsékletig tartalmazza, az alábbiak szerint:

- Forrásban lévő víz és telített gőz állapotjelzői a hőmérséklet szerint megadva,
- forrásban lévő víz és telített gőz állapotjelzői a nyomás szerint megadva,
- folyadék és gőz állapotjelzői,
- a kritikus tartomány állapotjelzői, kis nyomás- és hőfoklépcsőkben megadva,
- egyéb fontos tulajdonságok táblázatai és diagramjai,
- az alap-differenciálhányadosok táblázatai és diagramjai.

A segédlet a következő oldalakon tartalmazza az első két táblázatot, illetve a harmadik táblázat egy részletét.

A forrponti folyadék (') és a száraz telített gőz ('), valamint a túlhevített gőz állapotjelzői a gőztáblázatokban kikereshetők a nyomás vagy a hőmérséklet függvényében. A nedves gőz állapotjelzőinek meghatározása:

$$v = v' + x(v'' - v')$$

$$u = u' + x(u'' - u')$$

$$h = h' + x(h'' - h')$$

$$s = s' + x(s'' - s')$$

4. táblázat

Forrásban levő víz és telített gőz állapotjelzői a hőmérséklet szerint megadva

t	T	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	t	T	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
0.01	273.15	0.0006112	0.0010002	206.178	0.00	2501.0	2501.0	0.0000	9.1562	65	338.15	0.0250008	0.0010199	6.2042	272.03	2618.2	2346.1	0.8933	7.8320
1	274.15	0.0006566	0.0010001	192.617	4.17	2502.8	2498.6	0.0153	9.1295	66	339.15	0.0261448	0.0010205	5.9501	274.21	2619.9	2343.7	0.9057	7.8167
2	275.15	0.0007054	0.0010001	179.928	8.39	2504.7	2496.3	0.0306	9.1035	67	340.15	0.027332	0.0010211	5.7081	280.40	2621.6	2341.2	0.9180	7.8015
3	276.15	0.0007575	0.0010001	168.171	12.60	2506.5	2493.9	0.0459	9.0773	68	341.15	0.028561	0.0010217	5.4775	284.59	2623.3	2338.8	0.9303	7.7864
4	277.15	0.0008129	0.0010000	157.271	16.80	2508.3	2491.5	0.0611	9.0514	69	342.15	0.029837	0.0010223	5.2576	288.78	2625.1	2336.3	0.9426	7.7714
5	278.15	0.0008719	0.0010000	147.159	21.01	2510.2	2489.2	0.0762	9.0257	70	343.15	0.031161	0.0010228	5.0480	292.97	2626.8	2333.8	0.9548	7.7565
6	279.15	0.0009346	0.0010000	137.773	25.21	2512.0	2486.8	0.0915	9.0003	71	344.15	0.032533	0.0010235	4.8481	297.16	2628.5	2331.3	0.9670	7.7417
7	280.15	0.0010012	0.0010001	129.057	29.41	2513.9	2484.5	0.1063	8.9751	72	345.15	0.033957	0.0010241	4.6573	301.36	2630.2	2328.9	0.9792	7.7270
8	281.15	0.0010721	0.0010001	120.957	33.60	2515.7	2482.1	0.1213	8.9501	73	346.15	0.035433	0.0010247	4.4753	305.55	2631.9	2326.4	0.9913	7.7125
9	282.15	0.0011473	0.0010002	113.426	37.80	2517.5	2479.7	0.1362	8.9254	74	347.15	0.036963	0.0010253	4.3016	309.74	2633.6	2323.9	1.0034	7.6980
10	283.15	0.0012271	0.0010003	106.420	41.99	2519.4	2477.4	0.1510	8.9008	75	348.15	0.038548	0.0010259	4.1356	313.94	2635.3	2321.4	1.0154	7.6837
11	284.15	0.0013118	0.0010003	99.899	46.19	2521.2	2475.0	0.1658	8.8768	76	349.15	0.040190	0.0010266	3.9772	318.13	2637.0	2318.9	1.0275	7.6694
12	285.15	0.0014015	0.0010004	93.825	50.38	2523.1	2472.7	0.1805	8.8528	77	350.15	0.041898	0.0010272	3.8258	322.33	2638.7	2316.4	1.0395	7.6553
13	286.15	0.0014967	0.0010006	88.166	54.57	2524.9	2470.3	0.1952	8.8288	78	351.15	0.043650	0.0010279	3.6811	326.52	2640.4	2313.9	1.0514	7.6413
14	287.15	0.0015974	0.0010007	82.890	58.75	2526.7	2468.0	0.2098	8.8050	79	352.15	0.045473	0.0010285	3.5427	330.72	2642.1	2311.4	1.0634	7.6274
15	288.15	0.0017041	0.0010008	77.969	62.94	2528.6	2465.6	0.2243	8.7815	80	353.15	0.047359	0.0010292	3.4105	334.92	2643.7	2308.8	1.0753	7.6135
16	289.15	0.0018170	0.0010010	73.376	67.13	2530.4	2463.3	0.2388	8.7583	81	354.15	0.049310	0.0010299	3.2839	339.11	2645.4	2306.3	1.0871	7.5998
17	290.15	0.0019364	0.0010012	69.087	71.31	2532.2	2460.9	0.2535	8.7353	82	355.15	0.051328	0.0010305	3.1629	343.31	2647.1	2303.8	1.0990	7.5862
18	291.15	0.0020623	0.0010013	65.080	75.50	2534.0	2458.6	0.2677	8.7125	83	356.15	0.053415	0.0010312	3.0471	347.51	2648.8	2301.2	1.1108	7.5726
19	292.15	0.0021960	0.0010015	61.355	79.68	2535.9	2456.2	0.2820	8.6898	84	357.15	0.055572	0.0010319	2.9362	351.71	2650.4	2298.7	1.1225	7.5592
20	293.15	0.0023368	0.0010017	57.832	83.86	2537.7	2453.8	0.2963	8.6674	85	358.15	0.057803	0.0010326	2.8300	355.92	2652.1	2296.2	1.1343	7.5459
21	294.15	0.0024855	0.0010019	54.555	88.04	2539.5	2451.5	0.3105	8.6452	86	359.15	0.060107	0.0010333	2.7284	360.12	2653.7	2293.7	1.1460	7.5326
22	295.15	0.0026424	0.0010022	51.488	92.23	2541.4	2449.1	0.3247	8.6231	87	360.15	0.062488	0.0010340	2.6310	364.32	2655.4	2291.1	1.1577	7.5195
23	296.15	0.0028079	0.0010024	48.615	96.41	2543.2	2446.8	0.3389	8.6013	88	361.15	0.064967	0.0010347	2.5376	368.53	2657.0	2288.5	1.1693	7.5064
24	297.15	0.0029824	0.0010026	45.923	100.59	2545.0	2444.4	0.3530	8.5797	89	362.15	0.067546	0.0010354	2.4482	372.73	2658.7	2285.9	1.1809	7.4934
25	298.15	0.0031663	0.0010029	43.399	104.77	2546.8	2442.1	0.3670	8.5583	90	363.15	0.070108	0.0010361	2.3624	376.94	2660.3	2283.3	1.1925	7.4805
26	299.15	0.0033600	0.0010032	41.032	108.95	2548.6	2439.7	0.3810	8.5370	91	364.15	0.072814	0.0010369	2.2801	381.15	2661.9	2280.8	1.2041	7.4677
27	300.15	0.0035639	0.0010034	38.811	113.13	2550.5	2437.3	0.3949	8.5159	92	365.15	0.075607	0.0010376	2.2012	385.36	2663.5	2278.2	1.2156	7.4550
28	301.15	0.0037785	0.0010037	36.726	117.31	2552.3	2435.0	0.4088	8.4950	93	366.15	0.078488	0.0010384	2.1256	389.57	2665.2	2275.6	1.2271	7.4424
29	302.15	0.0040043	0.0010040	34.768	121.48	2554.1	2432.6	0.4227	8.4743	94	367.15	0.081460	0.0010391	2.0529	393.78	2666.8	2273.0	1.2386	7.4299
30	303.15	0.0042417	0.0010043	32.928	125.66	2555.9	2430.3	0.4365	8.4537	95	368.15	0.084525	0.0010399	1.9832	397.99	2668.4	2270.4	1.2501	7.4174
31	304.15	0.0044913	0.0010046	31.199	129.84	2557.7	2427.9	0.4503	8.4334	96	369.15	0.087685	0.0010406	1.9162	402.20	2670.0	2267.8	1.2615	7.4051
32	305.15	0.0047536	0.0010049	29.573	134.02	2559.5	2425.5	0.4640	8.4132	97	370.15	0.090943	0.0010414	1.8520	406.42	2671.6	2265.2	1.2729	7.3928
33	306.15	0.0050290	0.0010053	28.042	138.20	2561.4	2423.2	0.4777	8.3931	98	371.15	0.094301	0.0010421	1.7902	410.63	2673.2	2262.5	1.2842	7.3806
34	307.15	0.0053182	0.0010056	26.602	142.38	2563.2	2420.8	0.4913	8.3733	99	372.15	0.097760	0.0010429	1.7309	414.83	2674.7	2259.9	1.2956	7.3685
35	308.15	0.0056217	0.0010060	25.246	146.56	2565.0	2418.4	0.5049	8.3534	100	373.15	0.101332	0.0010437	1.6739	419.04	2676.3	2257.3	1.3069	7.3564
36	309.15	0.0059401	0.0010063	23.968	150.74	2566.8	2416.0	0.5184	8.3341	101	374.15	0.105000	0.0010445	1.6190	423.26	2677.9	2254.6	1.3182	7.3445
37	310.15	0.0062740	0.0010067	22.764	154.92	2568.6	2413.7	0.5319	8.3147	102	375.15	0.108787	0.0010453	1.5664	427.50	2679.5	2252.0	1.3294	7.3326
38	311.15	0.0066240	0.0010070	21.629	159.09	2570.4	2411.3	0.5453	8.2955	103	376.15	0.112687	0.0010461	1.5157	431.73	2681.0	2249.3	1.3406	7.3208
39	312.15	0.0069907	0.0010074	20.558	163.27	2572.2	2408.9	0.5588	8.2765	104	377.15	0.116688	0.0010469	1.4669	435.95	2682.6	2246.6	1.3518	7.3090
40	313.15	0.0073749	0.0010078	19.548	167.45	2574.0	2406.5	0.5721	8.2576	105	378.15	0.120800	0.0010477	1.4200	440.17	2684.1	2244.0	1.3630	7.2974
41	314.15	0.0077772	0.0010082	18.594	171.63	2575.8	2404.1	0.5854	8.2389	106	379.15	0.125044	0.0010485	1.3749	444.40	2685.7	2241.3	1.3742	7.2858
42	315.15	0.0081983	0.0010086	17.694	175.81	2577.6	2401.8	0.5987	8.2203	107	380.15	0.129411	0.0010494	1.3315	448.63	2687.2	2238.6	1.3853	7.2743
43	316.15	0.0086389	0.0010090	16.843	179.99	2579.4	2399.4	0.6120	8.2019	108	381.15	0.133900	0.0010502	1.2897	452.85	2688.8	2235.9	1.3964	7.2629
44	317.15	0.0090998	0.0010094	16.039	184.17	2581.1	2397.0	0.6252	8.1836	109	382.15	0.138532	0.0010510	1.2494	457.08	2690.3	2233.2	1.4074	7.2515
45	318.15	0.0095817	0.0010099	15.279	188.35	2582.9	2394.6	0.6383	8.1655	110	383.15	0.143326	0.0010519	1.2106	461.32	2691.8	2230.5	1.4185	7.2402
46	319.15	0.010085	0.0010103	14.560	192.53	2584.7	2392.2	0.6514	8.1475	111	384.15	0.014814	0.0010527	1.1733	465.55	2693.3	2227.8	1.4295	7.2290
47	320.15	0.010612	0.0010107	13.879	196.71	2586.5	2389.8	0.6645	8.1297	112	385.15	0.015316	0.0010536	1.1375	469.78	2694.8	2225.0	1.4405	7.2179
48	321.15	0.011161	0.0010112	13.235	200.89	2588.3	2387.4	0.6776	8.1120	113	386.15	0.015832	0.0010544	1.1026	474.02	2696.3	2222.3	1.4515	7.2068
49	322.15	0.011735	0.0010117	12.626	205.07	2590.1	2385.0	0.6906	8.0945	114	387.15	0.016361	0.0010553	1.0691	478.26	2697.8	2219.5	1.4624	7.1958
50	323.15	0.012335	0.0010121	12.048	209.26	2591.8	2382.6	0.7035	8.0771	115	388.15	0.016906	0.0010562	1.0369	482.50	2699.3	2216.8	1.4733	7.1848
51	324.15	0.012960	0.0010126	11.501	213.44	2593.6	2380.2	0.7164	8.0598	116	389.15	0.017464	0.0010571	1.0058	486.74	2700.8	2214.0	1.4842	7.1739
52	325.15	0.013612	0.0010131	10.982	217.62	2595.4	2377.8	0.7293	8.0427	117	390.15	0.018038	0.0010579	0.97581	490.98	2702.2	2211.3	1.4951	7.1631
53	326.15	0.014292	0.0010136	10.490</															

t	T	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	t	T	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	t	T	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	
130	403.15	0.27012	0.0010700	0.66851	546.31	2720.7	2174.4	1.6344	7.0201	195	468.15	1.3989	0.0011489	0.14082	829.89	2788.3	1958.4	2.2833	6.4668	196	469.15	1.4291	0.0011504	0.13795	834.38	2789.0	1954.6	2.2928	6.4591	
131	404.15	0.27830	0.0010710	0.69007	550.58	2722.1	2171.5	1.6449	7.0181	197	470.15	1.4598	0.0011519	0.13515	838.87	2789.6	1950.7	2.3023	6.4515	198	471.15	1.4910	0.0011534	0.13241	843.37	2790.2	1946.9	2.3118	6.4440	
132	405.15	0.28668	0.0010720	0.63223	554.85	2723.4	2168.6	1.6555	7.0082	199	472.15	1.5228	0.0011549	0.12974	847.87	2790.8	1942.9	2.3212	6.4364	200	473.15	1.5551	0.0011565	0.12714	852.38	2791.4	1939.0	2.3307	6.4289	
133	406.15	0.29526	0.0010730	0.61497	559.12	2724.8	2165.6	1.6660	6.9983	201	474.15	1.5879	0.0011581	0.12459	856.89	2792.0	1935.1	2.3401	6.4214	202	475.15	1.6212	0.0011596	0.12211	861.41	2792.5	1931.1	2.3496	6.4139	
134	407.15	0.30406	0.0010740	0.59828	563.40	2726.1	2162.7	1.6765	6.9885	203	476.15	1.6531	0.0011612	0.11968	865.93	2793.1	1927.1	2.3590	6.4064	204	477.15	1.6895	0.0011628	0.11732	870.46	2793.6	1923.1	2.3684	6.3990	
135	408.15	0.31306	0.0010750	0.58212	567.68	2727.4	2159.8	1.6869	6.9787	205	478.15	1.7245	0.0011644	0.11500	875.00	2794.1	1919.1	2.3778	6.3915	206	479.15	1.7601	0.0011660	0.11274	879.54	2794.6	1915.1	2.3872	6.3841	
136	409.15	0.32227	0.0010760	0.56648	571.96	2728.8	2156.8	1.6974	6.9690	207	480.15	1.7962	0.0011676	0.11054	884.08	2795.1	1911.0	2.3966	6.3767	208	481.15	1.8329	0.0011693	0.10838	888.63	2795.6	1906.9	2.4060	6.3693	
137	410.15	0.33171	0.0010770	0.55135	576.24	2730.1	2153.8	1.7078	6.9594	209	482.15	1.8701	0.0011709	0.10627	893.19	2796.0	1902.8	2.4153	6.3619	210	483.15	1.9080	0.0011726	0.10421	897.75	2796.4	1898.7	2.4247	6.3546	
138	411.15	0.34136	0.0010780	0.53669	580.53	2731.4	2150.8	1.7182	6.9498	211	484.15	1.9464	0.0011743	0.10220	902.32	2796.9	1894.5	2.4341	6.3473	212	485.15	1.9855	0.0011760	0.10024	906.89	2797.3	1890.4	2.4434	6.3399	
139	412.15	0.35125	0.0010790	0.52250	584.82	2732.7	2147.9	1.7286	6.9402	213	486.15	2.0251	0.0011777	0.09832	911.47	2797.6	1886.2	2.4527	6.3326	214	487.15	2.0654	0.0011794	0.09644	916.05	2798.0	1882.0	2.4621	6.3253	
140	413.15	0.36136	0.0010801	0.50875	589.11	2734.0	2144.9	1.7390	6.9307	215	488.15	2.1063	0.0011811	0.09460	920.64	2798.4	1877.7	2.4714	6.3181	216	489.15	2.1478	0.0011829	0.09281	925.24	2798.7	1873.5	2.4807	6.3108	
141	414.15	0.37170	0.0010811	0.49544	593.40	2735.2	2141.8	1.7493	6.9212	217	490.15	2.1899	0.0011846	0.09105	929.84	2799.0	1869.2	2.4900	6.3035	218	491.15	2.2327	0.0011864	0.08933	934.45	2799.3	1864.9	2.4993	6.2963	
142	415.15	0.38229	0.0010821	0.48254	597.69	2736.5	2138.8	1.7597	6.9118	219	492.15	2.2761	0.0011882	0.08766	939.07	2799.6	1860.6	2.5086	6.2891	220	493.15	2.3201	0.0011900	0.08602	943.69	2799.9	1856.2	2.5178	6.2819	
143	416.15	0.39311	0.0010832	0.47004	601.99	2737.8	2135.8	1.7700	6.9024	221	494.15	2.3648	0.0011918	0.08441	948.32	2800.2	1851.8	2.5271	6.2747	222	495.15	2.4102	0.0011936	0.08284	952.96	2800.4	1847.4	2.5364	6.2675	
144	417.15	0.40418	0.0010843	0.45792	606.29	2739.0	2132.7	1.7803	6.8931	223	496.15	2.4563	0.0011954	0.08130	957.60	2800.6	1843.0	2.5456	6.2603	224	497.15	2.5030	0.0011973	0.07980	962.25	2800.8	1838.6	2.5549	6.2531	
145	418.15	0.41550	0.0010853	0.44618	610.60	2740.3	2129.7	1.7906	6.8838	225	498.15	2.5504	0.0011992	0.07833	966.91	2801.0	1834.1	2.5641	6.2460	226	499.15	2.5985	0.0012010	0.07689	971.57	2801.2	1829.6	2.5733	6.2388	
146	419.15	0.42707	0.0010864	0.43480	614.90	2741.5	2126.6	1.8008	6.8746	227	500.15	2.6473	0.0012029	0.07548	976.24	2801.3	1825.1	2.5826	6.2317	228	501.15	2.6968	0.0012048	0.07410	980.92	2801.5	1820.6	2.5918	6.2246	
147	420.15	0.43890	0.0010875	0.42376	619.21	2742.7	2123.5	1.8110	6.8654	229	502.15	2.7470	0.0012068	0.07275	985.60	2801.6	1816.0	2.6010	6.2175	230	503.15	2.7979	0.0012087	0.07143	990.29	2801.7	1811.4	2.6102	6.2103	
148	421.15	0.45099	0.0010886	0.41306	623.52	2743.9	2120.4	1.8213	6.8563	231	504.15	2.8495	0.0012107	0.07014	994.99	2801.8	1806.8	2.6194	6.2032	232	505.15	2.9019	0.0012127	0.06887	999.70	2801.8	1802.1	2.6286	6.1962	
149	422.15	0.46334	0.0010897	0.40268	627.83	2745.1	2117.3	1.8315	6.8472	233	506.15	2.9558	0.0012147	0.06763	1004.42	2801.9	1797.4	2.6378	6.1891	234	507.15	3.0089	0.0012167	0.06642	1009.14	2801.9	1792.7	2.6470	6.1820	
150	423.15	0.47597	0.0010908	0.39261	632.15	2746.3	2114.2	1.8416	6.8381	235	508.15	3.0635	0.0012187	0.06523	1013.87	2801.9	1788.0	2.6562	6.1749	236	509.15	3.1189	0.0012207	0.06404	1018.61	2801.9	1783.3	2.6654	6.1678	
151	424.15	0.48887	0.0010919	0.38284	636.47	2747.5	2111.0	1.8518	6.8291	237	510.15	3.1750	0.0012228	0.06292	1023.35	2801.8	1778.5	2.6746	6.1608	238	511.15	3.2319	0.0012249	0.06181	1028.11	2801.8	1773.7	2.6837	6.1537	
152	425.15	0.50205	0.0010930	0.37336	640.79	2748.7	2107.9	1.8619	6.8201	239	512.15	3.2896	0.0012270	0.06071	1032.87	2801.7	1768.8	2.6929	6.1467	240	513.15	3.3480	0.0012291	0.05964	1037.64	2801.6	1764.0	2.7021	6.1396	
153	426.15	0.51551	0.0010941	0.36416	645.12	2749.8	2104.7	1.8721	6.8112	241	514.15	3.4073	0.0012312	0.05859	1042.42	2801.5	1759.1	2.7113	6.1326	242	515.15	3.4674	0.0012334	0.05756	1047.21	2801.4	1754.2	2.7204	6.1256	
154	427.15	0.52926	0.0010953	0.35523	649.45	2751.0	2101.5	1.8822	6.8023	243	516.15	3.5282	0.0012355	0.05655	1052.01	2801.2	1749.2	2.7296	6.1185	244	517.15	3.5899	0.0012377	0.05556	1056.81	2801.0	1744.2	2.7387	6.1115	
155	428.15	0.54331	0.0010964	0.34657	653.78	2752.1	2098.4	1.8923	6.7934	245	518.15	3.6524	0.0012399	0.05459	1061.63	2800.8	1739.2	2.7479	6.1044	246	519.15	3.7158	0.0012422	0.05364	1066.45	2800.6	1734.2	2.7570	6.0974	
156	429.15	0.55764	0.0010976	0.33815	658.11	2753.3	2095.1	1.9023	6.7846	247	520.15	3.7800	0.0012444	0.05271	1071.29	2800.4	1729.1	2.7662	6.0904	248	521.15	3.8450	0.0012467	0.05180	1076.13	2800.1	1724.0	2.7753	6.0834	
157	430.15	0.57228	0.0010987	0.32998	662.45	2754.4	2091.9	1.9124	6.7759	249	522.15	3.9109	0.0012490	0.05090	1080.98	2799.8	1718.9	2.7845	6.0763	250	523.15	3.9776	0.0012513	0.05002	1085.84	2799.5	1713.7	2.7936	6.0693	
158	431.15	0.58722	0.0010999	0.32204	666.79	2755.5	2088.7	1.9224	6.7671	251	524.15	4.0452	0.0012536	0.04916	1090.72	2799.2	1708.5	2.8027	6.0623	252	525.15	4.1137	0.0012560	0.04832	1095.60	2798.8	1703.3	2.8119	6.0552	
159	432.15	0.60248	0.0011011	0.31434	671.13	2756.6	2085.5	1.9325	6.7584	253	526.15	4.1831	0.0012584	0.04749	1100.49	2798.5	1698.0	2.8210	6.0482	254	527.15	4.2533	0.0012608	0.04668	1105.39	2798.1	1692.7	2.8302	6.0412	
160	433.15	0.61804	0.0011022	0.30685	675.48	2757.7	2082.2	1.9425	6.7498	255	528.15	4.3245	0.0012632	0.04588	1110.31	2797.7	1687.4	2.8393	6.0341	256	529.15	4.3965	0.0012656	0.04510	1115.23	2797.2	1682.0	2.8485	6.0271	
161	434.15	0.63393	0.0011034	0.29957	679.83	2758.8	2078.9	1.9525	6.7412	257	530.15	4.4695	0.0012681	0.04433	1120.16	2796.7	1676.6	2.8576	6.0200	258	531.15	4.5434	0.0012706	0.04358	1125.11	2796.3	1671.1	2.8667	6.0130	
162	435.15	0.65014	0.0011046	0.29250	684.18	2759.9	2075.6	1.9624	6.7326	259	532.15	4.6182	0.0012731	0.04284	1130.06	2795.7	1665.7	2.8759	6.0059	260										
163	436.15	0.66668	0.0011058	0.28563	688.53	2760.9	2072.3	1.9724	6.7240																					
164	437.15	0.68355	0.0011070	0.27893	692.89	2761.9	2069.0	1.9823	6.7155																					
165	438.15	0.70075	0.0011082	0.27244	697.26	2763.0	2065.7	1.9923	6.7070																					
166	439.15	0.71830	0.0011095	0.26615	701.62	2764.0	2062.4	2.0022	6.6986																					
167	440.15	0.73620	0.0011107	0.26001	705.99	2765.0	2059.0	2.0121	6.6902																					
168	441.15	0.75445																												

t	T	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
260	533.15	4.6940	0.0012756	0.04212	1135.03	2795.2	1660.2	2.8850	5.9989
261	534.15	4.7707	0.0012782	0.04141	1140.01	2794.6	1654.6	2.8942	5.9918
262	535.15	4.8484	0.0012808	0.04071	1145.00	2794.0	1649.0	2.9033	5.9847
263	536.15	4.9270	0.0012834	0.04003	1150.00	2793.4	1643.4	2.9125	5.9777
264	537.15	5.0066	0.0012861	0.03935	1155.01	2792.8	1637.8	2.9216	5.9706
265	538.15	5.0872	0.0012887	0.03870	1160.04	2792.1	1632.1	2.9308	5.9635
266	539.15	5.1688	0.0012914	0.03805	1165.08	2791.4	1626.3	2.9399	5.9564
267	540.15	5.2514	0.0012942	0.03741	1170.13	2790.7	1620.5	2.9491	5.9492
268	541.15	5.3349	0.0012969	0.03679	1175.19	2789.9	1614.7	2.9583	5.9421
269	542.15	5.4195	0.0012997	0.03617	1180.27	2789.1	1608.9	2.9674	5.9350
270	543.15	5.5051	0.0013025	0.03557	1185.36	2788.3	1603.0	2.9766	5.9278
271	544.15	5.5917	0.0013053	0.03498	1190.46	2787.5	1597.0	2.9858	5.9207
272	545.15	5.6794	0.0013082	0.03438	1195.57	2786.6	1591.0	2.9950	5.9135
273	546.15	5.7681	0.0013111	0.03383	1200.70	2785.7	1585.0	3.0041	5.9063
274	547.15	5.8579	0.0013141	0.03327	1205.85	2784.8	1578.9	3.0133	5.8991
275	548.15	5.9487	0.0013170	0.03272	1211.00	2783.8	1572.8	3.0225	5.8919
276	549.15	6.0406	0.0013200	0.03218	1216.18	2782.8	1566.7	3.0317	5.8846
277	550.15	6.1336	0.0013231	0.03165	1221.36	2781.8	1560.5	3.0410	5.8774
278	551.15	6.2277	0.0013261	0.03112	1226.57	2780.8	1554.2	3.0502	5.8701
279	552.15	6.3228	0.0013293	0.03061	1231.78	2779.7	1547.9	3.0594	5.8628
280	553.15	6.4191	0.0013324	0.03011	1237.02	2778.6	1541.6	3.0686	5.8555
281	554.15	6.5165	0.0013356	0.02961	1242.26	2777.4	1535.2	3.0779	5.8482
282	555.15	6.6150	0.0013388	0.02912	1247.53	2776.2	1528.7	3.0871	5.8408
283	556.15	6.7147	0.0013420	0.02864	1252.81	2775.0	1522.2	3.0964	5.8334
284	557.15	6.8155	0.0013453	0.02817	1258.11	2773.8	1515.7	3.1057	5.8261
285	558.15	6.9175	0.0013487	0.02771	1263.42	2772.5	1509.1	3.1150	5.8186
286	559.15	7.0206	0.0013520	0.02726	1268.75	2771.2	1502.4	3.1243	5.8112
287	560.15	7.1249	0.0013555	0.02681	1274.10	2769.8	1495.7	3.1336	5.8037
288	561.15	7.2303	0.0013589	0.02637	1279.47	2768.4	1488.9	3.1429	5.7962
289	562.15	7.3370	0.0013624	0.02594	1284.85	2767.0	1482.1	3.1522	5.7887
290	563.15	7.4448	0.0013659	0.02551	1290.26	2765.5	1475.2	3.1615	5.7812
291	564.15	7.5539	0.0013695	0.02509	1295.68	2764.0	1468.3	3.1709	5.7736
292	565.15	7.6642	0.0013732	0.02468	1301.12	2762.4	1461.3	3.1803	5.7660
293	566.15	7.7757	0.0013769	0.02428	1306.58	2760.8	1454.3	3.1897	5.7583
294	567.15	7.8885	0.0013806	0.02388	1312.06	2759.2	1447.1	3.1991	5.7507
295	568.15	8.0025	0.0013844	0.02349	1317.57	2757.5	1440.0	3.2085	5.7430
296	569.15	8.1178	0.0013882	0.02310	1323.09	2755.8	1432.7	3.2179	5.7352
297	570.15	8.2343	0.0013921	0.02272	1328.63	2754.1	1425.4	3.2274	5.7274
298	571.15	8.3521	0.0013960	0.02235	1334.20	2752.3	1418.1	3.2368	5.7196
299	572.15	8.4712	0.0014000	0.02198	1339.79	2750.4	1410.6	3.2463	5.7118
300	573.15	8.5917	0.0014041	0.02162	1345.40	2748.5	1403.1	3.2558	5.7039
301	574.15	8.7134	0.0014082	0.02126	1351.03	2746.6	1395.5	3.2653	5.6960
302	575.15	8.8364	0.0014123	0.02091	1356.69	2744.6	1387.9	3.2749	5.6880
303	576.15	8.9608	0.0014166	0.02057	1362.37	2742.6	1380.2	3.2844	5.6800
304	577.15	9.0865	0.0014208	0.02023	1368.08	2740.5	1372.4	3.2940	5.6719
305	578.15	9.2136	0.0014252	0.01989	1373.81	2738.3	1364.5	3.3036	5.6638
306	579.15	9.3420	0.0014296	0.01957	1379.57	2736.2	1356.6	3.3133	5.6557
307	580.15	9.4719	0.0014341	0.01924	1385.35	2733.9	1348.6	3.3229	5.6475
308	581.15	9.6031	0.0014386	0.01892	1391.17	2731.6	1340.5	3.3326	5.6392
309	582.15	9.7357	0.0014433	0.01861	1397.00	2729.3	1332.3	3.3423	5.6309
310	583.15	9.8697	0.0014480	0.01830	1402.87	2726.9	1324.0	3.3521	5.6226
311	584.15	10.005	0.0014527	0.01799	1408.77	2724.5	1315.7	3.3618	5.6142
312	585.15	10.142	0.0014576	0.01769	1414.69	2722.0	1307.3	3.3716	5.6057
313	586.15	10.280	0.0014625	0.01740	1420.65	2719.4	1298.7	3.3814	5.5972
314	587.15	10.420	0.0014675	0.01711	1426.64	2716.8	1290.1	3.3913	5.5886
315	588.15	10.561	0.0014726	0.01682	1432.66	2714.1	1281.4	3.4012	5.5800
316	589.15	10.704	0.0014778	0.01654	1438.71	2711.3	1272.6	3.4111	5.5713
317	590.15	10.848	0.0014831	0.01626	1444.79	2708.5	1263.7	3.4211	5.5625
318	591.15	10.994	0.0014885	0.01598	1450.91	2705.7	1254.8	3.4311	5.5537
319	592.15	11.141	0.0014939	0.01571	1457.07	2702.7	1245.7	3.4411	5.5447
320	593.15	11.290	0.0014995	0.01544	1463.26	2699.7	1236.5	3.4512	5.5358
321	594.15	11.440	0.0015051	0.01518	1469.49	2696.6	1227.2	3.4613	5.5267
322	595.15	11.592	0.0015109	0.01492	1475.76	2693.5	1217.7	3.4714	5.5176
323	596.15	11.746	0.0015168	0.01466	1482.07	2690.3	1208.2	3.4816	5.5084
324	597.15	11.901	0.0015228	0.01441	1488.41	2687.0	1198.6	3.4919	5.4991

t	T	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
325	598.15	12.057	0.0015289	0.01416	1494.80	2683.6	1188.8	3.5022	5.4897
326	599.15	12.213	0.0015351	0.01391	1501.24	2680.2	1178.9	3.5125	5.4802
327	600.15	12.375	0.0015415	0.01367	1507.71	2676.6	1168.9	3.5229	5.4706
328	601.15	12.537	0.0015480	0.01343	1514.24	2673.0	1158.8	3.5334	5.4610
329	602.15	12.700	0.0015546	0.01320	1520.80	2669.3	1148.5	3.5438	5.4512
330	603.15	12.865	0.0015614	0.01296	1527.42	2665.6	1138.1	3.5544	5.4414
331	604.15	13.031	0.0015683	0.01273	1534.09	2661.7	1127.6	3.5650	5.4314
332	605.15	13.199	0.0015754	0.01250	1540.81	2657.7	1116.9	3.5757	5.4214
333	606.15	13.369	0.0015827	0.01228	1547.59	2653.7	1106.1	3.5864	5.4112
334	607.15	13.541	0.0015901	0.01206	1554.42	2649.5	1095.1	3.5973	5.4009
335	608.15	13.714	0.0015977	0.01184	1561.31	2645.2	1083.9	3.6081	5.3905
336	609.15	13.889	0.0016055	0.01162	1568.26	2640.9	1072.6	3.6191	5.3799
337	610.15	14.066	0.0016134	0.01141	1575.27	2636.4	1061.1	3.6301	5.3692
338	611.15	14.245	0.0016216	0.01120	1582.34	2631.8	1049.5	3.6412	5.3584
339	612.15	14.426	0.0016300	0.01099	1589.49	2627.1	1037.6	3.6524	5.3475
340	613.15	14.608	0.0016386	0.01078	1596.70	2622.3	1025.6	3.6637	5.3363
341	614.15	14.792	0.0016479	0.01058	1604.05	2617.3	1013.3	3.6750	5.3251
342	615.15	14.978	0.0016570	0.01037	1611.53	2612.3	1000.9	3.6864	5.3136
343	616.15	15.166	0.0016663	0.01017	1619.10	2607.0	988.3	3.6978	5.3020
344	617.15	15.356	0.0016760	0.00998	1626.85	2601.7	975.5	3.7094	5.2902
345	618.15	15.548	0.0016859	0.00979	1633.68	2596.2	962.5	3.7211	5.2782
346	619.15	15.742	0.0016961	0.00958	1641.31	2590.5	949.2	3.7329	5.2660
347	620.15	15.937	0.0017067	0.00939	1649.05	2584.7	935.6	3.7448	5.2536
348	621.15	16.135	0.0017176	0.00920	1656.89	2578.7	921.8	3.7569	5.2410
349	622.15	16.335	0.0017290	0.00901	1664.84	2572.5	907.6	3.7692	5.2281
350	623.15	16.537	0.0017407	0.00882	1672.92	2566.1	893.1	3.7816	5.2149
351	624.15	16.741	0.0017529	0.00863	1681.13	2559.5	878.3	3.7942	5.2015
352	625.15	16.947	0.0017656	0.00844	1689.49	2552.6	863.1	3.8070	5.1877
353	626.15	17.155	0.0017789	0.00826	1697.99	2545.5	847.6	3.8200	5.1736
354	627.15	17.365	0.0017928	0.00807	1706.66	2538.2	831.5	3.8332	5.1592
355	628.15	17.577	0.0018073	0.00789	1715.51	2530.5	815.0	3.8467	5.1442
356	629.15	17.792	0.0018226	0.00771	1724.55	2522.5	797.9	3.8604	5.1288
357	630.15	18.009	0.0018387	0.00752	1733.81	2514.1	780.3	3.8745	5.1128
358	631.15	18.228	0.0018557	0.00734	1743.30	2505.2	761.9	3.8889	5.0961
359	632.15	18.450	0.0018737	0.00715	1753.06	2495.7	742.7	3.9037	5.0786
360	633.15	18.674	0.0018930	0.00697	1763.11	2485.7	722.6	3.9189	5.0603
361	634.15	18.900	0.0019136	0.00678	1773.49	2475.0	701.5	3.9347	5.0409
362	635.15	19.129	0.0019358	0.00659	1784.26	2463.5	679.2	3.9509	5.0204
363	636.15	19.360	0.0019588	0.00640	1795.47	2451.2	655.8	3.9679	4.9987
364	637.15	19.594	0.0019861	0.00620	1807.20	2438.1	630.9	3.9855	4.9759
365	638.15	19.830	0.0020150	0.00601	1819.53	2424.2	604.7	4.0041	4.9517
366	639.15	20.069	0.0020472	0.00581	1832.59	2409.3	576.7	4.0238	4.9262
367	640.15	20.311	0.0020836	0.00561	1846.36	2393.4	546.8	4.0449	4.8992
368	641.15	20.555	0.0021253	0.00540	1861.84	2376.1	514.5	4.0676	4.8701
369	642.15	20.803	0.0021738	0.00518	1878.11	2357.1	479.0	4.0925	4.8384
370	643.15	21.053	0.0022306	0.00495	1896.23	2335.7	439.4	4.1198	4.8031
371	644.15	21.306	0.0022980	0.00471	1916.45	2310.7	394.2	4.1503	4.7624
372	645.15	21.562	0.0023923	0.00443	1942.02	2280.8	338.0	4.1891	4.7130
373	646.15	21.821	0.0025246	0.00409	1974.53	2238.3	263.8	4.2384	4.6466
374	647.15	22.084	0.0028340	0.00348	2039.19	2150.3	111.1	4.3373	4.5090
374.12	647.27	22.115	0.0031470	0.003147	2095.20	2095.2	0.0	4.4237	4.4237

Forrásban levő víz és telített gőz állapotjelzői a nyomás szerint megadva

p	t	T	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
0.0010	6.98	280.13	0.0010001	129.206	29.33	2513.8	2464.5	0.1060	8.9755
0.0015	13.03	286.18	0.0010006	87.981	54.71	2525.0	2470.2	0.1956	8.8278
0.0020	17.51	290.66	0.0010012	67.006	73.45	2533.2	2459.7	0.2606	8.7236
0.0025	21.09	294.24	0.0010020	54.257	88.44	2539.7	2451.3	0.3119	8.6431
0.0030	24.10	297.25	0.0010027	45.668	101.00	2545.2	2444.2	0.3543	8.5776
0.0035	26.69	299.84	0.0010033	39.480	111.84	2549.9	2438.1	0.3907	8.5224
0.0040	28.98	302.13	0.0010040	34.803	121.41	2554.1	2432.7	0.4224	8.4747
0.0045	31.03	304.18	0.0010046	31.142	129.98	2557.8	2427.8	0.4507	8.4327
0.0050	32.90	306.05	0.0010052	28.196	137.77	2561.2	2423.4	0.4763	8.3952
0.0055	34.60	307.75	0.0010058	25.772	144.91	2564.3	2419.3	0.4995	8.3614
0.0060	36.18	309.33	0.0010064	23.743	151.50	2567.1	2415.6	0.5209	8.3303
0.0065	37.65	310.80	0.0010069	22.018	157.64	2569.7	2412.1	0.5407	8.3022
0.0070	39.02	312.17	0.0010074	20.533	163.58	2572.2	2408.6	0.5591	8.2760
0.0075	40.32	313.47	0.0010079	19.241	168.77	2574.5	2405.8	0.5763	8.2517
0.0080	41.53	314.68	0.0010084	18.106	173.87	2576.7	2402.9	0.5926	8.2289
0.0085	42.69	315.84	0.0010089	17.102	178.69	2578.8	2400.1	0.6079	8.2076
0.0090	43.79	316.94	0.0010094	16.206	183.28	2580.8	2397.3	0.6224	8.1875
0.0095	44.83	317.98	0.0010098	15.402	187.66	2582.6	2395.0	0.6361	8.1685
0.010	45.83	318.98	0.0010102	14.676	191.84	2584.4	2392.6	0.6493	8.1505
0.011	47.71	320.86	0.0010111	13.418	199.68	2587.8	2388.1	0.6738	8.1171
0.012	49.45	322.60	0.0010119	12.364	206.94	2590.9	2383.9	0.6963	8.0867
0.013	51.06	324.21	0.0010126	11.468	213.70	2593.7	2380.0	0.7172	8.0588
0.014	52.58	325.73	0.0010133	10.696	220.03	2596.4	2376.4	0.7367	8.0329
0.015	54.00	327.15	0.0010140	10.025	225.98	2598.9	2372.9	0.7549	8.0089
0.016	55.34	328.49	0.0010147	9.4349	231.60	2601.3	2369.7	0.7721	7.9865
0.017	56.62	329.77	0.0010154	8.9127	236.93	2603.5	2366.6	0.7883	7.9654
0.018	57.83	330.98	0.0010160	8.4469	242.00	2605.7	2363.7	0.8036	7.9456
0.019	58.98	332.13	0.0010166	8.0289	246.83	2607.7	2360.8	0.8182	7.9269
0.020	60.09	333.24	0.0010172	7.6515	251.46	2609.6	2358.2	0.8321	7.9092
0.021	61.15	334.30	0.0010178	7.3090	255.89	2611.5	2355.6	0.8454	7.8923
0.022	62.16	335.31	0.0010183	6.9968	260.14	2613.2	2353.1	0.8581	7.8762
0.023	63.14	336.29	0.0010189	6.7110	264.24	2614.9	2350.7	0.8703	7.8609
0.024	64.08	337.23	0.0010194	6.4483	268.19	2616.6	2348.4	0.8820	7.8462
0.025	64.99	338.14	0.0010199	6.2061	272.00	2618.2	2346.2	0.8933	7.8322
0.026	65.87	339.02	0.0010204	5.9819	275.68	2619.7	2344.0	0.9041	7.8187
0.027	66.72	339.87	0.0010209	5.7739	279.24	2621.1	2341.9	0.9146	7.8057
0.028	67.55	340.70	0.0010214	5.5804	282.70	2622.6	2339.9	0.9248	7.7932
0.029	68.35	341.50	0.0010219	5.3998	286.05	2623.9	2337.9	0.9346	7.7811
0.030	69.13	342.28	0.0010223	5.2308	289.31	2625.3	2336.0	0.9441	7.7695
0.032	70.62	343.77	0.0010232	4.9238	295.55	2627.8	2332.3	0.9623	7.7474
0.034	72.03	345.18	0.0010241	4.6518	301.48	2630.3	2328.8	0.9795	7.7246
0.036	73.37	346.52	0.0010249	4.4092	307.12	2632.6	2325.4	0.9958	7.7070
0.038	74.66	347.81	0.0010257	4.1914	312.50	2634.7	2322.2	1.0113	7.6886
0.040	75.89	349.04	0.0010265	3.9948	317.65	2636.8	2319.2	1.0261	7.6711
0.042	77.06	350.21	0.0010273	3.8164	322.59	2638.8	2316.2	1.0402	7.6544
0.044	78.19	351.34	0.0010280	3.6537	327.34	2640.7	2313.4	1.0537	7.6386
0.046	79.28	352.43	0.0010287	3.5047	331.91	2642.5	2310.6	1.0667	7.6234
0.048	80.33	353.48	0.0010294	3.3678	336.31	2644.3	2308.0	1.0792	7.6090
0.050	81.35	354.50	0.0010301	3.2415	340.57	2646.0	2305.4	1.0912	7.5951
0.055	83.74	356.89	0.0010317	2.9648	350.61	2650.0	2299.4	1.1194	7.5627
0.060	85.95	359.10	0.0010333	2.7329	359.93	2653.7	2293.7	1.1454	7.5332
0.065	88.02	361.17	0.0010347	2.5357	368.62	2657.1	2288.4	1.1696	7.5061
0.070	89.96	363.11	0.0010361	2.3658	376.77	2660.2	2283.5	1.1921	7.4811
0.075	91.79	364.94	0.0010375	2.2179	384.45	2663.2	2278.7	1.2132	7.4578
0.080	93.51	366.68	0.0010387	2.0880	391.72	2666.0	2274.3	1.2330	7.4360
0.085	95.15	368.30	0.0010400	1.9728	398.63	2668.6	2270.0	1.2518	7.4155
0.090	96.71	369.86	0.0010412	1.8701	405.21	2671.1	2265.9	1.2696	7.3963
0.095	98.20	371.35	0.0010423	1.7779	411.49	2673.5	2262.0	1.2865	7.3781

p	t	T	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
0.10	99.63	372.78	0.0010434	1.6946	417.51	2675.7	2258.2	1.3027	7.3608
0.11	102.32	375.47	0.0010455	1.5500	428.84	2680.0	2251.1	1.3330	7.3288
0.12	104.81	377.96	0.0010476	1.4289	439.36	2683.8	2244.5	1.3609	7.2996
0.13	107.13	380.28	0.0010495	1.3258	449.19	2687.4	2238.2	1.3868	7.2728
0.14	109.32	382.47	0.0010513	1.2370	458.42	2690.8	2232.3	1.4109	7.2479
0.15	111.37	384.52	0.0010530	1.1597	467.13	2693.9	2226.7	1.4336	7.2248
0.16	113.32	386.47	0.0010547	1.0917	475.38	2696.8	2221.4	1.4550	7.2032
0.17	115.17	388.32	0.0010563	1.0315	483.22	2699.5	2216.3	1.4752	7.1829
0.18	116.93	390.08	0.0010579	0.97776	490.70	2702.1	2211.4	1.4944	7.1638
0.19	118.62	391.77	0.0010594	0.92950	497.85	2704.6	2206.8	1.5127	7.1457
0.20	120.23	393.38	0.0010608	0.88592	504.71	2706.9	2202.2	1.5301	7.1286
0.21	121.78	394.93	0.0010623	0.84636	511.29	2709.2	2197.9	1.5468	7.1123
0.22	123.27	396.42	0.0010636	0.81027	517.63	2711.3	2193.7	1.5628	7.0967
0.23	124.71	397.86	0.0010650	0.77723	523.74	2713.3	2189.6	1.5781	7.0819
0.24	126.09	399.24	0.0010663	0.74685	529.64	2715.3	2185.6	1.5929	7.0676
0.25	127.43	400.58	0.0010675	0.71882	535.35	2717.2	2181.8	1.6072	7.0540
0.26	128.73	401.88	0.0010688	0.69287	540.88	2719.0	2178.1	1.6209	7.0409
0.27	129.99	403.14	0.0010700	0.66879	546.24	2720.7	2174.4	1.6342	7.0283
0.28	131.20	404.35	0.0010712	0.64637	551.45	2722.3	2170.9	1.6471	7.0161
0.29	132.39	405.54	0.0010724	0.62544	556.51	2723.9	2167.4	1.6596	7.0044
0.30	133.54	406.69	0.0010735	0.60586	561.44	2725.5	2164.1	1.6717	6.9930
0.31	134.66	407.81	0.0010746	0.58751	566.23	2727.0	2160.8	1.6834	6.9820
0.32	135.76	408.91	0.0010757	0.57026	570.91	2728.4	2157.5	1.6948	6.9714
0.33	136.82	409.97	0.0010768	0.55402	575.47	2729.8	2154.4	1.7059	6.9611
0.34	137.86	411.01	0.0010779	0.53871	579.93	2731.2	2151.3	1.7168	6.9511
0.35	138.88	412.03	0.0010789	0.52424	584.28	2732.5	2148.2	1.7273	6.9414
0.36	139.87	413.02	0.0010799	0.51055	588.53	2733.8	2145.3	1.7376	6.9319
0.37	140.84	413.99	0.0010809	0.49758	592.70	2735.0	2142.3	1.7477	6.9228
0.38	141.79	414.94	0.0010819	0.48526	596.77	2736.2	2139.5	1.7575	6.9138
0.39	142.72	415.87	0.0010829	0.47356	600.77	2737.4	2136.6	1.7670	6.9051
0.40	143.63	416.78	0.0010839	0.46242	604.68	2738.5	2133.9	1.7764	6.8966
0.41	144.52	417.67	0.0010848	0.45181	608.52	2739.7	2131.1	1.7856	6.8883
0.42	145.39	418.54	0.0010858	0.44168	612.28	2740.7	2128.5	1.7946	6.8802
0.43	146.25	419.40	0.0010867	0.43201	615.98	2741.8	2125.8	1.8034	6.8723
0.44	147.09	420.24	0.0010876	0.42276	619.61	2742.8	2123.2	1.8120	6.8646
0.45	147.92	421.07	0.0010885	0.41391	623.17	2743.8	2120.7	1.8204	6.8570
0.46	148.73	421.88	0.0010894	0.40544	626.68	2744.8	2118.1	1.8287	6.8496
0.47	149.53	422.68	0.0010903	0.39731	630.12	2745.8	2115.6	1.8369	6.8424
0.48	150.31	423.46	0.0010911	0.38951	633.51	2746.7	2113.2	1.8448	6.8353
0.49	151.09	424.24	0.0010920	0.38201	636.84	2747.6	2110.8	1.8527	6.8283
0.50	151.85	425.00	0.0010928	0.37481	640.13	2748.5	2108.4	1.8604	6.8215
0.52	153.33	426.48	0.0010945	0.36120	646.34	2750.2	2105.7	1.8754	6.8083
0.54	154.77	427.92	0.0010961	0.34857	652.76	2751.9	2103.1	1.8899	6.7955
0.56	156.16	429.31	0.0010977	0.33681	658.81	2753.4	2100.4	1.9040	6.7832
0.58	157.52	430.67	0.0010993	0.32583	664.70	2755.0	2099.3	1.9176	6.7713
0.60	158.84	431.99	0.0011009	0.31556	670.43	2756.4	2098.0	1.9309	6.7598
0.62	160.12	433.27	0.0011024	0.30593	676.02	2757.8	2096.8	1.9437	6.7488
0.64	161.38	434.53	0.0011039	0.29688	681.47	2759.2	2095.7	1.9562	6.7377
0.66	162.60	435.75	0.0011053	0.28836	686.79	2760.5	2094.7	1.9688	6.7277
0.68	163.79	436.94	0.0011068	0.28033	691.98	2761.7	2093.7	1.9803	6.7177
0.70	164.96	438.11	0.0011082	0.27274	697.07	2762.9	2092.8	1.9918	6.7077
0.72	166.10	439.25	0.0011096	0.26556	702.04	2764.1	2092.0	2.0031	6.6977
0.74	167.21	440.36	0.0011110	0.25875	706.91	2765.2	2091.3	2.0141	6.6888
0.76	168.30	441.45	0.0011123	0.25228	711.68	2766.3	2090.6	2.0249	6.6799
0.78	169.37	442.52	0.0011137	0.24614	716.35	2767.3	2090.1	2.0354	6.6709
0.80	170.42	443.57	0.0011150	0.24029	720.94	2768.4	2089.4	2.0457	6.6611
0.82	171.44	444.59	0.0011163	0.23472	725.44	2769.3	2088.9	2.0558	6.6533
0.84	172.45	445.60	0.0011176	0.22941	729.85	2770.3	2088.4	2.0657	6.6455
0.86	173.44	446.59	0.0011188	0.22433	734.19	2771.2	2087.9	2.0754	6.6366
0.88	174.40	447.55	0.0011201	0.21948	738.45	2772.1	2087.4	2.0848	6.6288

p	t	T	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
0.90	175.36	448.51	0.0011213	0.21483	742.64	2775.0	2030.3	2.0941	6.6212
0.92	176.29	449.44	0.0011226	0.21038	746.76	2775.6	2027.1	2.1033	6.6136
0.94	177.21	450.36	0.0011238	0.20612	750.82	2774.7	2023.8	2.1122	6.6062
0.96	178.12	451.27	0.0011250	0.20202	754.81	2775.4	2020.6	2.1210	6.5989
0.98	179.01	452.16	0.0011262	0.19809	758.73	2776.2	2017.5	2.1297	6.5917
1.00	179.88	453.03	0.0011274	0.19431	762.60	2777.0	2014.4	2.1382	6.5847
1.05	182.01	455.16	0.0011303	0.18546	772.02	2778.6	2006.7	2.1588	6.5677
1.10	184.06	457.21	0.0011331	0.17739	781.12	2780.4	1999.3	2.1786	6.5515
1.15	186.04	459.19	0.0011359	0.17000	789.91	2782.0	1992.1	2.1977	6.5359
1.20	187.96	461.11	0.0011386	0.16320	798.42	2783.4	1985.0	2.2160	6.5210
1.25	189.81	462.96	0.0011412	0.15693	806.68	2784.8	1978.1	2.2338	6.5066
1.30	191.60	464.75	0.0011438	0.15112	814.69	2786.1	1971.4	2.2509	6.4928
1.35	193.35	466.50	0.0011464	0.14573	822.48	2787.2	1964.8	2.2675	6.4794
1.40	195.04	468.19	0.0011489	0.14071	830.06	2788.4	1958.3	2.2836	6.4665
1.45	196.68	469.83	0.0011514	0.13603	837.45	2789.4	1952.0	2.2993	6.4540
1.50	198.28	471.43	0.0011538	0.13165	844.65	2790.4	1945.7	2.3144	6.4418
1.55	199.84	472.99	0.0011563	0.12754	851.68	2791.3	1939.6	2.3292	6.4301
1.60	201.37	474.52	0.0011586	0.12368	858.55	2792.2	1933.6	2.3436	6.4186
1.65	202.85	476.00	0.0011610	0.12004	865.26	2793.0	1927.7	2.3576	6.4075
1.70	204.30	477.45	0.0011633	0.11661	871.83	2793.8	1921.9	2.3712	6.3967
1.75	205.72	478.87	0.0011656	0.11337	878.26	2794.5	1916.2	2.3846	6.3862
1.80	207.10	480.25	0.0011678	0.11031	884.56	2795.1	1910.6	2.3976	6.3759
1.85	208.46	481.61	0.0011700	0.10740	890.73	2795.8	1905.0	2.4103	6.3659
1.90	209.79	482.94	0.0011723	0.10464	896.79	2796.3	1899.6	2.4227	6.3561
1.95	211.09	484.24	0.0011744	0.10202	902.74	2796.9	1894.2	2.4349	6.3466
2.00	212.37	485.52	0.0011766	0.09953	908.57	2797.4	1888.8	2.4468	6.3372
2.05	213.62	486.77	0.0011787	0.09715	914.31	2797.9	1883.5	2.4585	6.3281
2.10	214.85	488.00	0.0011809	0.09488	919.94	2798.4	1878.4	2.4700	6.3192
2.15	216.05	489.20	0.0011830	0.09271	925.49	2798.7	1873.2	2.4812	6.3104
2.20	217.24	490.39	0.0011850	0.09064	930.94	2799.1	1868.2	2.4922	6.3018
2.25	218.40	491.55	0.0011871	0.08866	936.31	2799.5	1863.2	2.5030	6.2934
2.30	219.54	492.69	0.0011891	0.08676	941.59	2799.8	1858.2	2.5136	6.2851
2.35	220.67	493.82	0.0011912	0.08494	946.79	2800.1	1853.3	2.5240	6.2770
2.40	221.78	494.93	0.0011932	0.08319	951.92	2800.4	1848.4	2.5343	6.2691
2.45	222.86	496.01	0.0011952	0.08151	956.97	2800.6	1843.6	2.5444	6.2613
2.50	223.94	497.09	0.0011972	0.07990	961.95	2800.8	1838.9	2.5543	6.2536
2.55	224.99	498.14	0.0011991	0.07834	966.87	2801.0	1834.1	2.5640	6.2460
2.60	226.03	499.18	0.0012011	0.07683	971.72	2801.2	1829.5	2.5736	6.2386
2.65	227.06	500.21	0.0012030	0.07534	976.50	2801.3	1824.8	2.5831	6.2313
2.70	228.06	501.21	0.0012050	0.07401	981.22	2801.5	1820.3	2.5924	6.2241
2.75	229.06	502.21	0.0012069	0.07276	985.88	2801.6	1815.7	2.6016	6.2170
2.80	230.04	503.19	0.0012088	0.07158	990.49	2801.7	1811.2	2.6106	6.2101
2.85	231.01	504.16	0.0012107	0.07043	995.04	2801.8	1806.7	2.6195	6.2032
2.90	231.96	505.11	0.0012126	0.06932	999.53	2801.8	1802.3	2.6283	6.1964
2.95	232.91	506.06	0.0012145	0.06825	1003.97	2801.9	1797.9	2.6370	6.1897
3.0	233.84	506.99	0.0012163	0.06721	1008.36	2801.9	1793.5	2.6455	6.1831
3.1	235.66	508.81	0.0012200	0.06446	1017.00	2801.9	1784.9	2.6623	6.1762
3.2	237.44	510.59	0.0012237	0.06243	1025.45	2801.8	1776.4	2.6786	6.1697
3.3	239.18	512.33	0.0012273	0.06052	1033.73	2801.7	1768.0	2.6946	6.1634
3.4	240.88	514.03	0.0012310	0.05872	1041.84	2801.5	1759.7	2.7101	6.1573
3.5	242.54	515.69	0.0012345	0.05701	1049.79	2801.3	1751.5	2.7253	6.1518
3.6	244.16	517.31	0.0012381	0.05540	1057.59	2801.0	1743.4	2.7402	6.1463
3.7	245.75	518.90	0.0012416	0.05388	1065.26	2800.7	1735.4	2.7548	6.1409
3.8	247.31	520.46	0.0012451	0.05243	1072.79	2800.3	1727.5	2.7690	6.1356
3.9	248.84	521.99	0.0012486	0.05105	1080.19	2799.9	1719.7	2.7830	6.1303
4.0	250.33	523.48	0.0012521	0.04974	1087.46	2799.4	1712.0	2.7967	6.1250
4.1	251.80	524.95	0.0012555	0.04849	1094.63	2798.9	1704.3	2.8101	6.1197
4.2	253.24	526.39	0.0012589	0.04729	1101.68	2798.4	1696.7	2.8232	6.1145
4.3	254.66	527.81	0.0012623	0.04615	1108.62	2797.8	1689.2	2.8362	6.1093
4.4	256.05	529.20	0.0012657	0.04506	1115.46	2797.2	1681.7	2.8489	6.1040

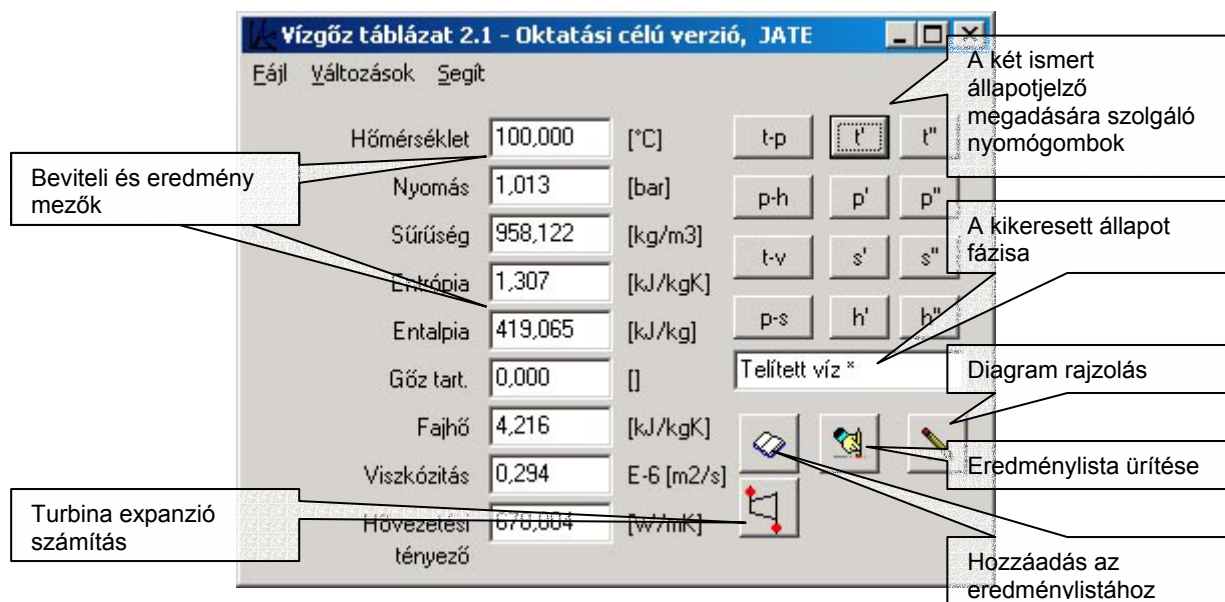
p	t	T	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
4.5	257.41	530.56	0.0012691	0.04402	1122.21	2796.5	1674.3	2.8614	6.0171
4.6	258.76	531.91	0.0012725	0.04302	1128.86	2795.9	1667.0	2.8737	6.0077
4.7	260.08	533.23	0.0012758	0.04206	1135.42	2795.1	1659.7	2.8857	5.9983
4.8	261.38	534.53	0.0012792	0.04114	1141.89	2794.4	1652.5	2.8976	5.9891
4.9	262.66	535.81	0.0012825	0.04026	1148.29	2793.6	1645.3	2.9093	5.9801
5.0	263.92	537.07	0.0012858	0.03941	1154.60	2792.8	1638.2	2.9209	5.9712
5.1	265.16	538.31	0.0012891	0.03859	1160.83	2792.0	1631.2	2.9322	5.9623
5.2	266.38	539.53	0.0012925	0.03780	1166.99	2791.1	1624.1	2.9434	5.9537
5.3	267.58	540.73	0.0012958	0.03705	1173.08	2790.2	1617.2	2.9544	5.9451
5.4	268.77	541.92	0.0012990	0.03631	1179.10	2789.3	1610.2	2.9653	5.9366
5.5	269.94	543.09	0.0013023	0.03561	1185.05	2788.4	1603.3	2.9760	5.9282
5.6	271.09	544.24	0.0013056	0.03493	1190.94	2787.4	1596.5	2.9866	5.9200
5.7	272.23	545.38	0.0013089	0.03427	1196.77	2786.4	1589.6	2.9971	5.9118
5.8	273.36	546.51	0.0013122	0.03363	1202.54	2785.4	1582.9	3.0074	5.9037
5.9	274.47	547.62	0.0013154	0.03301	1208.24	2784.3	1576.1	3.0176	5.8957
6.0	275.56	548.71	0.0013187	0.03241	1213.90	2783.3	1569.4	3.0277	5.8878
6.1	276.64	549.79	0.0013220	0.03184	1219.49	2782.2	1562.7	3.0376	5.8800
6.2	277.71	550.86	0.0013252	0.03128	1225.04	2781.1	1556.0	3.0475	5.8722
6.3	278.76	551.91	0.0013285	0.03073	1230.53	2779.9	1549.4	3.0572	5.8646
6.4	279.80	552.95	0.0013318	0.03021	1235.98	2778.7	1542.8	3.0668	5.8569
6.5	280.83	553.98	0.0013350	0.02969	1241.38	2777.6	1536.2	3.0763	5.8494
6.6	281.85	555.00	0.0013383	0.02920	1246.73	2776.4	1529.7	3.0857	5.8419
6.7	282.85	556.00	0.0013416	0.02871	1252.03	2775.2	1523.2	3.0950	5.8345
6.8	283.85	557.00	0.0013448	0.02825	1257.29	2774.0	1516.7	3.1043	5.8272
6.9	284.83	557.98	0.0013481	0.02779	1262.51	2772.7	1510.2	3.1134	5.8199
7.0	285.80	558.95	0.0013514	0.02735	1267.69	2771.4	1503.7	3.1224	5.8127
7.1	286.76	559.91	0.0013546	0.02691	1272.83	2770.1	1497.3	3.1313	5.8055
7.2	287.71	560.86	0.0013579	0.02649	1277.93	2768.8	1490.9	3.1402	5.7984
7.3	288.65	561.80	0.0013612	0.02609	1282.99	2767.5	1484.5	3.1490	5.7913
7.4	289.59	562.74	0.0013645	0.02569	1288.01	2766.1	1478.1	3.1577	5.7843
7.5	290.51	563.66	0.0013678	0.02530	1293.00	2764.7	1471.7	3.1663	5.7773
7.6	291.42	564.57	0.0013711	0.02492	1297.96	2763.3	1465.4	3.1748	5.7704
7.7	292.32	565.47	0.0013744	0.02455	1302.88	2761.9	1459.0	3.1833	5.7635
7.8	293.22	566.37	0.0013777	0.02419	1307.77	2760.5	1452.7	3.1917	5.7567
7.9	294.10	567.25	0.0013810	0.02384	1312.62	2759.0	1446.4	3.2000	5.7499
8.0	294.98	568.13	0.0013843	0.02349	1317.45	2757.6	1440.1	3.2083	5.7431
8.1	295.85	569.00	0.0013876	0.02316	1322.24	2756.1	1433.8	3.2165	5.7364
8.2	296.71	569.86	0.0013909	0.02283	1327.01	2754.6	1427.6	3.2246	5.7297
8.3	297.56	570.71	0.0013943	0.02251	1331.74	2753.1	1421.3	3.2326	5.7231
8.4	298.40	571.55	0.0013976	0.02220	1336.45	2751.5	1415.1	3.2406	5.7165
8.5	299.24	572.39	0.0014010	0.02189	1341.13	2750.0	1408.8	3.2486	5.7099
8.6	300.07	573.22	0.0014043	0.02159	1345.79	2748.4	1402.6	3.2565	5.7034
8.7	300.89	574.04	0.0014077	0.02130	1350.42	2746.8	1396.4	3.2643	5.6968
8.8	301.71	574.86	0.0014111	0.02102	1355.02	2745.2	1390.2	3.2721	5.6904
8.9	302.51	575.66	0.0014145	0.02074	1359.60	2743.6	1384.0	3.2798	5.6839
9.0	303.31	576.46	0.0014179	0.02046	1364.16	2741.9	1377.8	3.2874	5.6775
9.1	304.11	577.26	0.0014213	0.02019	1368.69	2740.3	1371.6	3.2950	5.6711
9.2	304.89	578.04	0.0014247	0.01993	1373.20	2738.6	1365.4	3.3026	5.6647
9.3	305.67	578.82	0.0014282	0.01967	1377.69	2736.9	1359.2	3.3101	5.6583
9.4	306.45	579.60	0.0014316	0.01942	1382.16	2735.2	1353.0	3.3176	5.6520
9.5	307.22	580.37	0.0014351	0.01917	1386.60	2733.4	1346.8	3.3250	5.6457
9.6	307.98	581.13	0.0014385	0.01893	1391.03	2731.7	1340.7	3.3324	5.6394
9.7	308.73	581.88	0.0014420	0.01869	1395.44	2729.9	1334.5	3.3397	5.6332
9.8	309.48	582.63	0.0014455	0.01846	1399.83	2728.2	1328.3	3.3470	5.6269
9.9	310.22	583.37	0.0014490	0.01823	1404.19	2726.4	1322.2	3.3543	5.6207
10.0	310.96	584.11	0.0014526	0.01801	1408.55	2724.6	1316.0	3.3615	5.6145
10.1	311.69	584.84	0.0014561	0.01778	1412.88	2722.7	1309.9	3.3686	5.6083
10.2	312.42	585.57	0.0014597	0.01757	1417.20	2720.9	1303.7	3.3758	5.6021
10.3	313.14	586.29	0.0014632	0.01736	1421.50	2719.0	1297.5	3.3828	5.5960
10.4	313.86	587.01	0.0014668	0.01715	1425.78	2717.2	1291.4	3.3899	5.5898

p	t	T	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''	p	t	T	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
10.5	314.57	587.72	0.0014704	0.01694	1430.85	2715.3	1285.2	3.3969	5.5837	16.5	349.82	622.97	0.0017303	0.008856	1671.45	2567.2	895.8	3.7793	5.2174
10.6	315.27	588.42	0.0014740	0.01674	1434.30	2713.4	1279.1	3.4039	5.5776	16.6	350.31	623.46	0.0017443	0.008764	1675.47	2564.0	888.6	3.7855	5.2108
10.7	315.97	589.12	0.0014777	0.01654	1438.54	2711.4	1272.9	3.4108	5.5715	16.7	350.80	623.95	0.0017505	0.008672	1679.49	2560.8	881.3	3.7917	5.2042
10.8	316.67	589.82	0.0014813	0.01635	1442.76	2709.5	1266.7	3.4178	5.5654	16.8	351.29	624.44	0.0017566	0.008581	1683.54	2557.5	874.0	3.7979	5.1976
10.9	317.36	590.51	0.0014850	0.01616	1446.97	2707.5	1260.5	3.4246	5.5594	16.9	351.77	624.92	0.0017627	0.008499	1687.59	2554.2	866.6	3.8041	5.1909
11.0	318.04	591.19	0.0014887	0.01597	1451.17	2705.5	1254.4	3.4315	5.5533	17.0	352.26	625.41	0.0017690	0.008401	1691.66	2550.8	859.2	3.8103	5.1842
11.1	318.72	591.87	0.0014924	0.01579	1455.35	2703.6	1248.2	3.4383	5.5472	17.1	352.74	625.89	0.0017754	0.008312	1695.75	2547.4	851.7	3.8165	5.1774
11.2	319.40	592.55	0.0014961	0.01560	1459.52	2701.5	1242.0	3.4451	5.5412	17.2	353.22	626.37	0.0017819	0.008224	1699.85	2544.0	844.1	3.8228	5.1705
11.3	320.07	593.22	0.0014999	0.01543	1463.68	2699.5	1235.8	3.4519	5.5352	17.3	353.69	626.84	0.0017884	0.008136	1703.97	2540.5	836.5	3.8291	5.1637
11.4	320.73	593.88	0.0015036	0.01525	1467.83	2697.5	1229.6	3.4586	5.5291	17.4	354.17	627.32	0.0017951	0.008049	1708.11	2536.9	828.8	3.8354	5.1567
11.5	321.39	594.54	0.0015074	0.01508	1471.96	2695.4	1223.4	3.4653	5.5231	17.5	354.64	627.79	0.0018019	0.007962	1712.27	2533.3	821.1	3.8418	5.1497
11.6	322.05	595.20	0.0015112	0.01491	1476.09	2693.3	1217.2	3.4720	5.5171	17.6	355.11	628.26	0.0018089	0.007876	1716.45	2529.7	813.2	3.8481	5.1426
11.7	322.70	595.85	0.0015151	0.01474	1480.20	2691.2	1211.0	3.4786	5.5111	17.7	355.57	628.72	0.0018159	0.007790	1720.65	2526.0	805.3	3.8545	5.1355
11.8	323.35	596.50	0.0015189	0.01457	1484.30	2689.1	1204.8	3.4852	5.5051	17.8	356.04	629.19	0.0018231	0.007704	1724.88	2522.2	797.3	3.8610	5.1282
11.9	324.00	597.15	0.0015228	0.01441	1488.39	2687.0	1198.6	3.4918	5.4991	17.9	356.50	629.65	0.0018305	0.007619	1729.13	2518.3	789.2	3.8674	5.1209
12.0	324.64	597.79	0.0015267	0.01425	1492.48	2684.9	1192.4	3.4984	5.4931	18.0	356.96	630.11	0.0018380	0.007535	1733.42	2514.4	781.0	3.8739	5.1135
12.1	325.27	598.42	0.0015306	0.01409	1496.55	2682.7	1186.1	3.5050	5.4871	18.1	357.42	630.57	0.0018456	0.007450	1737.72	2510.4	772.7	3.8805	5.1059
12.2	325.90	599.05	0.0015345	0.01394	1500.61	2680.5	1179.9	3.5115	5.4811	18.2	357.87	631.02	0.0018534	0.007366	1742.06	2506.3	764.3	3.8871	5.0983
12.3	326.53	599.68	0.0015385	0.01379	1504.67	2678.3	1173.6	3.5180	5.4751	18.3	358.32	631.47	0.0018614	0.007282	1746.44	2502.2	755.7	3.8937	5.0905
12.4	327.15	600.30	0.0015425	0.01363	1508.72	2676.1	1167.4	3.5245	5.4692	18.4	358.78	631.93	0.0018696	0.007198	1750.84	2497.9	747.1	3.9004	5.0826
12.5	327.77	600.92	0.0015465	0.01349	1512.76	2673.9	1161.1	3.5310	5.4632	18.5	359.22	632.37	0.0018780	0.007115	1755.29	2493.5	738.3	3.9071	5.0746
12.6	328.39	601.54	0.0015506	0.01334	1516.79	2671.6	1154.8	3.5374	5.4572	18.6	359.67	632.82	0.0018865	0.007032	1759.77	2489.1	729.3	3.9139	5.0664
12.7	329.00	602.15	0.0015547	0.01320	1520.81	2669.3	1148.5	3.5439	5.4512	18.7	360.12	633.27	0.0018953	0.006948	1764.30	2484.5	720.2	3.9208	5.0581
12.8	329.61	602.76	0.0015588	0.01305	1524.83	2667.0	1142.2	3.5503	5.4453	18.8	360.56	633.71	0.0019043	0.006865	1768.87	2479.8	710.9	3.9277	5.0496
12.9	330.21	603.36	0.0015629	0.01291	1528.84	2664.7	1135.9	3.5567	5.4393	18.9	361.00	634.15	0.0019136	0.006782	1773.49	2475.0	701.5	3.9347	5.0409
13.0	330.81	603.96	0.0015670	0.01278	1532.85	2662.4	1129.6	3.5630	5.4333	19.0	361.44	634.59	0.0019231	0.006700	1778.17	2470.0	691.9	3.9417	5.0320
13.1	331.41	604.56	0.0015712	0.01264	1536.85	2660.1	1123.2	3.5694	5.4273	19.1	361.87	635.02	0.0019320	0.006617	1782.89	2465.0	682.1	3.9489	5.0230
13.2	332.00	605.15	0.0015755	0.01250	1540.84	2657.7	1116.9	3.5757	5.4213	19.2	362.31	635.46	0.0019410	0.006534	1787.68	2459.8	672.1	3.9561	5.0138
13.3	332.59	605.74	0.0015797	0.01237	1544.83	2655.3	1110.5	3.5821	5.4153	19.3	362.74	635.89	0.0019504	0.006451	1792.53	2454.5	661.9	3.9634	5.0044
13.4	333.18	606.33	0.0015840	0.01224	1548.82	2652.9	1104.1	3.5884	5.4093	19.4	363.17	636.32	0.0019602	0.006369	1797.45	2449.0	651.6	3.9708	4.9949
13.5	333.76	606.91	0.0015883	0.01211	1552.80	2650.5	1097.7	3.5947	5.4033	19.5	363.60	636.75	0.0019703	0.006286	1802.44	2443.5	641.0	3.9784	4.9851
13.6	334.34	607.49	0.0015927	0.01198	1556.77	2648.0	1091.3	3.6010	5.3973	19.6	364.03	637.18	0.0019804	0.006204	1807.51	2437.8	630.3	3.9860	4.9752
13.7	334.92	608.07	0.0015971	0.01186	1560.74	2645.6	1084.8	3.6072	5.3913	19.7	364.45	637.60	0.0019907	0.006121	1812.67	2432.0	619.3	3.9938	4.9651
13.8	335.49	608.64	0.0016015	0.01173	1564.71	2643.1	1078.4	3.6135	5.3853	19.8	364.87	638.02	0.0020012	0.006038	1817.92	2426.0	608.1	4.0017	4.9549
13.9	336.06	609.21	0.0016059	0.01161	1568.68	2640.6	1071.9	3.6198	5.3793	19.9	365.29	638.44	0.0020121	0.005956	1823.28	2419.9	596.7	4.0098	4.9444
14.0	336.63	609.78	0.0016104	0.01149	1572.64	2638.1	1065.4	3.6260	5.3732	20.0	365.71	638.86	0.0020236	0.005873	1828.74	2413.7	585.0	4.0180	4.9337
14.1	337.19	610.34	0.0016150	0.01137	1576.60	2635.5	1058.9	3.6322	5.3672	20.1	366.13	639.28	0.0020351	0.005789	1834.33	2407.4	573.0	4.0265	4.9229
14.2	337.75	610.90	0.0016195	0.01125	1580.56	2633.0	1052.4	3.6384	5.3611	20.2	366.54	639.69	0.0020466	0.005706	1840.05	2400.8	560.8	4.0351	4.9118
14.3	338.31	611.46	0.0016242	0.01113	1584.52	2630.4	1045.9	3.6447	5.3551	20.3	366.96	640.11	0.0020581	0.005622	1845.91	2394.1	548.2	4.0439	4.9004
14.4	338.86	612.01	0.0016288	0.01102	1588.48	2627.8	1039.3	3.6509	5.3490	20.4	367.37	640.52	0.0020698	0.005537	1851.93	2387.3	535.3	4.0530	4.8888
14.5	339.41	612.56	0.0016335	0.01090	1592.43	2625.1	1032.7	3.6571	5.3429	20.5	367.77	640.92	0.0021154	0.005452	1858.13	2380.2	522.0	4.0623	4.8769
14.6	339.96	613.11	0.0016382	0.01079	1596.39	2622.5	1026.1	3.6632	5.3368	20.6	368.18	641.33	0.0021336	0.005365	1864.52	2372.8	508.3	4.0720	4.8646
14.7	340.50	613.65	0.0016433	0.01068	1600.44	2619.8	1019.4	3.6694	5.3307	20.7	368.59	641.74	0.0021528	0.005278	1871.11	2365.2	494.1	4.0819	4.8519
14.8	341.04	614.19	0.0016483	0.01057	1604.46	2617.1	1012.8	3.6755	5.3246	20.8	368.99	642.14	0.0021724	0.005190	1877.93	2357.3	479.4	4.0922	4.8388
14.9	341.58	614.73	0.0016531	0.01046	1608.47	2614.4	1006.1	3.6816	5.3184	20.9	369.39	642.54	0.0021949	0.005100	1884.98	2349.1	464.1	4.1028	4.8251
15.0	342.12	615.27	0.0016581	0.01035	1612.49	2611.6	999.5	3.6877	5.3123	21.0	369.79	642.94	0.0022179	0.005008	1892.28	2340.4	448.1	4.1138	4.8108
15.1	342.65	615.80	0.0016630	0.01024	1616.51	2608.9	992.8	3.6938	5.3061	21.1	370.19	643.34	0.0022423	0.004913	1899.84	2331.3	431.5	4.1253	4.7958
15.2	343.18	616.33	0.0016680	0.01014	1620.03	2606.1	986.1	3.6999	5.2999	21.2	370.58	643.73	0.0022685	0.004817	1907.69	2321.6	413.9	4.1371	4.7802
15.3	343.71	616.86	0.0016731	0.01003	1623.95	2603.3	979.5	3.7060	5.2937	21.3	370.98	644.13	0.0022963	0.004716	1915.95	2311.3	395.4	4.1496	4.7634
15.4	344.23	617.38	0.0016782	0.00993	1627.87	2600.4	972.5	3.7121	5.2875	21.4	371.37	644.52	0.0023278	0.004612	1924.96	2300.2	375.3	4.1632	4.7454
15.5	344.75	617.90	0.0016834	0.009828	1631.80	2597.5	965.7	3.7182	5.2812	21.5	371.76	644.91	0.0023611	0.004503	1935.22	2288.1	352.9	4.1788	4.7260
15.6	345.27	618.42	0.0016886	0.009726	1635.73	2594.6	958.9	3.7243	5.2750	21.6	372.15	645.30	0.0024092	0.004386	1946.33	2274.8	328.5	4.1956	4.7047
15.7	345.79	618.94	0.0016939	0.009626	1639.67	2591.7	952.1	3.7303	5.2687	21.7	372.53	645.68	0.0024599	0.004261	1958.27	2259.8	301.5	4.2137	4.6807

p	0,085			0,090			0,095			0,100		
t	$t_s = 95.15$			$t_s = 96.71$			$t_s = 98.20$			$t_s = 99.63$		
	$v' = 0.0010400$	$v'' = 1.973$		$v' = 0.0010412$	$v'' = 1.870$		$v' = 0.0010423$	$v'' = 1.778$		$v' = 0.0010434$	$v'' = 1.695$	
	$h' = 398.63$	$h'' = 2668.6$		$h' = 405.21$	$h'' = 2671.1$		$h' = 411.49$	$h'' = 2673.5$		$h' = 417.51$	$h'' = 2675.7$	
	$s' = 1.2518$	$s'' = 7.4155$		$s' = 1.2696$	$s'' = 7.3963$		$s' = 1.2865$	$s'' = 7.3781$		$s' = 1.3027$	$s'' = 7.3608$	
	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
0.01	0.0010002	0.1	0.0000	0.0010002	0.1	0.0000	0.0010002	0.1	0.0000	0.0010002	0.1	0.0000
10	0.0010002	42.1	0.1510	0.0010002	42.1	0.1510	0.0010002	42.1	0.1510	0.0010002	42.1	0.1510
20	0.0010017	83.9	0.2963	0.0010017	83.9	0.2963	0.0010017	83.9	0.2963	0.0010017	84.0	0.2963
30	0.0010043	125.7	0.4365	0.0010043	125.7	0.4365	0.0010043	125.7	0.4365	0.0010043	125.8	0.4365
40	0.0010078	167.5	0.5721	0.0010078	167.5	0.5721	0.0010078	167.5	0.5721	0.0010078	167.5	0.5721
50	0.0010121	209.3	0.7035	0.0010121	209.3	0.7035	0.0010121	209.3	0.7035	0.0010121	209.3	0.7035
60	0.0010171	251.1	0.8310	0.0010171	251.1	0.8309	0.0010171	251.2	0.8309	0.0010171	251.2	0.8309
70	0.0010228	293.0	0.9548	0.0010228	293.0	0.9548	0.0010228	293.0	0.9548	0.0010228	293.0	0.9548
80	0.0010292	334.9	1.0752	0.0010292	335.0	1.0752	0.0010292	335.0	1.0752	0.0010292	335.0	1.0752
90	0.0010361	377.0	1.1925	0.0010361	377.0	1.1925	0.0010361	377.0	1.1925	0.0010361	377.0	1.1925
100	2.000	2678.4	7.4419	1.888	2677.8	7.4142	1.787	2677.1	7.3879	1.696	2676.5	7.3629
110	2.057	2698.4	7.4948	1.942	2697.8	7.4673	1.838	2697.3	7.4412	1.745	2696.7	7.4164
120	2.114	2718.3	7.5460	1.995	2717.8	7.5187	1.889	2717.3	7.4927	1.793	2716.8	7.4681
130	2.170	2738.1	7.5958	2.048	2737.6	7.5686	1.939	2737.2	7.5428	1.841	2736.8	7.5182
140	2.226	2757.8	7.6442	2.101	2757.4	7.6171	1.989	2757.0	7.5913	1.889	2756.6	7.5669
150	2.281	2777.5	7.6913	2.154	2777.2	7.6643	2.039	2776.8	7.6386	1.937	2776.5	7.6143
160	2.337	2797.2	7.7373	2.206	2796.9	7.7103	2.089	2796.6	7.6848	1.984	2796.2	7.6605
170	2.392	2816.9	7.7821	2.259	2816.6	7.7552	2.139	2816.3	7.7298	2.031	2816.0	7.7056
180	2.448	2836.5	7.8260	2.311	2836.3	7.7992	2.189	2836.0	7.7737	2.078	2835.7	7.7496
190	2.503	2856.2	7.8689	2.363	2855.9	7.8421	2.238	2855.7	7.8168	2.125	2855.4	7.7927
200	2.558	2875.9	7.9110	2.415	2875.6	7.8842	2.287	2875.4	7.8589	2.172	2875.2	7.8348
210	2.613	2895.6	7.9522	2.467	2895.4	7.9254	2.337	2895.1	7.9001	2.219	2894.9	7.8761
220	2.668	2915.3	7.9926	2.519	2915.1	7.9659	2.386	2914.9	7.9406	2.266	2914.7	7.9166
230	2.723	2935.1	8.0322	2.571	2934.9	8.0056	2.435	2934.7	7.9803	2.313	2934.5	7.9564
240	2.777	2954.8	8.0712	2.623	2954.7	8.0445	2.484	2954.5	8.0193	2.359	2954.3	7.9954
250	2.832	2974.7	8.1094	2.674	2974.5	8.0828	2.533	2974.3	8.0576	2.406	2974.2	8.0337
260	2.887	2994.5	8.1471	2.726	2994.4	8.1205	2.582	2994.2	8.0953	2.453	2994.1	8.0714
270	2.942	3014.5	8.1841	2.778	3014.3	8.1575	2.631	3014.2	8.1324	2.499	3014.0	8.1085
280	2.996	3034.4	8.2205	2.829	3034.3	8.1939	2.680	3034.2	8.1688	2.546	3034.0	8.1449
290	3.051	3054.4	8.2563	2.881	3054.2	8.2298	2.729	3054.2	8.2047	2.592	3054.0	8.1808
300	3.106	3074.5	8.2917	2.933	3074.4	8.2651	2.778	3074.3	8.2400	2.639	3074.1	8.2162
310	3.160	3094.6	8.3264	2.984	3094.5	8.2999	2.827	3094.4	8.2748	2.685	3094.3	8.2510
320	3.215	3114.8	8.3607	3.036	3114.7	8.3342	2.876	3114.6	8.3091	2.732	3114.4	8.2853
330	3.269	3135.0	8.3945	3.087	3134.9	8.3680	2.925	3134.8	8.3430	2.778	3134.7	8.3192
340	3.324	3155.3	8.4279	3.139	3155.2	8.4014	2.973	3155.1	8.3763	2.824	3155.0	8.3525

Elektronikus vízgőztáblázat

A program indítása után az alábbi ablak jelenik meg:

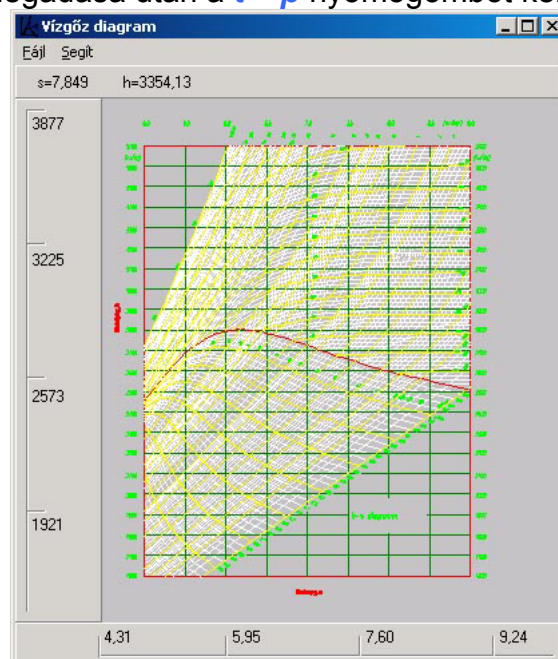


26. ábra

Egy adott állapotpont kikeresésének menete a következő:

- Az állapotpontot két állapotjelzője egyértelműen meghatározza. A két ismert értéket be kell gépelni a megfelelő beviteli mezőkbe, az ablak bal szélén.
- Közölni kell a programmal, hogy melyik két értéket módosítottuk. Ezt a jobb felső sarokban lévő gombokkal tehetjük meg. Pl. ha ki akarjuk keresni a 350 °C-os, 2 bar-os gőz jellemzőit, akkor az értékek megadása után a **t – p** nyomógombot kell lenyomni, az eredmények ekkor megjelennek a beviteli mezőkben. Ha pl. ismerjük a közeg hőmérsékletét, és tudjuk, hogy száraz telített gőz, akkor a **t''** gombot kell választanunk, stb.

A program a Ctrl+C billentyűkombinációval vagy a Változások → Másol paranccsal vágólapra tudja helyezni a kikeresett állapotpont összes állapotjelzőjét, amelyek ezután Excel táblázatba illeszthetők.

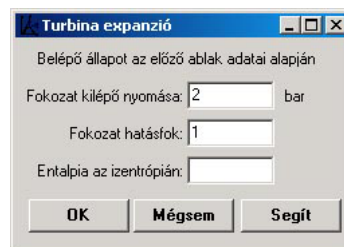


A program képes $h - s$ diagramban

27. ábra

ábrázolni a kikeresett állapotpontokat. Ehhez egy eredménylistát kell készítenünk. Ez úgy történik, hogy az adott állapotpont kikeresését követően megnyomjuk a **Hozzáadás az eredménylistához** gombot. A vízgőz diagram ablak a **Diagram rajzolás** gombbal jeleníthető meg. Az ablakban beállíthatjuk a háttérszínt, a nyomtatni kívánt részletet (egérrel kijelölve vagy Fájl → Nagyít parancsokkal), és azt, hogy az állapotváltozások vonalait ábrázolja-e a program (Fájl → Vonal a pontok között). Ha módosítottuk az eredménylistát, a Fájl → Frissítés parancssal a változások a diagramon is megjelennek.

Veszteséges expenzió folyamatok számítása a következők szerint végezhető: a kezdeti állapotot ki kell keresni a program főablakában, majd a **Turbina expenzió számítás** gombra megjelenő ablakban meg kell adni a turbinakerékről kilépő közeg nyomását, és a folyamat hatásfokát. OK gombra a végállapot jellemzői megjelennek a főablakban.



28. ábra

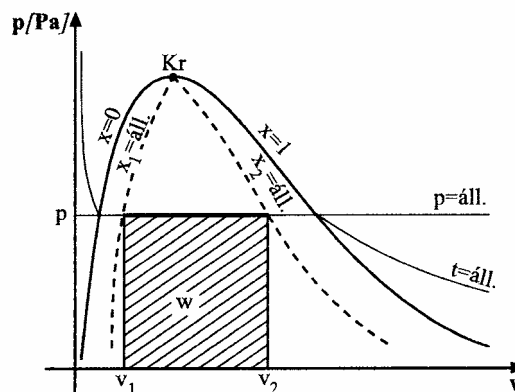
4.4. A VÍZGŐZ ÁLLAPOTVÁLTOZÁSAI

4.4.1. Izoterm – izobar állapotváltozás, $p = \text{const.}$, $T = \text{const.}$

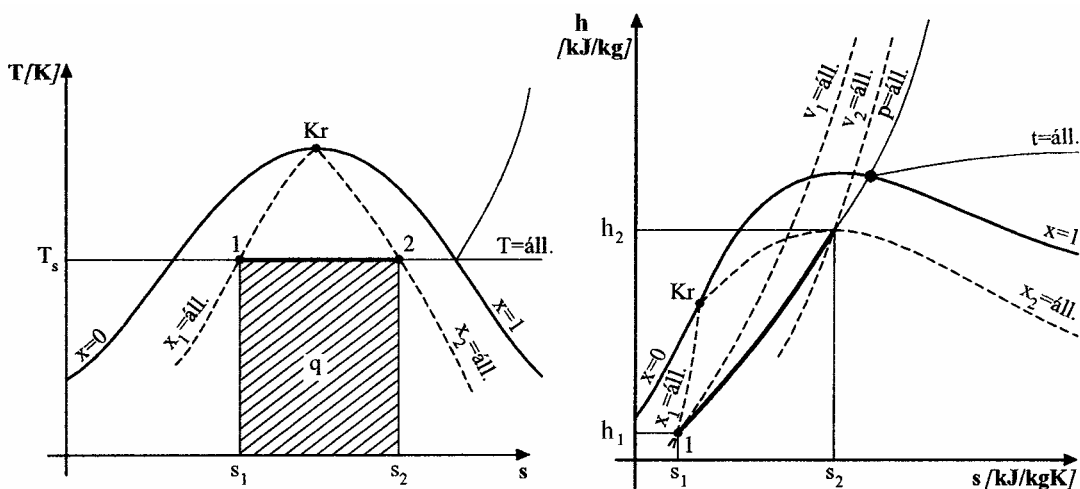
A nedves mezőben, azaz a két határgörbe közt az izobar állapotváltozás egyben izoterm is. A közölt hő és a végzett munka:

$$q = T_s (s_2 - s_1) = (x_2 - x_1) r = h_2 - h_1$$

$$w = p(v_2 - v_1)$$



29. ábra



30. ábra

4.4.2. Izobar állapotváltozás, $p = \text{const.}$

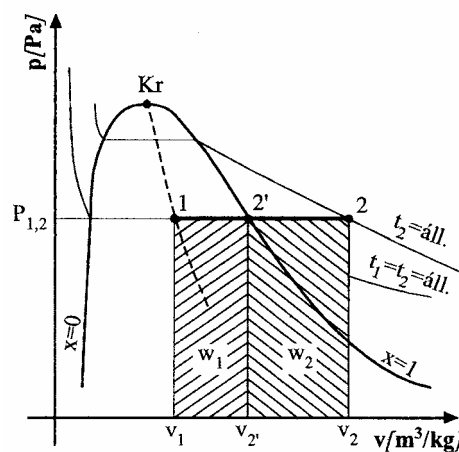
Az ábrázolt állapotváltozás a nedves és a túlhevített mezőbe eső szakaszait külön vizsgáljuk.

$$q_1 = T_s(s_2' - s_1) = (1 - x_1)r = h_2' - h_1$$

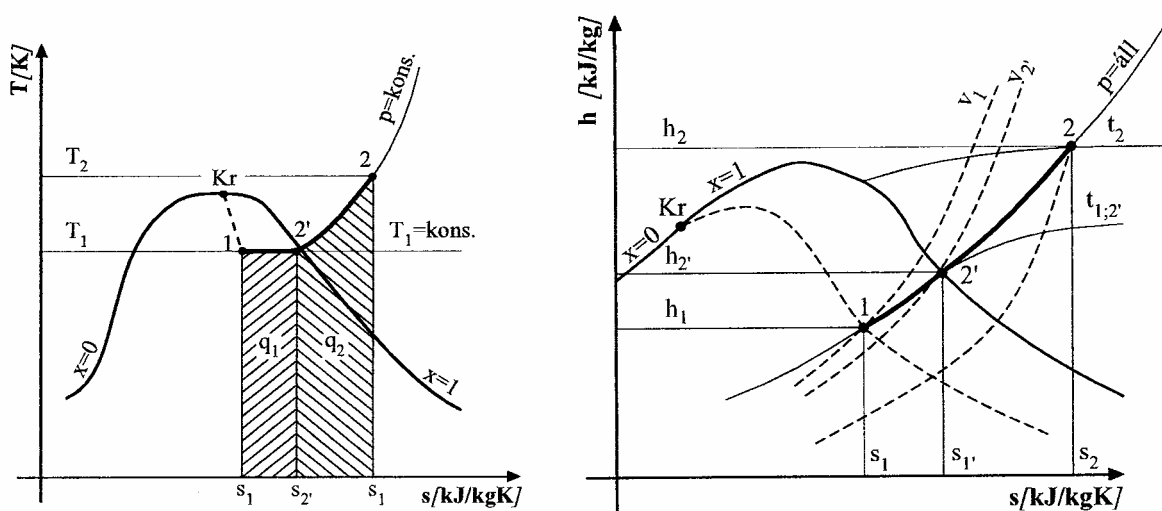
$$q_2 = h_2 - h_2'$$

$$q = q_1 + q_2 = h_2 - h_1$$

$$w = w_1 + w_2 = p(v_2 - v_1)$$



31. ábra



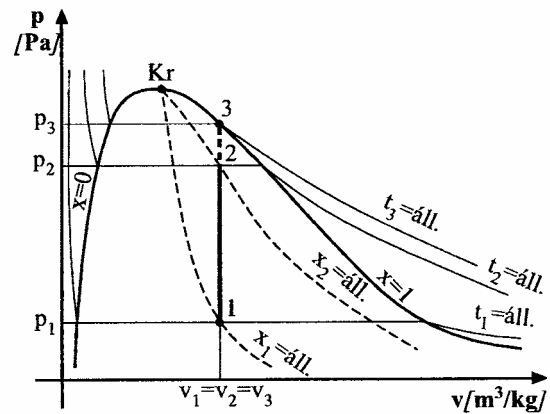
32. ábra

4.4.3. Izochor állapotváltozás, $v = \text{const.}$

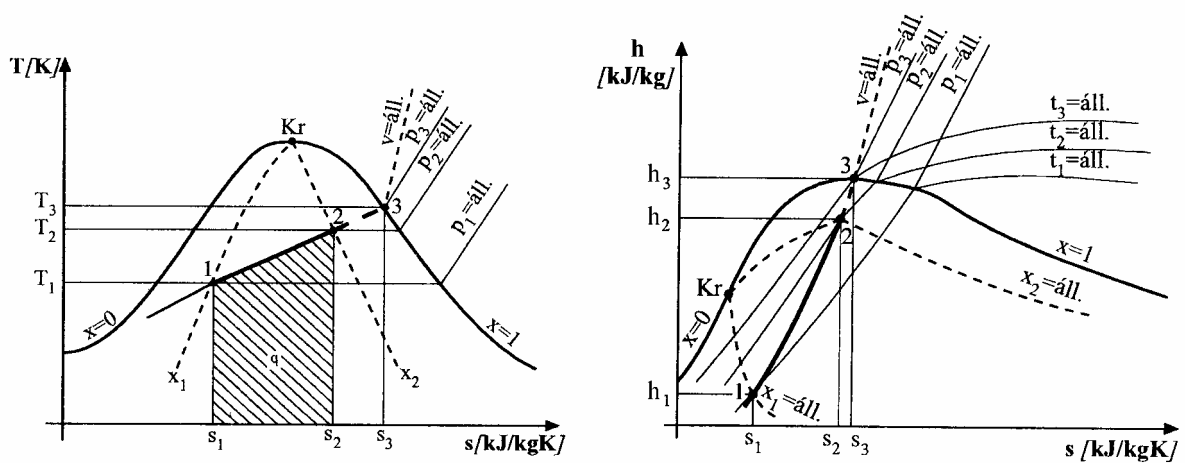
Az állapotváltozás során fizikai munka nincs, van viszont nyomásváltozás, tehát technikai munka is.

$$w_{t1} = v(p_2 - p_1)$$

$$q = u_2 - u_1 = h_2 - h_1 - v(p_2 - p_1)$$



33. ábra



34. ábra

4.4.4. Izoterm állapotváltozás, $T = \text{const.}$

Az állapotváltozást itt is két szakaszra bontjuk. A nedves mezőbe eső szakasz az 1 – 2', a és a túlhevített mezőbe eső szakasz a 2' – 2.

$$q_1 = T_s(s_{2'} - s_1) = (1 - x_1)r = h_{2'} - h_1$$

$$q_2 = T_s(s_2 - s_{2'})$$

$$q = q_1 + q_2 = T_s(s_2 - s_1)$$

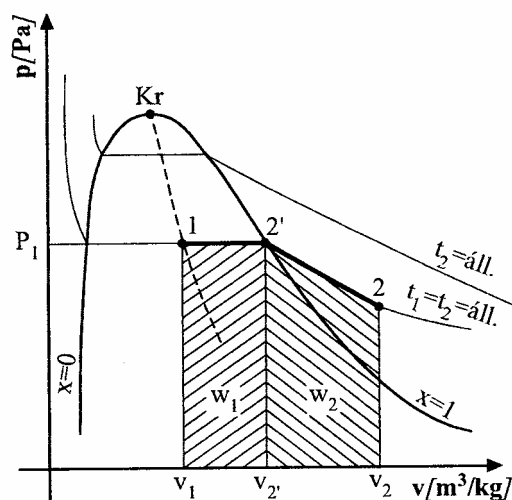
$$w_1 = p(v_{2'} - v_1)$$

$$w_2 = q_2 = T_s(s_2 - s_{2'})$$

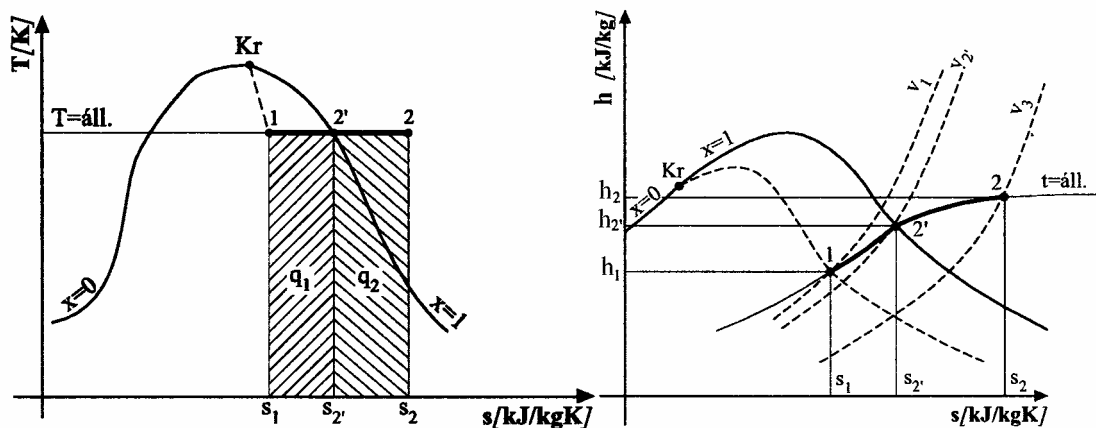
$$w = w_1 + w_2 = p(v_2 - v_1)$$

$$\Delta u_1 = u_{2'} - u_1 = (1 - x_1)\rho$$

$$\Delta u_2 = 0$$



35. ábra



36. ábra

4.4.5. Adiabaticus állapotváltozás, $s = \text{const.}$

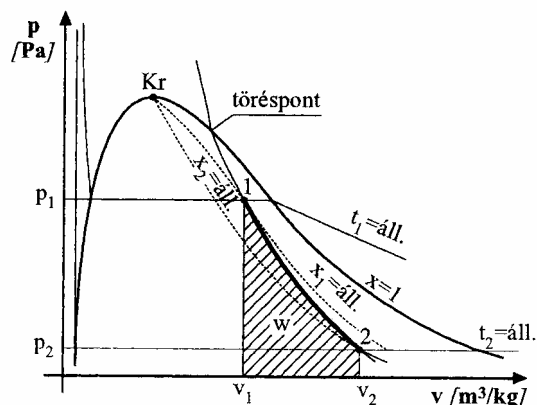
Ha nedves gőzt adiabatikusan expandáltatunk, nyomása és hőmérséklete csökken, és attól függően, hogy az állapotváltozás az alsó vagy felső határgörbe közelében játszódik le, szárazabb vagy nedvesebb lesz.

A fizikai munka:

$$w = u_1 - u_2 = h_1 - h_2 - (p_1 v_1 + p_2 v_2)$$

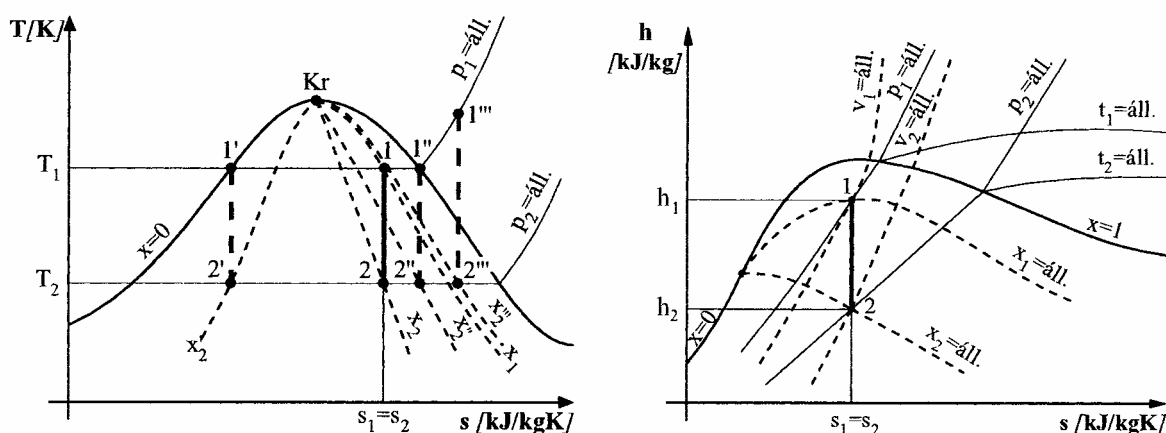
A technikai munka:

$$w_t = h_1 - h_2$$



37. ábra

A munka az $0,7 < x < 1, p \leq 25 \text{ bar}$ területen a $w = \frac{1}{\kappa - 1} (p_1 v_1 - p_2 v_2)$ képlettel is számítható, ahol Zeuner szerint: $\kappa = 1,035 + 0,1x$

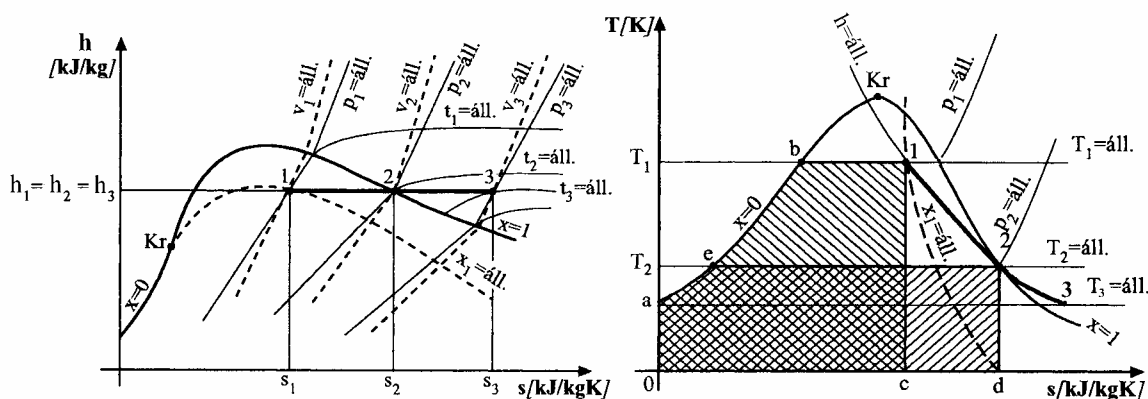


38. ábra

4.4.6. Fojtásos állapotváltozás, $h = \text{const.}$

Fojtást akkor alkalmazunk, ha az áramló közeg nyomását csökkentenünk kell, de nincs lehetőség arra, hogy a nyomáscsökkenés munkát végezzen. Ilyen alkalmazás pl. a térfogatáram szabályozása szeleppel. A folyamat adiabatikus és izoentalpikus, munkavégzés nincs. A fojtás irreverzibilis állapotváltozás, mivel csak a nyomáscsökkenés irányában folyhat le. A nedves gőz szárazabb lesz, sőt túl is hevülhet. A közeg áramlási sebessége a kisebb nyomáson fellépő nagyobb

fajtérfogat miatt nem változik. Ideális gáz esetén a hőmérséklet is állandó. A nem ideális gázok fojtásánál fellépő hőmérséklet-változás a **Joule – Thomson effektus**, melyet gázok cseppfolyósítására használnak fel.



39. ábra

Mivel fojtásnál az entalpia állandó, az 1 állapotú nedves gőz entalpiáját jellemző $Oab1cO$ területnek egyenlőnek kell lenni a 2 állapotú telített gőz entalpiáját jellemző $Oae2dO$ területtel.

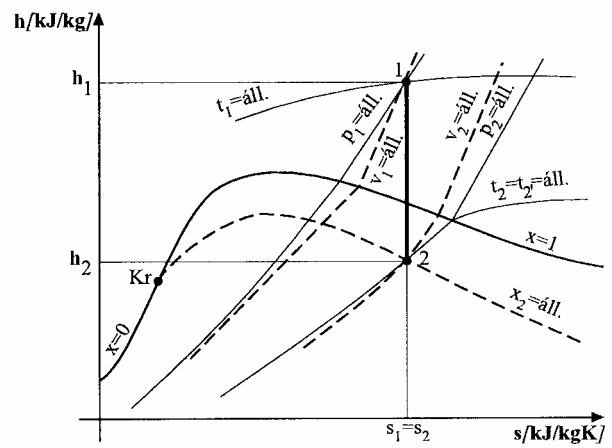
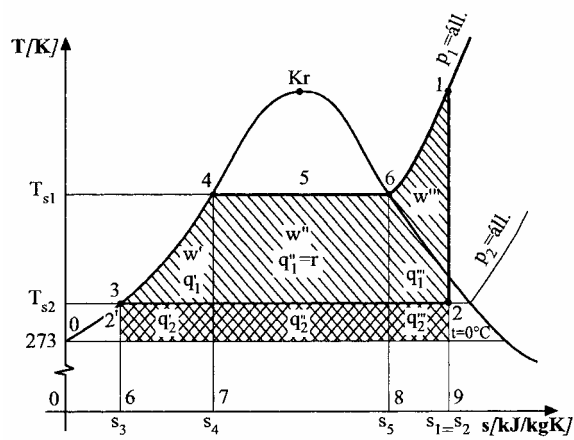
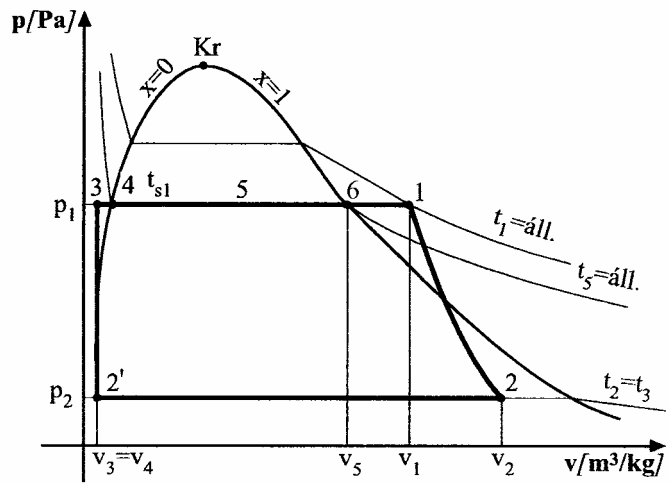
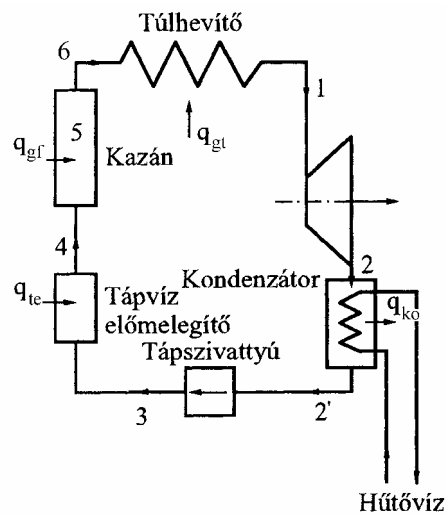
5. A GŐZGÉPEK TERMODINAMIKÁJA

5.1. RANKINE-CLAUSIUS KÖRFOLYAMAT

A legfontosabb munkaszolgáltató körfolyamat a hő- és atomerőművekben megvalósított, víz-vízgőz munkaközegű Rankine-körfolyamat. A folyamat a következő főbb folyamatokra bontható fel:

- A nagynyomású tápvizet a tápvíz-előmelegítőben telítési hőmérsékletre melegítik, majd a kazánban elgőzölögtetik, végül túlhevítik.
- Az így keletkezett nagynyomású és magas hőmérsékletű gőz a turbinába kerül, ahol belső energiája egy részét munkává alakítjuk.
- A turbinából kilépő kisnyomású és alacsony hőmérsékletű gőz a kondenzátorba kerül, ahol fázisváltozáson (kondenzáción) megy keresztül. A kondenzátorból a csapadék a tápszivattyúba jut, amely annak nyomását kazánnyomásra emeli.

A valóságos folyamat ennél sokkal összetettebb, nehezebben követhető, ezért a működést helyettesítő kapcsoláson keresztül tanulmányozzuk:



40. ábra

A körfolyamatot három jellemzője határozza meg:

- a kazánnnyomás: p_{ka}
- a kondenzátornyomás: p_{ko}
- a túlhevítési hőmérséklet: t_t

5.1.1. A körfolyamat energiamérlege

A körfolyamat állandósult **nyitott rendszer**.

A tápvíz-előmelegítés, a gőzfejlesztés és a gőztúlhevítés a **kazánnnyomáson**, a kondenzáció a **kondenzátornyomáson** végbemenő izobar folyamatok, tehát a hőmennyiségek az entalpiakülönbségekből határozhatók meg.

A tápvíz-előmelegítőben közölt hő:

$$q_{te} = h_4 - h_3$$

A gőzfejlesztőben (kazánban) közölt hő:

$$q_{gf} = h_6 - h_4$$

A gőztúlhevítőben közölt hő:

$$q_{gt} = h_1 - h_6$$

Az egy ciklus alatt közölt hő:

$$\sum q_{be} = h_1 - h_3$$

A kondenzátorban elvont hő:

$$q_{ko} = h_{2'} - h_2$$

A tápszivattyúban, illetve a turbinában a gőz állapotváltozása adiabatikus, tehát a technikai munka is entalpiakülönbségekből számolható.

A tápszivattyú munkája:

$$w_{tsz} = h_{2'} - h_3 = v(p_{2'} - p_3)$$

$$v = v_{2'} = v_3$$

A turbinán nyert munka:

$$w_{tt} = h_1 - h_2$$

A körfolyamat hasznos munkája:

$$w_t = w_{tsz} + w_{tt}$$

A szivattyú munkája a turbinájéhez képest legtöbbször elhanyagolható.

A körfolyamat termodinamikai hatásfoka:

$$\eta_t = \frac{\sum w_t}{\sum q_{be}} = \frac{h_1 - h_2 + h_{2'} - h_3}{h_1 - h_3} \cong \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2'}}$$

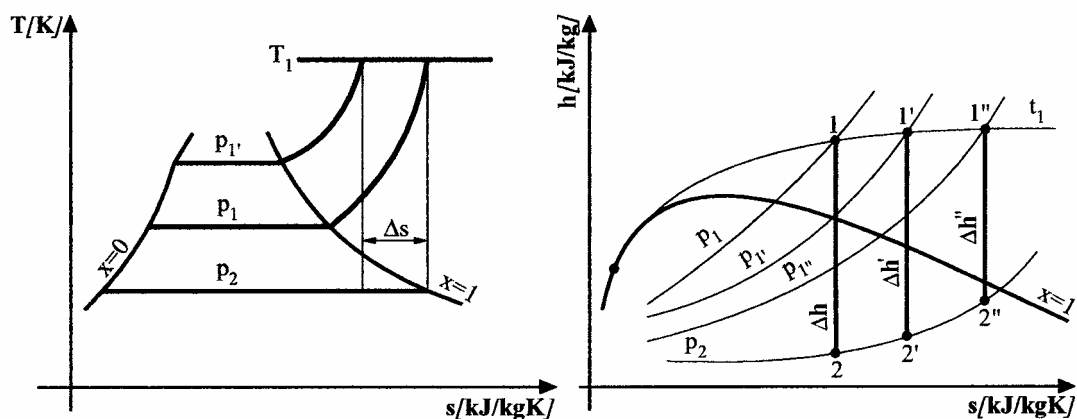
5.1.2. A körfolyamat hatásfokát befolyásoló tényezők

Az elméleti körfolyamat termodinamikai hatásfokát a három meghatározó jellemzője befolyásolja:

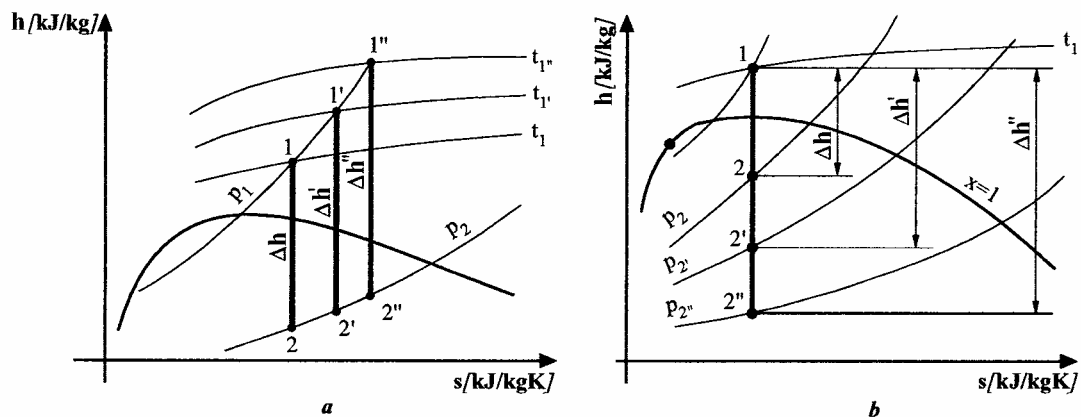
- a kazánnymomás: p_{ka}
- a kondenzátornymomás: p_{ko}
- a túlhevítési hőmérséklet: t_t

A hatásfok növelhető:

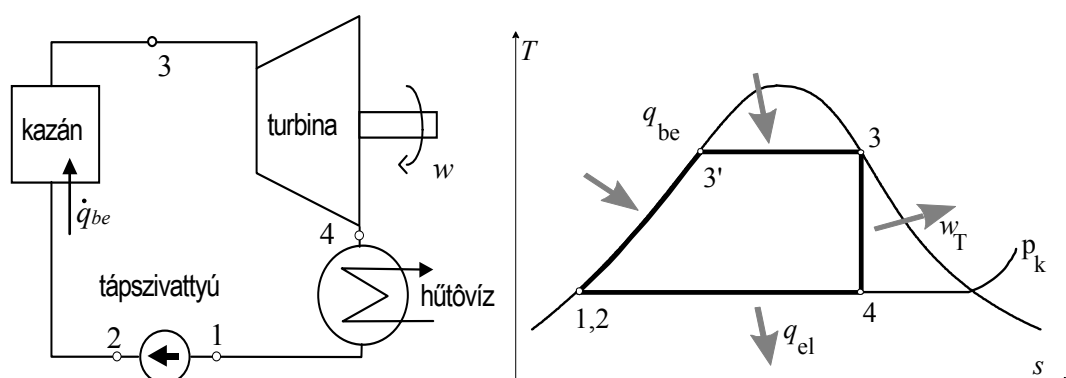
- a hőbevezetés átlaghőmérsékletének növelésével (kazánnymomás növelése vagy megcsapolás),
- a kondenzátornymomás csökkentésével,
- a túlhevítési hőmérséklet növelésével.



41. ábra

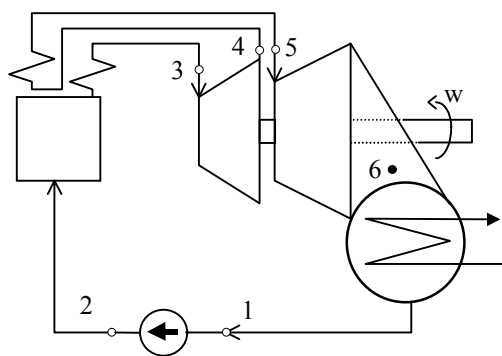


42. ábra



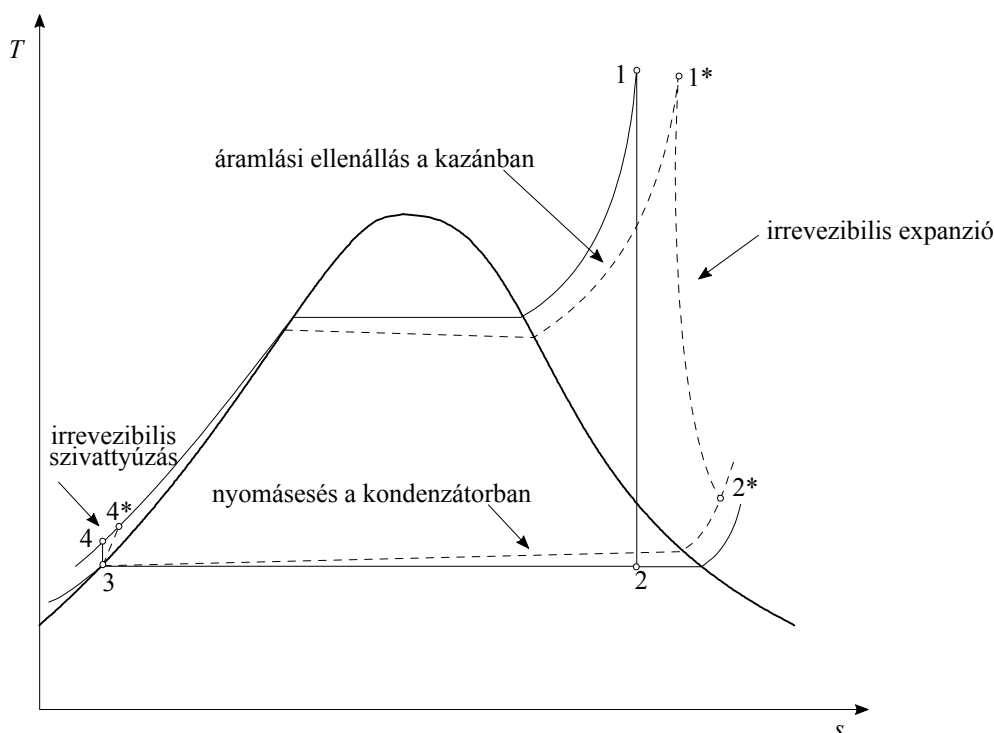
43. ábra

A hatásfok növelésére alkalmazott egyre magasabb kazánnnyomások és a túlhevítés rögzített hőmérséklete azt eredményezték, hogy megnőtt a gőz nedvességtartalma. Ez elkerülhető **újrahevítés** alkalmazásával, vagyis ha egy közbülső nyomáson a turbinából a gőzt a kazánba visszavezetjük:



44. ábra

A következő ábra a **valóságos Rankine – Clausius körfolyamat** T-s diagramját mutatja, a főbb irreverzibilitások feltüntetésével:



45. ábra

► 5.2. GÁZOK ÉS GŐZÖK KIÖMLÉSÉNEK TERMODINAMIKÁJA

A hő a gázban vagy gőzben mechanikai munkává alakul, ha a közeg nagyobb nyomású térből alacsonyabb nyomásra expandál. A gáz vagy gőz meghatározott sebességgel áramlik, a külső munkává alakult hő ekkor mozgási energia formájában van jelen. Az áramló fluidum egységnyi mennyisége az áramló csatorna vagy nyílás minden egyes helyén a következő energiatartalommal rendelkezik:

- Belső energia,
- kiszorítási energia vagy térkitöltő munka,
- helyzeti energia,
- mozgási energia.

A Bernoulli – egyenlet (a helyzeti energia elhanyagolásával):

$$q + u_1 + p_1 v_1 + \frac{c_1^2}{2} = u_2 + p_2 v_2 + \frac{c_2^2}{2}, \text{ ahol:}$$

- q – a folyamat során közölt hő
 u – a fluidum belső energiája,
 p – nyomása,
 v – fajtérfogata,
 c – áramlási sebessége.

A Clausius-féle hőegyenlet (a termodinamika I. főtételeének dinamikus formája):

$$\delta q = dh + cdc$$

Kiáramlás egyszerű legömbölyített fúvókán

Az ábrán látható egyszerű legömbölyített fúvókában lejátszódó állapotváltozás adiabatikus expanzió, amely a Kr kritikus pontig mehet végbe.

A folyamatra felírható a Bernoulli-egyenlet:

$$u_1 + p_1 v_1 + \frac{c_1^2}{2} = u_2 + p_2 v_2 + \frac{c_2^2}{2}$$

$$\frac{c_2^2 - c_1^2}{2} = u_1 - u_2 + p_1 v_1 - p_2 v_2 = h_1 - h_2 = w_t$$

A kilépő közeg sebessége:

$$c_2 = \sqrt{2w_t + c_1^2}$$

A fúvóka nyomásviszony-tényezője:

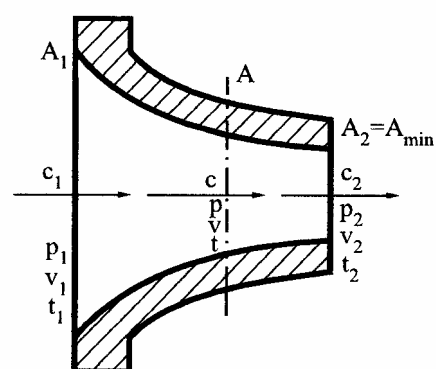
$$\beta = \frac{p_2}{p_1}$$

A fúvóka gőzfogyasztása:

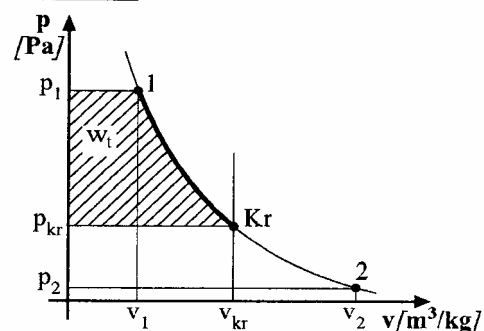
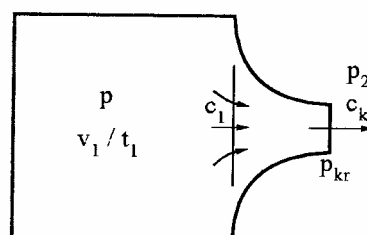
$$G_m = A_2 \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1}{v_1} \left(\beta^{\frac{2}{\kappa}} - \beta^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right)} = A_2 f(\beta)$$

ahol $f(\beta)$ a nyomásviszony függvény.

A nyomásviszony függvénynek maximuma van, amely meghatározza a β_{kr} kritikus nyomásviszonyt. A fúvóka gőzfogyasztása ennél a nyomásviszonynál a maximális. A kritikus pont meghatározása:



46. ábra



47. ábra

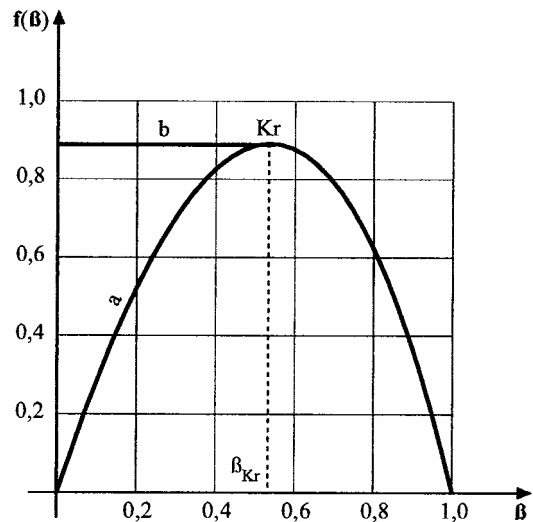
$$d\left(\beta^{\frac{2}{\kappa}} - \beta^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}\right) = 0$$

$$\frac{2}{\kappa}\beta^{\frac{2-\kappa}{\kappa}} - \frac{\kappa+1}{\kappa}\beta^{\frac{1}{\kappa}} = 0$$

$$\beta_{kr} = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

Ha a nyomásviszony csökken, a gőz tömegárama nő, és a β_{kr} érték elérésekor maximális. További nyomáscsökkenés

nem eredményez tömegáram-csökkenést az a görbének megfelelően, mivel ezen a szakaszon az expanzió rendezetlenül megy végbe. A tömegáram állandó marad (b görbe).



48. ábra

A kritikus sebesség meghatározása

A hang terjedési sebességének Laplace-féle egyenlete, p_{kr} és v_{kr} állapotjelzőkkel bíró közegben:

$$c_{kr} = \sqrt{\kappa p_{kr} v_{kr}}$$

A legömbölyített fúvókán a fluidum legnagyobb kiáramlási sebessége az adott közegre vonatkoztatott hangsebesség. A gyakorlatban telített gőzöknél

$$c_{kr} = 450 \div 500 \frac{m}{s}, \text{ túlhevített gőzöknél } c_{kr} = 550 \div 600 \frac{m}{s}.$$

A Laval-fúvóka méretezése

Ha a kritikus nyomás után az expanziót tovább kívánjuk folytatni, biztosítani kell a keresztmetszet növekedését. Ezt egy $6 \div 12^\circ$ kúpszögű toldattal, a Laval – csővel lehet elérni. A legömbölyített fúvóka és a Laval – cső együtt a Laval – fúvóka.

A méretezés két részből áll:

- a legkisebb keresztmetszet meghatározásából,
- a toldalékcső hossza és a kilépő keresztmetszet meghatározásából.

A sebesség a legkisebb keresztmetszetben:

$$c_{kr} = \alpha \sqrt{p_1 v_1}$$

$$\alpha = \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa + 1}}$$

A legkisebb keresztmetszet:

$$A_{\min} = \frac{G_m}{\delta \sqrt{\frac{p_1}{v_1}}}$$

$$\delta = \sqrt{\kappa \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa - 1}}}$$

A Laval – cső kilépő keresztmetszetének meghatározása:

$$\frac{A_{\min} c_{kr}}{v_{kr}} = \frac{A_2 c_2}{v_2}$$

$$A_{\min} = \frac{G_m v_{kr}}{c_{kr}}$$

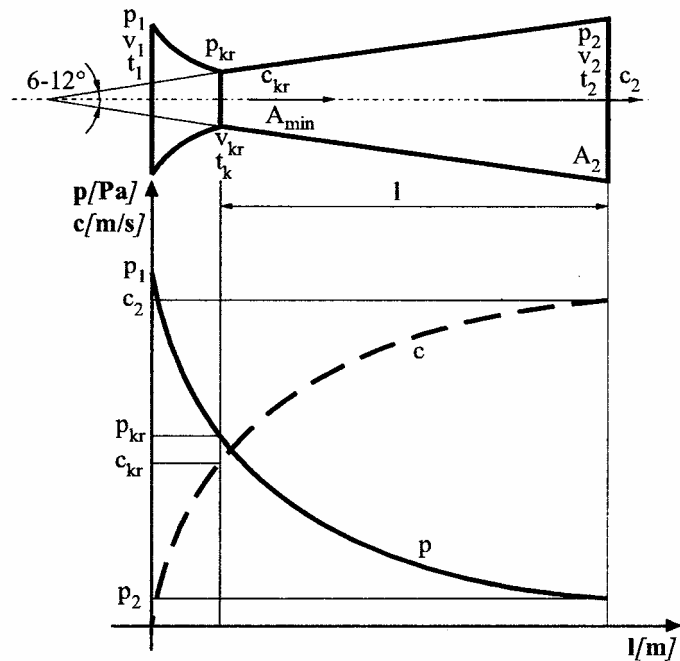
$$A_2 = \frac{G_m v_2}{c_2}$$

A Laval – cső hossza:

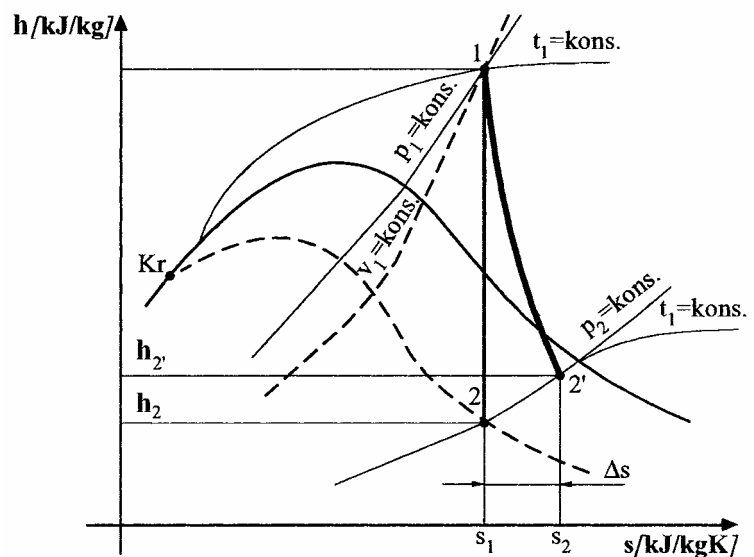
$$l = \frac{\frac{d_2}{2} - \frac{d_{\min}}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}}$$

Valóságos expenzió (1 – 2') során a folyamat veszteséges, tehát az entrópia nő. Ideális folyamathoz képest (1 – 2) azonos nyomáscsökkenés esetén a technikai munka kisebb. A két munka hányadosa az expenzió hatásfoka:

$$\eta = \frac{h_1 - h_{2'}}{h_1 - h_2}$$



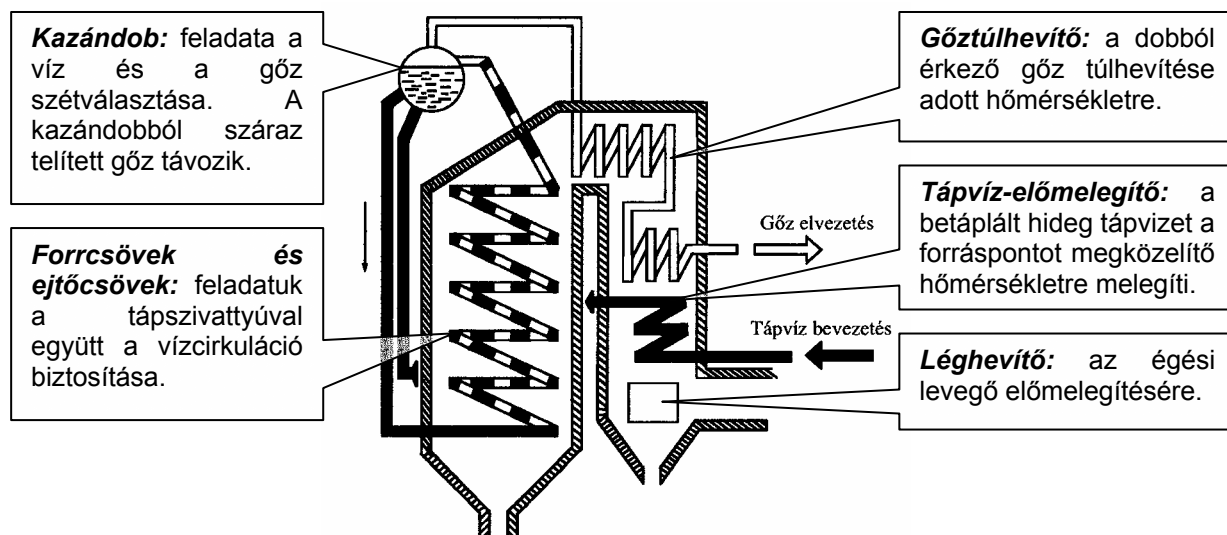
49. ábra



50. ábra

5.3. GŐZFEJLESZTŐ BERENDEZÉSEK

A gőzkazánok rendeltetése a betáplált tápvízből telített vagy túlhevített vízgőz előállítása. A gőzkazán fűtőfelületeinek kialakításánál a cél a tüzelés hatásfokának magas értéken tartása mellett minimális nagyságú felületek alkalmazása. A gőzkazán fő szerkezeti elemei:



51. ábra

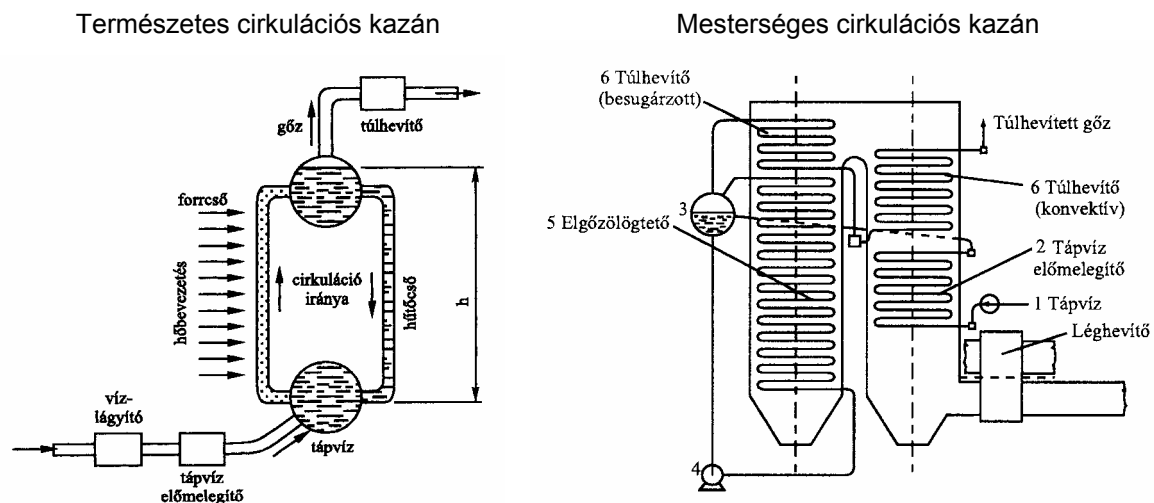
A kazánok paraméterei:

- névleges teljesítmény: a legjobb hatásfokú üzemhez tartozó gőz tömegáram,
- a kilépő gőz nyomása,
- az engedélyezési nyomás: a rendszerben maximálisan megengedhető nyomás,
- a kilépő gőz hőmérséklete,
- a tápvíz hőmérséklete,
- a víztér,
- a gőztér,
- a kazánterhelés: a közvetlen fűtőfelület 1m^2 -én óránként termelődő gőzmennyiség,
- a kazánhatásfok: a hasznosított és a bevezetett energia hányadosa.

5.3.1. Természetes és mesterséges vízcirkulációjú kazánberendezések

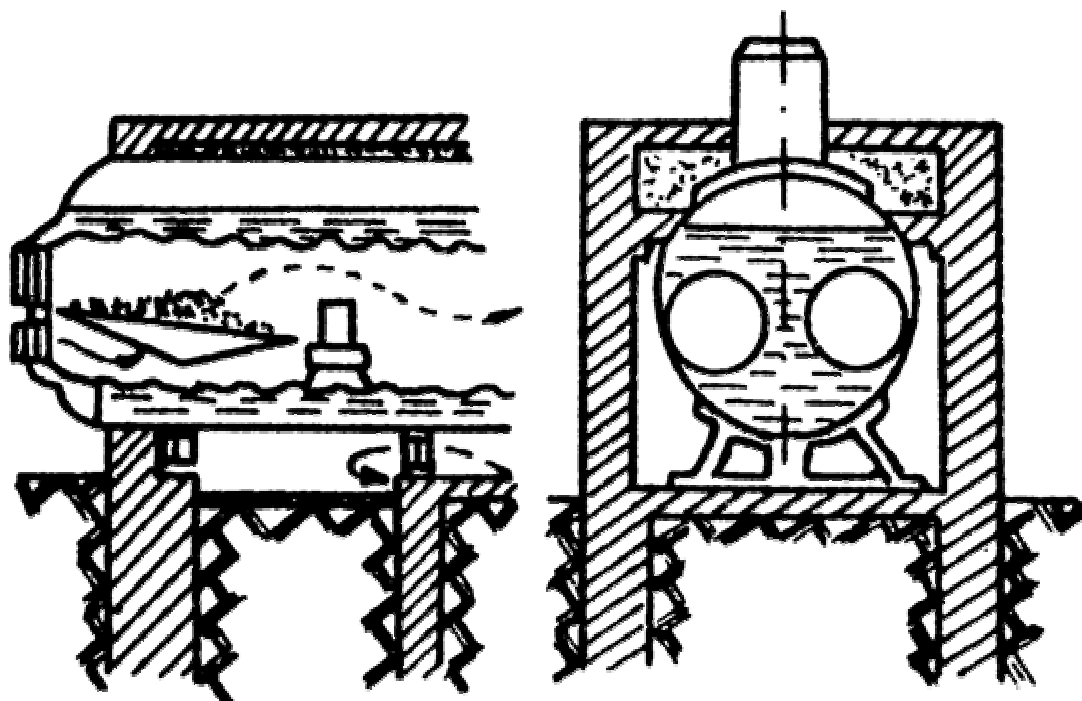
A kazánok a tápvíz keringtetése szerint lehetnek:

- természetes cirkulációs,
- mesterséges vagy kényszercirkulációs kazánok.

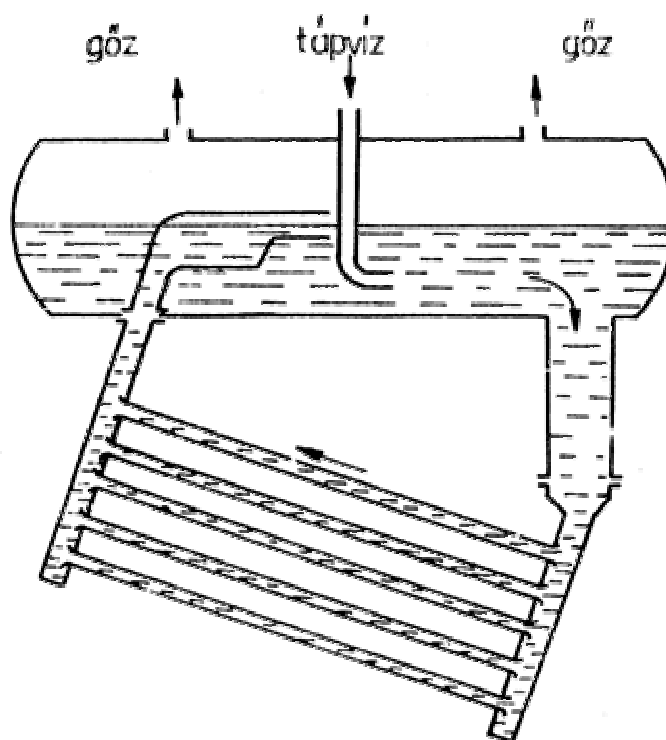


52. ábra

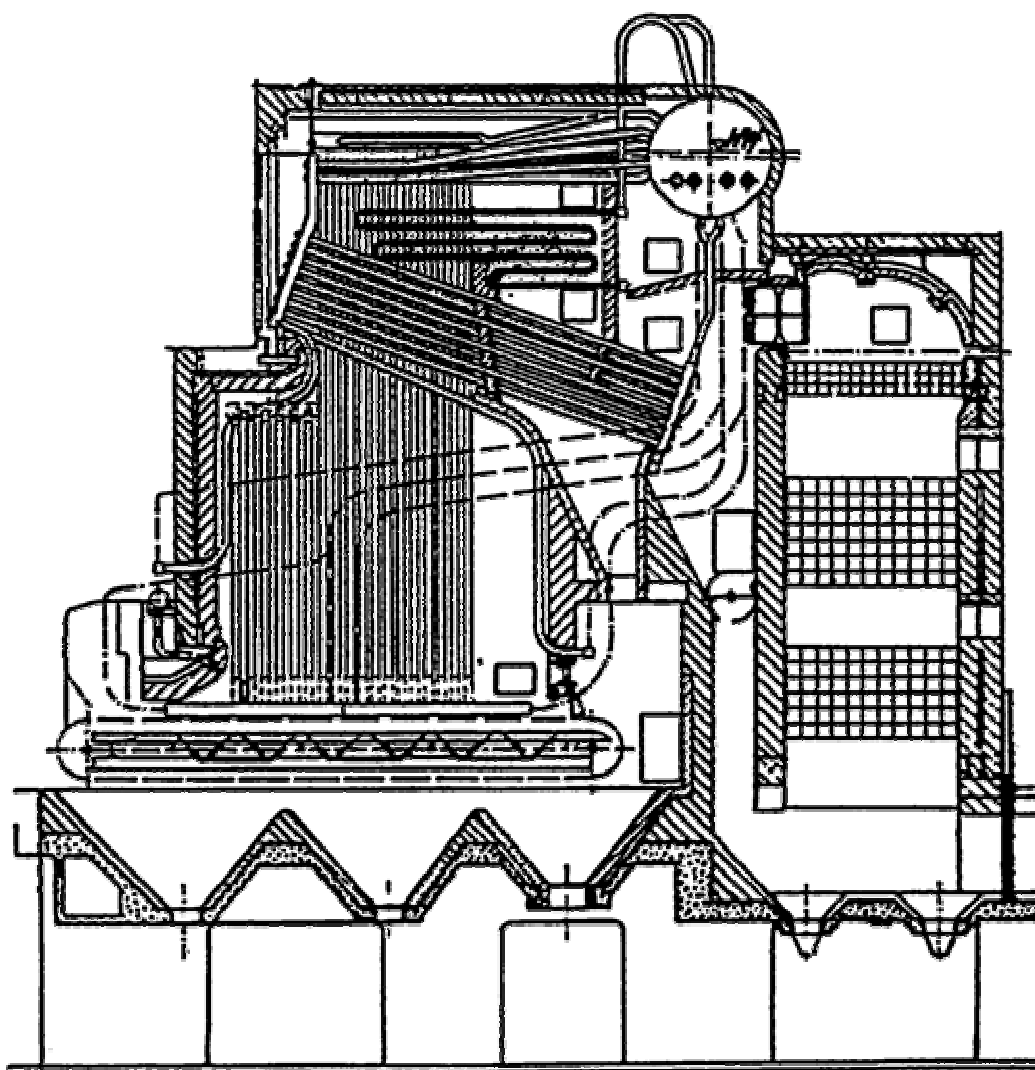
5.3.1.1. Természetes vízcirkulációjú kazánberendezések szerkezeti felépítése



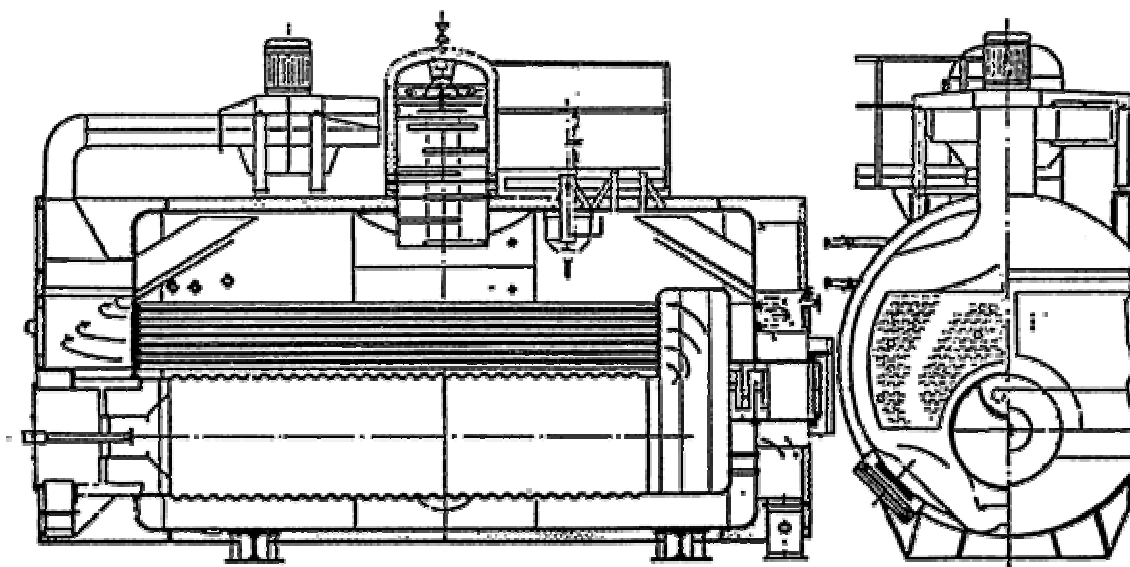
53. ábra. Cornwall kazán két tűzcsővel



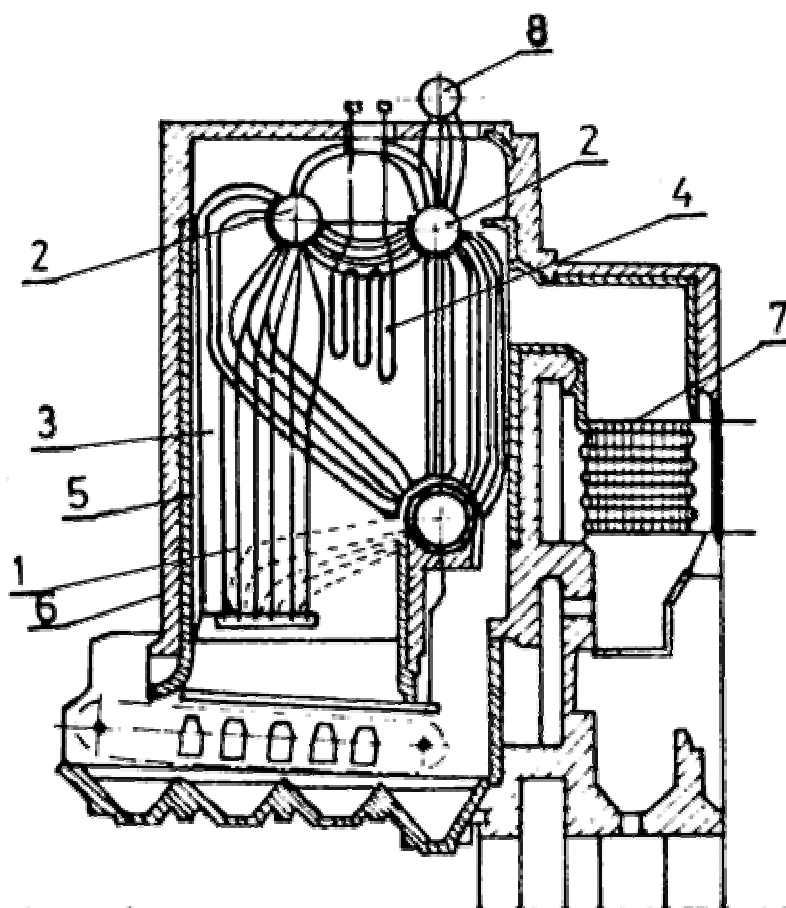
54. ábra. Steinmüller kazán



55. ábra. Keresztdobos, ferde-vízcsöves kazán

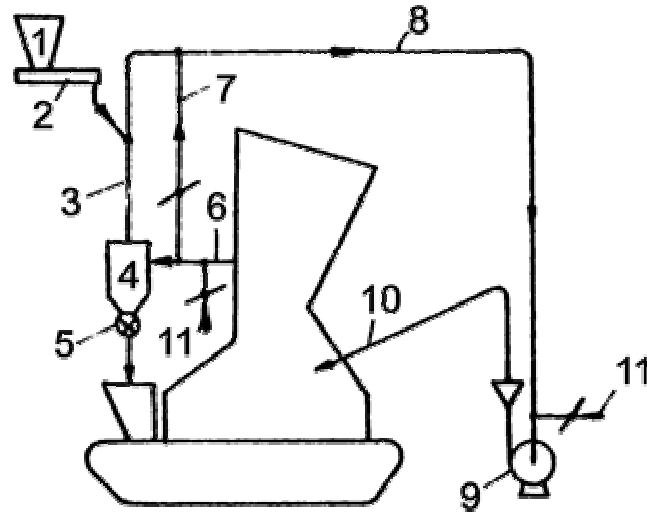


56. ábra. Háromhuzamú, nagyvízterű kazán



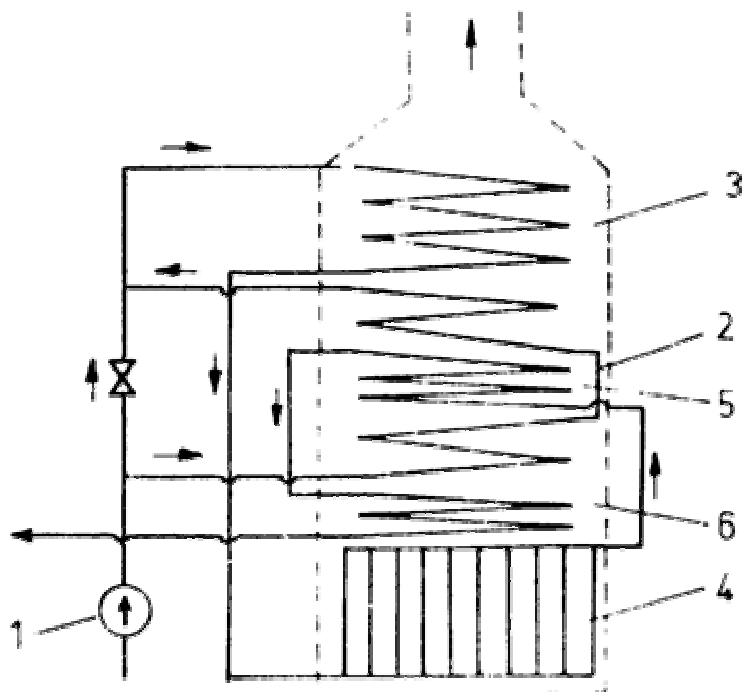
57. ábra. Merdekcsöves kazántípus. 1 – alsó kazándob, 2 – felső kazándob, 3 – forrscövek, 4 – gőztúlhevítő,

5 – tűkőrcsövek, 6 – kazánfalazat, 7 – tápvízelőmelegítő, 8 – gőzgyűjtő

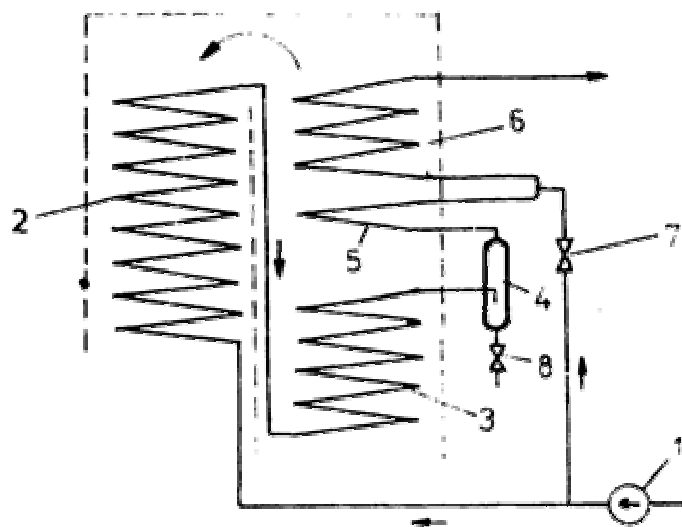


58. ábra. Vegyestüzelésű kazán. 1 – bunker, 2 – adagoló, 3 – osztályozócső, 4 – osztályozott szénbunker, 5 – ürítő, 6 – füstgázleszívó vezeték, 7 – rövidrezáró vezeték, 8 – aprószén vezeték, 9 – malom, 10 – szénporbefúvó vezeték, 11 – meleglevegő vezeték

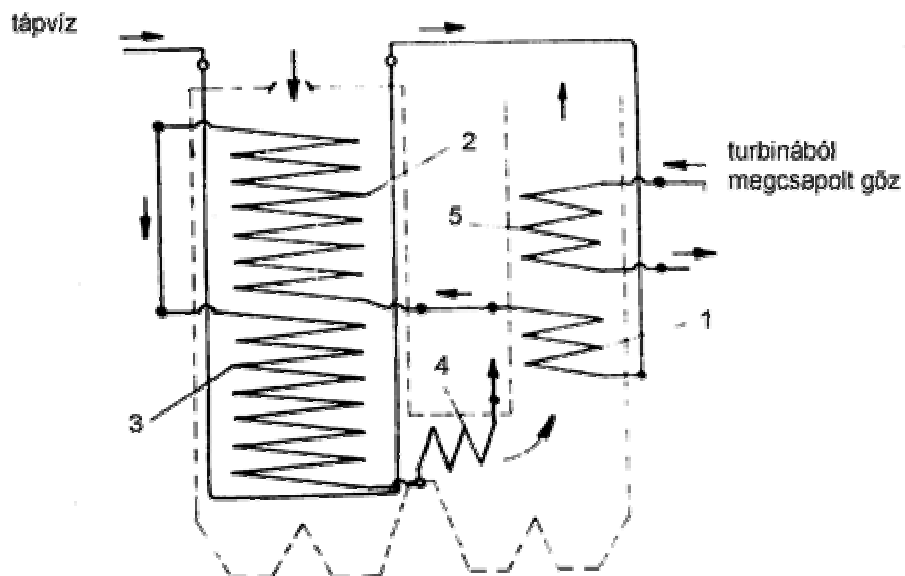
5.3.1.2. Mesterséges vízcirkulációjú kazánberendezések szerkezeti felépítése



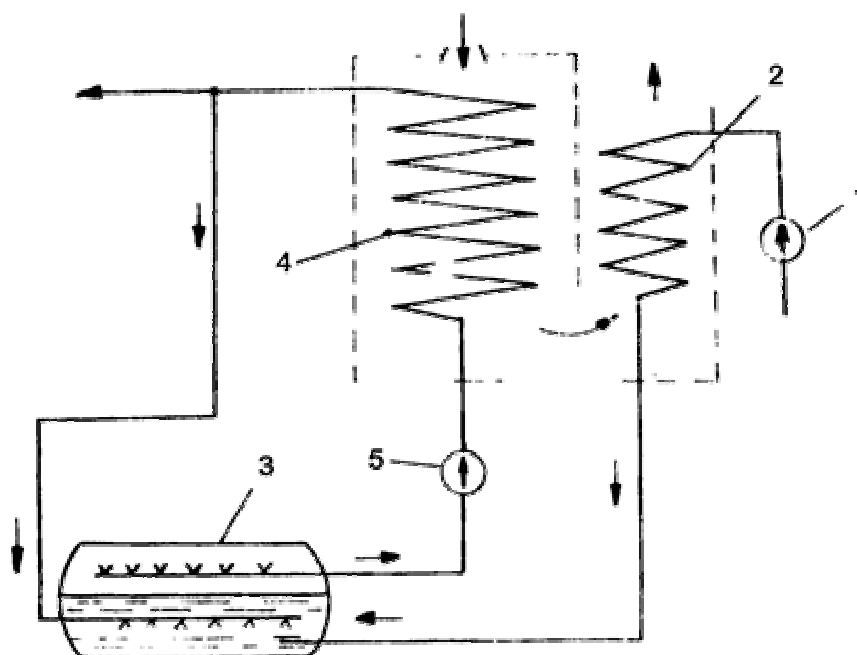
59. ábra. Benson-kazán elvi vázlata. 1 – tápszivattyú, 2 – mellékfűtőfelület, 3 – tápvíz előmelegítő, 4 – besugárzott előgőzölgető, 5 – utóelőgőzölgető, 6 – túlhevítő



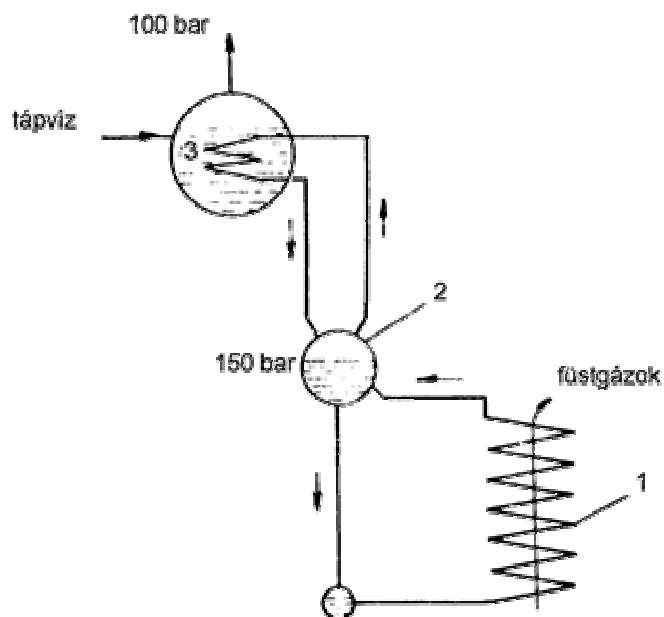
60. ábra. Sulzen-kazán elvi vázlata. 1 – tápszivattyú, 2, 3 – előgőzölgetők, 4 – sóválasztó, 5 – utóelőgőzölgető, 6 – túlhevítő, 7 – tápvíz befecskendezés szelepe, 8 – leiszapoló



61. ábra. Ramzin-kazán elvi vázlata. 1 – tápvízelőmelegítő, 2 – elgőzölögtető, 3 – utóelgőzölögtető, 4 – túlhevítő, 5 – közbenső túlhevítő



62. ábra. Löffler-kazán elvi vázlata. 1 – tápszivattyú, 2 – tápvízelőmelegítő, 3 – elgőzölögtető dob, 4 – túlhevítő, 5 – keringtető szivattyú



63. ábra. Schmidt-Hartmann kazán. 1- a primer kör elgőzölgtetője, 2 – a primer kör dobja, 3 – a szekunder kör elgőzölgtetője

5.3.2. A kazánhatásfok meghatározása direkt és indirekt módszerrel

$$\dot{Q}_B + \dot{Q}_L = \dot{Q}_h + \dot{Q}_v$$

$\dot{Q}_B$ – a tüzelőanyaggal bevitt hőáram, [kJ/s]

$\dot{Q}_L$ – a környezeti hőmérsékletű égési levegővel bevitt hő

$\dot{Q}_h$ – a kívánt paraméterű gőzmennyiség előállításához szükséges hő

$\dot{Q}_v$ – a gőztermelés összes veszteségei

Ha a levegővel bevitt hőt elhanyagoljuk, a hatásfok a következőképp írható fel:

$$\eta_k = 1 - \frac{Q_v}{Q_B} = \frac{Q_h}{Q_B}$$

Az egyenlet középső tagja a **közvetve megállapított**, jobb oldala a **közvetlenül megállapított** hatásfokot adja.

$$\dot{Q}_B = BH_i$$

B – a tüzelőanyag tömegárama, [kg/s]

H_i – a tüzelőanyag fűtőértéke, [kJ/kg]

$$\dot{Q}_h = G(h_t - h_v)$$

G – a kazán teljesítménye (a kilépő gőz tömegárama), [kg/s]

h_t – a kilépő gőz entalpiája

h_v – a tápvíz entalpiája

Így a direkt úton meghatározott kazánhatásfok:

$$\eta_k = \frac{G(h_t - h_v)}{BH_i}$$

A tökéletlen égés okozta veszteség:

$$\xi_{CO} = \frac{(1 - \xi_e)V_s H_{CO}}{H_i}$$

V_s – fajlagos száraz füstgáztérfogat [m^3/kg]

ξ_e – a tüzelésnél, elégetlen formában veszendőbe menő anyaghányad [kg/kg]

A szállókoks-veszteség:

$$\xi_{szk} = \frac{g_k g_e 33279}{H_i}$$

g_k – a füstgázban lévő szállókoks fajlagos mennyisége

g_e – a füstgázban lévő szállókoks éghető komponens tartalma

A salakban maradt éghető anyag okozta veszteség:

$$\xi_e = \frac{B_s g_{es} 33279}{BH_i}$$

B_s – az időegység alatt kihordott salak tömege, [kg/h]

g_{es} – a salak éghető komponens tartalma, [kg/kg]

B – az eltüzelt szén tömege, [kg/h]

Nagy mennyiség esetén egyszerűbb a salak mennyiségét a szén hamutartalmából meghatározni:

$$\xi_e = \frac{g_h}{1 - g_{es}} \cdot \frac{g_{es} 33279}{H_i}$$

g_h – a szén hamutartalma, [kg/kg]

A tüzeléstechnikai hatások:

$$\eta_T = 1 - (\xi_{CO} + \xi_{szk} + \xi_e)$$

A sugárzási veszteség: a környezetnek sugárzással és konvekcióval átadott veszteség:

$$\xi_s = \sqrt{\frac{100}{G}}$$

A távozó füstgázokkal elvitt hő:

$$\dot{Q}_{fg} = B_{gk} c_{pk} t_{fg}$$

B_{gk} – a gázképző tüzelőanyag mennyisége, [kg/h]

c_{pk} – a gázképző tüzelőanyag izobar fajhője, [kJ/(kgK)]

t_{fg} – a gázképző tüzelőanyag hőmérséklete, [°C]

A távozó füstgáz veszteségtényezője:

$$\xi_{fg} = \frac{(1 - \xi_e) B c_{pfg} t_{fg} - L c_{pl} t_l}{B H_i}$$

A fűtőfelület hatásfoka:

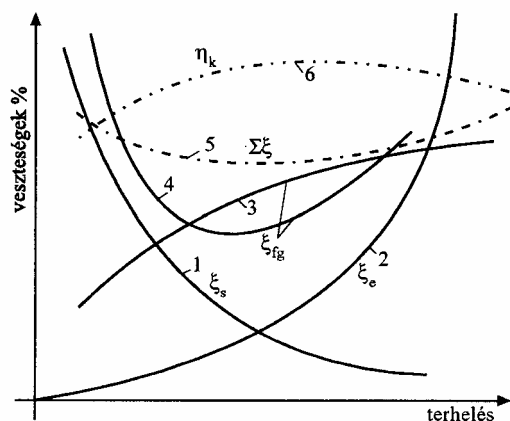
$$\eta_F = 1 - \frac{\xi_{fg} + \xi_s + \xi_{sh}}{\eta_T}$$

A kazán hatásfoka:

$$\eta_k = \eta_T \eta_F$$

► Az állandósult (stacioner) üzemállapotban mért veszteségek a terhelés függvényében változnak:

- 1 – sugárzási veszteség
- 2 – elégetlen tüzelőanyag
- 3 – füstgázvesztés arányszabályozással
- 4 – füstgázvesztés vándorrostéllal
- 5 – a veszteségek összege
- 6 – kazánhatásfok



64. ábra

6. PASSZÍV ENERGIATRANSZPORT

6.1. EGYSZERŰ HŐÁTMENET

6.1.1. Hővezetés

A hő terjedése az anyagon belül, részecskéről részecskére.

A Fourier - egyenlet:

$$dQ = -\lambda \cdot dA \cdot \text{grad}t \cdot d\tau = -\lambda \cdot dA \frac{\partial t}{\partial n} d\tau$$

λ – hővezetési tényező, $[\lambda] = \frac{W}{mK}$. Egységnyi vastagságú falon, a fal két oldala közti egységnyi hőmérséklet-különbség esetén időegység alatt átáramló hő nagyságát fejezi ki.

A – a hőáramlásra merőleges keresztmetszet

$\text{grad}t = \frac{\partial t}{\partial n}$ – hőmérséklet-gradiens, a test két pontja közti hőmérséklet-különbség

(Δt) és a pontok közti távolság (Δn) hányadosának határértéke: $\text{grad}t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n}$.

A hőáram az egységnyi idő alatt átáramlott hő:

$$d\Phi = \frac{dQ}{d\tau} = -\lambda \cdot dA \cdot \text{grad}t = -\lambda \cdot dA \frac{\partial t}{\partial n}$$

$$[\Phi] = \frac{J}{s} = W$$

A hőáramsűrűség az egységnyi felületre vonatkoztatott hőáram:

$$d\varphi = \frac{d\Phi}{dA} = -\lambda \cdot \text{grad}t = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n}$$

$$[\varphi] = \frac{J}{m^2 s} = \frac{W}{m^2}$$

6.1.2. Hőátadás

Valamely fluidum és a vele érintkező szilárd felület között jön létre a hőátadás. Két, alapvetően eltérő változata:

- szabadkonvekció,
- kényszerkonvekció.

A hőáramsűrűség és a hőáram:

$$\varphi = -\lambda \text{grad} t_w = \alpha (t_w - t)$$

$$\Phi = \alpha \cdot A \cdot (t_w - t)$$

$$\alpha = \frac{-\lambda \text{grad} t_w}{(t_w - t)}$$

α – konvekciós hőátadási tényező, [W/(m²K)]

A hőátadási tényező tájékoztató értékei:

5. táblázat

A folyamat és a közeg megnevezése	α [W/m ² K]
Gáz természetes konvekció esetén	6 ÷ 35
Gáz csövekben áramoltatva	10 ÷ 350
Víz természetes konvekció esetén	110 ÷ 1100
Víz csövekben áramoltatva	600 ÷ 12000
Forrásban lévő víz	2500 ÷ 45000
Hártyás kondenzáció	4000 ÷ 15000
Csepp kondenzáció	30000 ÷ 120000

Hidraulikai határréteg: a fluidum azon rétege, melyben a fal közelsége az áramkép kialakulására hatással van.

6.1.3. Hősugárzás

Meghatározott hosszúságú elektromágneses rezgés, ún. infravörös sugárzás. Környezeti hőmérsékleten a sugárzás mértéke elhanyagolhatóan kicsi, azonban 5-700 °C hőmérséklet felett minden más átadási formát meghatladó mértékű.

Sugárzóképeség: a T hőmérsékletű test által, abszolút nulla hőmérsékletű közegben, időegység alatt, egységnyi felületen, teljes hullámhossz tartományban

kisugárzott összes hőmennyiség a test T hőmérsékletéhez tartozó sugárzóképesége.

Jele **E**, mértékegysége $\frac{W}{m^2}$.

A sugárzás hőegyensúlya:

$$\Phi = \Phi_A + \Phi_R + \Phi_D$$

$$A = \frac{\Phi_A}{\Phi}; B = \frac{\Phi_B}{\Phi}; C = \frac{\Phi_C}{\Phi}$$

Φ – a test által sugárzás útján kapott hőáram

Φ_A – a test által elnyelt hőáram

Φ_R – a test által visszavert hőáram

Φ_D – a test által áteresztett hőáram

Abszolút fekete test: $A = 1; R = D = 0$

Abszolút fehér test: $R = 1; A = D = 0$

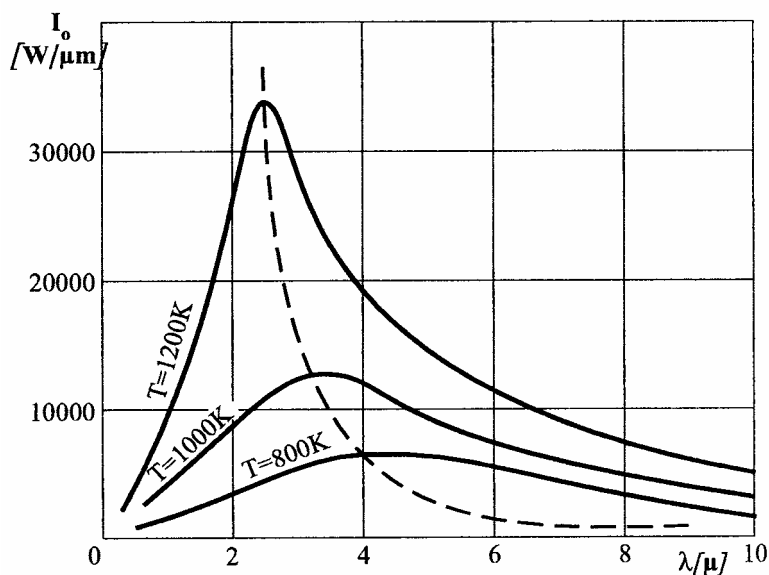
Diatermikus anyagok: $D = 1; A = R = 0$

$\frac{E}{A} = \frac{E_0}{A_0}$ valamennyi testre állandó, csak a hőmérséklet függvénye.

Sugárzási intenzitás: valamely λ és $\lambda + d\lambda$ hullámhosszúságok által határolt elemi hullámhossztartományban a felületegységről időegység alatt kisugárzott elemi

energia. Jele: **I**, mértékegysége $\frac{W}{m^2} \mu$.

Teljes hullámhossz tartományban a sugárzás intenzitását a Planck – féle eloszlásgörbék szemléltetik:



65. ábra

Wien – féle eltolódási törvény: a hőmérséklet csökkenésével az emisszió maximuma a nagyobb hullámhosszak felé tolódik el.

Stefan – Boltzmann törvény: egy T hőmérsékletű abszolút fekete test által a teljes hullámhossz tartományban 0K hőmérsékletű térbe kisugárzott összes energia az abszolút hőmérséklet negyedik hatványával arányos:

$$E_0 = \int_{\lambda=0}^{\infty} I_0 d\lambda = KT^4 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

Abszolút fekete test esetén $K = 5,77 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$; $C_0 = 5,77 \frac{W}{m^2 K^4}$.

A szürke test sugárzóképesége:

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

C – a szürke test sugárzási tényezője

Feketeségi fok:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} = \frac{A}{A_0} = \frac{C}{C_0}$$

Lambert – féle távolsági törvény: pontszerű sugárforrás sugárzásának intenzitása a távolság négyzetével arányosan csökken.

Lambert cosinus törvénye: a sík, sugárzó felület normális irányú (E) és a normálishoz mért φ szögbeni kisugárzása (E_φ) közötti összefüggés:

$$E_\varphi = E \cos \varphi$$

Sugárzással átadott hő szilárd testek közt:

$$Q = C_{12} \tau A_f \cos \varphi \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

C_{12} – az eredő sugárzási tényező

τ – az idő

A_f – a hőt befogadó felület

φ – a normálishoz mért beesési szög

T_1 – a melegebb test abszolút hőfoka

T_2 – a hidegebb test abszolút hőfoka

Az eredő sugárzási tényező zárt térben (a hőt kisugárzó testet a másik test teljesen körülveszi):

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{5,77} \right)}$$

A_1 – a hőt kisugárzó felület

A_2 – a hőt befogadó felület

Az eredő sugárzási tényező párhuzamosan elhelyezkedő testek közt:

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{5,77}}$$

Az eredő sugárzási tényező két, a térben önkényesen elhelyezett test közt:

$$C_{12} = \frac{C_1 C_2}{5,77}$$

$$A \cos \varphi = \iint_{A_1 A_2} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{l} dA_1 dA_2$$

φ_1, φ_2 – a beesési szögek

l – a felületek közti közepes távolság

Gáz által falra sugárzott hő:

$$Q = \varepsilon'_f C_0 \tau A_f \left[\varepsilon_1 \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \varepsilon_2 \left(\frac{T_f}{100} \right)^4 \right]$$

$$\varepsilon'_f = \frac{\varepsilon_{fal} + 1}{2}$$

ε'_f – a fal effektív feketeségi foka

A gázok és gőzök nem követik egyértelműen a Stefan – Boltzmann törvényt, a kisugárzás nem arányos az abszolút hőmérséklet negyedik hatványával, hanem anyagonként eltérő. Ezt a gáz feketeségi fokának megfelelő felvételével kompenzáljuk, és a hőmérséklet negyedik hatványát vesszük figyelembe.

A fal effektív feketeségi fokának felvételére azért van szükség, mert az üreges testek mindig nagyobb feketeségi fokkal rendelkeznek, mint az anyagi szerkezetükből következne.

A gőz közepes hőmérséklete:

$$T_g = \sqrt{T_{g1} T_{g2}}$$

T_{g1} – a gőz kezdeti hőmérséklete

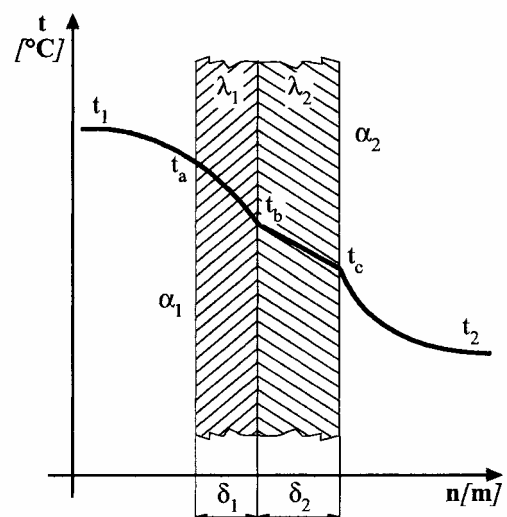
T_{g2} – a gőz véghőmérséklete

6.2. ÖSSZETETT HŐÁTVITEL

Összetett hőátvitelnek tekinthető az a folyamat, amelyben az előzőleg tárgyalt egyszerű hőátmenetek (hővezetés, hőátadás, hősugárzás) közül egyidejűleg több is lejátszódik.

6.2.1. Hőátszármaztatás

A hőátszármaztatás hővezetés és hőátadás útján jön létre. A hőátszármaztatást a **hőátbocsájtási együttható**: k jellemzi, mely az egységnyi hőmérséklet-különbség mellett kialakuló hőáramsűrűséget jelenti. A hőáramsűrűség az ábrán látható kétrétegű fal hőátszármaztatásának négy szakaszára:



66. ábra

$$\varphi = \alpha_1(t_1 - t_a) \rightarrow \frac{\varphi}{\alpha_1} = t_1 - t_a$$

$$\varphi = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_a - t_b) \rightarrow \varphi \frac{\delta_1}{\lambda_1} = t_a - t_b$$

$$\varphi = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_b - t_c) \rightarrow \varphi \frac{\delta_2}{\lambda_2} = t_b - t_c$$

$$\varphi = \alpha_2(t_c - t_2) \rightarrow \frac{\varphi}{\alpha_2} = t_c - t_2$$

A hőmérséklet-változásokat összegezve:

$$\varphi \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \right) = t_1 - t_2$$

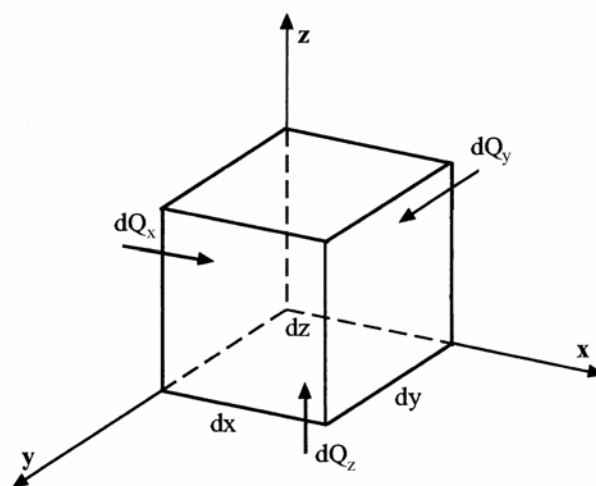
$$\varphi = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = k(t_1 - t_2)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$[k] = \frac{W}{m^2 K}$$

6.3. A HŐVEZETÉS FOURIER – FÉLE DIFFERENCIÁLEGYENLETE

Egységnyi élhosszúságú test hővezetése:



67. ábra

A belső energiaváltozás a z tengely irányában:

$$dQ_{z1} = -\lambda dx dy \frac{\partial t}{\partial z} d\tau$$

$$dQ_{z2} = -\lambda dx dy \frac{\partial \left(t + \frac{\partial t}{\partial z} dz \right)}{\partial z} d\tau = -\lambda dx dy \frac{\partial t}{\partial z} d\tau - \lambda dx dy dz \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} d\tau$$

$$dQ_z = dQ_{z1} - dQ_{z2} = \lambda dx dy dz \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} d\tau$$

A belső energiaváltozás a x tengely irányában:

$$dQ_x = dQ_{x1} - dQ_{x2} = \lambda dx dy dz \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} d\tau$$

A belső energiaváltozás a y tengely irányában:

$$dQ_y = dQ_{y1} - dQ_{y2} = \lambda dx dy dz \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} d\tau$$

A teljes belső energiaváltozás:

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z = \lambda dx dy dz \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) d\tau$$

Az energiamegmaradás értelmében:

$$dQ = dx dy dz \cdot \rho \cdot c \cdot \frac{dt}{d\tau} d\tau$$

A két utóbbi egyenletet egyenlővé téve:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

A hővezetés differenciálegyenlete:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad \text{– hőmérséklet-vezetési tényező}$$

$$\nabla \quad \text{– Laplace – operátor}$$

► 6.3.1. A stacioner hővezetés esetei

A hővezetés differenciálegyenlete:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2$$

Stacioner hővezetés esetén:

$$\tau = const. \rightarrow a \cdot \nabla^2 = 0$$

$$a \neq 0 \rightarrow \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

Egyrétegű sík falon keresztüli hővezetés

Sík falra $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$. Ezt kétszer integrálva: $\frac{dt}{dx} = \text{const.}$

A hőmérséklet-gradiens állandó, tehát a hőmérséklet-változás a falban lineáris képet mutat.

$$\frac{dt}{dx} = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta}$$

t_{w1}, t_{w2} – a falfelületek hőmérsékletei

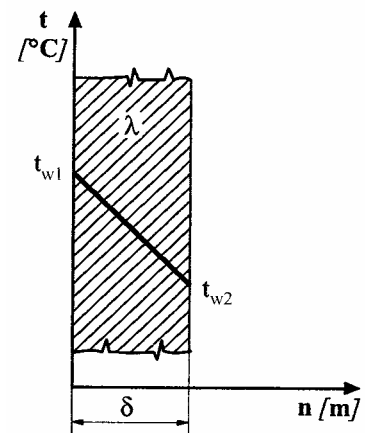
δ – a fal vastagsága

$$\varphi = -\lambda \frac{dt}{dx} = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2})$$

$$\Phi = \varphi A = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) A$$

$$Q = \Phi \tau = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) A \tau$$

A – falfelület



68. ábra

Többrétegű sík falon keresztüli hővezetés

A fal minden rétegén azonos nagyságú a hőáram. Feltételezzük, hogy a rétegek egymással érintkező felületei azonos hőmérsékletűek. A hőáramsűrűség az egyes rétegekre felírva:

$$\varphi = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{w1} - t_a) = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_a - t_b) = \dots = \frac{\lambda_z}{\delta_z} (t_z - t_{w2})$$

A hőmérséklet-különbségek az egyes rétegekben:

$$(t_{w1} - t_a) = \varphi \frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$$(t_a - t_b) = \varphi \frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

⋮

$$(t_z - t_{w2}) = \varphi \frac{\delta_z}{\lambda_z}$$

Ezek összege:

$$(t_{w1} - t_a) + (t_a - t_b) + \dots + (t_z - t_{w2}) = (t_{w1} - t_{w2}) = \varphi \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \varphi \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \varphi \frac{\delta_z}{\lambda_z} = \varphi \sum_{i=1}^z \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

A hőáramsűrűség, a hőáram és a hőmennyiség:

$$\varphi = \frac{(t_{w1} - t_{w2})}{\sum_{i=1}^z \frac{\delta_i}{\lambda_i}}$$

$$\Phi = \varphi A$$

$$Q = \Phi \tau$$

Hővezetés hengeres falon keresztül

A hőmérsékletgradiens a sugárral felírva:

$$\text{grad}t = \frac{dt}{dr}$$

A hőáram:

$$\Phi = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dt}{dr} = -\lambda \cdot 2\pi r h \cdot \frac{dt}{dr}$$

Az elemi hőmérséklet-változás a fenti egyenletből kifejezve és a belső és külső felületnek megfelelő határok közt integrálva:

$$dt = -\frac{\Phi dr}{\lambda \cdot 2\pi r h}$$

$$\int_{t_{w1}}^{t_{w2}} dt = -\int_{r_1}^{r_2} \frac{\Phi dr}{\lambda \cdot 2\pi r h}$$

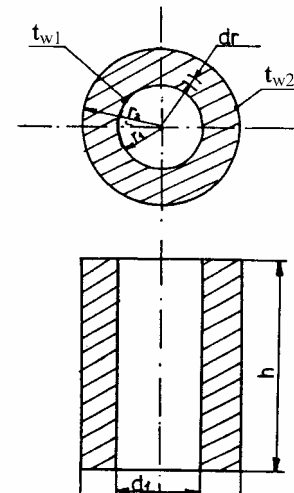
$$t_{w1} - t_{w2} = \frac{\Phi}{\lambda \cdot 2\pi h} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Az egyrétegű hengeres falon a hőáram:

$$\Phi = \frac{\lambda \cdot 2\pi h (t_{w1} - t_{w2})}{\ln \frac{d_2}{d_1}}$$

Többrétegű hengeres fal hőárama:

$$\Phi = \frac{2\pi h (t_{w1} - t_{w2})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}$$



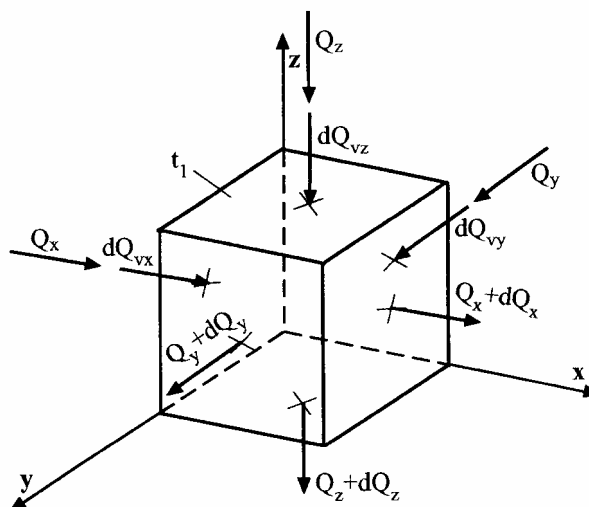
69. ábra

6.4. A KONVEKTÍV HŐÁTVITEL FOURIER-KIRCHOFF-FÉLE DIFFERENCIÁL EGYENLETE

A vizsgált stacionáriusan mozgó folyadék

- sűrűsége (ρ),
- hővezetési tényezője (λ),
- fajhője (c_p)

állandó. Vegyünk fel a folyadékban egy $dx dy dz$ térfogatú elemi hasábot. A folyadékáramlás sebességének (w) a koordinátatengelyek irányába eső komponensei: w_x, w_y, w_z .



70. ábra

- A fluidum hőmérsékletet az elemi hasáb oldallapjai mentén változik,
- a bevezetett hőmennyiség teljes egészében az elemi hasáb entalpiájának megváltoztatására fordítódik,
- a folyamat során egyidejű konduktív és konvektív hőátadást tételezünk fel,
- az elemi hasábot forrásmentes térnek tételezzük fel (stacioner viszonyok közt a térelembe belépő és az onnan eltávozó hőmennyiségek egyenlőek).

A hőáram három komponense:

- a térelembe belépő,
- a térelemből kilépő,
- a térelemben maradó.

A fluidum által $d\tau$ idő alatt x irányban a $dy dz$ felületű oldallapon a hasádba konvektív módon bejuttatott hőmennyiség:

$$Q_x = c_p \cdot t \cdot \rho_{wx} \cdot dy dz d\tau$$

Ugyanezen $d\tau$ idő alatt a fluidummal a hasáb szemközti oldalán távozó hő:

$$Q_x + dQ_x = c_p \cdot t \cdot \rho_{wx} \cdot dy dz d\tau - c_p \cdot \left[t \frac{\partial(\rho, w_x)}{\partial x} + \rho w_x \frac{\partial t}{\partial x} \right] dx dy dz d\tau$$

A $d\tau$ idő alatt a ki- és bevitt hőmennyiségek különbsége, x , y , és z irányban:

$$dQ_x = -c_p \cdot \left[t \frac{\partial(\rho, w_x)}{\partial x} + \rho w_x \frac{\partial t}{\partial x} \right] dx dy dz d\tau$$

$$dQ_y = -c_p \cdot \left[t \frac{\partial(\rho, w_y)}{\partial y} + \rho w_y \frac{\partial t}{\partial y} \right] dx dy dz d\tau$$

$$dQ_z = -c_p \cdot \left[t \frac{\partial(\rho, w_z)}{\partial z} + \rho w_z \frac{\partial t}{\partial z} \right] dx dy dz d\tau$$

Az elemi hasáb entalpiájának megváltoztatására $d\tau$ idő alatt fordított hő a konvekció következtében:

$$dQ_k = dQ_x + dQ_y + dQ_z$$

Az előző három egyenletet behelyettesítve:

$$dQ_k = -c_p \cdot \left[t \left(\frac{\partial(\rho, w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho, w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho, w_z)}{\partial z} \right) + \rho \left(w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \frac{\partial t}{\partial y} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] dx dy dz d\tau$$

$$dQ_k = -c_p \cdot \left[t \nabla(\rho, w) + \rho \left(w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \frac{\partial t}{\partial y} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] dx dy dz d\tau$$

Ha a hőmérsékletváltozás véges, és a hatására bekövetkező sűrűségváltozást elhanyagoljuk, akkor $t \nabla(\rho, w) = 0$. Az így kapott egyenletbe a $dV = dx dy dz$ összefüggést behelyettesítve:

$$dQ_k = -\rho \cdot c_p \left(w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \frac{\partial t}{\partial y} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) dV d\tau$$

A hasábba ugyanezen $d\tau$ idő alatt hővezetéssel bejuttatott hőmennyiség:

$$dQ_v = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) dV d\tau$$

A konvekcióval és hővezetéssel együttesen átvitt hőmennyiség:

$$dQ = dQ_k + dQ_v$$

Ez a hőmennyiség a hasáb entalpiájának megváltoztatására fordítódik, ezért írható:

$$dQ = \rho \cdot c_p \frac{\partial t}{\partial \tau} dV d\tau$$

Az előző egyenletek felhasználásával felírható a **konvektív hőátvitel differenciálegyenlete**:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial t}{\partial x} + w_y \frac{\partial t}{\partial y} + w_z \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 t$$

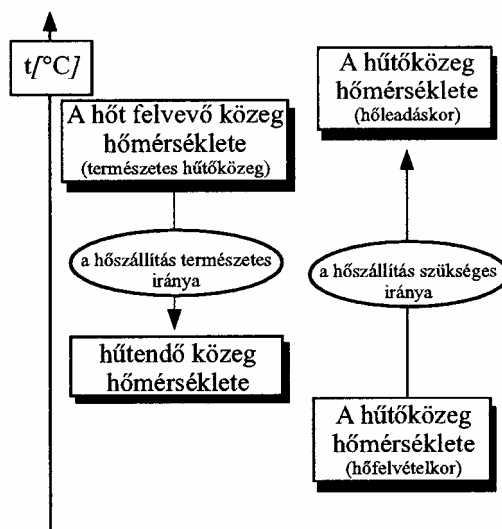
7. A HÚTÉS FOGALOMRENDSZERE. A KOMPRESSZOROS ÉS ABSZORPCIÓS HÚTÉS ELVE

7.1. A HÚTÉS FOGALOMRENDSZERE

Közvetlen hűtés: a lehűtendő anyagnál alacsonyabb hőmérsékletű hűtőközeg áll rendelkezésre.

Közvetett hűtés: a hő természetes áramlásával ellentétes folyamat valósul meg, amely csak gépi berendezésekkel, külső energia felhasználásával érhető el.

Hűtőberendezés: a hőnek alacsonyabb hőmérsékletszintről magasabb hőmérsékletszintre való szállítását külső energiaráfordítás árán megvalósító berendezés.



71. ábra

A hűtés folyamatában résztvevő közegek:

- hűtőközeg (munkaközeg): gáz vagy alacsony hőmérsékleten párolgó folyadék,
- hűtendő közeg,
- hőt felvevő közeg.

A folyamat jellemző hőmérsékletszintjei:

- elpárologtatási hőmérséklet,
- kondenzációs hőmérséklet.

A hűtőberendezések osztályozása

A befektetendő energia fajtája szerint:

- mechanikai munkát (**kompresszoros**),
- hőenergiát (**abszorpció**s és gőzsugár-kompresszoros),
- villamos energiát használó (termoelektromos) berendezések.

A hűtőközeg fajtája szerint:

- gáznemű (a folyamat során változatlan halmazállapotú),
- gőznemű (halmazállapotát változtató) közeggel dolgozó berendezések.

A kompresszoros hűtőberendezések osztályozása

A kompresszor által beszívott közeg állapota szerint:

- száraz,
- nedves,
- befecskendezéses.

A kompresszió fokozatainak száma szerint:

- egyfokozatú,
- többfokozatú.

A kondenzálódott hűtőközeg utóhűtése szerint:

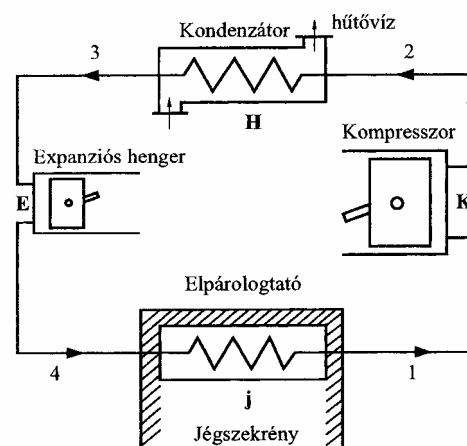
- utóhűtéses,
- utóhűtés nélküli.

A nyomásesés megvalósítása szerint:

- expanzióhengeres,
- fojtásos.

7.1.1. A kompresszoros hűtőberendezés

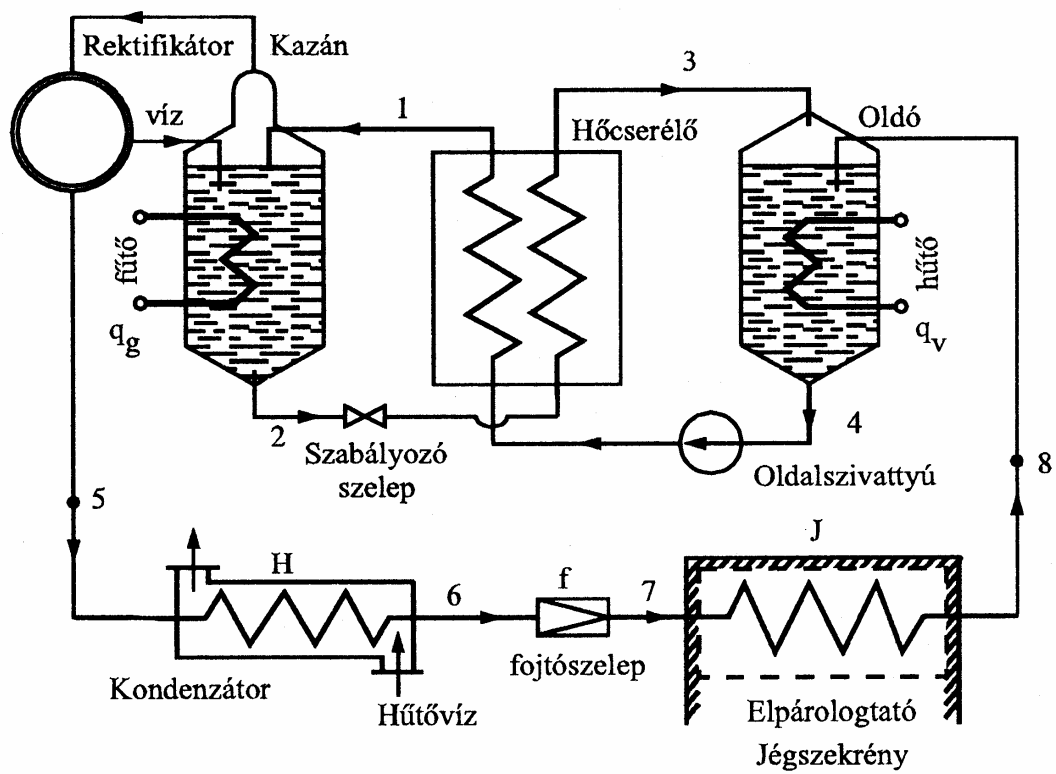
A berendezés négy fő szerkezeti eleme a kompresszor, a kondenzátor, az expanziós henger vagy a fojtószelep, és az elpárolgató. A hűtőközeg az elpárolgatóban alacsony nyomáson és hőmérsékleten veszi fel a hűtendő közegből a hőt, és azt a kondenzátorban magas nyomáson és hőmérsékleten adja le a környezetnek. A nyomásemelkedés a kompresszorban, a nyomásesés az expanziós hengerben vagy a fojtószelepből megy végbe.



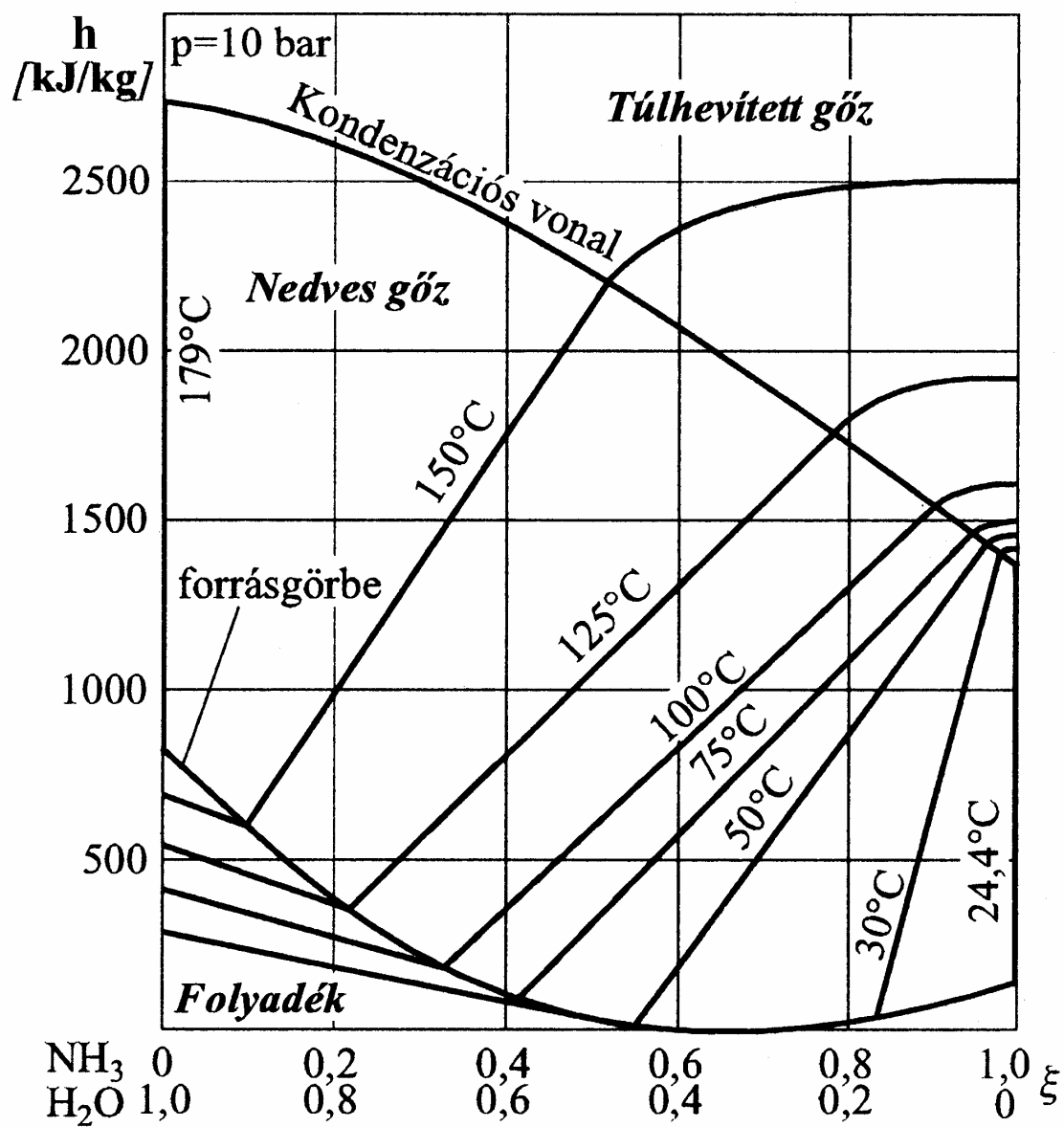
72. ábra

7.1.2. Az abszorpciós hűtőberendezés

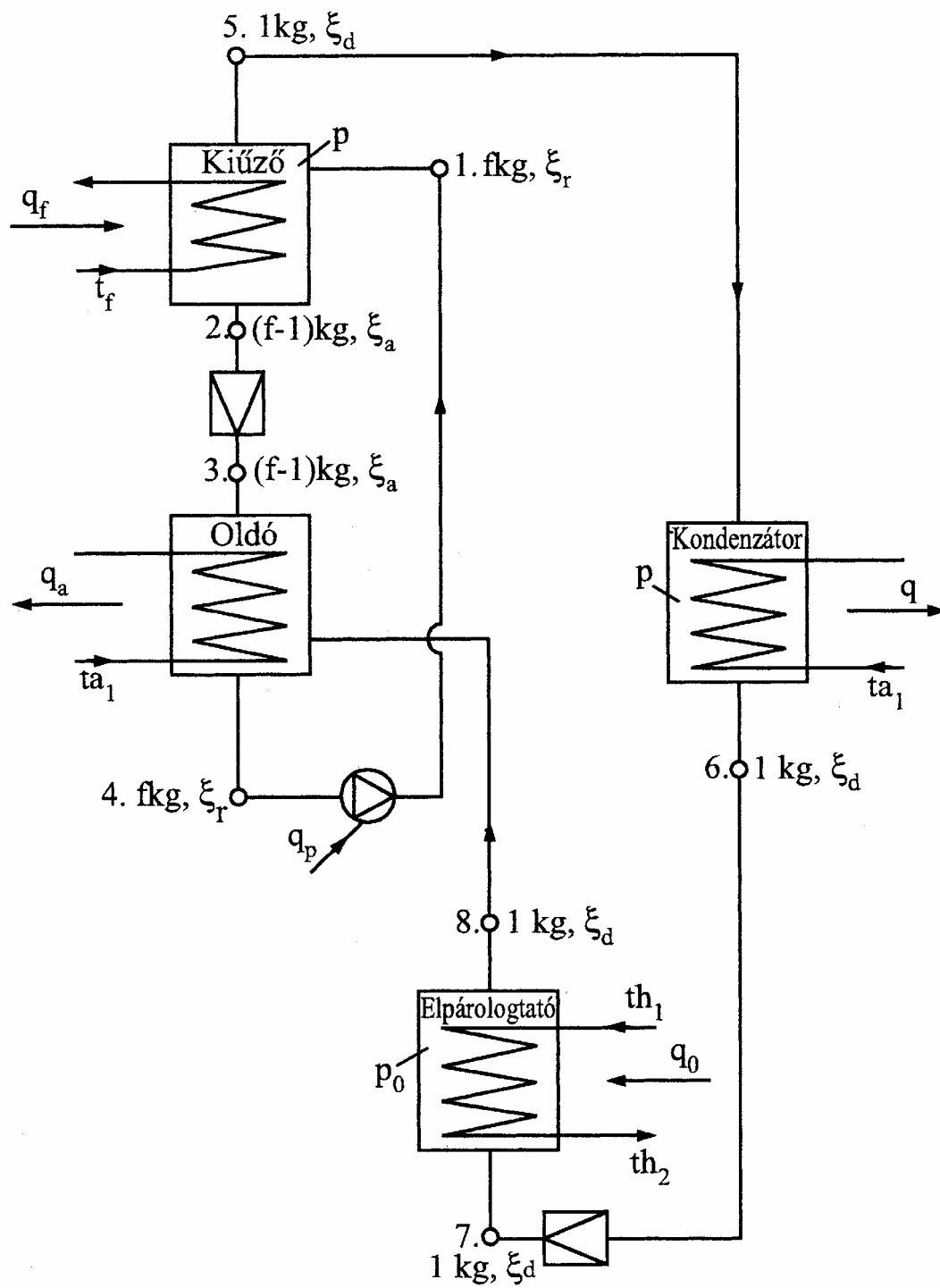
Közvetlen hőenergiát igénylő folyamat. A munkaközeg kétkomponensű oldat, ún. közegpár, a hűtőközeg és egy megfelelő oldószer elegye. A folyamat során az oldat koncentrációja változó.



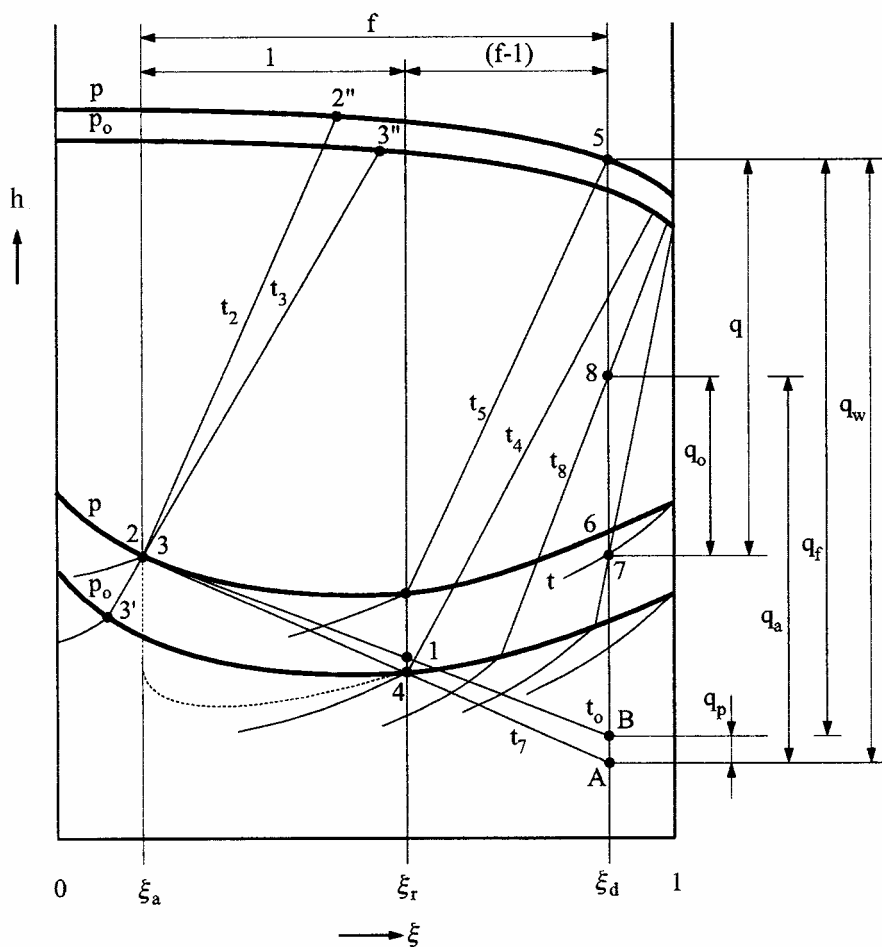
73. ábra



74. ábra



75. ábra



76. ábra

7.1.3. A hűtőközegek tulajdonságai

A gőznemű hűtőközegekkel szemben támasztott követelmények

- a körfolyamat hőleadási hőmérsékleténél lényegesen magasabb kritikus hőmérséklet,
- a létesítendő elpárolgási hőmérsékletnél alacsonyabb dermedéspont,
- legyen közömbös az alkalmazott szerkezeti anyagokkal szemben,
- kémiaiilag stabil legyen,
- ne legyen mérgező,
- ne legyen robbanás- és tűzveszélyes, levegővel keveredve sem,
- tegye lehetővé a berendezés tömítetlenségeinek könnyű felderítését,
- a kompresszor kenőolajában ne oldódjék, ne befolyásolja az olaj kenési tulajdonságait,

- az elpárolgási hőmérsékletéhez tartozó telítési nyomás lehetőleg ne legyen az atmoszférikus nyomásnál alacsonyabb,
- a kondenzációs hőmérsékletéhez tartozó telítési nyomás ne legyen magas,
- a kondenzációs és elpárolgási nyomások viszonya kicsi legyen,
- fajlagos hőtéljesítménye nagy legyen, olcsó és könnyen beszerezhető legyen,
- tegyen eleget a fokozódó környezetvédelmi kívánalmaknak.

6. táblázat. A gyakrabban használt hűtőközegek fontosabb fizikai jellemzői

Hűtőközeg	Képlet	Moltömeg M	Gáz- állandó, R kJ/(kgK)	Forrás- pont °C	Olvasás- pont °C	Kritikus		Fajhő kJ/(kgK)		κ 0 °C-nál
						hőfok C	nyomás N/cm ²	Folyadék c	Gáz c _p	
Ammónia	NH ₃	17,032	488,263	-33,35	-77,9	132,4	1129,726	4,647	2,06	1,312
R11	CFCl ₃	137,38	60,536	+23,65	-111	198,0	437,377	0,871	0,544	1,124
R12	CF ₂ Cl ₂	120,92	68,771	-29,8	-155	112,0	400,798	0,854	0,611	1,148
R13	CF ₃ Cl	104,47	79,601	-81,5	-181	28,78	386,970	0,8,50	0,528	1,15
R22	CHF ₂ Cl	86,475	96,164	-40,80	-160	96,0	493,569	1,098	0,607	1,19
R113	C ₂ F ₃ Cl ₃	187,39	44,375	+47,6	-36,5	214,1	341,271	0,946	0,624	1,075
R114	C ₂ F ₄ Cl ₂	170,93	48,6511	4,1	-94,0	146,0	337,349	0,971	0,636	1,106
Szendioxid	CO ₂	44,01	188,955	-78,48	-56,6	31,0	35,5567	-	-0,825	1,30
Metil-klorid	CH ₃ Cl	50,491	164,752	-24,0	-91,5	143,1	667,833	1,549	0,737	1,27
Víz (vízgőz)	H ₂ O	18,02	461,501	+100	0	374,15	2212,871	4,220	1,859	1,40

Közvetítőközegek tulajdonságai

Víz: 0 °C fok fölött használható. Elsősorban légkondicionáló berendezéseknél használatos, illetve abszorpciós hűtőgépekben. A keménysége max. 8-10 nk°.

Sóoldatok vagy sólevek: ide tartozik pl. a NaCl, CaCl₂, MgCl₂ oldat. 0-55 °C-ig használatosak. Dermedéspontjuk a koncentrációtól függ. A legalacsonyabb dermedéspont NaCl oldatnál -21,2 °C, CaCl₂ oldatnál -55 °C. Hátrányuk, hogy alkalmazásuk korróziót és iszaplerakódást eredményez.

Etilénglikol: alkaloidos közvetítőközeg, vizes oldatát használják. Korróziós hatása a sólevekéhez képest kicsi. Forráspontja 197 °C, fagyáspontja jelentősen függ a koncentrációtól. 5 %-os vizes oldata -45 °C-ig használható.

Minusol: a legjobb tulajdonságú közvetítőközeg. Szagtalan, sárga színű, habzó, lúgos folyadék. Nem mérgező, nem gyúlékony, korróziót nem okoz. Az oldatot a Minusol Pulvis nevű por vízbe történő adagolásával készítik.

7. táblázat

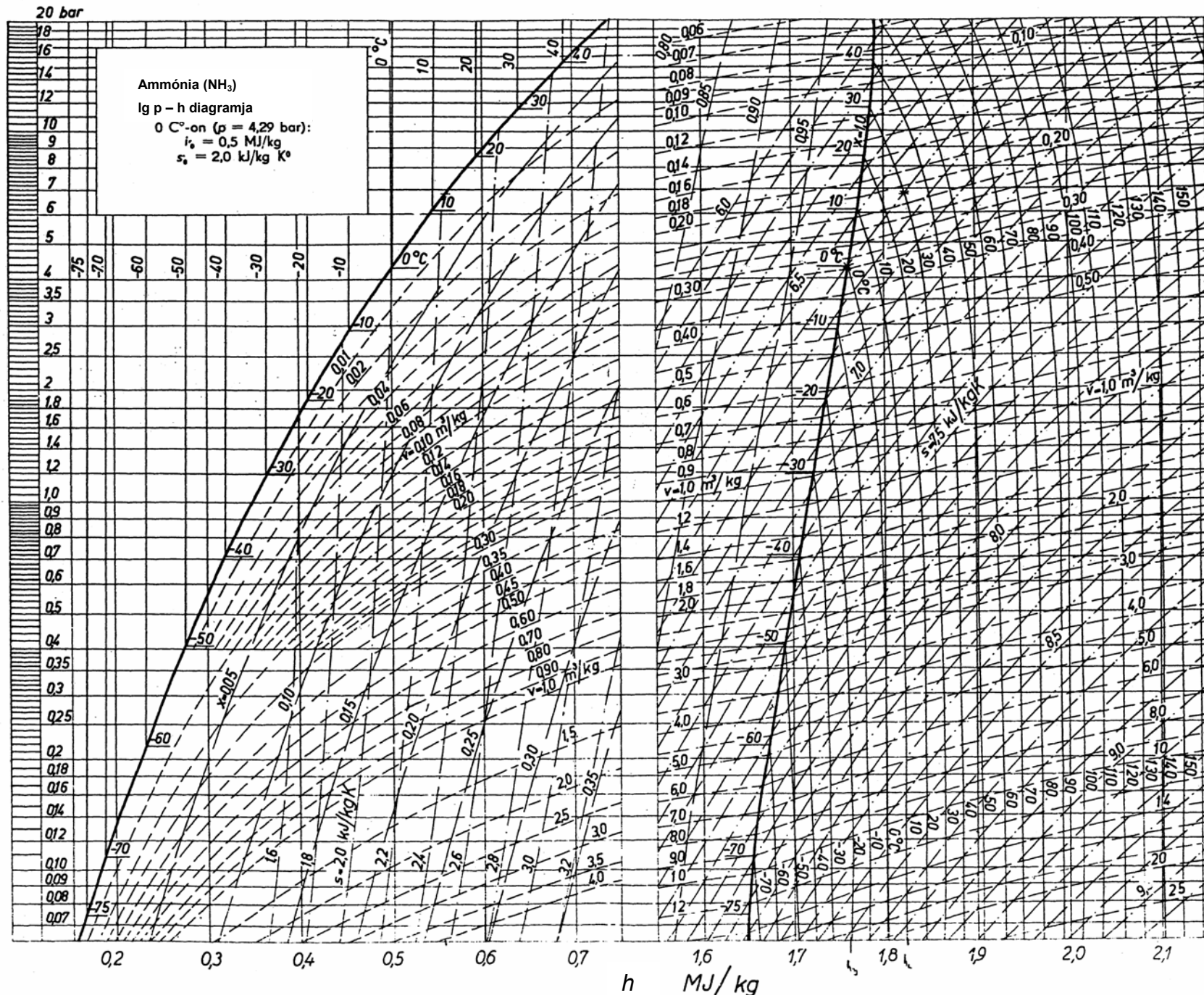
Megnevezés	Hűtési határ °C	Sűrűség kg/m ³
Minusol normál	-15	1270
Minusol forte	-20	1330
Minusol super	-25	1380

7.1.4. A hűtőközegek lgp – h fázisváltozási diagramjai

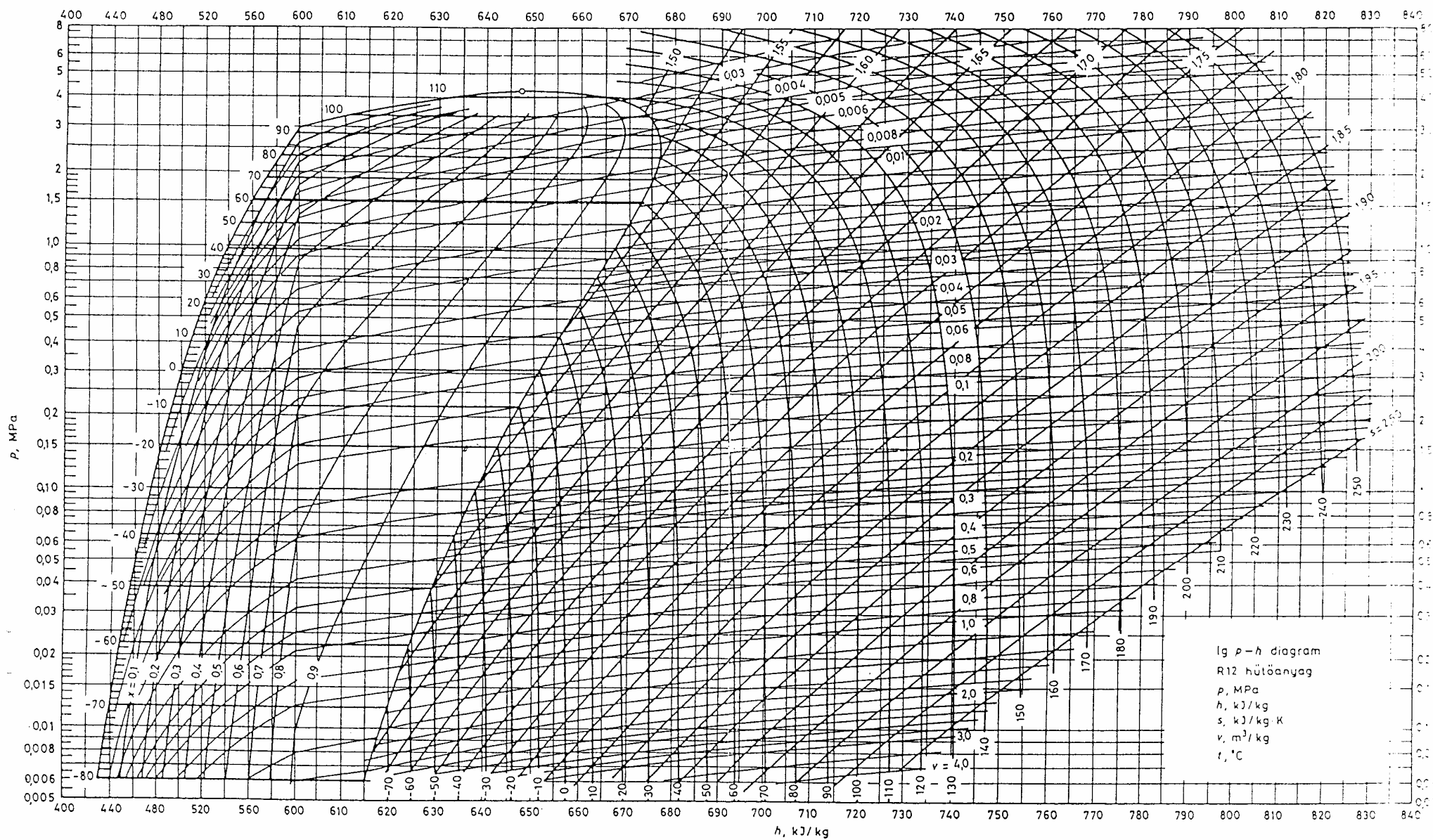
A diagramok vízszintes tengelyén az entalpia (*h*, korábbi jelöléssel *i*), függőleges tengelyén az abszolút nyomás (*p*) szerepel. A könnyebb ábrázolás érdekében a nyomás skálája logaritmikus, és a telítetlen gőzfázis egy részét nem ábrázolják, a diagramokat középső részükön megszakítják. A diagramok használatát bemutató prezentáció indításához kattintson az ikonra:



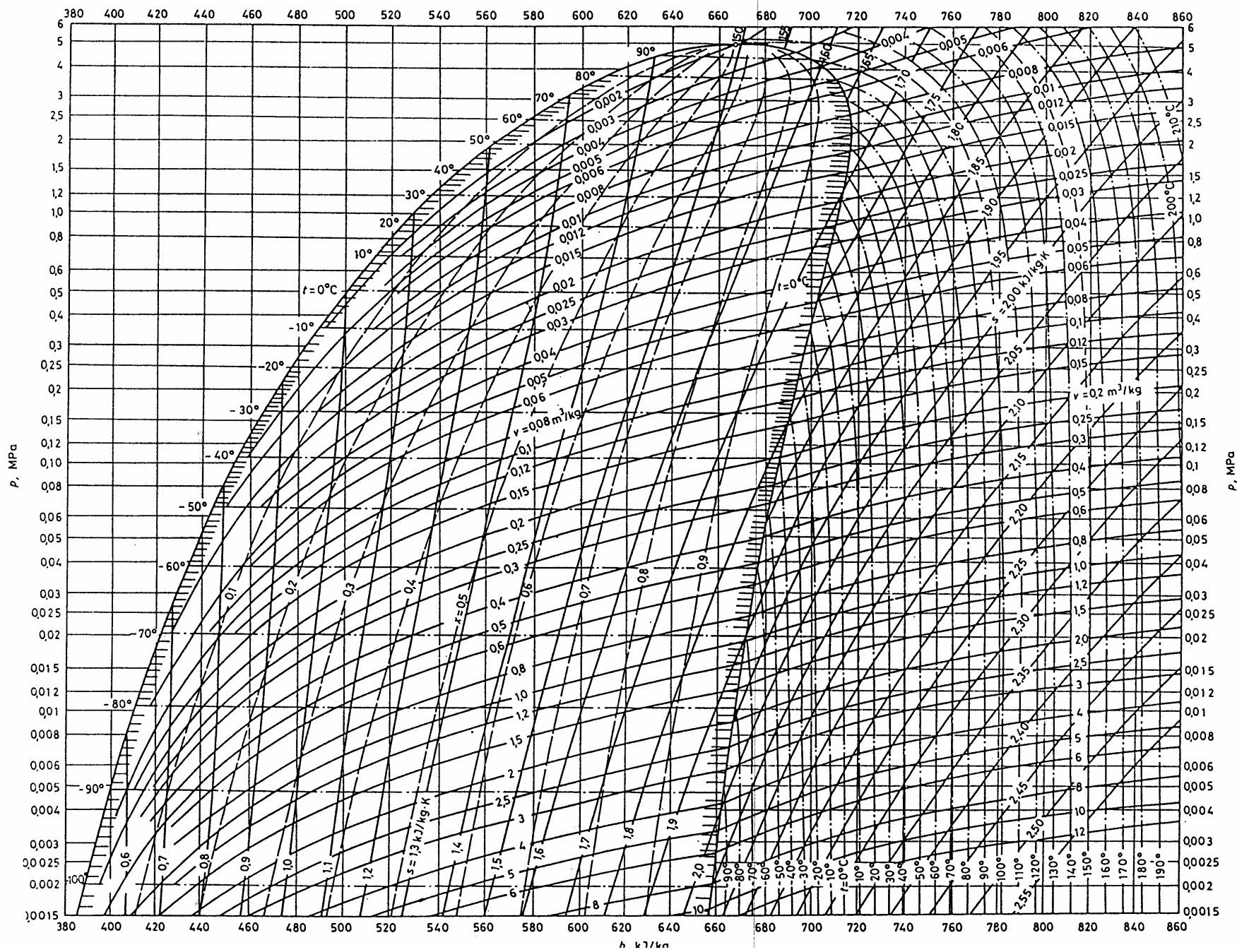
Nyomás, bar



77. ábra



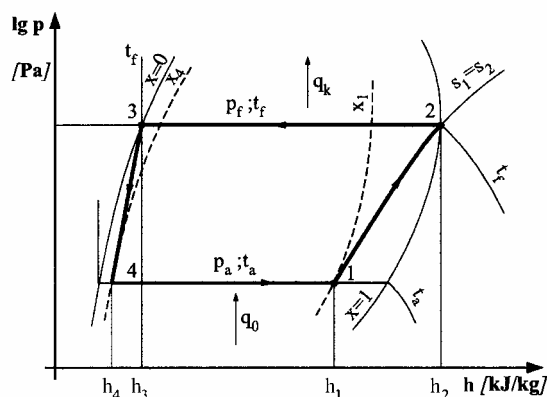
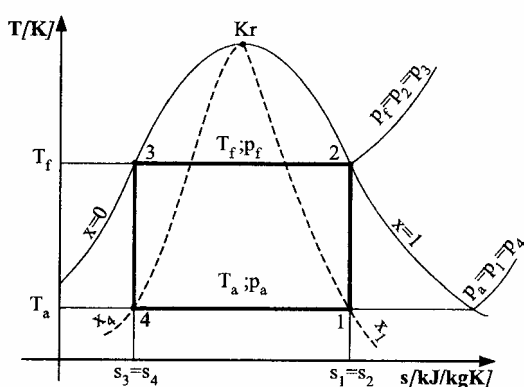
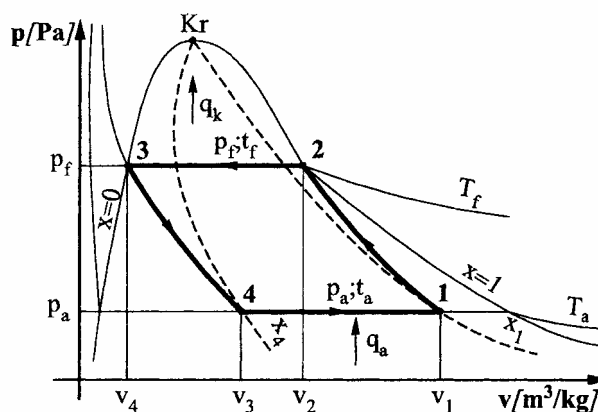
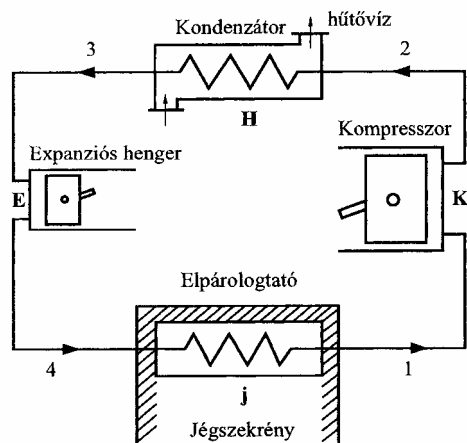
R 12 p - h diagramja



79. ábra

7.2. EGYFOKOZATÚ KOMPRESSZOROS HŰTŐKÖRFOLYAMATOK

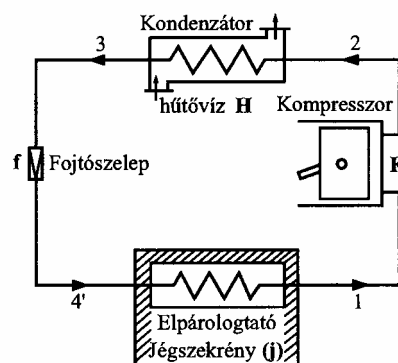
A kompresszoros, egyfokozatú, nedves, expanzióhengeres körfolyamat elvi sémája és diagramjai:



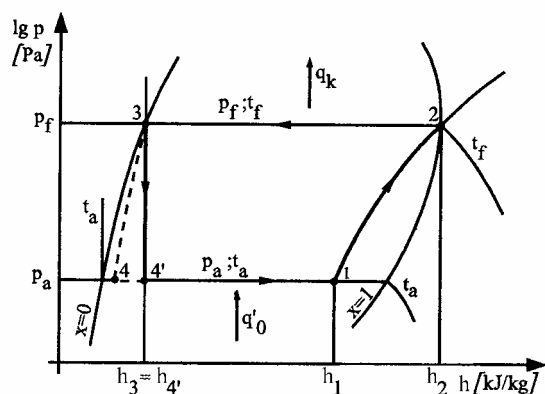
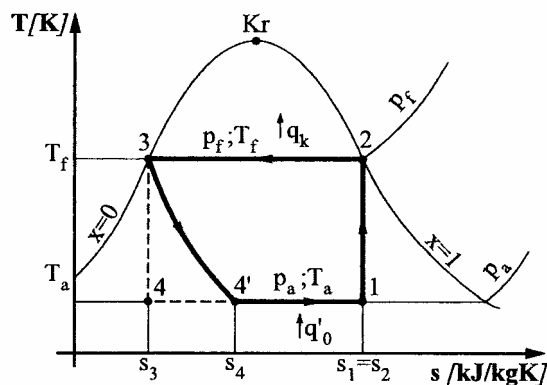
80. ábra

A kompresszoros, egyfokozatú, nedves, fojtószelepes körfolyamat:

A gyakorlatban expanzióhenger helyett a nyomáscsökkentést fojtószeleppel valósítják meg. A nyomáscsökkentés így nem eredményez munkát, ezért a szelep veszteséget okoz, de lényegesen egyszerűbb és olcsóbb, mint az expanzióhenger.



81. ábra



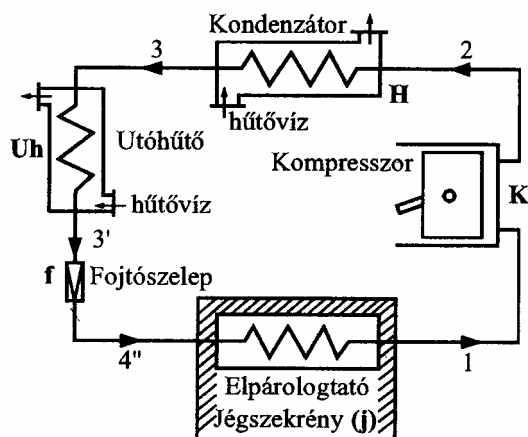
82. ábra

Kompresszoros, egyfokozatú, száraz, utóhűtéses körfolyamat:

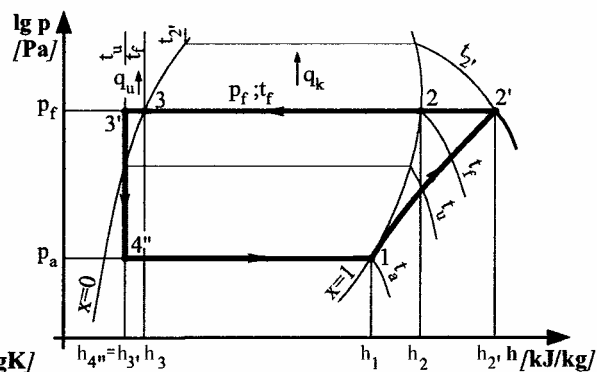
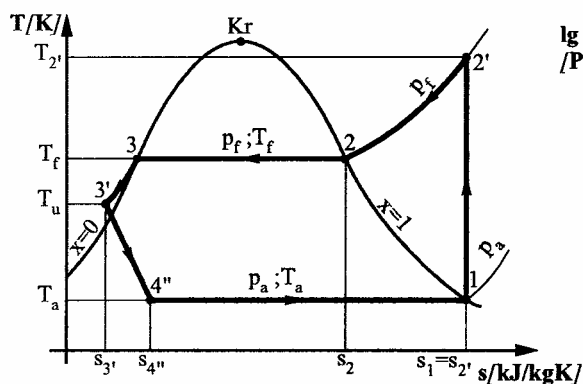
A kapcsolás az előzőhöz képest két dologban tér el:

- a kompresszor nem nedves, hanem száraz telített gőzt szív,
- a kondenzátorból kilépő forrponi folyadékot utóhűtjük, és csak ezután vezetjük a fojtószelepbbe.

Mindkét megoldás a hűtőtéljesítmény növekedését eredményezi.

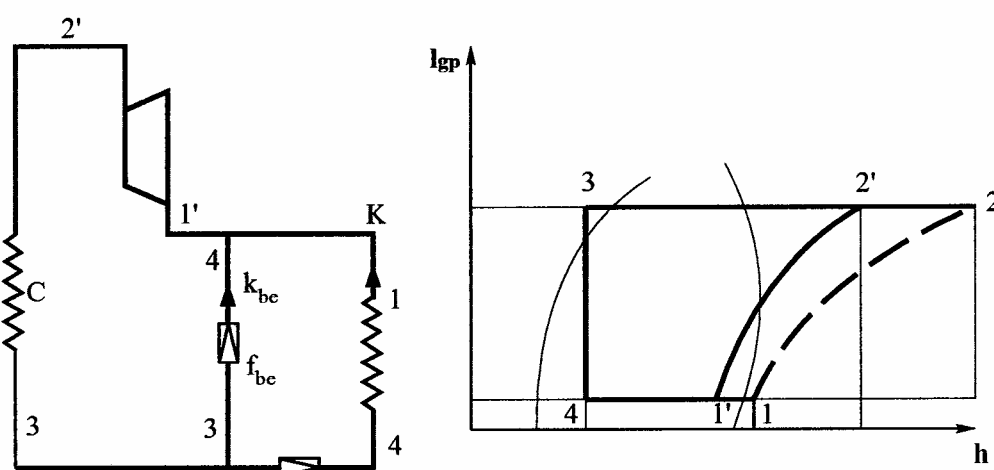


83. ábra



84. ábra

Egyfokozatú, befecskendezéses hűtőberendezés:



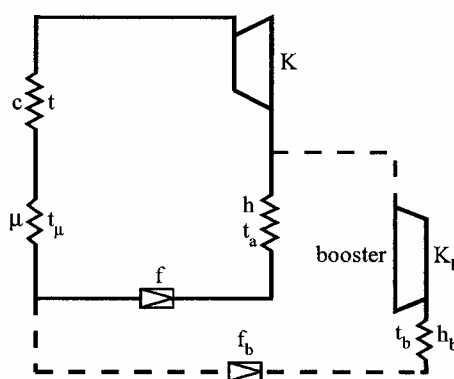
85. ábra

Nagy nyomásviszony esetén az egyfokozatú berendezésekben magas kompresszióvéghőmérséklet (t_2) alakulhat ki. Ez csökkenthető, ha az utóhűtőből kilépő hűtőközeg egy részét szabályozószelepen keresztül visszaadagoljuk a kompresszor szívóoldalára. Az eljárással csökkenthető az elpárolgotatási hőmérséklet is, de a hűtőtéljesítmény romlik.

7.3. TÖBBFOKOZATÚ KOMPRESSZOROS HŰTŐKÖRFOLYAMATOK

Előtétkompresszorral (booster-kompresszorral) kiegészített hűtőberendezés:

A kapcsolat alkalmas egyfokozatú hűtőberendezések átalakítására alacsonyabb hőmérséklet előállítása céljából. Az ábrán szaggatott vonal jelöli az utólagosan beépített részt.

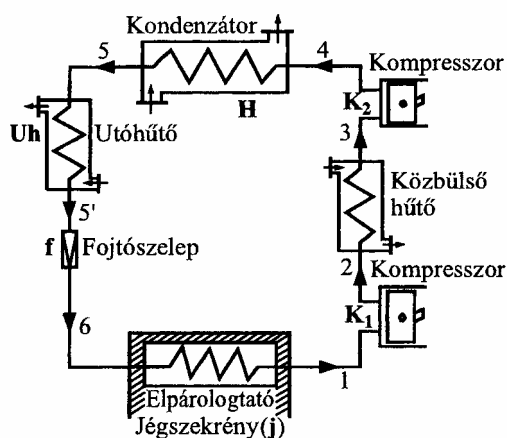


86. ábra

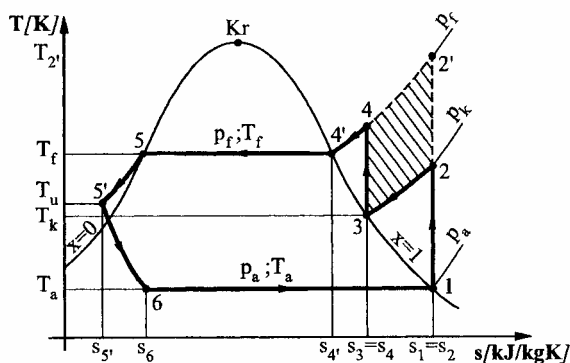
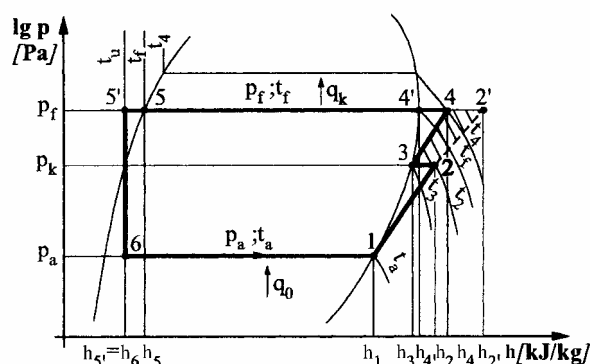
Kétfokozatú kompresszoros, egyfokozatú fojtásos, száraz, utóhűtéses körfolyamat sémája és diagramjai:

Kétfokozatú kompresszió alkalmazása nagy p_f/p_a nyomásviszonynál szokásos. A két kompresszor közé ún. közbenső hűtő kerül, amely a hűtőközeget állandó p_k

nyomáson T_2 hőmérsékletről T_3 -ra hűti le. A kétfokozatú kompresszió alkalmazásából adódó munkacsökkenés a sraffozott területtel arányos. A kompresszió vég hőmérséklete is csökken: $T_2' < T_4$.

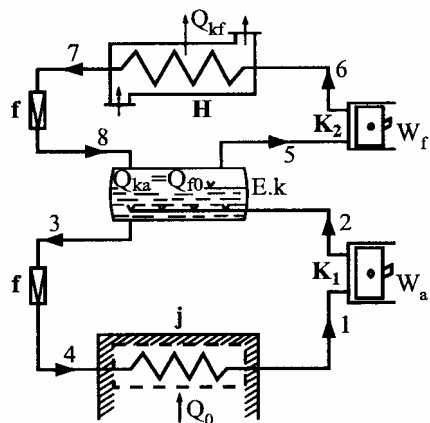


87. ábra



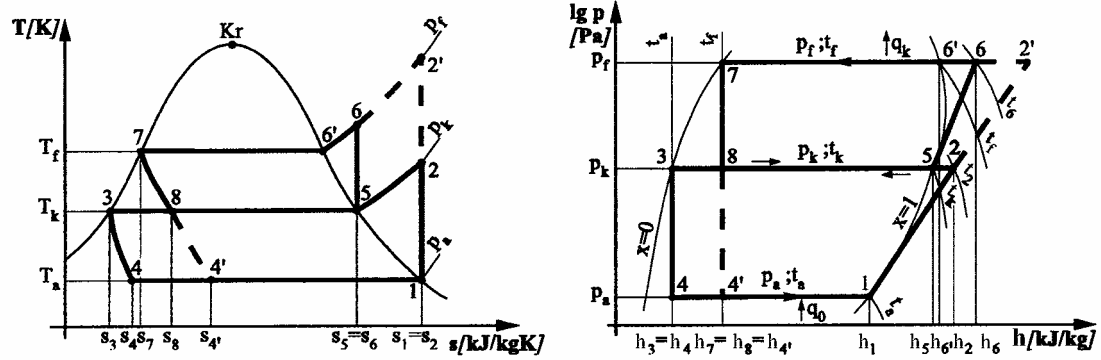
88. ábra

Kétfokozatú (kétf. kompresszió és kétf. fojtás), száraz körfolyamat:



89. ábra

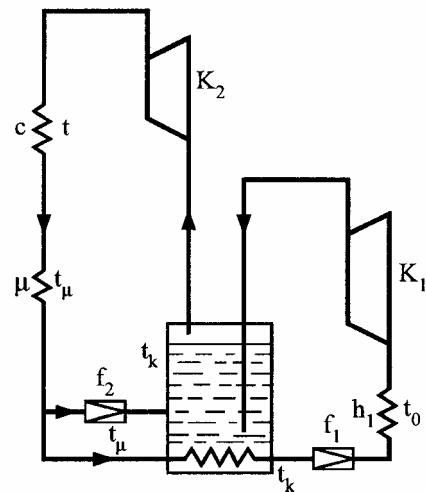
A kapcsolást akkor alkalmazzák, ha nagy a nyomásviszony, vagy ha az alsó hőfokszint igen alacsony. Az **elnyelető** az alsó körben kondenzátor, a felső körben elpárolgató. A két körben keringtetett közegmennyiség nem azonos, a méretezésnél az elnyeletőbe bevitt és onnan elvont energiák egyenlőségéből kell kiindulni (lásd: 4.2. fejezet).



90. ábra

Kétfokozatú hűtőberendezés utóhűtéssel és egyfokozatú fojtással:

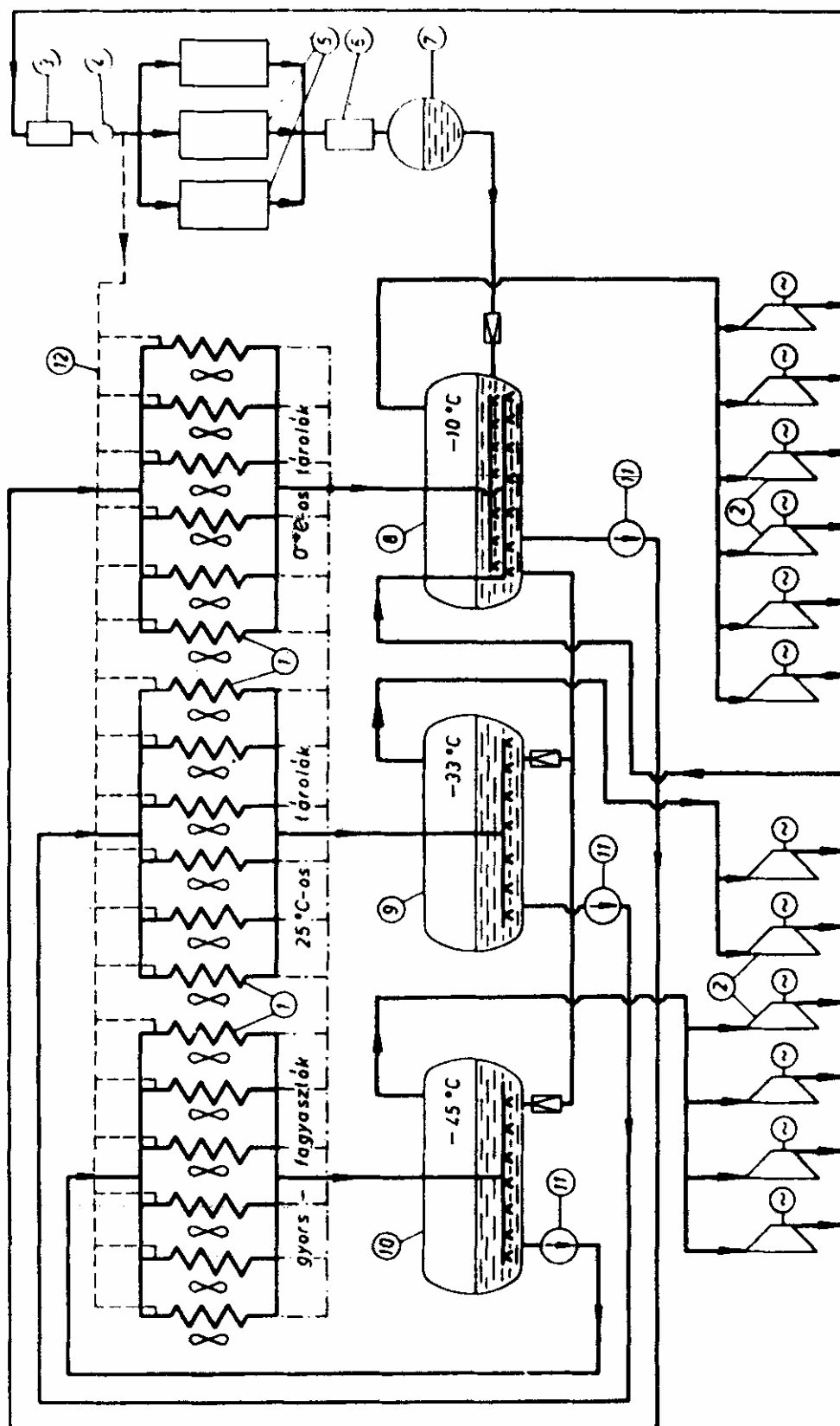
A fojtószelep előtt a folyadékot utóhűtjük azáltal, hogy keresztülvezetjük a közbenső edényben elhelyezett csőkégyőn. A hűtőt egy másik fojtószelepen keresztül árasztjuk el a folyadékkal. Ezen áramoltatjuk át a kis nyomású kompresszorból jövő gőzt. A megoldás előnye, hogy kis nyomású fokozatban a hűtőközegbe jutott kenőolaj nem kerül a kis nyomású elpárolgatóba.



91. ábra

A következő ábrán kétfokozatú hűtőberendezés kapcsolási vázlata látható. A részegységek megnevezései:

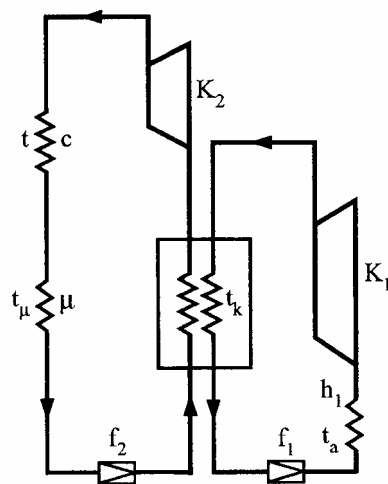
1. elpárolgató
2. kompresszor
3. központi olajleválasztó
4. szűrő
5. kondenzátor
6. kiegyenlítő tartály
7. folyadékgyűjtő tartály
8. -10 °C-os folyadékleválasztó
9. -33 °C-os folyadékleválasztó
10. -45 °C-os folyadékleválasztó
11. keringtető szivattyú
12. leolvasztó vezetékek



92. ábra

7.4. KASZKÁD HŰTŐGÉPEK

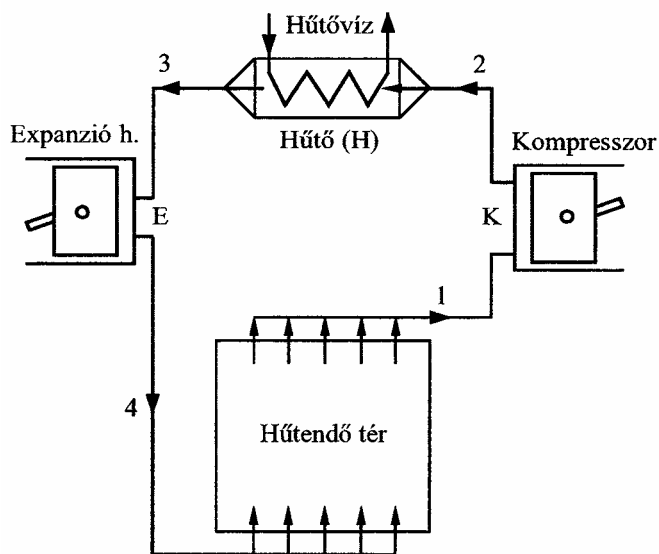
A kaszkád kapcsolásnál a két fokozat külön hűtőkört képez. Az alsó fokozat kondenzátorát a felső fokozat elpárolgatója közvetlenül hűti. A kapcsolás lehetővé teszi **két, különböző hűtőközeget** használatát.



93. ábra

7.5. TURBÓLÉGHŰTŐK

A léghűtő olyan gázüzemű hűtőberendezés, amely kapcsolásában a jégszekrény helyett maga a hűtendő helyiség szerepel. A kompresszor a hűtendő teremből szív. A folyamat megfordítható, így a berendezés fűtésre is alkalmas.



94. ábra

7.6. A HŰTŐKÖRFOLYAMATOK ENERGIAMÉRLEGE

Az alábbi mennyiségek közül a fajlagosak 1 kg, illetve 1 m³ hűtőközegetre vonatkoztatottak.

$$\Phi_0, Q_0 - \text{hűtőtéljesítmény, } \frac{kJ}{s} = kW$$

$$q_0 - \text{fajlagos hűtőtéljesítmény (1 kg hűtőközeggel létesített hűtőtéljesítmény), } \frac{kJ}{kg}$$

- q_{ov} – fajlagos volumetrikus hűtőtéljesítmény (1 m³ hűtőközeggel létesített hűtőtéljesítmény), $\frac{kJ}{m^3}$
- t_0 – elpárologtatási hőmérséklet, °C
- t – kondenzációs hőmérséklet, °C
- p_0 – elpárologtatási nyomás, bar
- p – kondenzációs nyomás, bar
- w_k – az adiabatikus kompresszióhoz szükséges technikai munka, $\frac{kJ}{kg}$
- q_{be} – abszorpciós berendezéseknél fűtéssel befektetett hőmennyiség, $\frac{kJ}{kg}$
- w_e – az adiabatikus expanzióból visszanyert technikai munka, $\frac{kJ}{kg}$
- w – a hűtőfolyamat fenntartásához szükséges technikai munka, $\frac{kJ}{kg}$
- q_k – a kondenzátorban leadott hőmennyiség, $\frac{kJ}{kg}$
- q_u – az utóhűtőben leadott hőmennyiség, $\frac{kJ}{kg}$
- ε – jósági fok, hűtési hatásfok, $\frac{kJ \text{ hő}}{kJ \text{ munka}}$
- ε_q – hőviszony, abszorpciós berendezéseknél, $\frac{kJ \text{ hő}}{kJ \text{ hő}}$
- $G, \dot{m}$ – a keringtetendő hűtőközeg tömegárama, $\frac{kg}{s}$
- $\dot{V}_{th}$ – a hűtőközeg elméleti térfogatárama a kompresszor szívócsonkján, $\frac{m^3}{s}$
- λ – a kompresszor szállítási foka
- $\dot{V}_{geo}$ – a hűtőközeg geometriai térfogatárama a kompresszor szívócsonkján, $\frac{m^3}{s}$
- η_i – a kompresszor hajtásának indikált hatásfoka
- η_{eff} – a kompresszor hajtásának effektív hatásfoka
- P_{th} – a kompresszor elméleti teljesítményszükségelete, kW
- P_i – a kompresszor indikált teljesítményszükségelete, kW

P_{eff} – a kompresszor effektív teljesítményszükségelete, kW

d – a kompresszor hengerátmérője

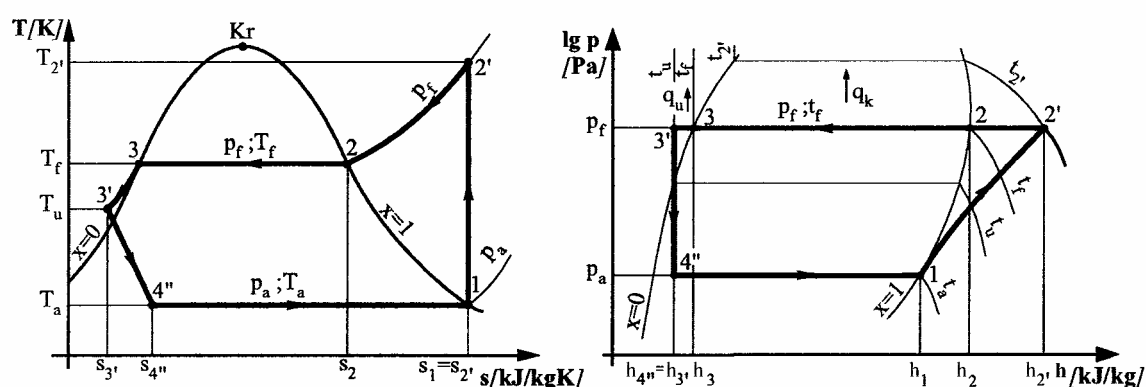
s – a kompresszor lökethossza

z – a kompresszor hengereinek száma

n – a kompresszor fordulatszáma, $\frac{1}{s}$

M – a kompresszor hajtásához szükséges nyomaték

A körfolyamat állapotváltozásainak jelölése:



95. ábra

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| 1 – 2.: | kompresszió, |
| 2 – 3.: | kondenzáció, |
| 3 – 3'.: | utóhűtés (ha van), |
| 3 – 4. (utóhűtés esetén 3' – 4): | expánzió, |
| 4 – 1.: | párolgás. |

7.7. A HÚTÓKÖRFOLYAMATOK TERMIKUS MÉRETEZÉSE

Egyfokozatú kompresszoros hűtőkörfolyamat méretezése

$$q_0 = h_1 - h_4$$

$$G = \frac{\Phi_0}{q_0}$$

$$w_k = h_1 - h_2$$

$$\dot{V}_{th} = G v_1$$

$$w_e = h_3 - h_4$$

$$\dot{V}_{geo} = \frac{\dot{V}_{th}}{\lambda} = \frac{d^2 \pi}{4} s n z$$

$$w = w_k + w_e$$

$$P_{th} = G w_k$$

$$q_k = h_2 - h_3$$

$$P_i = \frac{P_{th}}{\eta_i}$$

$$\varepsilon = \frac{q_0}{|w|}$$

$$P_{eff} = \frac{P_{th}}{\eta_{eff}}$$

$$\varepsilon_q = \frac{q_0}{q_{be}}$$

$$M = \frac{P_{eff}}{2\pi n}$$

Kétfokozatú kompresszoros hűtőkörfolyamat méretezése

A körfolyamat kapcsolása és diagramjai a 89-90. ábrákon láthatóak. A képletekben az a index az alsó, az f index a felső körfolyamatra utal.

Az elnyeletőből annyi hőt kell elvinni, mint amennyit oda bevezettünk:

$$\Phi_{ka} = \Phi_{f0}$$

$$q_{ka} = q_0 + |w_{ka}| = h_2 - h_3$$

$$q_{f0} = h_5 - h_8$$

$$q_0 = h_1 - h_4$$

$$G_f = \frac{\Phi_{f0}}{q_{f0}} = G_a \frac{h_2 - h_3}{h_5 - h_8}$$

$$w = w_a + \frac{G_f}{G_a} w_f = (h_1 - h_2) + \frac{G_f}{G_a} (h_5 - h_6)$$

$$\varepsilon = \frac{q_0}{|w|} = \frac{h_1 - h_4}{\left| (h_1 - h_2) + \frac{G_f}{G_a} (h_5 - h_6) \right|}$$

$$\Phi_{kf} = G_f (h_6 - h_7)$$

Ha ugyanezt a hőmérsékletviszonyt egyfokozatú körfolyamattal valósítjuk meg:

$$q'_0 = h_1 - h'_4$$

$$w' = h_1 - h'_2$$

$$\varepsilon' = \frac{q'_0}{|w'|} = \frac{h_1 - h'_4}{h_1 - h'_2}$$

$$\varepsilon' < \varepsilon$$

Kétfokozatú körfolyamatot $p_f / p_a > 8$ nyomásviszonynál alkalmazunk. A közbenső nyomás meghatározása:

$$p_k = \sqrt{p_a p_f}$$

8. HŰTŐBERENDEZÉSEK GÉPEI, KÉSZÜLÉKEI

8.1. HŰTŐKOMPRESSZOROK

A hűtőkompresszorok csoportosítása működési elv szerint:

- térfogatkiszorításos,
- áramlástechnikai elven működő.

8.1.1. Lengődugattyús hűtőkompresszorok

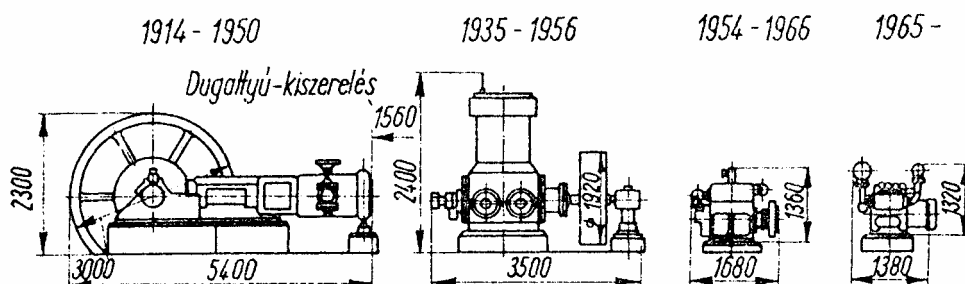
A dugattyús kompresszorok lehetnek:

- fekvő,
- álló elrendezésűek (a ma használt ipari méretű kompresszorok).

A hűtőközeg áramlási irányát tekintve:

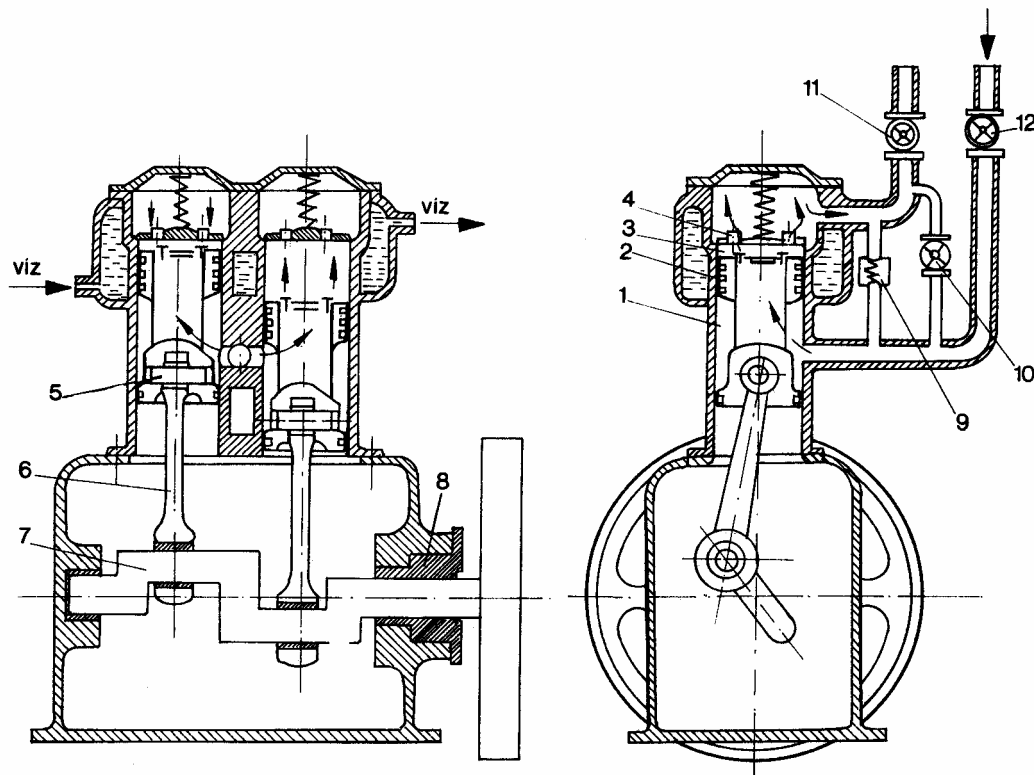
- egyenáramú,
- váltakozó áramú.

A dugattyús hűtőkompresszorok fejlődési tendenciái:



96. ábra

Egyenáramú hűtőkompresszor elvi vázlata:



97. ábra

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| 1. henger | 7. főtengely |
| 2. dugattyú | 8. tömszelence |
| 3. szívószelep | 9. biztonsági szelep |
| 4. nyomószelep | 10. tehermentesítő szelep |
| 5. dugattyúcsapszeg | 11. nyomóoldali elzárószelep |
| 6. hajtórúd | 12. szívóoldali elzárószelep |

A hengerek elrendezése lehet:

- V: négyhengeres kompresszoroknál két-két henger van egymás mellett, 90°-os szögben,
- W: 3 és 2x3 hengeres típusoknál, 60°-os szögben álló hengerek,
- VV: 4x2 henger, egymással 45°-os szögben.

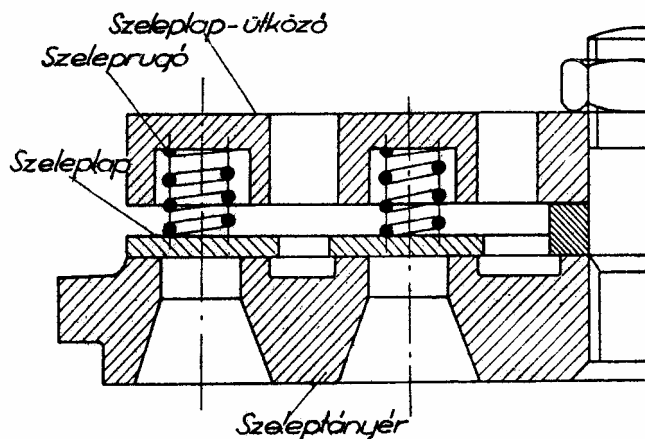
A hajtómotor elrendezése szerint a kompresszorok lehetnek:

- félhermetikus (a kompresszorházra erősített motor),
- hermetikus (a motor és a kompresszor közös házban) kivitelűek.

A kompresszorokban használt szelepek fajtái:

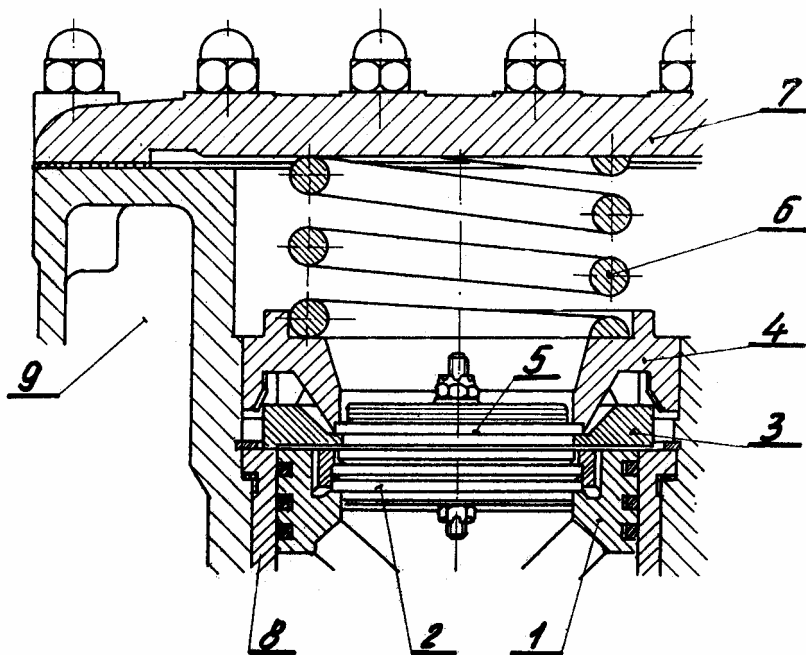
- kúpos ülésű tányérszelep (rég, lassú járású kompresszoroknál),
- lemezszelepek (nagy fordulatszámú gépeknél).

A lemezszelep elvi vázlata:



98. ábra

Egyenáramú kompresszor szelepei:



99. ábra

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| 1. dugattyú | 6. rugó |
| 2. szívószelep | 7. fedél |
| 3. hamis fedél | 8. hengerpersely |
| 4. nyomószelep leszorító tárcsa | 9. víztér |
| 5. nyomószelep | |

Biztonsági szelep: a megengedettnél nagyobb nyomóoldali nyomás esetén kinyit, és összeköttetést létesít a szívóoldallal. Kialakítása lehet:

- rugós,
- törőtárcsás.

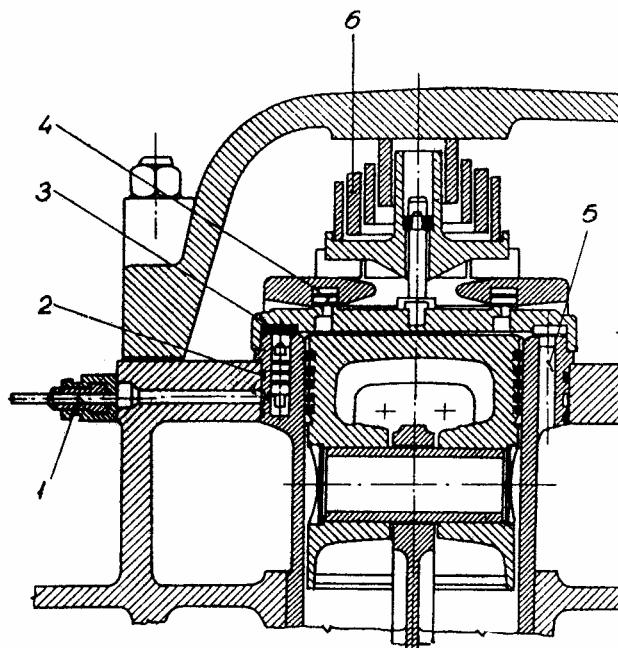
Tehermentesítő vagy nyomáskiegyenlítő szelep: nagyobb gépeknél, a szívó és nyomóoldalt összekötő vezetékbe építve. A kompresszor indításához szükséges, működtetése lehet:

- villamos,
- hidraulikus.

Teljesítményszabályozási módok:

- állásos szabályozás: ki- és bekapcsolás,
- káros tér növelése,
- szívószelep nyitvatartása: hengerkiiktatás,
- a szívó- és nyomóvezeték rövidrezárása,
- a szívóvezeték folytása,
- a fordulatszám változtatása.

Olajhidraulikus teljesítményszabályozás:

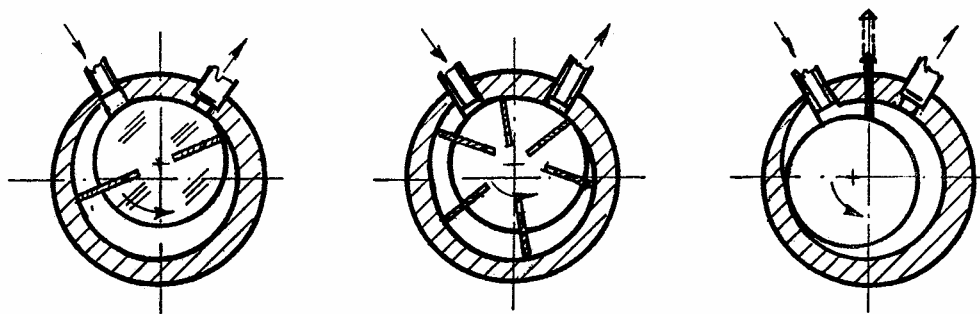


100. ábra

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. olajnyomás csatlakozás | 4. nyomó szeleplep |
| 2. emelő dugattyú | 5. szívószelep furata |
| 3. szívószelep | 6. nyomószelep támasztórugó |

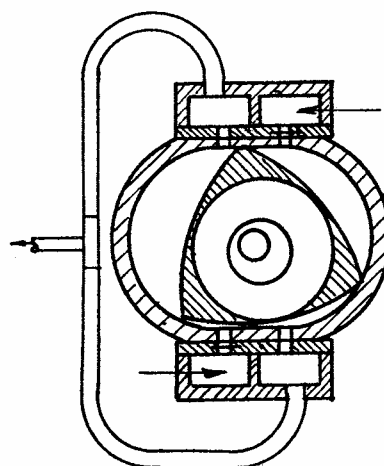
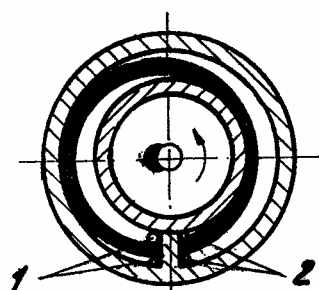
8.1.2. Forgódugattyús kompresszorok

Térfogatkiszorításos kompresszorok. Nincs szívószelepük, kicsi a káros terük. Hátrányuk, hogy súrlódó felületük nagy, ezért a mechanikai hatásfok kedvezőtlen.

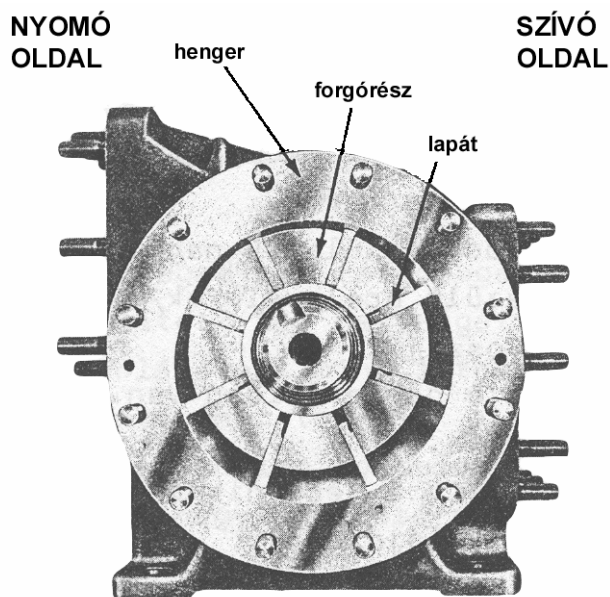


101. ábra

1, 2 szelepnijíltások



102. ábra

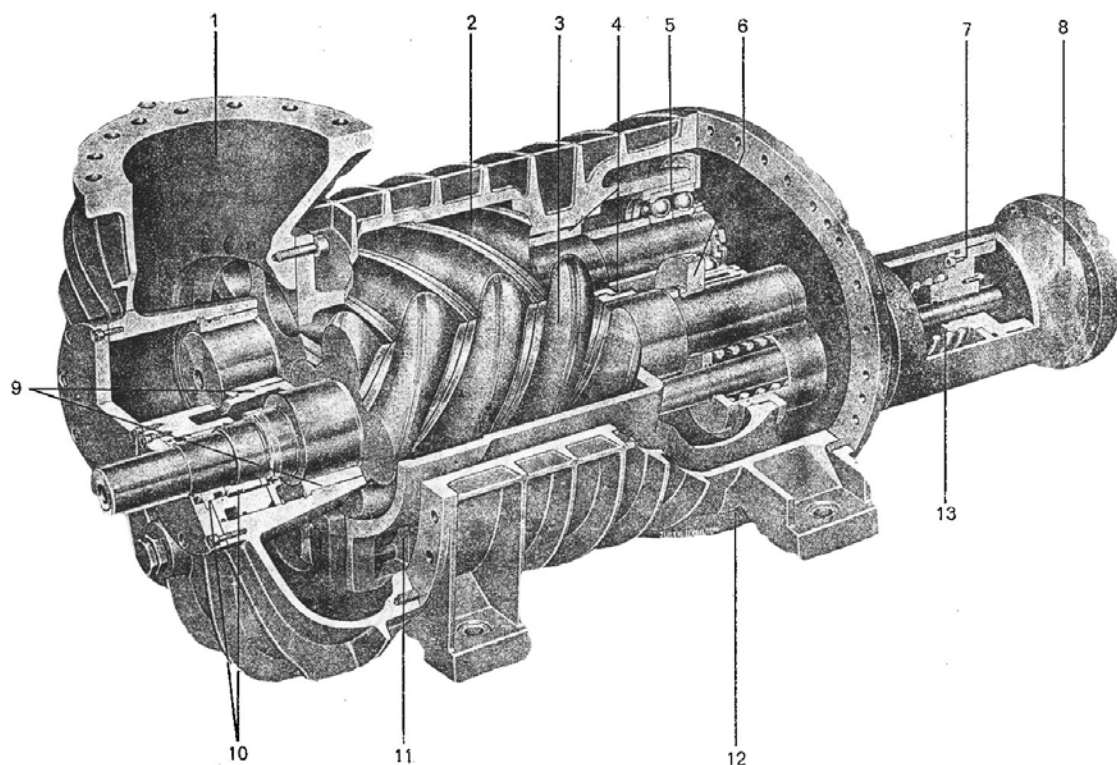


103. ábra

8.1.3. Csavarkompresszorok

Térfogatkiszorításos kompresszorok. Előnyös tulajdonságaik:

- nagy kompresszióviszonynál is nagy volumetrikus hatásfok,
- a meghibásodás és a kopás kis mértékű,
- nyugodt, rázkódásmentes járás,
- kis helyigény,
- magas mechanikai és effektív hatásfok,
- tág határok közt szabályozható teljesítmény,
- sokféle hűtőközeg szállítható,
- alacsony üzemköltség.



104. ábra

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. gőz belépés | 8. szabályozó henger |
| 2. mellék forgórész | 9. siklócsapágó, gőz belépőoldal |
| 3. fő forgórész | 10. tengelytömítés |
| 4. siklócsapágó, gőz kilépőoldal | 11. teljesítményszabályozás,
visszaáramlási nyílás |
| 5. axiális csapágó | 12. gőz kilépés |
| 6. kiegyenlítő dugattyú | 13. visszaállító rugó |
| 7. állítható dugattyú a tolókához | |

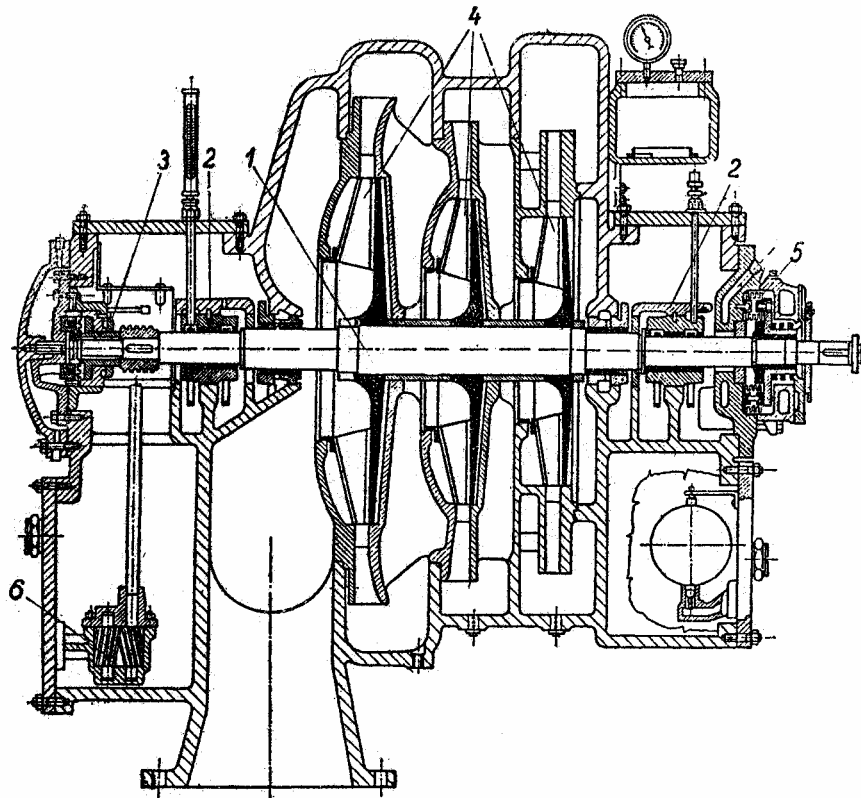
8.1.4. Centrifugális vagy turbókompresszorok

Áramlástechnikai elven működő gépek. Felépítésük hasonló a centrifugális szivattyúkéhoz. A berendezés folytonos és egyenletes áramlásban szállít. Az egy fokozatban létesíthető nyomásviszony a kerületi sebesség négyzetével és a közeg fajsúlyával arányos. A turbókompresszor csak nagy teljesítmény esetén használható gazdaságosan.

Előnyös tulajdonságaik a dugattyús kompresszorokhoz viszonyítva:

- egyszerűbb szerkezet,
- biztonságosabb üzem, kevesebb karbantartás,
- közvetlenül kapcsolhatók a nagy fordulatszámú motorokhoz.

Háromfokozatú turbókompresszor vázlata:



105. ábra

1. tengely
2. csapágyak
3. támasztócsapágy
4. lapátos turbókerekek
5. rugalmas csőmembrános
tengelytömítés
6. fogaskerék olajszivattyú

Teljesítményszabályozási módok:

- a fordulatszám csökkentése,
- a szívóvezeték fojtása (kevésbé gazdaságos).

8.2. HŰTŐKÖZEG SZIVATTYÚ

Leggyakrabban mechanikai működésű centrifugál- vagy fogaskerékszivattyúkat alkalmaznak. A centrifugálszivattyút 1,5 – 2 m-re a hűtőközeg szintje alatt kell elhelyezni, hogy a szívóágban ne keletkezessen gőz a nyomáscsökkenés hatására.

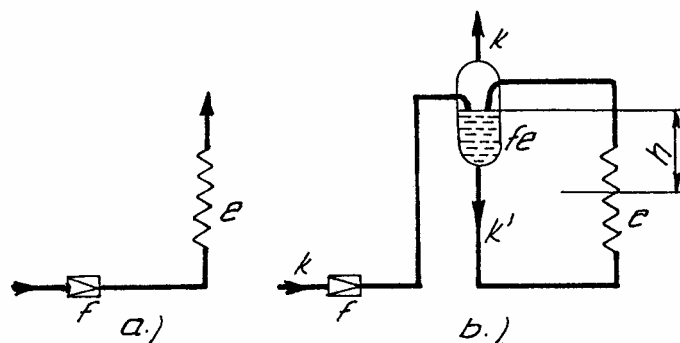
8.3. ELPÁROLOGTATÓ SZERKEZETEK

A hűtőközeg az elpárolgásához szükséges hőt a környezetéből vonja el, ezáltal azt lehűti.

Az elpárologtatók csoportosítása:

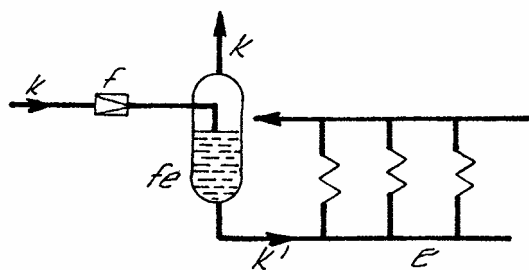
- száraz rendszerű: csőrendszer, melyben a hűtőközeg hosszú utat tesz meg, és teljesen elpárolog,
- nedves (elárasztott) rendszerű: a csőrendszerre tartályt kapcsolunk, folyadék-gőz eleggyel. A rendszerben a sűrűségkülönbség hatására cirkuláció jön létre.
- szivattyús: elárasztott rendszer, melyben a folyadék keringtetését szivattyú végzi.

Száraz (a) és elárasztott (b) rendszerű elpárologtató elvi vázlata:



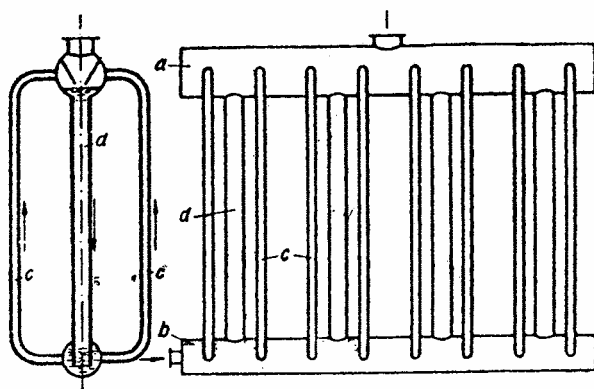
106. ábra

Meredeksöves elárasztott elpárolgató:



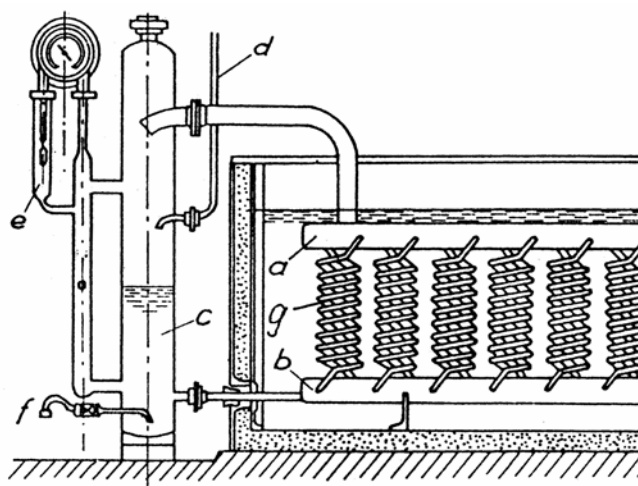
107. ábra

Linde – féle meredeksöves elpárolgató:



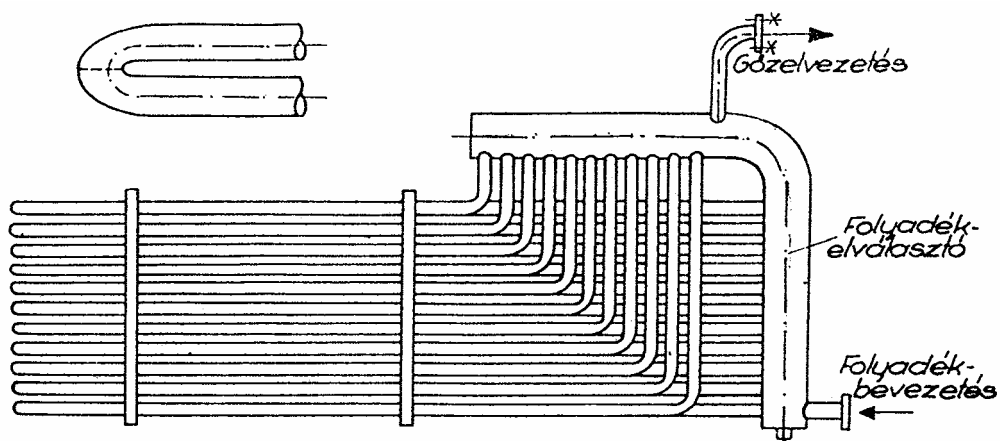
108. ábra

Stein – féle spirálcsőves elpárolgató:



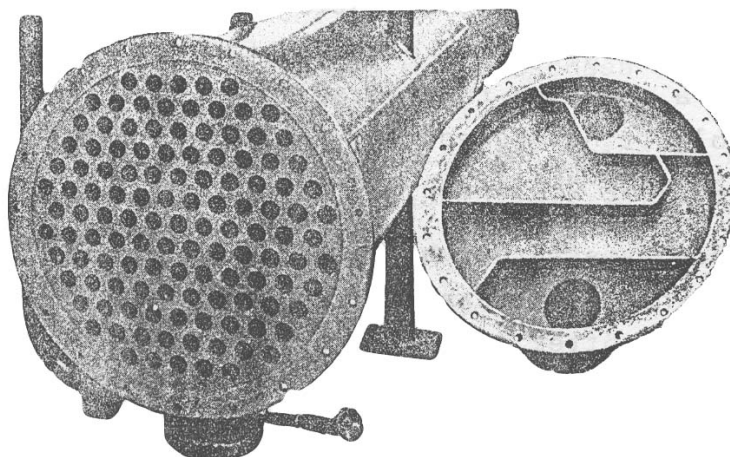
109. ábra

Freudlich – féle elpárolgató:



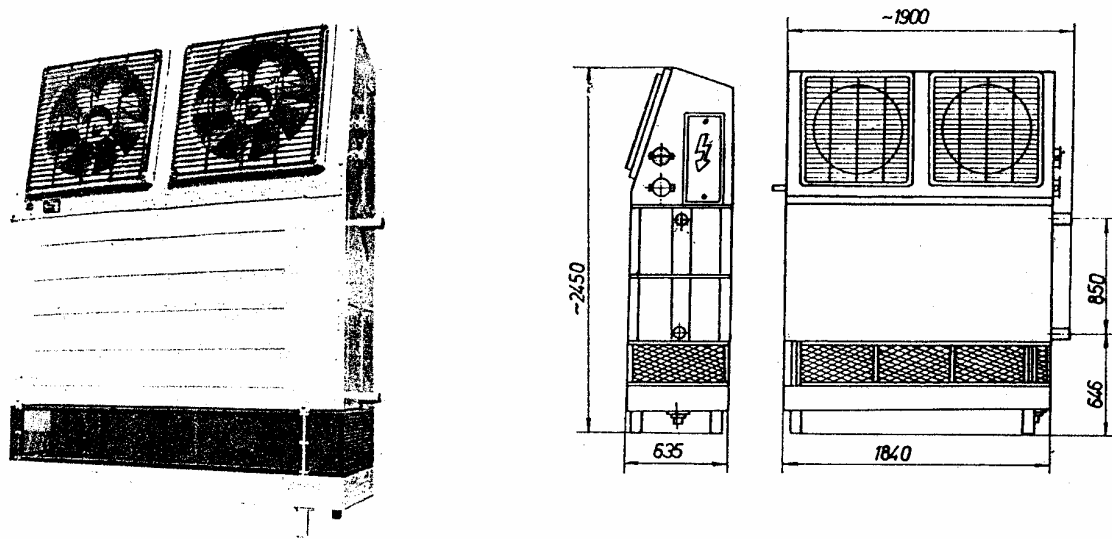
110. ábra

Nyalábcsőves elpárolgató:

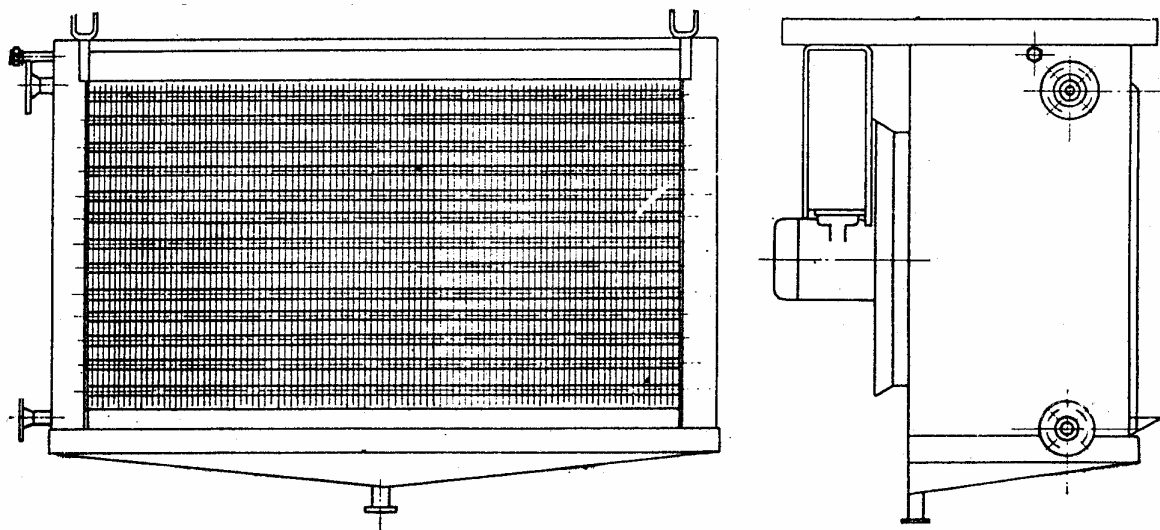


111. ábra

Léghűtők: levegőt hűtő elpárolgatók, melyeknél a csövön kívül áramlik az elpárolgó hűtőközeg. Bordás csöveket alkalmaznak, a levegőt nagy teljesítményű ventilátorokkal áramoltatják.



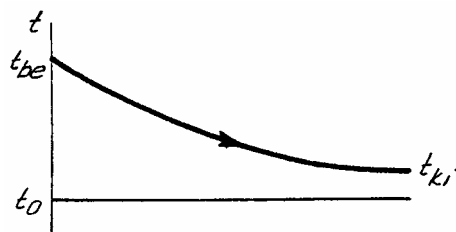
112. ábra



113. ábra

8.3.1. Az elpárolgatók termikus méretezésének alapjai

A hűtőközeg elpárolgása közelítőleg izoterm. Az elpárolgató hőmérséklet-viszonyai:



114. ábra

A logaritmikus hőmérsékletkülönbség:

$$\Delta t = \frac{(t_{be} - t_0) - (t_{ki} - t_0)}{\ln \frac{t_{be} - t_0}{t_{ki} - t_0}}$$

A hűtőközeg elpárolgásakor felvett hőmennyiség:

$$\Phi_0 = G(h_1 - h_4)$$

Veszteségmentes esetben:

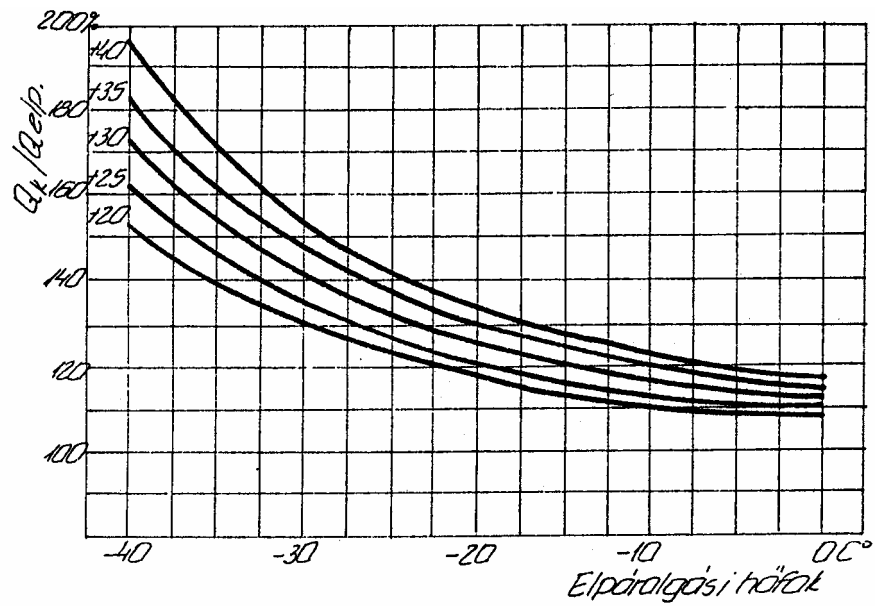
$$\Phi_0 = cG(t_{be} - t_{ki}) = kA\Delta t \rightarrow A = \frac{\Phi_0}{k\Delta t}$$

8.4. KONDENZÁTOROK

A kondenzátorban elvont hőmennyiség:

$$\Phi_k = Gq_0 + |w_k|$$

A kondenzátor teljesítménye mindig nagyobb, mint az elpárolgatóé. A kettő közötti különbség a kompressziómunka:



115. ábra

A kondenzátorok hűtőközege lehet:

- víz,
- levegő.

A kondenzátorok csoportosítása a hőközlés módja szerint:

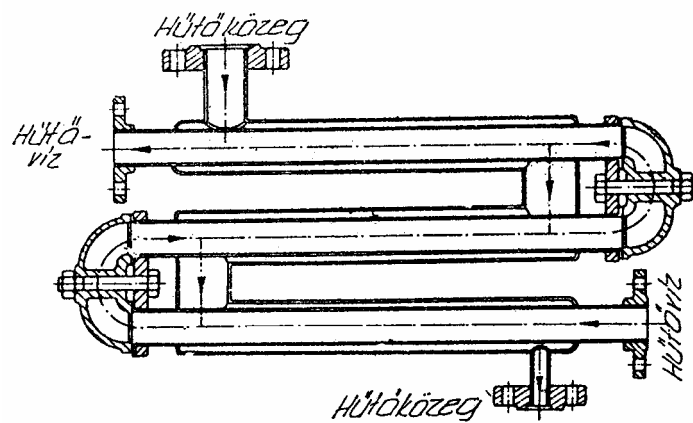
- átfolyó,
- evaporatív (permetezett és elpárologtató),
- keverő,
- elpárolgó közeggel hűtött, különleges kondenzátorok,
- léghűtéses kondenzátorok.

A hűtés lehet:

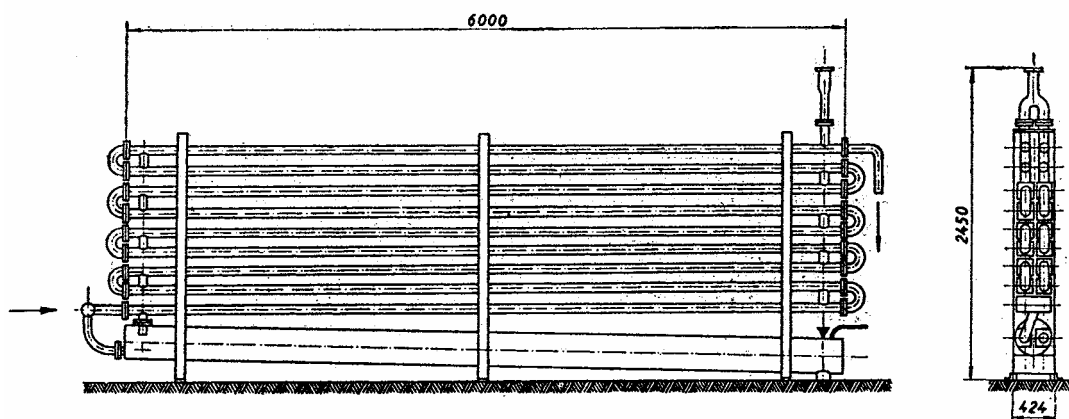
- egyen-,
- ellen-,
- keresztáramú.

Ennek az elő- és utóhűtő szakaszban van jelentősége.

Kettőscsővű ellenáramú kondenzátorok:

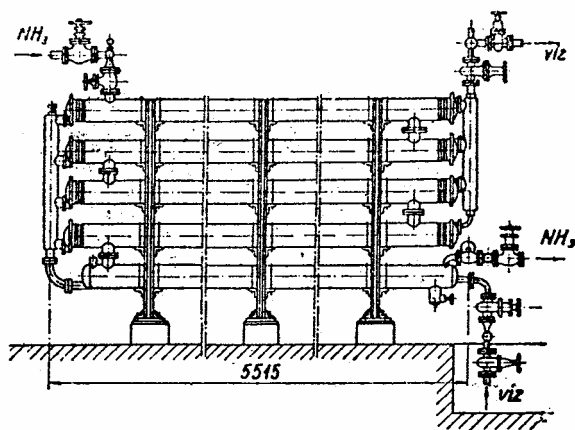


116. ábra



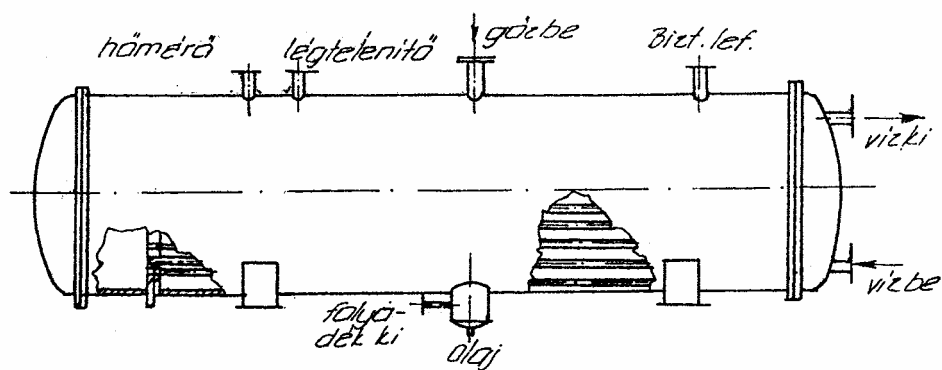
117. ábra

Csőköteges kondenzátor:



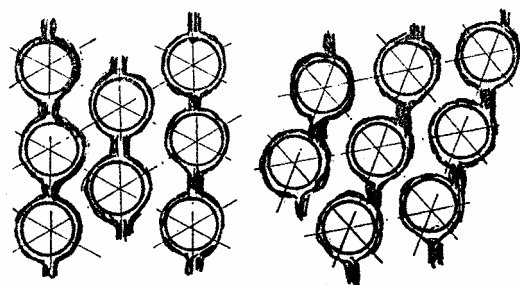
118. ábra

Nyalábcsőves kondenzátor:



119. ábra

Csőelrendezések:

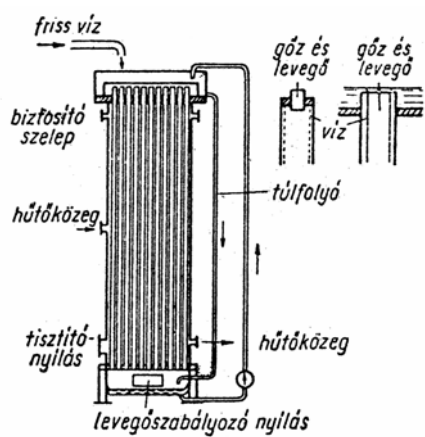


Háromszög

Ginabat

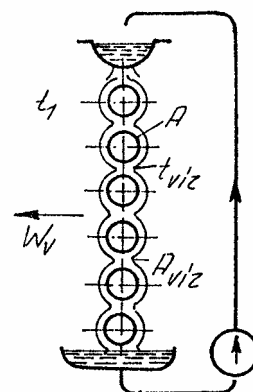
120. ábra

Toronykondenzátor:



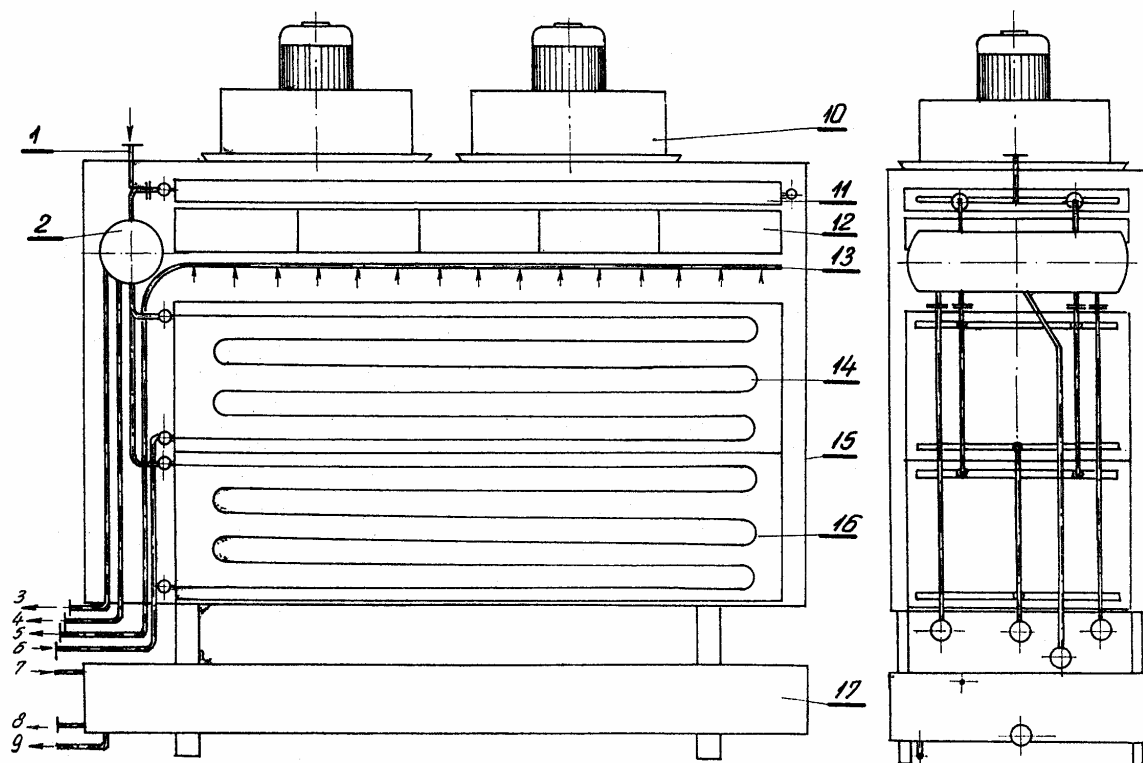
122. ábra

Permetezett kondenzátor:



110. ábra

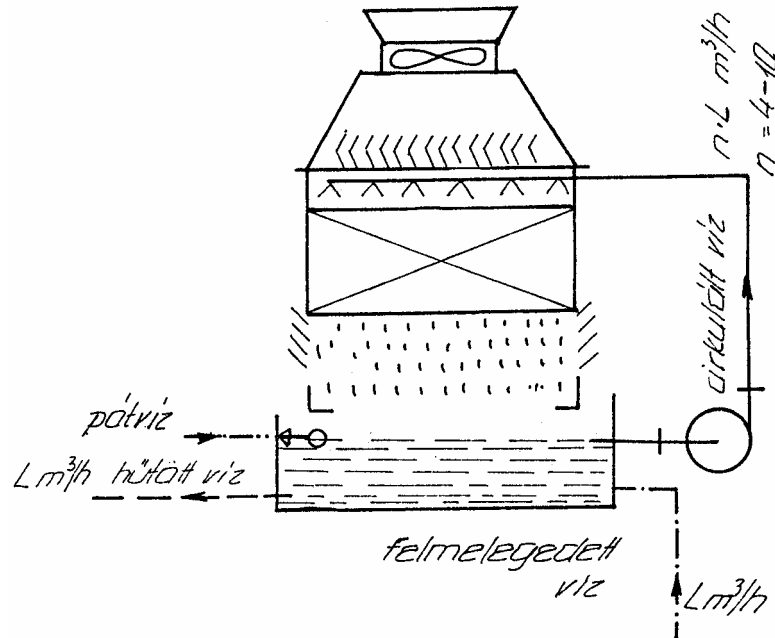
Elpárolgató kondenzátor:



123. ábra

- | | |
|---|---------------------|
| 1. NH ₃ gőz bevezetés | 16. cseppfolyósító |
| 2. olajleválasztó | 17. vízgyűjtő tálca |
| 3. légtelenítő csonek | |
| 4. olajleválasztó csonek | |
| 5. NH ₃ folyadék elvezető csonek | |
| 6. hűtővíz csatlakozás | |
| 7. pótvíz | |
| 8. hűtővíz | |
| 9. ürítő-túlfolyó | |
| 10. ventilátor | |
| 11. előhűtő | |
| 12. cseppleválasztó | |
| 13. permetező rendszer | |
| 14. cseppfolyósító | |
| 15. váz | |

Vízvisszahűtő torony: feladata a közvetlenül vízzel hűtött kondenzátorból kilépő felmelegedett víz lehűtése, így az visszavezethető a kondenzátorba.

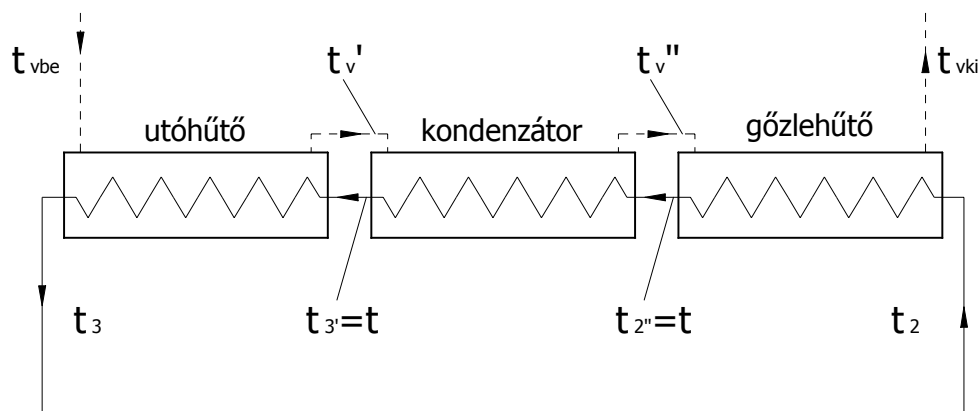


124. ábra

8.4.1. A kondenzátorok termikus méretezésének alapjai

A hűtőközeg hőleadása három részre osztható:

- gőzlehűtés vagy előhűtés: 2 – 2'', izobar,
- kondenzáció: 2'' – 3', izoterm – izobar,
- utóhűtés: 3' – 3, izobar.



125. ábra

A munkaközeg teljes hőleadása:

$$\Phi = G(h_2 - h_{3'})$$

A gőzlehűtéssel, a kondenzációval és az utóhűtéssel elvont hőmennyiség:

$$\Phi_g = G(h_2 - h_{2''}) = Gc_p(t_2 - t)$$

$$\Phi_k = G(h_{2''} - h_{3'}) = Gr$$

$$\Phi_u = G(h_{3'} - h_3) = Gc_p(t - t_3)$$

$$\Phi = \Phi_g + \Phi_k + \Phi_u$$

t_2 – a kompresszió véghőmérséklete

t – kondenzációs hőmérséklet

t_3 – az utóhűtés véghőmérséklete

A hőelvonáshoz szükséges víz mennyisége:

$$\Phi = G_v c_{v\text{íz}}(t_{vki} - t_{vbe}) \rightarrow G_v = \frac{\Phi}{c_{v\text{íz}}(t_{vki} - t_{vbe})}$$

t_{vbe} – a belépő hűtővíz hőmérséklete

t_{vki} – a kilépő hűtővíz hőmérséklete

G_v – a hűtővíz tömegárama

$c_{v\text{íz}}$ – a hűtővíz fajhője

A hűtővíz térfogatárama:

$$\dot{V}_v = G_v v_v$$

v_v – a hűtővíz fajtérfogata

A hűtővíz felmelegedése az egyes szakaszokban:

$$\Phi_u = Gc_{v\text{íz}}(t'_v - t_{vbe}) \rightarrow t'_v = \frac{\Phi_u}{Gc_{v\text{íz}}} + t_{vbe}$$

$$\Phi_k = Gc_{v\text{íz}}(t'_v - t''_v) \rightarrow t''_v = \frac{\Phi_k}{Gc_{v\text{íz}}} + t'_v$$

$$\Phi_g = Gc_{v\text{íz}}(t''_v - t_{vki}) \rightarrow t_{vki} = \frac{\Phi_g}{Gc_{v\text{íz}}} + t''_v$$

A közepes logaritmusos hőfokkülönbségek az egyes szakaszokban:

$$\Delta t_{kg} = \frac{(t_2 - t_{vki}) - (t - t_v'')}{\ln \frac{t_2 - t_{vki}}{t - t_v''}}$$

$$\Delta t_{kk} = \frac{(t - t_v'') - (t - t_v')}{\ln \frac{t - t_v''}{t - t_v'}}$$

$$\Delta t_{ku} = \frac{(t - t_v') - (t_3 - t_{vbe})}{\ln \frac{t - t_v'}{t_3 - t_{vbe}}}$$

A felületek meghatározása:

$$\Phi_u = k_u A_u \Delta t_{ku} \rightarrow A_u = \frac{\Phi_u}{k_u \Delta t_{ku}}$$

$$\Phi_k = k_k A_k \Delta t_{kk} \rightarrow A_k = \frac{\Phi_k}{k_k \Delta t_{kk}}$$

$$\Phi_g = k_g A_g \Delta t_{kg} \rightarrow A_g = \frac{\Phi_g}{k_g \Delta t_{kg}}$$

k – hőátviteli tényező, $\frac{W}{m^2 K}$

A – hőátadó felület

8.5. FOLYADÉKLEVÁLASZTÓK, FOLYADÉKGYŰJTŐK, OLAJLEVÁLASZTÓK, LÉGTELENÍTŐK

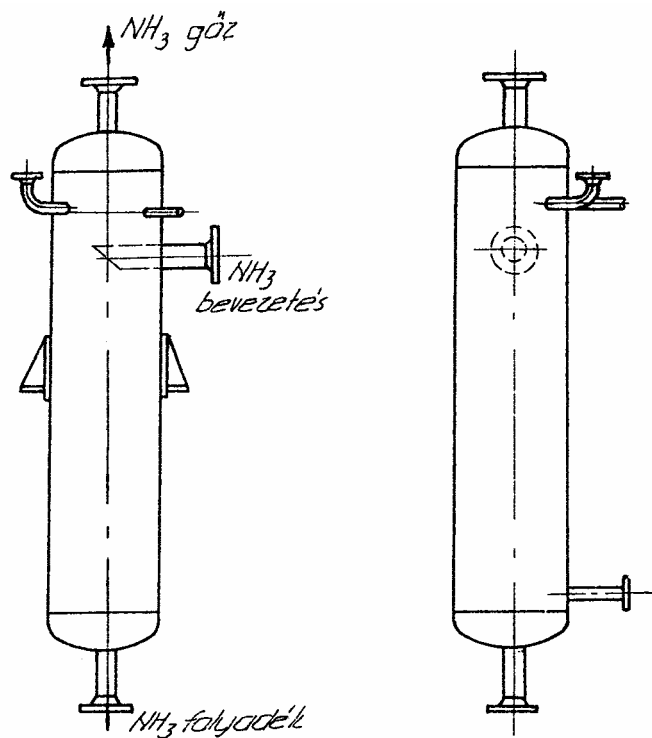
Folyadékleválasztók

A folyadékleválasztó szerepe, hogy a nedves gőzökből a folyadékot leválasztja, hogy a hűtőkompresszor csak gőzt szívhasson el. Zárt, hengeres edény, kivitele szerint:

- álló,
- fekvő.

A folyadék kiválását eredményező hatások:

- irányváltoztatás,
- ütközés,
- sebességcsökkenés.



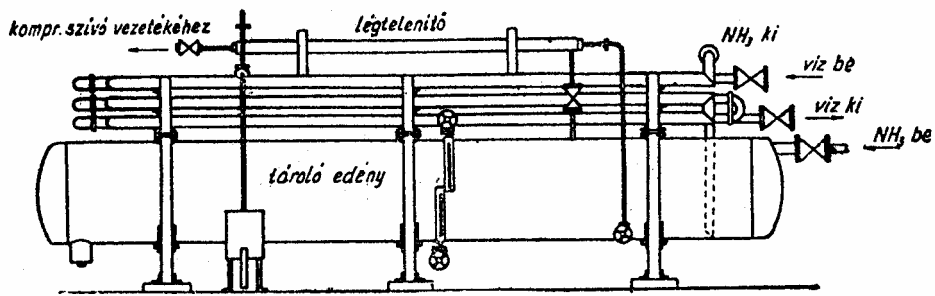
126. ábra

Folyadékgyűjtők

A folyadékgyűjtő a kondenzátor után kerül beépítésre. Feladata:

- bizonyos mennyiségű tartalék hűtőközeg tárolása,
- hosszabb üzemszünet vagy javítás esetén a teljes hűtőközeg-mennyiség tárolása.

Ammónia utóhűtő folyadékgyűjtő tartállyal:



127. ábra

Olajleválasztók

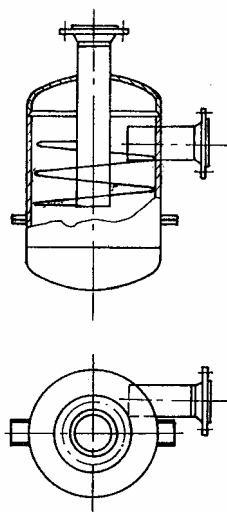
A kompresszor a nyomóvezetékbe bizonyos mennyiségű kenőolajat visz be, mely továbbjut a készülékekbe. Ez befolyásolja a hűtés folyamatát. Az olaj és a hűtőközeg oldódása lehet:

- korlátozott (ammónia, freon 22),
- korlátlan (freon 12).

A leválasztás történhet:

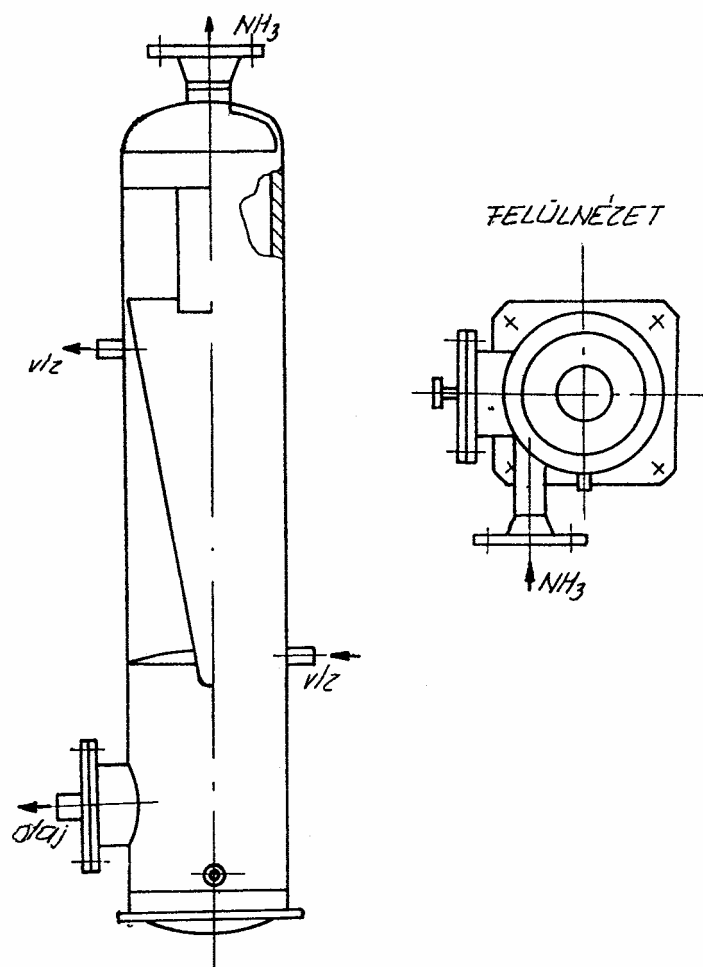
- a hűtőközeggőzök sebességének csökkentésével,
- a gőzök áramlási irányának változtatásával,
- az olajcseppek centrifugális erejének felhasználásával (ciklonhatással),
- hővel.

Spirálbetétes olajleválasztó:



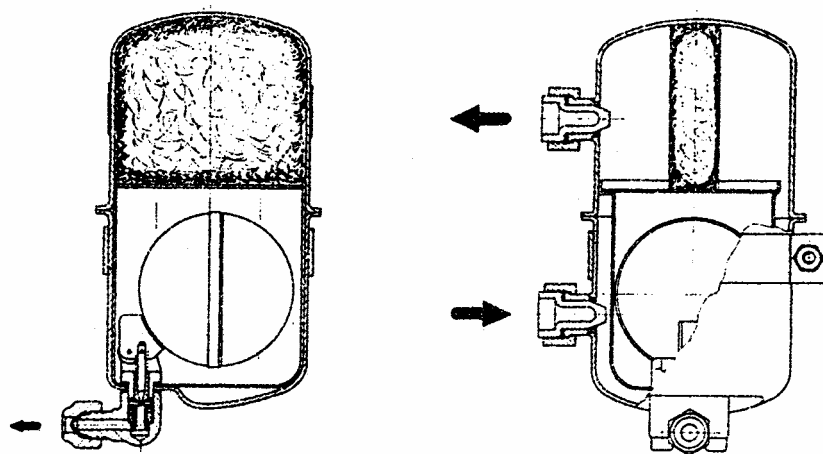
128. ábra

Hidrociklon elven működő olajleválasztó:



129. ábra

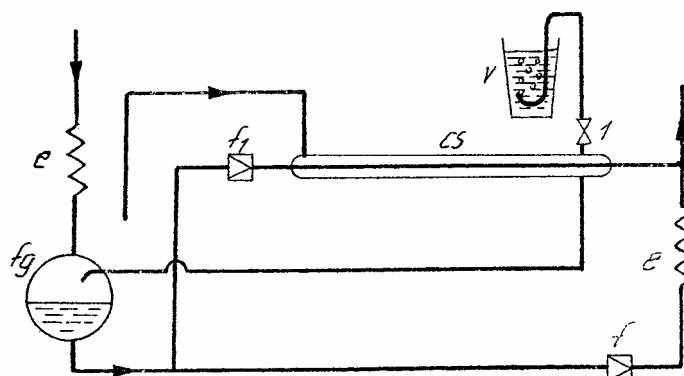
Hőszeparátoros olajleválasztó:



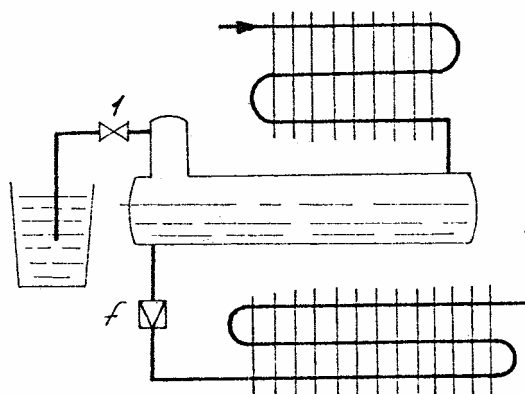
130. ábra

Légtelenítők

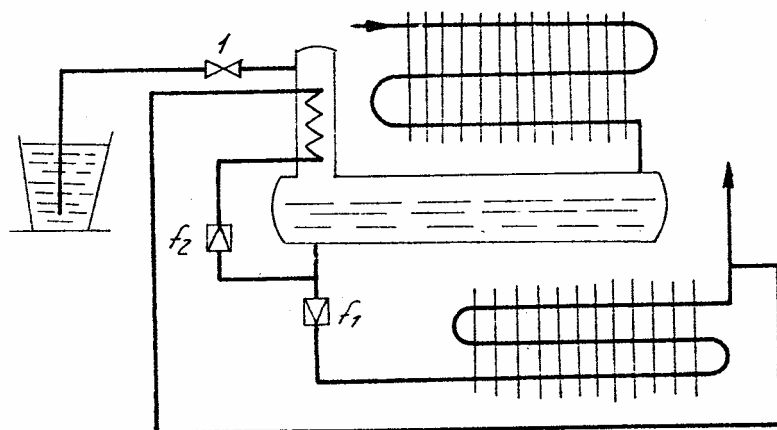
Légtelenítés alatt a levegőnek és a nem kondenzálódó gázoknak (pl. CO_2) a hűtőrendszerből való eltávolítását értjük.



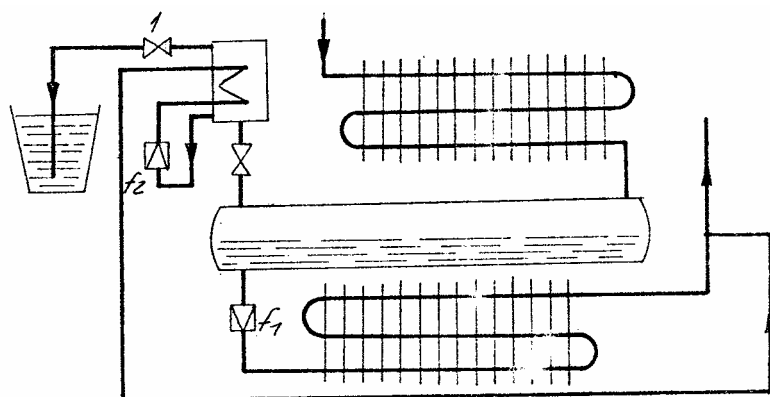
131. ábra



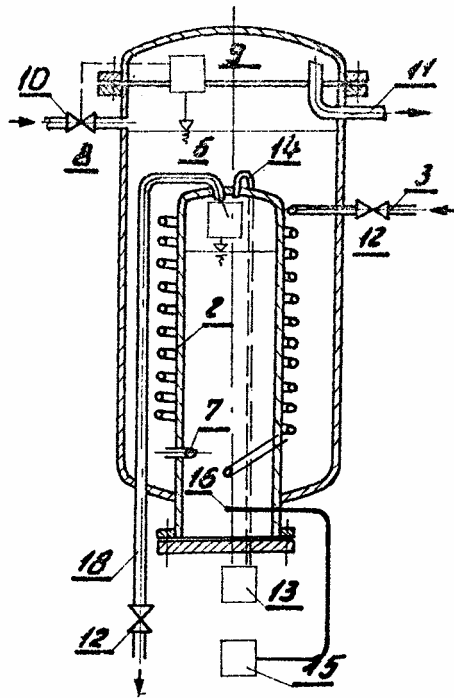
132. ábra



133. ábra



134. ábra

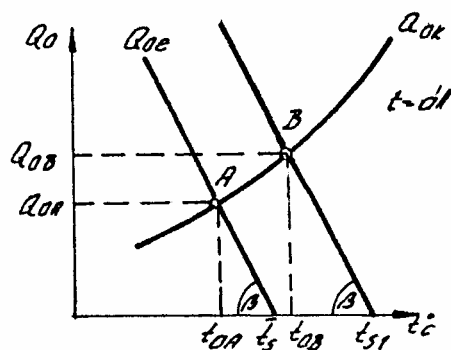


135. ábra

9. A HŰTŐBERENDEZÉSEK ENERGETIKÁJA

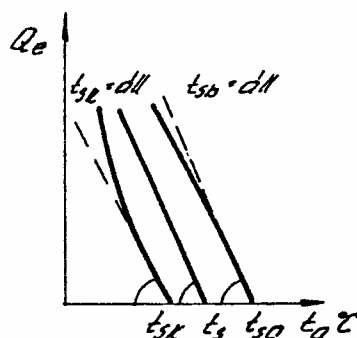
9.1. A HŰTŐBERENDEZÉSEK STACIONER ÜZEME

A stacioner üzemben beálló elpárolgási hőmérséklet meghatározása a kompresszor és az elpárolgató jelleggörbéje alapján, állandó kondenzációs hőmérséklet mellett:



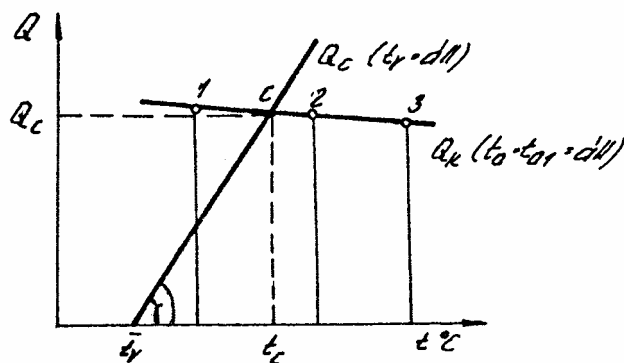
136. ábra

Az elpárolgató jelleggörbéje a hűtött közeg érkező, távozó és közepes hőmérséklete, mint paraméter mellett:



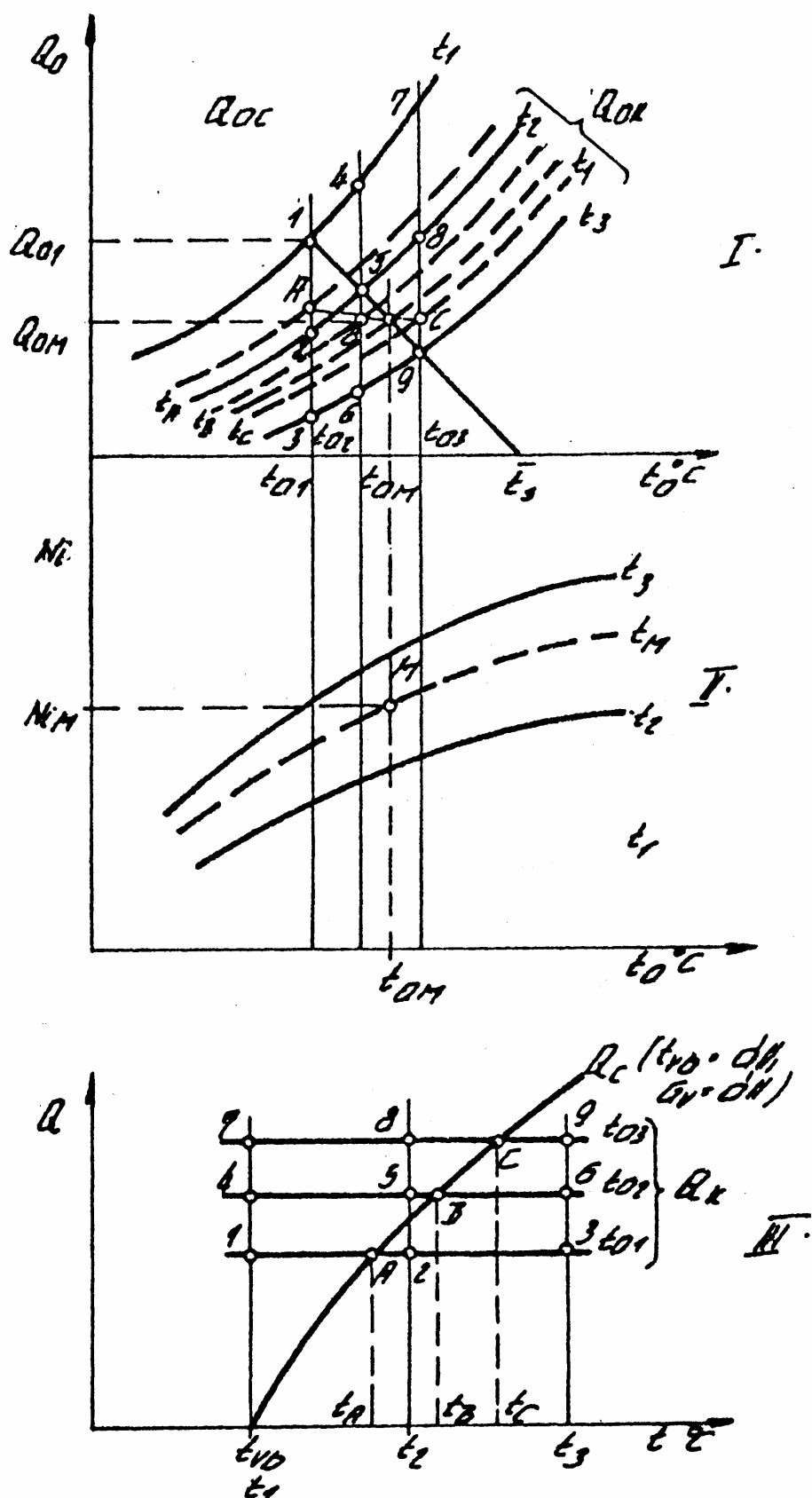
137. ábra

A stacioner üzemben beálló kondenzációs hőmérséklet meghatározása, állandó elpárolgási hőmérséklet mellett:



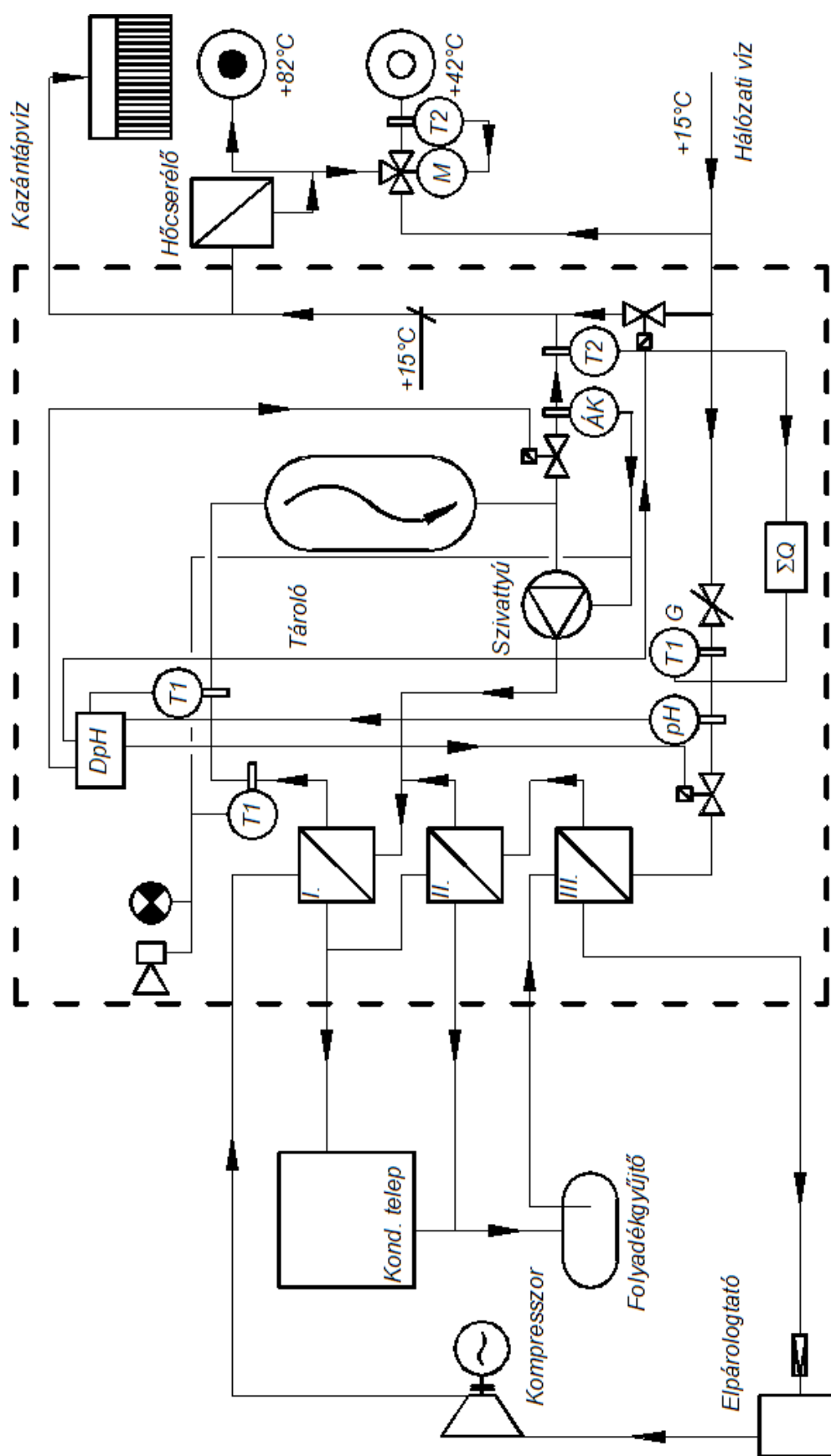
138. ábra

A stacioner üzemben beálló üzemi hőmérsékletek meghatározása:



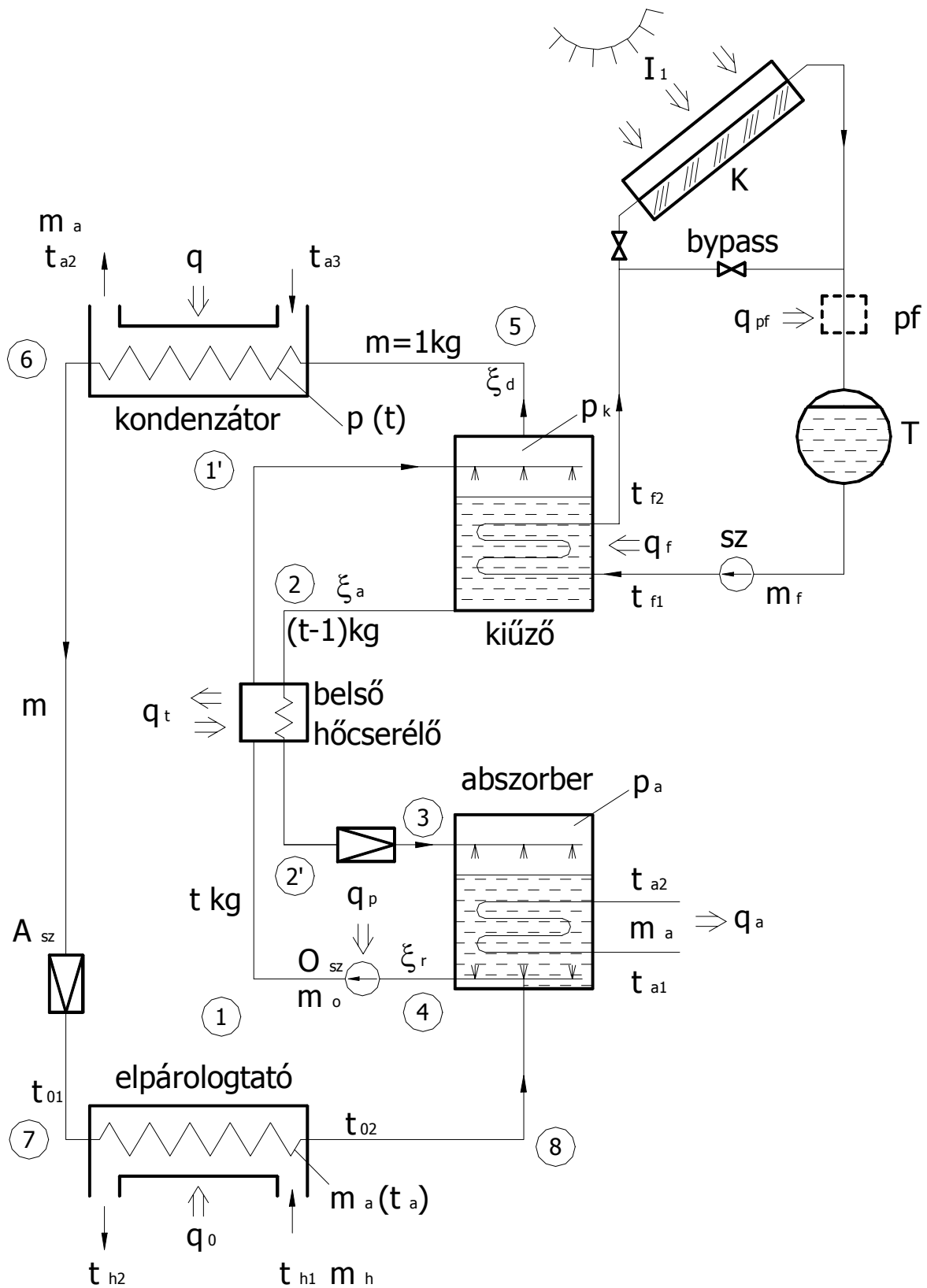
139. ábra

9.2. A KONDENZÁTOR HŐ HASZNOSÍTÁSA



140. ábra

9.3. NAPENERGIA HASZNOSÍTÁS

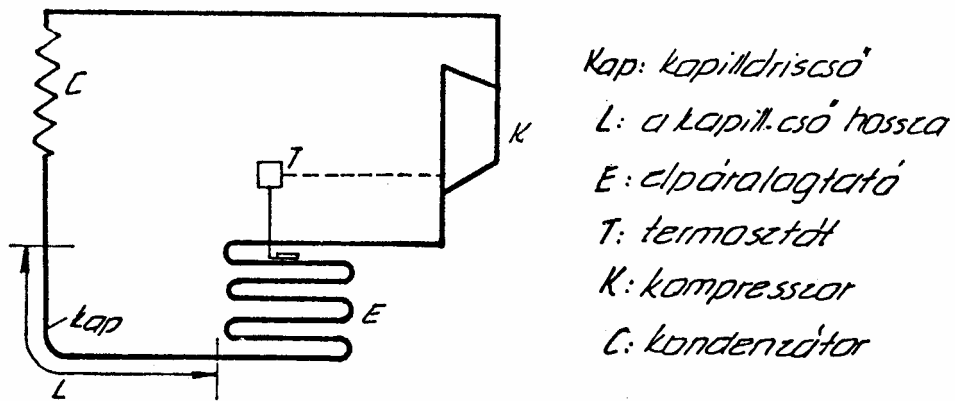


141. ábra

9.4. A HŰTŐBERENDEZÉSEK AUTOMATIKÁJA

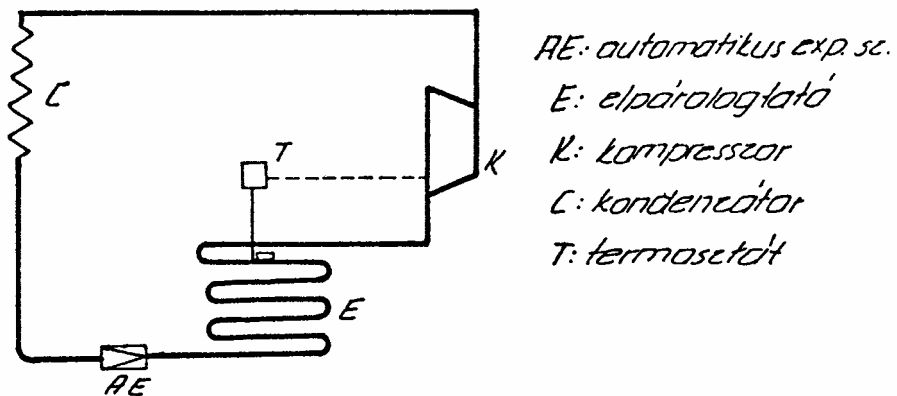
9.4.1. Az elpárolgatók szabályozása

Elpárolgató töltésszabályozás kapilláriscsővel és termosztáttal:



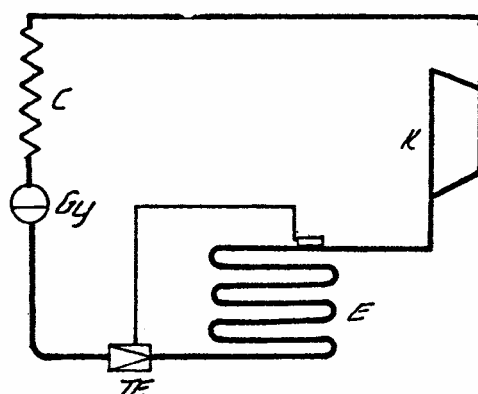
142. ábra

Elpárolgató töltésszabályozás automatikus expanziószeleppel és termosztáttal:



143. ábra

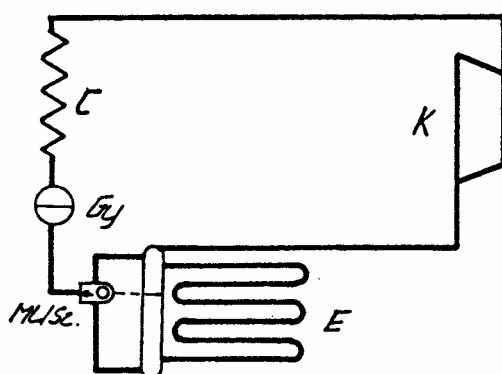
Elpárolgató hűtőközegadagolásának szabályozása termostatikus
 expanziószeleppel:



TE: termostatikus expanziószelep
 E: elpárolgató
 K: kompresszor
 C: kondenzátor
 Gy: foly. gyűjtő

144. ábra

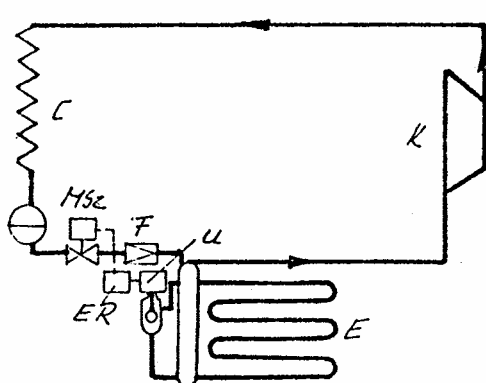
Folyadékadagolás úszós szabályozó szeleppel:



MLSz.: mechanikus úszós szabályozó szelep
 K: kompresszor
 C: kondenzátor
 Gy: folyadékgyűjtő
 E: elpárolgató

145. ábra

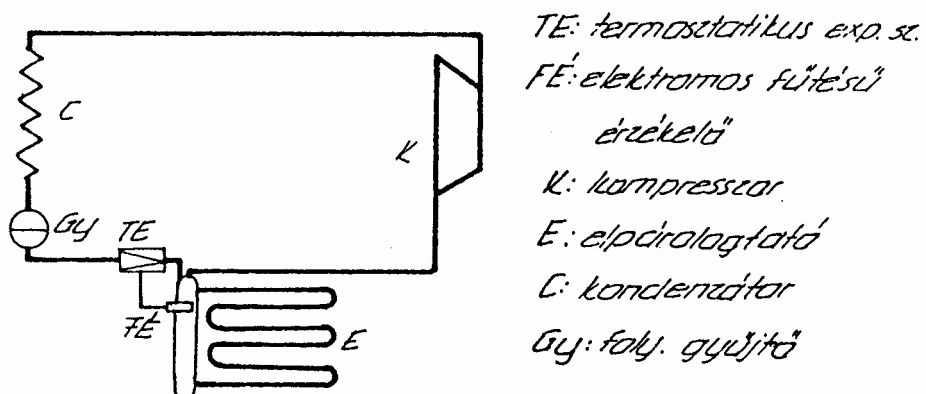
Folyadékadagolás szabályozása elektronikus szintszabályozással és szeleppel:



U: úszós adagoló
 ER: elektronikus relé
 MSz.: mágnesszelep
 F: kézi szabályozó szelep
 E: elpárolgató
 C: kondenzátor
 K: kompresszor

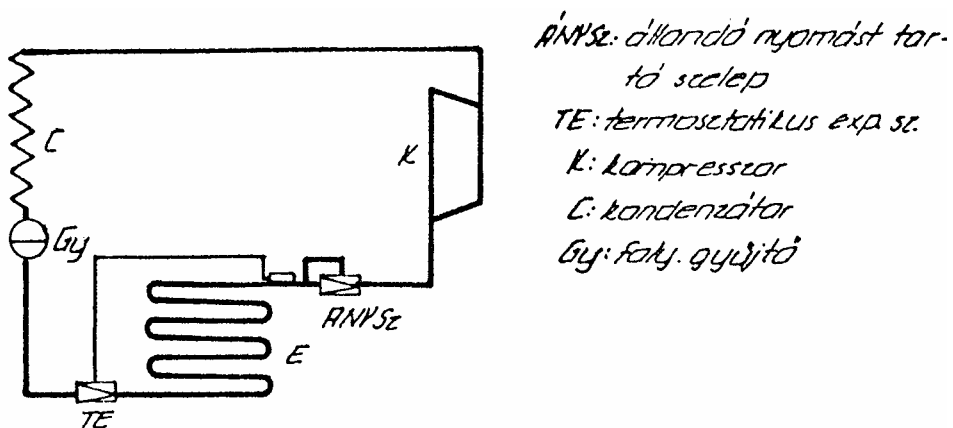
146. ábra

Automatikus folyadékadagolás elektromos fűtésű érzékelővel ellátott termostatikus expanziószeleppel:



147. ábra

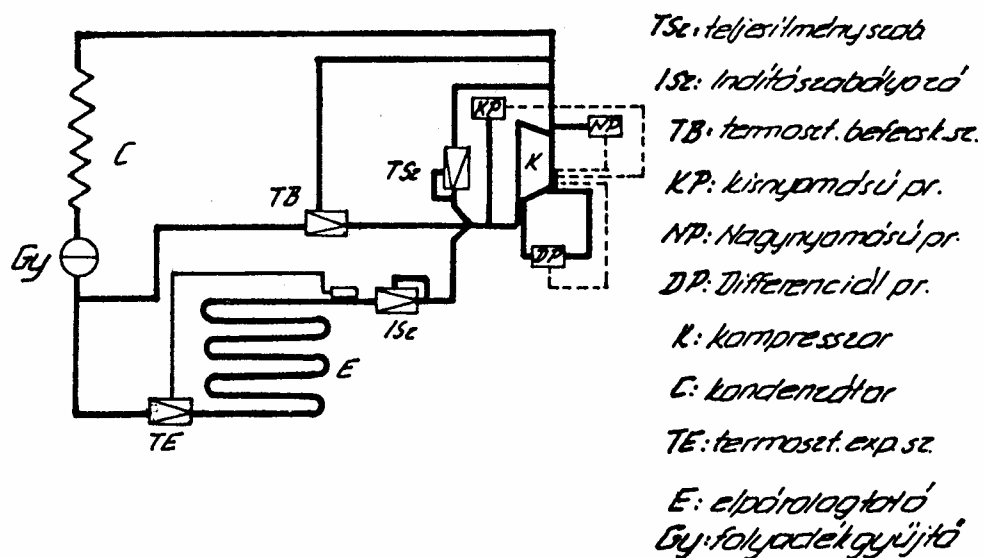
Elpárolgató nyomásszabályozás állandó nyomású szeleppel:



148. ábra

9.4.2. Kompresszorszabályozás

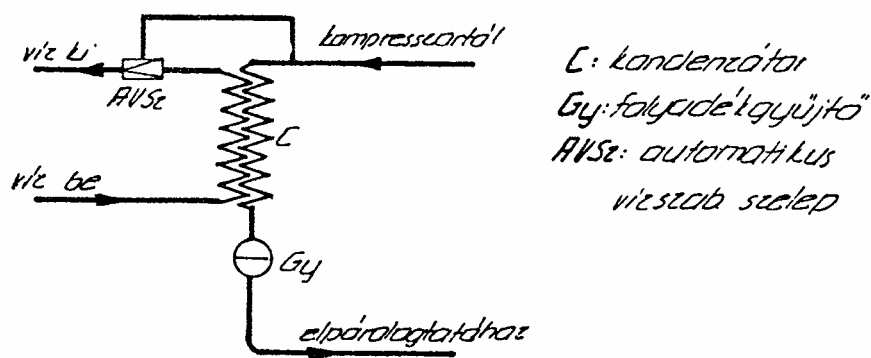
Teljesítményszabályozás és védelmi automatika:



149. ábra

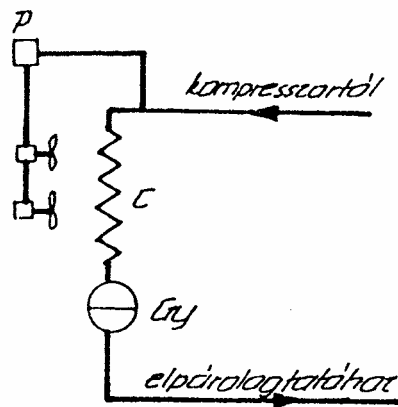
9.4.3. Kondenzátorszabályozás

Vízalatti szabályozás:



150. ábra

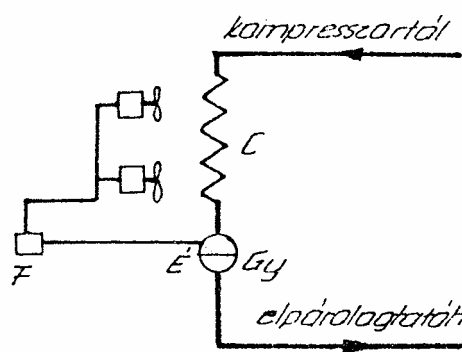
Légoldali szabályozás:



*P: presszástól (nyomás-
kapcsoló)*
C: kondenzátor
Gy: foly. gyűjtő

151. ábra

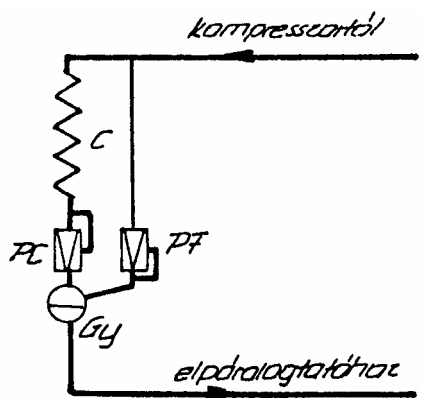
Légmennyiség szabályozás a ventilátormotorok fordulatszámának változtatásával:



C: kondenzátor
*F: hőmérséklet szabá-
lyozást letesítő for-
dulatszabályozó*
E: érzékelő
Gy: gyűjtő

152. ábra

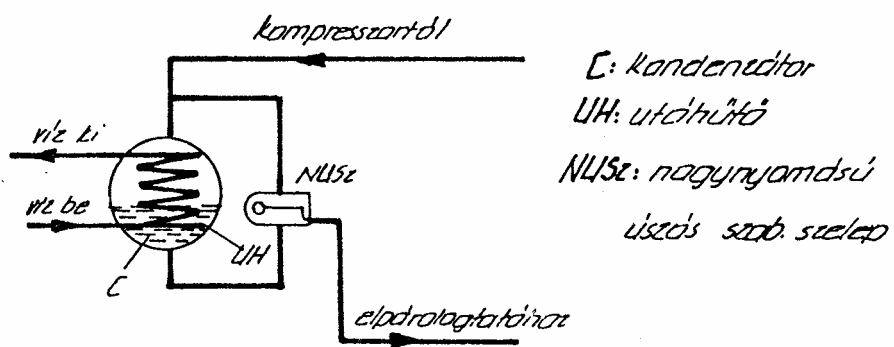
Kondenzátorszabályozás nyomásszabályozóval:



C: kondenzátor
Gy: foly. gyűjtő
*PF: a folyadékgyűjtő nya-
másától vezérelt nyomás-
szabályozó*
*PC: a kond. nyom-tól vezé-
relt nyomásszabályozó*

153. ábra

Kondenzátorszabályozás nagynyomású úszós szabályozóval:

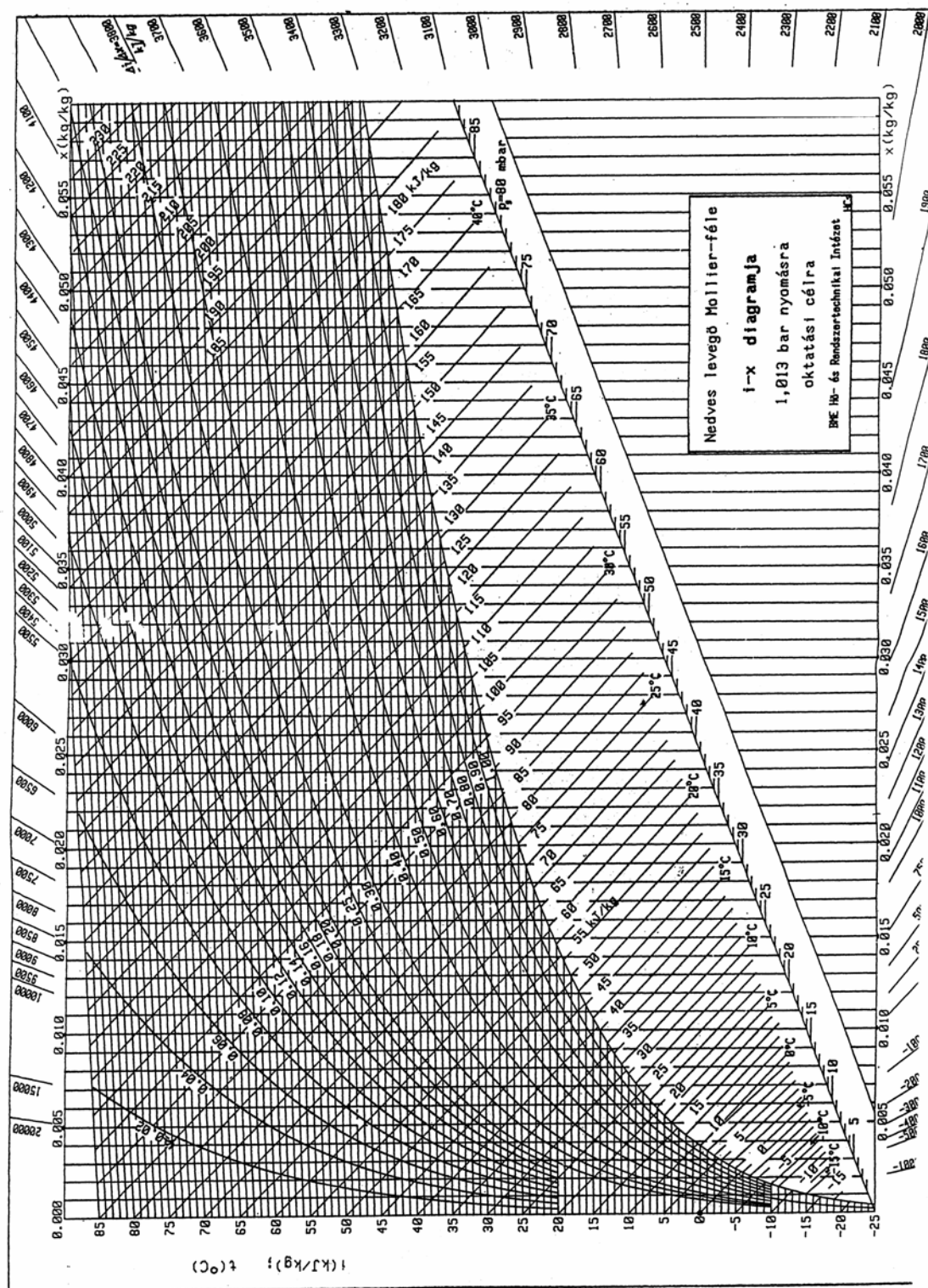


154. ábra

10. A KLIMATIZÁLÁS ELMÉLETE ÉS GYAKORLATA

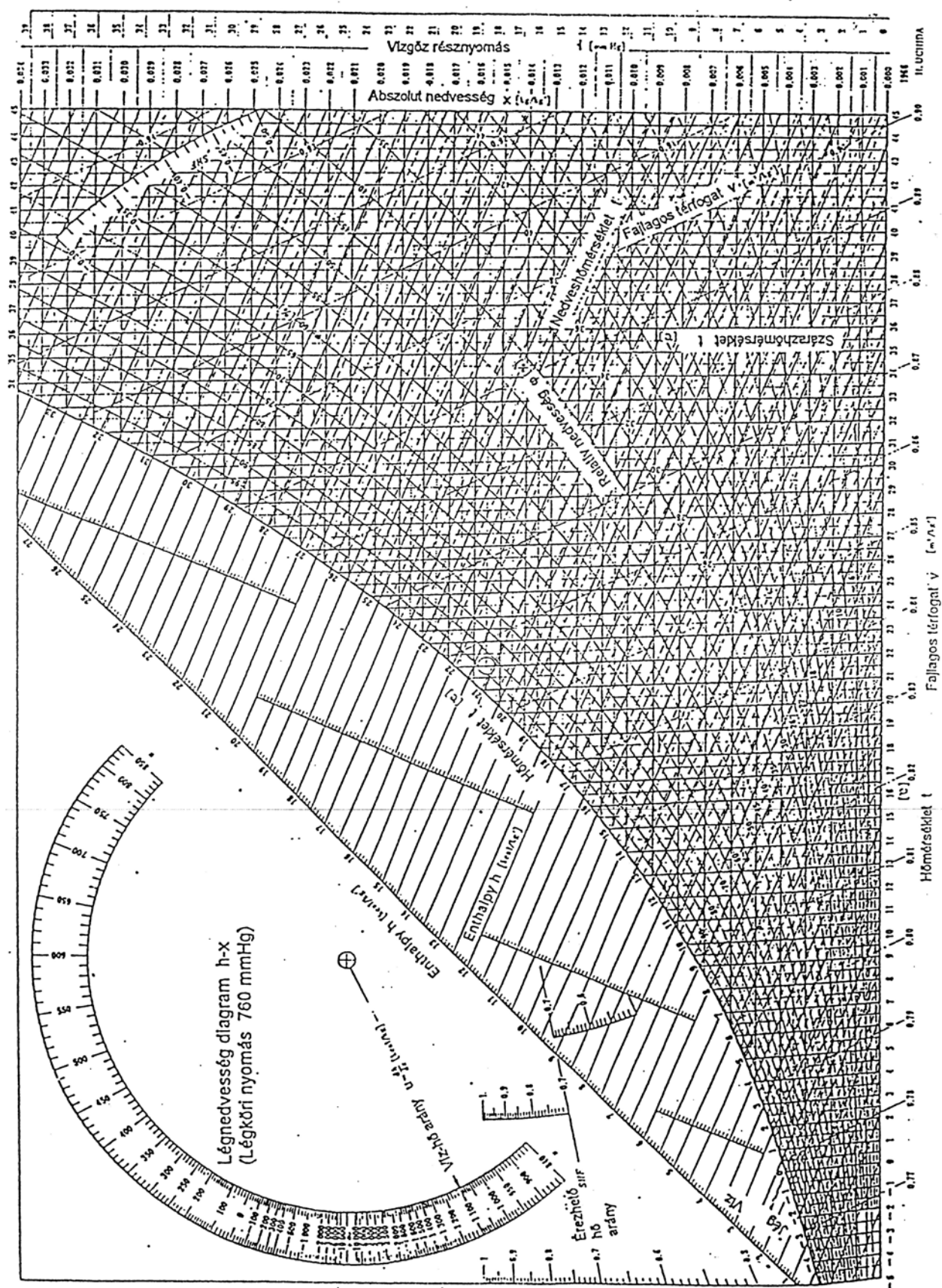
10.1. A NEDVES LEVEGŐ FÁZISDIAGRAMJAI

A nedves levegő Mollier-féle $h - y$ diagramja:



155. ábra

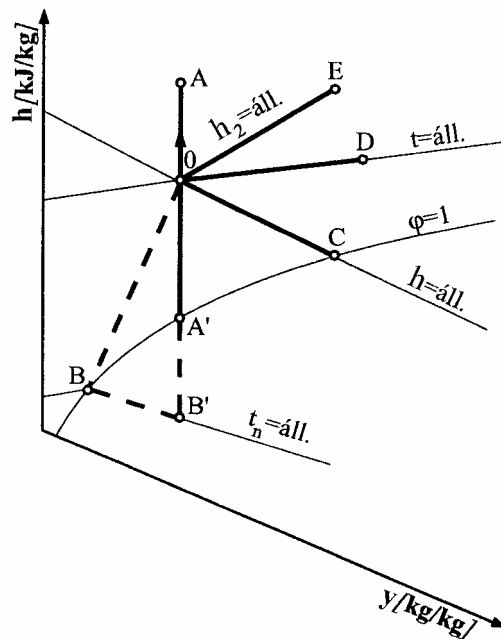
A nedves levegő Carrier-féle légállapot-diagramja:



156. ábra

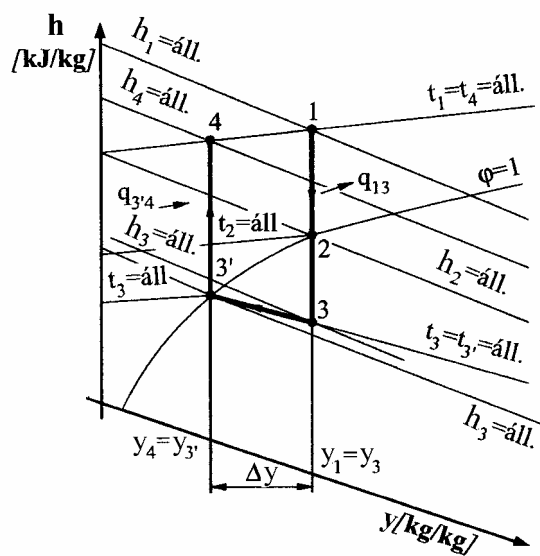
10.2. A NEDVES LEVEGŐ ÁLLAPOTVÁLTOZÁSAI

A nedves levegő jellemző állapotváltozásai:



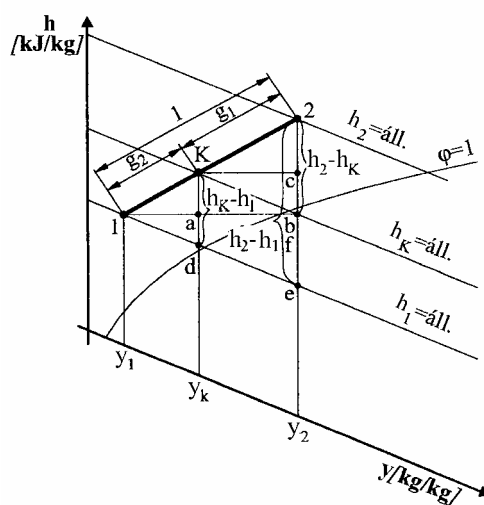
157. ábra

Nedvességcsökkentés hűtéssel:



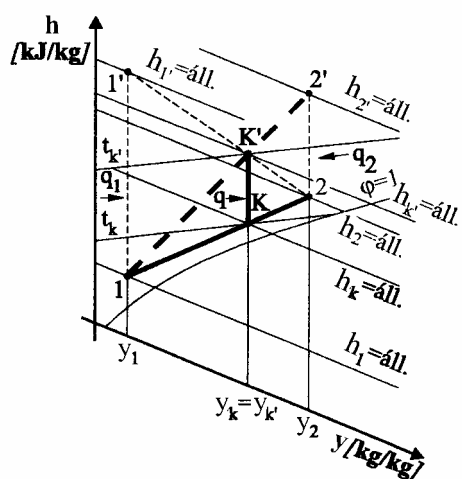
158. ábra

Két, különböző állapotú levegő összekeverése:



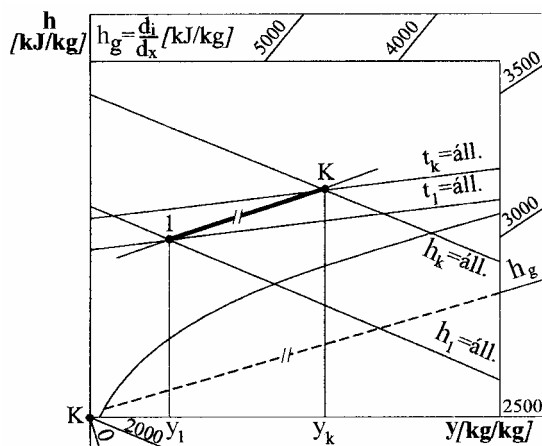
159. ábra

Keverés közbenső melegítéssel:



160. ábra

Gőzbefűvás:



161. ábra

10.3. IPARI KLÍMÁK HŐ- ÉS NEDVESSÉGTERHELÉSE

A légállapot jellemzői:

- a levegő hőmérséklete,
- nedvességtartalma,
- sebessége,
- tisztasága,
- nyomása.

Kata-érték: a mérőműszer által 36,5 °C közepes hőmérsékleten 1 cm² felületen, 1 s idő alatt a környezetnek leadott hő.

8. táblázat: Kata-értékek

Környezet	Kata érték, J/cm²
nagyon meleg	12 alatt
meleg	12 – 17
kellemes	17 – 25
hűvös	25 – 35
hideg	35 felett

A klímaberendezések csoportosítása:

- komfort berendezés,
- ipari berendezés.

Légsebesség szerint:

- hagyományos,
- nagy légsebességű.

A levegő hűtése szerint:

- nedves hőcserével működő,
- felületi hűtéssel működő.

A légkondicionált termek száma szerint:

- helyi klímaberendezés,
- zóna klímaberendezés.

Fő szerkezeti elemei:

- klímaközpont,
- elosztóhálózat,
- be- és kifúvó szerkezet.

10.3.1. A klimatizált tér hő- és nedvességterhelésének meghatározása

Hőterhelés

Emberek hőleadása:

$$\Phi_E = n \cdot \phi_E$$

n – a személyek száma

ϕ_E – egy ember hőleadása, közelítőleg 125 W

A világításból keletkező hő a világítási teljesítménnyel vehető figyelembe:

$$\Phi_V = N$$

A gépek hőleadása:

$$\Phi_{\text{gép}} = i \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{\eta_i} \omega_i$$

N_i – a hajtómotor teljesítménye

η_i – a hajtómotor hatásfoka

i – a gépcsoport egyidejűségi tényezője

ω_i – a gép terhelése

Meleg felületek hőleadása:

$$\Phi_F = \alpha F (t_f - t_b)$$

F – a hőleadó felület

α – a hőátadási tényező

t_f – a meleg felület közepes hőmérséklete

t_b – a belső hőmérséklet

A párologó vízfelület hőleadása:

$$\Phi_{v\acute{t}z} = \dot{m}_{v\acute{t}z} h_{v\acute{t}z}$$

Téli hővesztesség:

$$\Phi_{tr} = \left[\sum_{i=1}^n F_i k_i (t_b - t_k) \right] (1 + p_{\delta})$$

F_i – a lehűlő felület

k_i – a határoló szerkezet hőátviteli tényezője

t_b – a belső hőmérséklet

t_k – a külső hőmérséklet

p_{δ} – a pótléktényezők összege

Nyári hőnyereség:

$$\Phi_{tr} = \sum_{i=1}^n F_i k_i (t_k - t_b)$$

Ha napsugárzás éri a tároló szerkezetet, akkor annak felületén a külső léghőmérsékletnél lényegesen magasabb hőmérséklet alakul ki. Ez igen sok tényezőtől függ.

A beáramló hő összege:

$$\Phi_{\delta} = \Phi_E + \Phi_V + \Phi_{g\acute{e}p} + \Phi_F + \Phi_{v\acute{t}z} + \Phi_{tr} + \Phi_{naps}$$

Nedvességleadás

Emberek nedvességleadása:

$$V_E = n \cdot v_E$$

n – a személyek száma

v_E – egy fő nedvességleadása

A szabad vízfelületeken elpárolgott víz:

$$V_F = F \cdot \beta (p_v - p_l)$$

β – párolgási tényező

F – a párolgó vízfelület

p_v – a víz hőfokán lévő telített gőz nyomása

p_l – a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása

A klimatizált tér összes nedvességterhelése:

$$V_{\dot{O}} = V_E + V_F$$

A szellőzőlevegő állapotának megválasztása

$$L\Delta h_l = L(h_t - h_s) = \Phi_{\dot{o}} \rightarrow L = \frac{\Phi_{\dot{o}}}{\Delta h_l}$$

$$L\Delta x_l = L(x_t - x_s) = V_{\dot{o}} \rightarrow L = \frac{V_{\dot{o}}}{\Delta x_l}$$

$$\frac{\Phi_{\dot{o}}}{V_{\dot{o}}} = \frac{L\Delta h_l}{L\Delta x_l}$$

L – a szellőzőlevegő tömegárama

h_t – a távozó levegő entalpiája

h_s – a szellőzőlevegő entalpiája

x_t – a távozó levegő nedvességtartalma

x_s – a szellőzőlevegő nedvességtartalma

$$L = \frac{K}{K_t - K_s} = \frac{K}{\Delta K}$$

K – a helyiségben képződő szennyezőanyag tömegárama

K_t – a szennyezőanyag megengedett maximális koncentrációja a távozó levegőben

K_s – a szellőzőlevegőben lévő szennyezőanyag koncentrációja

A víz és a levegő állapotváltozásának menetére felírható:

$$\frac{\Phi}{m_v} = \frac{\Delta h_l}{\Delta x_l} = \frac{h - h_f}{x - x_f}$$

Φ – az átadott hőmennyiség

m_v – az elpárolgott vízmennyiség

h – a levegő entalpiája

x – a levegő nedvességtartalma

h_f – a folyadék entalpiája

x_f – a folyadék nedvességtartalma

► 11. AZ ENERGIAGAZDÁLKODÁS FOGALOMRENDSZERE, A FAJLAGOS ENERGIAFELHASZNÁLÁSI MUTATÓK, ENERGHÁLÓZATOK MUTATÓSZÁMAI

Az energiagazdálkodás feladatai:

- Zavartalan energiaellátás
- Energiatakarékosság, a veszteségek minimumra csökkentése
- Az energetika berendezések és hálózatok teljesítőképességének minél jobb kihasználása
- Gazdaságos üzemeltetés és az energiaköltségek csökkentése
- Energiaszükséglet tervezése
- Energia-biztonságtechnikai feladatok

Folyamatos, zavartalan energiaellátás biztosítás

Az energetikai berendezések üzemeltetési viszonyai

Az energetikai rendszer lehet:

- üzemkész állapotban
- javítás alatt
- üzemben

Folytonos üzem:

$$A_t = \frac{Z}{T_t}$$

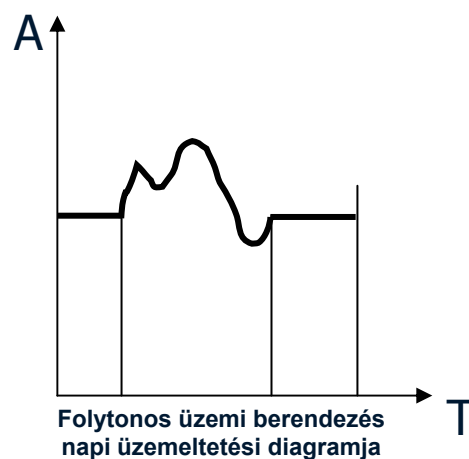
Szakaszos üzem:

$$A_0 = \frac{Z}{T_0} = \frac{Z}{T_t + T_a}$$

Kihasználási tényező:

$$A_0 = \frac{Z}{T_t + T_a} \cdot \frac{T_t}{T_t} = A_t \cdot k_i = A_{\max} \cdot k_t \cdot k_i$$

$$\text{ahol: } \frac{A_t}{A_{\max}} = k_t \text{ és } k = k_t \cdot k_i$$



162. ábra

163. ábra

A szakszerű üzemeltetés feltételei:

Műszaki dokumentáció:

- alapokmányok
- műszaki előírások
- operatív dokumentációk

Megfelelő munkaszervezés:

- horizontális,
- vertikális

Energetikai folyamat paramétereinek meghatározása

Energetikai folyamatok mérése

Energetikai nyilvántartás:

- szükséges mélység
- szükséges részletezettség.

A műszaki dokumentációval szemben támasztott követelmények:

Az energetikai berendezések alapokmányai:

- műbizonylat, gépkönyv
- átvételi mérési jkv. jelleggörbék,
- kapcs. váz. energiahordozó paraméterei,
- kazánbiztosi engedélyek.

Technológiai előírások:

a berendezés műszaki-gazd. jellemzői,

- anyagok, energiahord. fajl. értékei,
- egyvonalas működési ábra,
- rövid műszaki leírás,
- kezelési utasítás,
- karbantartás,
- munkavédelem, biztonságtechnika.

Energiaátalakító berendezés energetikai paraméterei

A bevitt energiahordozó min. paraméterei

- pl. tűz. anyag fűtőértéke

A berendezésbe bevitt energiahord. menny. mutatószámai

- pl. óránkénti tűz. anyag felhasználás

A belső energiaveszteség mértékének meghatározására alkalmas minőségi mutatók
füstgáz CO₂ tartalma, hőmérséklete

A berendezés üzemét befolyásoló külső paraméterek
külső levegő hőmérséklete

A kinyert energiahordozó paraméterei
gőznyomás, hőmérséklet

Az átalakított energiahordozó mennyiségét jellemző mutatószámok
óránként fejlesztett gőzmennyiség

Energetikai hálózatok és energia fogyasztó berendezések energetikai paraméterei

Energetikai hálózatok jellemzői
a továbbított energia paraméterei
a hálózati szakaszok terhelése
a hálózati veszteségek

Energia fogyasztó paraméterei
a bevitt energia paraméterei a berendezésbe való belépés helyén
a teljesítményszükséglet a berendezésbe való belépés helyén
hulladékenergiaforrások teljesítményére jellemző adatok

Az energetikai folyamatok mérése

A mérés pontosságát befolyásoló tényezők
a mérés elvéből származó hiba
beépítésből eredő hiba
addíciós hiba
szubjektív hiba
műszer öregedése, karbantartás
a mért adatok értékszórása

Az ellenőrzést biztosító mérőműszerek
mutatós műszerek
regisztráló műszerek
összegző műszerek

Energetikai nyilvántartások

Az energetikai nyilvántartás tárgya

- a fejlesztett energia mennyisége
- a felhasznált energia mennyisége
- a rendelkezésre álló hulladékenergia és az abból visszanyert energia mennyisége
- tárolt energia mennyisége
- energiahordozók paraméterei
- átalakítást jellemző mutatószámok
- üzemzavarok
- terhelések
- vásárolt energiahordozók költségei
- saját üzemben átalakított energiahordozók önköltsége

A nyilvántartások munkafolyamata

- a nyilvántartási adatok folyamatos olvasása és feljegyzése
- az üzemi adatok rendszerezése, elemzése
- származtatott adatok (hatásfok) képzése
- fajlagos energiafelhasználás meghatározása

A nyilvántartás szerkesztésének alapelvei

- tömör, kifejező cím
- az adatokhoz dimenzió megjelölés
- a nyilvántartás készítőjének neve
- a nyilvántartás készítésének dátuma
- az alapadatok forrásának megjelölése
- a gyűjtött adatok információ tartalma

Energianormák készítése

- A fajlagos energiafelhasználási mutató meghatározza adott termék egységnyi mennyiségének, adott berendezésen történő előállításához szükséges energia mennyiséget, a berendezés optimális üzemeltetési és termelési körülményeit figyelembe véve.

- Energetikai mutatószámok:

a folyamatba bevitt energia: $\sum \Phi_{\text{tüz.anyag}}$

az energetikai berendezésből kinyert energia: $\sum \Phi_{\text{termelt gőz}}$

folyamatok energetikai hatásfoka: η

folyamatok fajlagos energiavesztesége: $\frac{\sum \Phi_{\text{veszteség}}}{\sum \Phi_{\text{bevitt energia}}}$

Az energianorma meghatározási módszerei

A meghatározás módszerei

becslésen alapuló módszer

nincs elemzés

matematikai-statisztikai módszer

statisztikai függvénykapcsolatok

értékek elemzése, kölcsönhatások feltárása

átlagértékek, szórások számítása

számításon alapuló módszer

függvénykapcsolatok számítása

korreláció számítás

tapasztalati módszer

energiamérlegek és jelleggörbék készítése kísérletek, mérések üzemi próbák alapján

kombinált módszer

hasznos energiaszükséglet számítással

veszteségek részben számítással, részben méréssel

Energiaátalakító berendezések fajlagos energiafelhasználási mutatószámai és normái

A - elégtelen terhelés

B - gazdaságos terhelés

C - Túlterhelés

– b - fajlagos tüzelőanyag felhasználás: $b = \frac{B}{\Phi} = \frac{B}{D \cdot (h_{\text{gőz}} - h_{\text{víz}})} \left[\frac{\text{gázNm}^3}{10^6 \text{ kJ}} \right]$

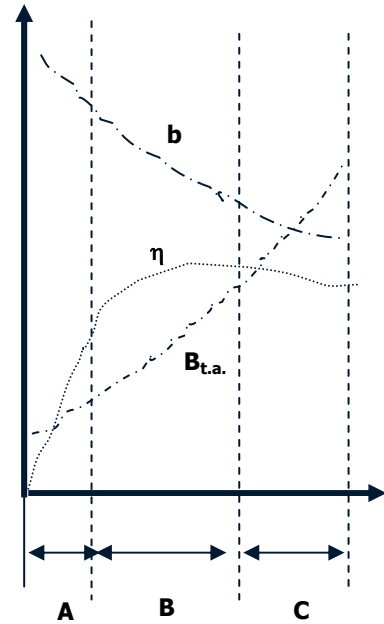
– η - hatásfok

füstgáz veszteség

salakéghető és áthullási veszteség

szálló hamuvesztés

sugárzási veszteség: $\eta_V = 1 - (q_{f.g.} + q_s + q_{hamu} + q_{sug.})$



164. ábra

Az energianorma kidolgozásának menete

- Rögzíteni kell a kazán jellemző adatait:
gyártási év, típus, rostély rendszere, hasznos rostélyfelület, fűtőfelület, túlhevítő felülete
- A felhasznált tüzelőanyag minőségi adatai
- Méréseket végezni különböző terhelési állapotokra
- A mért adatok alapján a kazán jelleggörbéjének megszerkesztése
- A kazán hőszolgáltatási menetrendjének meghatározása

A menetrend alapján tartamgörbe szerkesztése

- A fajlagos tüzelőanyag felhasználási norma meghatározása
kazánok leállítása
üzemszünet
felfűtés

Kazánberendezés villamosenergia felhasználási normája

- Tápszivattyú hajtása $P = \frac{\rho \cdot V \cdot H}{\eta_m}$; $W_{sz} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i$ [kWh]
- Ventilátorok energia szükséglete: $P = \frac{V \cdot \Delta p_{\delta}}{\eta_{\delta}}$ $W_V = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i$
- Rostélyok hajtása
- Malmok és segédberendezések hajtása
- Tüzelőanyag szállítás
- Salakeltávolítás

- Összesített villamosenergia-felhasználás: $W_{\delta} = W_{sz} + W_v + W_R + W_m + W_{t.a} + W_s$
- Villamos energianorma: $d = \frac{W_{\delta}}{\sum \Phi_i \cdot T_i}$

12. ENERGIASZÜKSÉGLET TERVEZÉSE. HULLADÉK ENERGIAGAZDÁLKODÁS

A vállalati szinten kidolgozott energiagazdálkodási terv fő részei:

- energiahordozó ellátási terv,
- energiahordozó teljesítményszükségleti terv,
- energetikai műszaki és szervezési intézkedések terve,
- az energiarendszer műszaki fejlesztési terve.

Ezek közül az első kettő tartalmazza energiahordozónként a készletezésre, termelésre, értékesítésre és felhasználásra vonatkozó adatokat. A hőellátási és villamosenergia-ellátási tervek készítése szükségessé teszi a terhelések megtervezését, a teljesítménymérlegek összeállítását, és az energiaátalakító berendezések gazdaságos üzem módjának tervezését.

A műszaki és szervezési intézkedések terve feladatokat tartalmaz az energiaellátás biztonságának növelésére, színvonalának javítására, energiatakarékosságra és egyéb intézkedésekre, amelyek a vállalat energiafejlesztő, elosztó és fogyasztói tevékenységére vonatkoznak.

A műszaki fejlesztési terv tartalmazza a vállalat energetikai bázisának bővítését, új műszaki eljárások bevezetését, és az energiaellátási rendszer esetleges rekonstrukcióját.

Az energiaszükséglet tervezése során szükséges a berendezések, folyamatok, termékek energiafelhasználási mutatóinak ismerete. A tervezés főbb szakaszai:

- a közvetlen energiafelhasználások meghatározása,
- az átalakítók mellékberendezéseinek energiaszükséglete,
- a felhasználás összesítése energiahordozónként,
- az értékesítendő energiahordozók mennyiségének meghatározása,
- az átalakítók energiaszükségletének meghatározása,
- az energiaforgalom megtervezése energiahordozónként.

Közvetlen energiafelhasználások meghatározása

A termelés energiaszükségletének meghatározása energiahordozónként:

- energianormával rendelkező berendezések,
- nem normázott folyamatok,
- nem energetikai célú energiafelhasználás.

Rezsi jellegű energiaszükséglet meghatározása

Az energiaszükséglet normákkal, illetve mutatókkal meghatározható.

A fűtés energiaszükségletének számításánál figyelembe kell venni a fűtési rendszer jellegét (kis- vagy közepnyomású kazántelep, kályhafűtés).

A melegvíz szükséglet meghatározása a tervezett létszám és a szociális normában meghatározott fajlagos felhasználás figyelembevételével történik, ez alapján meghatározható a melegvízkészítés energiaszükséglete.

A világítási energiaszükséglet munkatermenként előírt mutatók és az átlagos világítási órák számának felvételével számítható. Mutatók hiányában az előző évek energiaszükséglete lehet irányadó.

Az egyéb hőfelhasználások kategóriájába sorolandó a főzés energiaszükséglete, melyet az előző időszakok adatai alapján, a tervezett napi adagszám ismeretében határoznak meg.

Egyéb energiaszükségletek

Ide sorolhatók az energiaelosztás veszteségei (pl. villamos hálózat, levegőhálózat).

Hulladék energiagazdálkodás

Az energetikai vizsgálatoknak a tényleges gyártási folyamatok mellett a segéd- és kiszolgáló folyamatokra való kiterjesztését több tényező is indokolta. A környezetvédelmi kérdések megítélése jelentősen megváltozott az 1960-as és 70-es években, fontosságuk egyre nő. Egyre több hulladékhő kerül a levegőbe, mely szerepet játszhat a globális felmelegedésben. A Földön rendelkezésünkre álló kémiai tüzelőanyagok, energiahordozók mennyisége véges. Az energia ára folyamatosan emelkedik, ezzel jelentős tényezővé vált a termékek összköltségében és az üzemeltetésben is. Fontos az energiaátalakítási és –felhasználási folyamatok vizsgálata, jobb megismerése.

A vizsgált rendszer hőmérlegében a belépő mennyiségek:

- energiahordozók,
- alap- és segédanyagok,
- egyéb energia.

A kilépő mennyiségek:

- hasznos hő,
- termékek hőtartalma (pl. a megmunkáláshoz magas hőmérsékletre hevített fémek, különösen megolvasztva, mivel a hőtartalom halmazállapot-változásnál ugrásszerűen változik),
- környezetbe távozó hőáramok,

- egyéb (pl. a kohókból jelentős mennyiségű hulladékhő távozik a salakanyagokban, kémiai folyamatokból a kilépő oldószerekben, melléktermékekben).

A hőhordozók termikus viselkedését elsődlegesen hőtároló képességük és hőátszármaztatási tulajdonságaik szabják meg. A rejtett hő többnyire jelentős energiamennyiség tárolását teszi lehetővé a hőhordozóban (pl. halmazállapot-változásnál vagy kémiai reakciónál felszabaduló energia formájában).

A hulladékhő a rendszerből a környezetbe távozó energia. Tágabb értelemben ide tartozik a munkavégzés nélküli nyomáscsökkenéssel elvesztett energia is. Ide tartozik a környezetnél alacsonyabb potenciálú energia elvesztése is (hidegenergia, vákuum). A hulladékhő hasznosításának eredménye:

- a közvetlen költségmegtakarítás,
- a fel nem használt energia megtermelése nem szennyezi a környezetet.

A hulladékhő hasznosításának feltételei:

- legyen olyan fogyasztó, amelyik az adott minőségű (hőfokszintű) hulladékhőt fel tudja használni,
- a fogyasztási igény és a hulladékhő rendelkezésre állása időben egybeessen.

Amennyiben a feltételek nem teljesülnek, hőszivattyú vagy hőtároló alkalmazása szükséges.

Egyéb tényezők is korlátozhatják a hulladékhő felhasználását. Helyhez kötött rendszereknél a hűtővízzel távozó jelentős energiamennyiség felhasználható, de pl. gépkocsik hűtővizéből a környezetbe távozik.

A hulladékhő hasznosítási lehetőségei:

- rendszeren kívül: szolgáltatás új fogyasztó részére,
- rendszeren belül: technológiai hasznosítás,
- a hőtermelő egységen belül: tápvízelőmelegítés, égési levegő előmelegítése, stb.

A hőhasznosításra alkalmazott hőcserélők a következők lehetnek:

- sugárzó hőcserélők (rekuperátorok),
- regenerátorok,
- csőköteges hőcserélők,
- közvetítőközeges hőcserélők.

A hulladékhő hasznosításának feltétele a veszteségek feltárása.

A hulladékhő hasznosítás az eredeti technológia üzemét nem veszélyeztetheti.

13. VILLAMOS ENERGIAGAZDÁLKODÁS, ENERGIAMENEDZSMENT

Az energiamenedzsment rendszerszemléletű gyakorlata

Célkitűzés:

Bemutatni, hogyan befolyásolja az anyag- és energiatakarékosság a nemzeti és vállalati tevékenységet

- A gyártási folyamatok rendszerszemléletének bevezetés
- Az ipari rendszerek anyag- és energiafelhasználásának mérésére alkalmas módszer bevezetése

Tárgykörök:

- Az energia- és anyagtakarékosság jelentősége
- Fogalmak: rendszer, alrendszer, rendszer határa, a rendszer környezete
- A rendszer folyamatábrája, alrendszerek és az őket összekapcsoló anyag- és energiaáramok

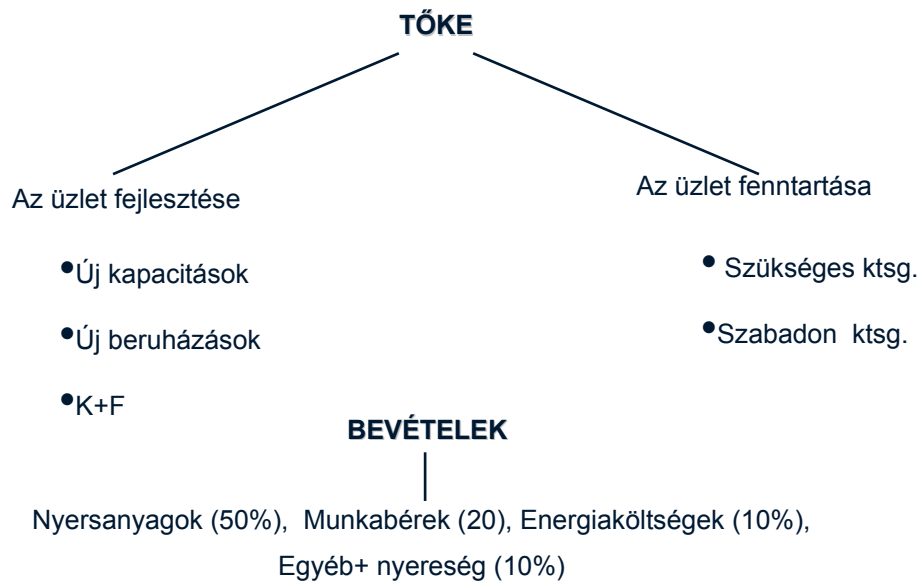
Témakörök:

- Energiaátalakítás és hatékonyság
- Anyagok és energia
- Anyag- és energiaáramlás modellezése gyártási folyamatokban
 - A rendszer fogalma
 - A rendszer határai és az alrendszerek
 - Rendszeranalízis
 - A rendszer környezet és a külső tényezők
- Az energia- és anyagfelhasználás számszerű jellemzése
 - Energiaigény és az anyagátalakítás hatékonysága
- Energiafelhasználás ipari rendszerekben
 - Energiafelhasználás hatékonysága

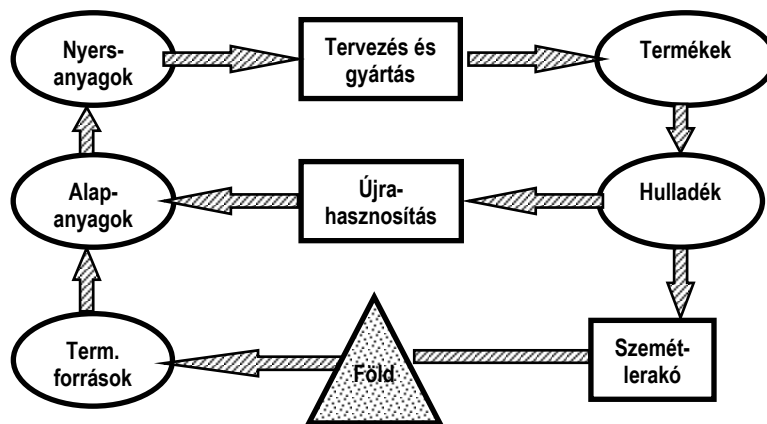
Anyagfelhasználás ipari rendszerekben

Globális összefüggések:

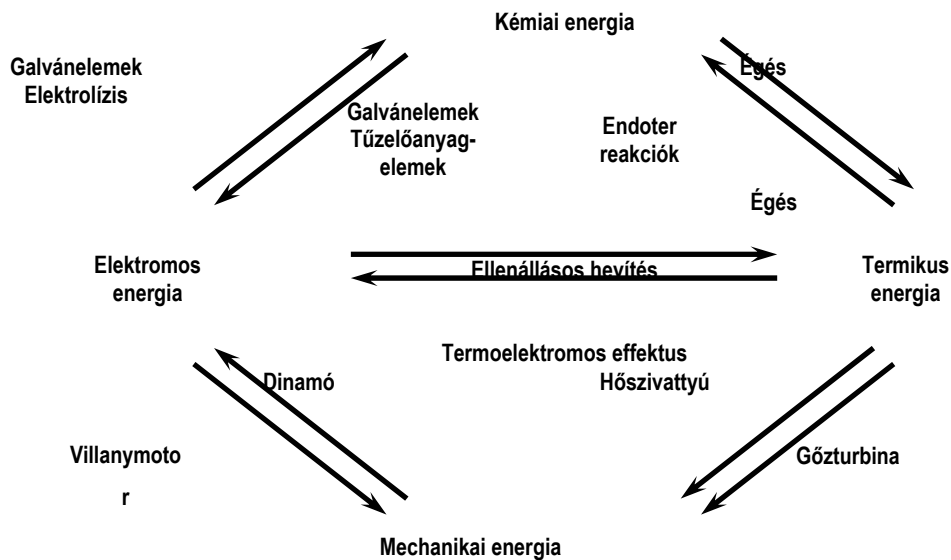
- Nyomtatott áramköri folyadék regenerálása
- Kombinált hő- és villamosenergia előállítás Kondenzációs hőhasznosítás



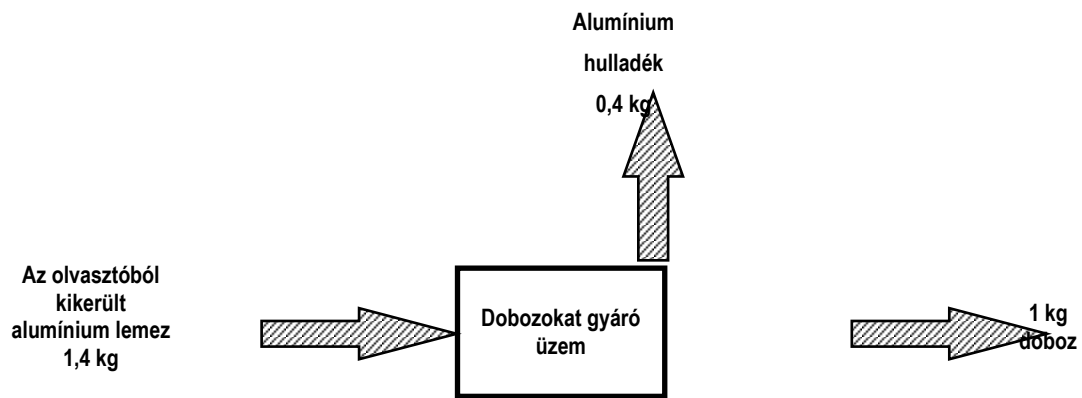
166. ábra



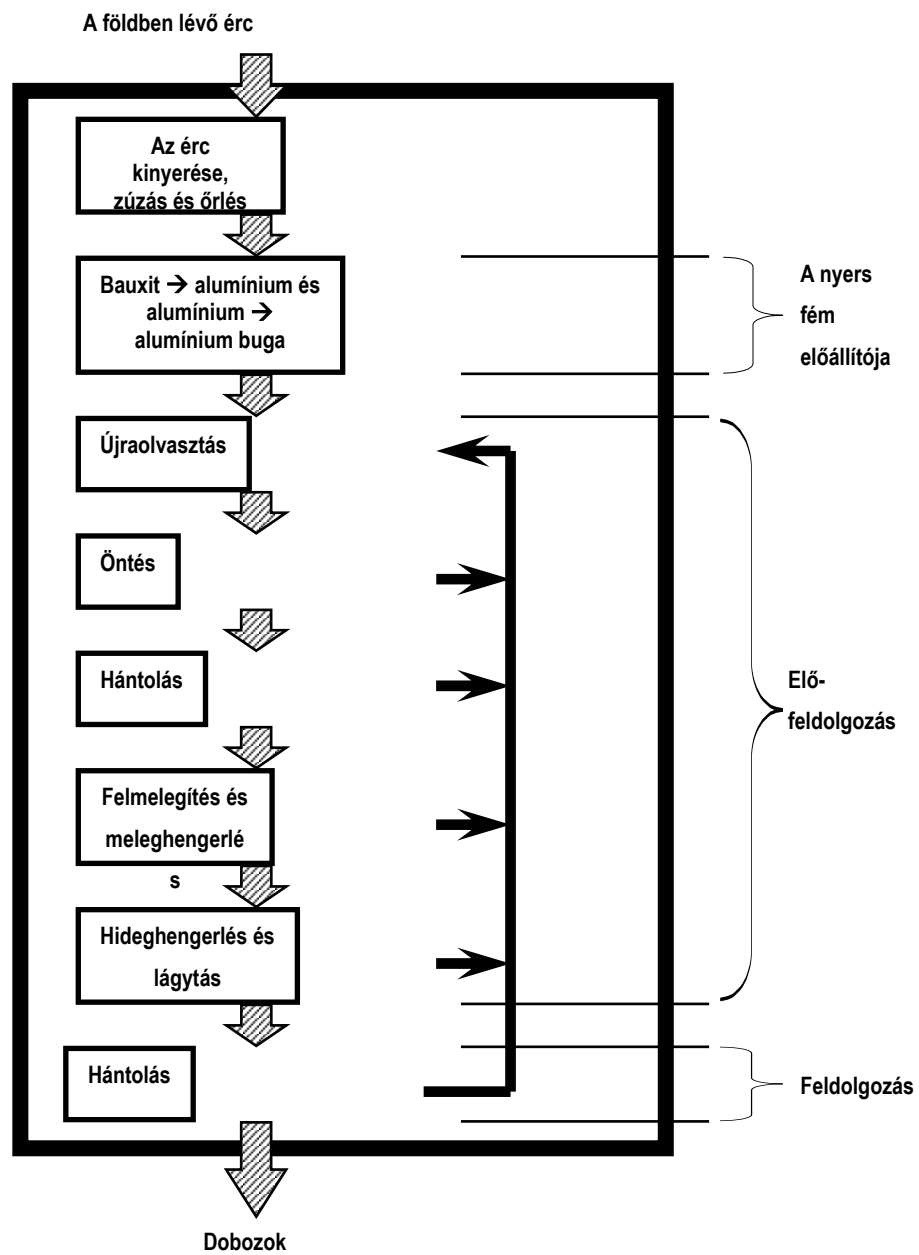
154. ábra



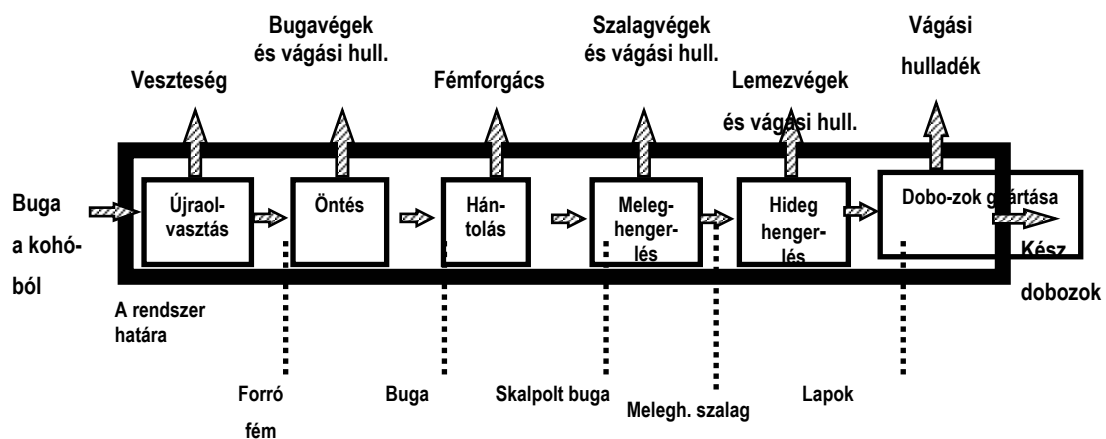
167. ábra



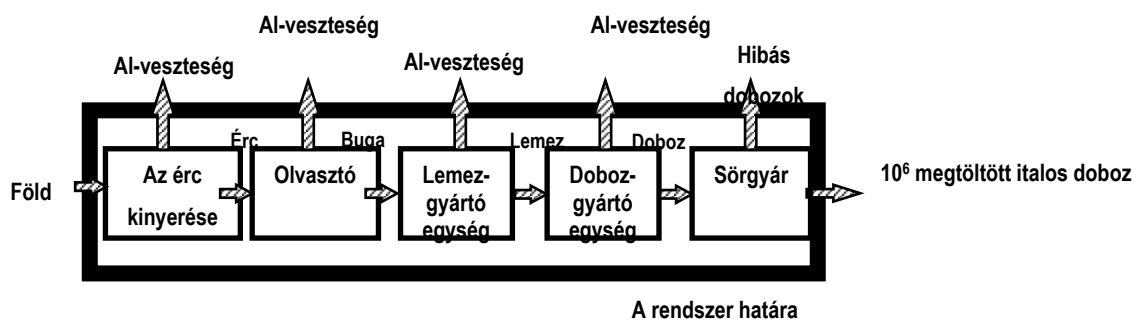
169. ábra



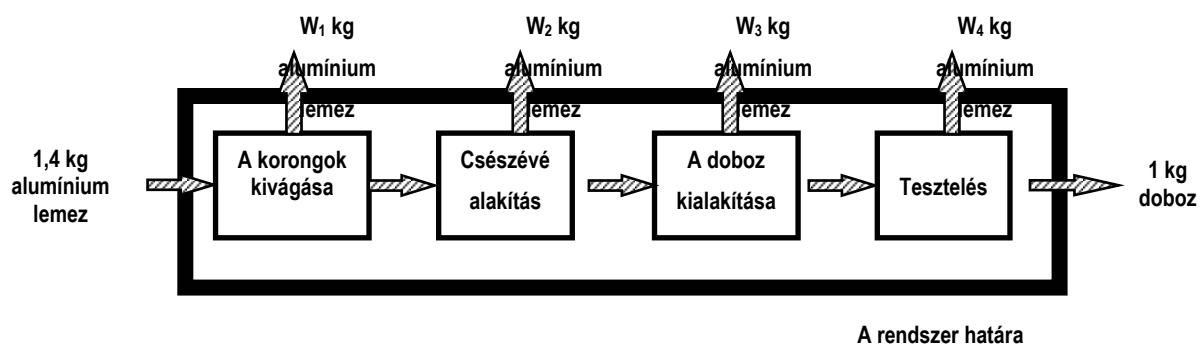
157. ábra



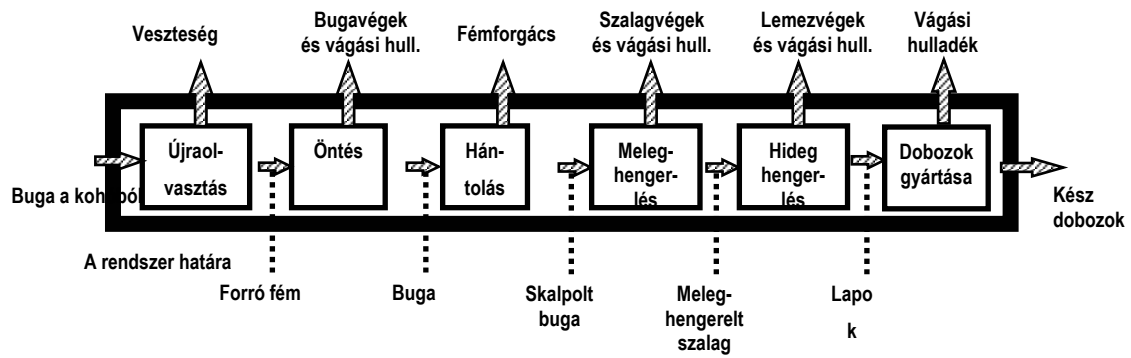
170. ábra



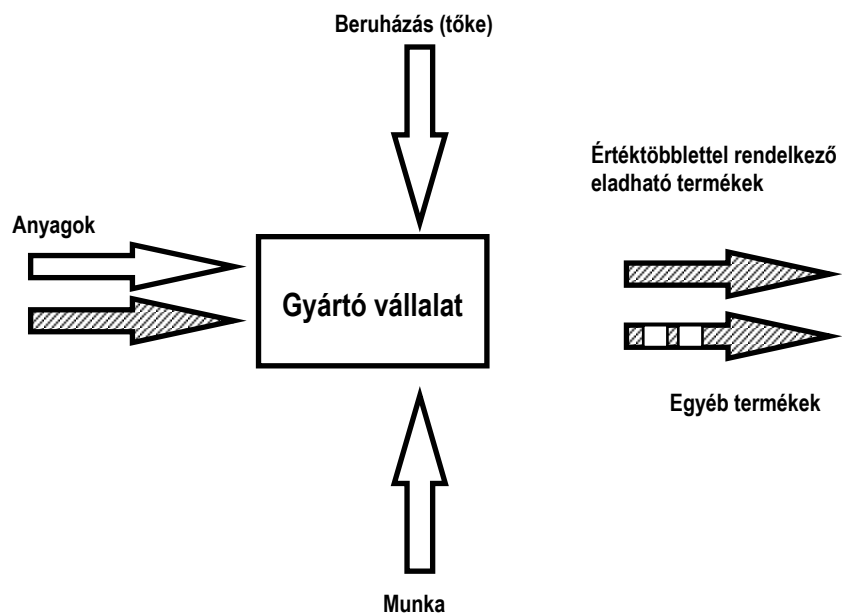
171. ábra



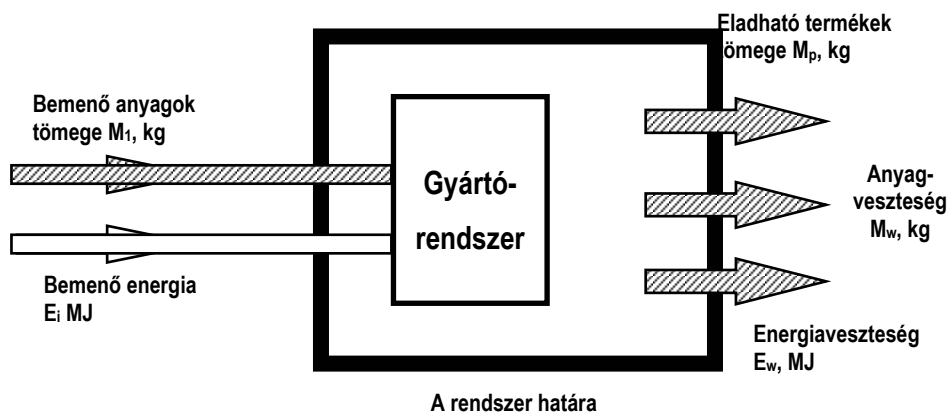
172. ábra



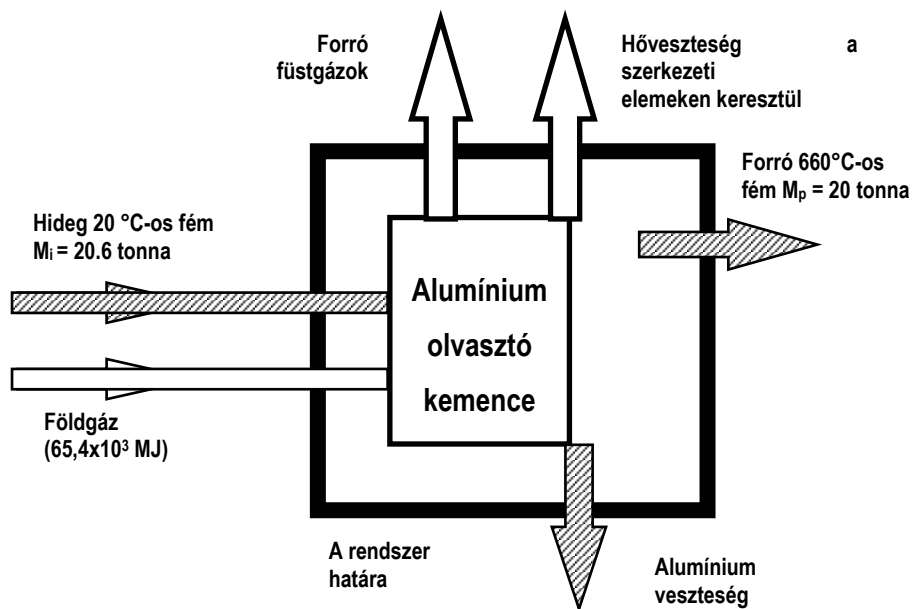
173. ábra



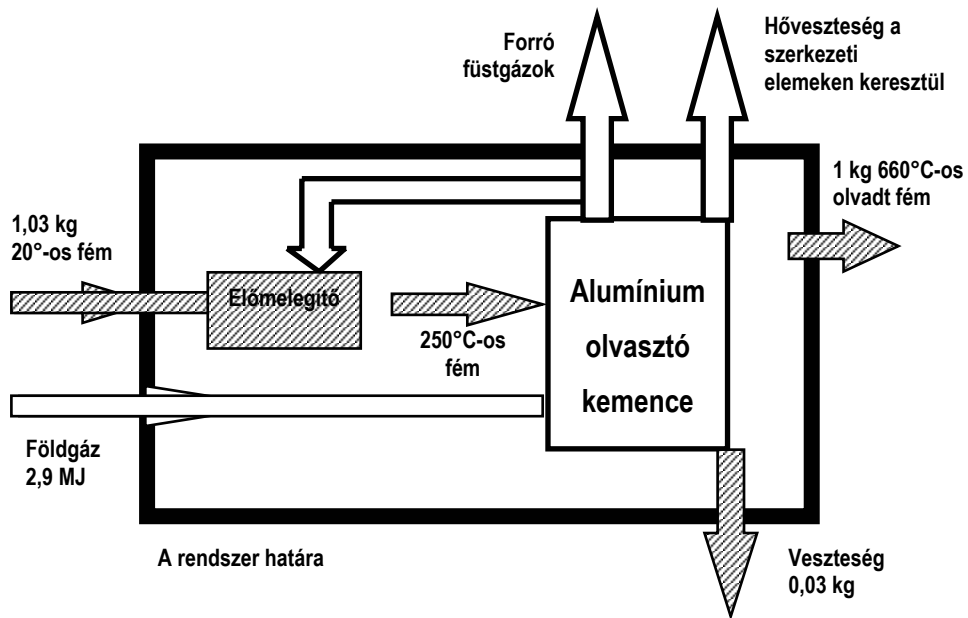
174. ábra



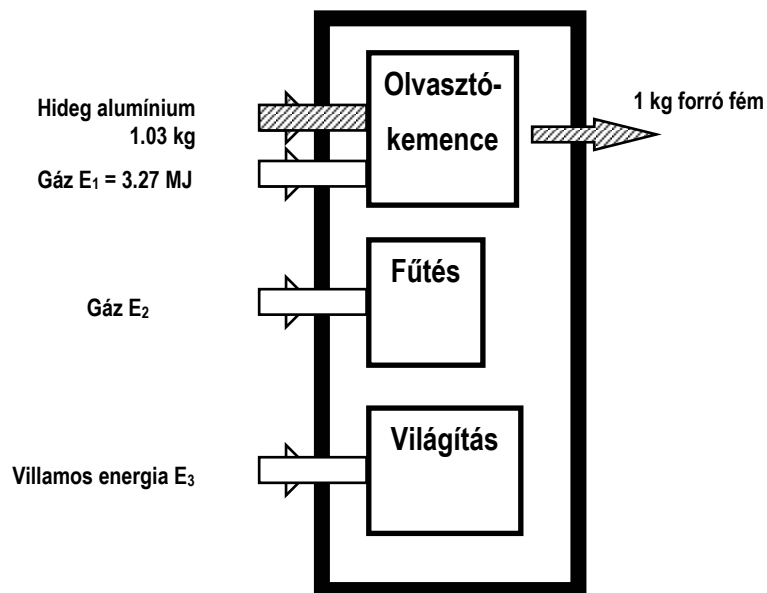
175. ábra



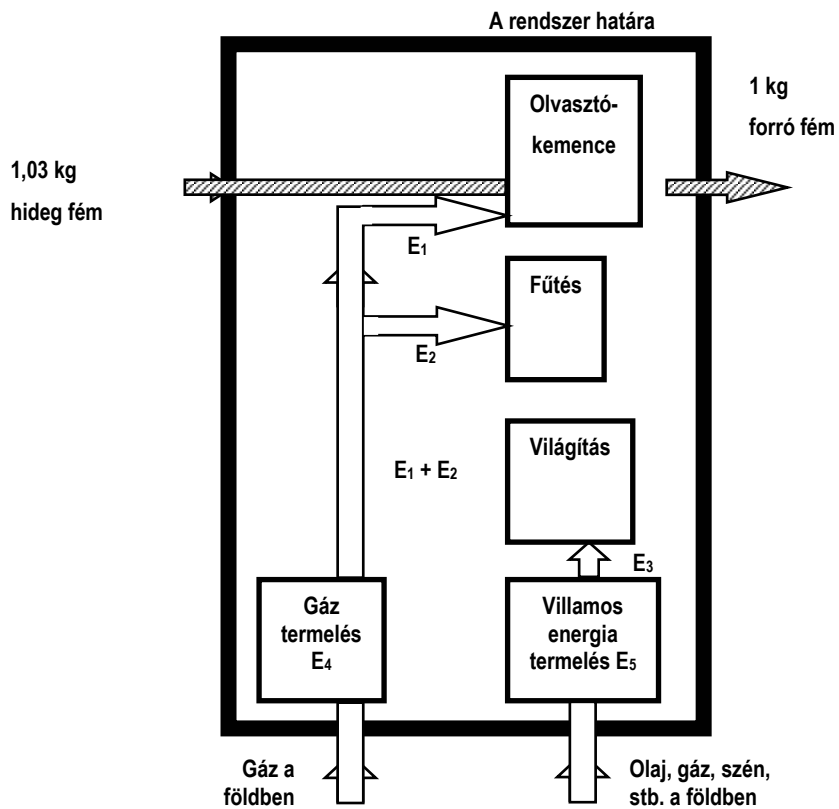
176. ábra



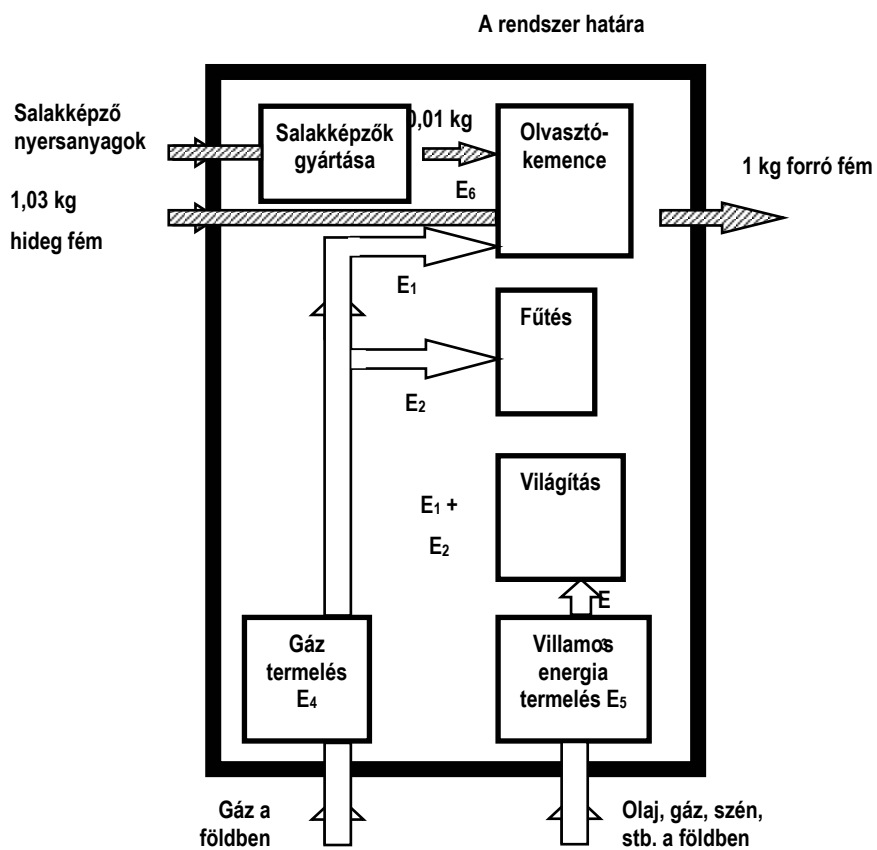
177. ábra



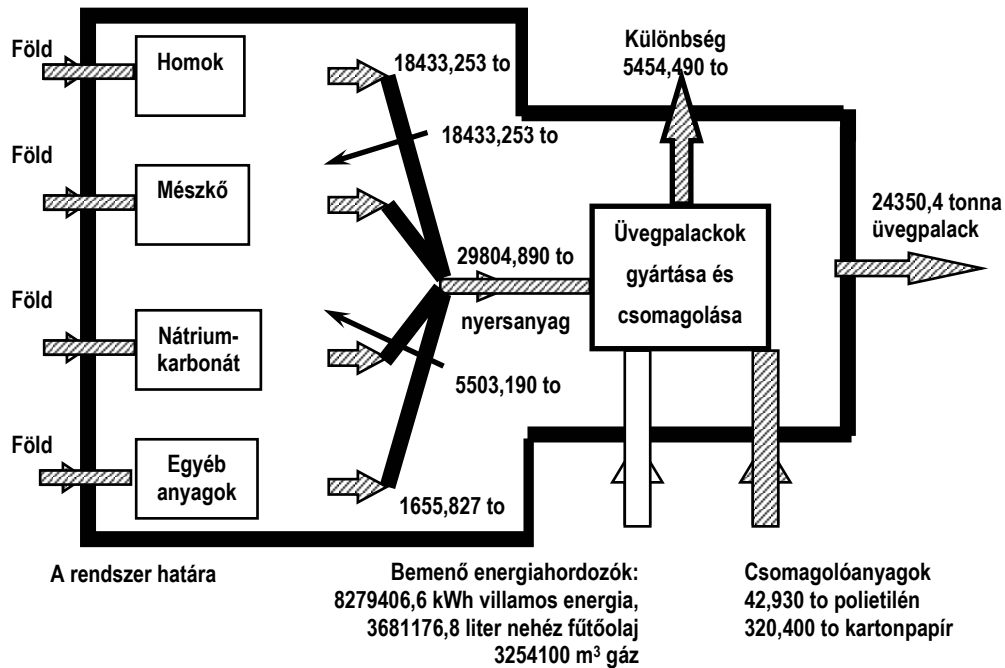
178. ábra



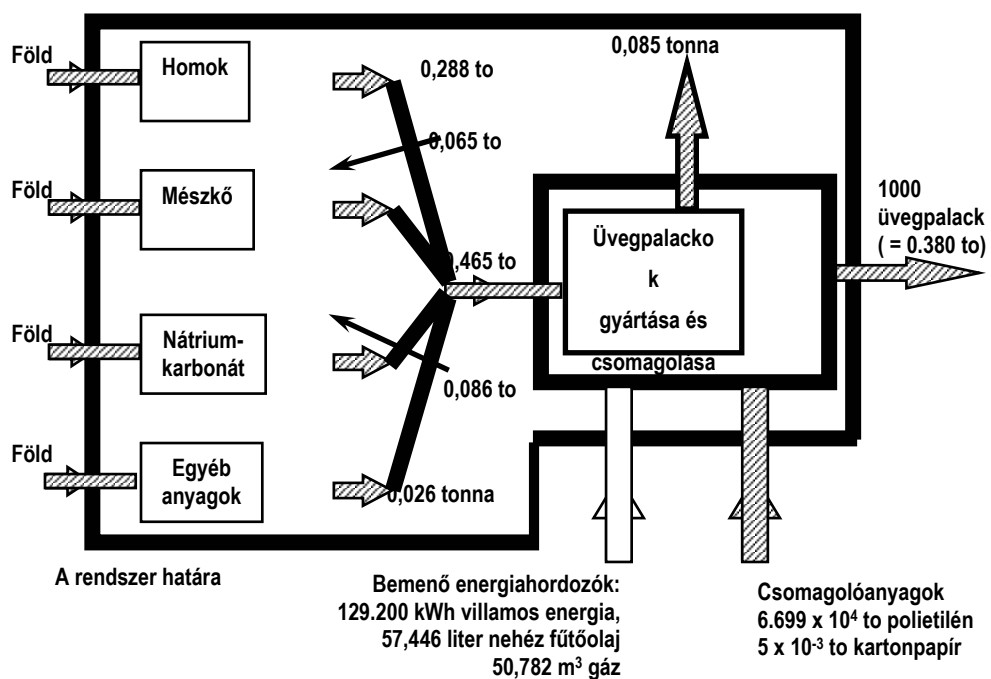
180. ábra



179. ábra



181. ábra



182. ábra

9. táblázat

Energiahordozók energiatartalma és előállításuk hatásfoka

Üzemanyag	Mennyiség	Termelési, átváltási és szétosztási veszteségek E_L (MJ)	Szállított energia (az üzemanyag energiatart.) E_D (MJ)	Elsődleges energia bevezetés $E_L + E_D$ (MJ)	Üzemanyag előállítási hatékonyság ξ (%)
szén	1 kg	1,39	28,01	29,40	95,2
kokszt*	1 kg	3,93	25,42	29,35	86,6
elektromos áram	1 kWh	9,49	3,60	13,09	27,5
földgáz	1 m ³	2,59	37,24	39,83	93,5
fűtőolaj (sűrűség) kg m ⁻³					
nehéz (960-965)	1 liter	7,81	40,98	48,79	84,0
közepes (940-955)	1 liter	7,79	40,92	48,71	84,0
könnyű (930-940)	1 liter	7,65	40,18	47,83	84,0
gázolaj (835-840)	1 liter	7,21	37,84	45,05	84,0
diesel gázolaj	1 liter	7,18	37,71	44,89	84,0
gazolin	1 liter	6,85	35,97	42,82	84,0
flyákony gáz(propán, bután)	1 kg	8,89	50,00	58,89	85,0
kenőolaj	1 liter	7,79	40,92	48,71	84,0
zsír	1 kg	8,11	42,60	50,71	84,0

* a 86,6 % -os üzemanyag előállítási hatékonyság tartalmazza a kokszt-kemece gázainak járulékát

10. táblázat

Anyag	Villamoság			Más üzemanyagok		Összesen
	E _L	E _D	E _L	E _D	E _F	
fűrészárú	17,59	6,67	1,39	6,70	22,68	55,03
kartonpapír	25,81	9,79	7,83	38,11	22,68	104,22
csomagolópapír	8,97	3,40	2,66	12,87	22,68	50,58
cellulóz filmek	32,20	12,21	21,20	103,40	23,11	192,12
nafta	0	0	1,57	7,64	45,00	54,21
poliprolilén film	45,28	17,18	12,95	63,17	52,06	190,64
polietilén film	40,27	15,28	11,33	55,24	53,70	175,82
víz	0,02	0,01	0	0	0	0,03
szilárd konyhasó	0,03	0,01	0,77	9,31	0	10,12
szilárd NaOH	16,40	6,22	3,54	42,97	0	69,13
száraz granulált mészkő	0,11	0,04	0,04	0,21	0	0,40
mész	0,46	0,18	0,45	4,77	0	5,86
polibutadién	18,10	6,87	10,11	49,31	53,16	137,55
folyékony ammónia	8,76	3,32	8,71	41,15	26,76	88,70
széndioxid	1,89	0,71	0	0	0	2,58
salétromsav	2,50	0,95	1,62	7,56	7,30	19,93
sósav	0,21	0,08	0	0	0	0,29
benzén	0,32	0,12	1,69	8,97	45,92	57,02
etilén glikol	7,19	2,73	3,62	17,65	30,91	62,10
PET gyanta	32,34	12,27	9,17	46,19	34,80	134,77
alumin	0,93	0,35	3,12	17,93	0	22,33
aluminium forró fém	92,48	60,76	7,43	42,32	28,75	231,74
folyékony oxigén	3,01	1,14	0,11	1,30	0	5,56
metanol	0,58	0,22	4,78	11,72	29,75	47,05
magnézium	135,39	51,37	15,58	186,97	5,09	394,40
aluminium öntvény	95,45	62,41	7,86	45,27	29,34	240,33
SBR** gumi	16,65	6,32	8,30	47,13	49,64	128,04
tűveg	3,44	1,31	2,38	14,56	0	21,69
ólom	5,27	2,00	6,17	39,43	0	52,87
acéllemez	4,05	1,68	4,31	25,52	0	35,56
fehérlemez	6,40	2,56	5,78	34,96	0	49,70
lágyszer	0,06	0,02	1,54	18,62	0	20,24

14. FELADATKÍRÁS, GÁZOK TERMODINAMIKÁJA

Alkalmazott műszaki hőtan, Gázok termodinamikája

Variáns	t [°C]	p [bar]	ε	λ	ρ	π	n_1	n_2	A körfolyamat p - v diagramja:
1.	0,0	1,0	5,0	4,6	-	-	-	-	
2.	10,0	1,1	5,5	4,3	-	-	-	-	
3.	30,0	1,2	6,0	4,0	-	-	-	-	
4.	50,0	0,9	6,5	3,8	-	-	-	-	
5.	70,0	1,3	7,0	3,4	-	-	-	-	
6.	-10,0	0,8	7,5	3,0	-	-	-	-	
7.	-10,0	0,8	10,0	-	2,2	-	-	-	
8.	0,0	0,9	10,5	-	2,1	-	-	-	
9.	10,0	1,0	11,0	-	2,0	-	-	-	
10.	30,0	1,1	11,5	-	1,9	-	-	-	
11.	50,0	1,2	12,0	-	1,8	-	-	-	
12.	70,0	1,3	12,5	-	1,7	-	-	-	
13.	-10,0	1,9	14,0	1,4	2,0	-	-	-	
14.	0,0	0,9	15,0	1,5	1,9	-	-	-	
15.	10,0	1,0	16,0	1,6	1,8	-	-	-	
16.	35,0	1,0	17,0	1,7	1,7	-	-	-	
17.	50,0	1,1	16,0	1,6	1,6	-	-	-	
18.	70,0	1,1	19,0	1,5	1,5	-	-	-	
19.	-20,0	0,7	-	-	2,0	5,0	-	-	
20.	-10,0	0,8	-	-	1,9	5,5	-	-	
21.	0,0	0,9	-	-	1,8	6,0	-	-	
22.	10,0	1,0	-	-	1,7	6,5	-	-	
23.	20,0	1,0	-	-	1,6	7,0	-	-	
24.	30,0	1,1	-	-	1,5	7,5	-	-	
25.	-20,0	0,7	-	1,4	-	7,0	-	-	
26.	-10,0	0,8	-	1,5	-	6,5	-	-	
27.	0,0	0,8	-	1,6	-	6,0	-	-	
28.	10,0	0,9	-	1,7	-	5,5	-	-	
29.	20,0	0,9	-	1,8	-	5,0	-	-	
30.	30,0	1,0	-	1,9	-	4,5	-	-	
31.	55,0	1,5	6,1	3,2	-	-	-	-	1 - 6. variáns ábrája 7 - 12. variáns ábrája 19 - 24. variáns ábrája 13 - 18. variáns ábrája 25 - 30. variáns ábrája 25 - 30. variáns ábrája
32.	40,0	0,7	13,0	-	1,6	-	-	-	
33.	25,0	0,8	-	-	1,6	8,0	-	-	
34.	40,0	1,2	18,0	1,4	1,4	-	-	-	
35.	40,0	1,0	-	1,5	-	4,0	-	-	
36.	15,0	1,0	-	1,7	-	7,0	-	-	
37.	-10,0	0,8	10,0	-	2,2	-	1,4	1,4	7 - 12. variáns ábrája 7 - 12. variáns ábrája 7 - 12. variáns ábrája 7 - 12. variáns ábrája 7 - 12. variáns ábrája 7 - 12. variáns ábrája
38.	0,0	0,9	10,5	-	2,1	-	1,4	1,3	
39.	10,0	1,0	11,0	-	2,0	-	1,4	1,3	
40.	30,0	1,1	11,5	-	1,9	-	1,3	1,3	
41.	50,0	1,2	12,0	-	1,8	-	1,3	1,3	
42.	70,0	1,3	12,5	-	1,7	-	1,3	1,3	
43.	20,0	1,0	10,0	1,4	2,0		1,30	1,25	13 - 18. variáns ábrája 13 - 18. variáns ábrája 13 - 18. variáns ábrája
44.	25,0	1,1	11,0	1,5	2,1		1,35	1,30	
45.	30,0	1,1	12,0	1,6	2,2		1,38	1,40	

Alkalmazott műszaki hőtán, Gázok termodinamikája

Variáns	t [°C]	p [bar]	ε	λ	ρ	π	n_1	n_2	A körfolyamat p - v diagramja:
46.	0,0	1,2	6,0	3,6	-	-	-	-	
47.	15,0	1,3	6,5	3,3	-	-	-	-	
48.	35,0	1,4	7,0	3,0	-	-	-	-	
49.	55,0	1,1	7,5	2,8	-	-	-	-	
50.	75,0	1,5	8,0	2,4	-	-	-	-	
51.	-5,0	1,0	8,5	2,0	-	-	-	-	
52.	-5,0	1,0	11,0	-	2,3	-	-	-	
53.	5,0	1,1	11,5	-	2,2	-	-	-	
54.	15,0	1,2	12,0	-	2,1	-	-	-	
55.	35,0	1,3	12,5	-	2,0	-	-	-	
56.	55,0	1,4	13,0	-	1,9	-	-	-	
57.	75,0	1,5	13,5	-	1,8	-	-	-	
58.	-5,0	2,1	15,0	1,2	2,1	-	-	-	
59.	5,0	2,1	16,0	1,3	2,0	-	-	-	
60.	15,0	1,2	17,0	1,4	1,9	-	-	-	
61.	40,0	1,2	18,0	1,5	1,8	-	-	-	
62.	45,0	1,3	17,0	1,4	1,7	-	-	-	
63.	75,0	1,3	20,0	1,3	1,6	-	-	-	
64.	-15,0	0,9	-	-	2,1	5,5	-	-	
65.	-5,0	1,0	-	-	2,0	6,0	-	-	
66.	5,0	1,1	-	-	1,9	6,5	-	-	
67.	15,0	1,2	-	-	1,8	7,0	-	-	
68.	25,0	1,2	-	-	1,7	7,5	-	-	
69.	35,0	1,3	-	-	1,6	8,0	-	-	
70.	-15,0	0,9	-	1,2	-	7,5	-	-	
71.	-5,0	1,0	-	1,3	-	7,0	-	-	
72.	5,0	1,0	-	1,4	-	6,5	-	-	
73.	15,0	1,1	-	1,5	-	6,0	-	-	
74.	25,0	1,1	-	1,6	-	5,5	-	-	
75.	35,0	1,2	-	1,7	-	5,0	-	-	
76.	60,0	1,7	7,1	3,0	-	-	-	-	1 - 6. variáns ábrája
77.	45,0	0,9	14,0	-	1,7	-	-	-	
78.	30,0	1,0	-	-	1,7	8,5	-	-	
79.	45,0	1,4	19,0	1,2	1,5	-	-	-	
80.	45,0	1,2	-	1,3	-	4,5	-	-	
81.	20,0	1,2	-	1,5	-	7,5	-	-	
82.	-5,0	1,0	11,0	-	2,3	-	1,4	1,4	7 - 12. variáns ábrája
83.	5,0	1,1	11,5	-	2,2	-	1,4	1,3	
84.	15,0	1,2	12,0	-	2,1	-	1,4	1,3	
85.	35,0	1,3	12,5	-	2,0	-	1,3	1,3	
86.	55,0	1,4	13,0	-	1,9	-	1,3	1,3	
87.	75,0	1,5	13,5	-	1,8	-	1,3	1,3	
88.	25,0	1,2	11,0	1,2	2,1		1,30	1,25	13 - 18. variáns ábrája
89.	30,0	1,3	12,0	1,3	2,2		1,35	1,30	
90.	35,0	1,3	13,0	1,4	2,3		1,38	1,40	

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Környezettechnika Tanszék

Évfolyamfeladatok az **ALKALMAZOTT MŰSZAKI HŐTAN** című tantárgyból
Gázok termodinamikája

ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK

A feladatok számítási részét A4-es lapokon SI mértérendszerben, a grafikus részt milliméterpapíron vagy számítógép segítségével kell elkészíteni. Csak borítóval ellátott, összefűzött munkákat fogadunk el. A borítón fel kell tüntetni az intézmény és a tanszék nevét, a feladat megnevezését és a variáns számát, valamint a hallgató nevét és tankörcsoportjának a számát. A variánsok kiosztása a hallgatói névsorral megegyező.

A határidőn túl beadásra kerülő feladatokat csak késedelmi díj befizetése ellenében fogadjuk el. Az a hallgató, aki nem adja be az utolsó tanulmányi hétig a feladatokat, nem kaphat aláírást, illetve gyakorlati jegyet.

A FELADAT KIÍRÁSA

1 kg levegővel működő dugattyús hőerőgép ideális termodinamikai körfolyamata a következő tulajdonságokkal rendelkezik:

kompresszióviszony $\varepsilon = v_1/v_2$, illetve kompresszió nyomásviszony $\pi = p_2/p_1$,

nyomásemelkedési viszony $\lambda = p_3/p_2$,

előzetes expanzióviszony $\rho = v_3/v_2$ ($\rho = v_4/v_3$ a 13-18. számú feladatoknál),

kiindulási hőmérséklet t_1 , nyomás p_1 .

Adott még $M_{\text{lev}} = 28,96 \text{ kg/kmol}$ és $\kappa = 1,41$.

1. Határozza meg a megadott termodinamikai körfolyamat állapotpontjainak **p, v, t, u, s, h** állapotjelzőit! Az adatokat foglalja táblázatba!
2. Határozza meg az egyes állapotváltozásokra a **Δu , Δs , Δh , q és w** értékeket! Az adatokat foglalja táblázatba!
3. A fent meghatározott adatok alapján számítsa ki a körfolyamatban résztvevő levegő hasznos térfogatváltozási munkáját és bizonyítsa be a hő és a munka egyenértékűségét, valamint a

$$\oint u = 0$$

$$\oint h = 0$$

$$\oint s = 0$$

összefüggéseket!

4. Határozza meg a folyamat termikus hatásfokát!
5. Ábrázolja léptékhelyesen a termodinamikai körfolyamatot **p-v** és **T-s** állapotváltozási diagramban legalább 3-3 közbenső állapotpont meghatározásának segítségével! A megszerkesztett körfolyamaton jelölje az állapotpontokat, a közölt illetve elvont hőmennyiségeket, és a hasznos munkával egyenértékű területet!
6. **Változtassa meg a hőbevezetés állapotváltozásának módját** (izochor helyett izobár, izobár helyett izochor hőbevezetés, vegyes hőbevezetésű körfolyamatoknál a hőbevezetés módját szabadon megválaszthatja)! A bevezetett hő mennyisége, az 1. és 2. állapotpontok az első körfolyamattal megegyezők. Végezze el az 1-5. feladatpontokban leírt számításokat a megváltoztatott körfolyamatra! A megváltozott körfolyamatot ábrázolja ugyanezen az állapotváltozási diagramokon, és hasonlítsa össze a két körfolyamatot a feladatkiírás 1-5 pontja alapján!

15. FELADATKÍRÁS, GŐZÖK TERMODINAMIKÁJA

Alkalmazott műszaki hőtan, Gőzök termodinamikája

Variáns	p_{ka1} [bar]	p_{ko1} [bar]	t_{t1} [°C]	p_{ka2} [bar]	p_{ka3} [bar]	p_{ko2} [bar]	p_{ko3} [bar]	t_{t2} [°C]	t_{t3} [°C]
1.	40,0	2,0	500	-	-	0,5	0,05	-	-
2.	35,0	4,0	370	-	-	2,5	1,50	-	-
3.	30,0	5,0	300	-	-	4,5	3,00	-	-
4.	25,0	2,5	340	-	-	1,5	0,50	-	-
5.	20,0	1,0	400	-	-	0,4	0,10	-	-
6.	15,0	1,5	350	-	-	0,3	0,04	-	-
7.	10,0	3,0	250	-	-	2,0	0,80	-	-
8.	26,0	4,5	310	-	-	2,6	0,70	-	-
9.	18,0	2,2	320	-	-	1,2	0,35	-	-
10.	8,0	1,8	250	-	-	1,0	0,60	-	-
11.	30,0	3,0	400	35,0	40,0	-	-	-	-
12.	20,0	2,4	350	26,0	35,0	-	-	-	-
13.	28,0	3,5	370	35,0	40,0	-	-	-	-
14.	25,0	5,0	300	30,0	35,0	-	-	-	-
15.	18,0	4,0	280	22,0	30,0	-	-	-	-
16.	15,0	1,0	400	20,0	28,0	-	-	-	-
17.	20,0	1,6	290	18,0	26,0	-	-	-	-
18.	10,0	2,0	250	15,0	20,0	-	-	-	-
19.	8,0	1,0	300	14,0	19,0	-	-	-	-
20.	16,0	1,5	330	20,0	30,0	-	-	-	-
21.	40,0	2,4	350	-	-	-	-	380	450
22.	35,0	2,0	300	-	-	-	-	350	420
23.	28,0	2,2	250	-	-	-	-	300	350
24.	20,0	1,0	240	-	-	-	-	290	340
25.	24,0	1,8	260	-	-	-	-	320	380
26.	15,0	2,6	210	-	-	-	-	250	300
27.	10,0	1,2	200	-	-	-	-	240	310
28.	9,0	1,0	190	-	-	-	-	250	330
29.	18,0	1,4	240	-	-	-	-	280	370
30.	30,0	2,8	300	-	-	-	-	350	400
31.	10,0	1,0	450	-	-	0,6	0,40	-	-
32.	15,0	1,5	350	20,0	30,0	-	-	-	-
33.	30,0	1,0	250	-	-	-	-	300	450
34.	20,0	0,8	300	-	-	-	-	350	480
35.	12,0	1,0	300	25,0	35,0	-	-	-	-
36.	25,0	1,4	350	30,0	40,0	-	-	-	-
37.	10,0	1,5	400	15,0	20,0	0,6	0,40	-	-
38.	15,0	1,0	400	-	-	0,3	0,06	-	-
39.	20,0	1,4	350	25,0	30,0	-	-	-	-
40.	12,0	1,2	300	16,0	22,0	-	-	-	-
41.	8,0	1,0	250	-	-	0,6	0,02	-	-
42.	16,0	2,0	350	20,0	25,0	-	-	-	-
43.	18,0	1,5	300	-	-	0,5	0,06	-	-
44.	40,0	1,0	250	-	-	-	-	300	350
45.	25,0	0,5	380	30,0	35,0	-	-	-	-

Alkalmazott műszaki hőtán, Gőzök termodinamikája

Variáns	p _{ka1} [bar]	p _{ko1} [bar]	t _{t1} [°C]	p _{ka2} [bar]	p _{ka3} [bar]	p _{ko2} [bar]	p _{ko3} [bar]	t _{t2} [°C]	t _{t3} [°C]
46.	42,0	2,0	500	-	-	1,0	0,50	-	-
47.	37,0	4,0	370	-	-	3,0	1,50	-	-
48.	32,0	5,0	300	-	-	4,0	3,00	-	-
49.	27,0	2,5	340	-	-	2,0	1,00	-	-
50.	22,0	1,0	400	-	-	0,8	0,60	-	-
51.	17,0	1,5	350	-	-	1,0	0,70	-	-
52.	12,0	3,0	250	-	-	2,5	1,00	-	-
53.	28,0	4,5	310	-	-	3,0	1,00	-	-
54.	20,0	2,2	320	-	-	1,0	0,70	-	-
55.	10,0	1,8	250	-	-	1,5	0,80	-	-
56.	32,0	3,0	400	35,0	41,0	-	-	-	-
57.	22,0	2,4	350	26,0	36,0	-	-	-	-
58.	30,0	3,5	370	35,0	41,0	-	-	-	-
59.	27,0	5,0	300	30,0	36,0	-	-	-	-
60.	20,0	4,0	280	22,0	31,0	-	-	-	-
61.	17,0	1,0	400	20,0	29,0	-	-	-	-
62.	22,0	1,6	290	24,0	27,0	-	-	-	-
63.	12,0	2,0	250	15,0	21,0	-	-	-	-
64.	10,0	1,0	300	14,0	20,0	-	-	-	-
65.	18,0	1,5	330	20,0	31,0	-	-	-	-
66.	42,0	2,4	350	-	-	-	-	380	450
67.	37,0	2,0	300	-	-	-	-	350	420
68.	30,0	2,2	250	-	-	-	-	300	350
69.	22,0	1,0	240	-	-	-	-	290	340
70.	26,0	1,8	260	-	-	-	-	320	380
71.	17,0	2,6	210	-	-	-	-	250	300
72.	12,0	1,2	200	-	-	-	-	240	310
73.	11,0	1,0	190	-	-	-	-	250	330
74.	20,0	1,4	240	-	-	-	-	280	370
75.	32,0	2,8	300	-	-	-	-	350	400
76.	12,0	1,0	450	-	-	0,6	0,40	-	-
77.	17,0	1,5	350	20,0	30,0	-	-	-	-
78.	32,0	1,0	250	-	-	-	-	300	450
79.	22,0	0,8	300	-	-	-	-	350	480
80.	14,0	1,0	300	25,0	35,0	-	-	-	-
81.	27,0	1,4	350	30,0	40,0	-	-	-	-
82.	12,0	1,5	400	15,0	20,0	0,6	0,40	-	-
83.	17,0	1,0	400	-	-	0,3	0,06	-	-
84.	22,0	1,4	350	25,0	30,0	-	-	-	-
85.	14,0	1,2	300	16,0	22,0	-	-	-	-
86.	10,0	1,0	250	-	-	0,6	0,02	-	-
87.	18,0	2,0	350	20,0	25,0	-	-	-	-
88.	20,0	1,5	300	-	-	0,5	0,06	-	-
89.	42,0	1,0	250	-	-	-	-	300	350
90.	27,0	0,5	380	30,0	35,0	-	-	-	-

SZEVEDI TUDOMÁNYEGYETEM
Szegedi Élelmiszeripari Főiskolai Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Környezettechnika Tanszék

Évfolyamfeladatok Az **ALKALMAZOTT MŰSZAKI HŐTAN** című tantárgyból
Gőzök termodinamikája

ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK

A feladatok számítási részét A4-es lapokon, SI mértérendszerben, a grafikus részt milliméterpapíron vagy számítógép segítségével kell elkészíteni. Csak borítóval ellátott, összefűzött munkákat fogadunk el. A borítón fel kell tüntetni az intézmény és a tanszék nevét, a feladat megnevezését és a variáns számát, valamint a hallgató nevét és tankörcsoportjának a számát.

A határidőn túl beadásra kerülő feladatokat csak késedelmi díj befizetése ellenében fogadjuk el. Az a hallgató, aki nem adja be az utolsó tanulmányi hétig a feladatokat, nem kaphat aláírást, illetve gyakorlati jegyet.

A FELADAT KIÍRÁSA

A megadott állapotjelzők alapján ábrázolja a Rankine – Clausius körfolyamatot $h - s$ fázisváltozási diagramban! A körfolyamat termikus hatásfokát befolyásoló tényezők változtatásával építse fel az $\eta_t = f(p_{ko}, p_{ka}, t_t)$ és $du = f(p_{ko}, p_{ka}, t_t)$ függvényt!

1. Építse fel a vízgőz $h - s$, $T - s$ fázisváltozási diagramját a táblázatból vett adatok segítségével!
2. Ábrázolja a megszerkesztett diagramon a körfolyamatot!
3. Határozza meg az állapotpontok p , v , t , u , s , h állapotjelzőit! A kapott adatokat foglalja táblázatba!
4. Határozza meg az egyes állapotváltozásokra a Δu , Δs , Δh , q és w értékeket! Az adatokat foglalja táblázatba!
5. Határozza meg a termikus hatásfok (η_t) és a gőzfogyasztás (d) értékeit!
6. A körfolyamat a táblázat szerint adott jellemzőjének megváltoztatásával ismételje meg a feladat 1 – 5. pontjait! Az így meghatározott három, különböző körfolyamat segítségével építse fel a feladatban megadott függvényeket!

16. FELADATKIÍRÁS AZ ENERGIAMENEDZSMENT TÉMAKÖRÉBŐL

Témajegyzék

1. Az energetika és a környezet közötti hatások
2. Az energetika, a gazdaság és a társadalom összefüggései
3. Fosszilis energia hordozók és a környezet
4. Megújuló energiaforrások lehetséges hasznosítása
5. Napenergia hasznosítás
6. Vízipenergia hasznosítás
7. Szélenergia hasznosítás
8. Geotermikus energia hasznosítás
9. Biomassza energetikai hasznosítása
10. Üvegházhatás környezeti vonatkozásai
11. Rádióaktivitás a környezetben
12. Motorbenzin kiváltása alternatív üzemanyaggal
13. Energia- és anyaga-takarékosság gazdasági jelentősége
14. Gazdálkodás az energia forrásokkal
15. A hulladékenergia hasznosításának lehetőségei
16. Energia-termelés és felhasználás hazai és nemzetközi összefüggései

Tartalmi követelmények

8-10 oldalas tanulmány készítése az energiamenedzsment tématerületről a megadott témajegyzék alapján. A tanulmány a szöveges rész mellett, tartalmazzon *ábrákat, táblázatokat, magyarázó rajzokat*. A tanulmány készítésekor a szövegközbeni irodalmi hivatkozásra a **BESZÚRÁS LÁBJEGYZET** alkalmazásával kell megjelölni. A tanulmány tartalmaz ***borítólapot, tartalomjegyzéket és irodalomjegyzéket***.

Formai követelmények

- Betűtípus: Times New Roman
- Betűméret: 12 pt
- Sorköz: szimpla, sorkizárt
- Margóbeállítás: 2,5 cm alul, felül, oldalt
- Fejléc: A téma címe 10 betűmérettel
- Lábléc: A szerzők neve
- Oldalszámozás: felül, középre igazítva

► **16.1. ESETTANULMÁNY 1: MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK LEHETSÉGES HASZNOSÍTÁSA**

Az esettanulmány a [*megujuloprez.pps*](#) prezentációban olvasható.

► **16.2. ESETTANULMÁNY 2: RADIOAKTIVITÁS A KÖRNYEZETBEN**

Az esettanulmány a [*radioaktivitas.pps*](#) prezentációban olvasható.

17. JELÖLÉSRENDSZER

	Jelölés	SI mértékegység	Megnevezés	Hasonlóan jelölt, de eltérő jelentésű mennyiség
1.	p	Pa	abszolút nyomás	
2.	ν	$\frac{m^3}{kg}$	fajtérfogat	
3.	t, T	$^{\circ}C, K$	hőmérséklet	
4.	u	$\frac{J}{kg}$	fajlagos belső energia	
5.	s	$\frac{J}{kgK}$	fajlagos entrópia	
6.	h	$\frac{J}{kg}$	fajlagos entalpia	42., 43.
7.	q	$\frac{J}{kg}$	fajlagos hőmennyiség	
8.	w	$\frac{J}{kg}$	fajlagos fizikai munka	44., 45.
9.	w_t	$\frac{J}{kg}$	fajlagos technikai munka	44., 45.
10.	c (c_p, c_v, c_n)	$\frac{J}{kgK}$	fajhő (izobar, izochor, politropikus)	30.
11.	$c _{t_1}^{t_2}$	$\frac{J}{kgK}$	közepes fajhő a $t_1 - t_2$ hőmérséklet-tartományra	30.
12.	R_0	$R_0 = 8,314 \frac{kJ}{kmolK}$	univerzális gázállandó	
13.	R	$\frac{J}{kgK}$	specifikus gázállandó	
14.	M	$\frac{kg}{mol}$	moltömeg	
15.	V_M	$\frac{m^3}{mol}$	moltérfogat	

16.	g	$\frac{kg}{kg}$	tömegszázalék	
17.	r	$\frac{m^3}{m^3}$	térfogatszázalék	26.
18.	ρ	$\frac{kg}{m^3}$	sűrűség	24., 27.
19.	κ		adiabatikus kitevő	
20.	n		politropikus kitevő	
21.	η_t		termodinamikai hatásfok	
22.	ε		kompresszióviszony	84., 85.
23.	λ		nyomásemelkedési tényező	70.
24.	ρ		előzetes expanzióviszony	18., 27.
25.	δ		utólagos expanzióviszony	71.
26.	r	$\frac{J}{kg}$	párolgáshő	17.
27.	ρ	$\frac{J}{kg}$	belső párolgáshő	18., 24.
28.	Φ	$\frac{J}{kg}$	külső párolgáshő	74.
29.	x		fajlagos gőztartalom	
30.	c	$\frac{m}{s}$	áramlási sebesség	10.
31.	β	$\frac{Pa}{Pa}$	fúvóka nyomásviszony- tényező	
32.	G_m	$\frac{kg}{s}$	fúvóka gőzfogyasztása	
33.	p_{ka}	Pa	kazánnyomás	
34.	p_{ko}	Pa	kondenzátornyomás	
35.	t_t	$^{\circ}C$	túlhevítési hőmérséklet	
36.	q_{te}	$\frac{J}{kg}$	a tápvíz-előmelegítőben közölt hő	
37.	q_{gf}	$\frac{J}{kg}$	a gőzfejlesztőben gőzölt hő	

38.	q_{gt}	$\frac{J}{kg}$	a gőztúlhevítőben közölt hő	
39.	q_{ko}	$\frac{J}{kg}$	a kondenzátorban elvont hő	
40.	w_{tsz}	$\frac{J}{kg}$	a tápszivattyú technikai munkája	
41.	w_{tt}	$\frac{J}{kg}$	a turbinán nyert technikai munka	
42.	H_i	$\frac{J}{kg}$	fűtőérték	6.
43.	H_s	$\frac{J}{kg}$	égéshő	6.
44.	W_o	$\frac{J}{kg}$	Wobbe-szám	8., 9.
45.	W_{om}	$\frac{J}{kg}$	módosított Wobbe-szám	8., 9.
46.	d		levegőre vonatkoztatott relatív sűrűség	
47.	α		légviszony-tényező	78.
48.	L	$\frac{kg}{s}$	a tüzelőanyaghoz vezetett levegőmennyiség	
49.	L_0	$\frac{kg}{s}$	az égéshez szükséges levegőmennyiség	
50.	B	$\frac{kg}{s}$	a tüzelőanyag tömegárama	
51.	G	$\frac{kg}{s}$	a kazán teljesítménye	
52.	η_k		kazán hatásfok	
53.	ξ_{CO}		a tökéletlen égés okozta veszteség	
54.	V_s	$\frac{m^3}{kg}$	fajlagos száraz füstgáztérfogat	

55.	ξ_e	$\frac{kg}{kg}$	elégetlen anyaghányad	
56.	g_k	$\frac{kg}{kg}$	fajlagos szállókokszenyiség	
57.	g_e	$\frac{kg}{kg}$	a szállókokszen éghető komponens tartalma	
58.	ξ_e		a salakban maradt éghető anyag okozta veszteség	
59.	B_s	$\frac{kg}{s}$	az időegység alatt kihordott salak tömege	
60.	g_{es}	$\frac{kg}{kg}$	a salak éghető komponens tartalma	
61.	B	$\frac{kg}{s}$	az eltüzelt szén tömege	
62.	g_h	$\frac{kg}{kg}$	a szén hamutartalma	
63.	η_T		tüzeléstechnikai hatásfok	
64.	ξ_s		sugárzási veszteség	
65.	B_{gk}	$\frac{kg}{s}$	a gázképző tüzelőanyag mennyisége	
66.	c_{pk}	$\frac{J}{kgK}$	a gázképző tüzelőanyag izobar fajhője	30.
67.	t_{fg}	$^{\circ}C$	a gázképző tüzelőanyag hőmérséklete	
68.	ξ_{fg}		a távozó füstgáz veszteségtényezője	
69.	η_F		a fűtőfelület hatásfoka	
70.	λ	$\frac{W}{mK}$	hővezetési tényező	23.
71.	δ	m	fal- vagy rétegvastagság	25.
72.	t_w	$^{\circ}C$	fal- vagy rétegfelület hőmérséklete	

73.	$gradt$	$\frac{K}{m}$	hőmérséklet-gradiens	
74.	$\Phi; \dot{Q}$	W	hőáram	28.
75.	$\varphi; \dot{q}$	$\frac{J}{m^2 s} = \frac{W}{m^2}$	hőáramsűrűség	83.
76.	a	$\frac{m^2}{s}$	hőmérséklet-vezetési tényező	
77.	∇		Laplace-operátor	
78.	α	$\frac{W}{m^2 K}$	konvekciós hőátadási tényező	47.
79.	k	$\frac{W}{m^2 K}$	hőátbocsájtási együttható	
80.	E	$\frac{W}{m^2}$	sugárzókéesség	
81.	I	$\frac{W}{m^2} \mu$	sugárzási intenzitás	
82.	C	$\frac{W}{m^2 K^4}$	szürke test sugárzási tényezője	
83.	φ	$^\circ$	beesési szög	75.
84.	ε		feketeségi fok	22.
85.	ε'		effektív feketeségi fok	22.

18. SZAKIRODALOM

1. **SZABÓ Gábor (1991):** Műszaki hőtan és energiagazdálkodás. *Főiskolai jegyzet, Szeged.*
2. **SZABÓ Gábor (1991):**Műszaki hőtan és energiagazdálkodás (*Feladatok és esettanulmányok az élelmiszeripari-mérnöki gyakorlatból*) *Főiskolai jegyzet, Szeged.*
3. Beke, J., Vas, A., **SZABÓ, G. (1994):** Hőtechnika a mezőgazdasági és az élelmiszeripari gépészetben. *AGROINFORM Kiadó, Budapest, pp.336.*
4. **Beke, J. (2000):** Műszaki hőtan mérnököknek. *Mezőgazdasági szaktudás Kiadó. Budapest, pp. 541.*
5. **Bihari, P. (1999):** Műszaki termodinamika
6. **Bihari, P.:** Energetika II. *Kézirat*
7. **Gróf, Gy. (1999):** Hőközlés
8. **Győri, A. (1973):** Iparvállalatok energiagazdálkodása. *Tankönyvkiadó, Budapest*
9. **Balikó, S. (2003):** Hulladékhő hasznosítás, fűtés/hűtés integrálás. *The Association of Energy Engineers, Magyar Tagozat*