

Megújuló energiaforrások I.

Energiaátalakítás

**Dr. Ivelics Ramón PhD.
egyetemi adjunktus**

**PTE MIK Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Környezetmérnöki Tanszék**

ENERGIAKONVERZIÓ

Történelmi

Biomassza → hő (pl. főzés, meleg)

Napsugárzás → hő, száraz ruhák, szárított étel

- fényenergia hasznosítása
- napsugárzás forrása a biomasszának, szélnek, víznek

Bioenergia → állatok, lóerő, étel

Később...

Szén → hő

Víz → őrlés, mechanikai energia

Szél → őrlés, mechanikai energia, szivattyúzás

Modernkori

Fűtés (házak, intézmények, stb.)

- Gáz, olaj, biomassza → hő
- Napsugárzás → hő

Villamosenergia termelés

- Szén, olaj, gáz, nukleáris → hő → mechanikai → elektromos áram
- Víz, szél → mechanikai → elektromos
- Napsugárzás → elektromos

Közlekedés

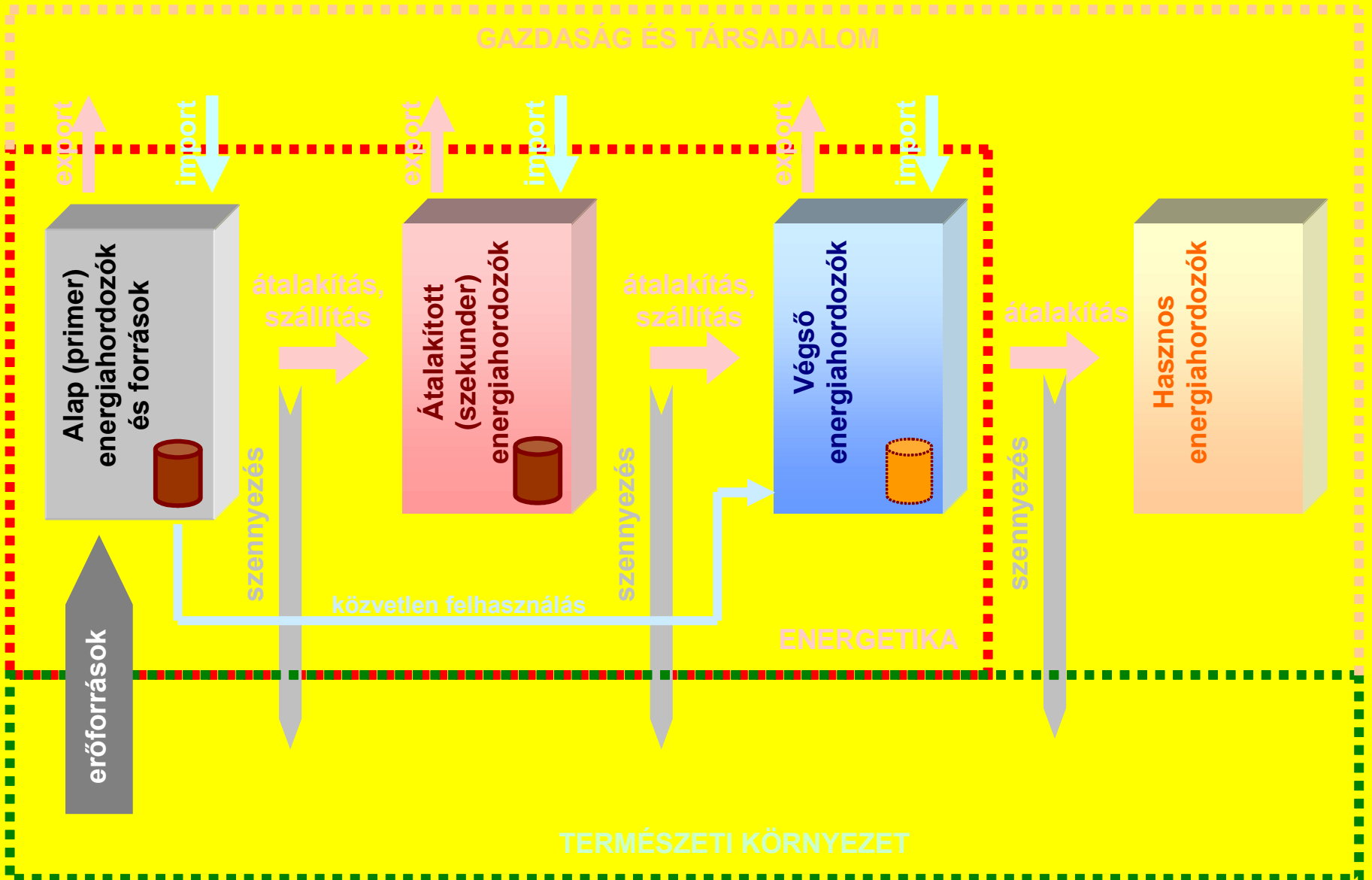
- Olaj → benzin, dízel, kerozin → hő → mechanikai
- Villamosenergia (akkumulátor) → mechanikai
- Biomassza → etanol, gáz → mechanikai
- Üzemanyag cellák: gáz → hidrogén → elektromos → mechanikai

Energiaátalakítás

Az energiaátalakítás korlátai

- Mennyiségi korlát: I. főtétel
- Minőségi korlát: II. főtétel
- Technikai-technológiai lehetőségek
- Gazdaságosság
- Környezetvédelem, Green Deal
- Politika
- Társadalmi elfogadottság

Energiaátalakítási lánc



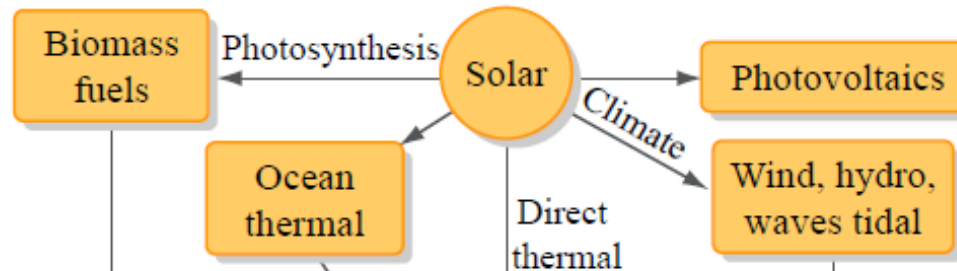
Lehetőségek

	Mechanikai	Hő	Villamos	Sugárzás	Kémiai	Nukleáris
M	egyszerű gépek, hajtások	súrlódás	generátorok, mikrofon	tribo- és krisztallozanolumin-eszcencia	mechano-kémiai jelenségek	részecskegyorsító
H	hőerőgépek	abszorpciós hűtőgép	hőelem	hősugárzás, izzólámpa	endoterm kémiai reakciók	fúzió kiváltása
V	villamos motorok	villamos fűtés, Peltier-elemes	transzformátor tranzisztor	gázkisülések	elektrolízis, akkumulátor	részecskegyorsító
S	radiométer	abszorpció, infrasugárzó	fényelem, vevőantenna	fluoreszcencia, lézer	fotoszintézis fényképezés	párkeltés, fúzió lézerrel
K	izom, ozmózis, sugárhajtómű,	exoterm kémiai reakciók, égés	galvánelem, tüzelő-anyag cella	kemolumineszcencia, biolumineszcencia	kémiai reakciók	
N	hasadás	atomreaktor	termoelektronikus reaktor, izotópos áramforrás	radioaktivitás	kötések módosulása	fúzió, fission

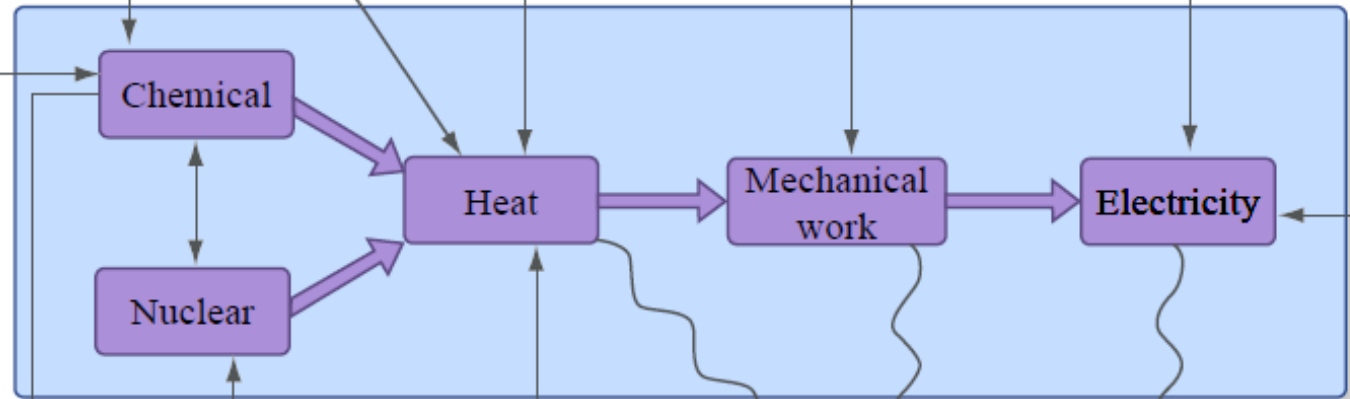
	Mechanikai	Hő	Villamos	Sugárzás	Kémiai	Nukleáris
Mechanikai	egyszerű gépek, hajtások hidraulikus gépek, vízturbina	súrlódás	generátorok, mikrofon	tribo- és kristallozsonolumineszcencia	mechano-kémiai jelenségek	részecskegyorsító
Hő	hőerőgépek	abszorpciós hűtőgép	hőelem	hősugárzás, izzólámpa	endoterm kémiai reakciók	fúzió kiváltása
Villamos	villamos motorok	villamos fűtés, Peltier-elemes hűtés	transzformátor, tranzisztor	gázkisülések	elektrolízis, akkumulátor	részecskegyorsító
Sugárzás	radiométer	abszorpció, infra-sugárzó	fényelem, vevőantenna	fluoreszcencia, lézer	fotoszintézis fényképezés	párkeltés, fúzió lézerrel
Kémiai	izom, ozmózis, sugárhajtómű,	exoterm kémiai reakciók, égés	galvánelem, tüzelőanyagcella	kemolumineszcencia, biolumineszcencia	kémiai reakciók	
Nukleáris	hasadás	atomreaktor	termoelektronikus reaktor, izotópos áramforrás	radioaktivitás	kötések módosulása	fúzió, fission

Energy Sources and Conversion Processes

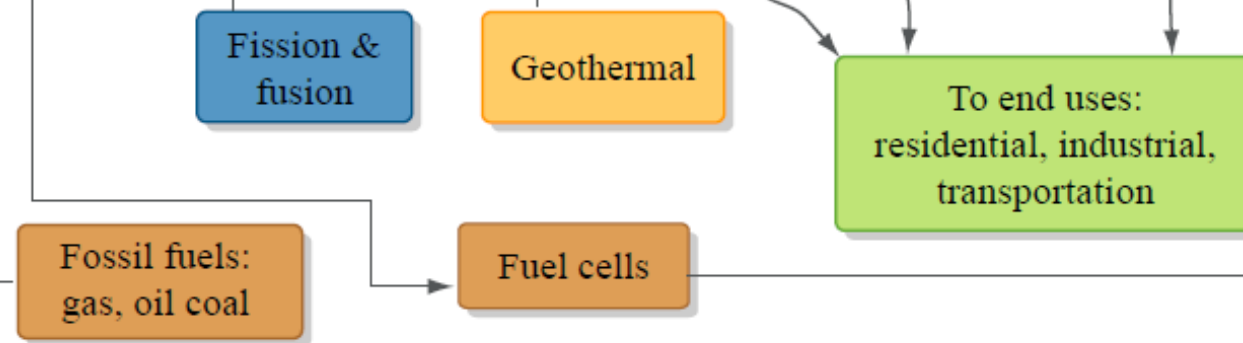
Sources



Energy Forms

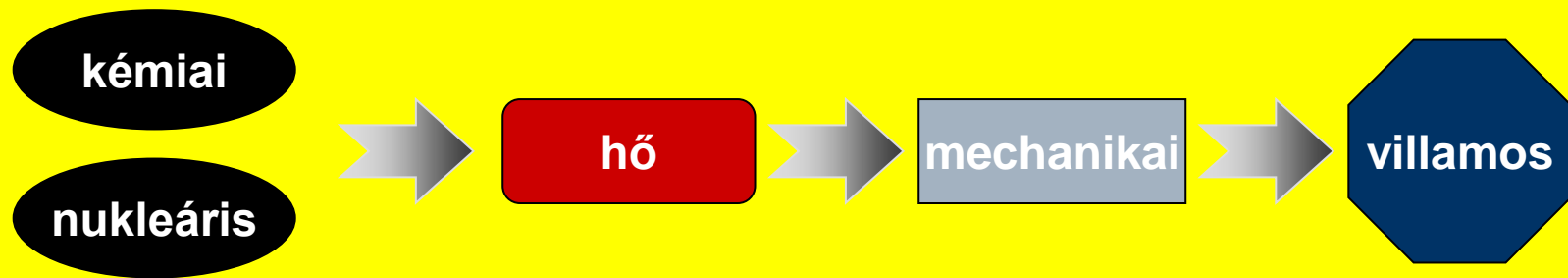


Sources



Fontosabb energiaátalakítások

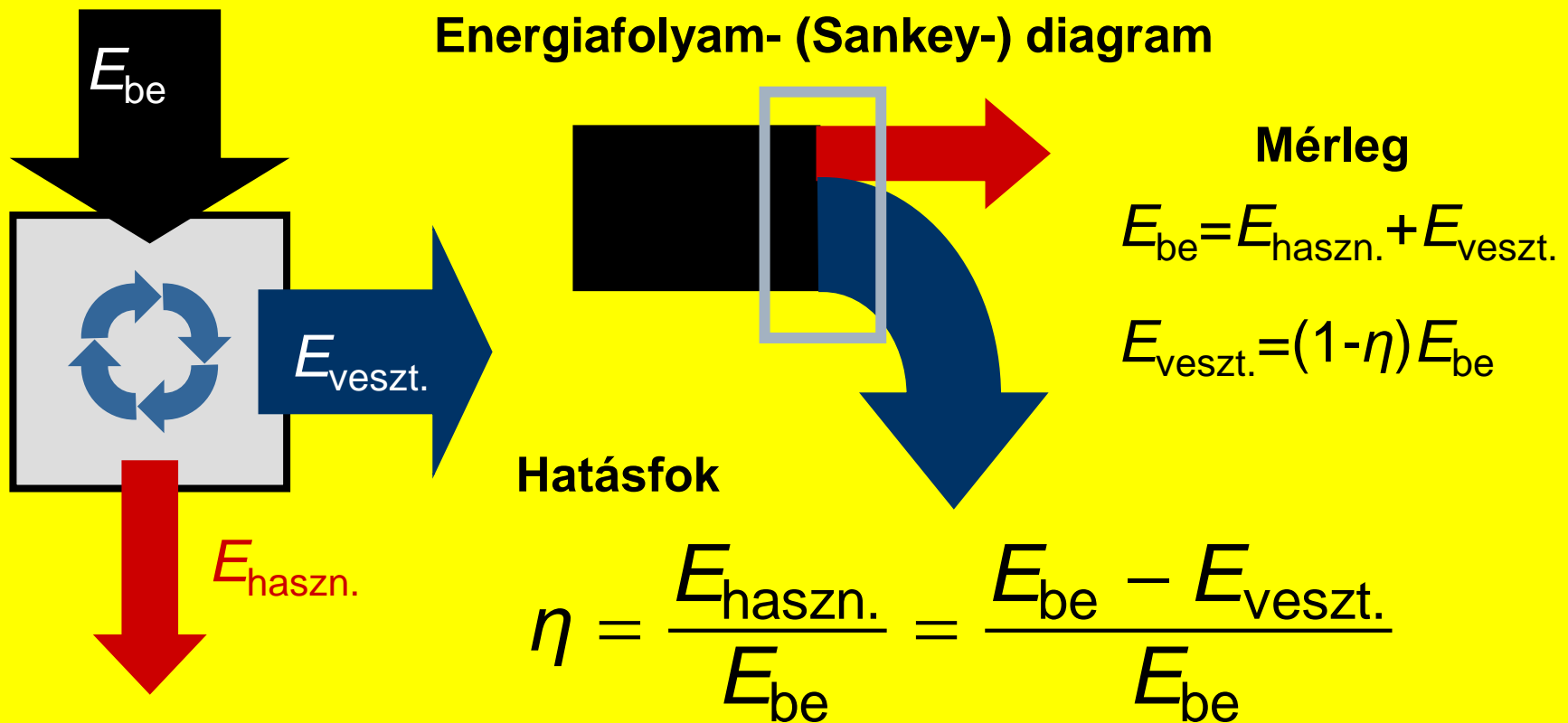
A tipikus (erőművi) energiaátalakítási lánc



- Hőfejlesztés → hőforrások, atomreaktor
- Mechanikai munka → erőgépek
- Villamos munka → áramforrások

Az energiaátalakítás jellemzése

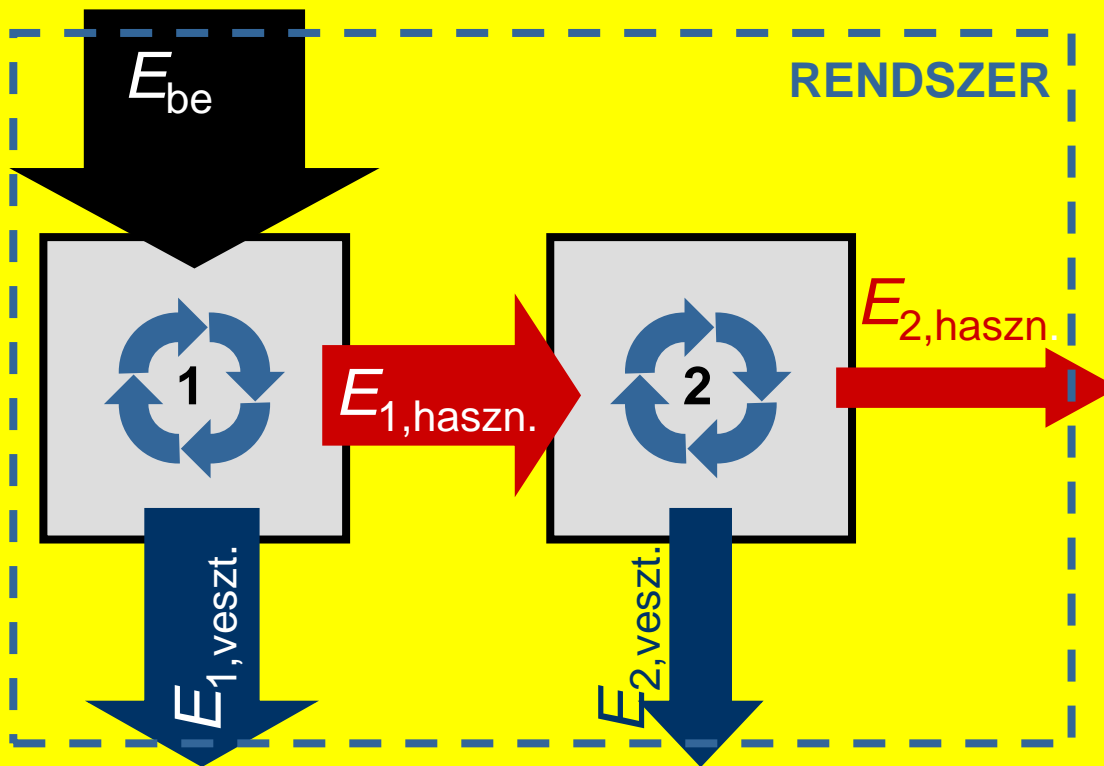
Mennyiségi értékelés (I. főtétel): hatásfok



Közvetlen energiaátalakítás (energiatermelés)

Többszörös energiaátalakítás

Sorbakapcsolt elemek rendszere



$$E_{1,haszn.} = \eta_1 E_{be}$$

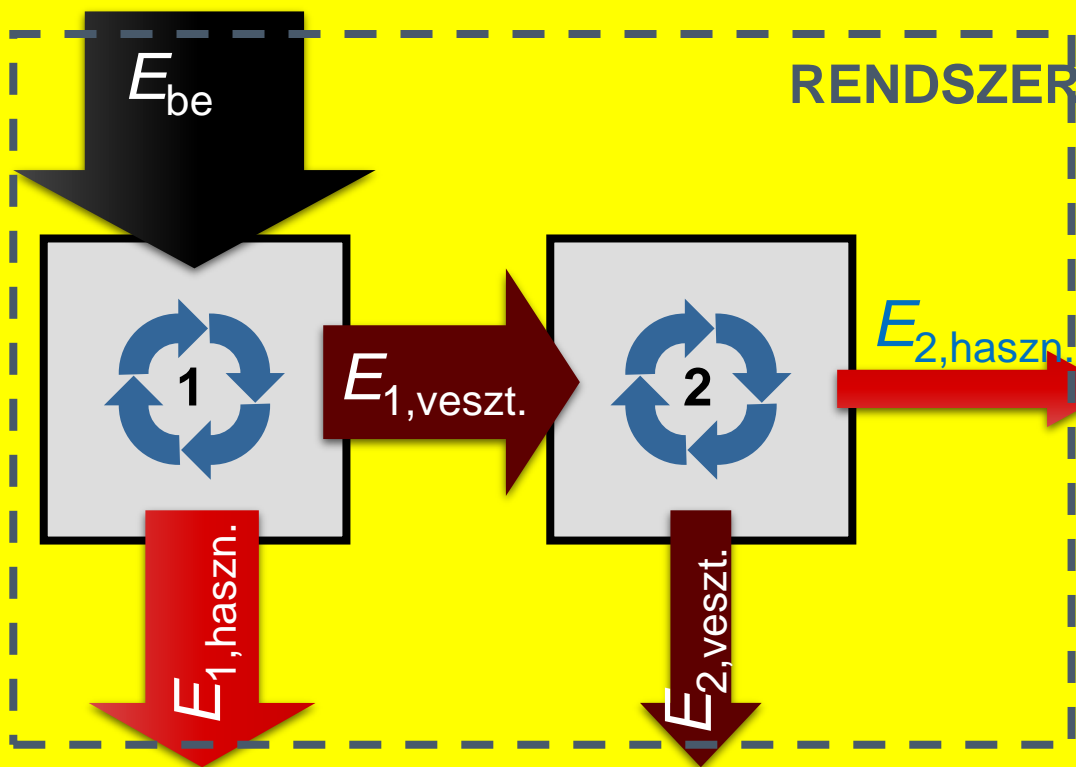
$$E_{2,haszn.} = \eta_2 E_{1,haszn.}$$

$$\eta_R = \frac{E_{2,haszn.}}{E_{be}} = \eta_1 \cdot \eta_2$$

$$\eta_R = \prod \eta_i$$

Kombinált technológiák (ciklusok)

Eltérő technológiák – azonos hasznos termék



$$E_{1,haszn.} = \eta_1 E_{be}$$

$$E_{2,haszn.} = \eta_2 E_{1,veszt.}$$

$$\eta_R = \frac{E_{1,haszn.} + E_{2,haszn.}}{E_{be}} = \eta_1 + (1 - \eta_1) \cdot \eta_2 = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \cdot \eta_2$$

Fogalmak a hagyományos hő- (vagy hűtő-) és/vagy villamos energiatermelésben

- **Közvetlen energiatermelés** (egy termék, egy technológia)
 - hő → **fűtőmű**
 - villamos energia → **erőmű**
- **Kapcsolt energiatermelés** (két termék, egy technológia)
 - **fűtőerőmű**
- **Kombinált ciklusú - kapcsolt energiatermelés** (két termék, két/több technológia)
 - villamos energia → **kombinált ciklusú erőmű**
 - vill. en. & hő → **kombinált ciklusú fűtőerőmű**
- **Tri-/poligenerációs energiatermelés** → termikus áramtermelés és hulladékhő fűtési-hűtési célokra történő felhasználásával.

Fogalmak az „energiatermelésben”

▪ **Koncentrált energiaátalakítás**

- nagy erőművek (döntően villamos energia)
- fogyasztóktól távolabb → szállítás
- az energiarendszer alappillérei

▪ **Decentralizált**

- kis-közepes erőművek, fűtőerőművek
- fogyasztókhöz közelebb
- legtöbbször megújuló energiabázison

Fogalmak az „energiatermelésben”

▪ **Fogyasztóközeli (beágyazott)**

- kis-közepes teljesítmény
- szinte kizárólag kapcsolt fűtőerőmű
- a fogyasztó közvetlen szomszédságában
→ szennyezés (→ olcsó szállítás)
- „tisztá” üzemanyag
- a két termék miatt a szabályozás problémás lehet

Közvetlen energiaátalakítás

Fűtőművek, gőzerőművek és
gázturbinás erőművek

Lehetőségek

- fűtőmű;
- kondenzációs gőz munkaközegű erőművek;
- gáz munkaközegű erőművek.

Közvetlen energiatermelés

Technológiai lehetőségek

□ Fűtőművek (→hő)

- melegvíz (<115°C)- és forróvíz kazánok
 - hagyományos
 - kondenzációs
- gőzkazánok

□ Gőzkörfolyamatú erőművek (→villamos en.)

- hagyományos (szén, olaj, földgáz) tüzelőanyagúak
- atomerőművek
- biomassa (szilárd, folyékony, gáz, komm. hull.) tüzelőanyagúak

Közvetlen energiatermelés

Technológiai lehetőségek (folyt.)

- **Gázkörfolyamatú erőművek (→villamos en.)**
 - gázturbinák
 - belsőégésű motorok (gázmotorok)
- **Vízerőművek (→villamos en.)**
 - folyami (duzzasztásos, átfolyós)
 - szivattyús energiatároló
- **Szélerőművek (→villamos en.)**
 - vízszintes tengelyű szélturbinák
 - függőleges tengelyű szélturbinák

Közvetlen energiatermelés

Technológiai lehetőségek (folyt.)

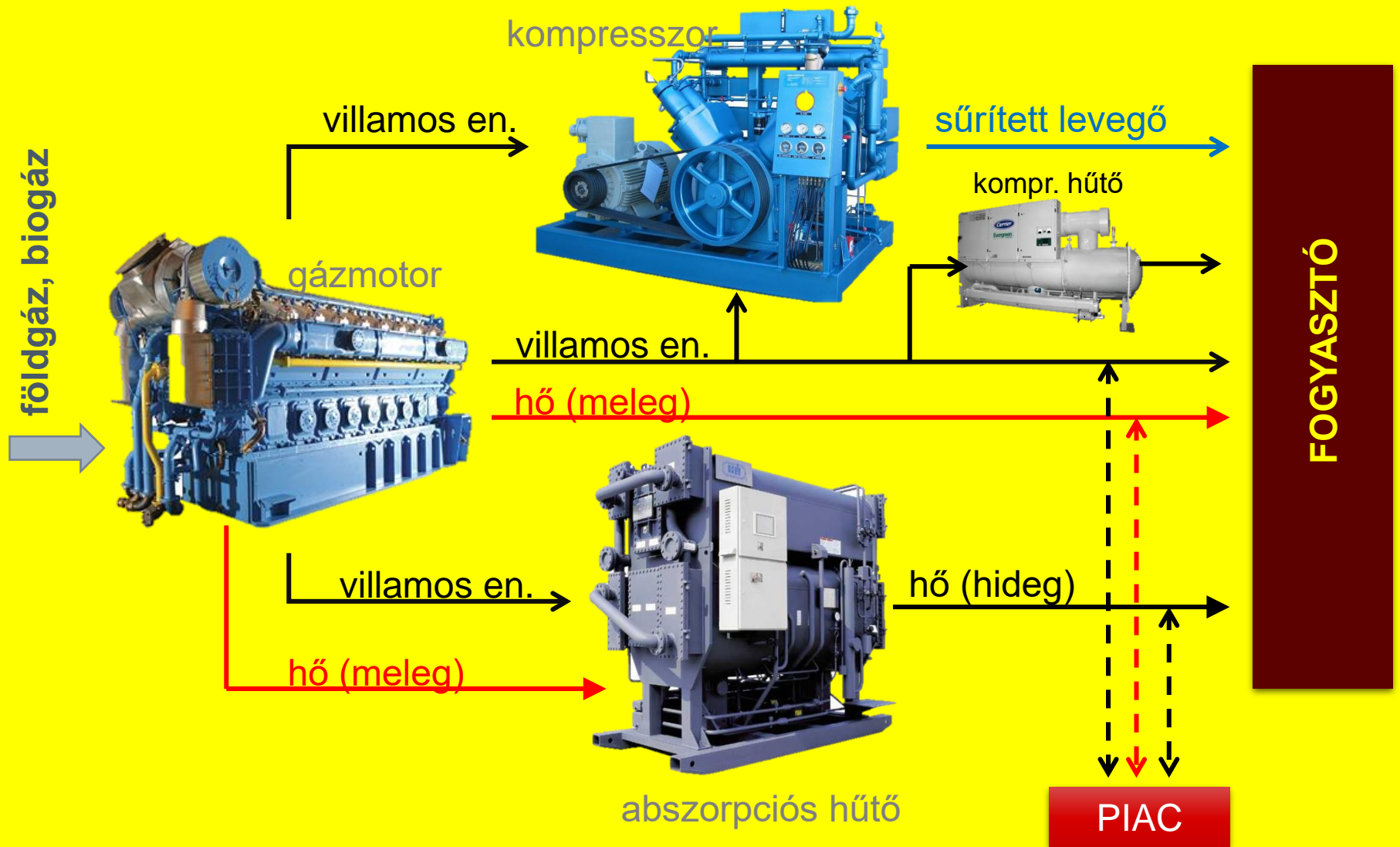
Szoláris rendszerek

- fotovoltaiikus [PV] (→villamos en.)
- szolár-termikus
 - fűtés és HMV (→hő)
 - hőkörfolyamattal (→villamos en.)

Kombinált technológiák

- gáz+gőz körfolyamat (leggyakoribb)
- szoláris+biomassza
- stb.

Poligeneráció – ipari parkok, plázák, kórházak



Poligenerációs rendszerek

Bemenet	Fosszilis energiah.	Fosszilis, Hulladék	Hulladék	Fosszilis	Fosszilis	Gabona, Mezőgazd. termékek	Napenergia
Folyamat	Tri-generáció	Elgázosítás	Biogáz termelés	Tengervíz sótalánítás	CO ₂ hasznosítás	Bioetanol, Biodízel	Fotovoltai-kus, termikus
Kimenet 1	Hő (meleg)	Hő (meleg)	Hő (meleg)	Hő (meleg)	Hő (meleg)	Hő	Hő (meleg)
Kimenet 2	Hő (hideg)	Hő (hideg)	Villamos energia	Villamos energia	Villamos energia	Üzemanyag	Hő (hideg)
Kimenet 3	Villamos energia	Gáz (metán, hidrogén)	Biogáz (metán)	Édesvíz	Haszn-növények	Villamos energia	Villamos energia
Kimenet 4	Mechanikai munka	Ipari nyersanyag	Talajjavító anyag		Alga	Állati takarmány	

Fűtőművek

Alaptípusok

- forróvízes fűtőmű,
 - nagyvízterű (láng-/füstcsöves, 15..20 MW),
 - természetes cirkulációjú,
 - kényszercirkulációjú
 - kisvízterű (vízcsöves, 20 MW felett).
- ipari kazántelep,
- nukleáris fűtőmű.

Fűtőművek

Üzemi korlátok

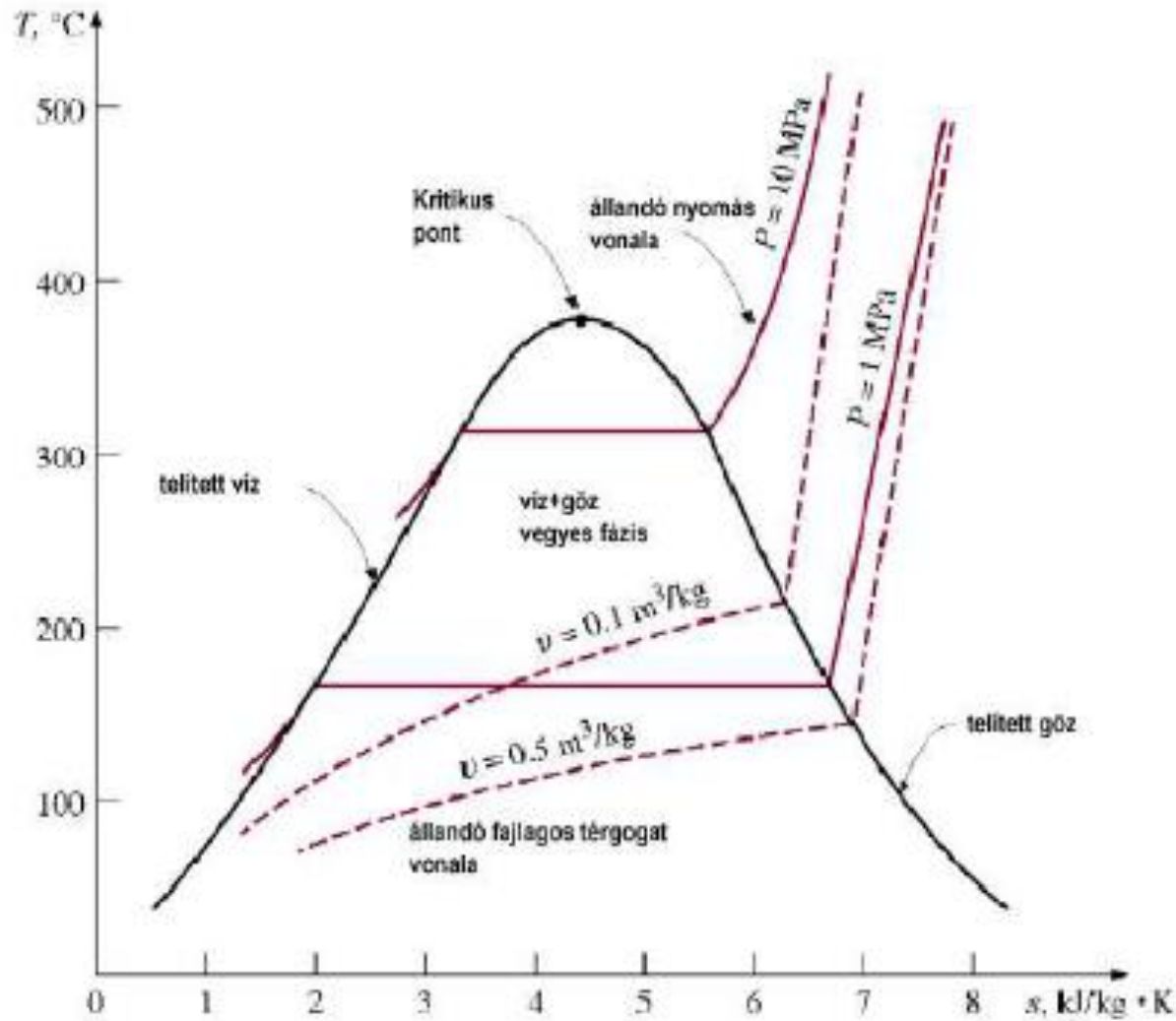
- változó hőigény (25..110%);
- harmatpont elkerülése (olaj-, széntüzelés);
- részterhelésen jobb hatásfok;
- minimális belépő víz hőmérséklet;
- minimális tömegáram.

Erőművek

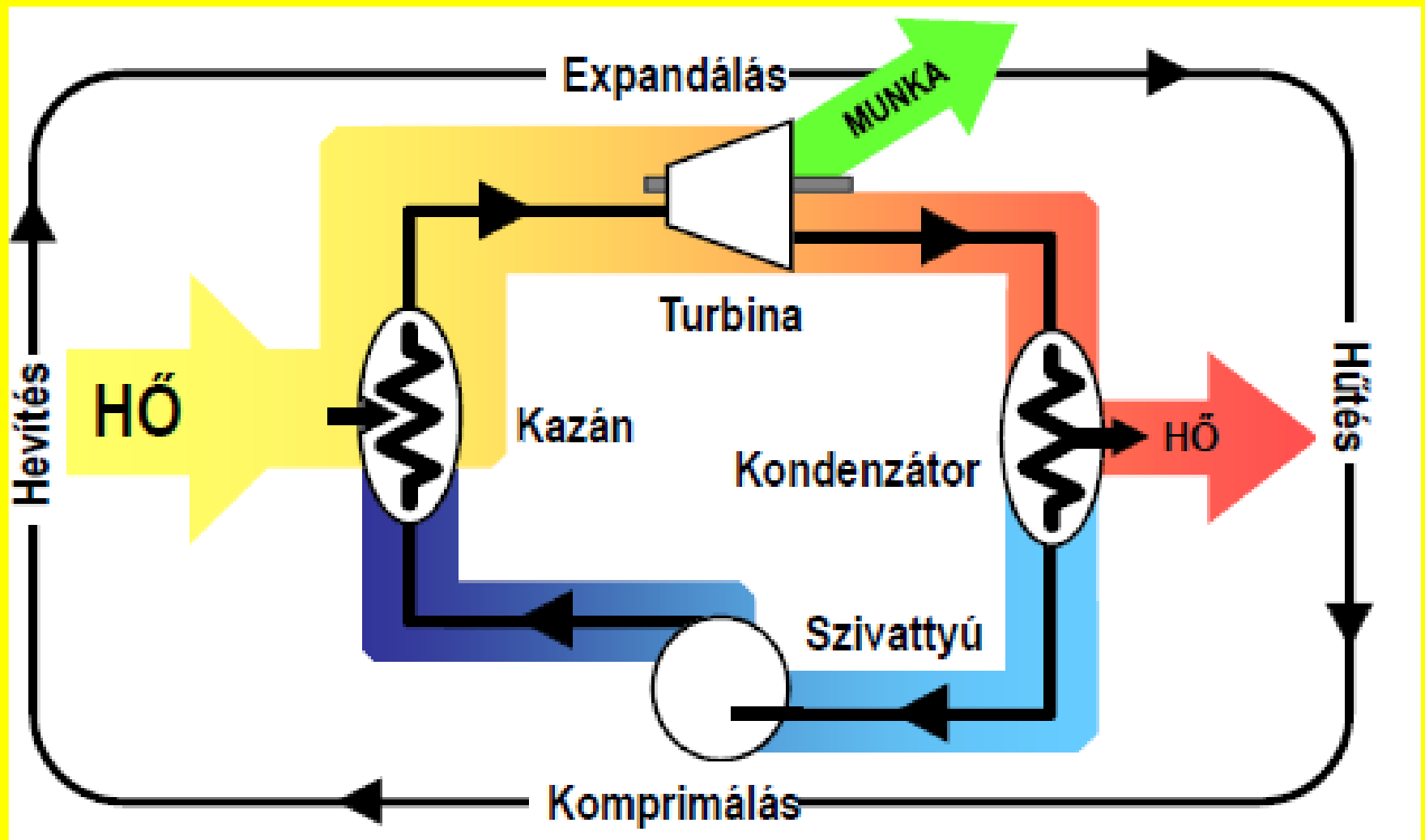
Lehetőségek

- hagyományos (fosszilis) tüzelőanyagú kondenzációs gőzerőművek;
- kondenzációs atomerőművek;
- gáz munkaközegű atomerőművek;
- nyílt ciklusú gázturbinás erőművek.

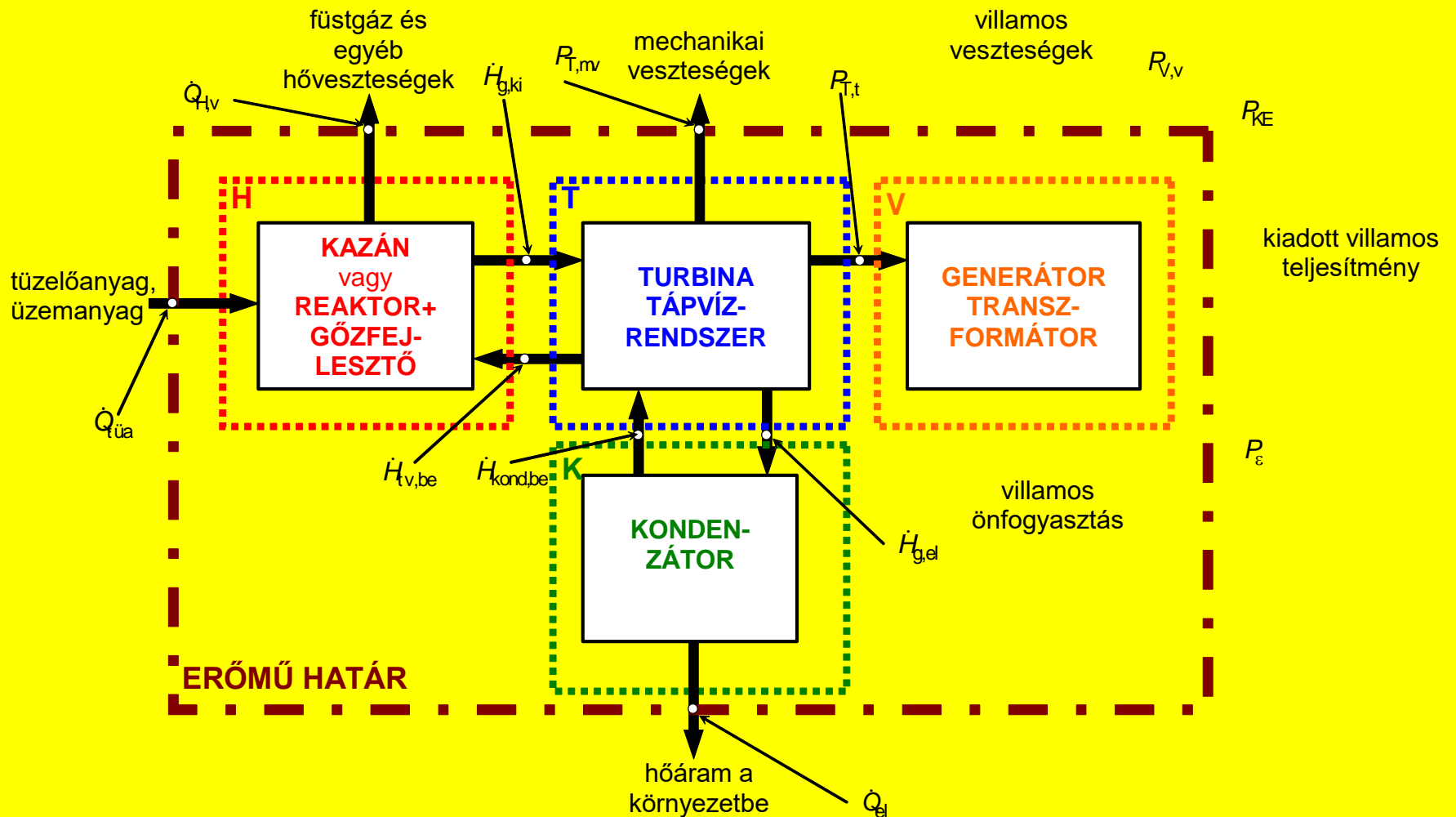
A víz T-s diagramja



Hagyományos erőművi körfolyamat



Rendszerrelvű leírás



Gőzerőművi technológia

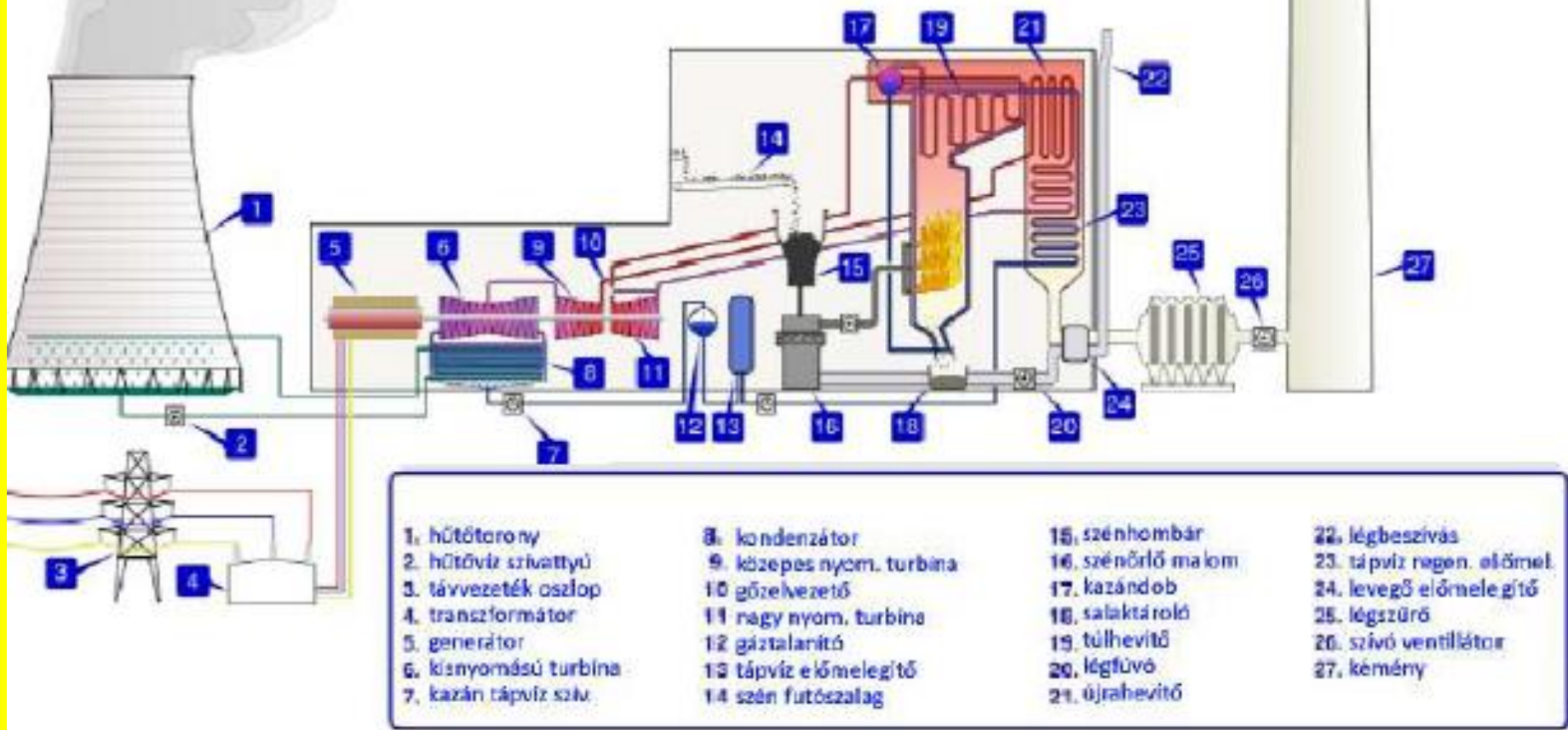
Gőznyomás szerint ($p_{\text{krit}}=220,6$ bar)

- szubkritikus ($p_{\text{gőz}} < p_{\text{krit}}$),
- superkritikus ($p_{\text{gőz}} > p_{\text{krit}}$),
- ultra-superkritikus ($p_{\text{gőz}} \gg p_{\text{krit}}$).

Gőz túlhevítés szerint

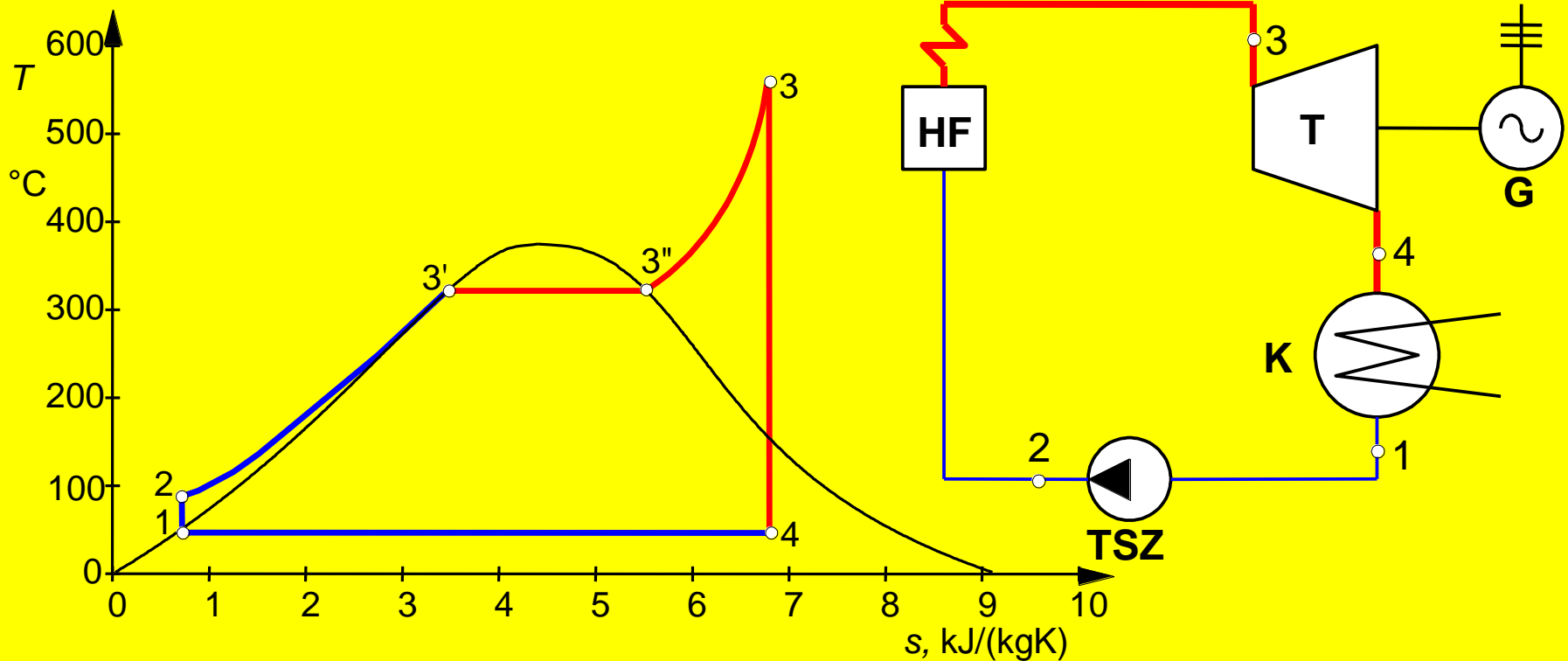
- telített gőzös,
- túlhevített gőzös,
- egyszeres újrahevítésű,
- többszörös újrahevítésű.

500 Mw_e telejsítményű szénérőmű
 250 t szén óránként
 8000 óra üzemidő mellett
 2.000.000 t szén

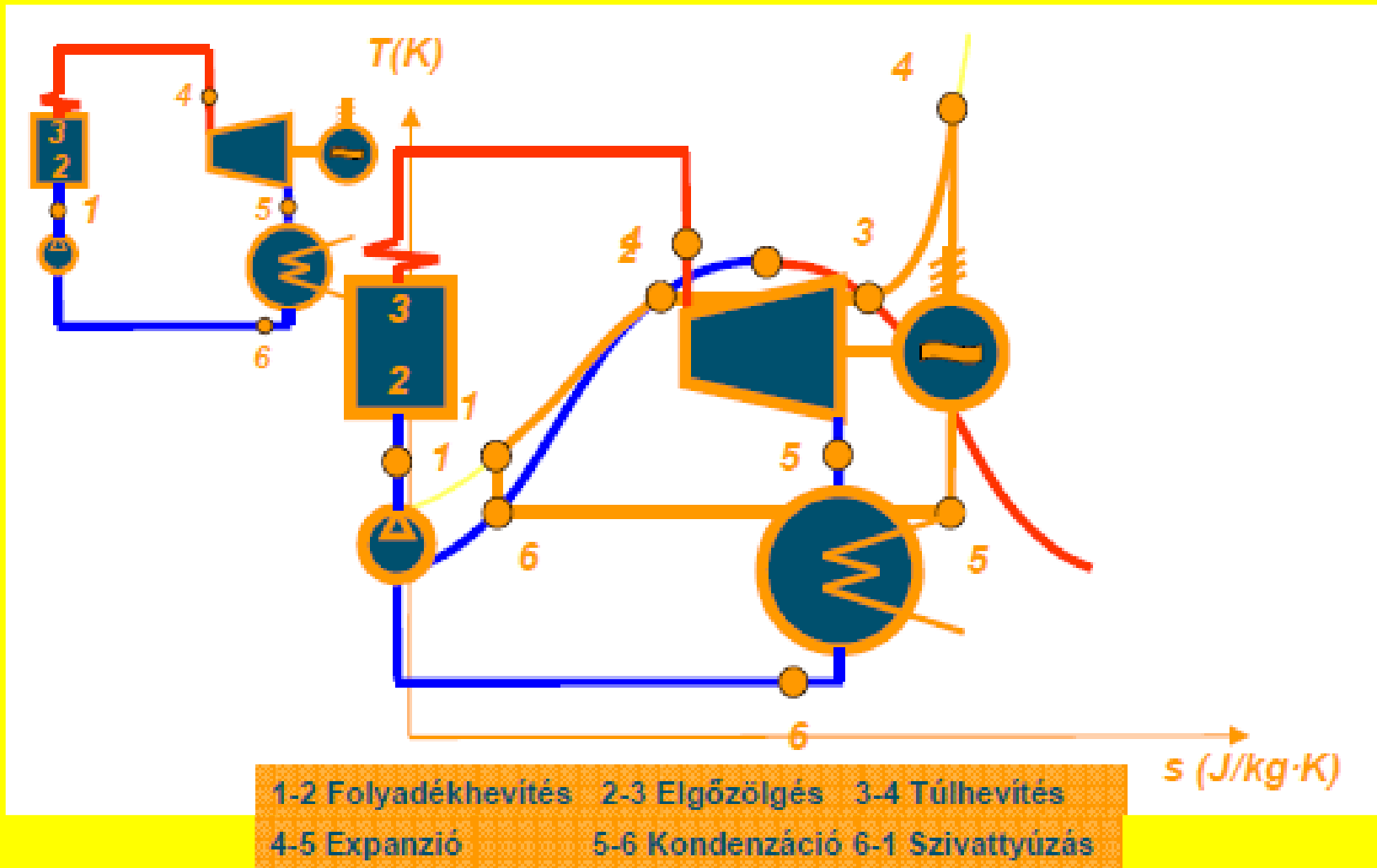


Kondenzációs gőzerőmű

Villamos erőmű (egy termék: villamos energia)

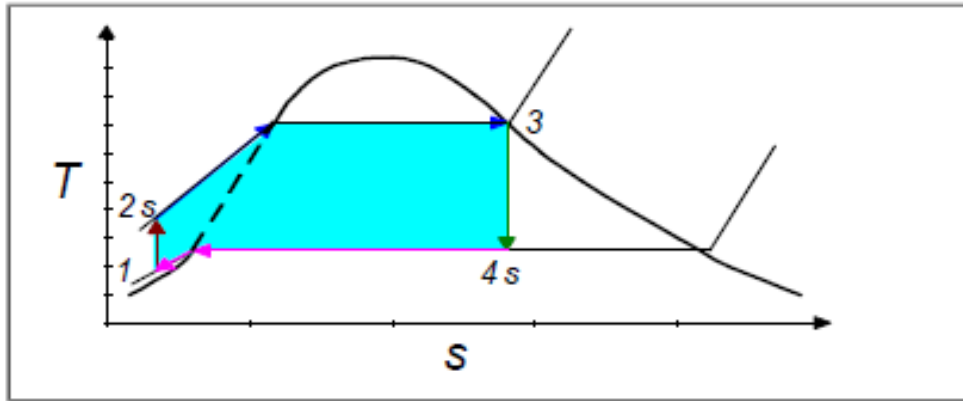


Rankie-Clausius körfolyamat

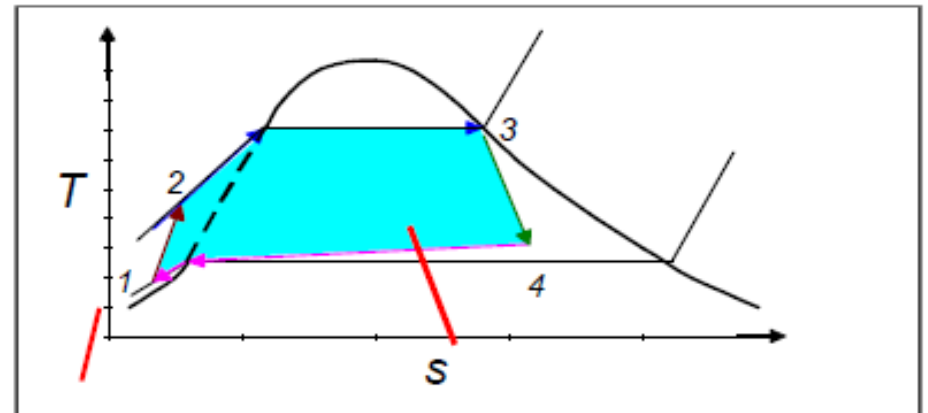


Irreverzibilitások

- 1-2 reverzibilis adiabatikus szivattyúzás
- 2-3 hevítés állandó nyomáson (részben izoterm)
- 3-4 reverzibilis adiabatikus expanzió
- 4-1 hűtés állandó nyomáson (részben izoterm)



- 1-2 nemizentrópiás szivattyúzás
- 2-3 irreverzibilis hevítés
- 3-4 nemizentrópiás expanzió
- 4-1 irreverzibilis hűtés

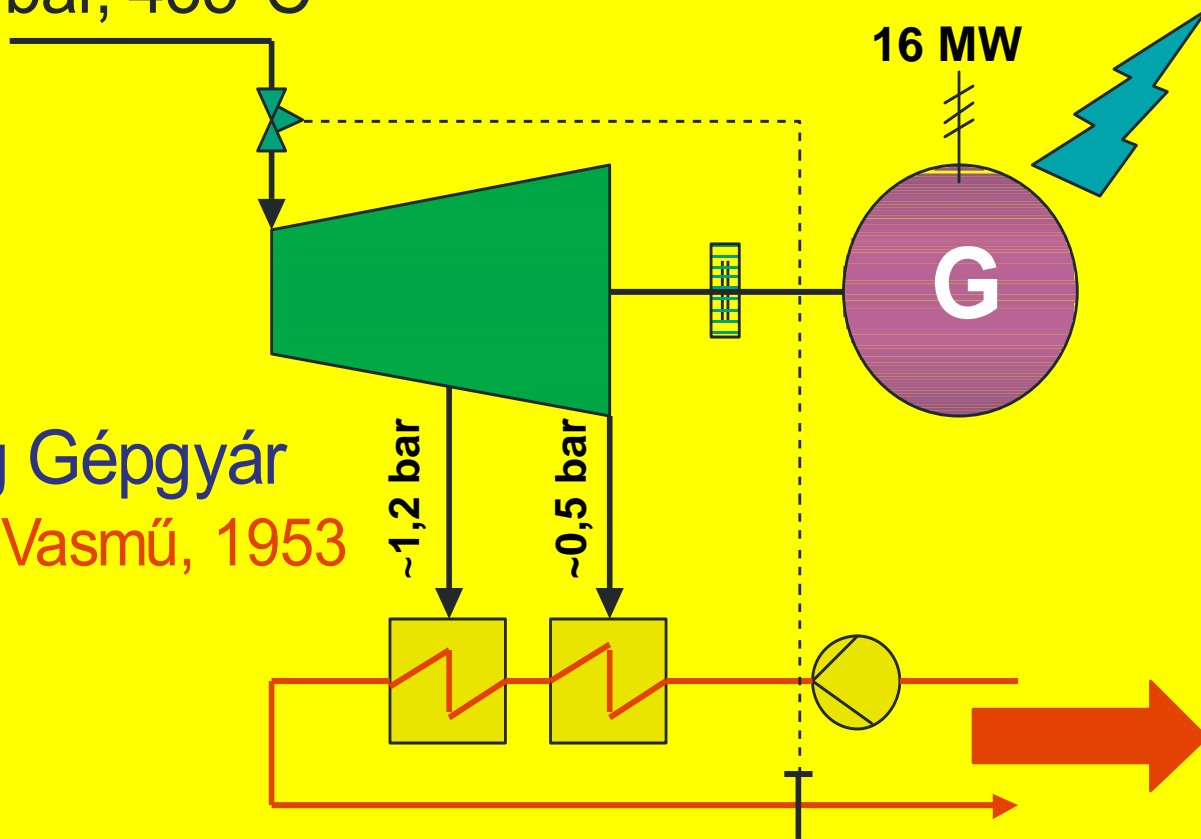


Ellennyomású hőkiadás

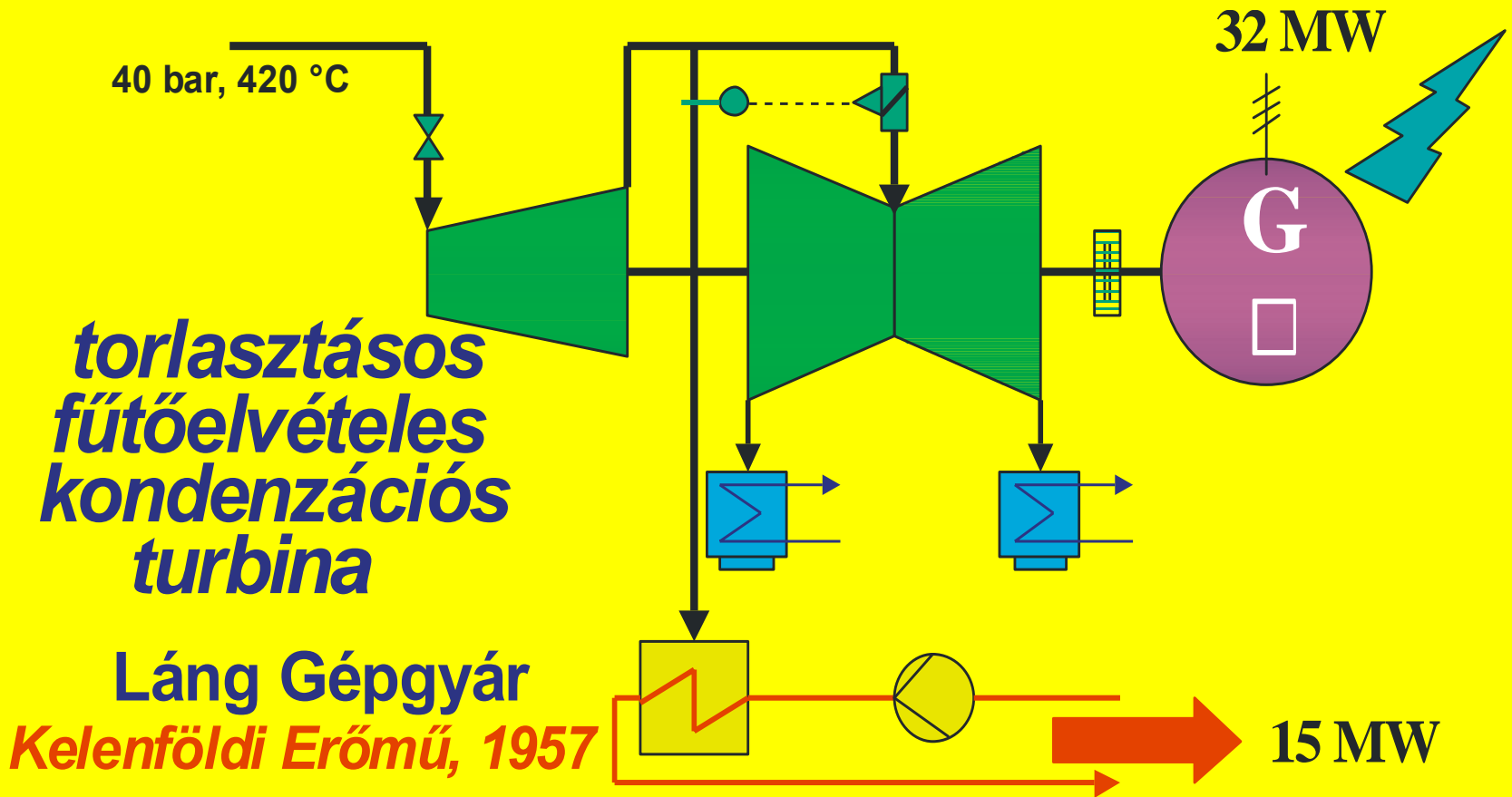
A „magyar fűtőturbina”

35 bar, 435°C

Láng Gépgyár
Dunai Vasmű, 1953

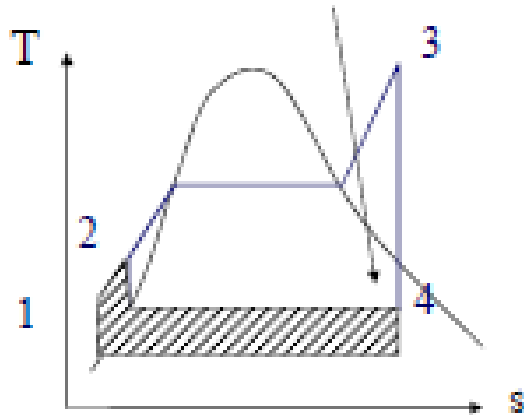


Elvételes-kondenzációs hőkiadás

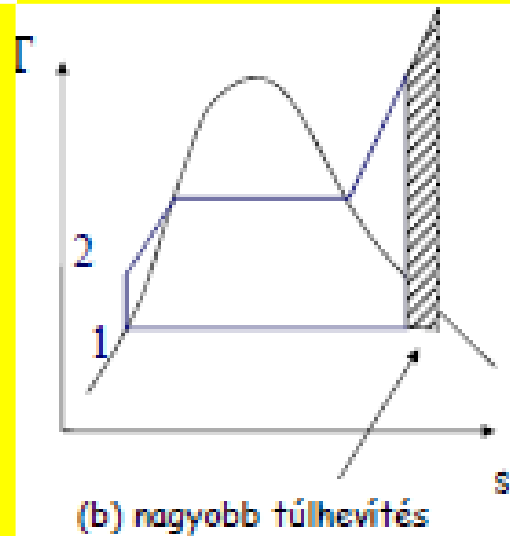
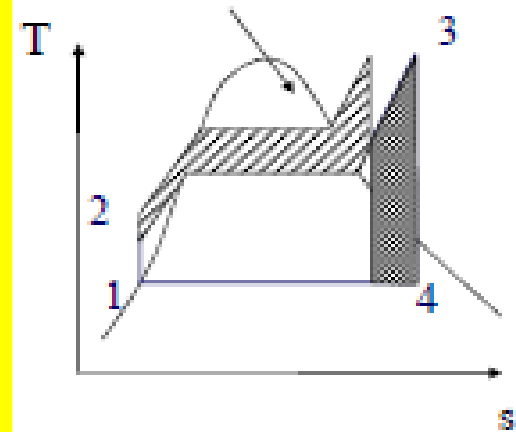


Rankie-Clausius körfolyamat hatásfokának növelése

(a) alacsonyabb kond. nyomás (hőm.)



(c) nyomás (hőm.) növelése



Összehasonlítás

□ Elvételes-kondenzációs

- rugalmas, hő és villamos energia széles tartományban szabályozható;
- fojtási veszteség, egyfokozatú vízmelegítés → alacsony hatásfok

□ Ellennyomású

- nincs fojtási veszteség
- rugalmatlan

Továbbfejlesztés

- kondenzációs fűtőturbina
- aszimmetrikus ikeráramú fűtőturbina

Üzemeltetési problémák

Melyik termék (a hő vagy a villany) szerint irányítsák az energiatermelést, tehát hogyan szabályozzák a kapcsolt energiaátalakítást?

- Melyik a „fő” termék (a hő vagy a villany), melyik hoz nagyobb hasznot a tulajdonosnak?
- A hő az elsődleges? (ez “értéktelenebb” termék)
- A villany az elsődleges? (ára legalább 3-szor nagyobb)

Megjegyzések:

- A hőigény és a villamosenergia-igény időben általában nem szinkronban változik.
- A hő olcsóbban tárolható, mint a villany.

Kapcsolt energiatermelés

Egy technológia – több hasznos termék

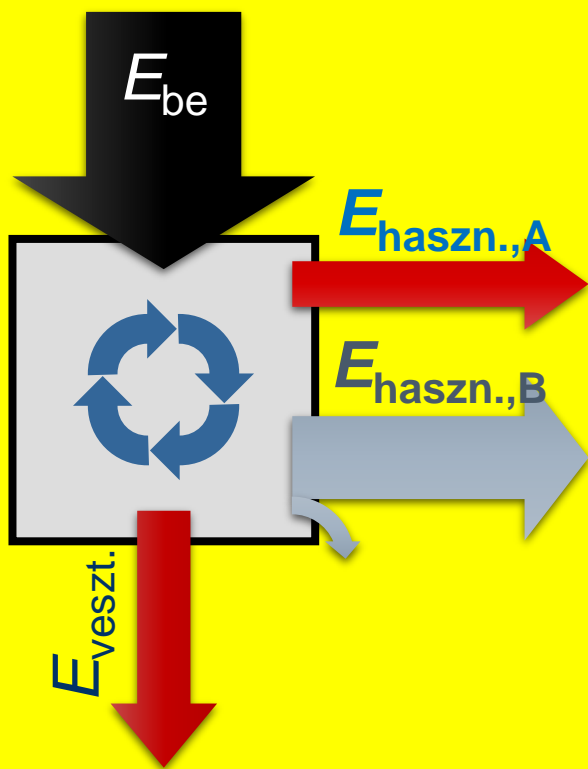
Részhatásfok „A” termék: $\eta_A = \frac{E_{\text{haszn.,A}}}{E_{\text{be}}}$

„B” termék: $\eta_B = \frac{E_{\text{haszn.,B}}}{E_{\text{be}}}$

Eredő (bruttó) hatásfok:

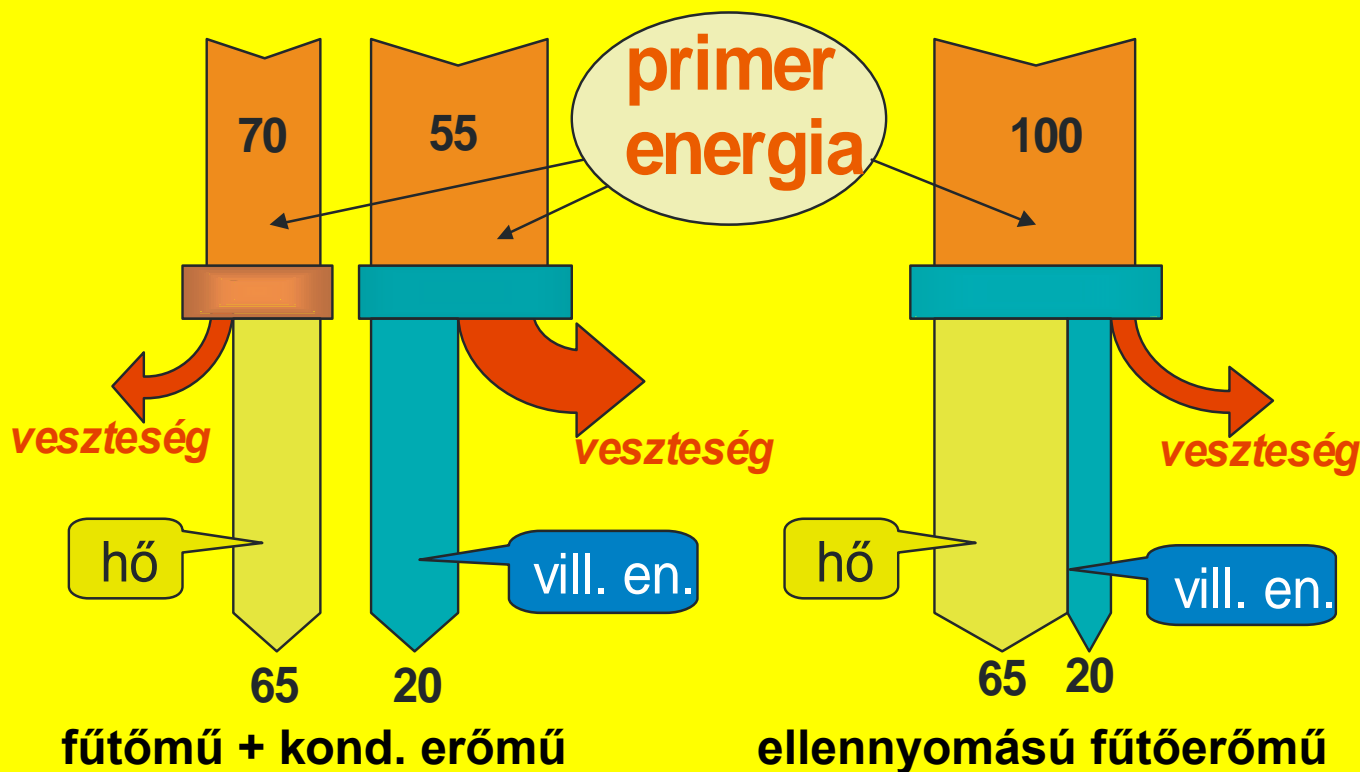
$$\eta_R = \frac{E_{\text{haszn.,A}} + E_{\text{haszn.,B}}}{E_{\text{be}}} = \eta_A + \eta_B$$

Termékarány: $\sigma = \frac{E_{\text{haszn.,A}}}{E_{\text{haszn.,B}}}$



Kapcsolt energiaátalakítás

Gőzkörfolyamat



primer energia megtakarítás: 25
azonos tüzelőanyag bázis!

Előnyök és hasznosság

A kapcsolt energiaátalakítás legfontosabb előnye a primerenergia-megtakarítás

□ gazdasági hasznosság:

■ olcsóbb energiaellátás

□ társadalmi hasznosság:

■ környezetvédelmi előny

■ egészségvédelmi előny

■ ellátásbiztonsági előny

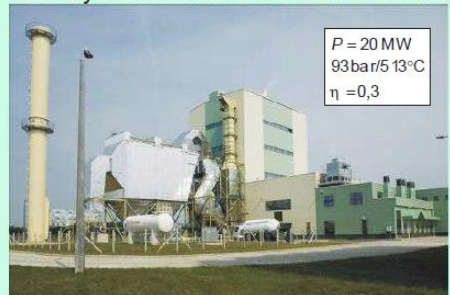
■ fenntartható fejlődés

Lehetőségek

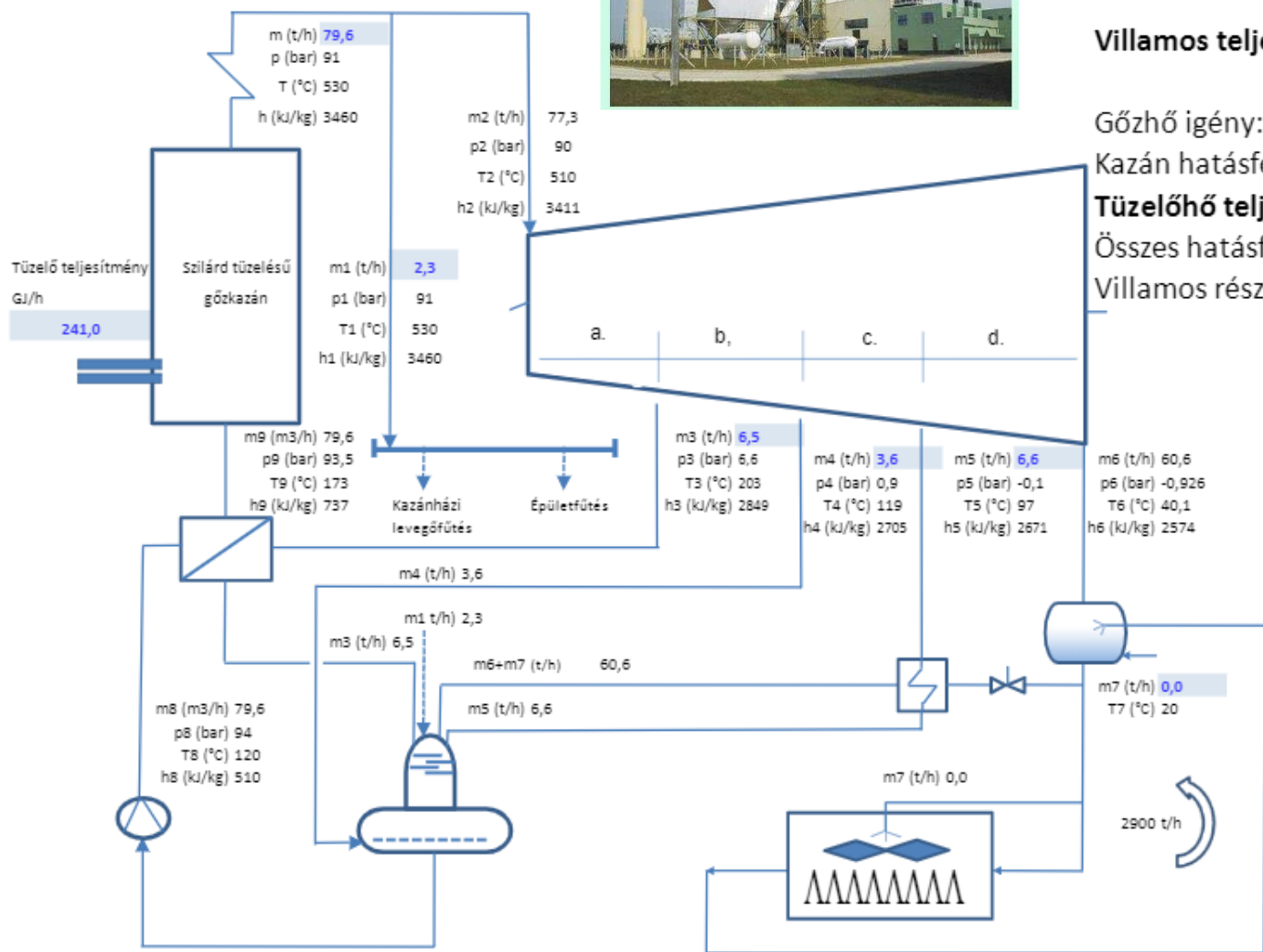
- **Gőzturbinás - hagyományos - típusok:**
 - *ellennyomású gőzkörfolyamattal*
 - *elvételes, kondenzációs gőzkörfolyamattal*
- **Gázturbinás - hagyományos - típusok:**
 - *egyszerű hőhasznosítással (CHP-GT)*
 - *összetett körfolyamattal (CHP-CCGT)*
- **Gázmotoros**
- **Tüzelőanyag-elemes (üzemanyag-cellás)**
- **Mikro-gázturbinás - korszerűbb - típus**
- **Összetett - korszerűbb - típusok**

Szakoly

Szakolyi biomassza kondenzációs erőmű



$P = 20 \text{ MW}$
 $93 \text{ bar}/513^\circ\text{C}$
 $\eta = 0,3$



Villamos teljesítmény: 17,18 MW

Gőzhő igény: 76,5 MW

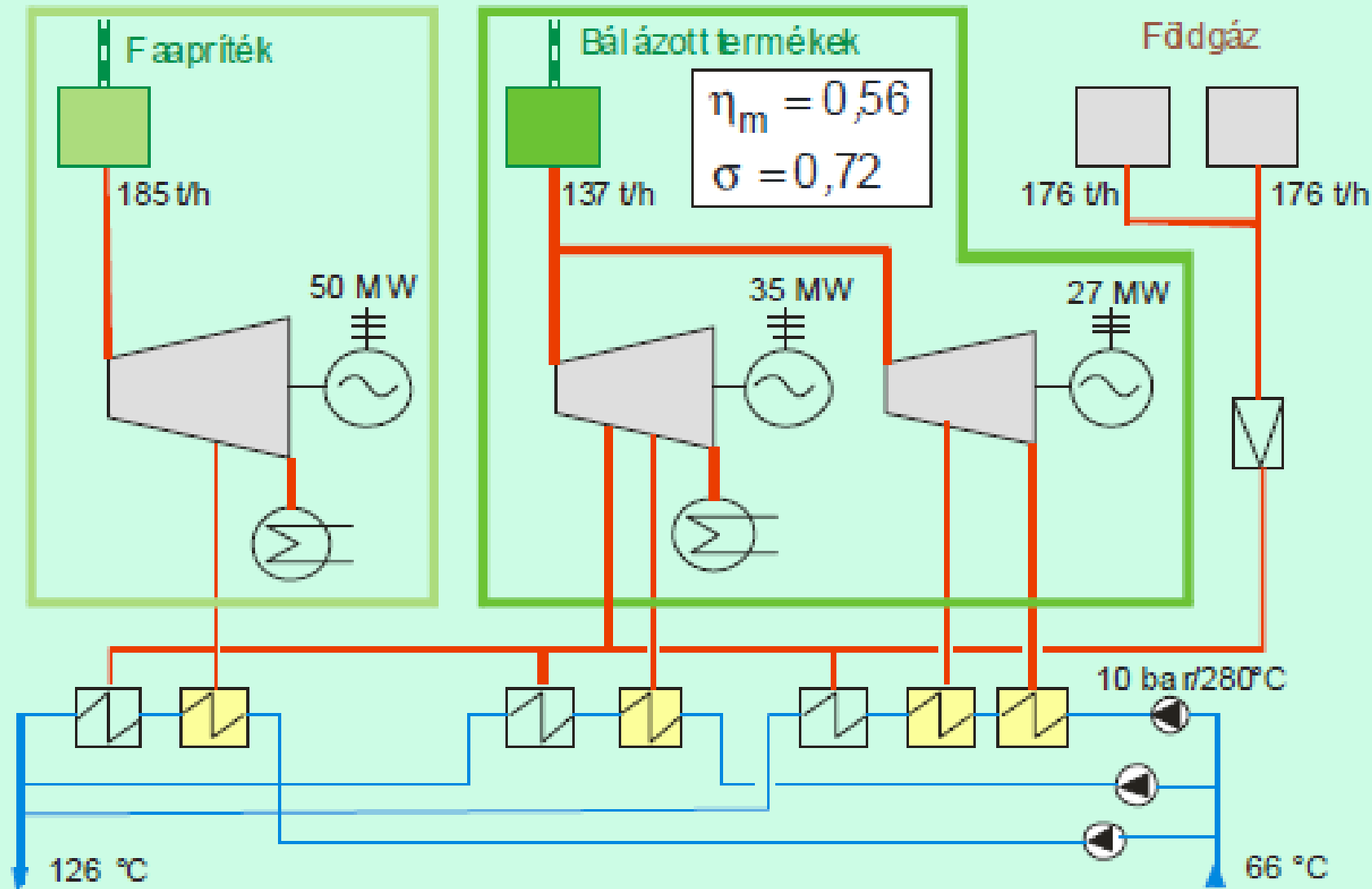
Kazán hatásfok: 89,9%

Tüzelőhő teljesítmény: 66,9 MW

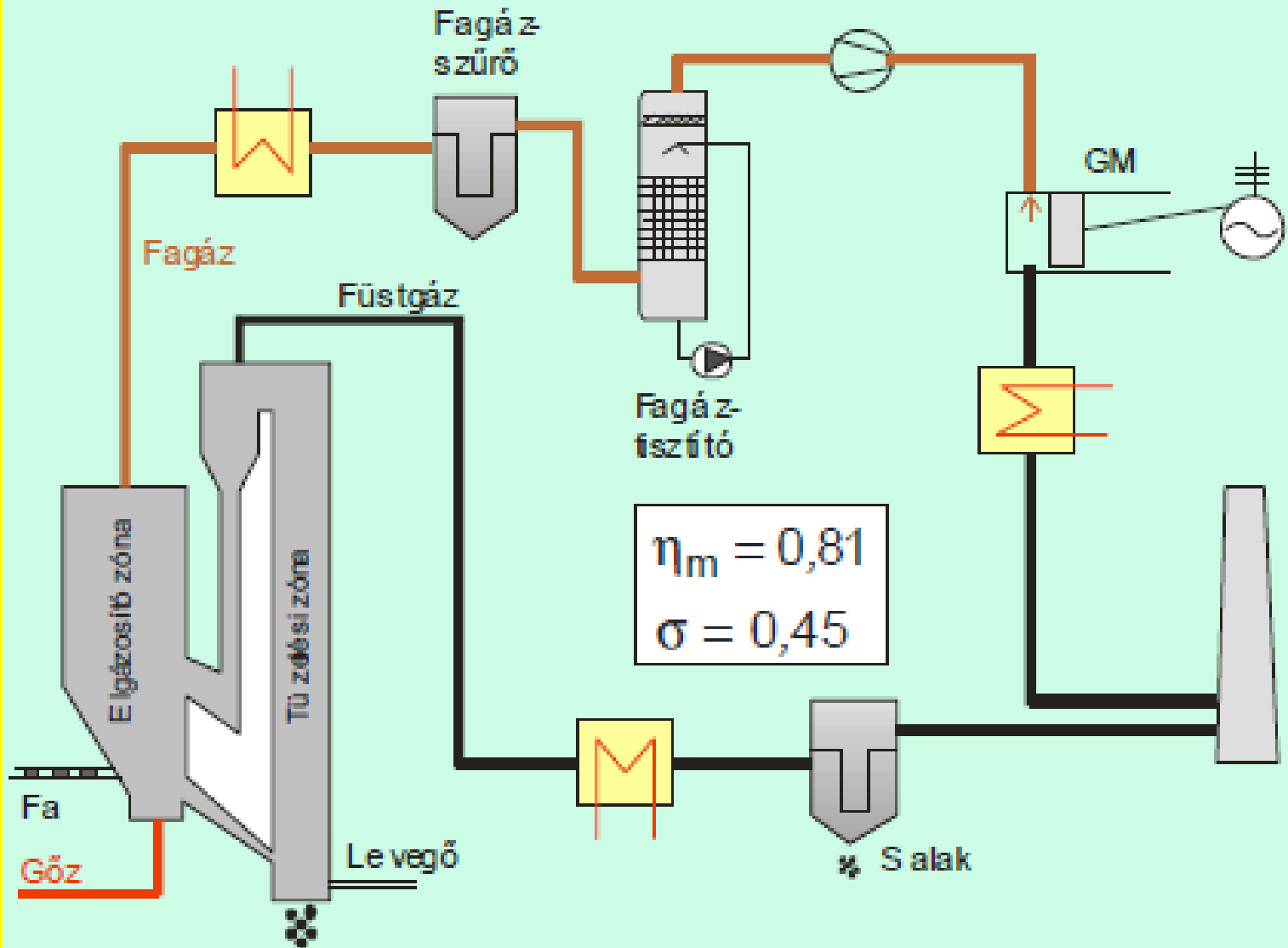
Összes hatásfok: 25,7%

Villamos részhatásfok: 25,7%

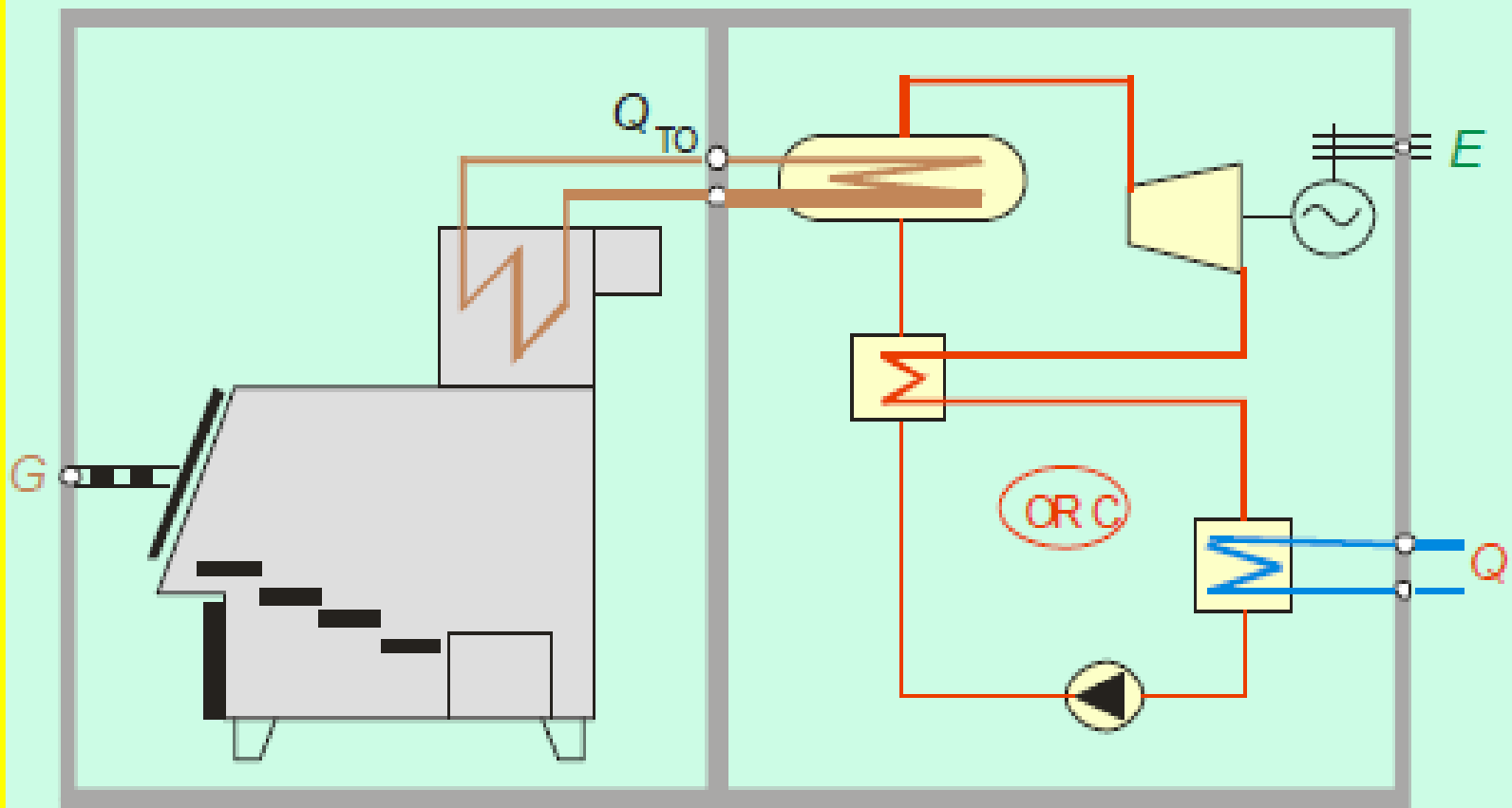
Pécsi Erőmű fa- és szalmatüzelés



Güssingi fagáz fűtőerőmű

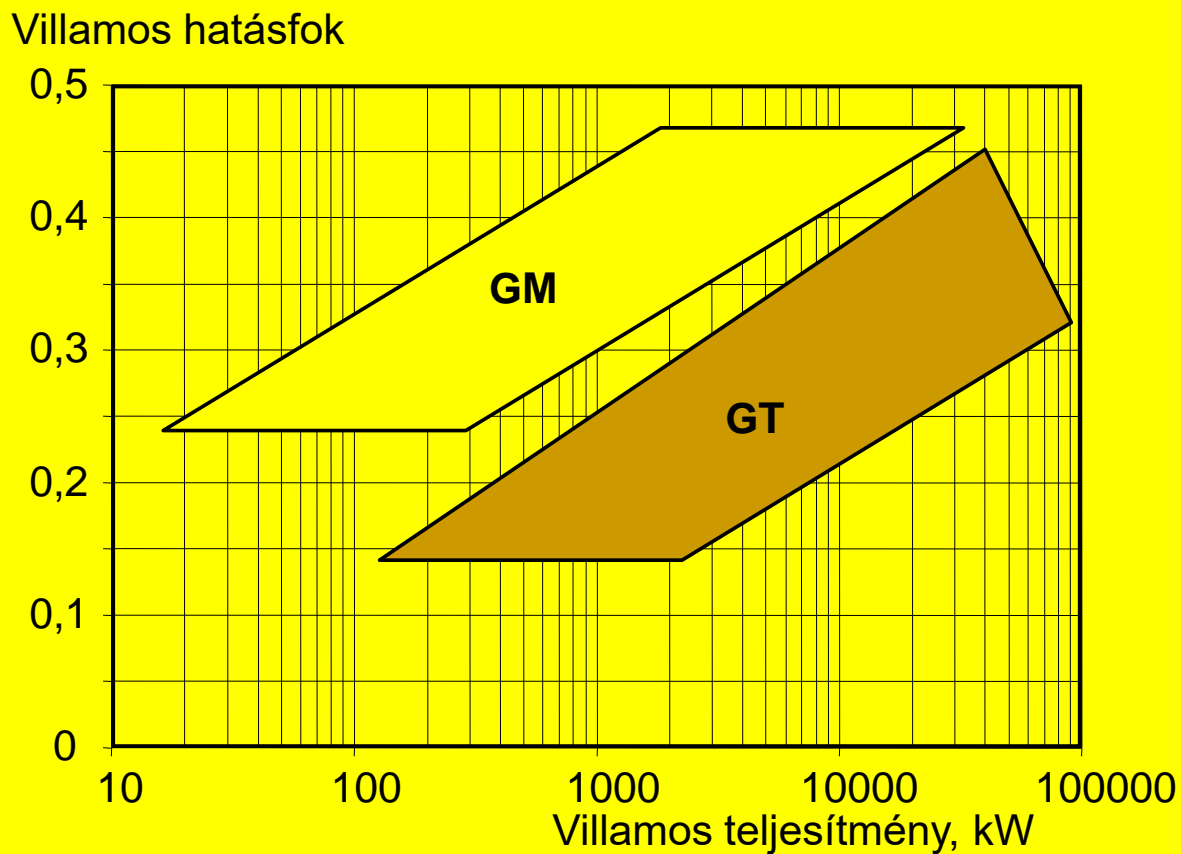


Biomassza termoolajos ORC erõmû
Magyarország: tanulmány
Csehország: Třebič

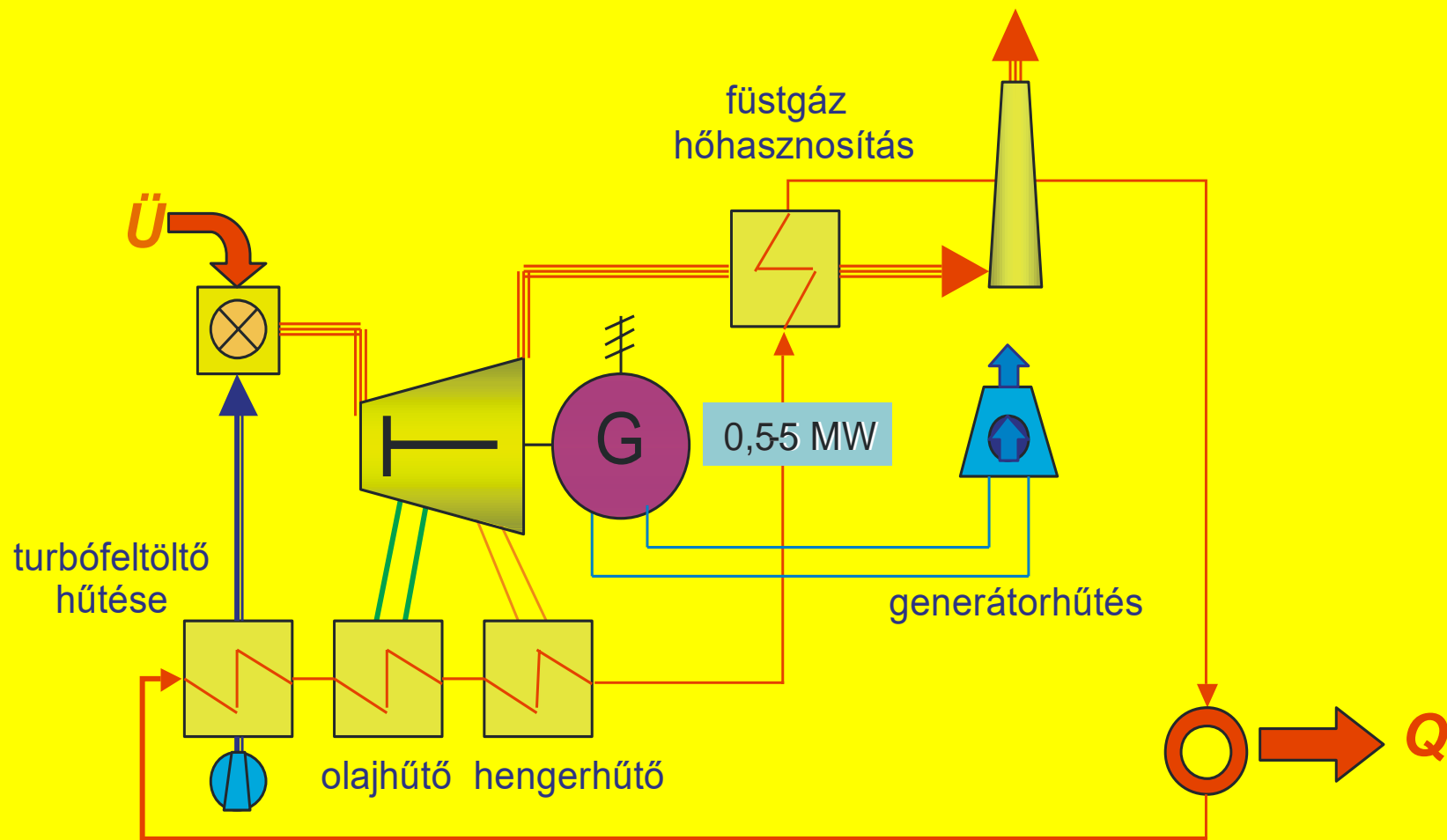


Gázmotor / Gázturbina

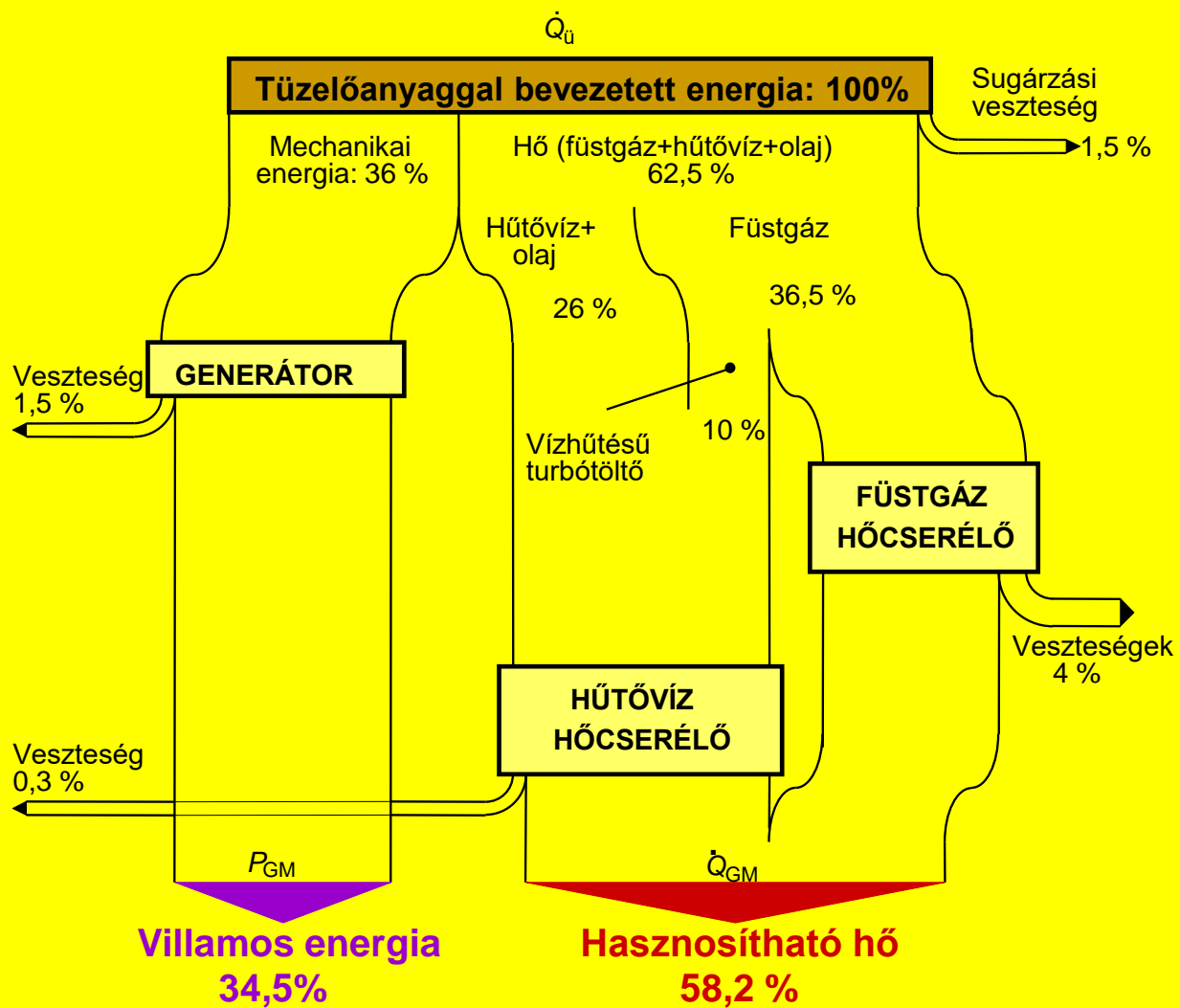
Alkalmazási tartomány



Gázmotoros fűtőerőmű



Gázmotoros fűtőerőmű



Gázmotoros fűtőerőmű

Alkalmazási terület:

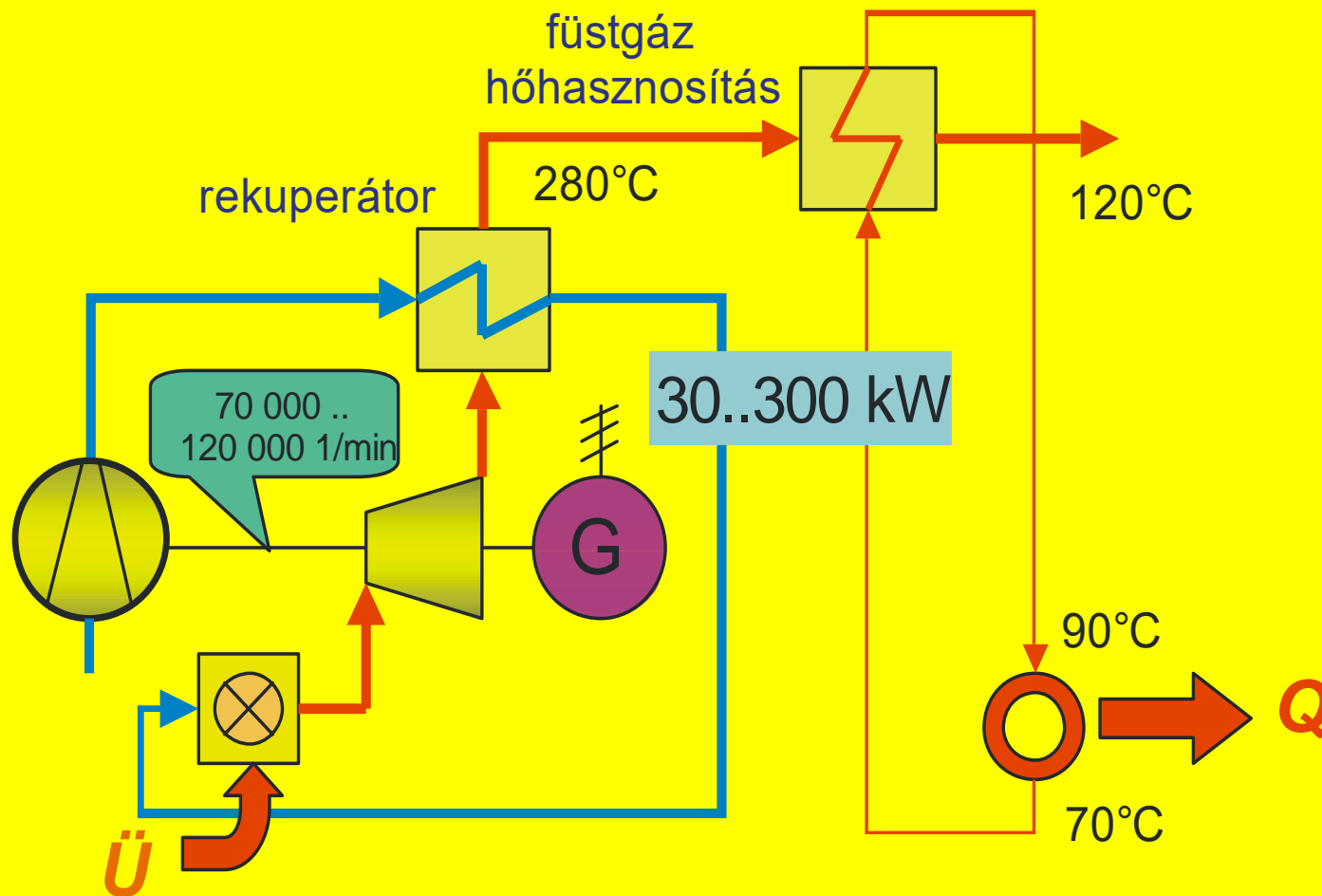
- Alacsony hőmérsékletszinten történő fűtési hőfejlesztés az egyidejűleg biztosított villamosenergia-ellátás mellett, pl. fedettuszodák, sportlétesítmények, iskolák, kórházak, nagyobb lakónegyedek.
- A magas villamosenergia-árak – leginkább közepes méretű üzemeknél – jó lehetőséget teremtenek a gázmotoros fűtőblokkok létesítéséhez.
- Nagyobb ipari létesítmények esetében elsősorban a villamosenergia-ellátás az elsődleges az egyidejű hőhasznosítás mellett.
- A 2 MWe feletti teljesítményű gázmotorok különösen fűtőerőművi bővítéseknél alkalmazhatók, ha ez együtt jár a fűtőerőműhöz tartozó körzet villamosenergia-önellátásának kiépítésével.

Gázmotoros fűtőerőmű

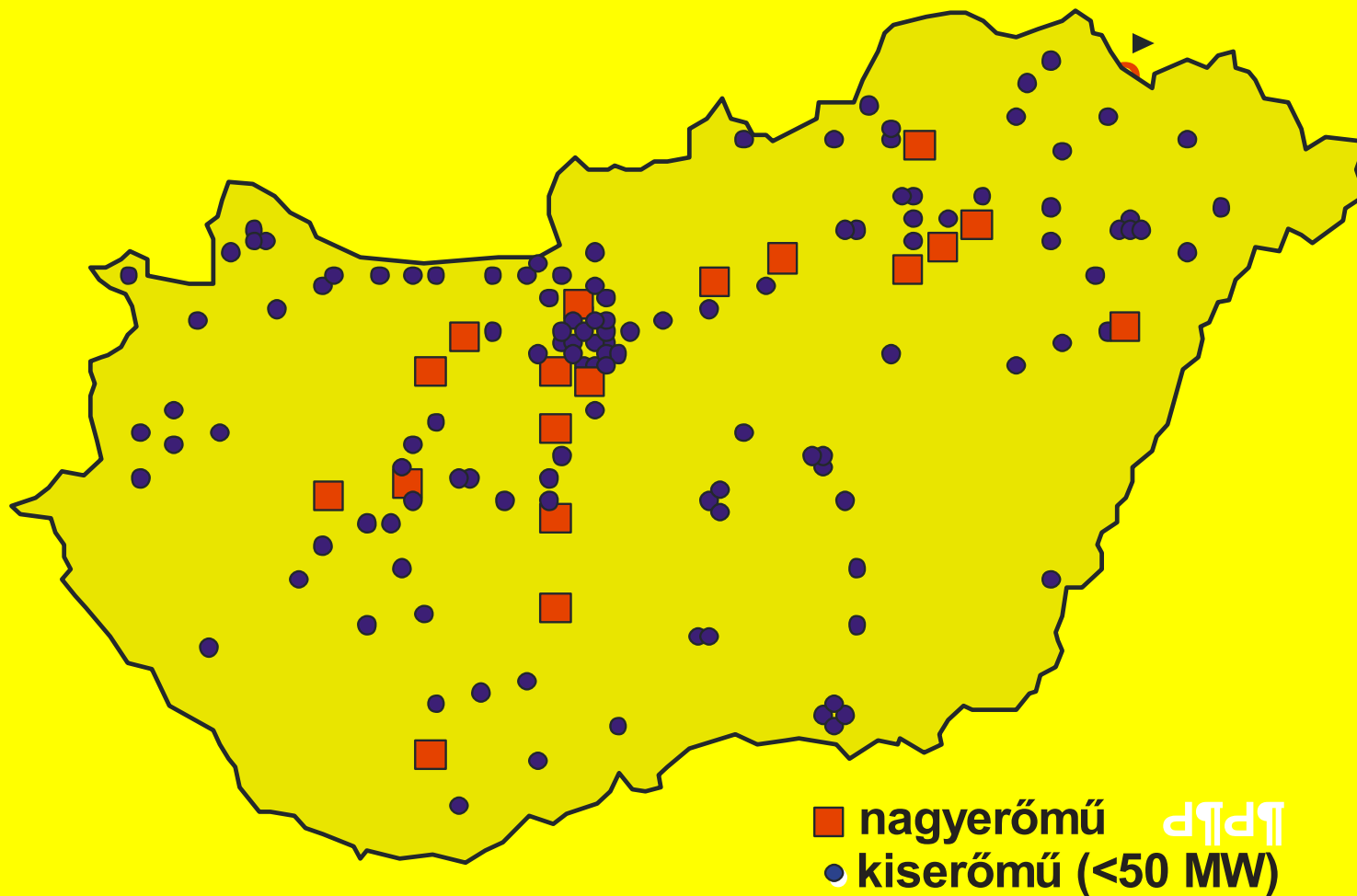
Alkalmazási terület

- A forróvizes távhőrendszerek néhány MWt teljesítményű, egész éves üzemű használati melegvíz hőigényének kielégítése gázmotoros fűtőblokkal.
- A gázmotoros fűtőblokkok létesítése szennyvíztisztító-biogáz és szemétkerakó depóniagáz hasznosítására mindinkább előtérbe kerülő kérdés. Ennek oka egyrészt a tüzelőanyag lényegében ingyenes rendelkezésre állása, másrészt az elfáklyázás túlzottan nagy károsanyag kibocsátása. A rothasztótornyok fűtése valamint az iszap és az elfolyó szennyvíz kezelése állandó hőterhelést biztosít.
- A viszonylag alacsony hőmérsékletszinten rendelkezésre álló termálvizek gázmotor – és esetenként hőszivattyú – alkalmazásával felhasználhatóvá tehető fűtési célokra.

Mikro-gázturbinás fűtőerőmű



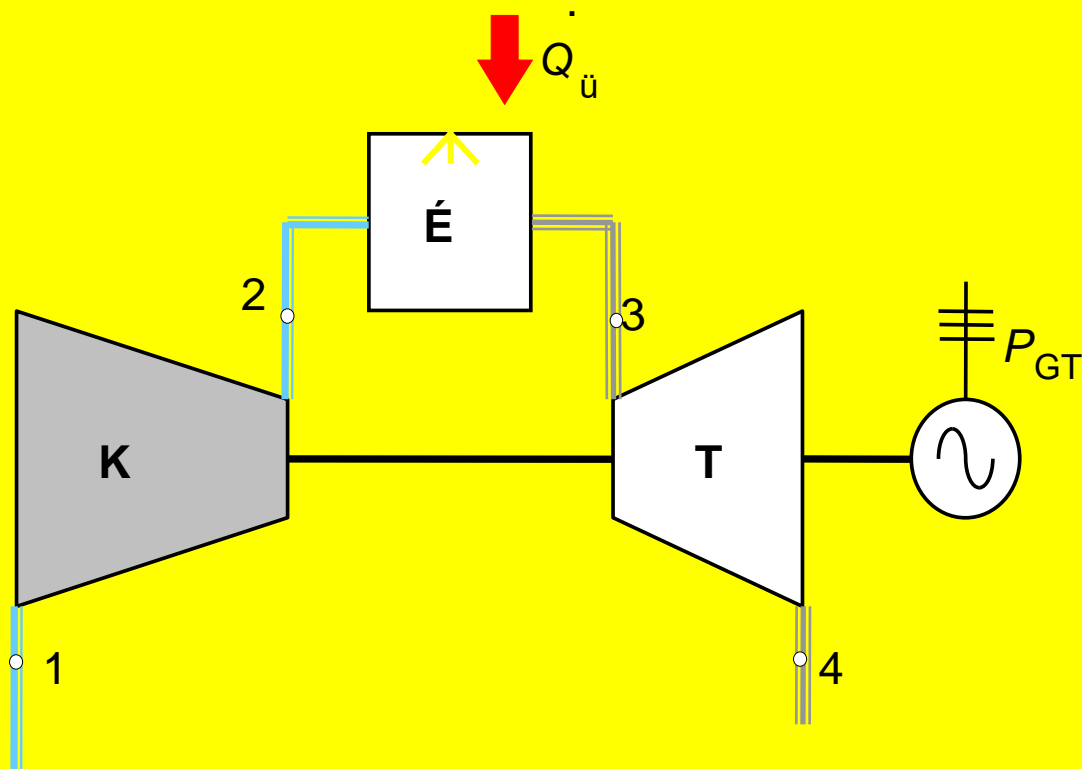
Kiserőművek elterjedtsége



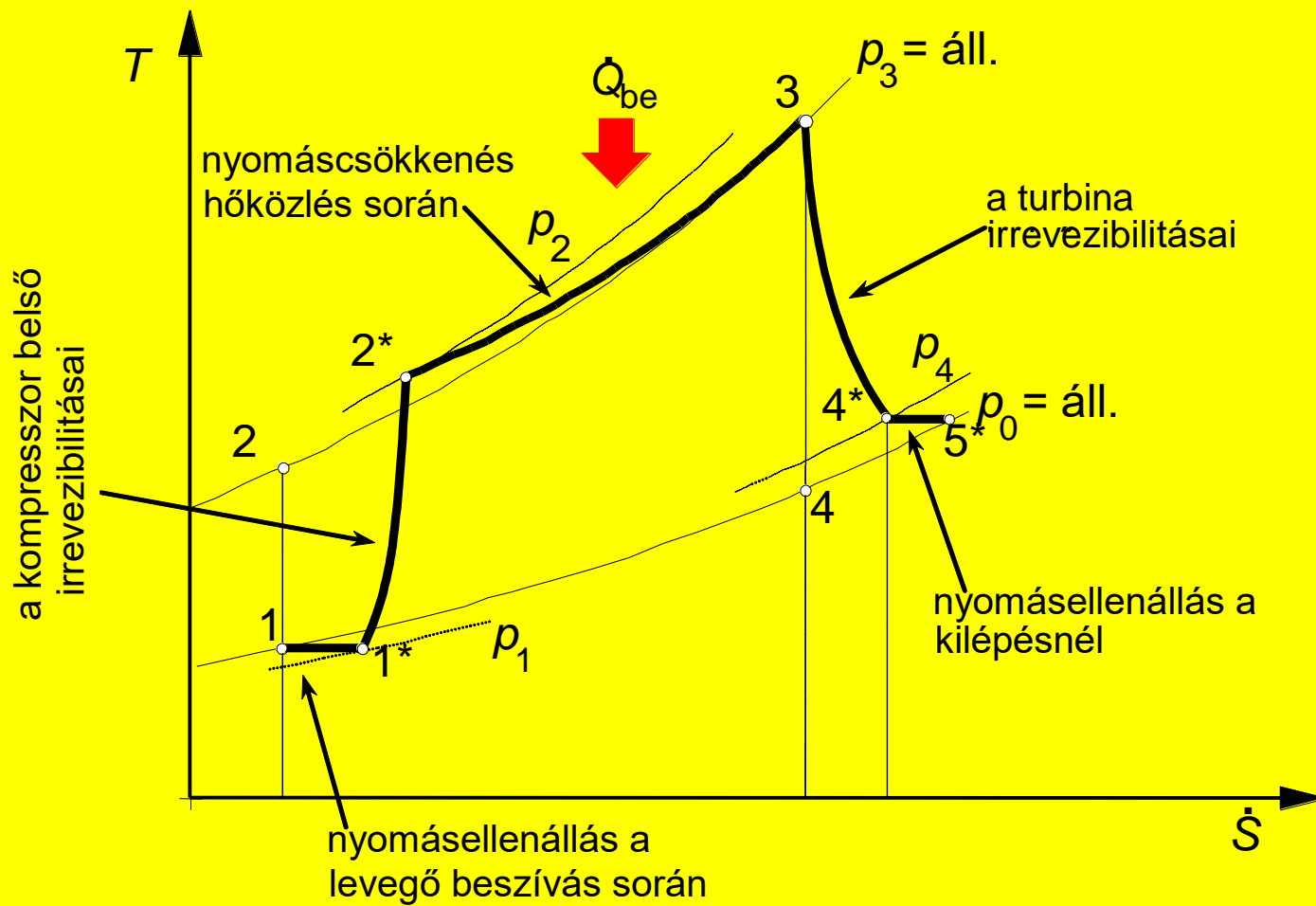
Összetett körfolyamatú energiaátalakítás

Gázturbinás energiaátalakítás

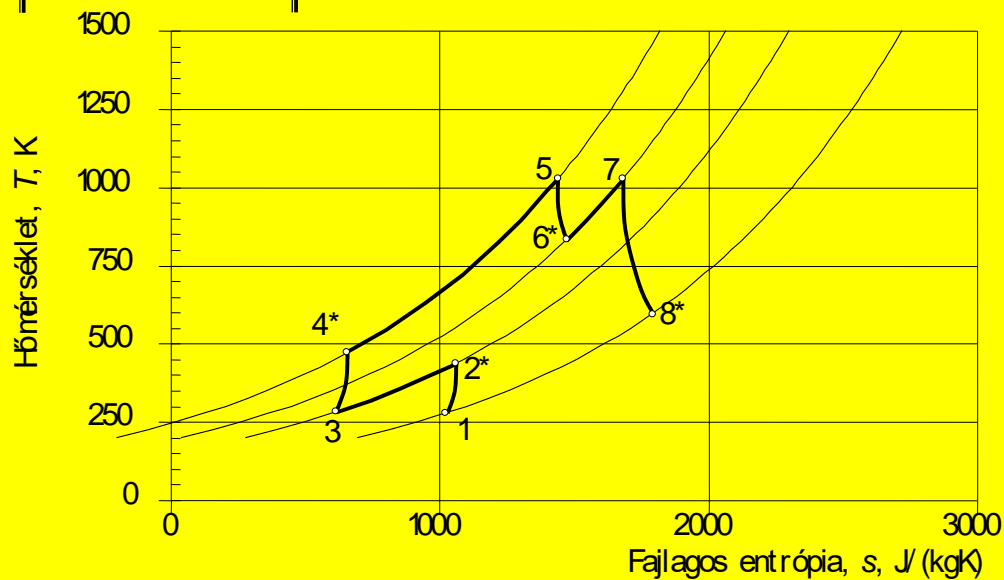
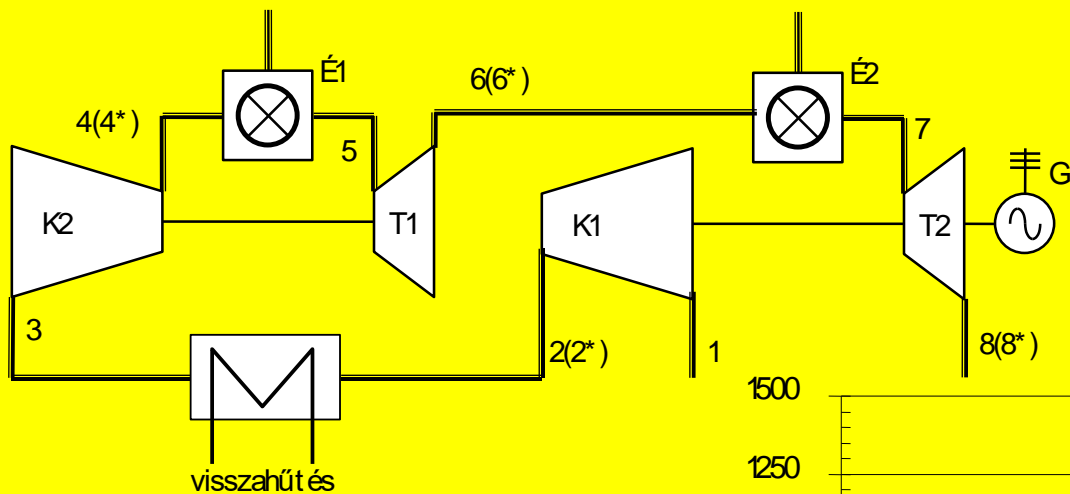
Nyíltciklusú gázturbinás erőmű



Gázturbinás energiaátalakítás

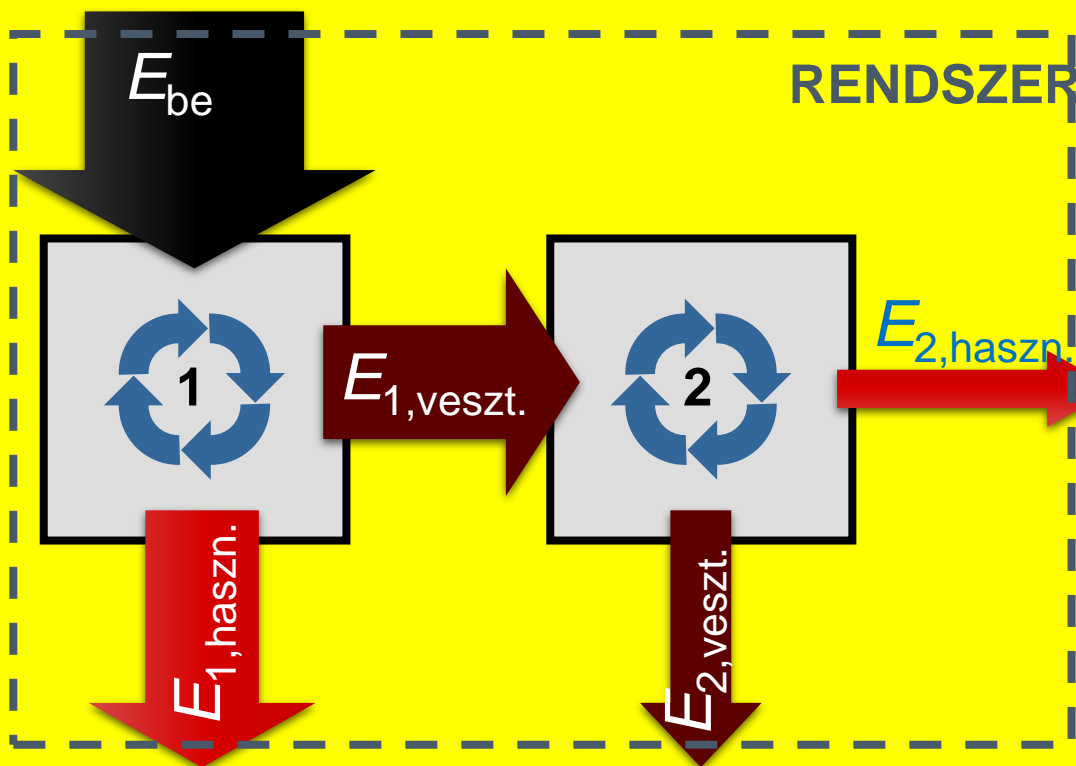


Gázturbinás energiaátalakítás



Kombinált technológiák (ciklusok)

Eltérő technológiák – azonos hasznos termék



$$E_{1,haszn.} = \eta_1 E_{be}$$

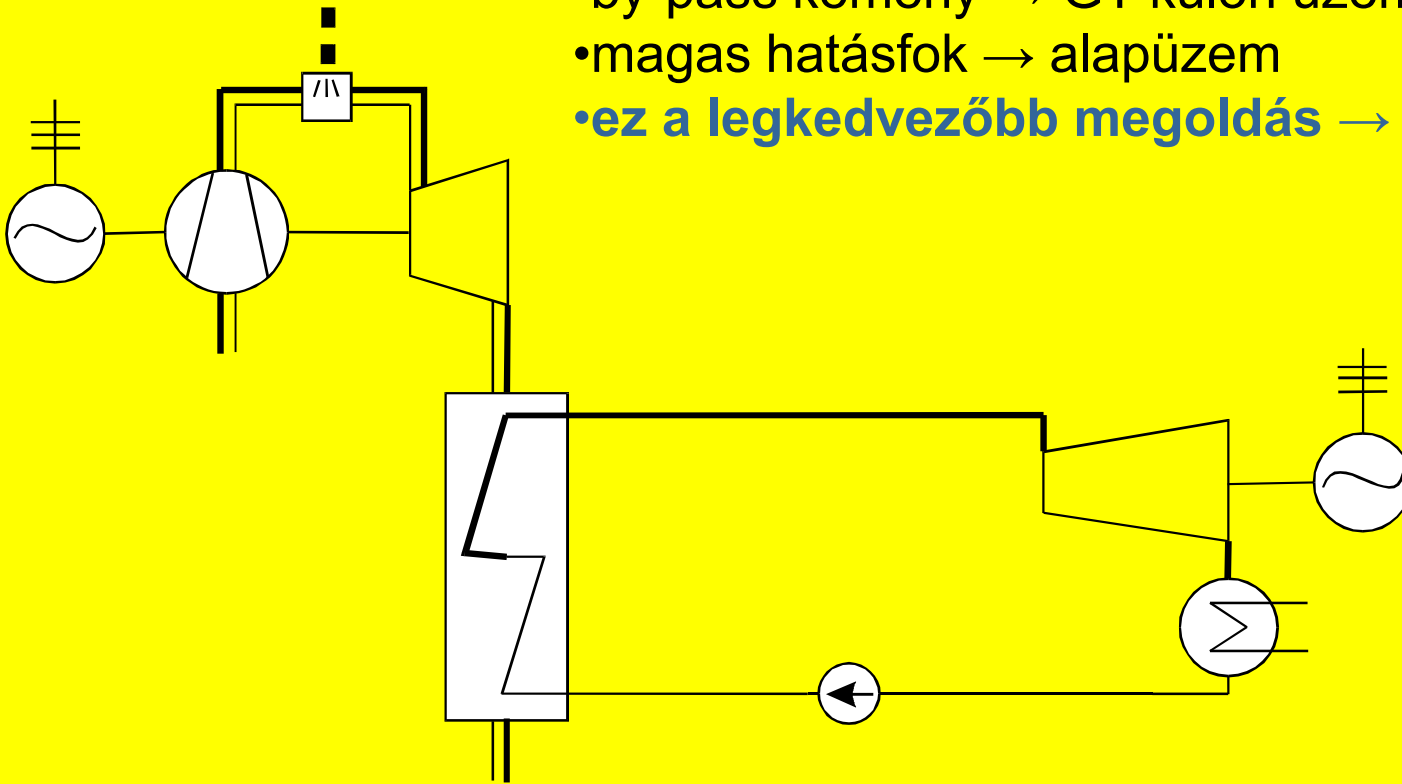
$$E_{2,haszn.} = \eta_2 E_{1,veszt.}$$

$$\eta_R = \frac{E_{1,haszn.} + E_{2,haszn.}}{E_{be}} = \eta_1 + (1 - \eta_1) \cdot \eta_2 = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \cdot \eta_2$$

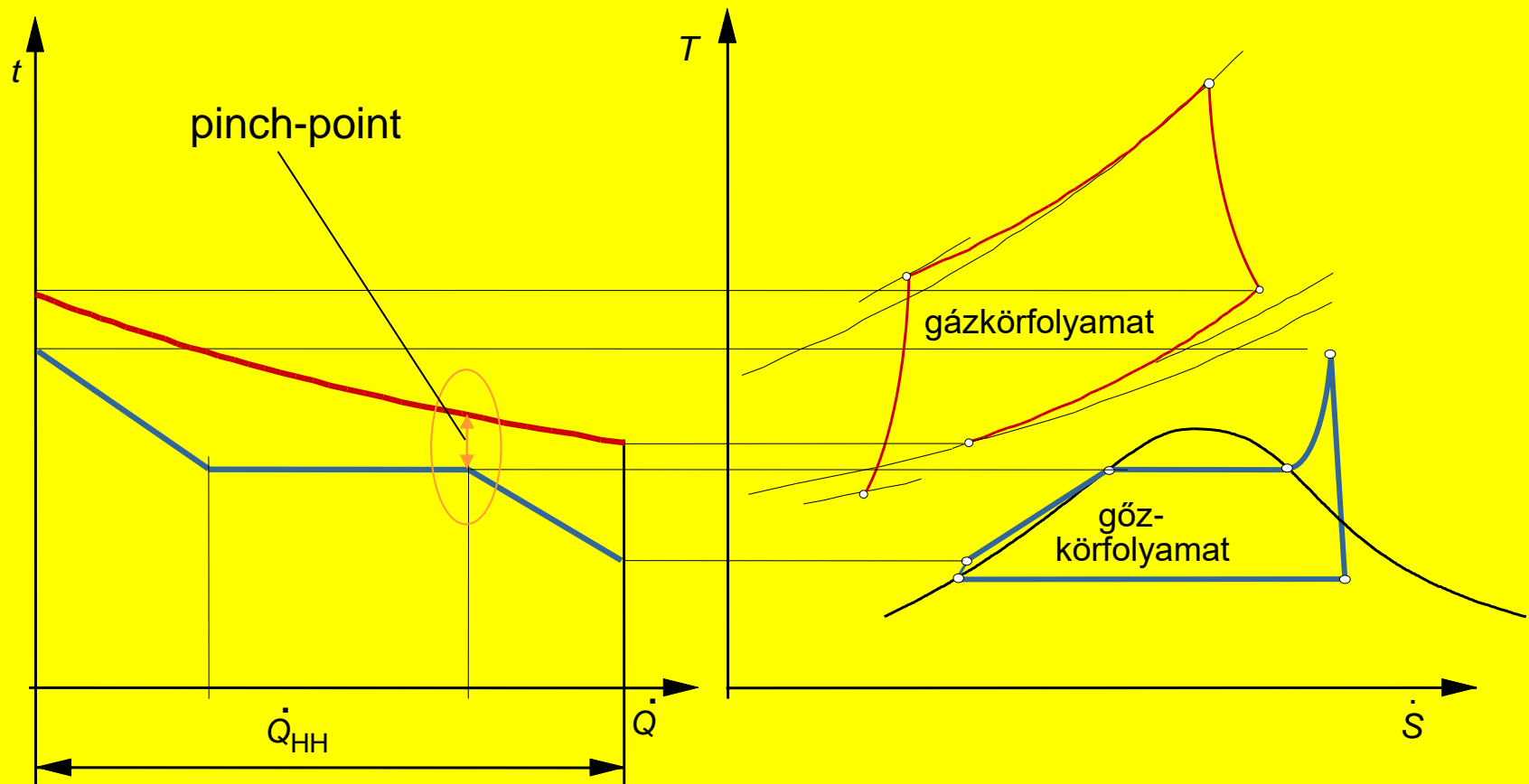
Összetett körfolyamatok

Kombináció utánkapcsolt gőzerőműben

- gőzfejlesztés (1, 2 vagy 3 nyomáson, +ÚH)
- by-pass kémény → GT külön üzemelhet
- magas hatásfok → alapüzem
- ez a legkedvezőbb megoldás → leggyakoribb

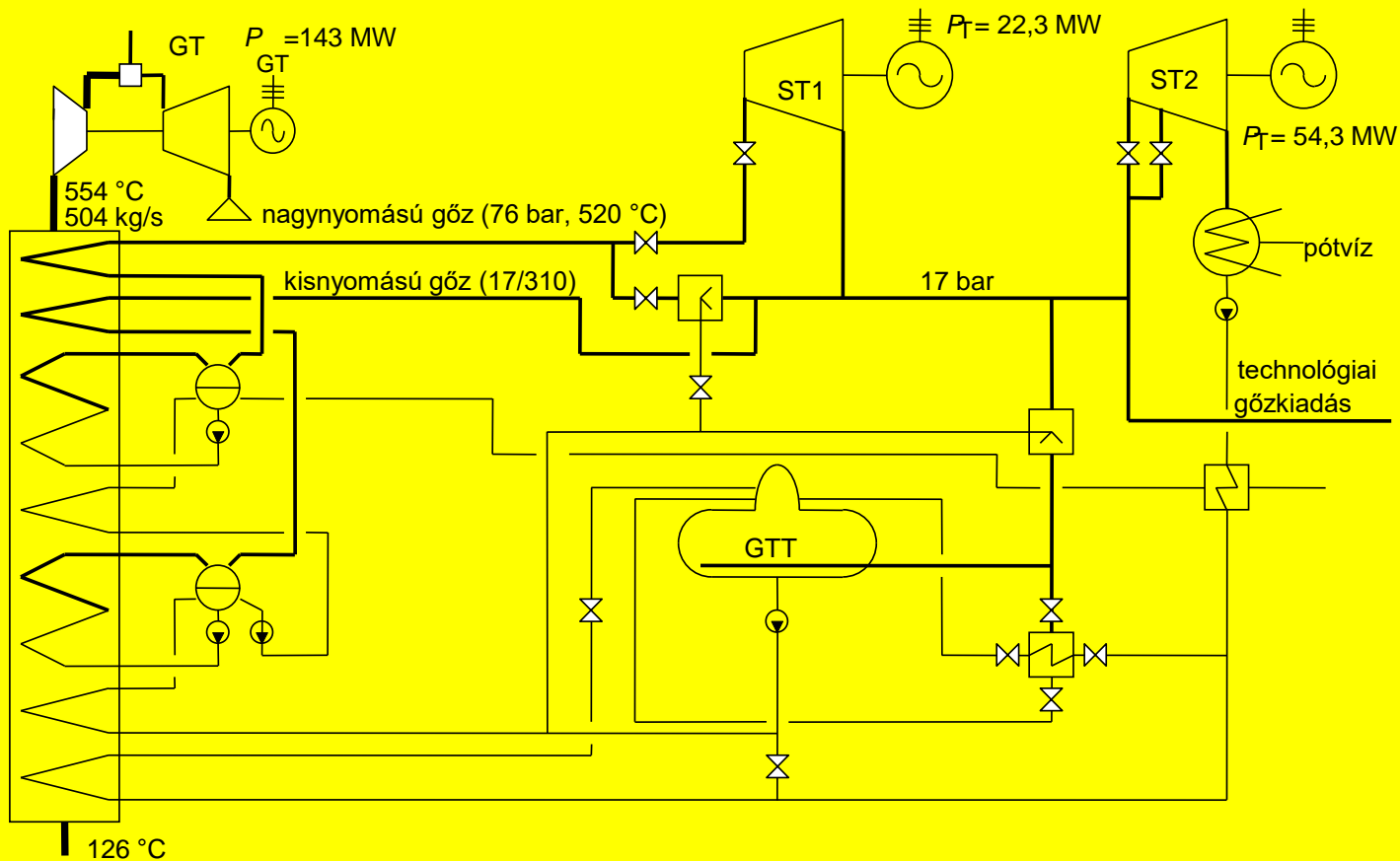


Utánkapcsolt gőzerőmű



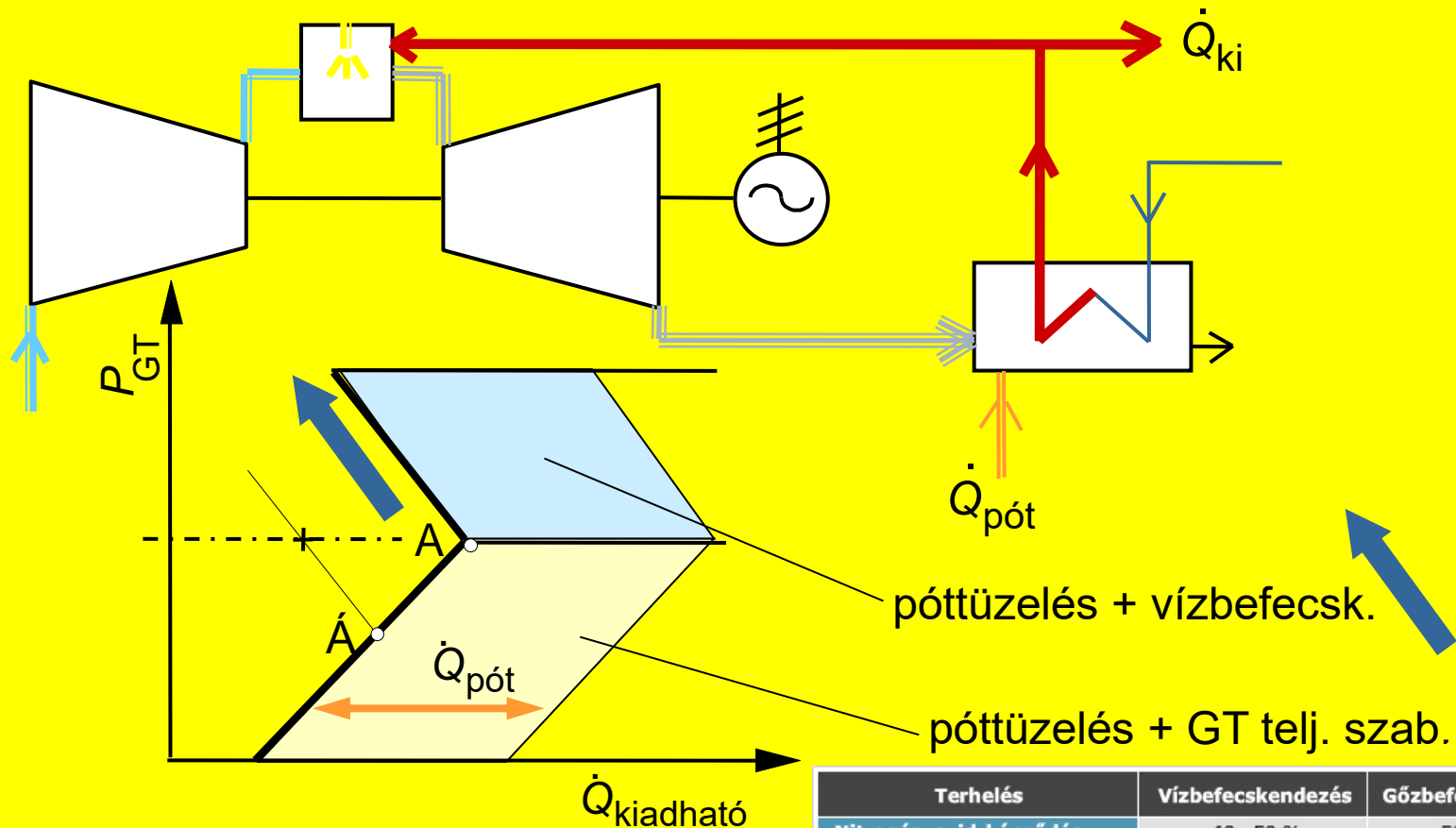
Utánkapcsolt gőzerőmű

Példa: Dunamenti G2 blokk



Gőzbefecskendezés a GT-ban

A Cheng-ciklus (steam injected gas turbine, STIG)



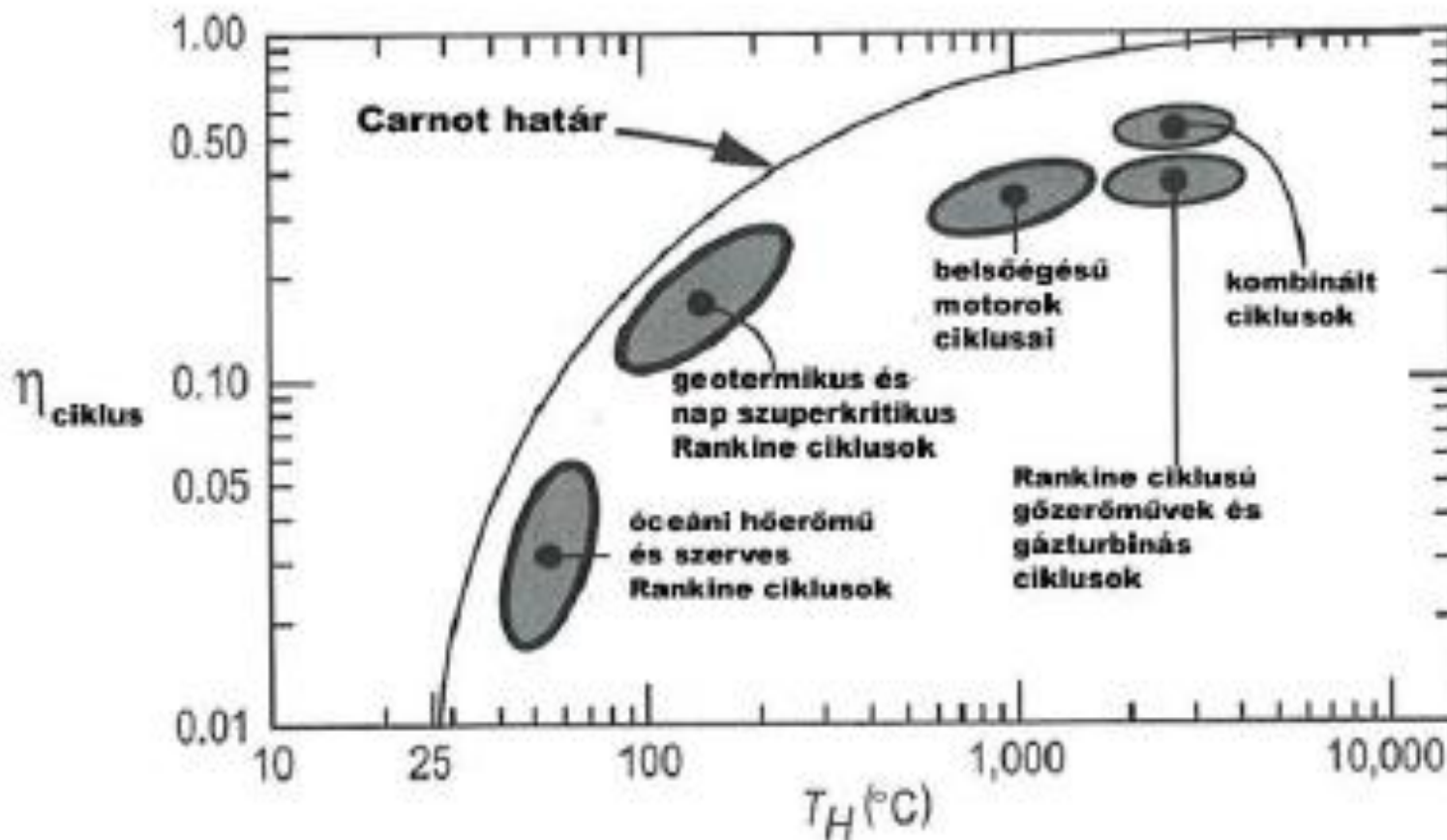
Terhelés	Vízbefecskendezés	Gőzbefecskendezés
Nitrogén-oxid-képződés	- 40...50 %	- 50...60 %
Teljesítmény	+ 4...4.5 %	+ 3,5...4 %
Hatásfok	- 1...2%	+ 1...2%
Turbina gázárama	~ 1,1 %	~ 1,03 %

Energetikai jellemzők

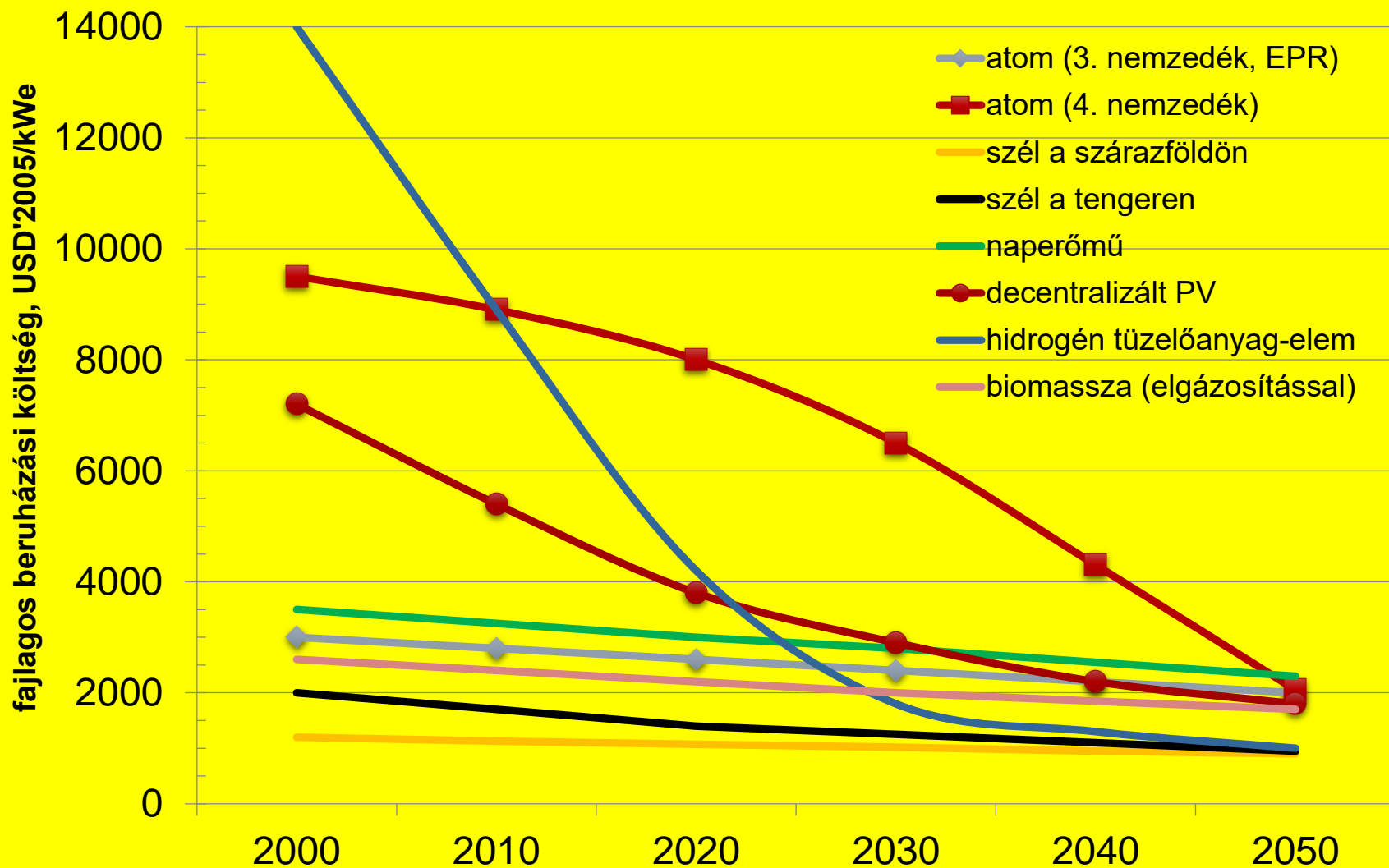
Conversion	Type	Efficiencies
Natural Gas Furnace	Chemical → Heat	90-96%
Internal combustion engine	Chemical → Mechanical	15-25%
Power Plant Boilers	Chemical → Heat	90-98%
Steam Turbines	Heat → Mechanical	40-45%
Electricity Generator	Mechanical → Electricity	98-99%
Gas Turbines	Chemical → Mechanical	35-40%
Hydro	Grav. Potential → Mechanical	60-90%
Geothermal	Thermal → Mech → Electricity	6-13%
Wind	Kinetic → Mech → Electricity	30-60%
Photovoltaic Cells	Radiation → Electricity	10-15%
Ocean Thermal	Thermal → Mech → Electricity	1-3%

	Villamos teljesítmény [MW]	Villamos hatásfok [%]	Termikus hatásfok [%]	Össz hatásfok [%]	Fajlagos kapcsolt vill. en. termelés [-]
Belsőégésű motorok					
gázmotorok	0,03-15	25-42	65-40	82-90	0,4-1
dizel motorok	2-25	38-45	40-35	75-85	0,9-1,3
Gázturbinák					
aeroderivatív	1-50	24-42	66-46	85-90	0,35-0,9
ipari	0,2-270	16-37	74-53	85-90	0,2-0,7
Gőzturbinák	0,5-150	24-28	45-60	75-85	0,4-0,5
Gáz/Gőz kombinált ciklus	5-300	35-55	30-45	80-85	0,7-1,2

Erőművi körfolyamatok hatásfoka



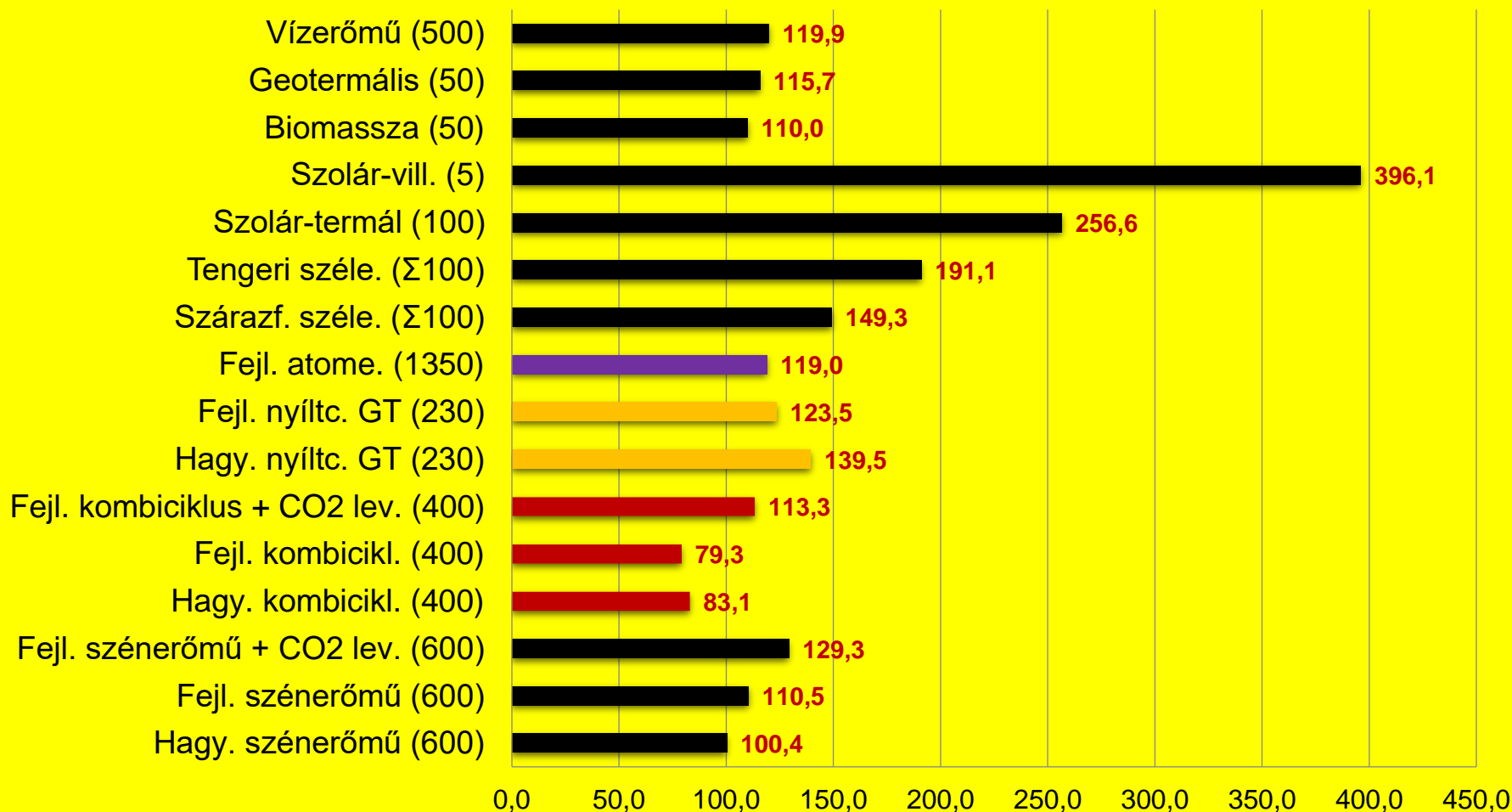
Fajlagos beruházási költségek



Villamos energia – költségek

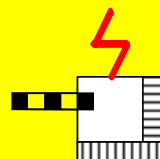
Villamosenergia egységköltség (USD₂₀₁₀/MWh) 2016-ban üzembe lépő új egységekre

Forrás: Business Insight (International Energy Administration (EIA))

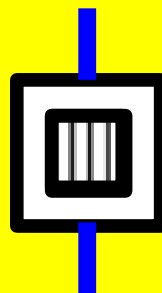
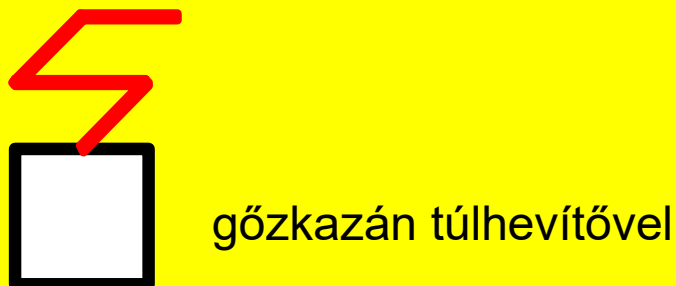


Technológiai jelölések

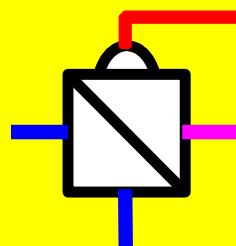
Hőforrások



gőzkazán túlhevítővel,
széntüzeléssel, levegő- és
tápvízelőmelegítő résszel



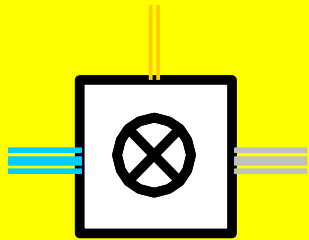
nyomottvízes atomreaktor



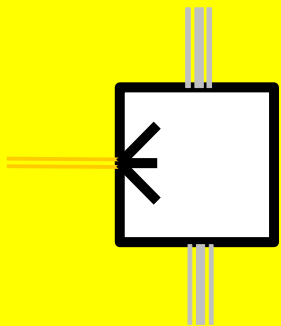
atomerőművi gőzfejlesztő

Technológiai jelölések

Hőforrások

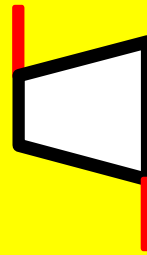


gázturbina
égőkamra

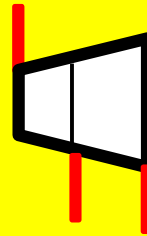


póttüzelés
gázciklusban

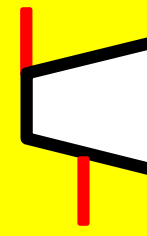
Expanziós és kompressziós gépek



gőzturbina



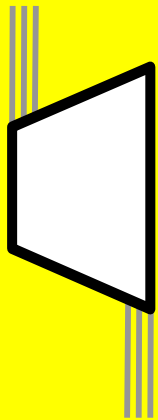
gőzturbina szabályozott elvétellel



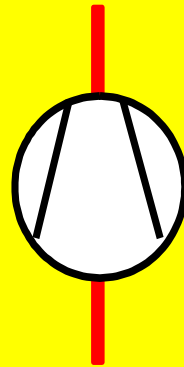
gőzturbina szabályozatlan elvétellel

Technológiai jelölések

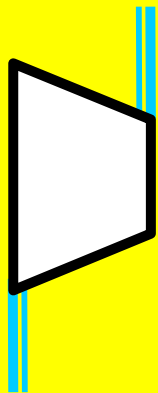
Expanziós és kompressziós gépek



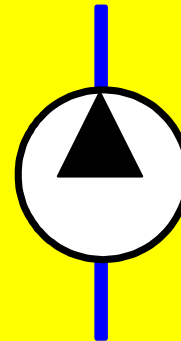
gázturbina



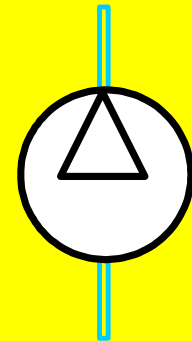
gőzkompresszor



gázkompresszor



szivattyú



ventilátor

Technológiai jelölések

Hőcserélők

