

# ***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

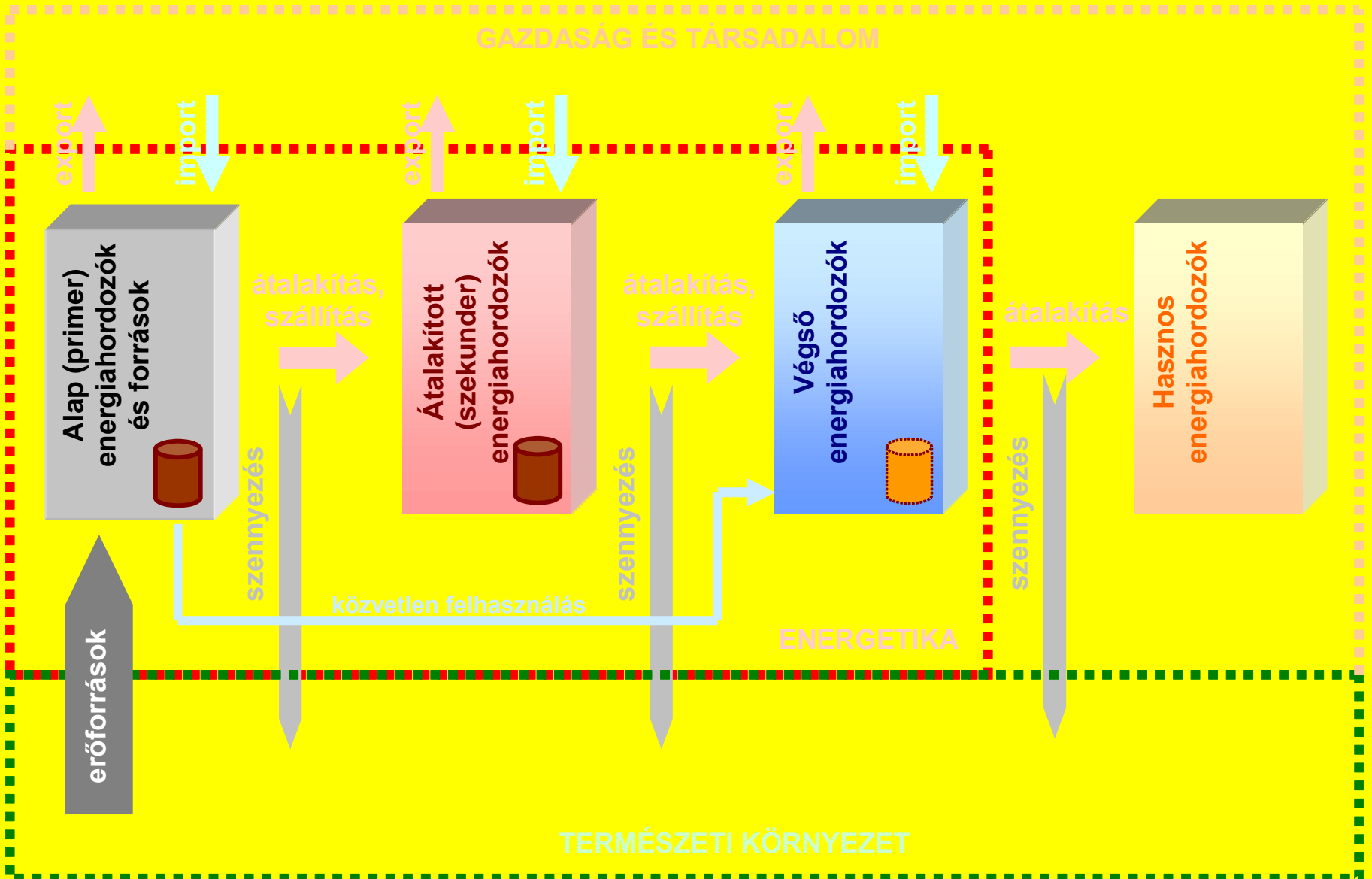
- Olaj → benzin, dízel, kerozin → hő → mechanikai
- Villamosenergia (akkumulátor) → mechanikai
- Biomassza → etanol, gáz → mechanikai
- Üzemanyag cellák: gáz → hidrogén → elektromos → mechanikai

# Energiaátalakítás

## Az energiaátalakítás korlátai

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

# Energiaátalakítási lánc



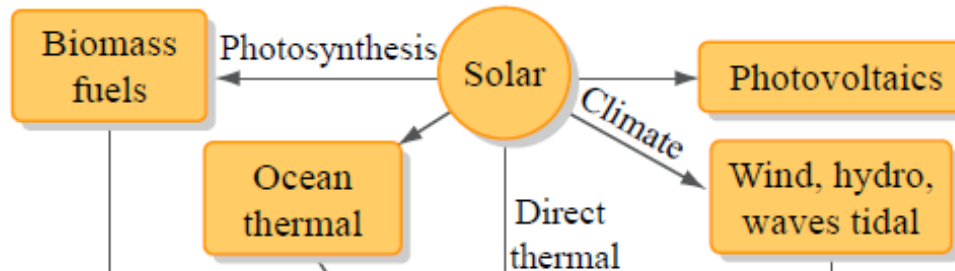
# Lehetőségek

	Mechanikai	Hő	Villamos	Sugárzás	Kémiai	Nukleáris
M	egyszerű gépek, hajtások	súrlódás	generátorok, mikrofon	tribo- és kristallo-szonolumineszcencia	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

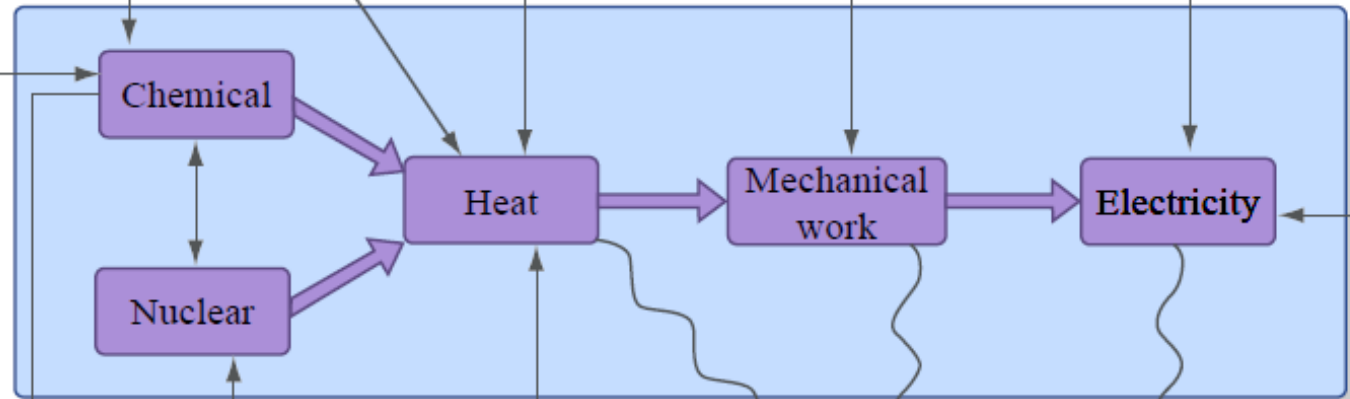
	Mechanikai	Hő	Villamos	Sugárzás	Kémiai	Nukleáris
Mechanikai	egyszerű gépek, hajtások hidraulikus gépek, vízturbina	súrlódás	generátorok, mikrofon	tribo- és kristallozsonolumineszcencia	mechano-kémiai jelenségek	részecskegyorsító
Hő	hőerőgépek	abszorpciós hűtőgép	hőelem	hősugárzás, izzólámpa	endoterm 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

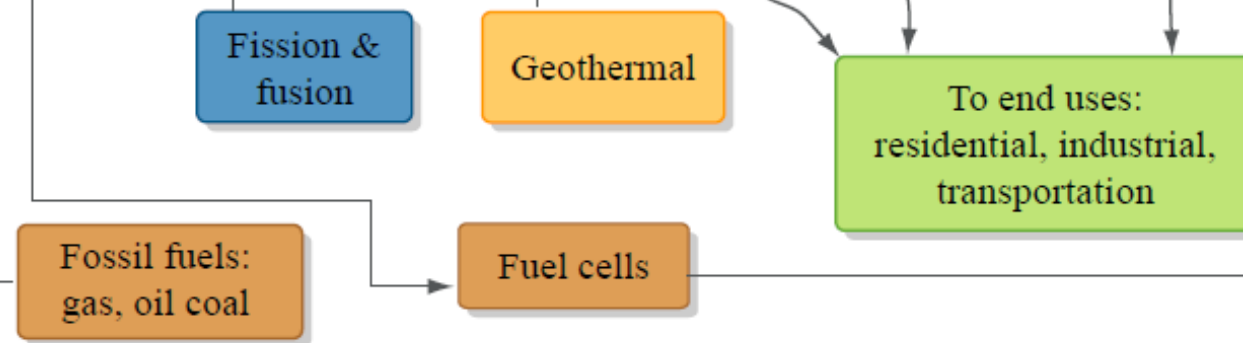
Sources



Energy Forms

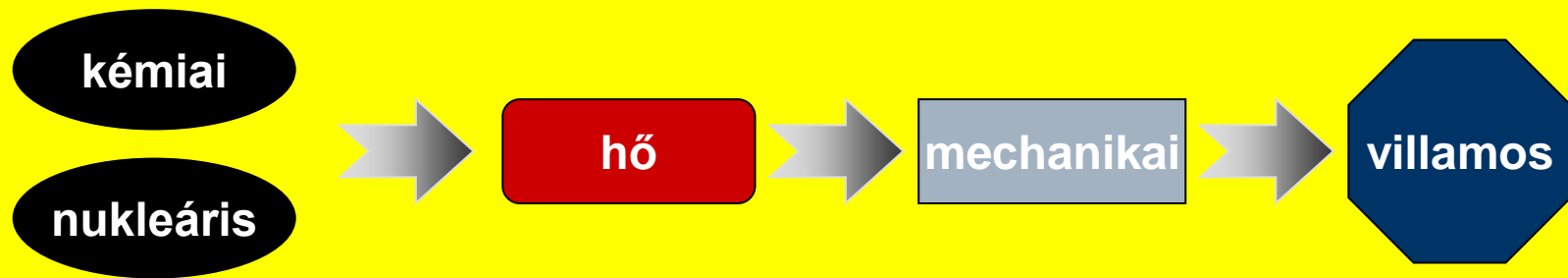


Sources



# Fontosabb energiaátalakítások

A tipikus (erőművi) energiaátalakítási lánc

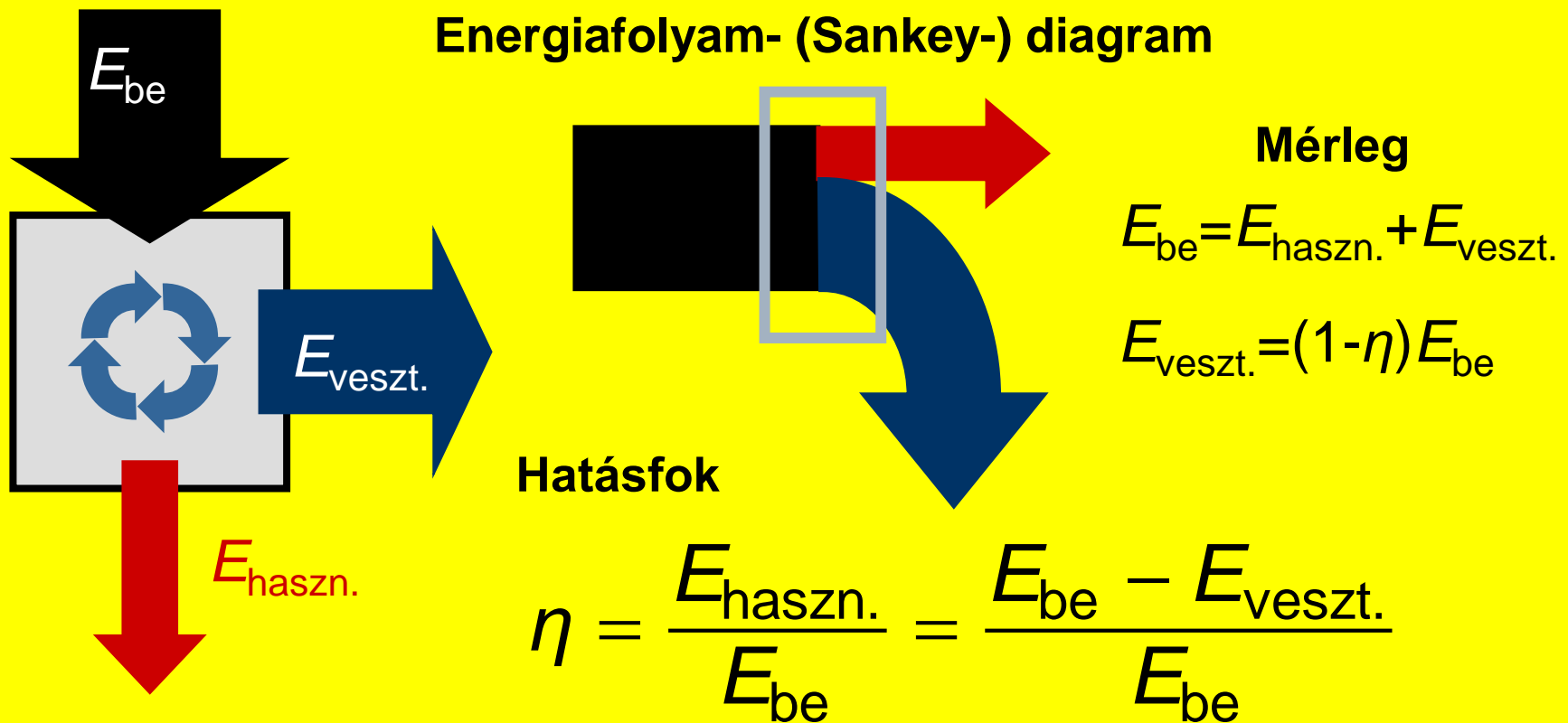


- Hőfejlesztés → hőforrások, atomreaktor
- Mechanikai munka → erőgépek
- Villamos munka → áramforrások



# Az energiaátalakítás jellemzése

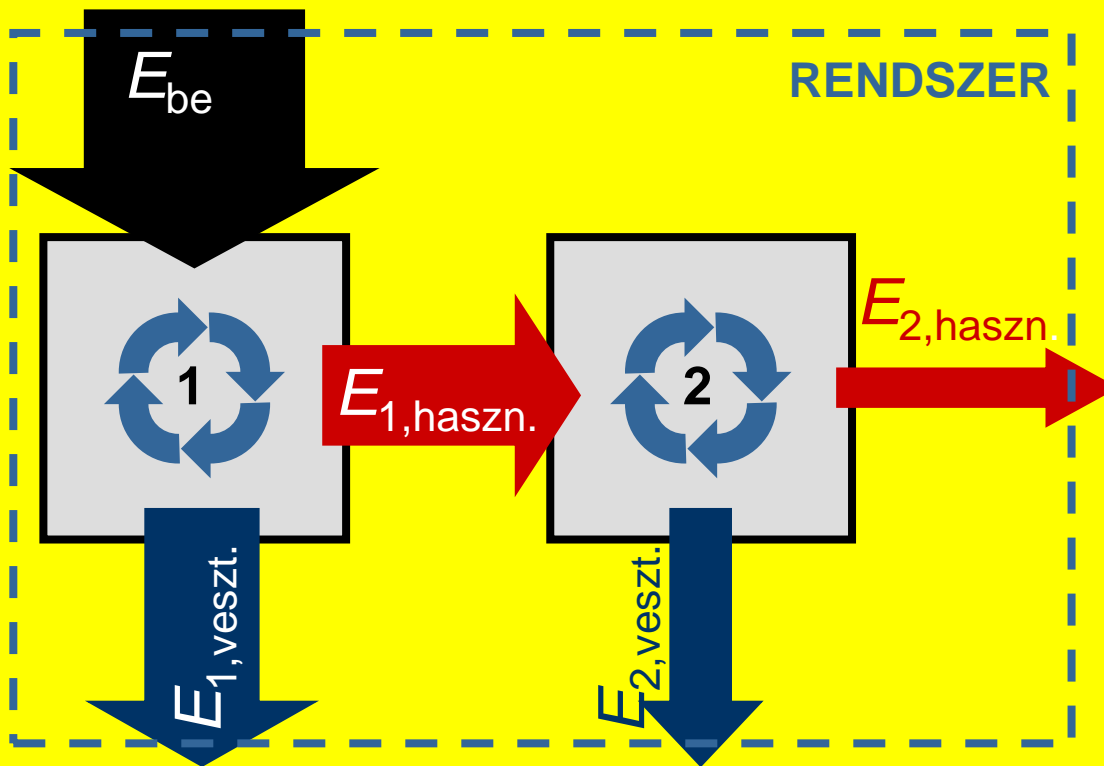
Mennyiségi értékelés (I. főtétel): hatásfok



**Közvetlen energiaátalakítás (energiatermelés)**

# Többszörös energiaátalakítás

Sorbakapcsolt elemek rendszere



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

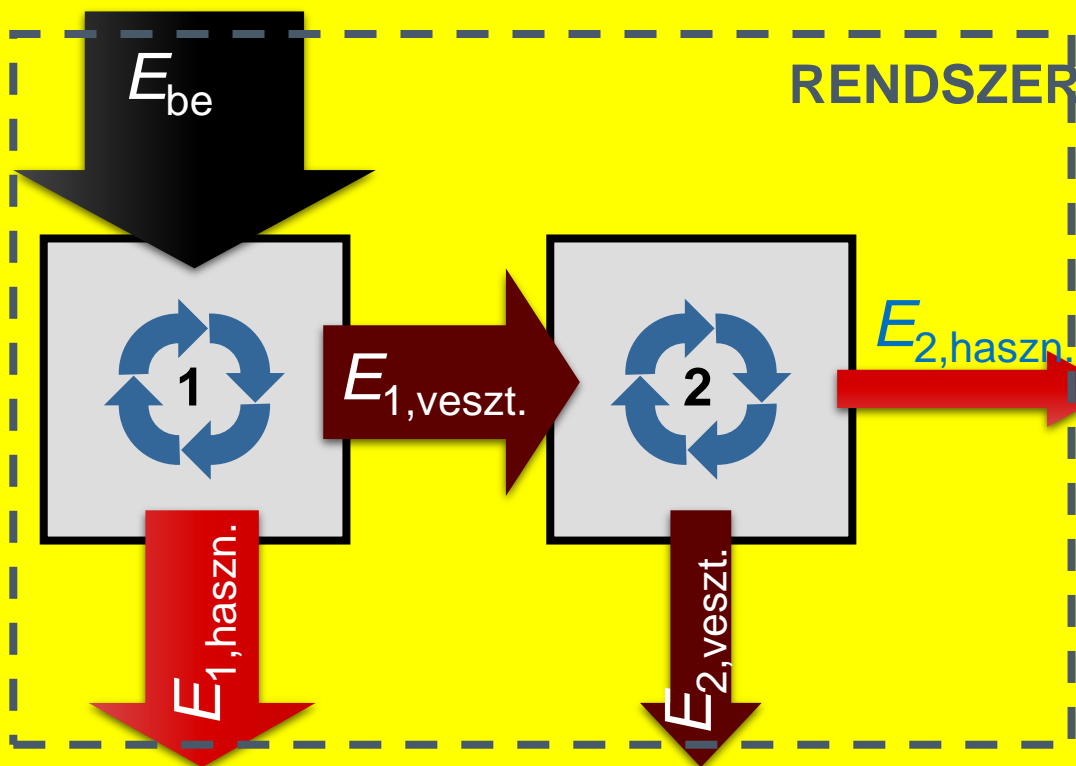
$$E_{2,haszn.} = \eta_2 E_{1,haszn.}$$

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

$$\eta_R = \prod \eta_i$$

# 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
- fogyasztókhoz 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.)

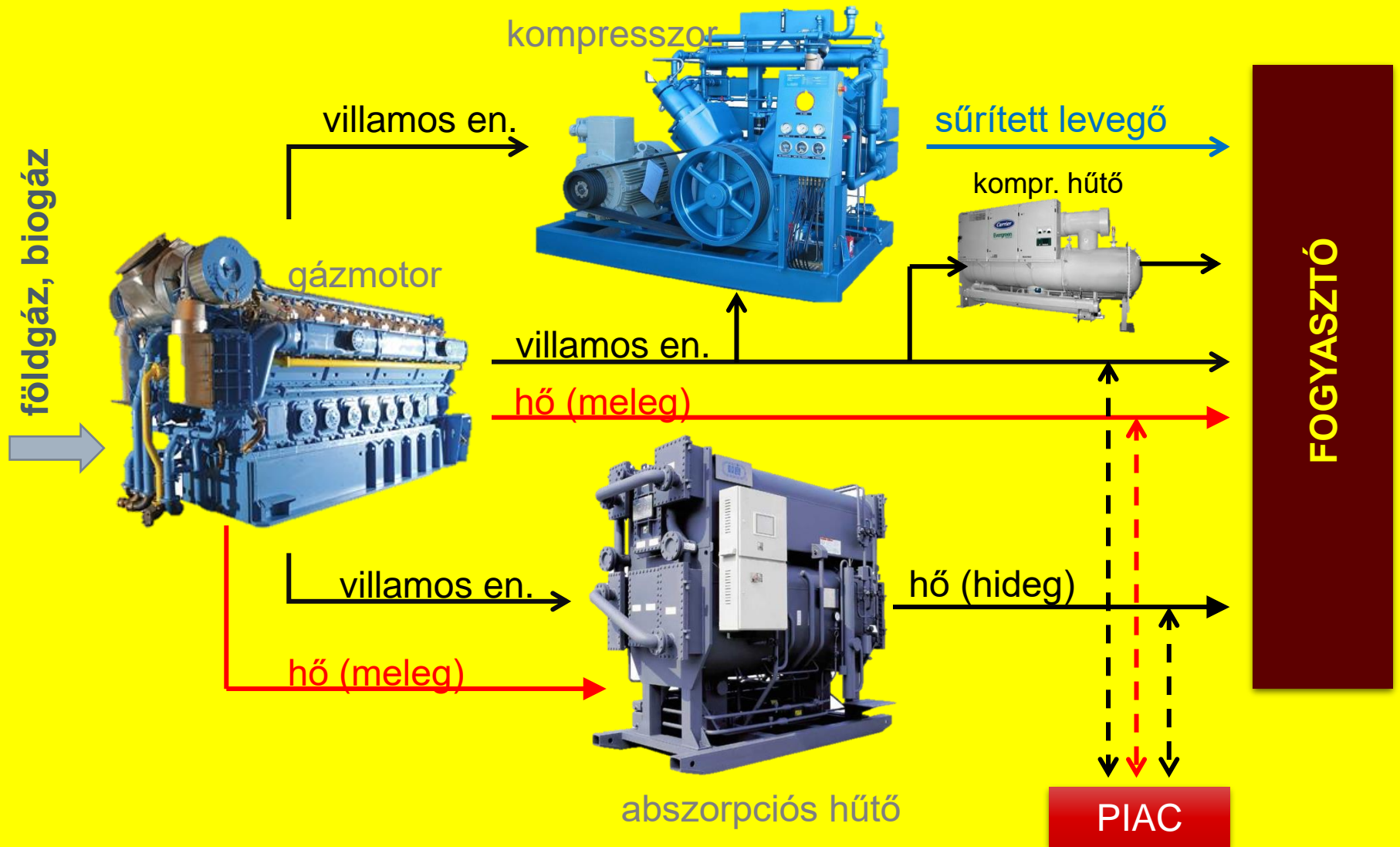
### Szoláris rendszerek

- 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 <sub>2</sub> hasznosítás	Bioetanol, Biodízel	Fotovoltai-kus, termikus
<b>Kimenet 1</b>	Hő (meleg)	Hő (meleg)	Hő (meleg)	Hő (meleg)	Hő (meleg)	Hő	Hő (meleg)
<b>Kimenet 2</b>	Hő (hideg)	Hő (hideg)	Villamos energia	Villamos energia	Villamos energia	Üzemanyag	Hő (hideg)
<b>Kimenet 3</b>	Villamos energia	Gáz (metán, hidrogén)	Biogáz (metán)	Édesvíz	Haszon-növények	Villamos energia	Villamos energia
<b>Kimenet 4</b>	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

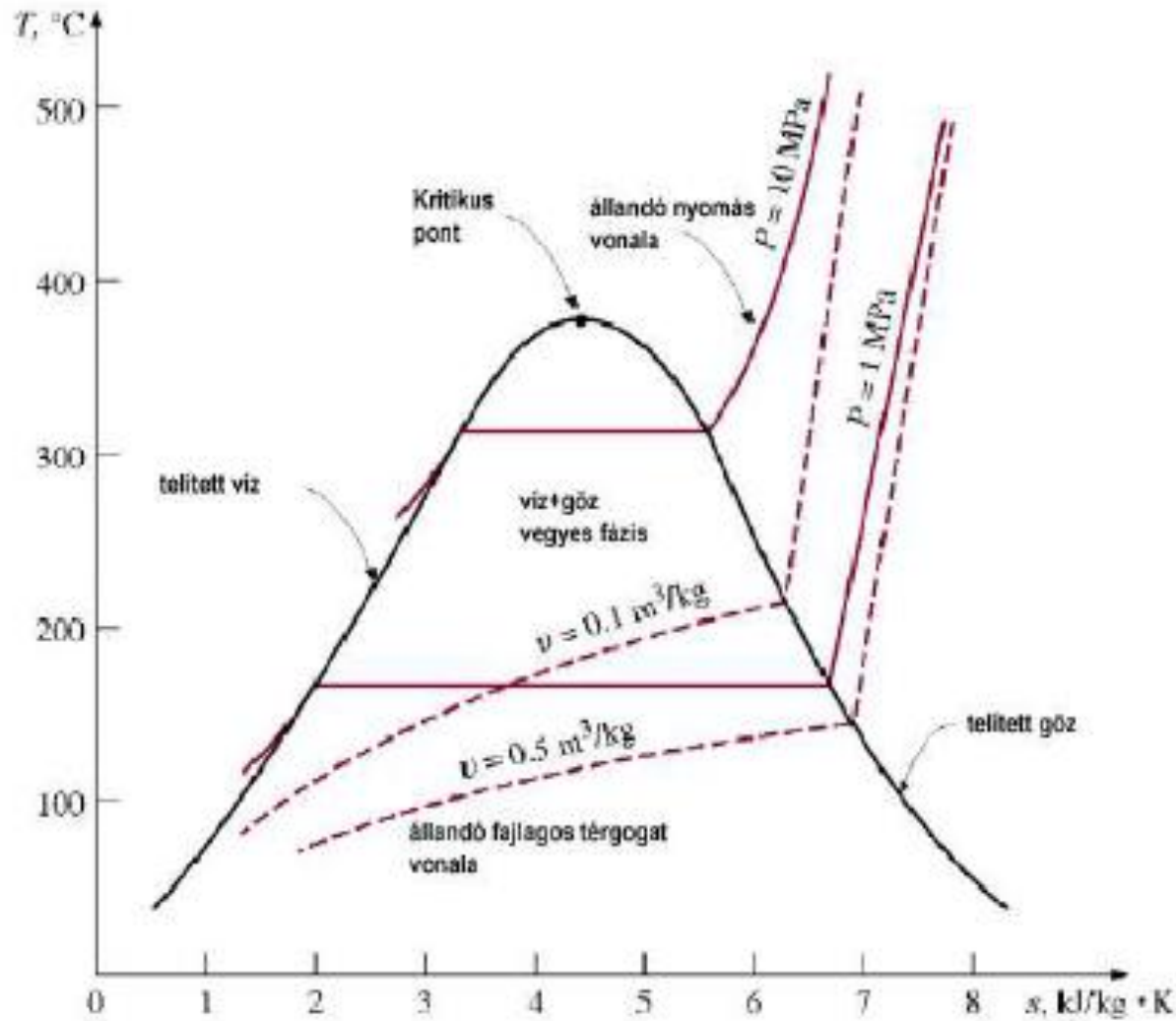
- változó hőigény (25..110%);
- harmatpont elkerülése (olaj-, széntüzelés);
- részterhelésen jobb hatásfok;
- minimális belépő víz hőmérséklet;
- minimális tömegáram.

# Erőművek

## Lehetőségek

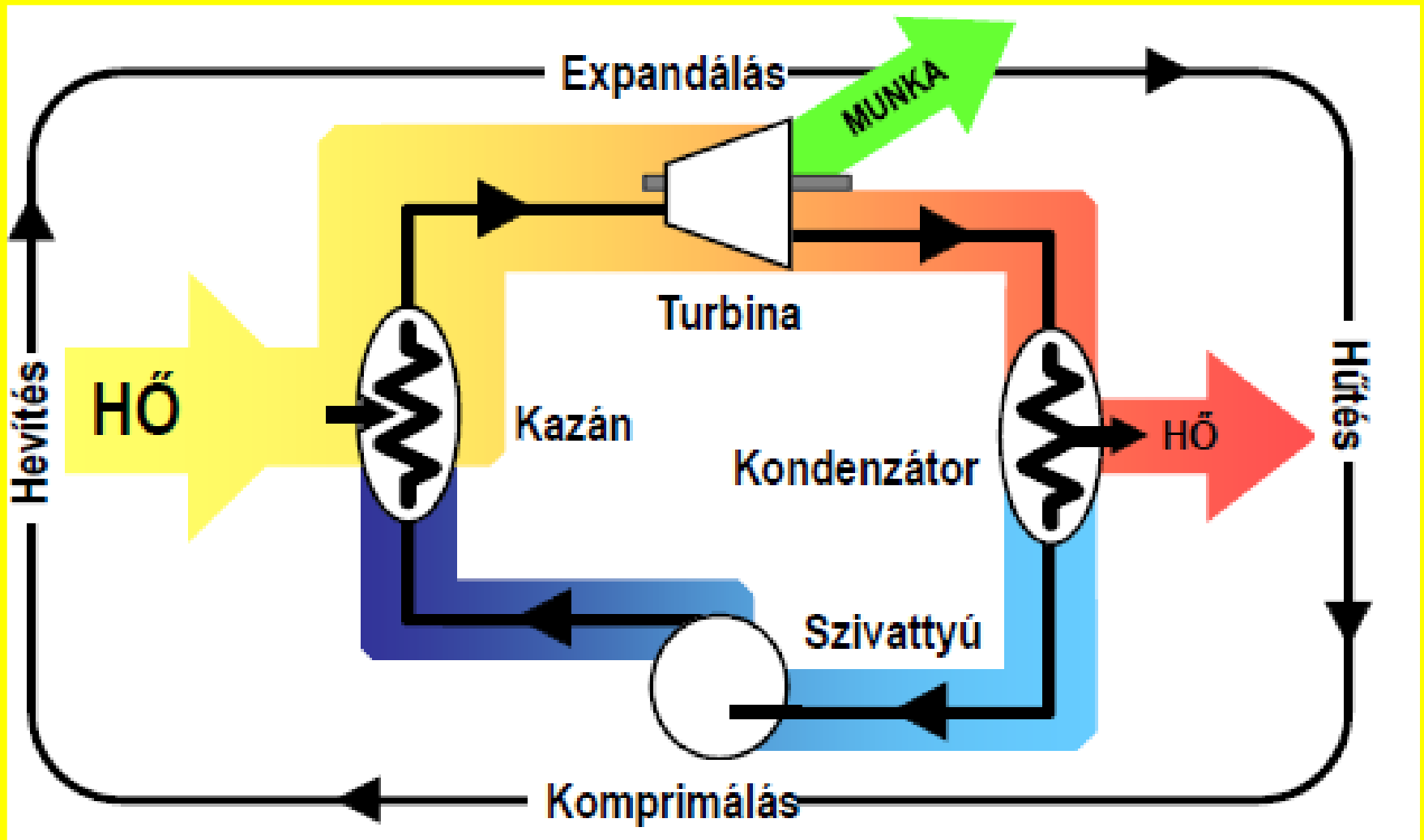
- hagyományos (fosszilis) tüzelőanyagú kondenzációs gőzerőművek;
- kondenzációs atomerőművek;
- gáz munkaközegű atomerőművek;
- nyílt ciklusú gázturbinás erőművek.

# A víz T-s diagramja

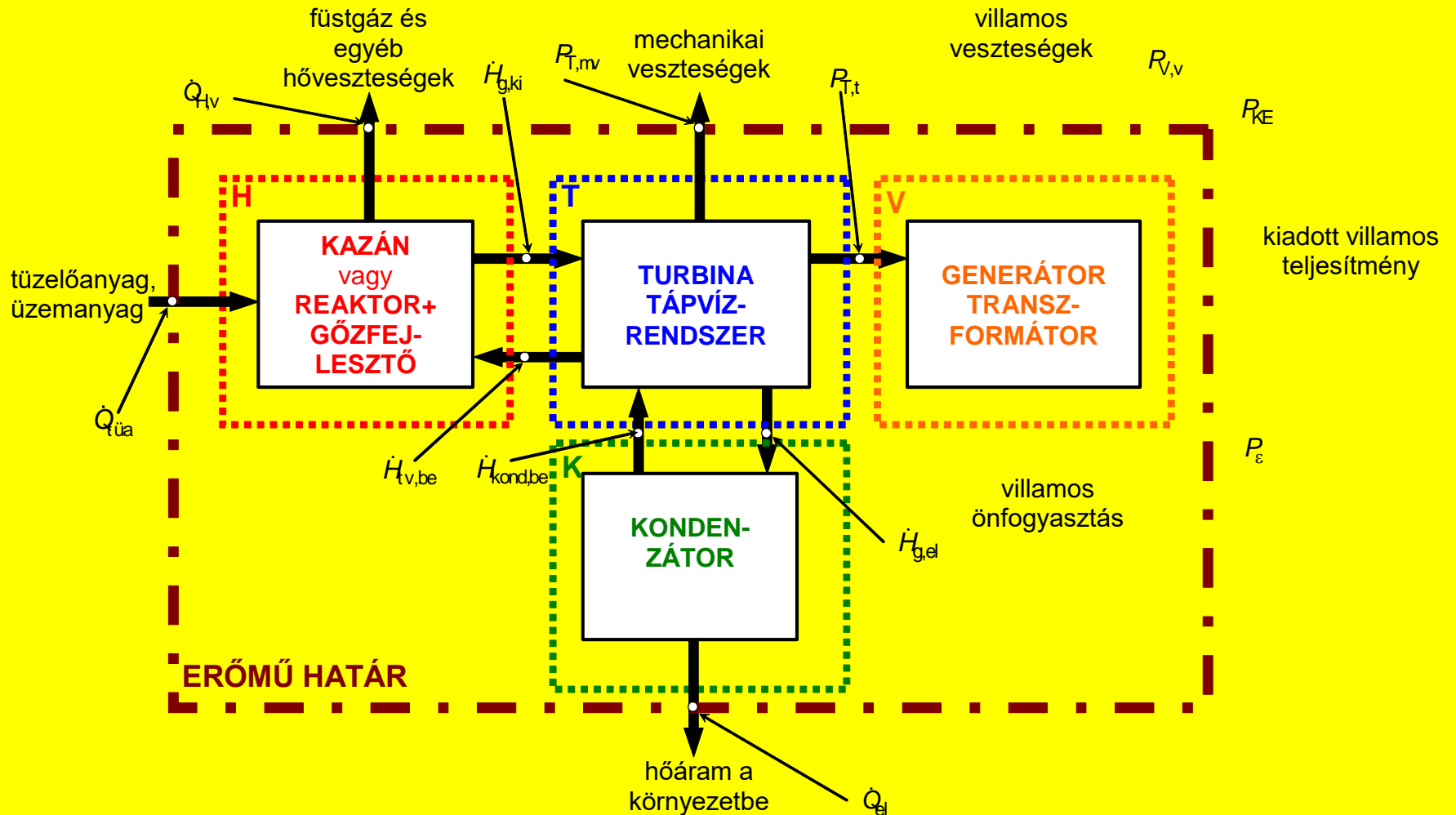




# Hagyományos erőművi körfolyamat



# Rendszerelví leírás



# Gőzerőművi technológia

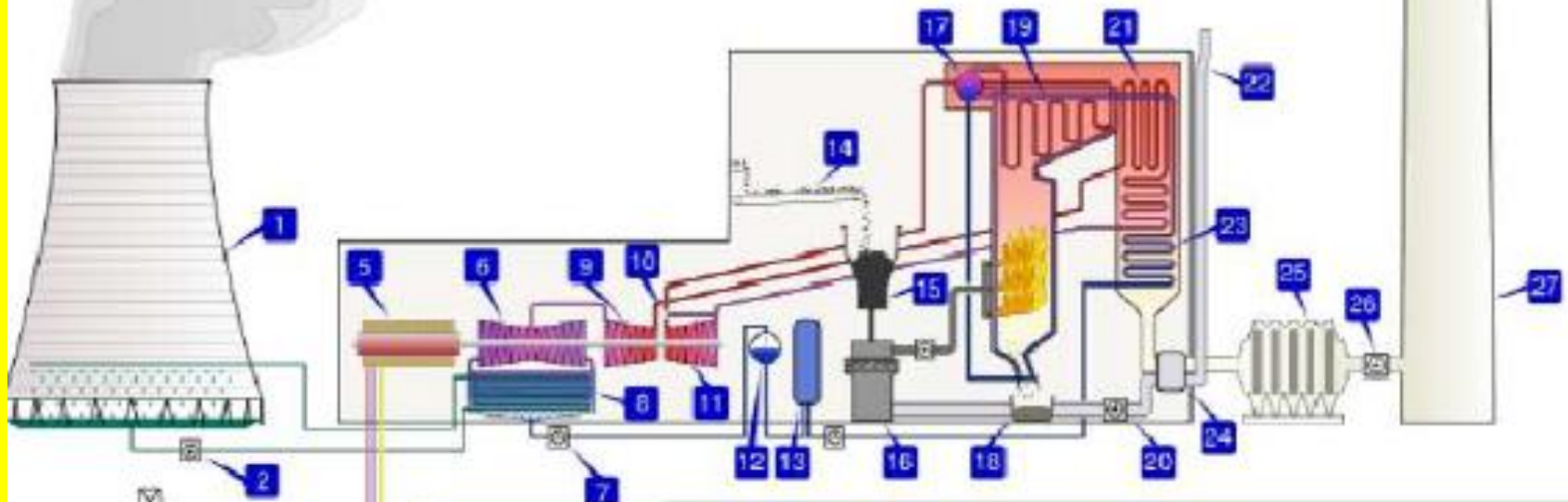
Gőznyomás szerint ( $p_{\text{krit}}=220,6$  bar)

- 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.

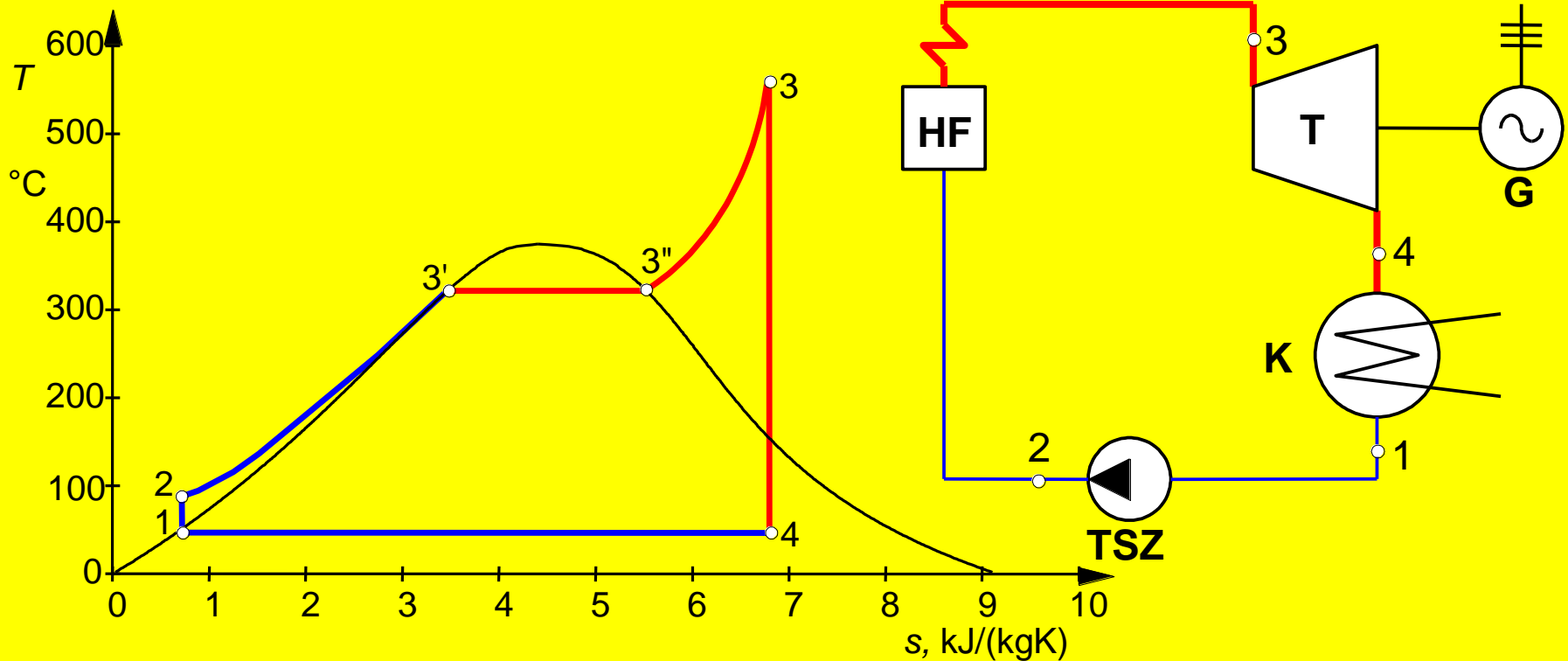
500 Mw<sub>e</sub> telejsítményű szénérőmű  
 250 t szén óránként  
 8000 óra üzemidő mellett  
 2.000.000 t szén



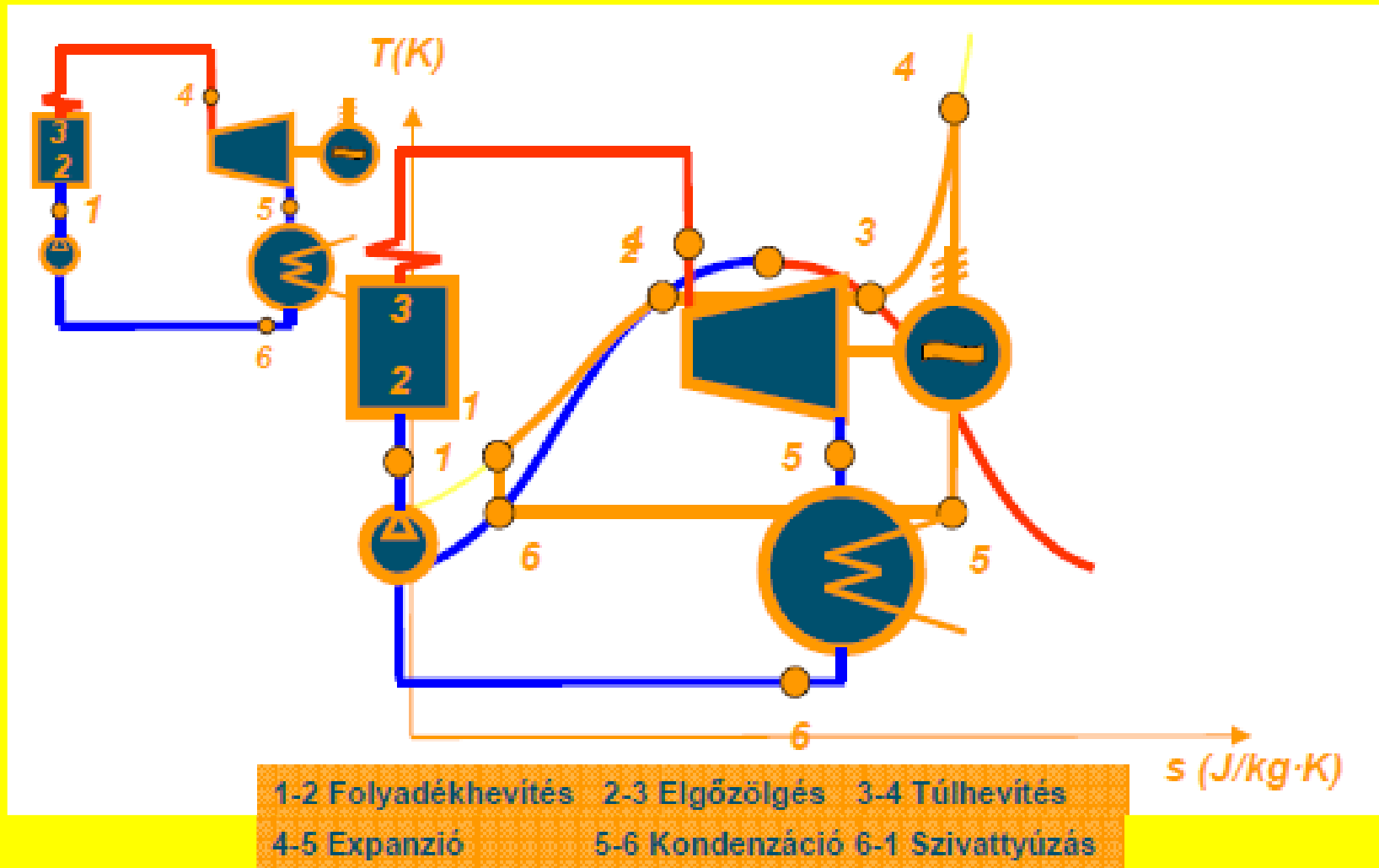
- |                       |                          |                     |                           |
|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1. hűtőtorony         | 8. kondenzátor           | 15. szénhombar      | 22. légbeszívás           |
| 2. hűtővíz szivattyú  | 9. közepes nyom. turbina | 16. szénőrítő malom | 23. tápvíz regen. előmel. |
| 3. távvezeték oszlop  | 10. gőzelevezető         | 17. kazándob        | 24. levegő előmelegítő    |
| 4. transzformátor     | 11. nagy nyom. turbina   | 18. salaktároló     | 25. légszűrő              |
| 5. generátor          | 12. gáztalanító          | 19. túlhevítő       | 26. szívó ventilátor      |
| 6. kisnyomású turbina | 13. tápvíz előmelegítő   | 20. léglúvó         | 27. kémény                |
| 7. kazán tápvíz sziv. | 14. szén futószalag      | 21. újrahevítő      |                           |

# Kondenzációs gőzerőmű

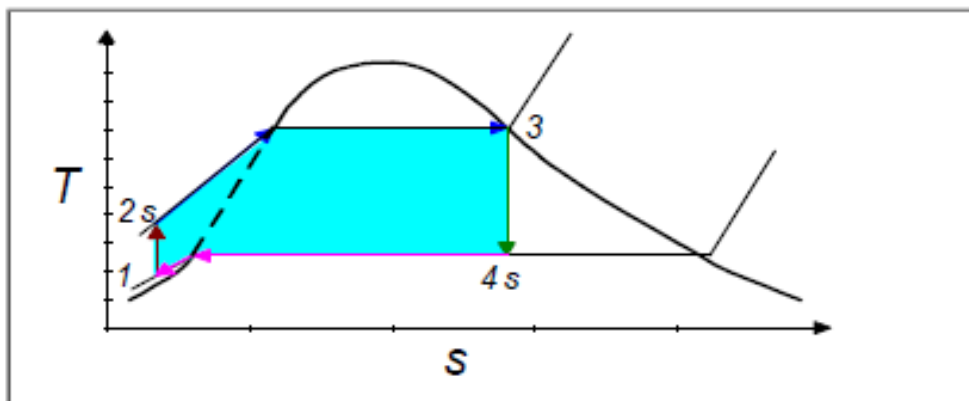
Villamos erőmű (egy termék: villamos energia)



# Rankie-Clausius körfolyamat

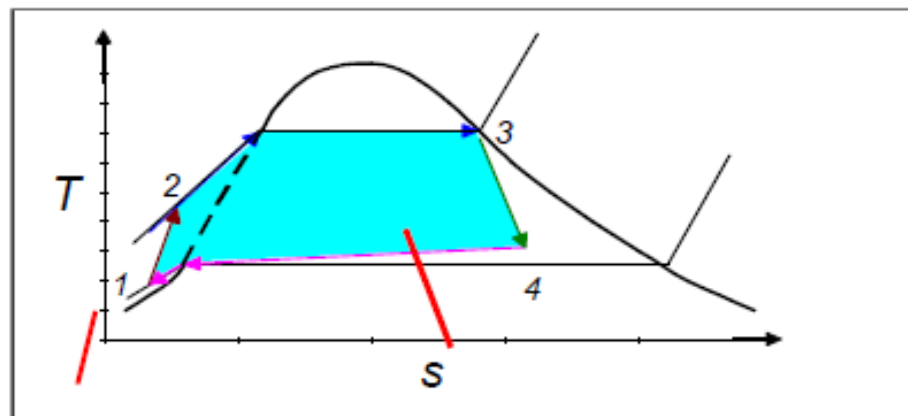


- 1-2 reverzibilis adiabatikus szivattyúzás
- 2-3 hevítés állandó nyomáson (részben izoterm)
- 3-4 reverzibilis adiabatikus expanzió
- 4-1 hűtés állandó nyomáson (részben izoterm)



# Irreverzibilitások

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

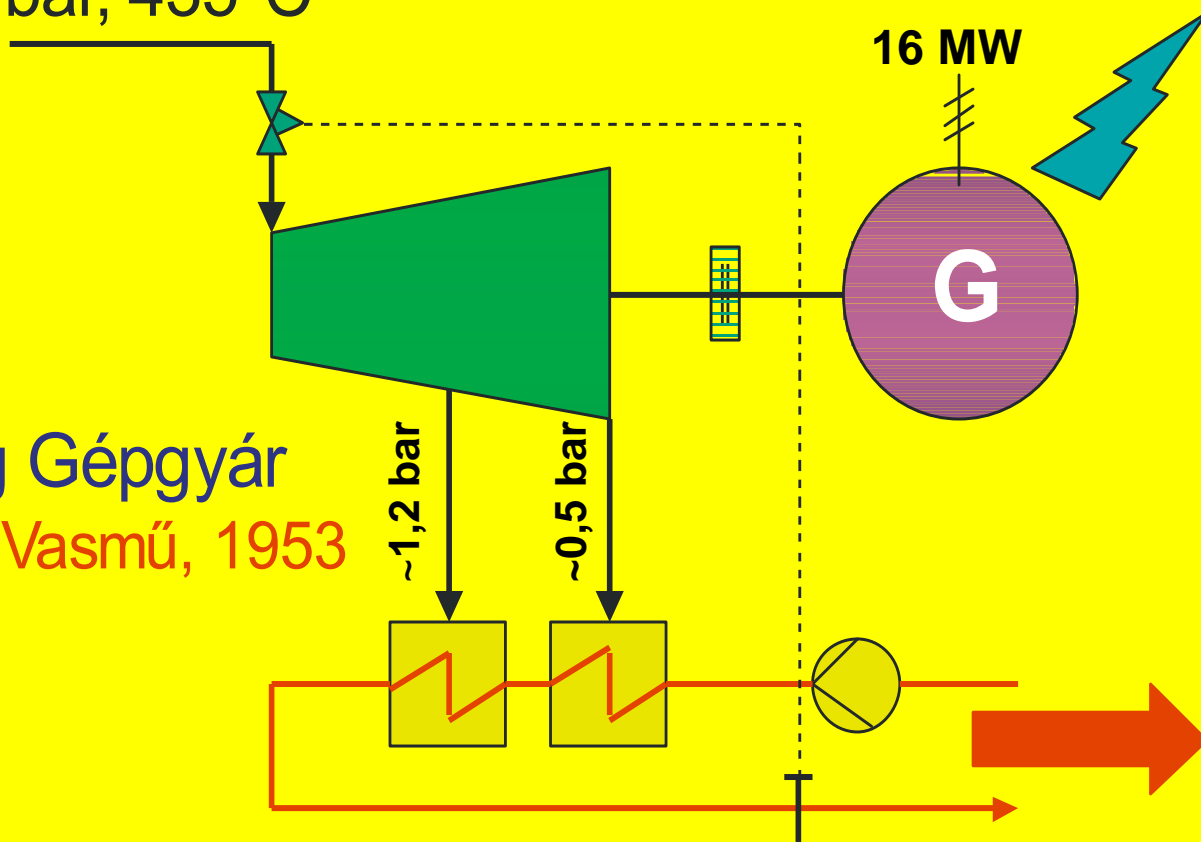


# Ellennyomású hőkiadás

A „magyar fűtőturbina”

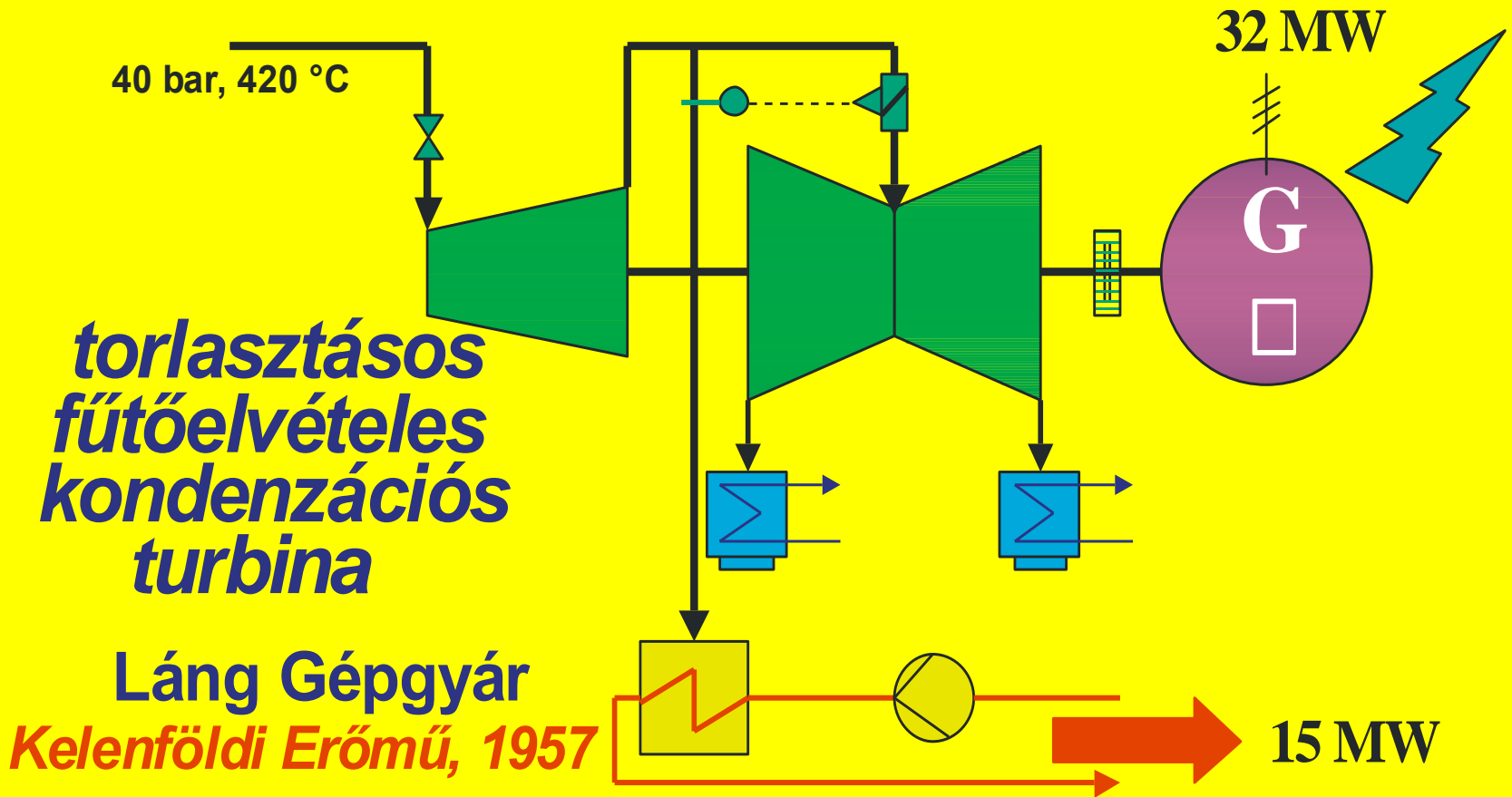
35 bar, 435°C

Láng Gépgyár  
Dunai Vasmű, 1953



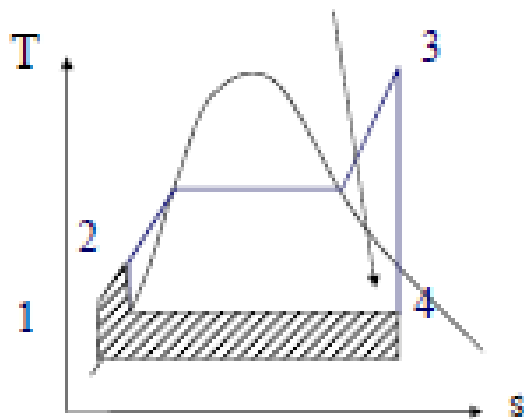


# Elvételes-kondenzációs hőkiadás

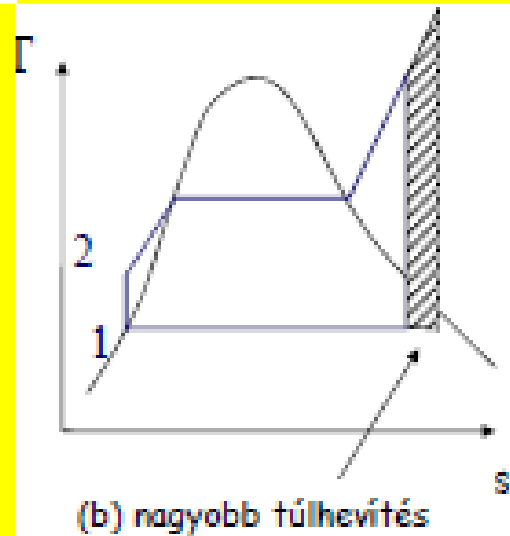
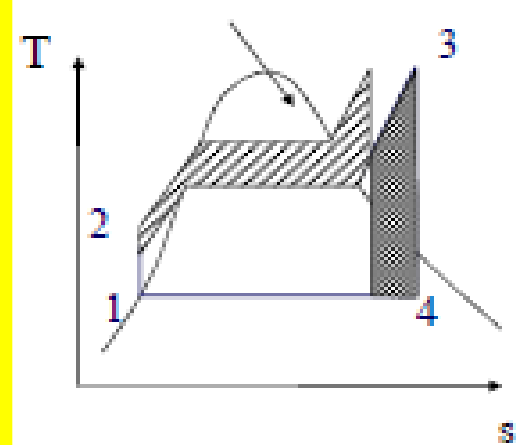


# Rankie-Clausius körfolyamat hatásfokának növelése

(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

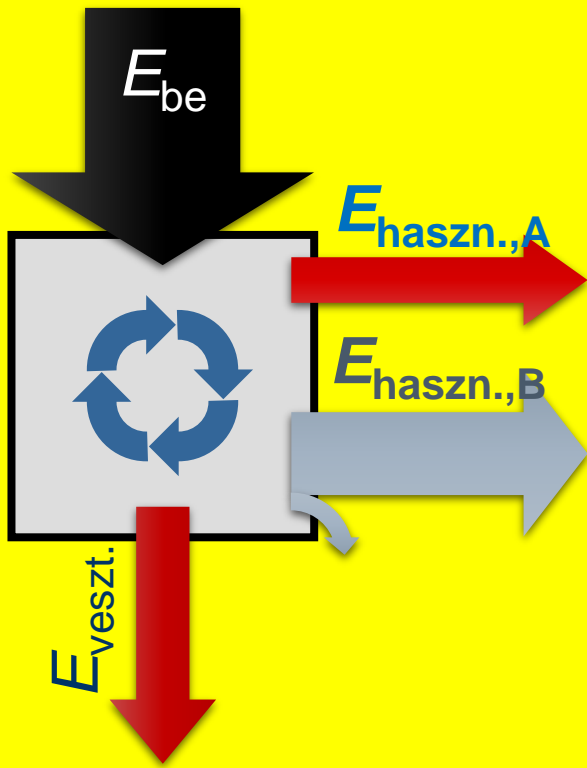
Részhatásfok „A” termék:  $\eta_A = \frac{E_{\text{haszn.,A}}}{E_{\text{be}}}$

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

Eredő (bruttó) hatásfok:

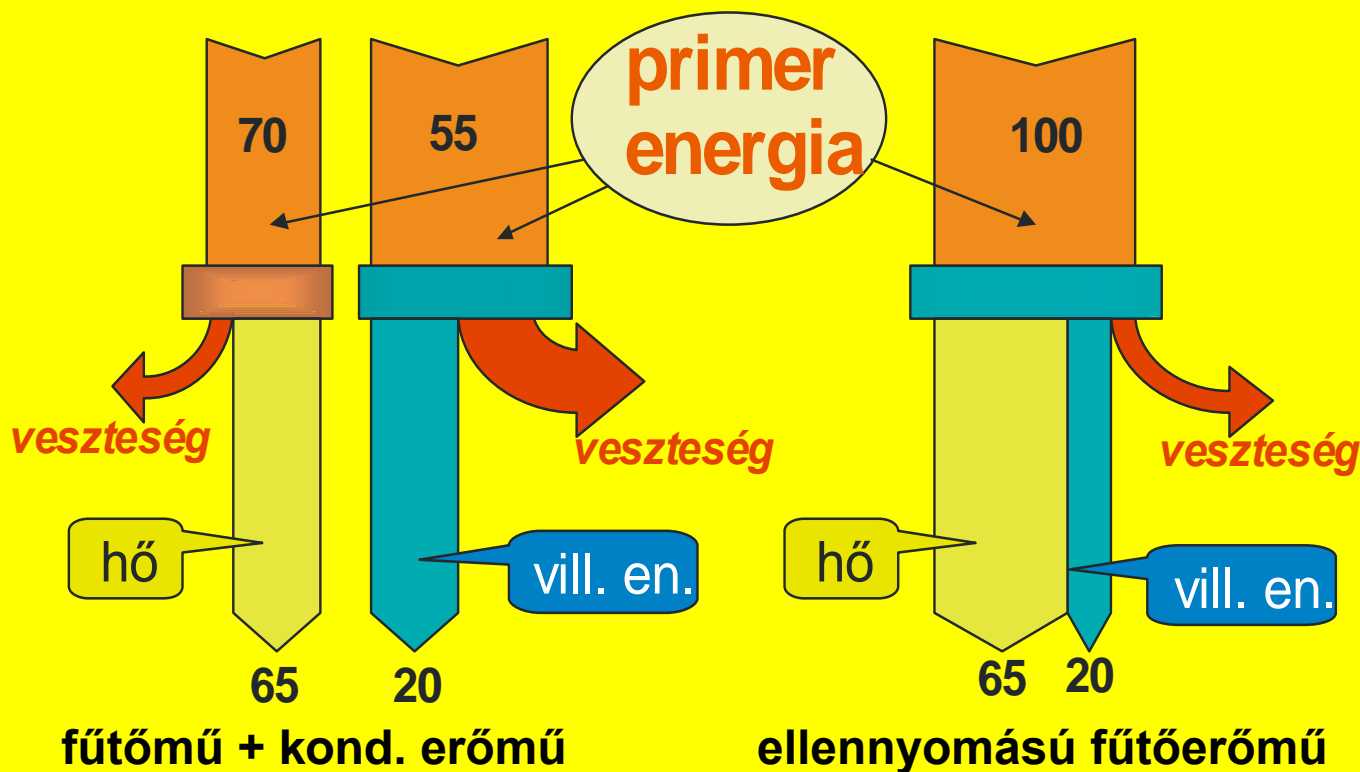
$$\eta_R = \frac{E_{\text{haszn.,A}} + E_{\text{haszn.,B}}}{E_{\text{be}}} = \eta_A + \eta_B$$

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**

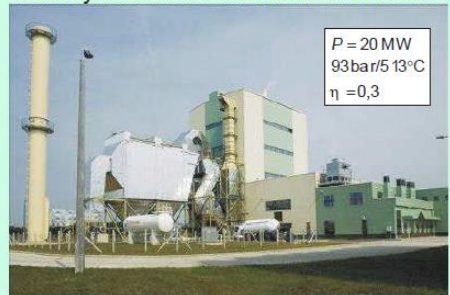
# Lehetőségek

- **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**

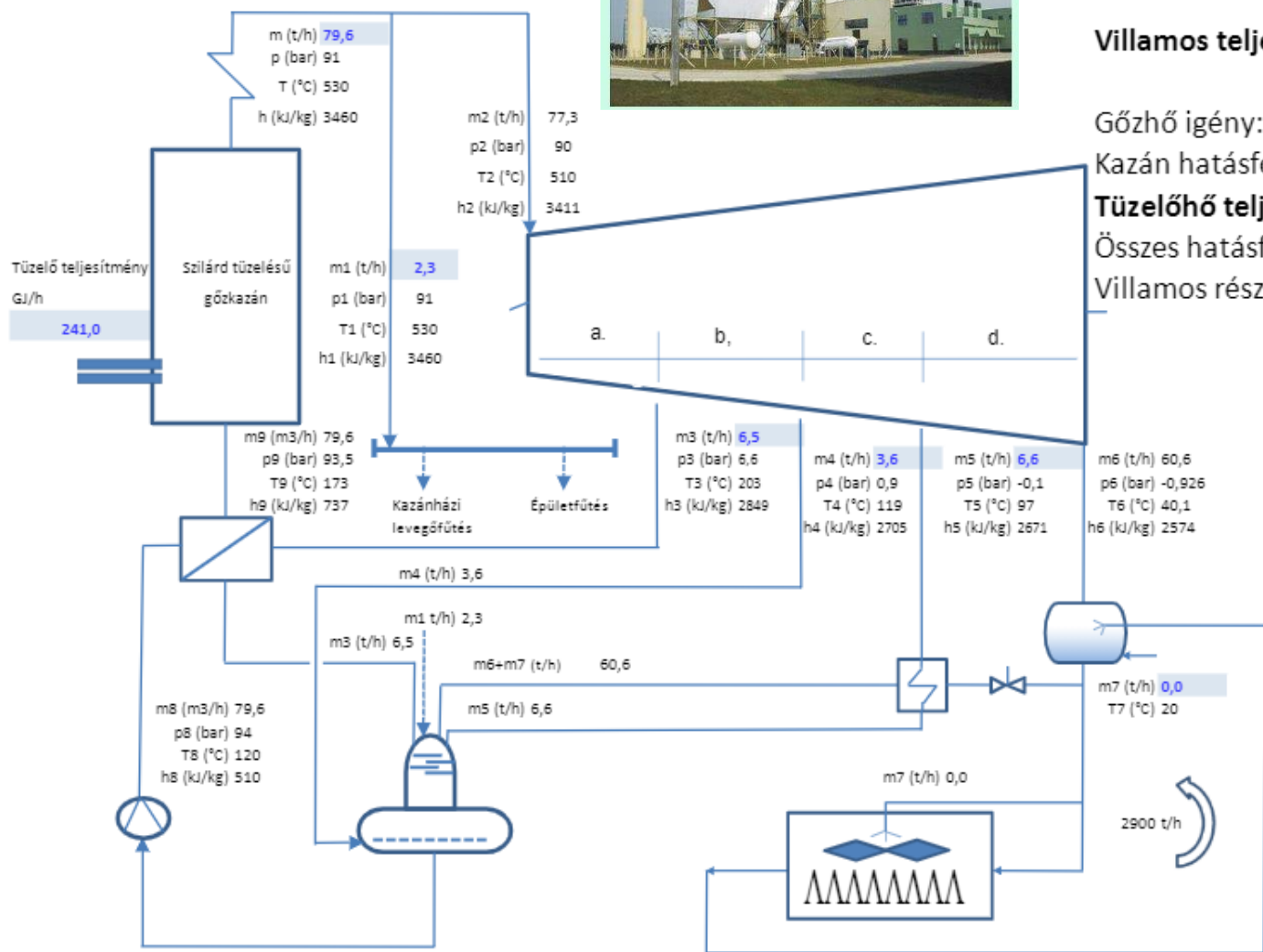


# Szakoly

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

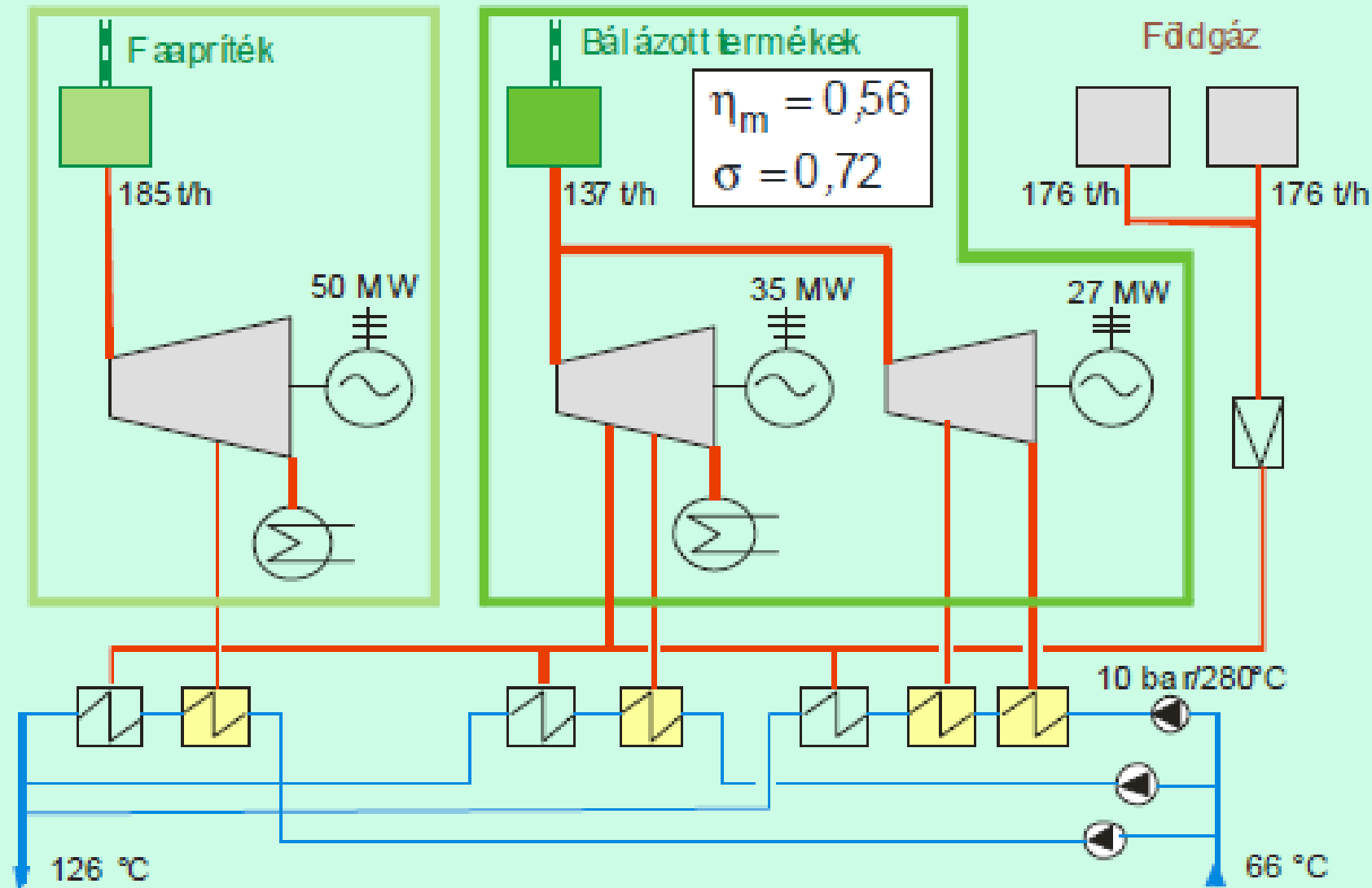
Kazán hatásfok: 89,9%

**Tüzelőhő teljesítmény: 66,9 MW**

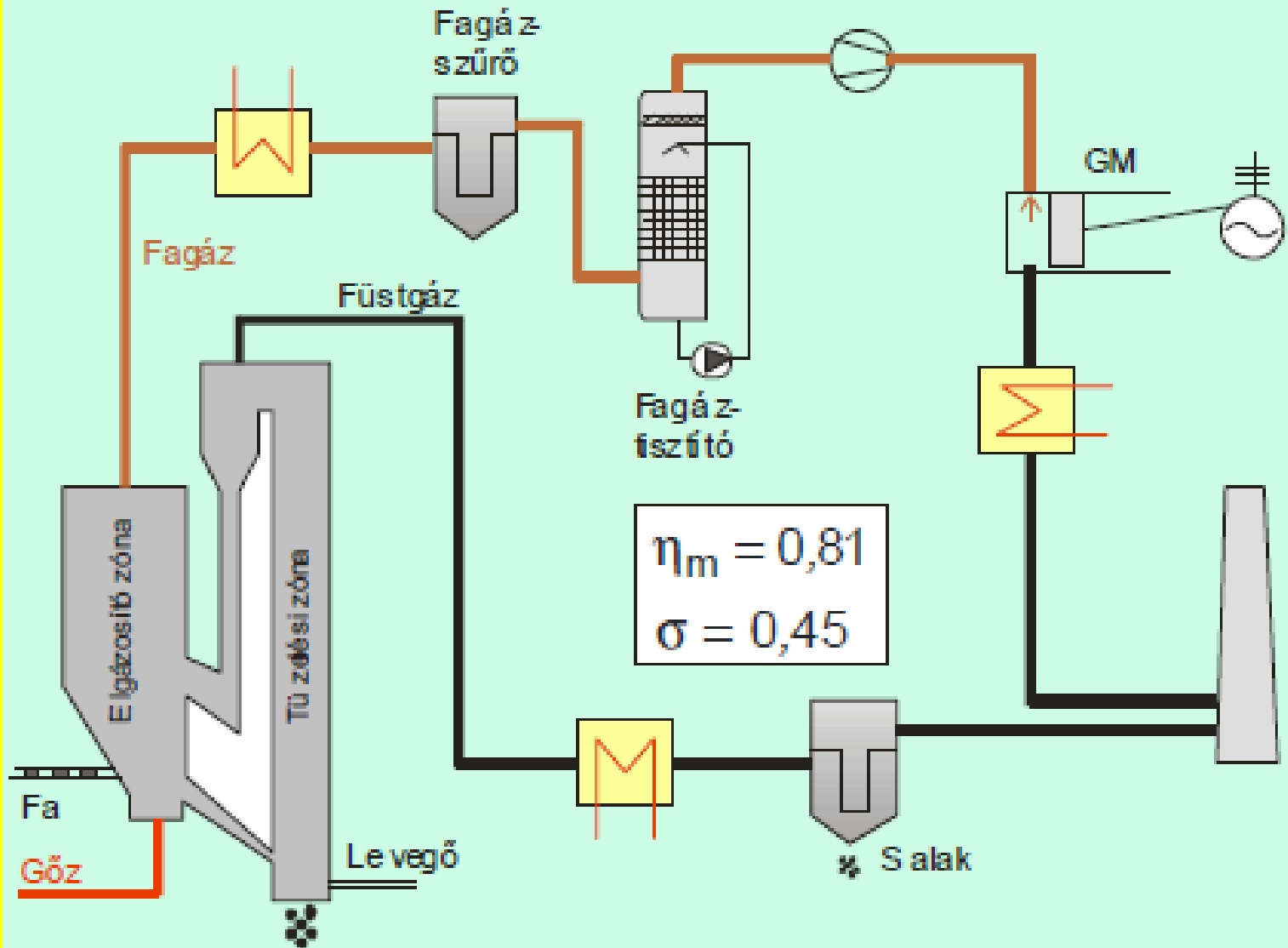
Összes hatásfok: 25,7%

Villamos részhatásfok: 25,7%

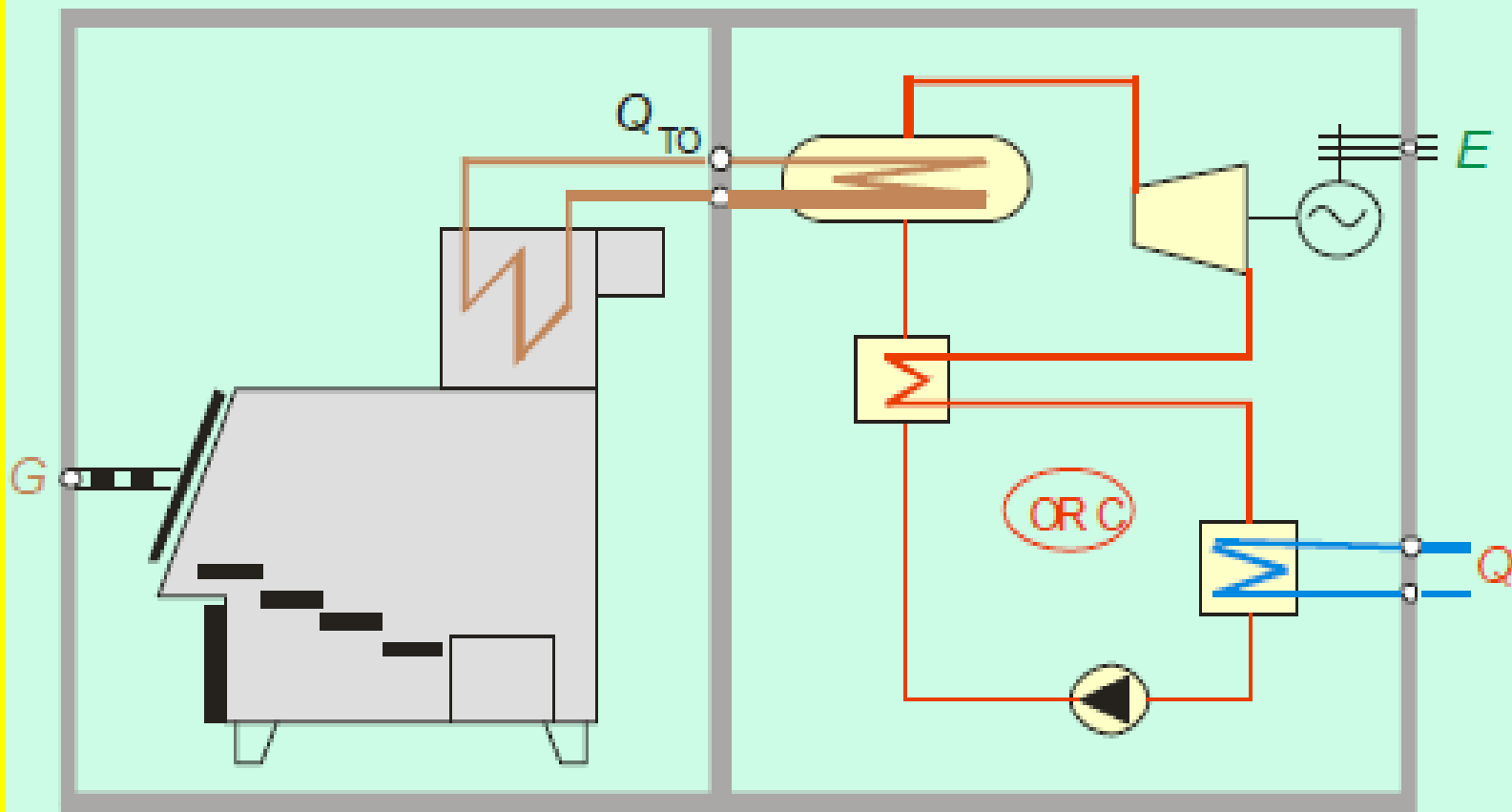
# Pécsi Erőmű fa- és szalmatüzelés



# Güssingi fagáz fűtőerőmű

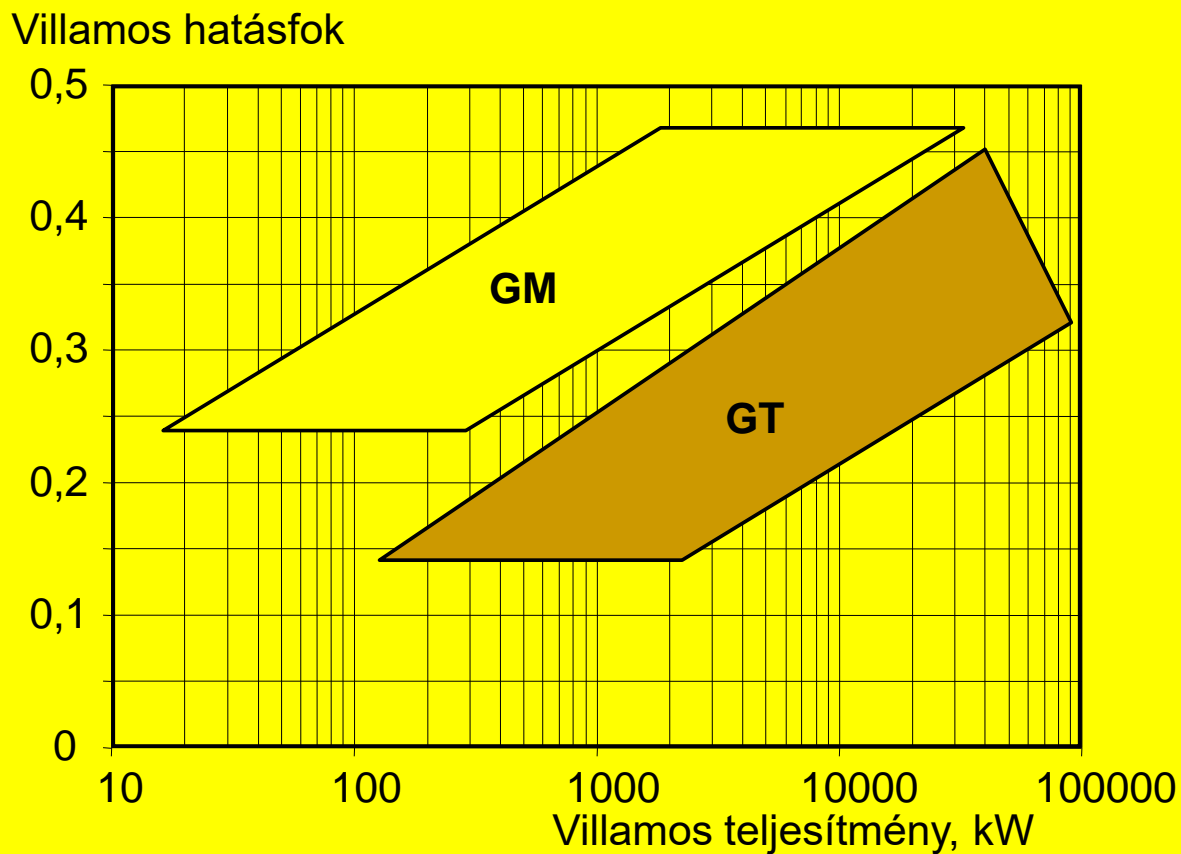


Biomassza termoolajos ORC erõmû  
Magyarország: tanulmány  
Csehország: Třebíč



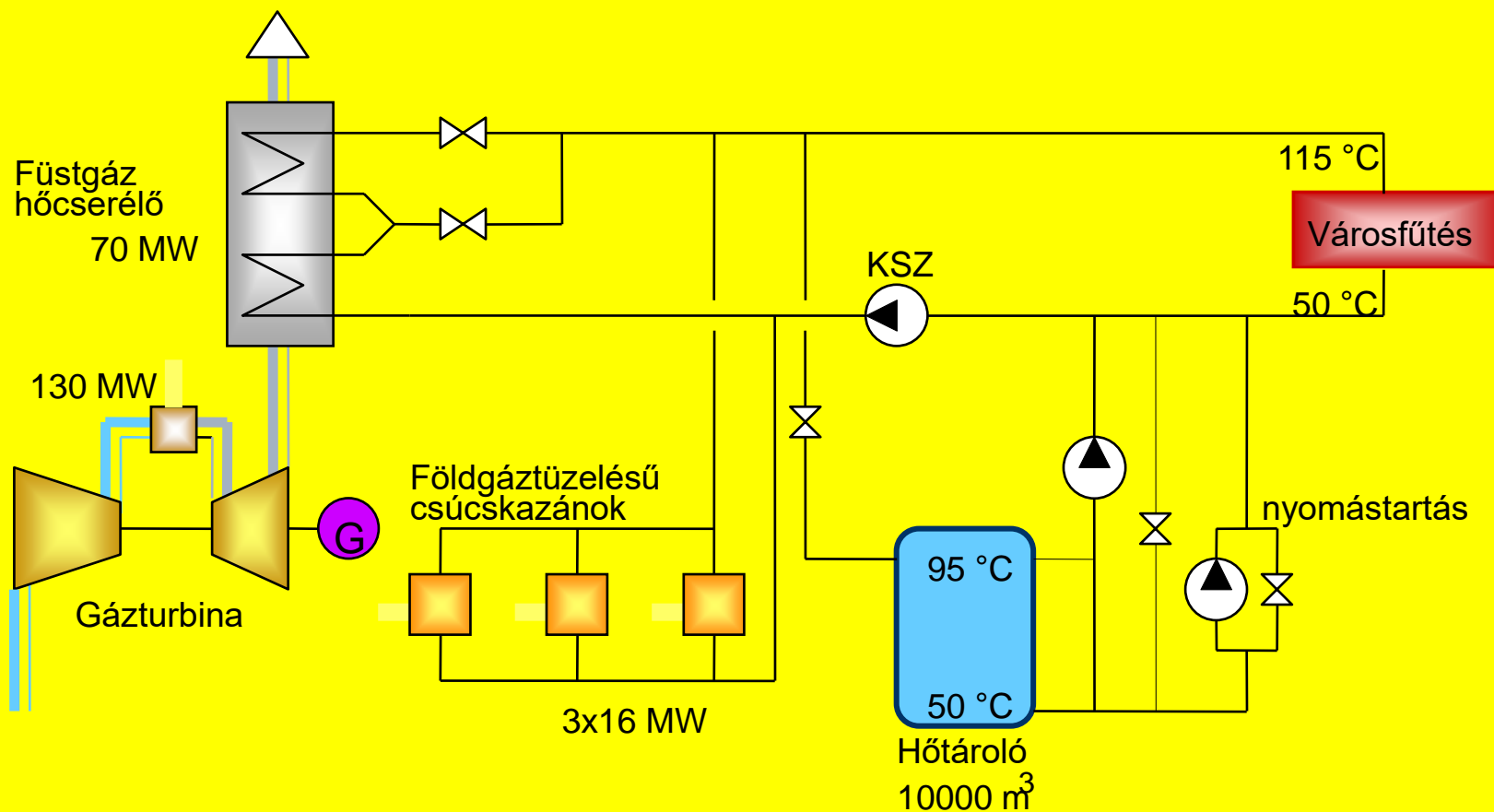
# Gázmotor / Gázturbina

## Alkalmazási tartomány

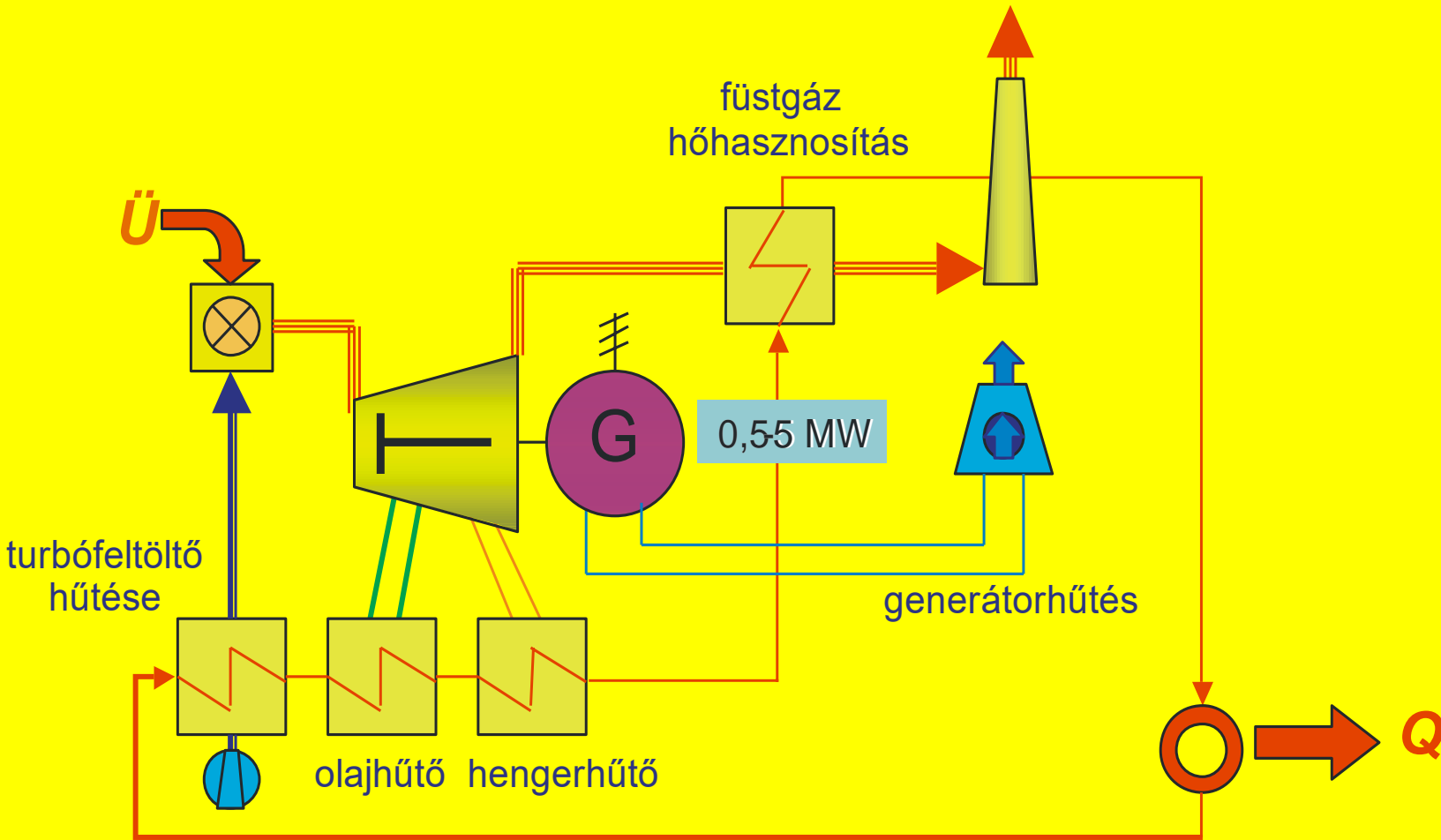


# Gázturbinás fűtőblokk

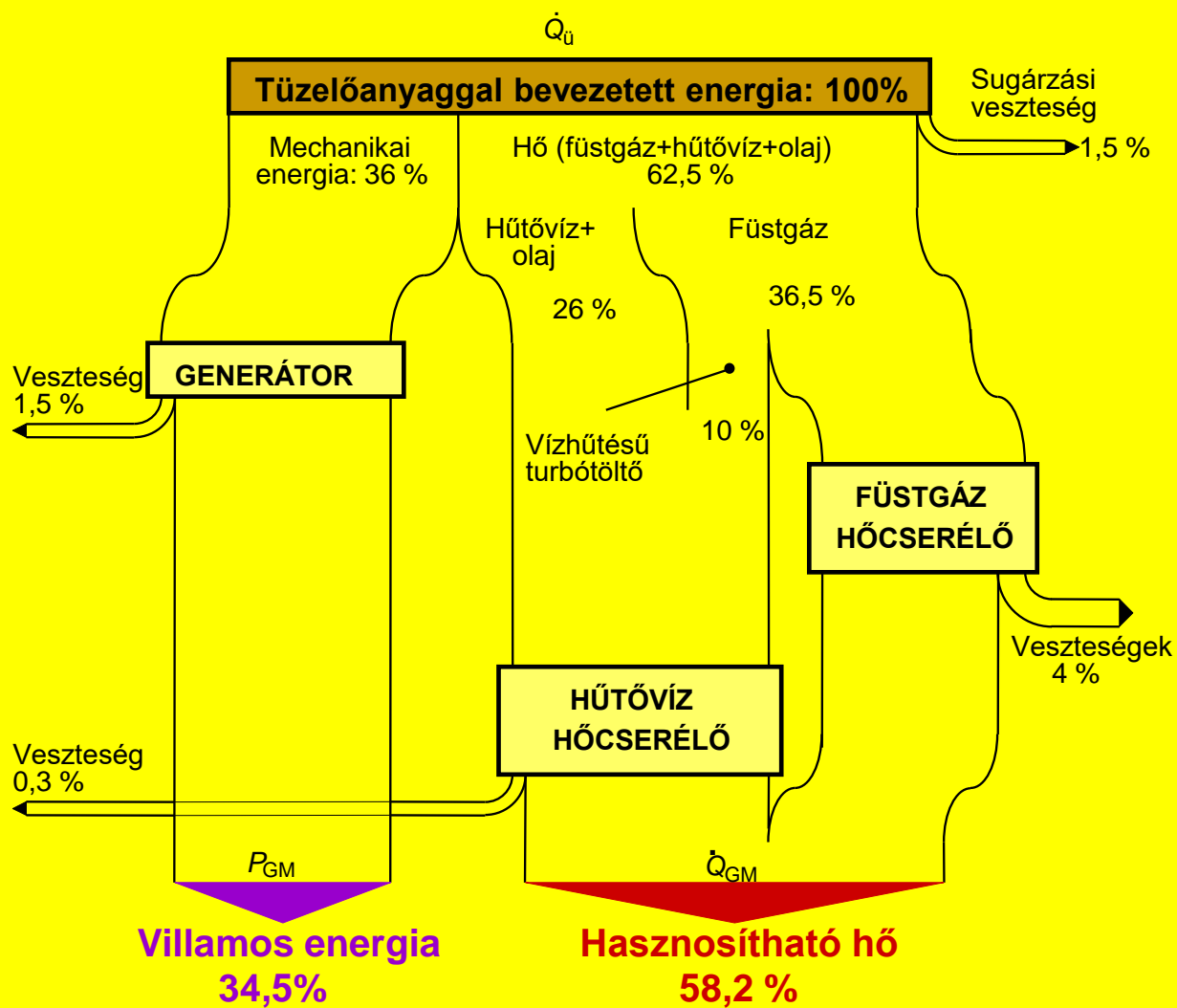
Kouvola-i fűtőerőmű, Finnország



# Gázmotoros fűtőerőmű



# Gázmotoros fűtőerőmű





# Gázmotoros fűtőerőmű

Alkalmazási terület:

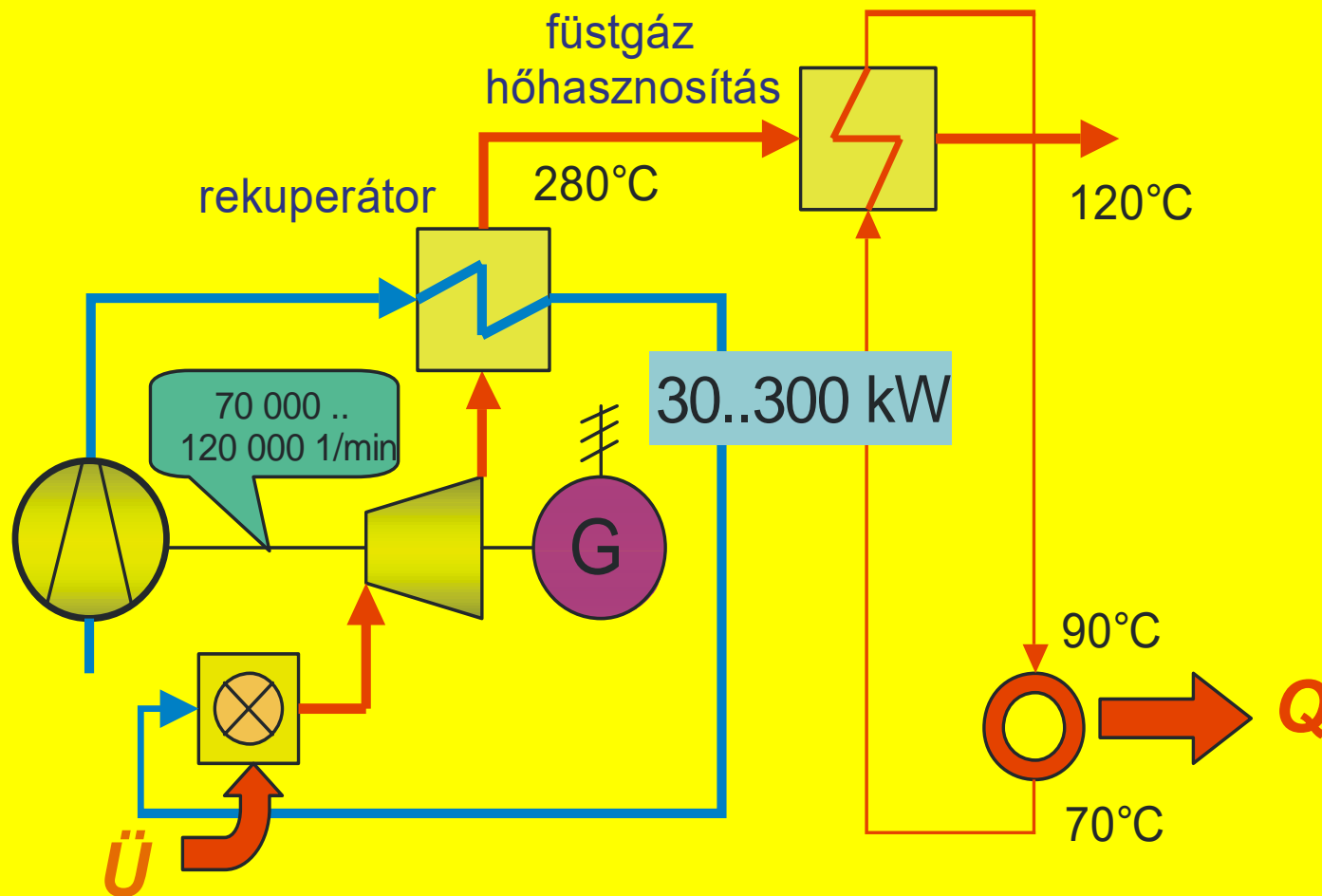
- Alacsony hőmérsékletszinten történő fűtési hőfejlesztés az egyidejűleg biztosított villamosenergia-ellátás mellett, pl. fedettuszodák, sportlétesítmények, iskolák, kórházak, nagyobb lakónegyedek.
- A magas villamosenergia-árak – leginkább közepes méretű üzemeknél – jó lehetőséget teremtenek a gázmotoros 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

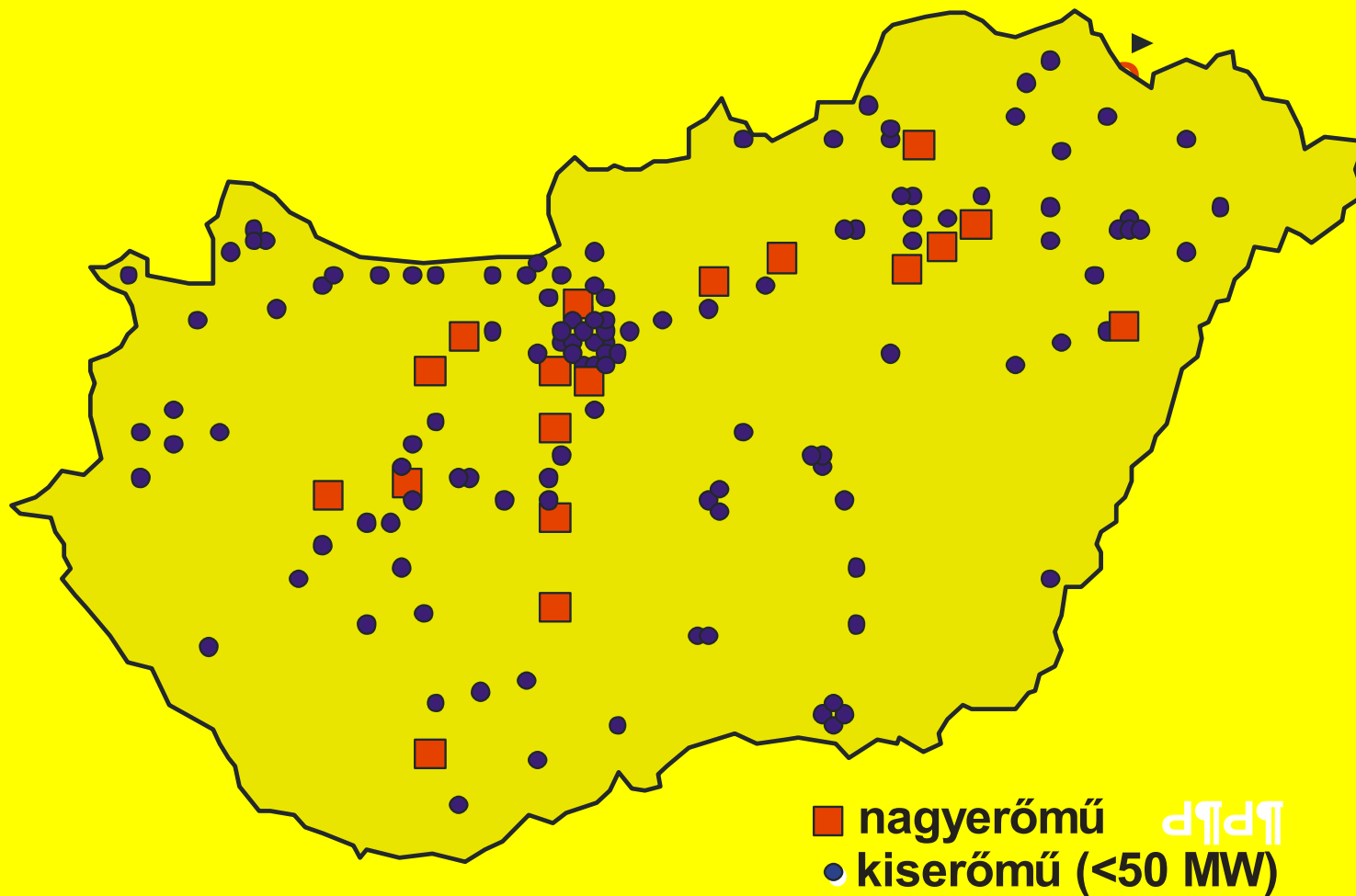
## Alkalmazási terület

- 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



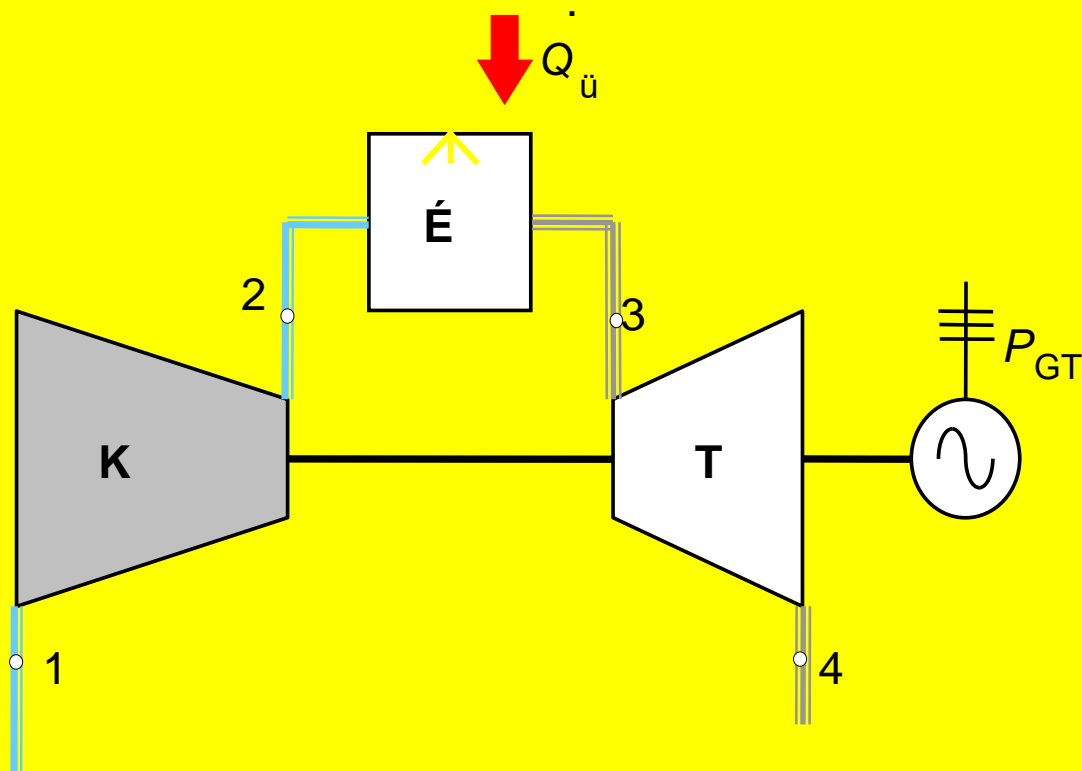
# Kiserőművek elterjedtsége



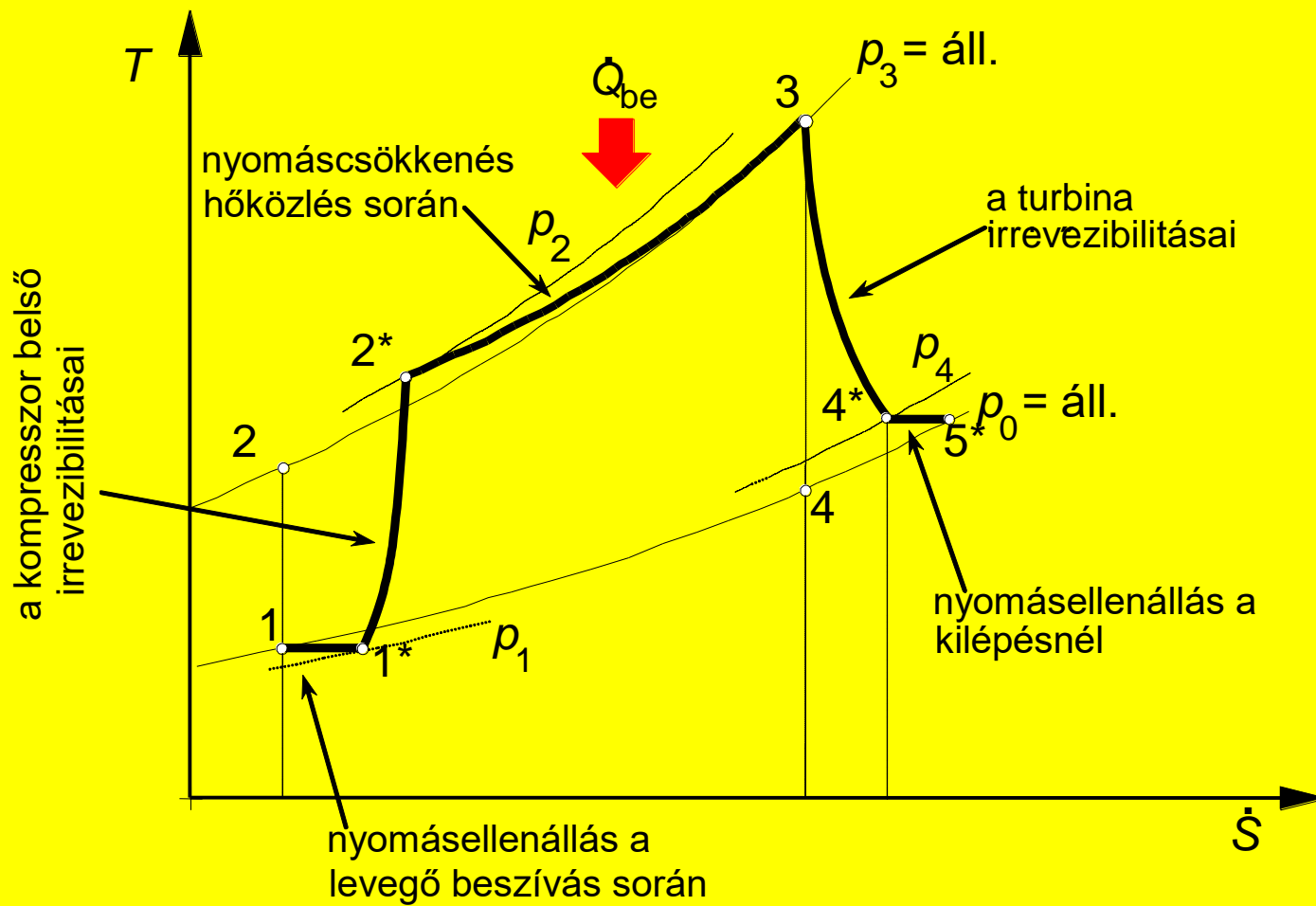
# Összetett körfolyamatú energiaátalakítás

## Gázturbinás energiaátalakítás

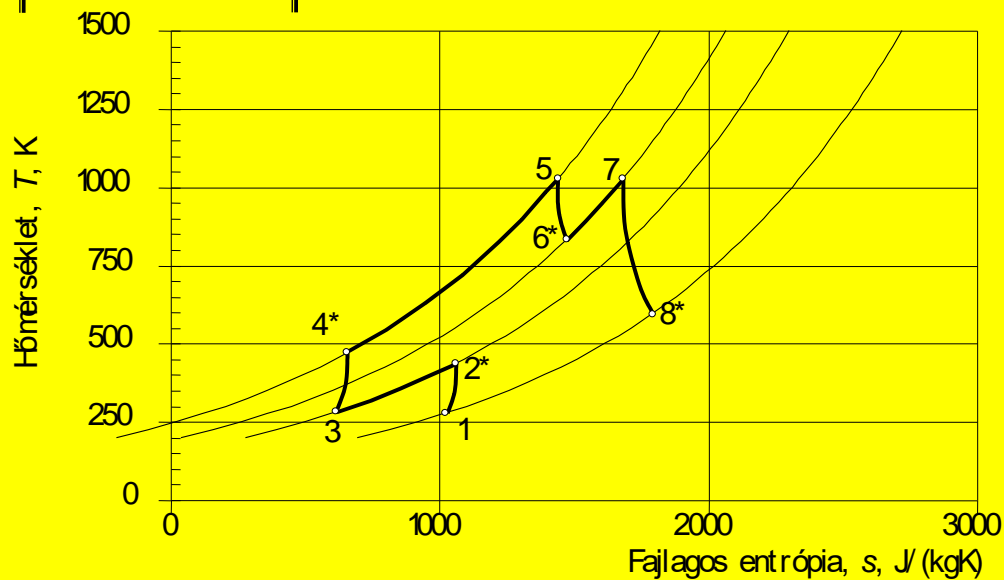
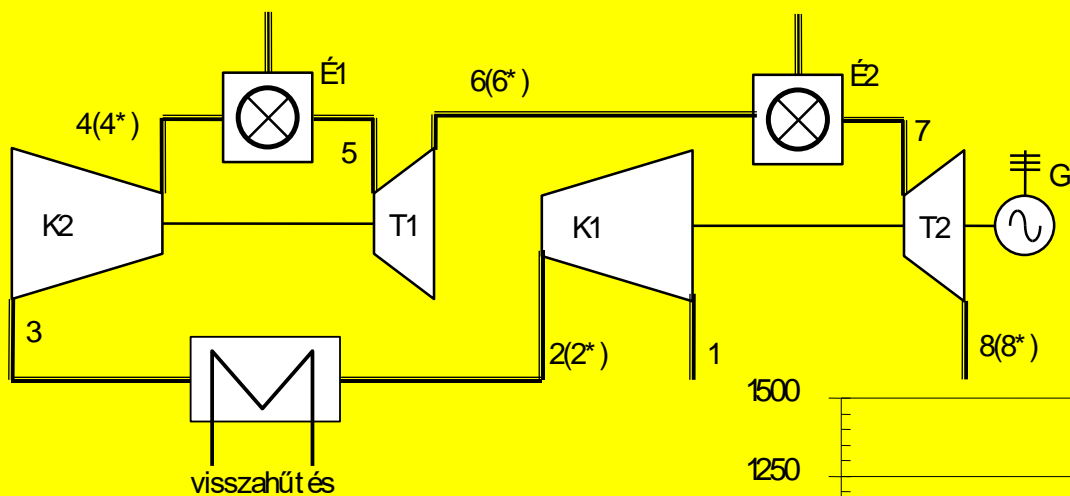
Nyíltciklusú gázturbinás erőmű



# Gázturbinás energiaátalakítás

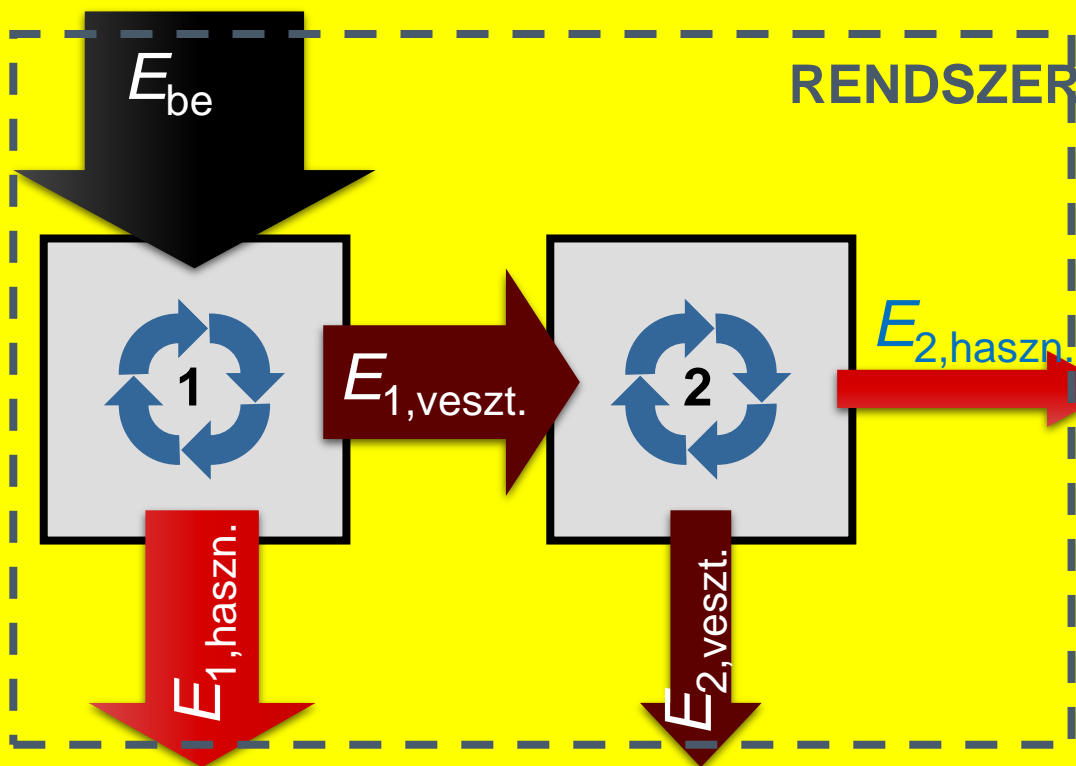


# Gázturbinás energiaátalakítás



# Kombinált technológiák (ciklusok)

Eltérő technológiák – azonos hasznos termék



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

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

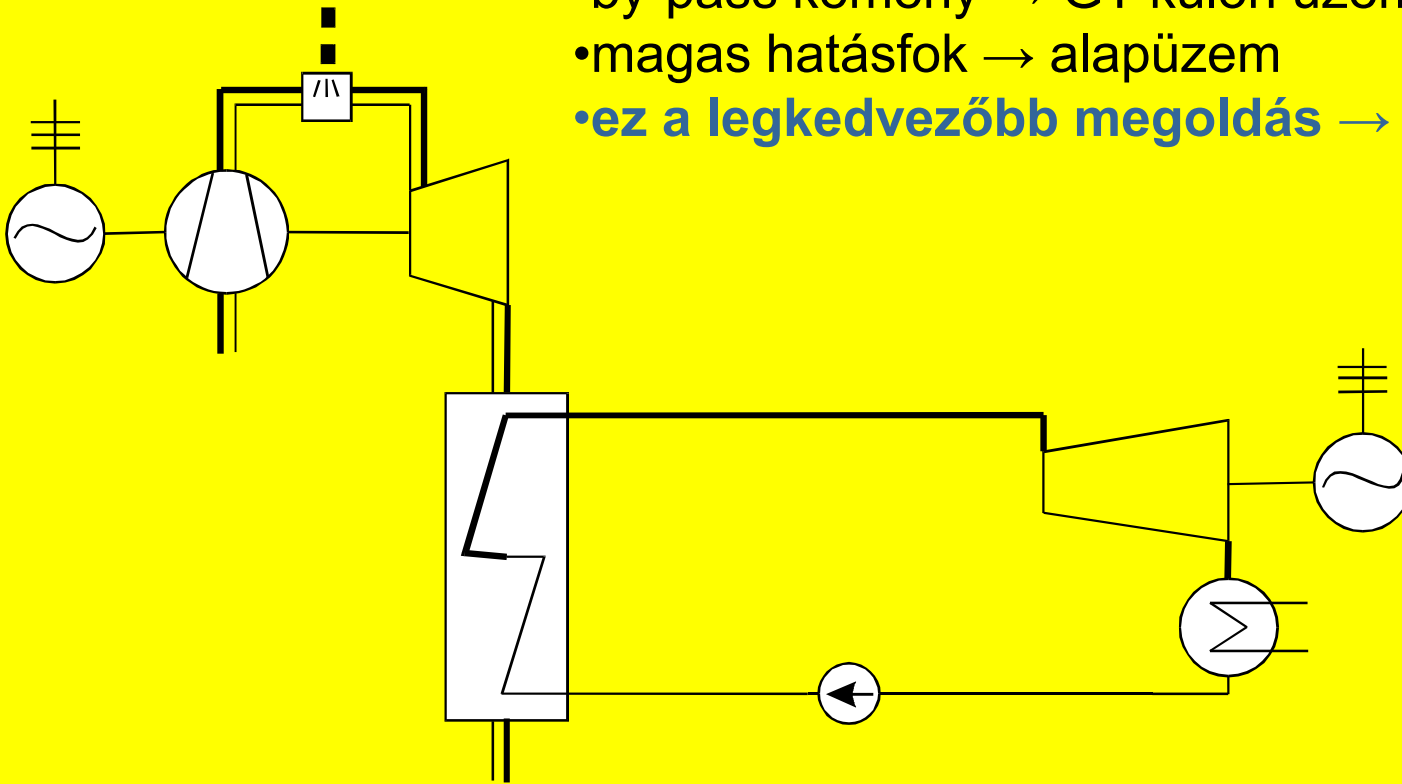
$$\eta_R = \frac{E_{1,haszn.} + E_{2,haszn.}}{E_{be}} = \eta_1 + (1 - \eta_1) \cdot \eta_2 = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \cdot \eta_2$$



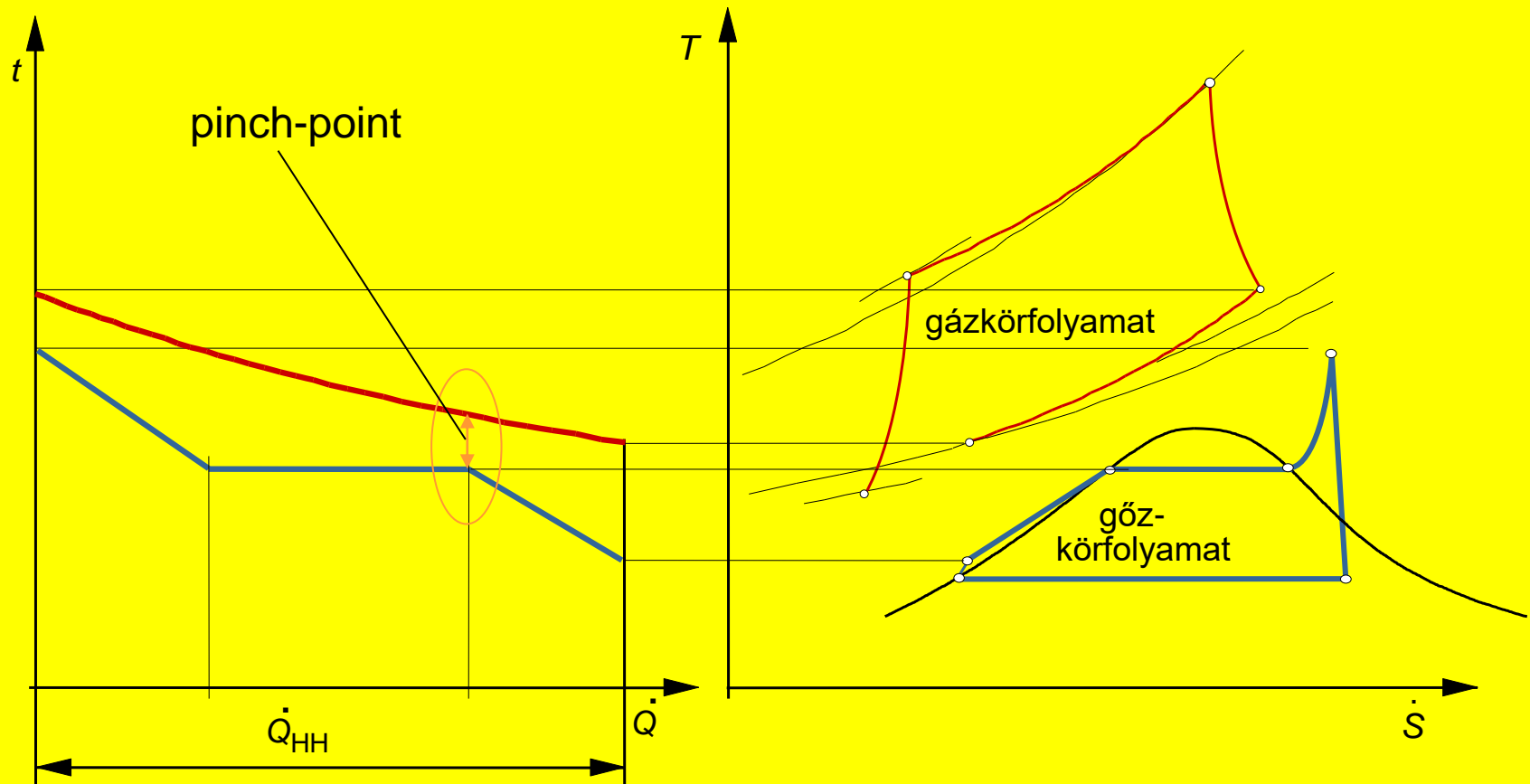
# Összetett körfolyamatok

## Kombináció utánkapcsolt gőzerőműben

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

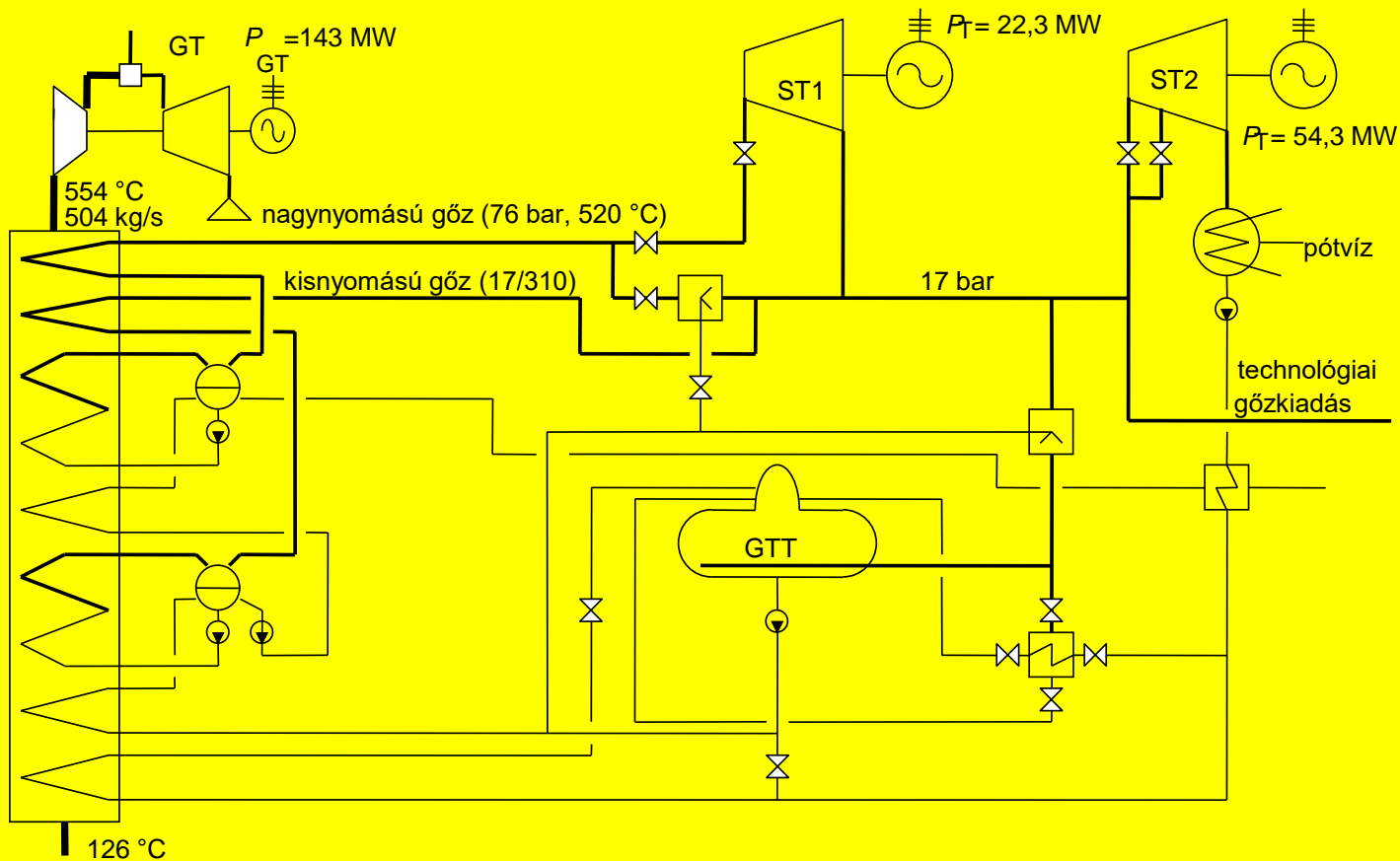


# Utánkapcsolt gőzerőmű



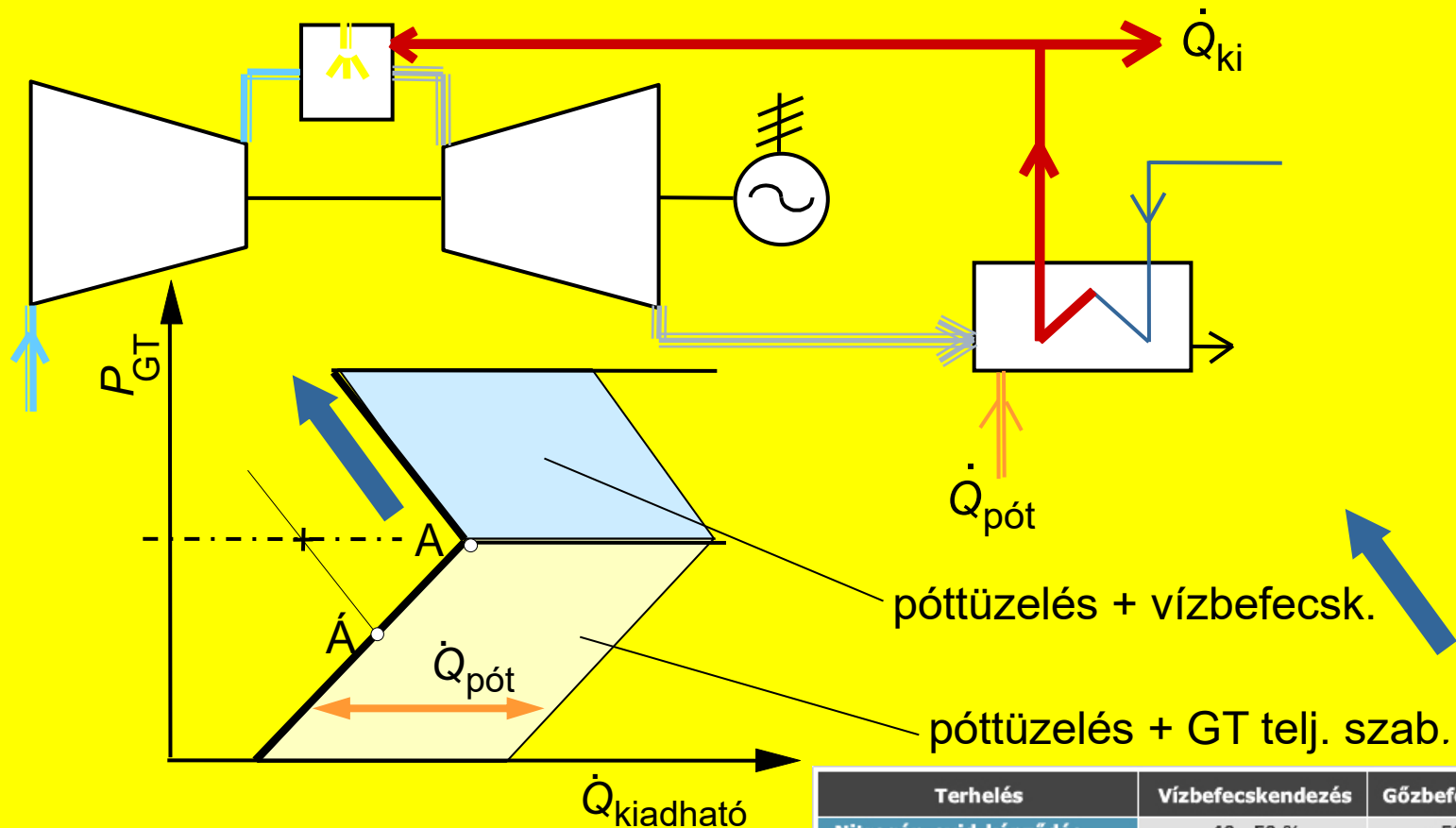
# Utánkapcsolt gőzerőmű

## Példa: Dunamenti G2 blokk



# Gőzbefecskendezés a GT-ban

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



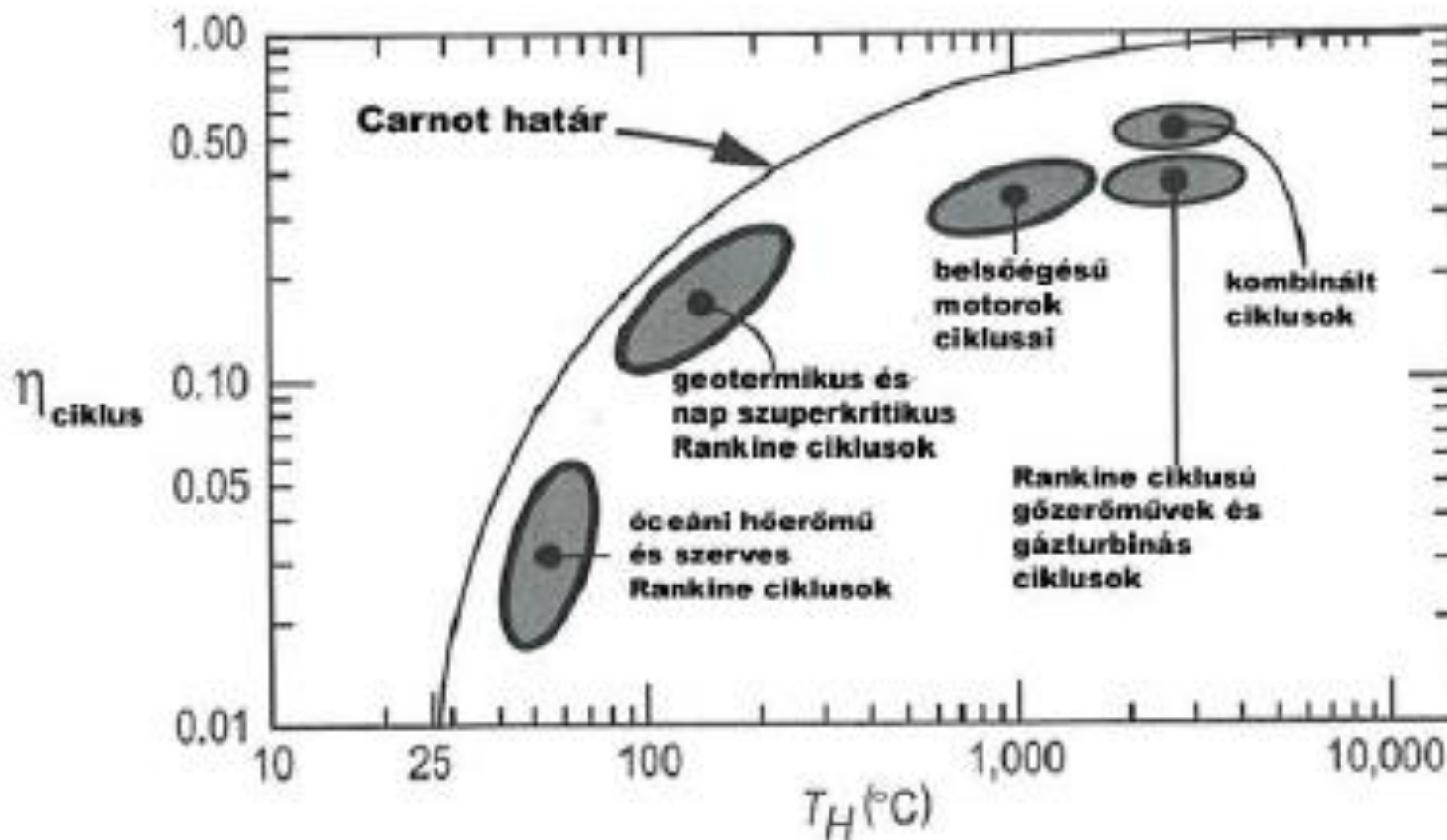
Terhelés	Vízbefecskendezés	Gőzbefecskendezés
Nitrogén-oxid-képződés	- 40...50 %	- 50...60 %
Teljesítmény	+ 4...4.5 %	+ 3,5...4 %
Hatásfok	- 1...2%	+ 1...2%
Turbina gázárama	~ 1,1 %	~ 1,03 %

# Energetikai jellemzők

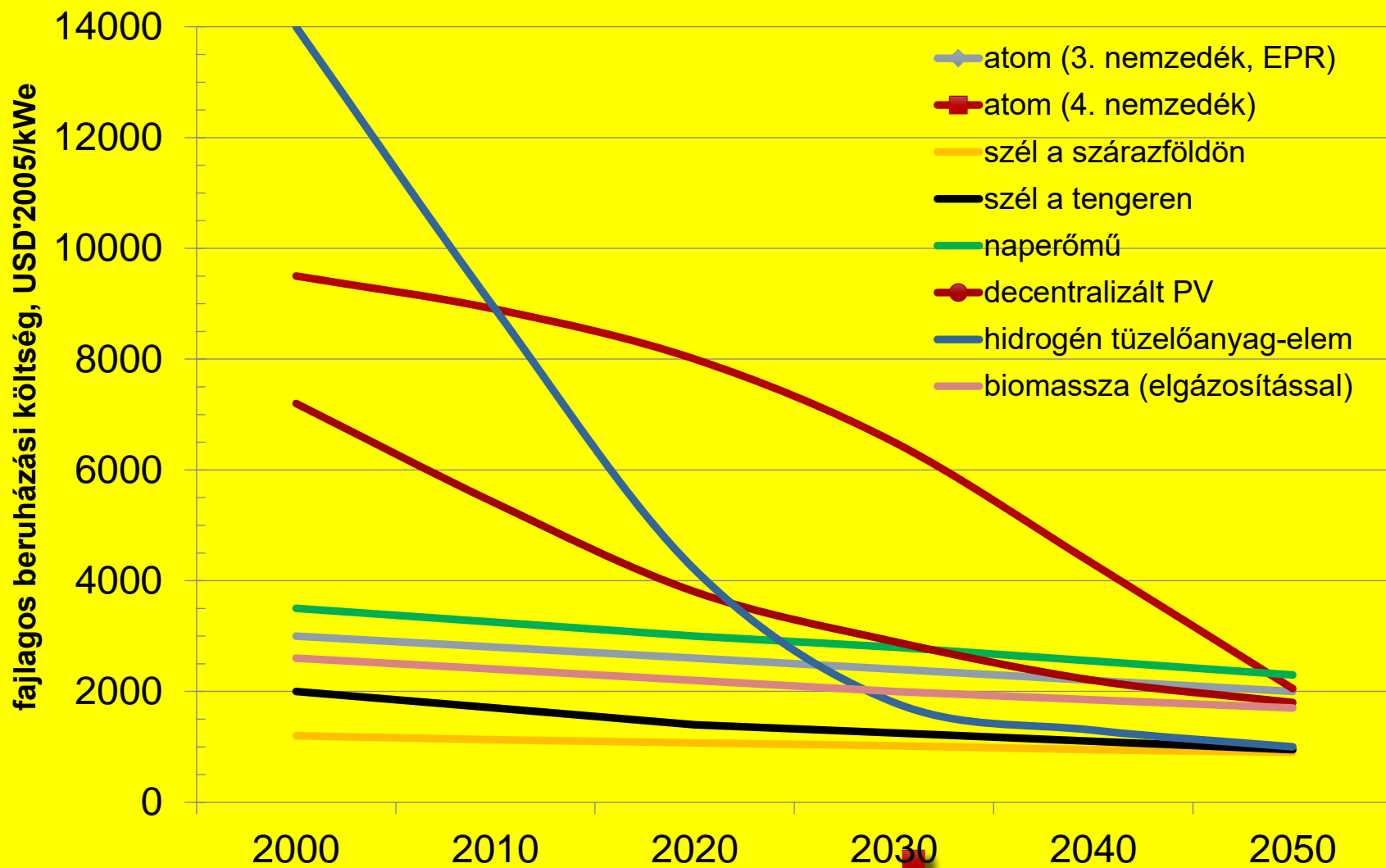
Conversion	Type	Efficiencies
Natural Gas Furnace	Chemical → Heat	90-96%
Internal combustion engine	Chemical → Mechanical	15-25%
Power Plant Boilers	Chemical → Heat	90-98%
Steam Turbines	Heat → Mechanical	40-45%
Electricity Generator	Mechanical → Electricity	98-99%
Gas Turbines	Chemical → Mechanical	35-40%
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 dizel motorok	0,03-15 2-25	25-42 38-45	65-40 40-35	82-90 75-85	0,4-1 0,9-1,3
Gázturbinák aeroderivatív ipari	1-50 0,2-270	24-42 16-37	66-46 74-53	85-90 85-90	0,35-0,9 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



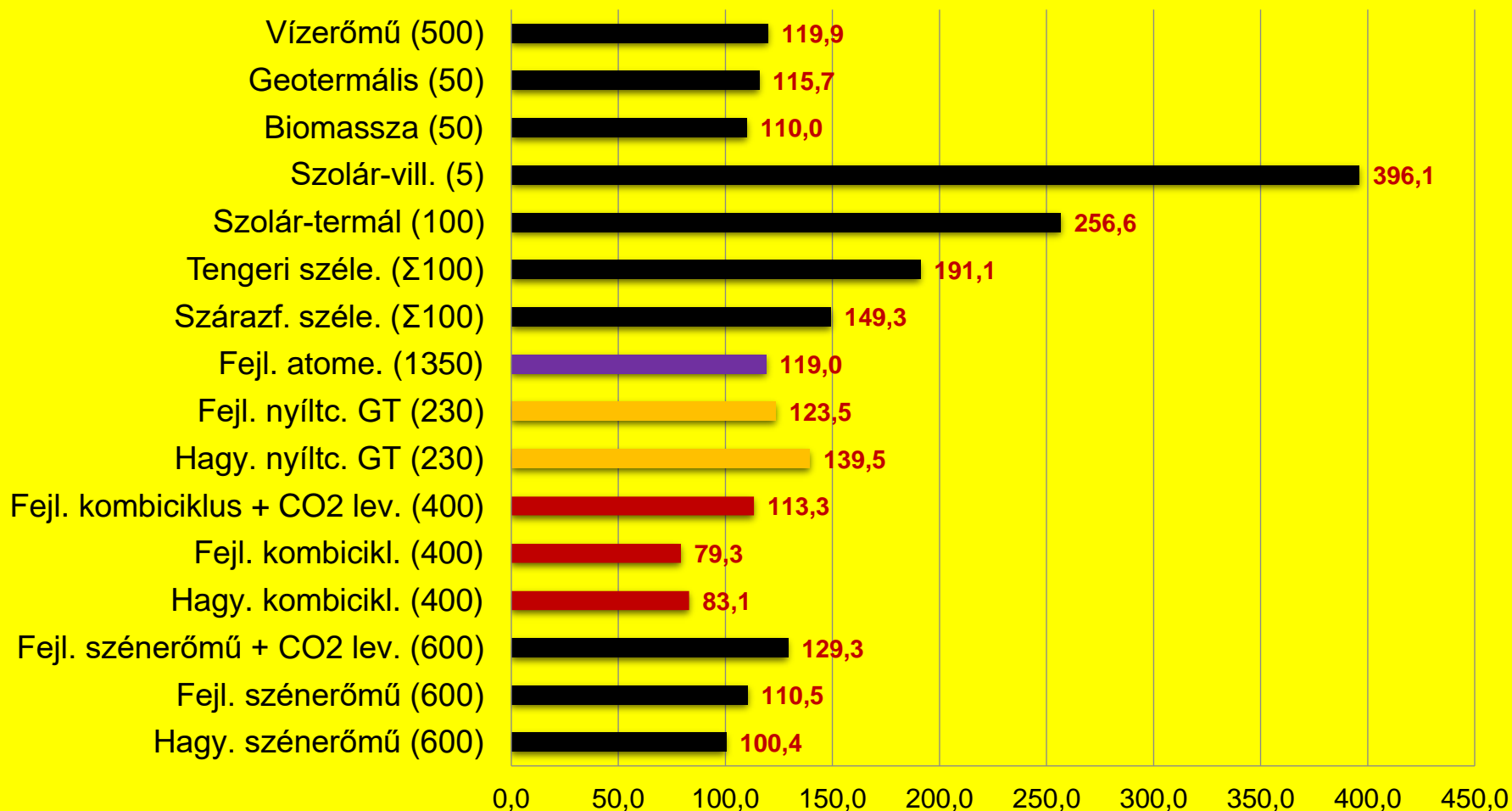
# Fajlagos beruházási költségek



# Villamos energia – költségek

## Villamosenergia egységköltség (USD<sub>2010</sub>/MWh) 2016-ban üzembe lépő új egységekre

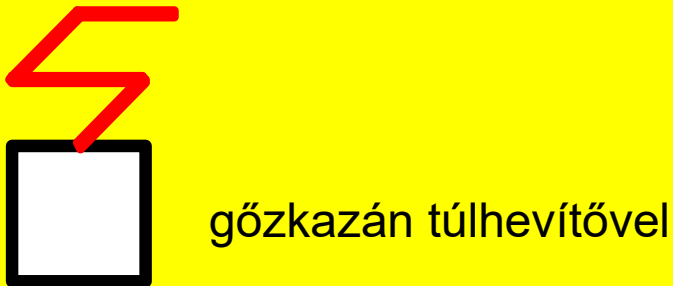
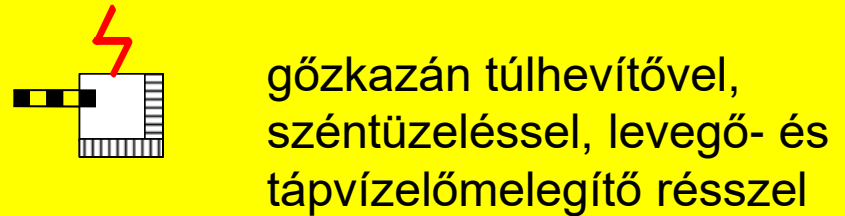
Forrás: Business Insight (International Energy Administration (EIA))





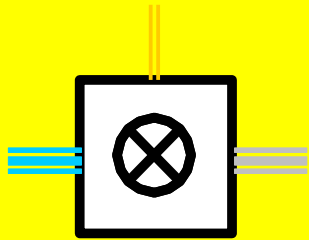
# Technológiai jelölések

## Hőforrások

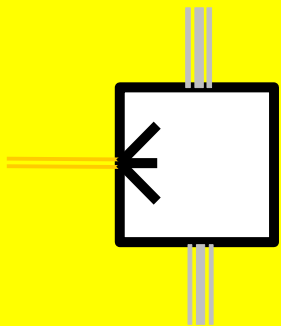


# Technológiai jelölések

## Hőforrások

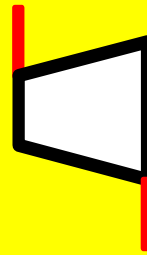


gázturbina  
égőkamra

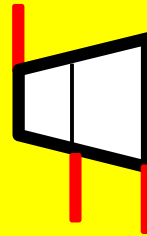


póttüzelés  
gázciklusban

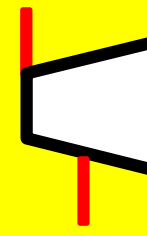
## Expanziós és kompressziós gépek



gőzturbina



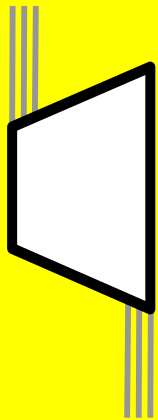
gőzturbina szabályozott elvétellel



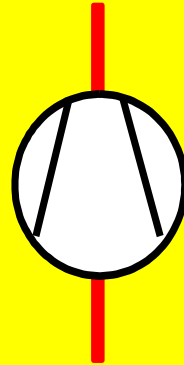
gőzturbina szabályozatlan elvétellel

# Technológiai jelölések

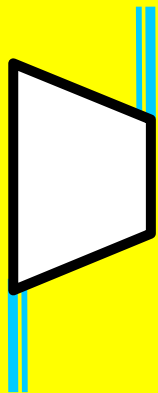
## Expanziós és kompressziós gépek



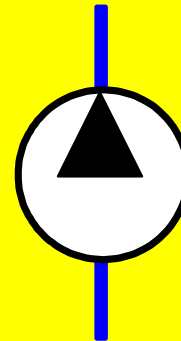
gázturbina



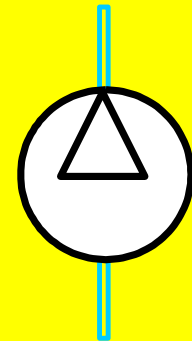
gőzkompresszor



gázkompresszor



szivattyú



ventilátor

# Technológiai jelölések

## Hőcserélők

