

# ***Megújuló energiaforrások I.***

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

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

# Energiaátalakítás

## Az energiaátalakítás korlátai

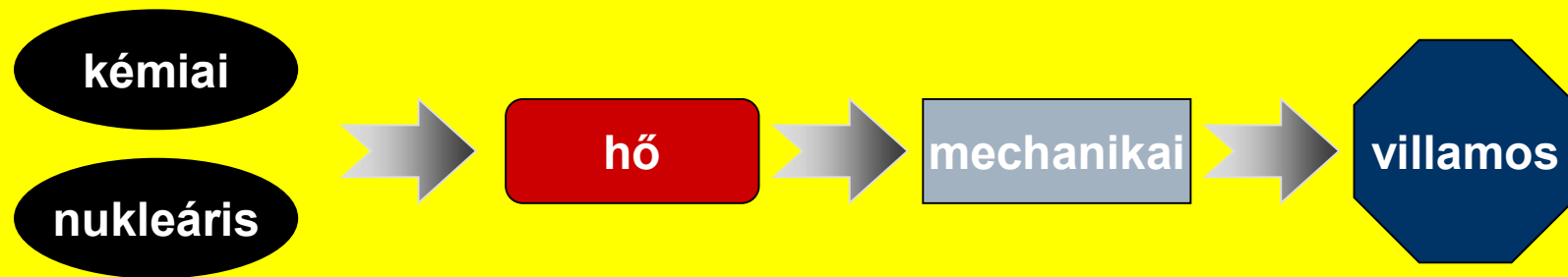
- Mennyiségi korlát: I. főtétel
- Minőségi korlát: II. főtétel
- Technikai-technológiai lehetőségek
- Gazdaságosság
- Környezetvédelem, Green Deal
- Társadalmi elfogadottság

# 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, infrásugárzó	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	termoelek-tromos reaktor, izotópos áramforrás	radioaktivitás	kötések módosulása	fúzió, fisszió

# Fontosabb energiaátalakítások

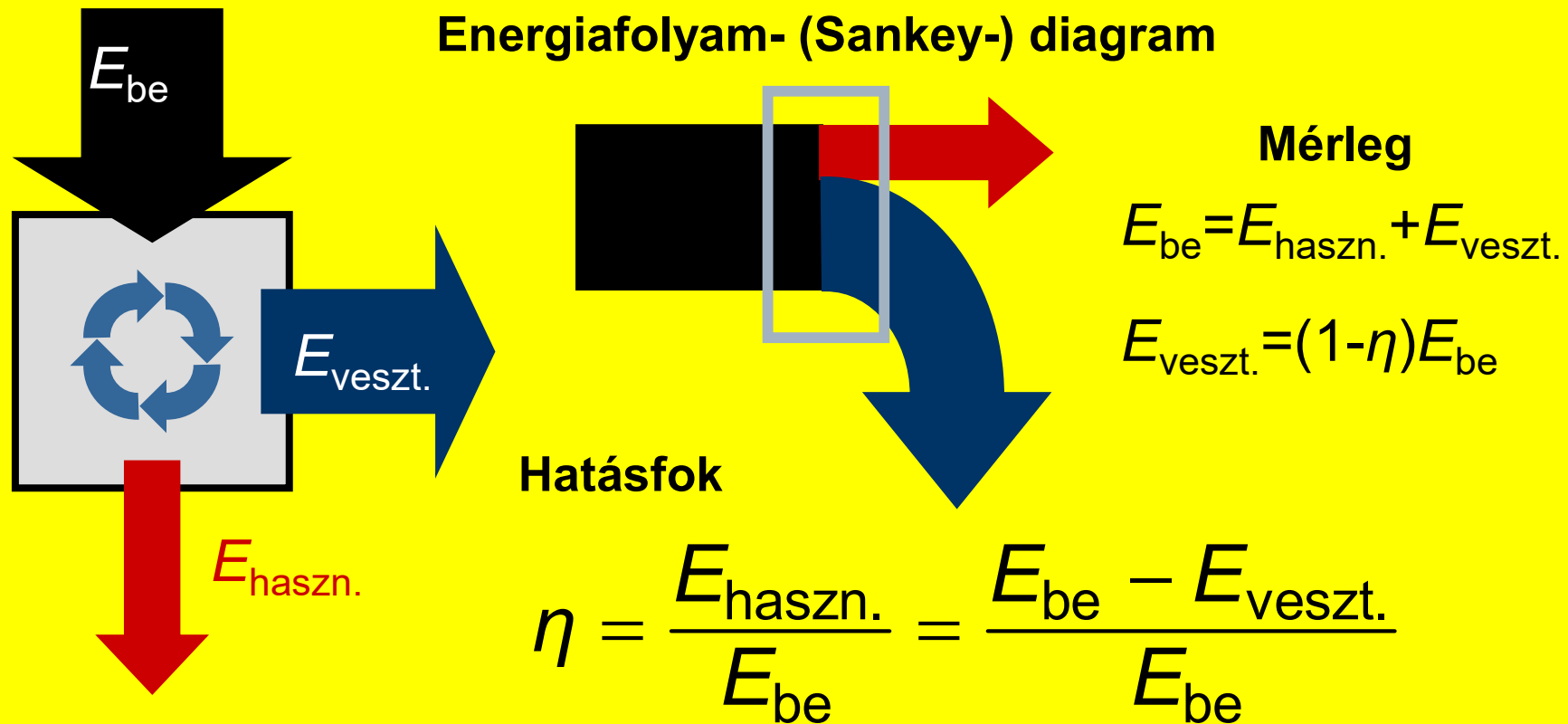
A tipikus (erőművi) energiaátalakítási lánc



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

# Az energiaátalakítás jellemzése

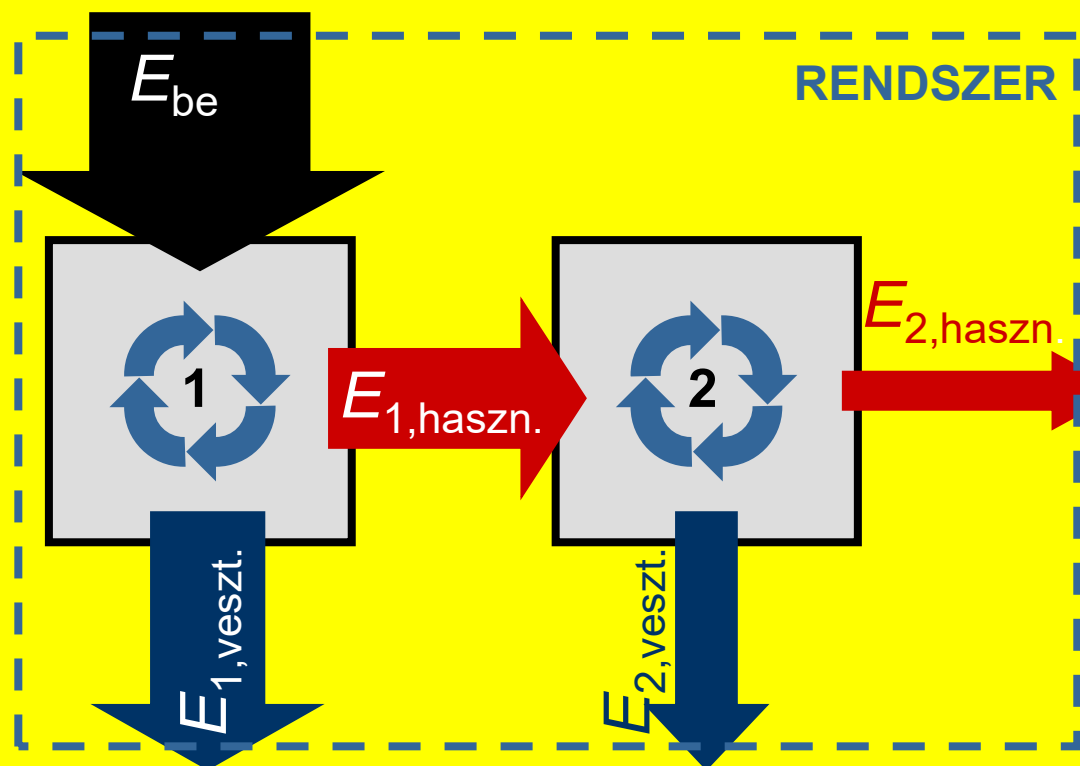
Mennyiségi értékelés (I. főtétel): hatásfok



**Közvetlen energiaátalakítás (energiatermelés)**

# Többszörös energiaátalakítás

Sorbakapcsolt elemek rendszere



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

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

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

$$\eta_R = \prod \eta_i$$

# Fogalmak a hagyományos hő-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**

# 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.

# 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

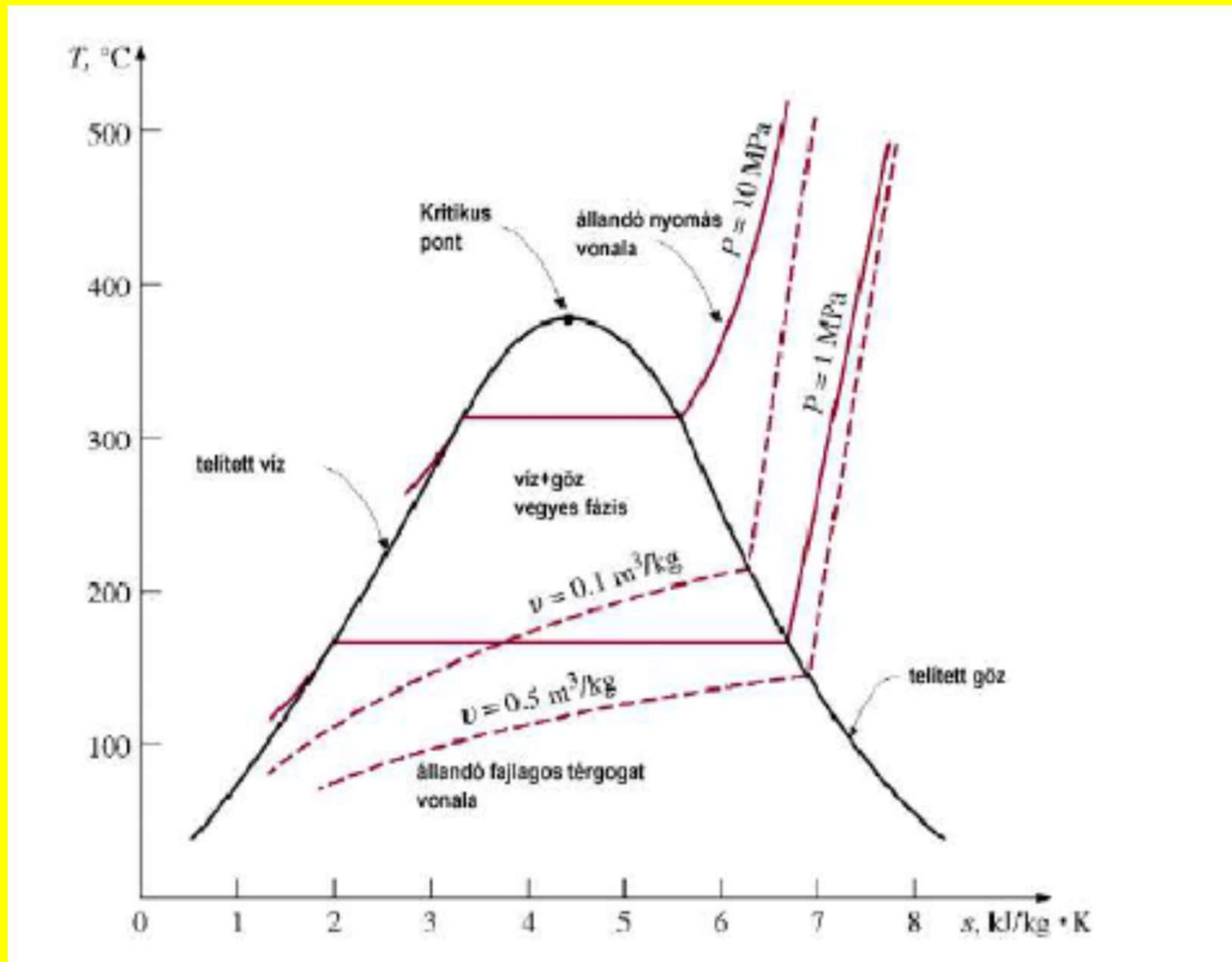
- változó hőigény (25..110%);
- harmatpont elkerülése (olaj-, széntüzelés);
- részterhelésen jobb hatásfok;
- minimális belépő víz hőmérséklet;
- minimális tömegáram.

# Erőművek

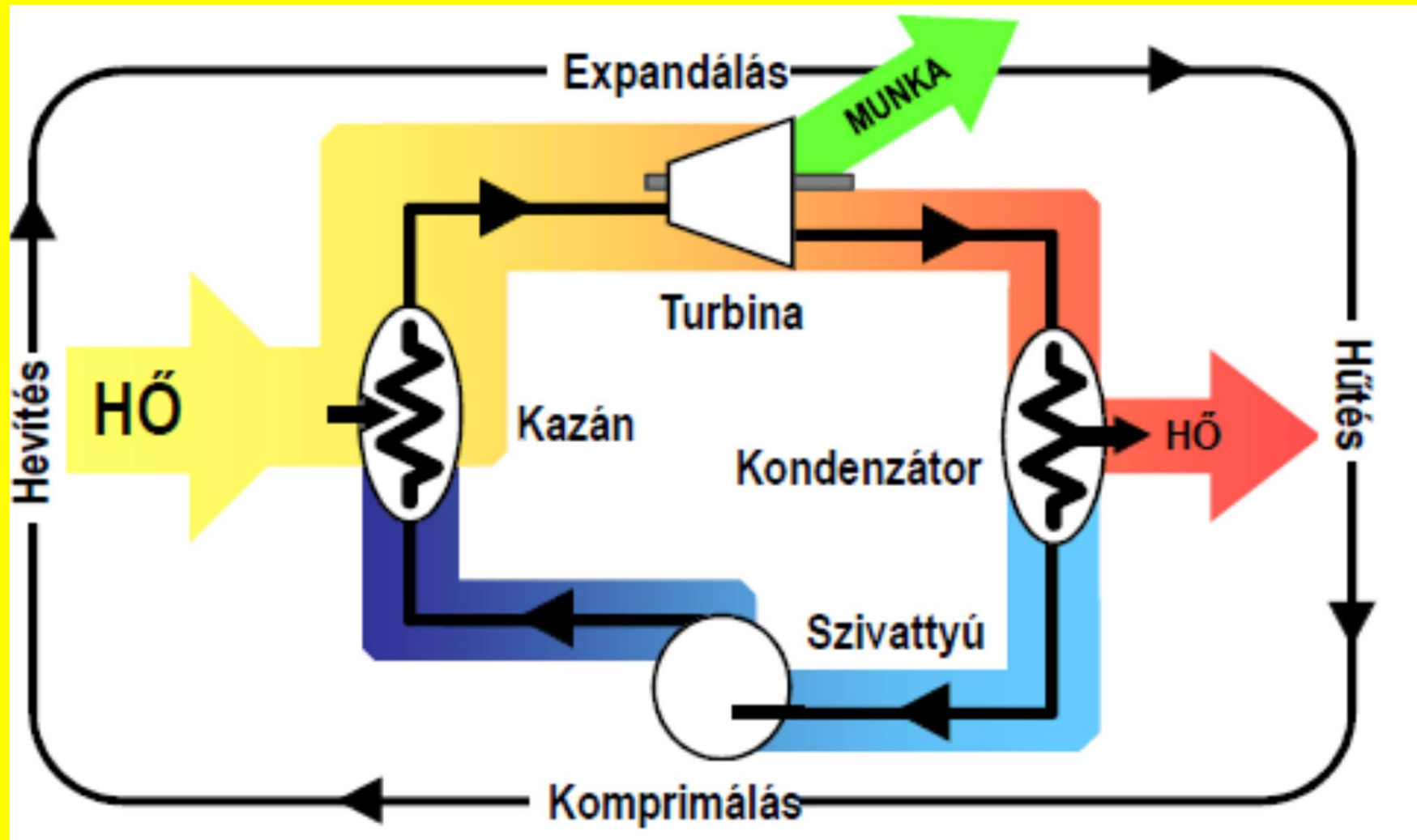
## Lehetőségek

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

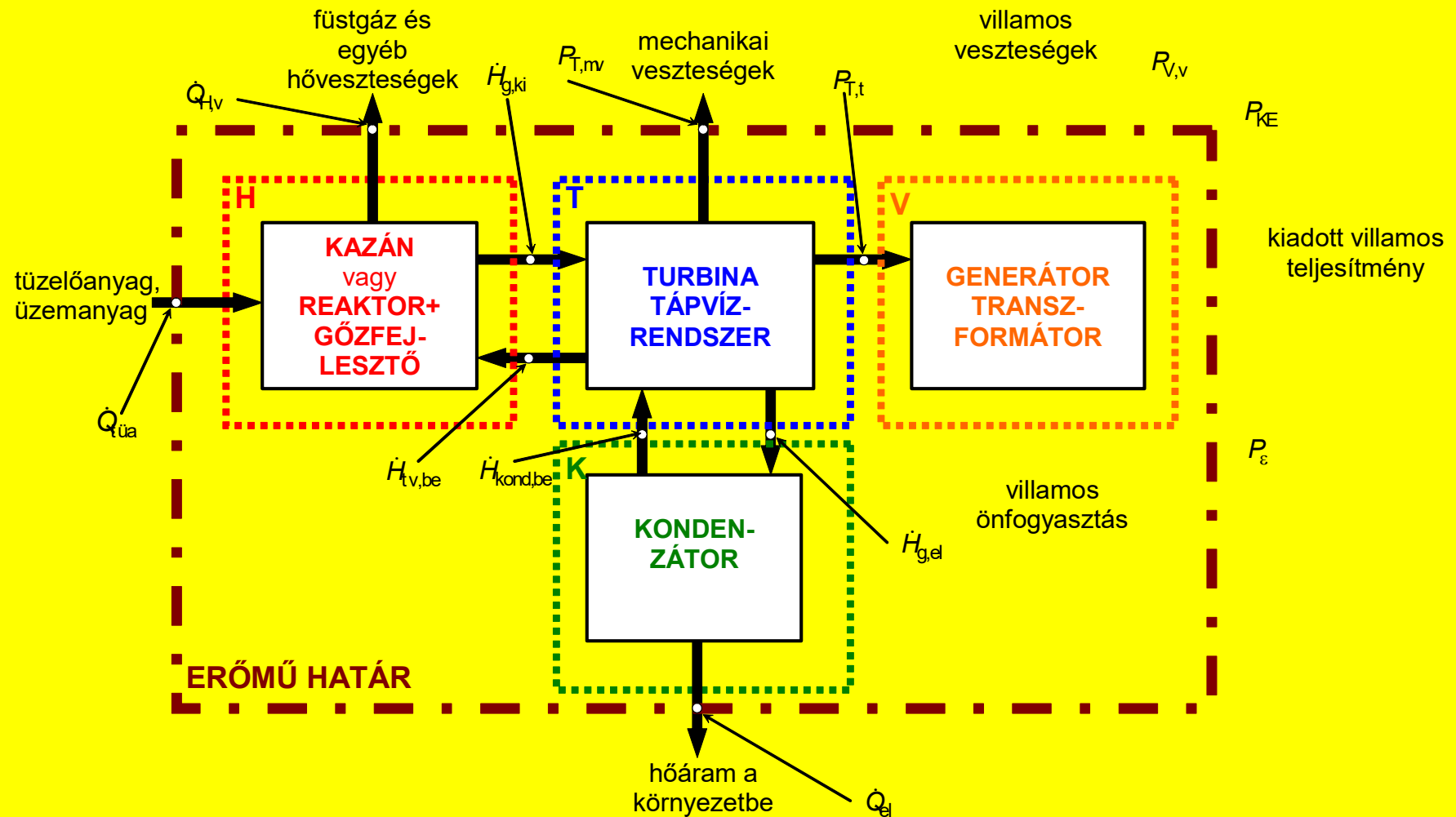
# A víz T-s diagramja



# Hagyományos erőművi körfolyamat



# Rendszerelvű leírás





# Gőzerőművi technológia

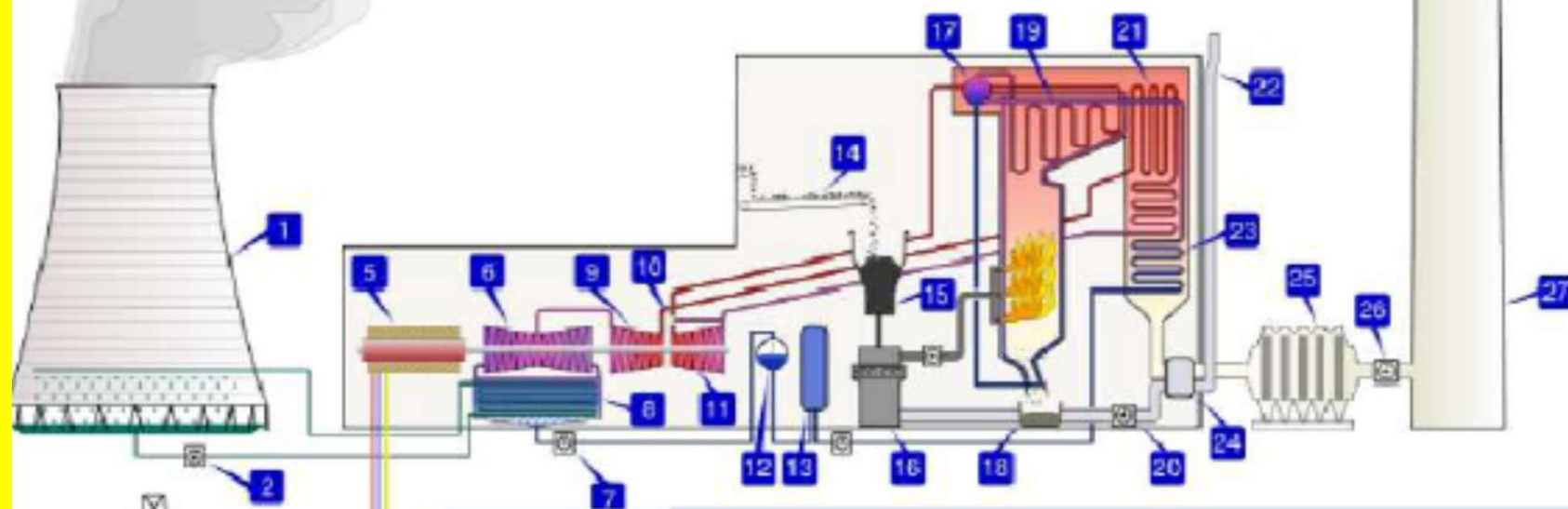
Gőznyomás szerint ( $p_{\text{krit}}=220,6$  bar)

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

Gőz túlhevítés szerint

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

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



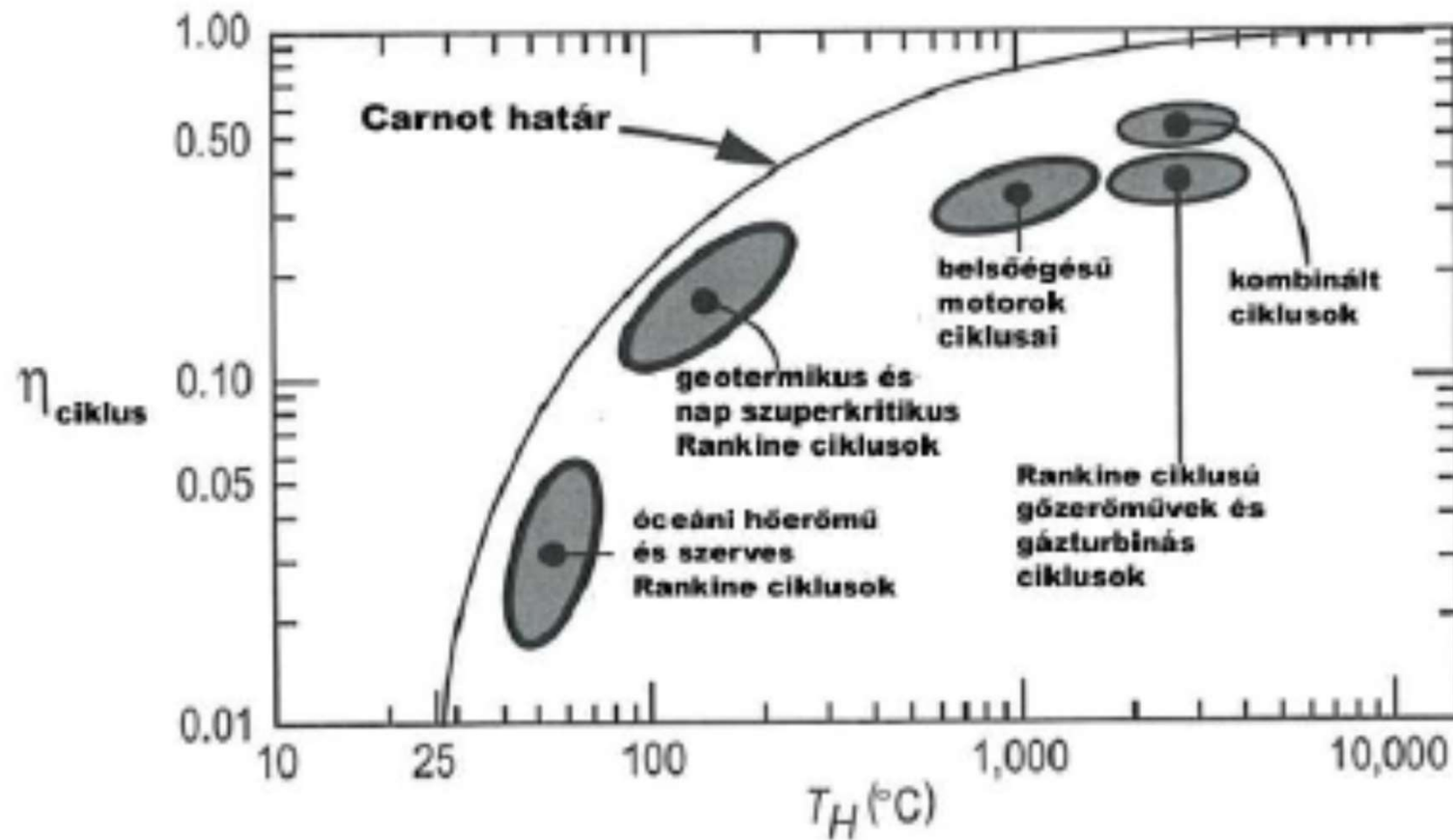
1. hűtőtorny  
 2. hűtővíz szivattyú  
 3. távvezeték oszlop  
 4. transzformátor  
 5. generátor  
 6. kisnyomású turbina  
 7. kazán tápvíz sziv.

8. kondenzátor  
 9. közepes nyom. turbina  
 10. gőzelevezető  
 11. nagy nyom. turbina  
 12. gáztalanító  
 13. tápvíz előmelegítő  
 14. szén futószalag

15. szénhombár  
 16. szénőrítő malom  
 17. kazánbőr  
 18. salaktároló  
 19. túlhevítő  
 20. léglúvó  
 21. újrahevítő

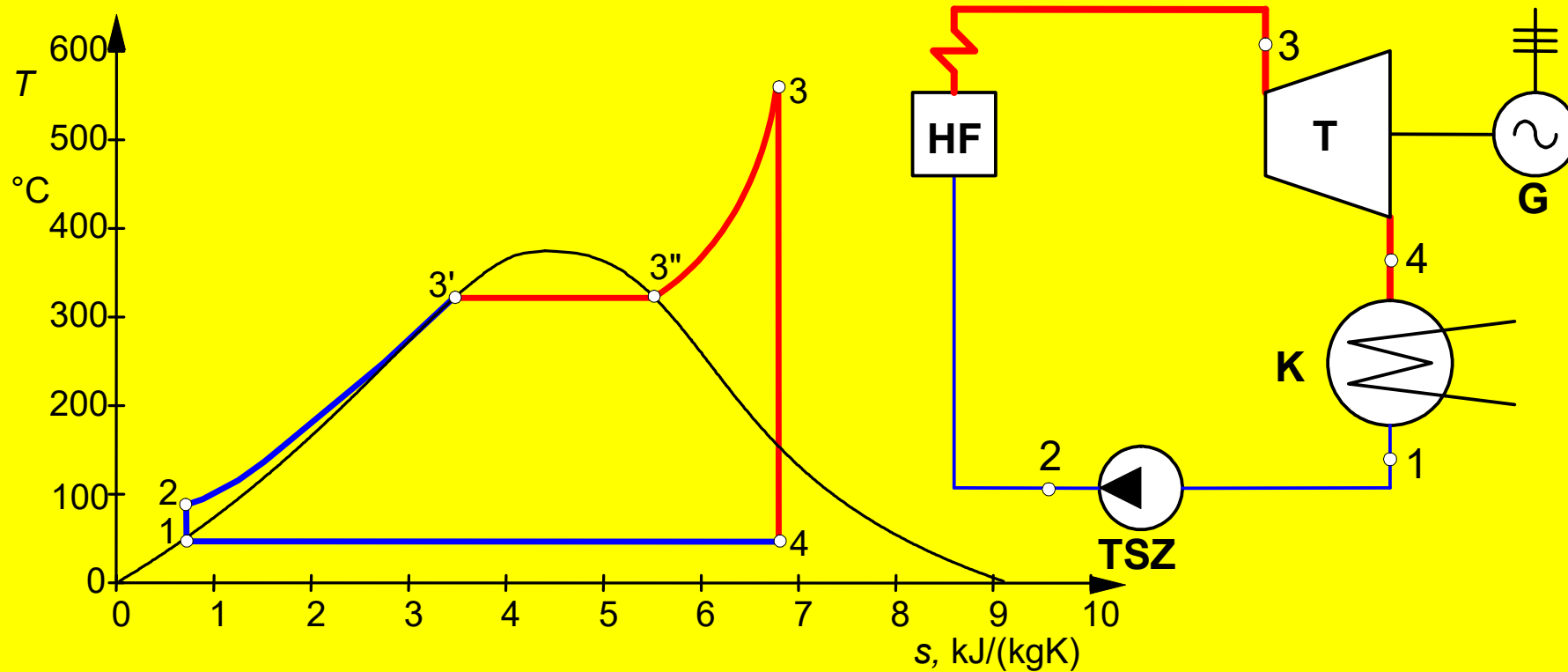
22. légbeszívás  
 23. tápvíz negen. előmel.  
 24. levegő előmelegítő  
 25. légszűrő  
 26. szívó ventilátor  
 27. kémény

# Erőművi körfolyamatok hatásfoka

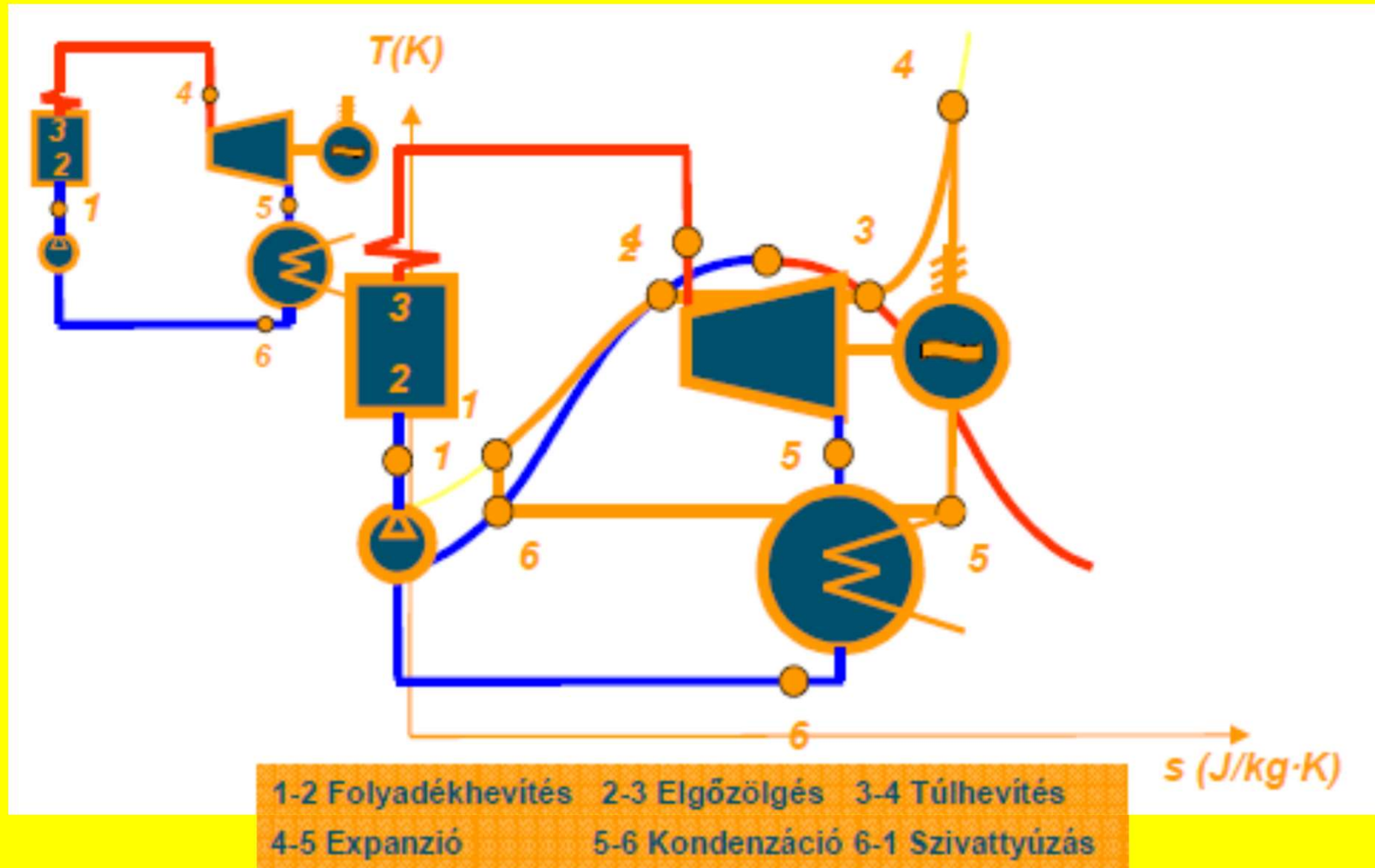


# Kondenzációs gőzerőmű

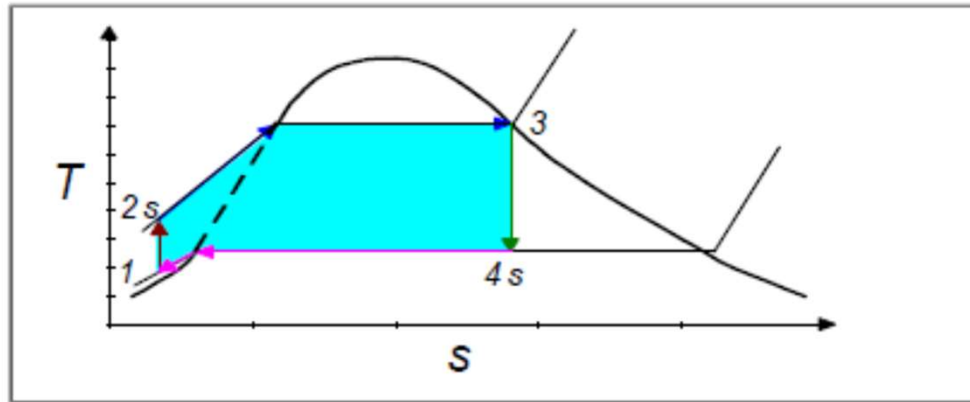
Villamos erőmű (egy termék: villamos energia)



# Rankie-Clausius körfolyamat

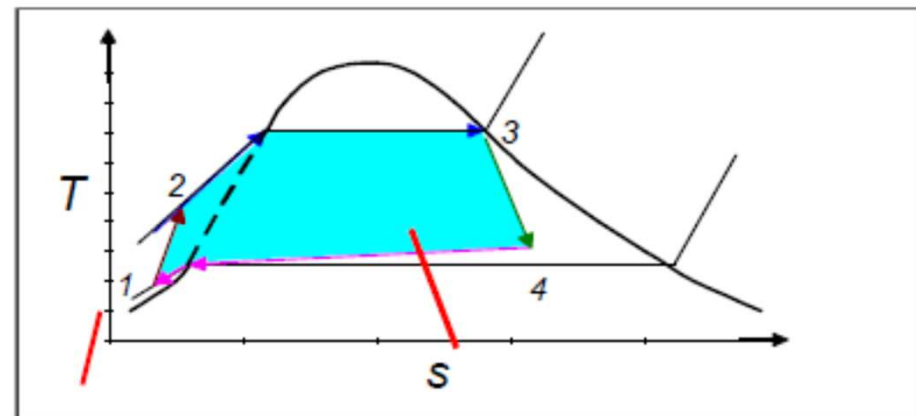


- 1-2 reverzibilis adiabatikus szivattyúzás
- 2-3 hevítés állandó nyomáson (részben izoterm)
- 3-4 reverzibilis adiabatikus expanzió
- 4-1 hűtés állandó nyomáson (részben izoterm)



# Irreverzibilitások

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

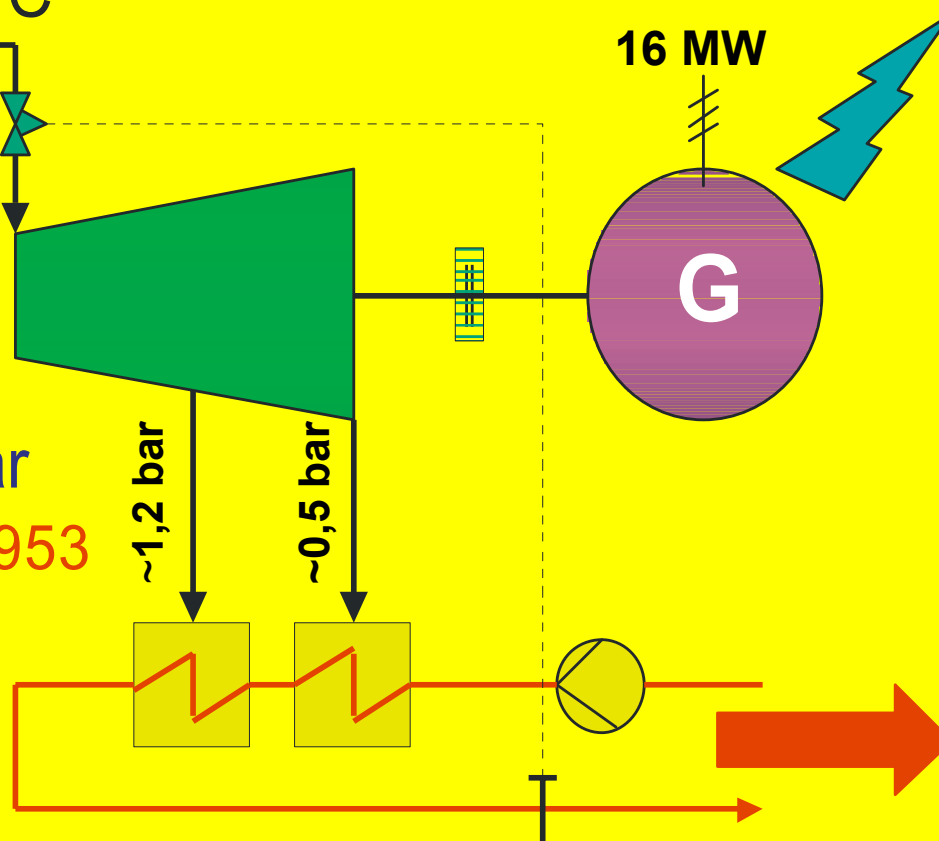


# Ellennyomású hőkiadás

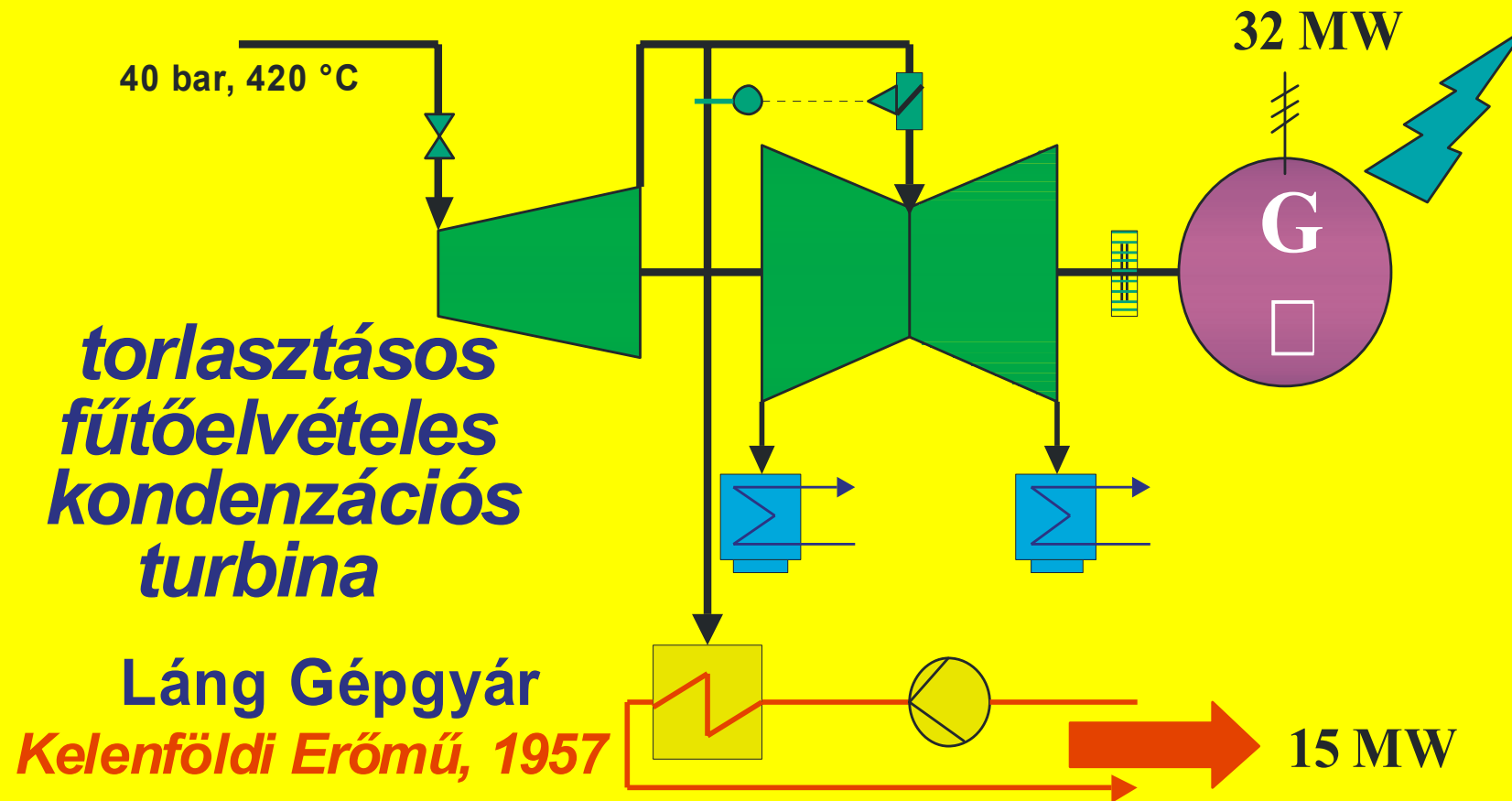
A „magyar fűtőturbina”

35 bar, 435°C

Láng Gépgyár  
Dunai Vasmű, 1953



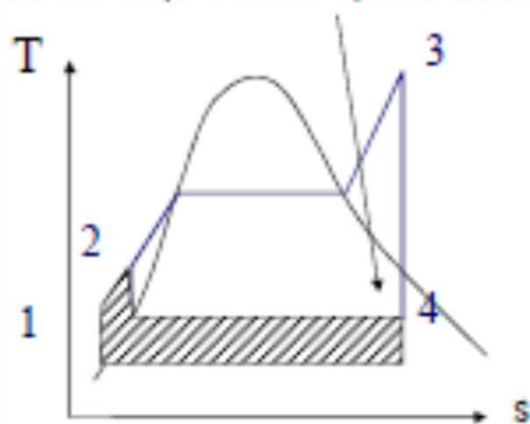
# Elvételes-kondenzációs hőkiadás



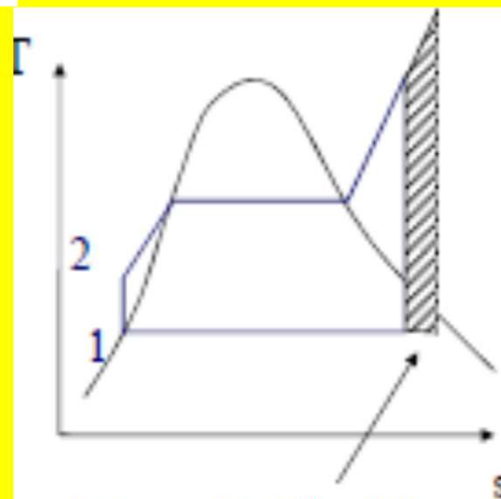
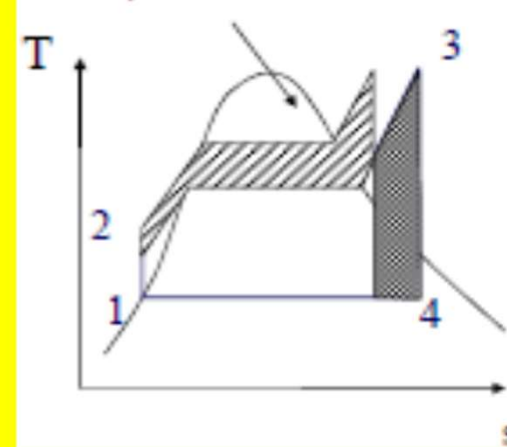


# Rankie-Clausius körfolyamat hatásfokának növelése

(a) alacsonyabb kond. nyomás (hőm.)



(c) nyomás (hőm.) növelése



(b) nagyobb túlhevítés

# 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?**

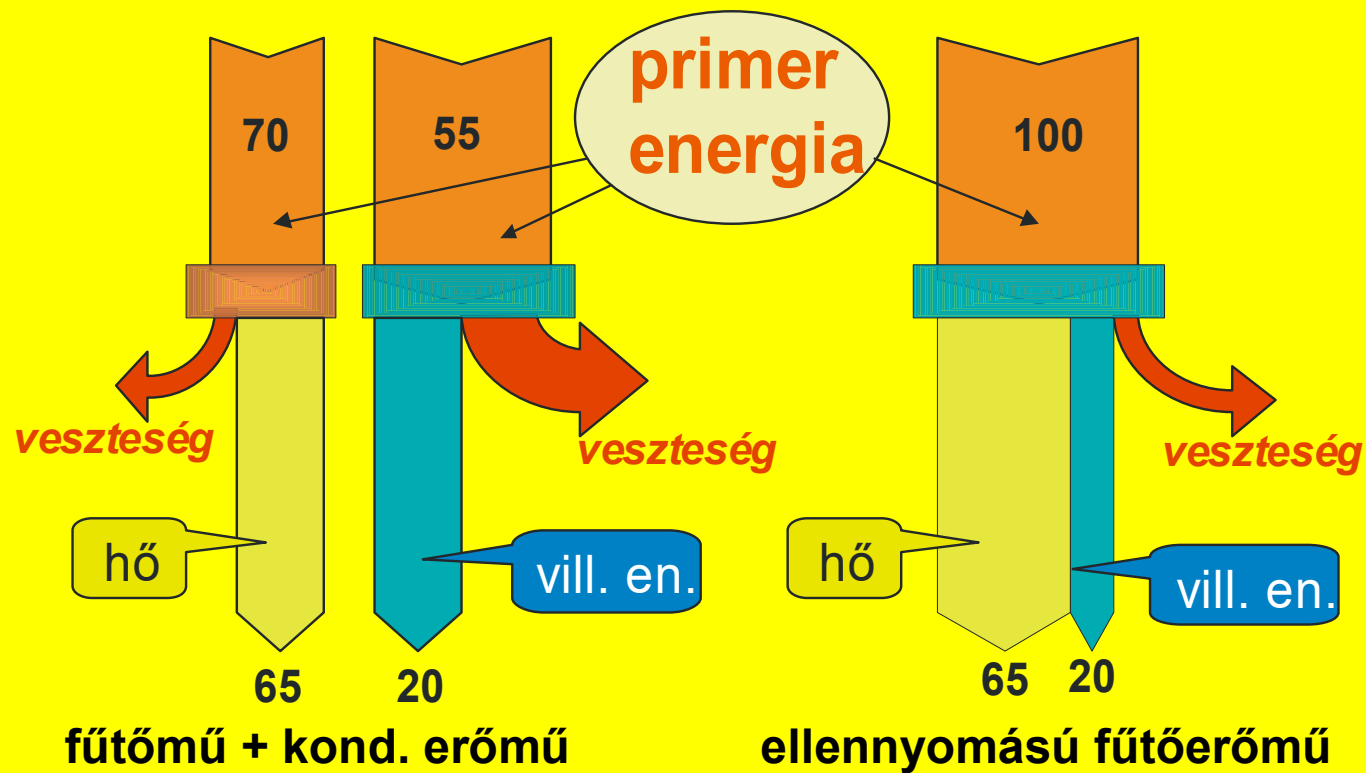
- Melyik a „fő” termék (a hő vagy a villany), melyik hoz nagyobb hasznot a tulajdonosnak?
- A hő az elsődleges? (ez “értéktelenebb” termék)
- A villany az elsődleges? (ára legalább 3-szor nagyobb)

Megjegyzések:

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

# Kapcsolt 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**

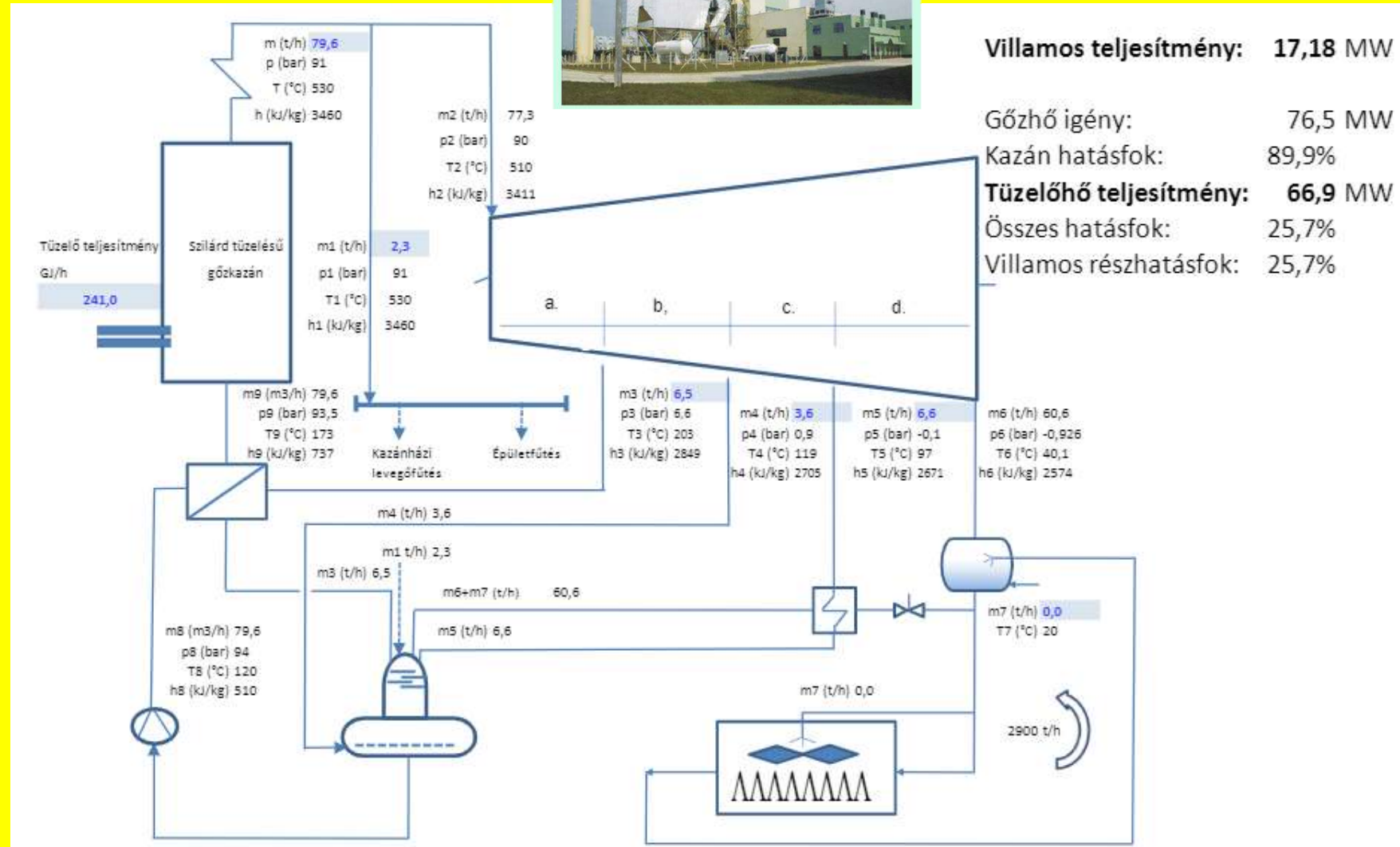
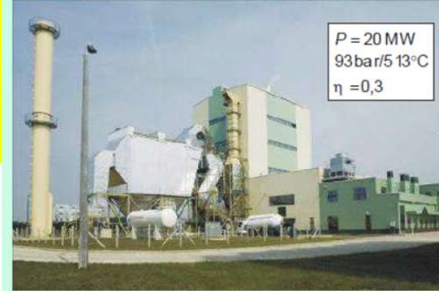
**■ fenntartható fejlődés**

# Lehetőségek

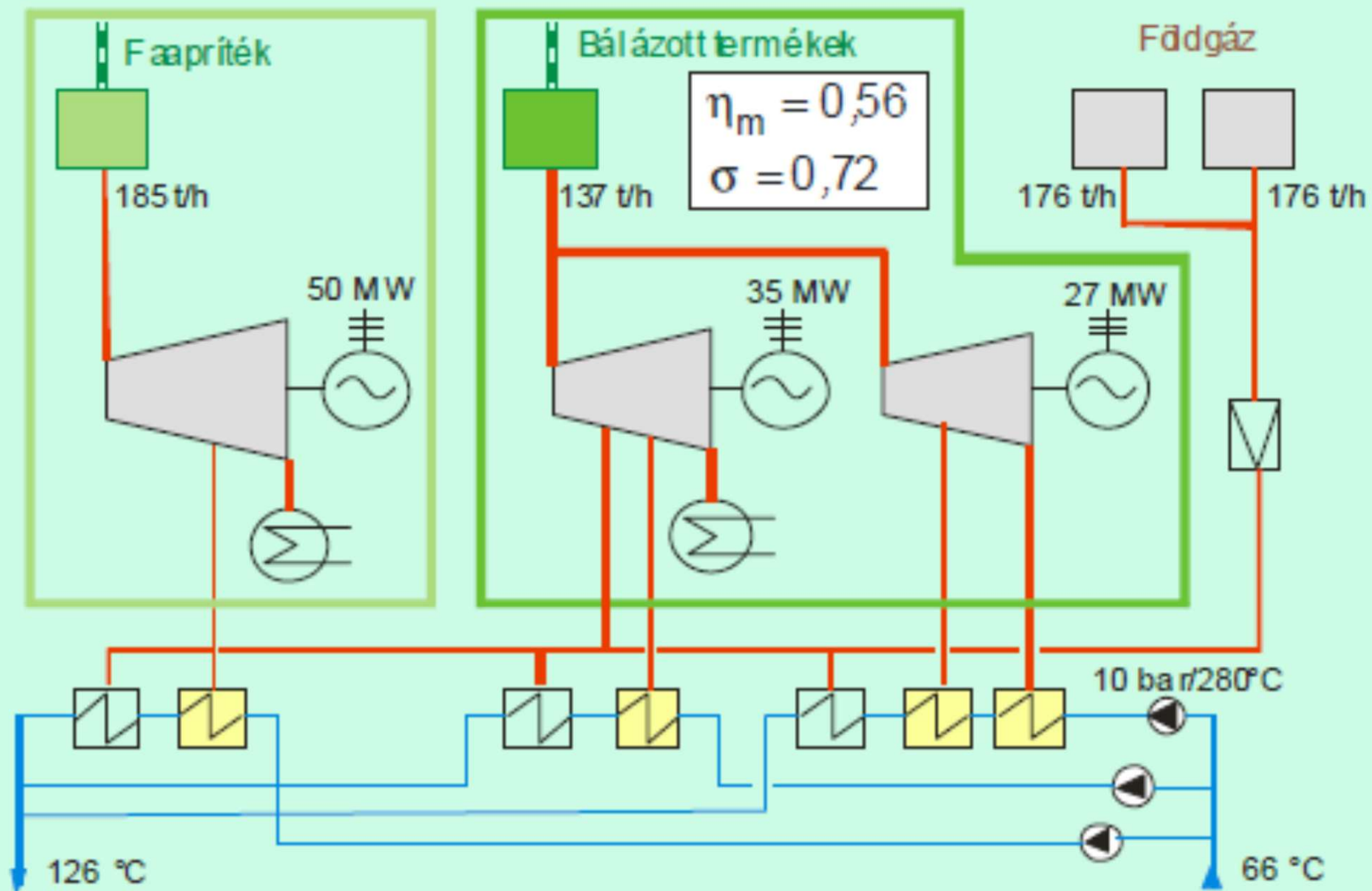
- **Gőzturbinás - hagyományos - típusok:**
  - **ellennyomású gőzkörfolyamattal**
  - **elvételes, kondenzációs gőzkörfolyamattal**
- **Gázturbinás - hagyományos - típusok:**
  - **egyszerű hőhasznosítással (CHP-GT)**
  - **összetett körfolyamattal (CHP-CCGT)**
- **Gázmotoros**
- **Tüzelőanyag-elemes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

# Szakoly

Szakolyi biomassza kondenzációs erőmű

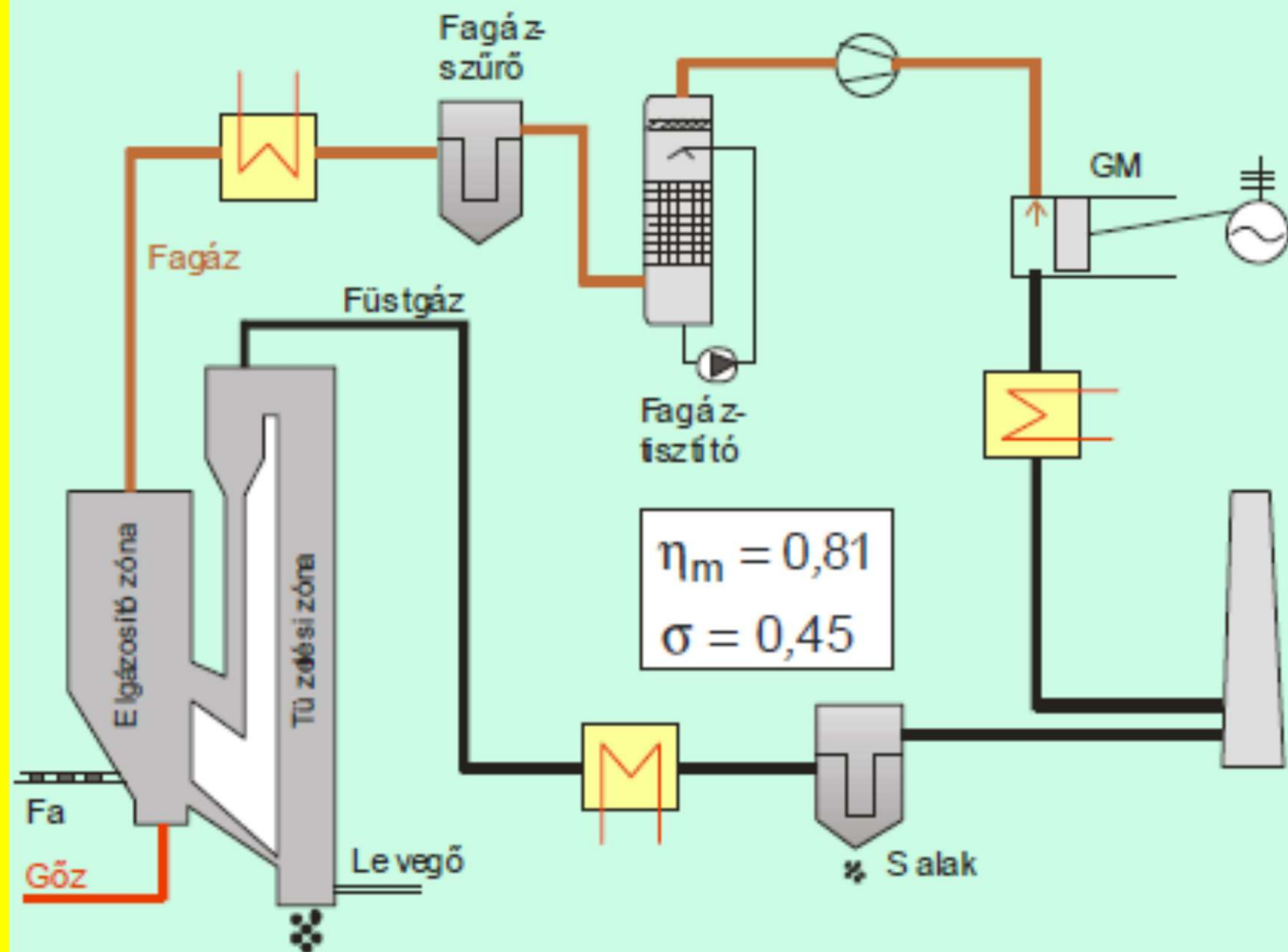


# Pécsi Erőmű fa- és szalmatüzelés

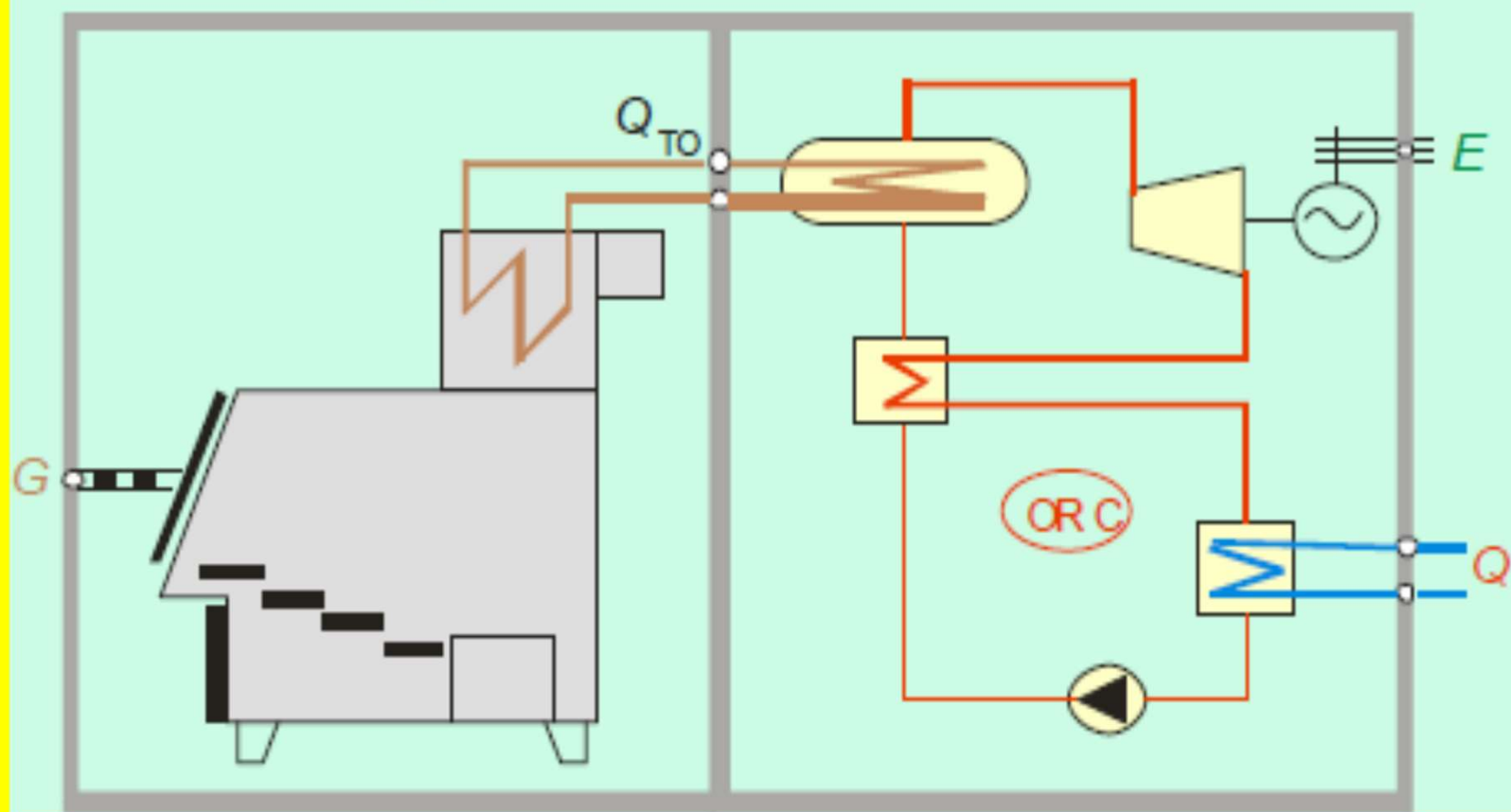




# Güssingi fagáz fűtőerőmű

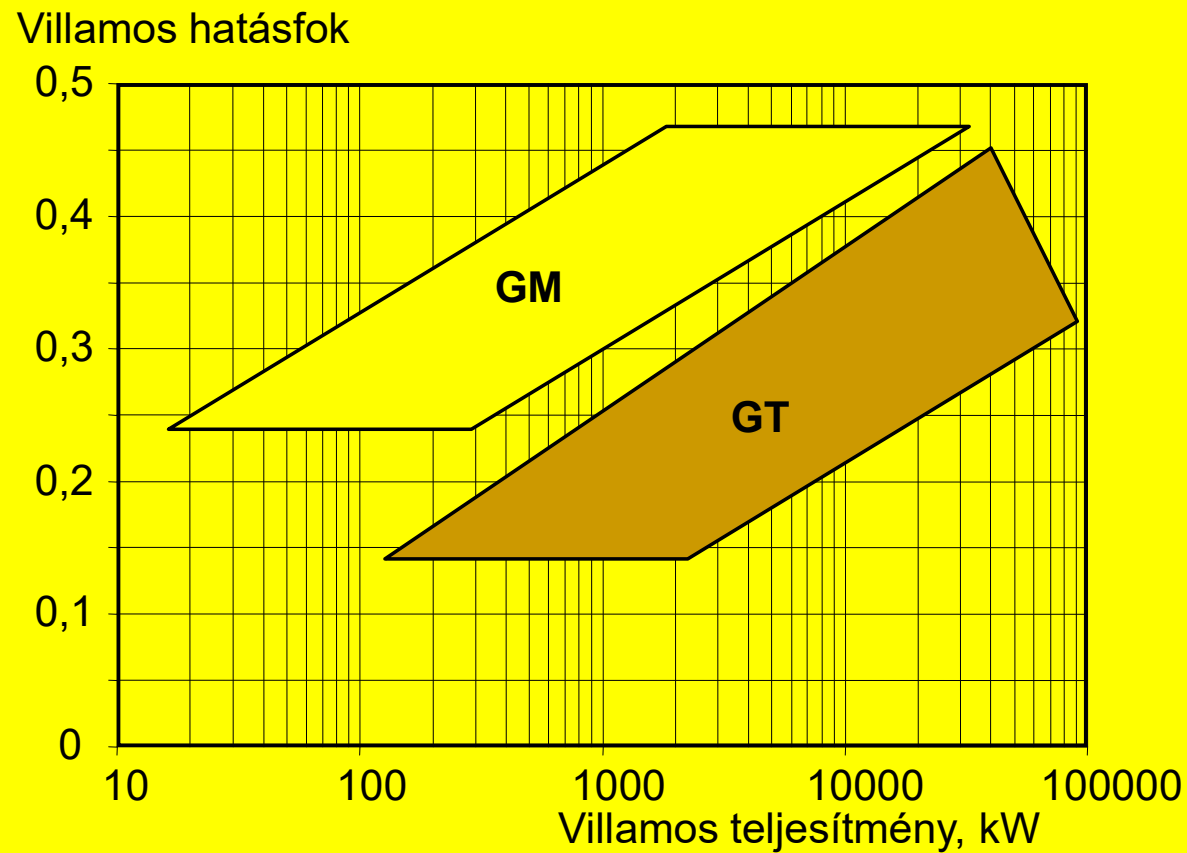


Biomassza termoolajos ORC erõmû  
Magyarország: tanulmány  
Csehország: Třebíč



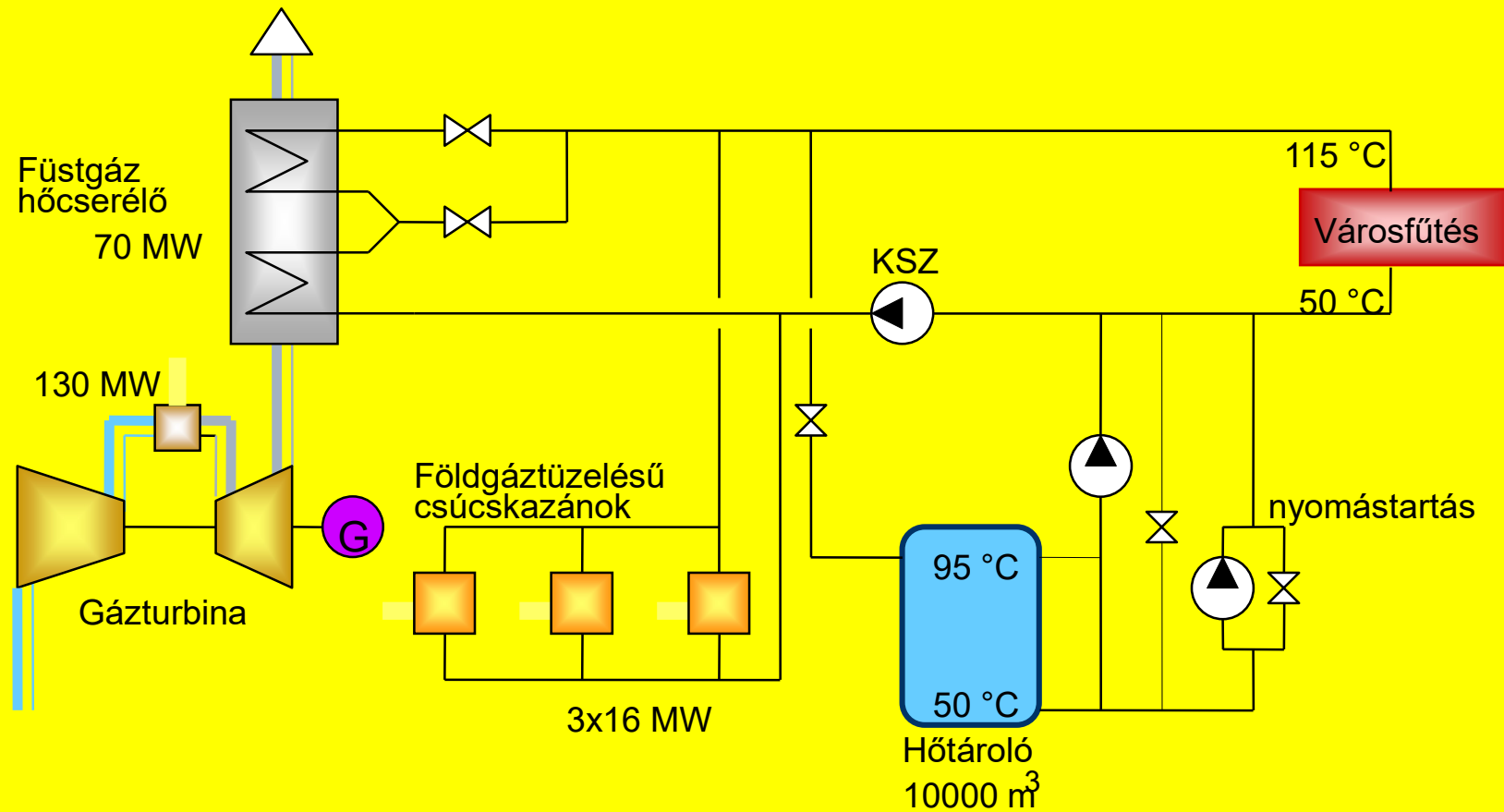
# Gázmotor / Gázturbina

## Alkalmazási tartomány

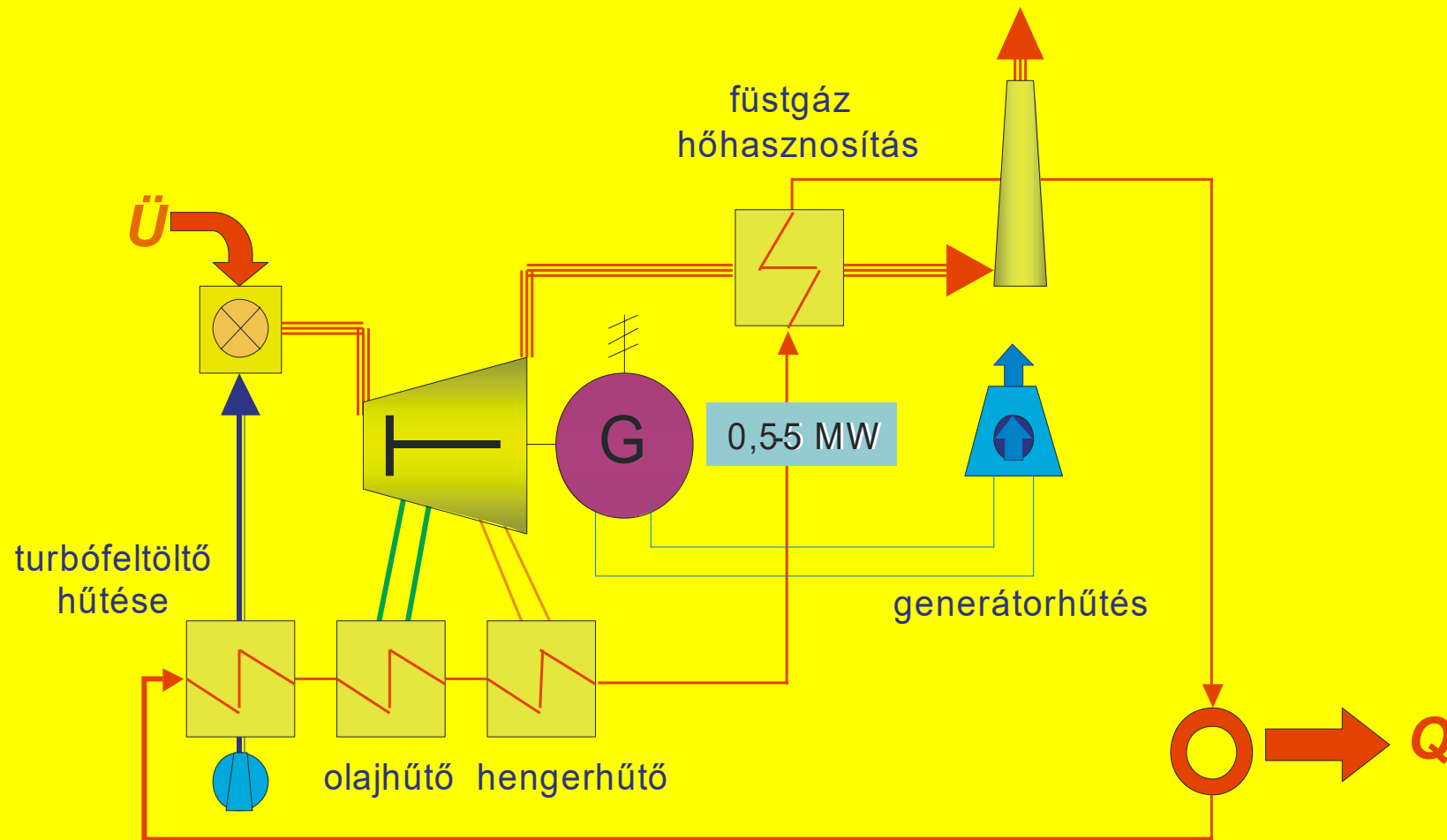


# Gázturbinás fűtőblokk

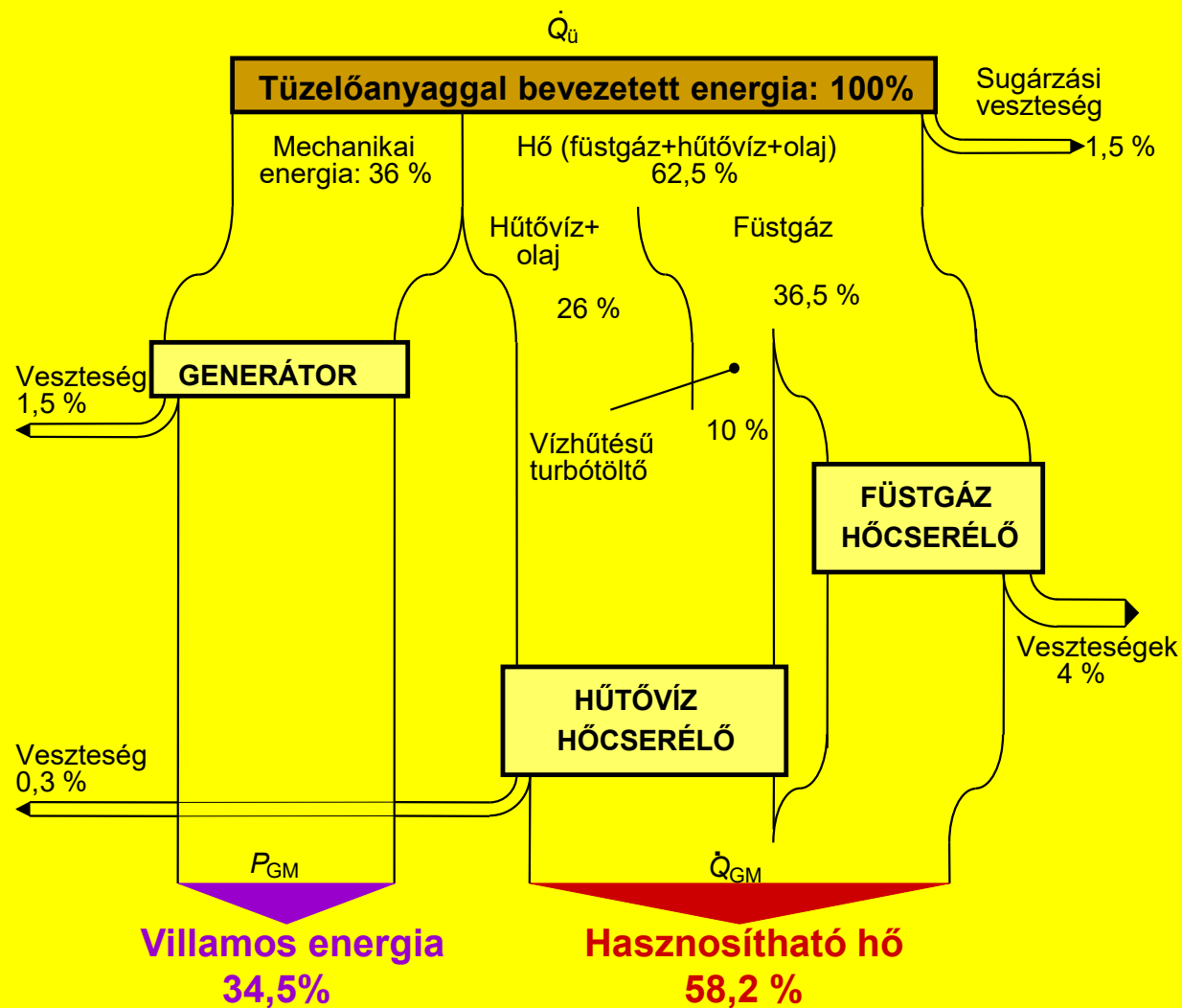
Kouvola-i fűtőerőmű, Finnország



# 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.

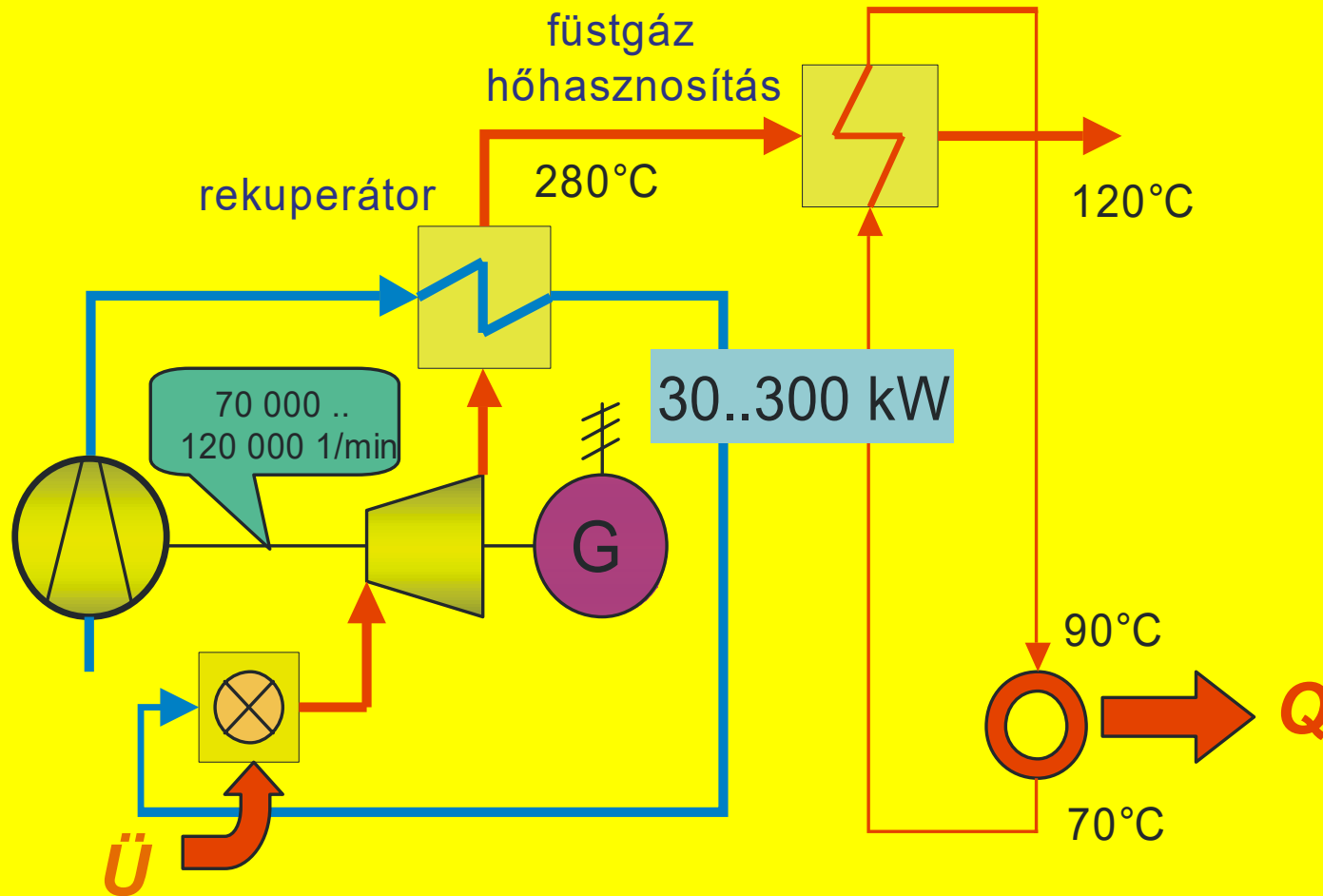
# Gázmotoros fűtőerőmű

## Alkalmazási terület

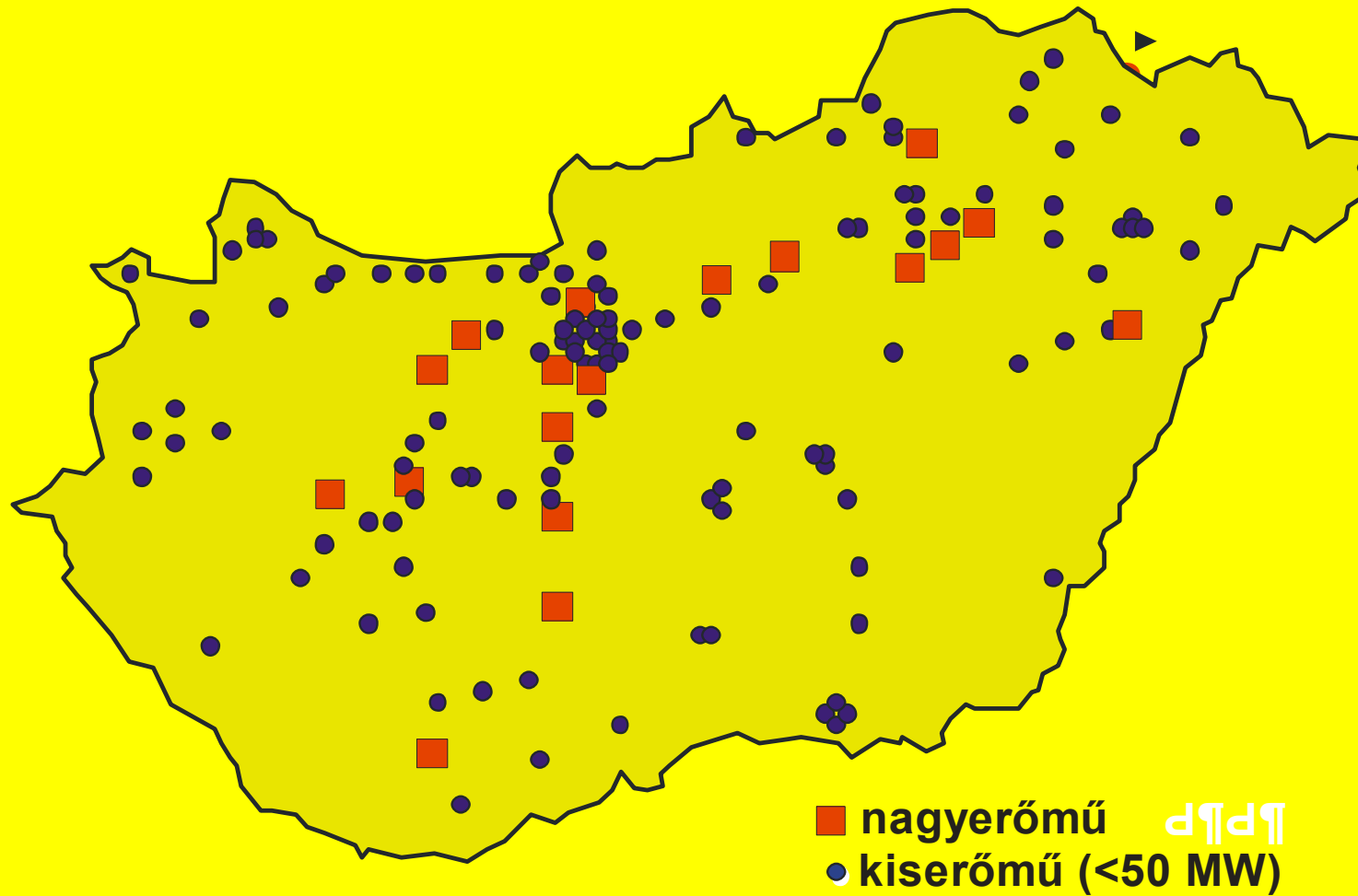
- A forróvizetes távhőrendszerek néhány MWt teljesítményű, egész éves üzemű használati melegvíz hőigényének kielégítése gázmotoros fűtőblokkal.
- A gázmotoros fűtőblokkok létesítése szennyvíztisztító-biogáz és szemétkerakó depóniagáz hasznosítására mindinkább előtérbe kerülő kérdés. Ennek oka egyrészt a tüzelőanyag lényegében ingyenes rendelkezésre állása, másrészt az elfáklázás 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 tehetők fűtési célokra.



# Mikro-gázturbinás fűtőerőmű



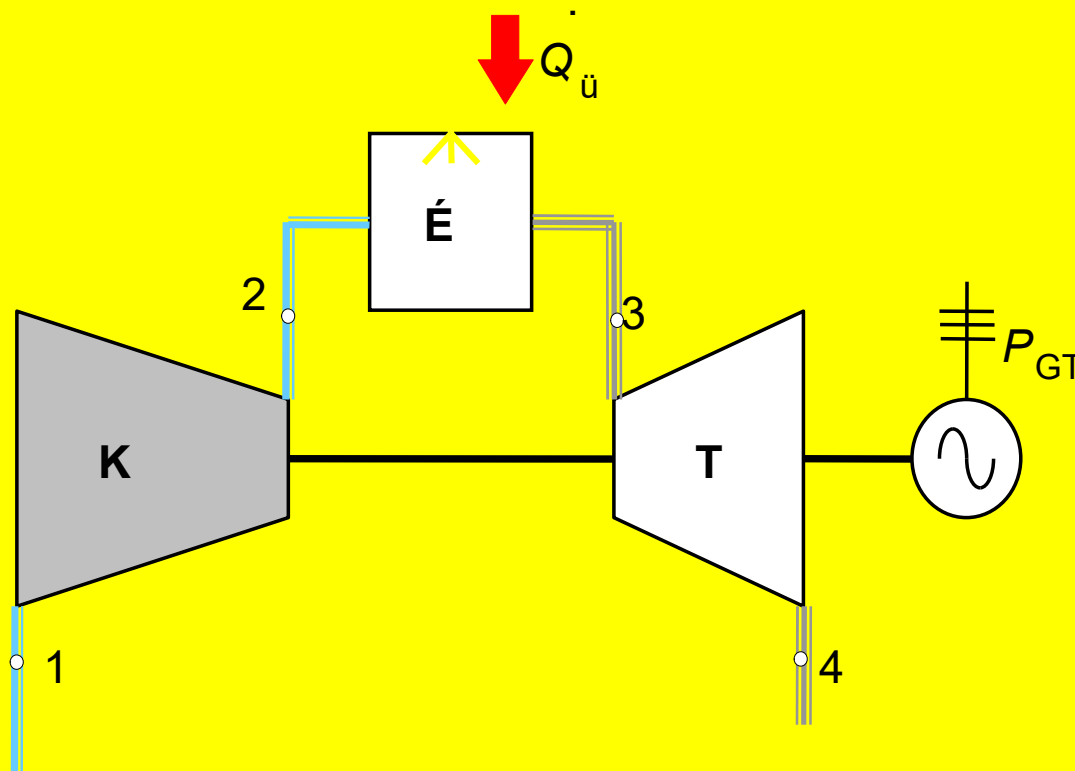
# Kiserőművek elterjedtsége



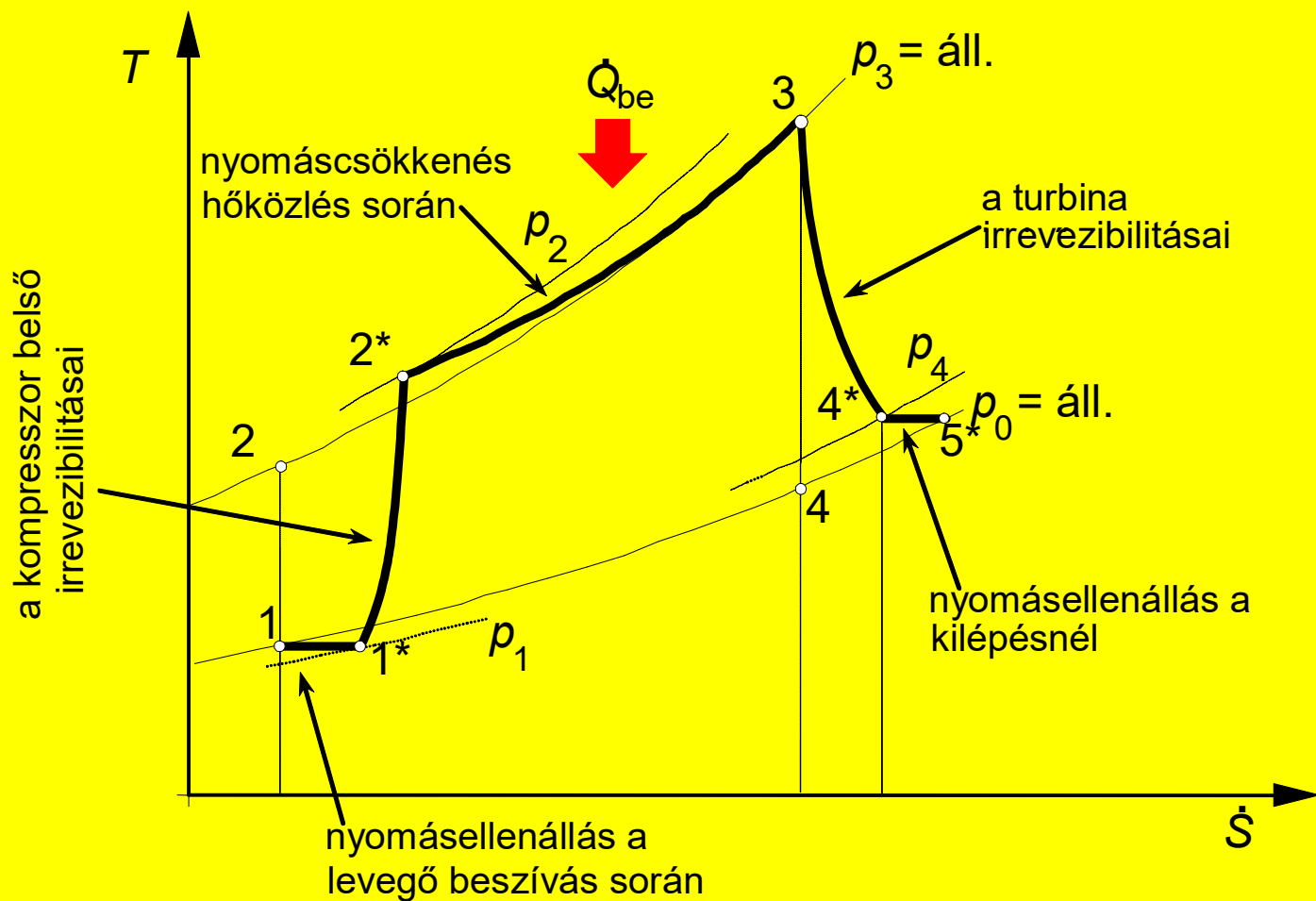
# Összetett körfolyamatú energiaátalakítás

## Gázturbinás energiaátalakítás

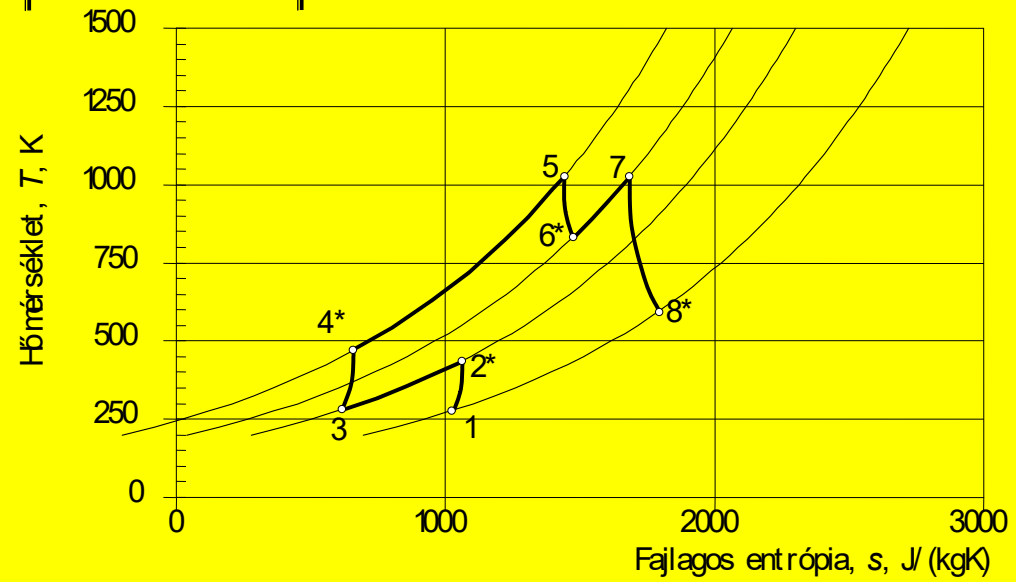
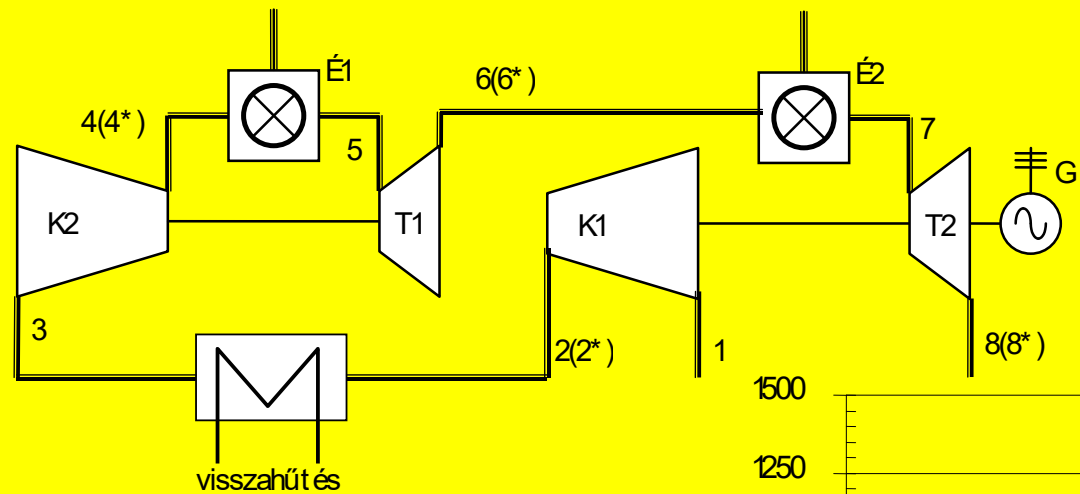
Nyíltciklusú gázturbinás erőmű



# Gázturbinás energiaátalakítás



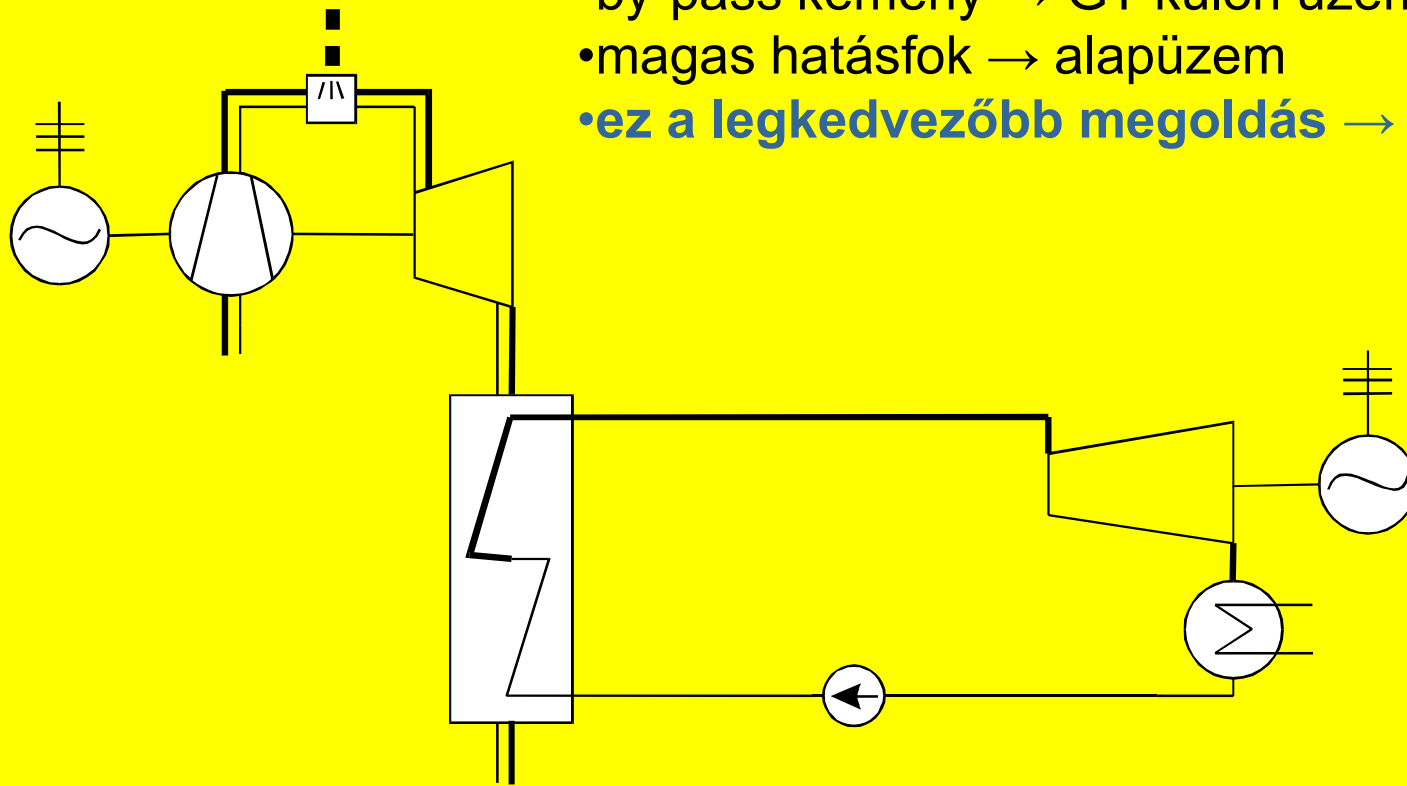
# Gázturbinás energiaátalakítás



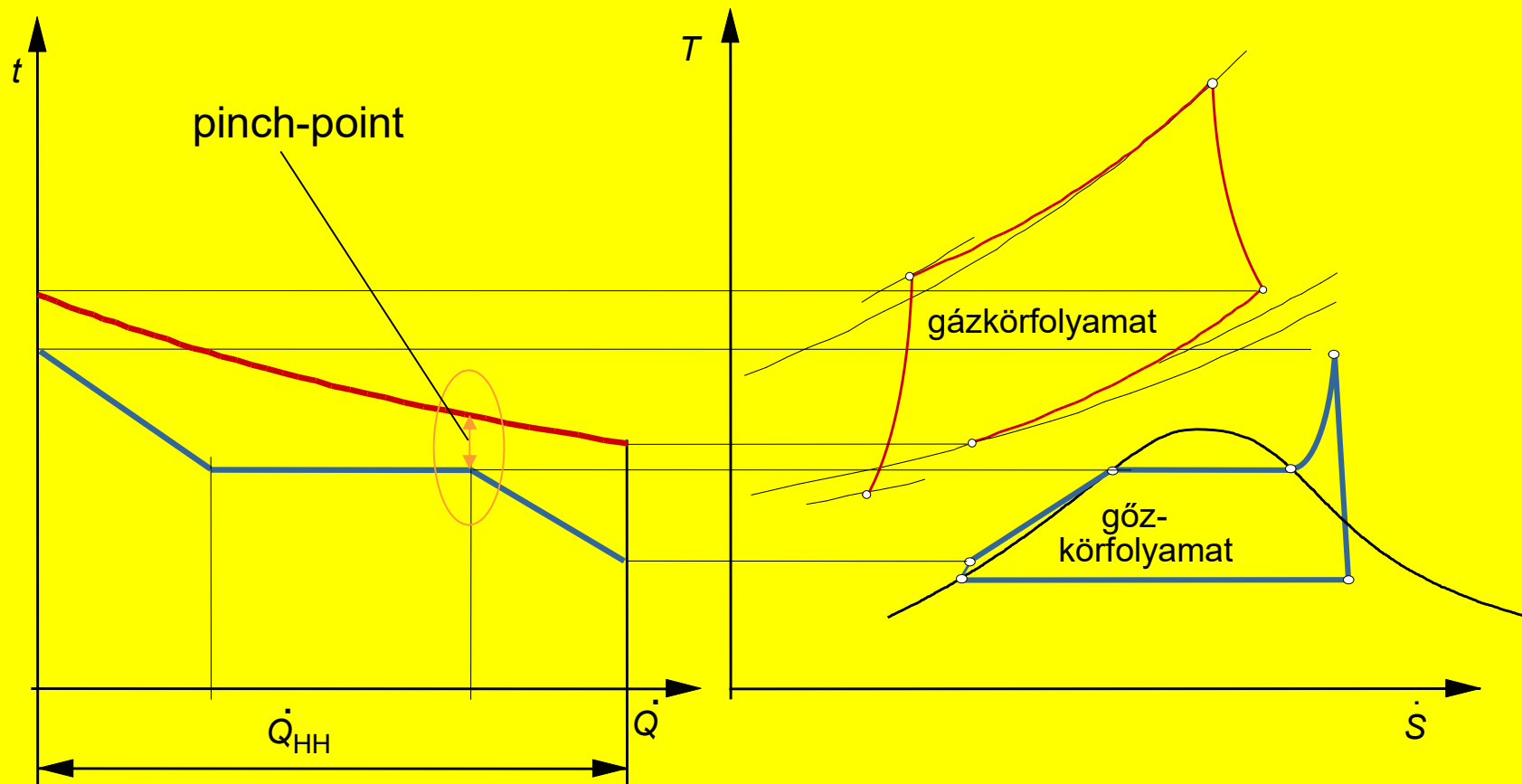
# Összetett körfolyamatok

## Kombináció utánkapcsolt gőzerőműben

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

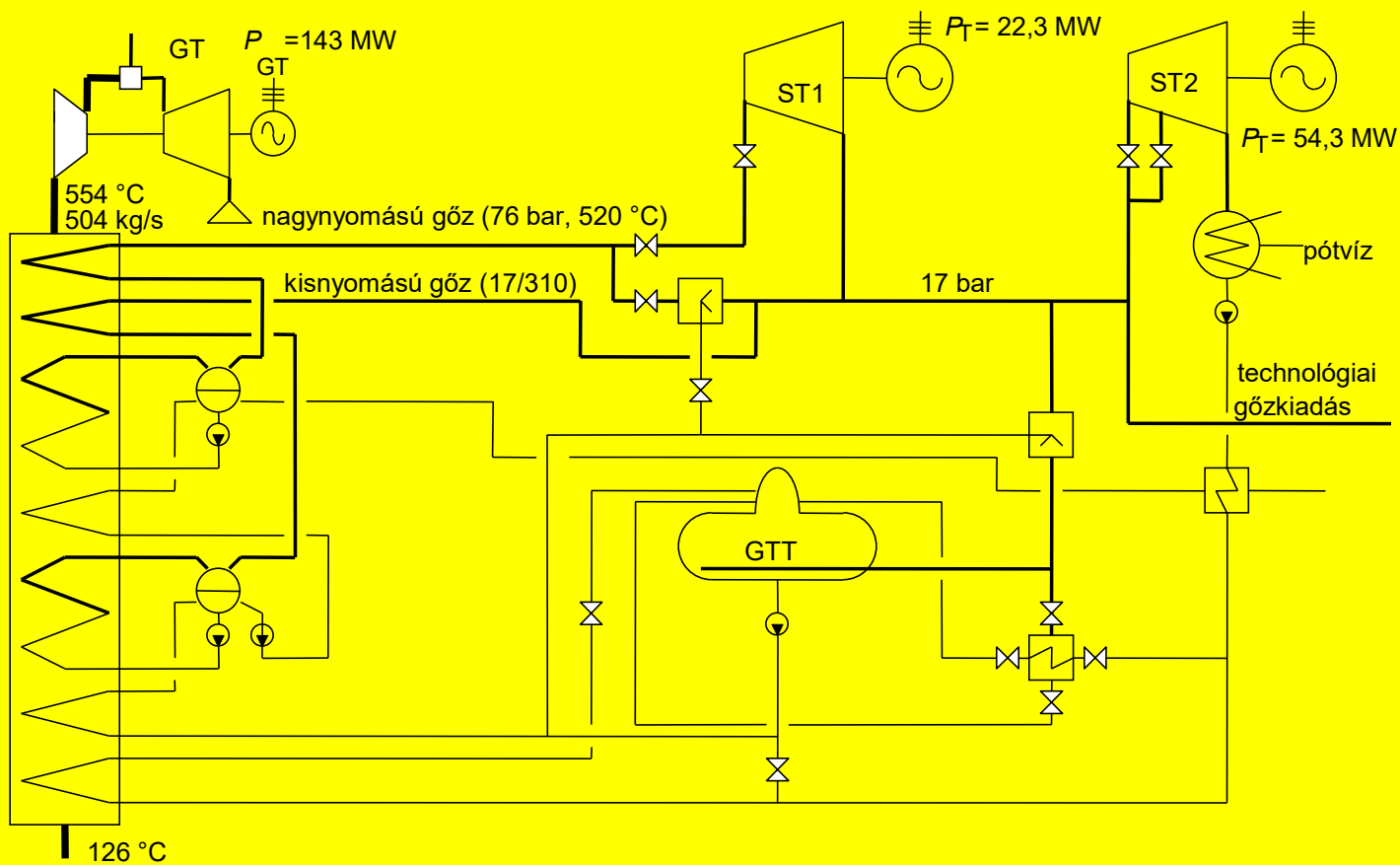


# Utánkapcsolt gőzerőmű



# Utánkapcsolt gőzerőmű

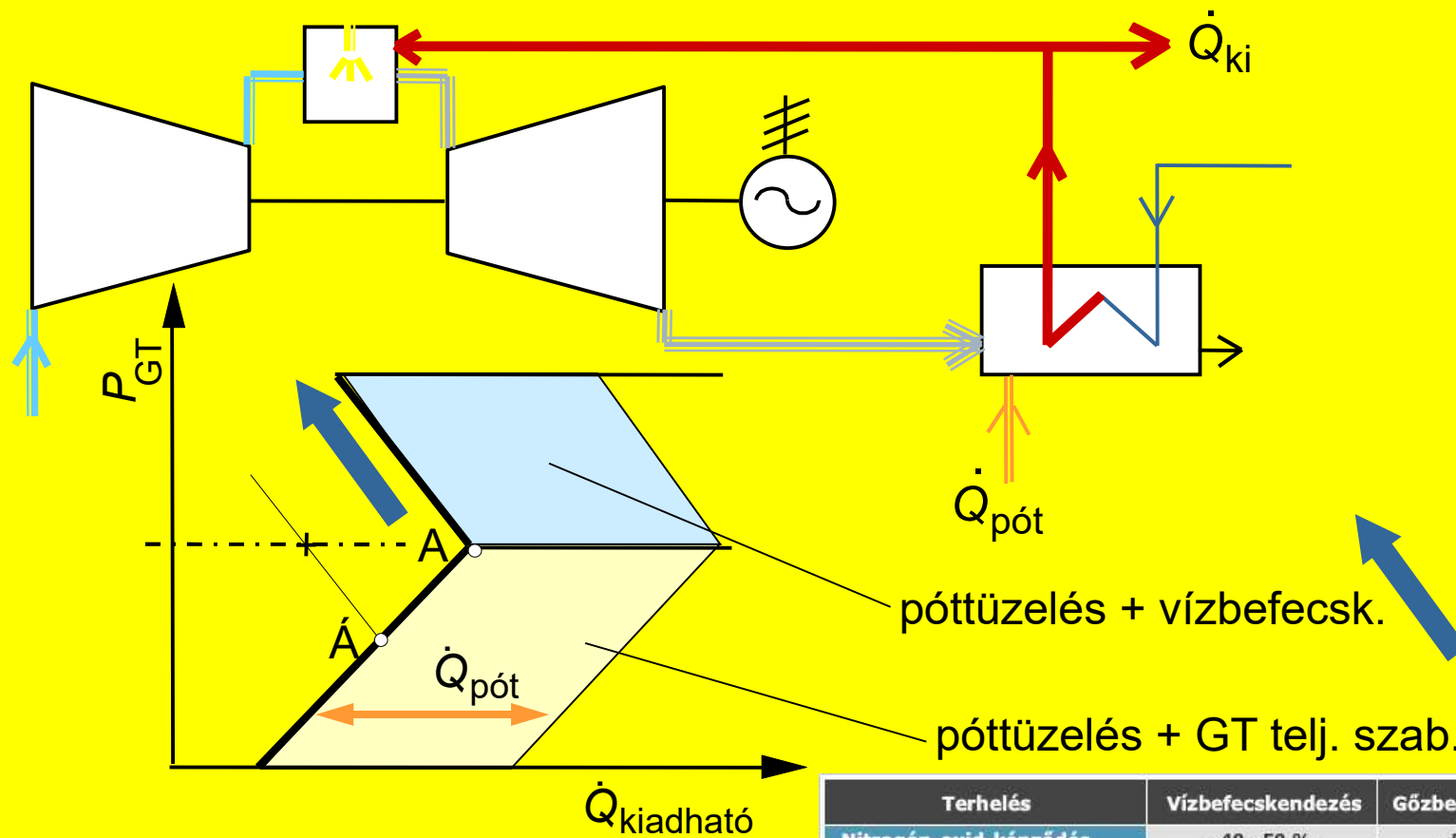
## Példa: Dunamenti G2 blokk





# Gőzbefecskendezés a GT-ban

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



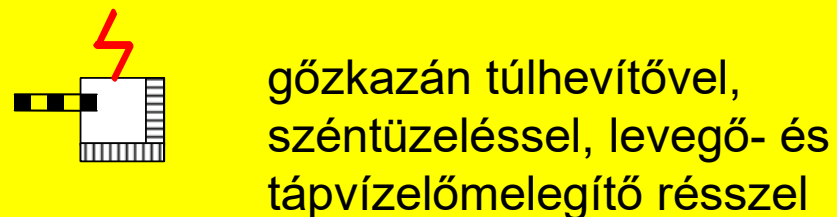
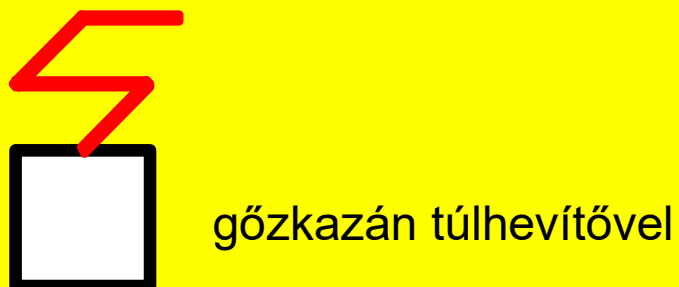
Terhelés	Vízbefecskendezés	Gőzbefecskendezés
Nitrogén-oxid-képződés	- 40...50 %	- 50...60 %
Teljesítmény	+ 4...4.5 %	+ 3,5...4 %
Hatásfok	- 1...2%	+ 1...2%
Turbina gázárama	~ 1,1 %	~ 1,03 %

# Energetikai jellemzők

	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

# Technológiai jelölések

## Hőforrások

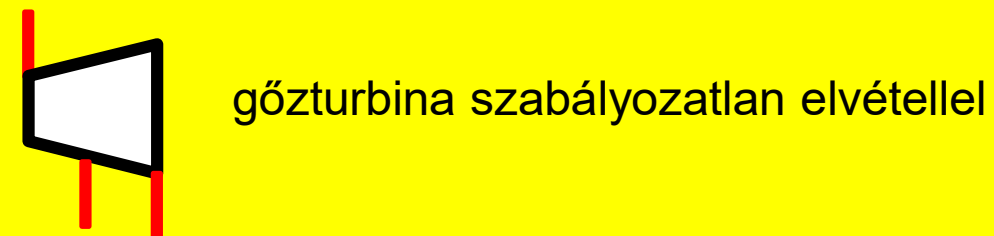
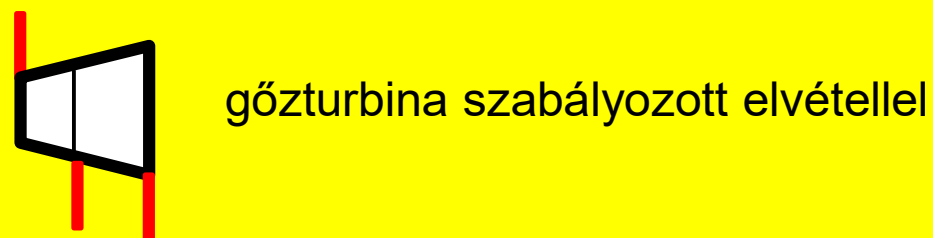


# Technológiai jelölések

## Hőforrások

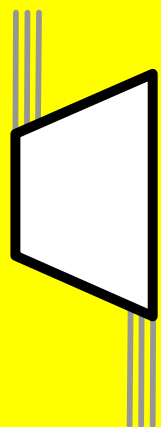


## Expanziós és kompressziós gépek

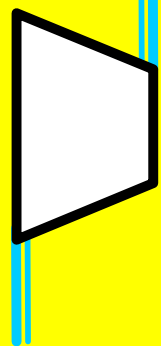


# Technológiai jelölések

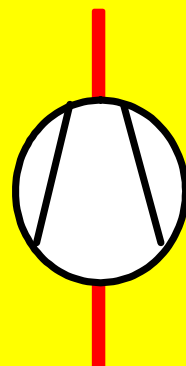
## Expanziós és kompressziós gépek



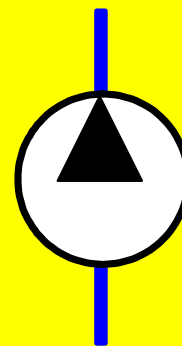
gázturbina



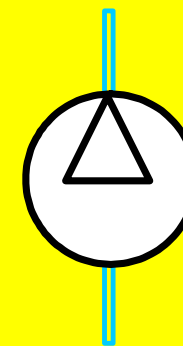
gázkompresszor



gőzkompresszor



szivattyú



ventilátor

# Technológiai jelölések

## Hőcserélők

