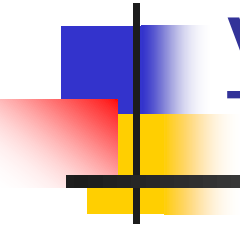
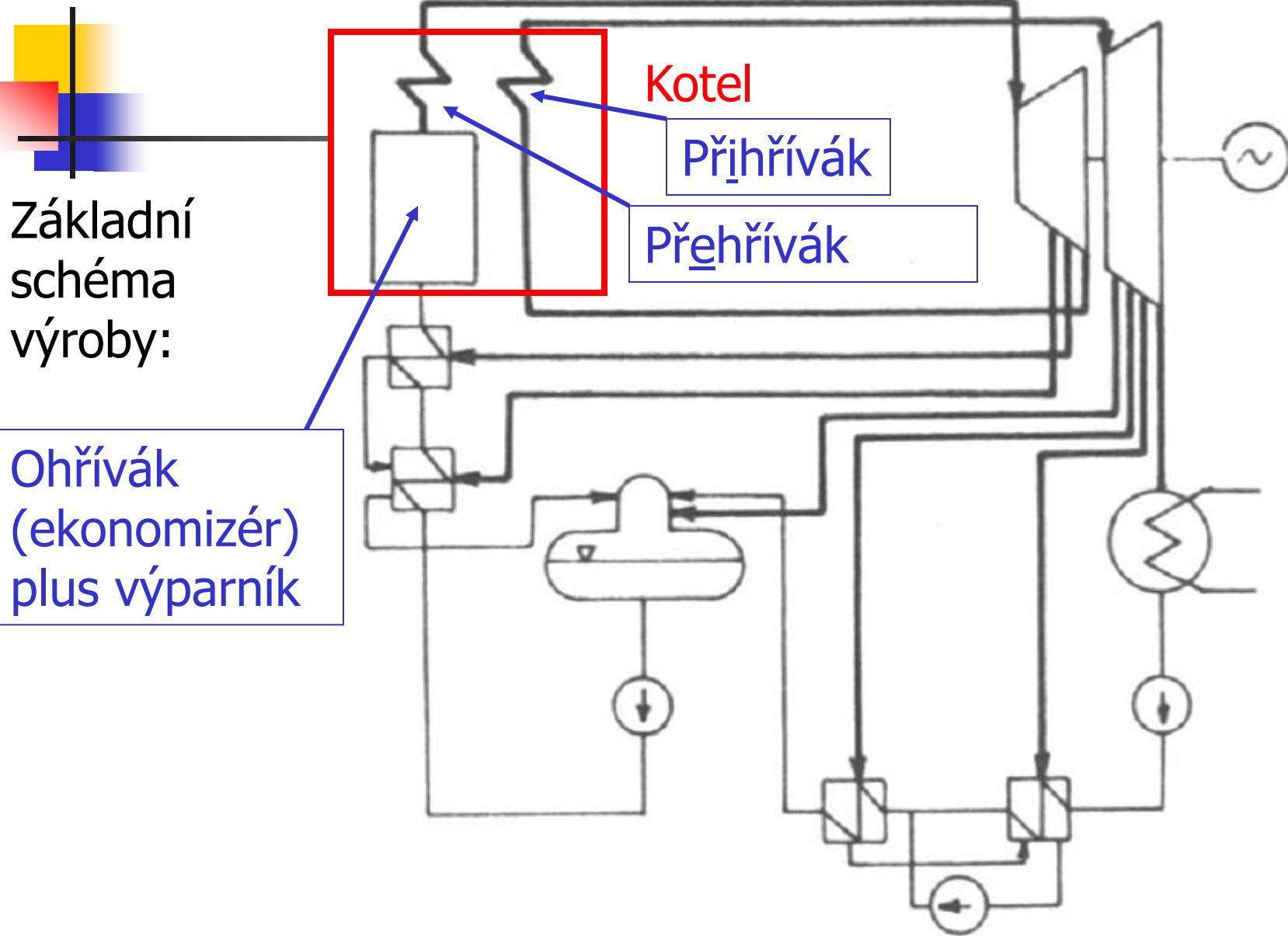


Technologie výroby v elektrárnách

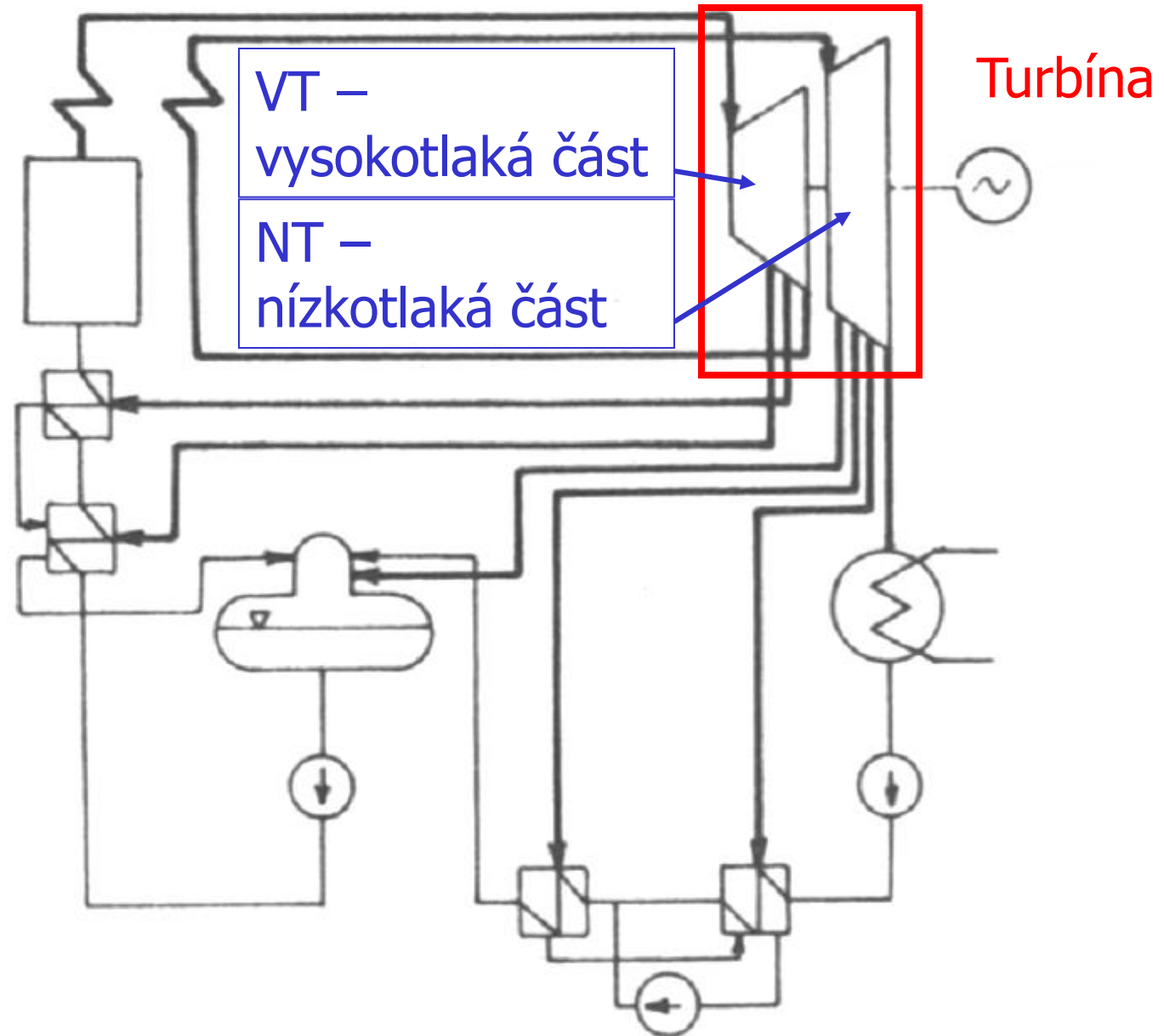


Klasické tepelné elektrárny

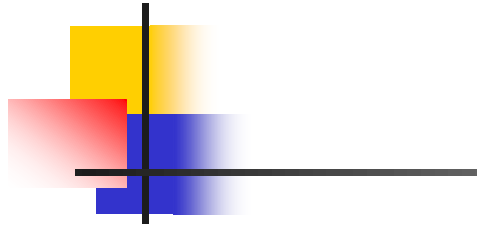


Klasické tepelné elektrárny

Základní
schéma
výroby:



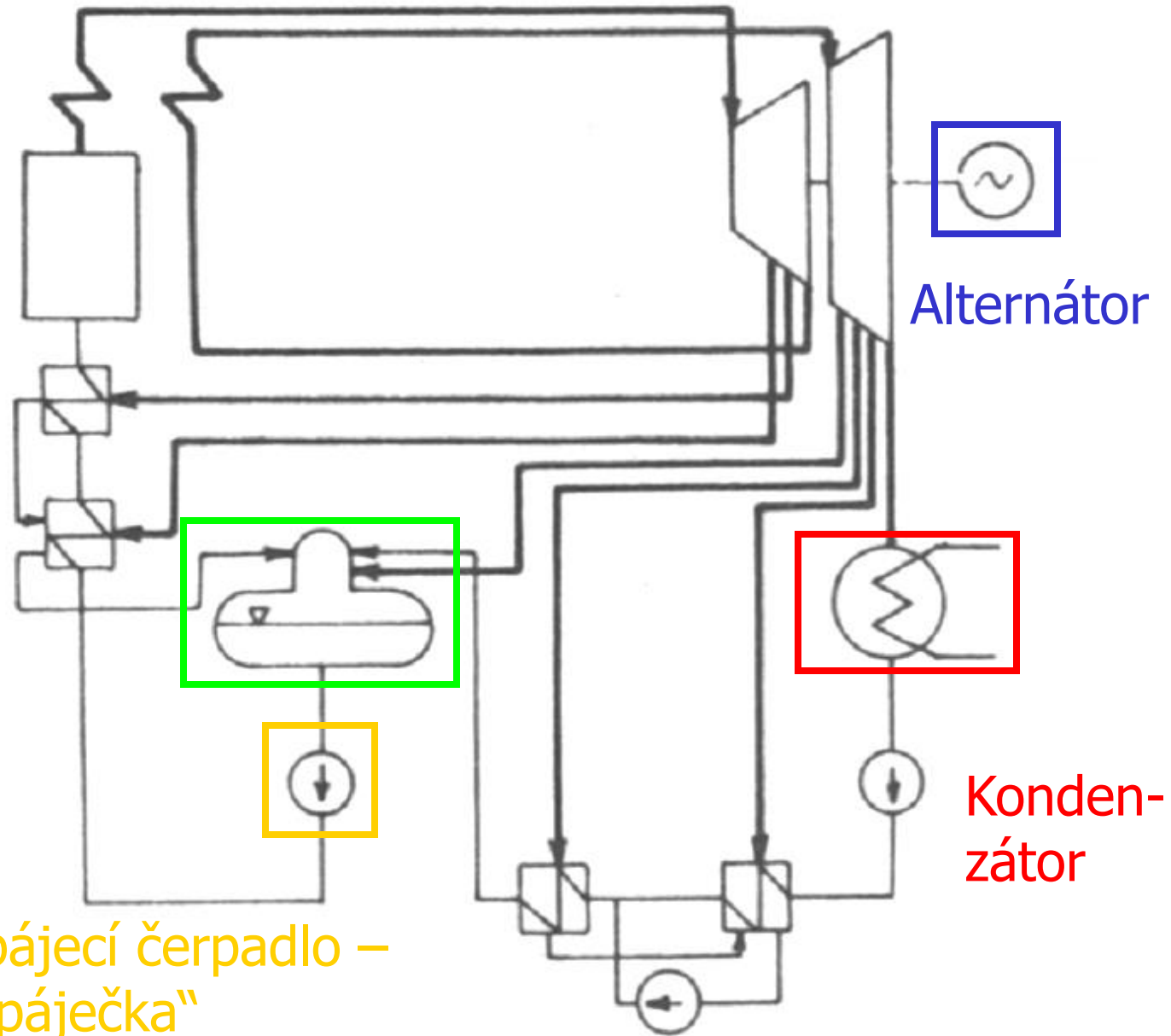
Klasické tepelné elektrárny



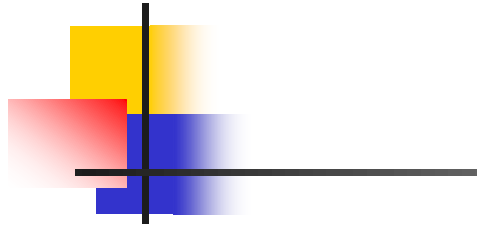
Základní
schéma
výroby:

Napájecí nádrž

Napájecí čerpadlo –
„napáječka“



Klasické tepelné elektrárny

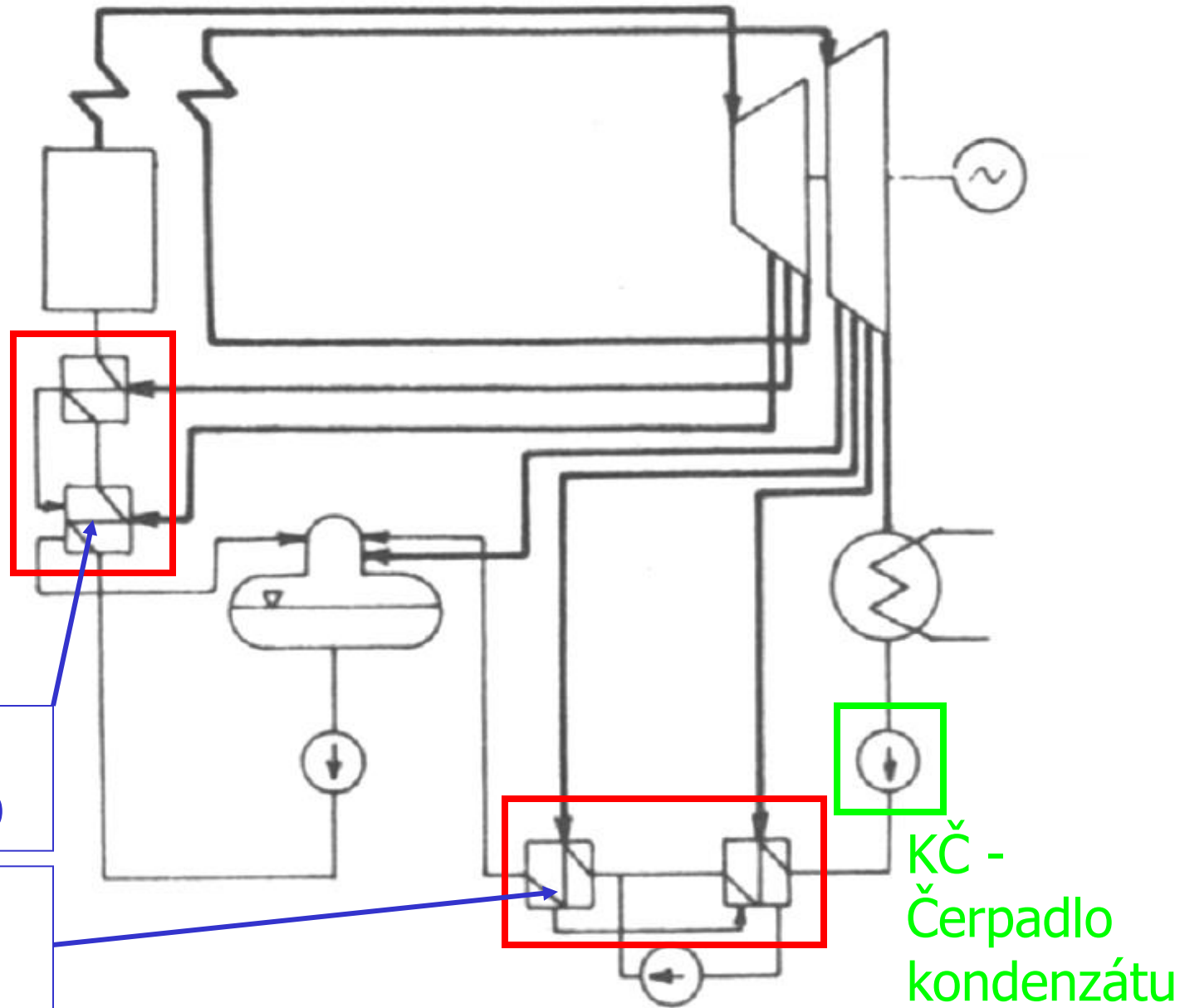


Základní
schéma
výroby:

Regenerativní
ohříváky

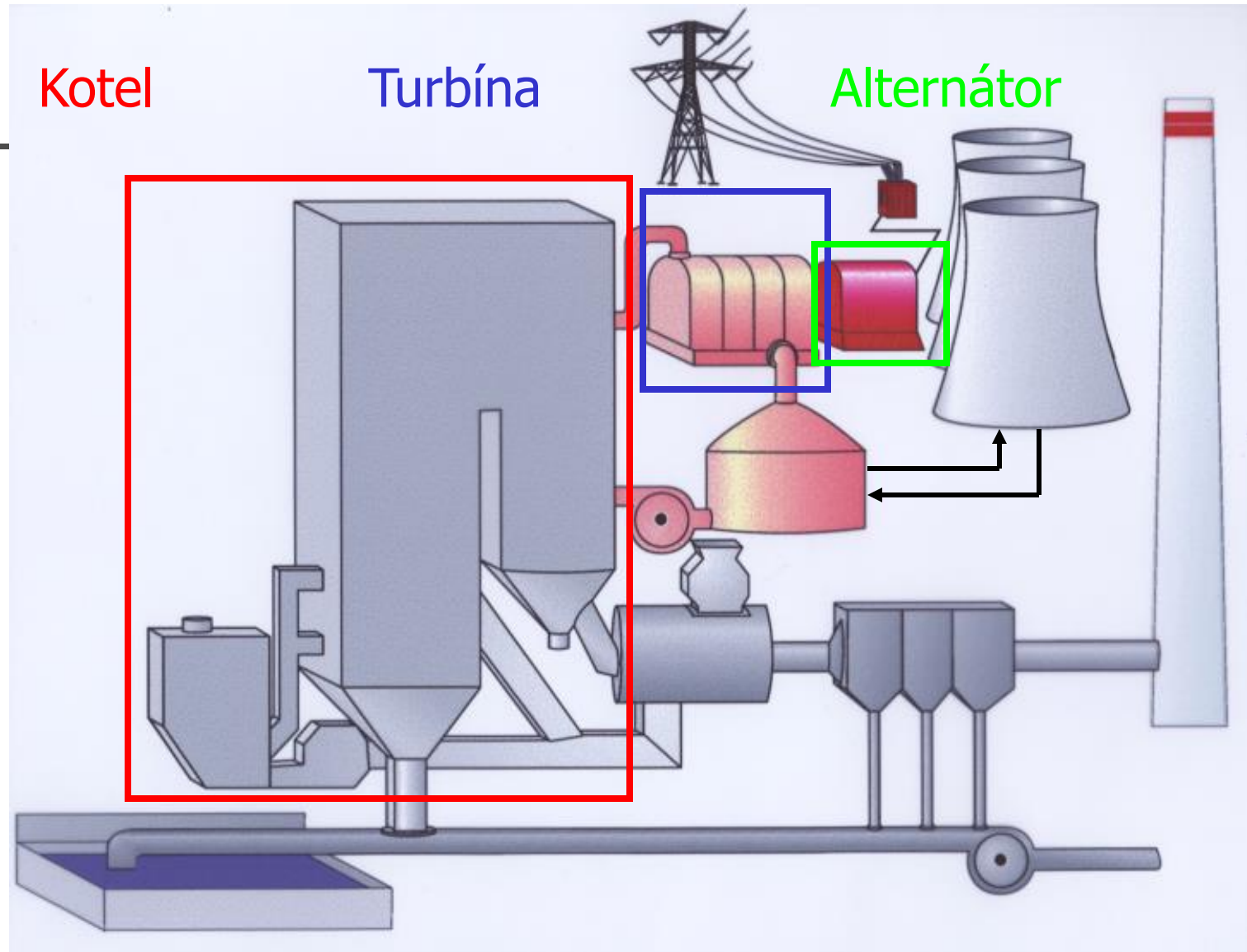
VTO –
vysokotlaké RO

NTO –
nízkotlaké RO



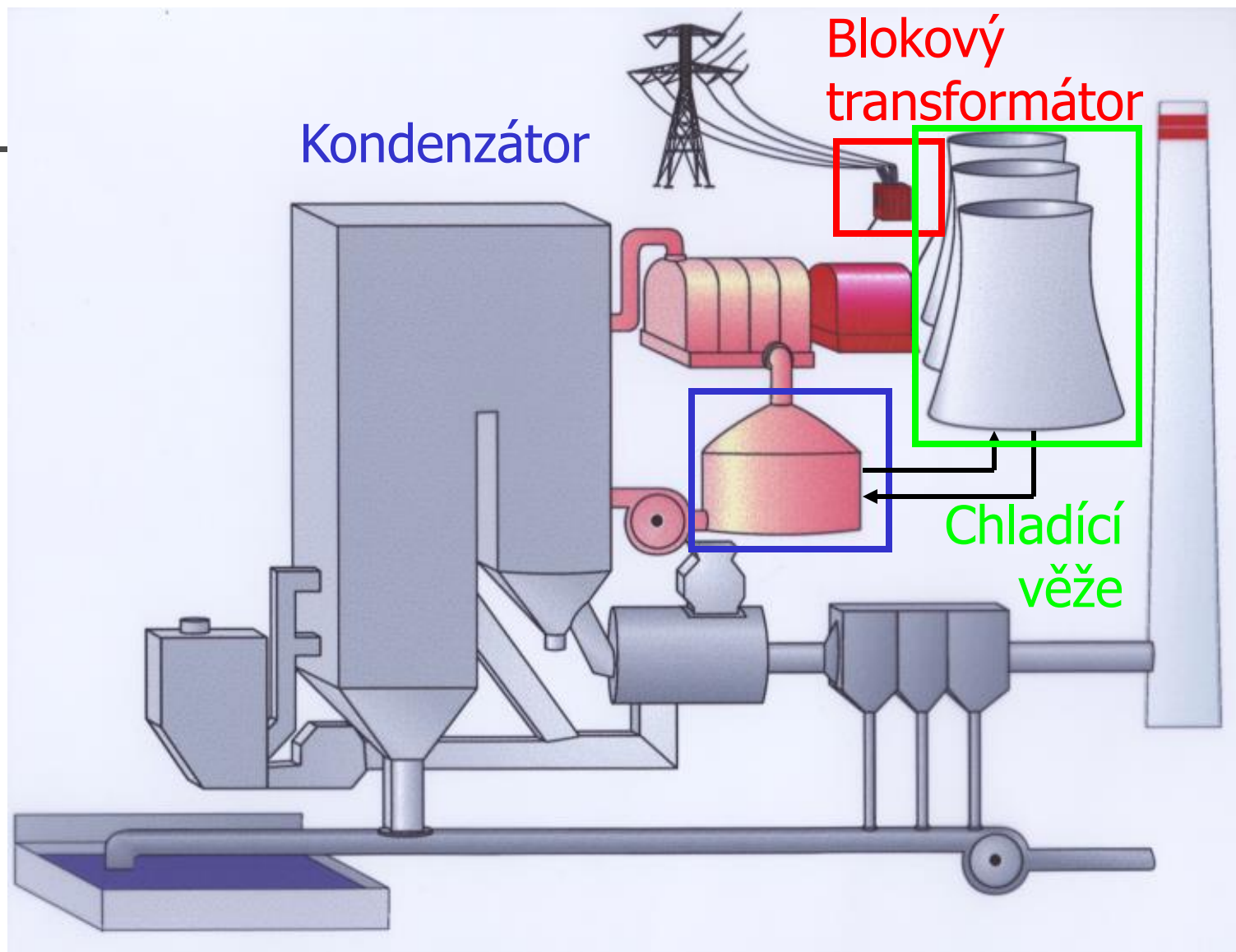
Klasické tepelné elektrárny

Základní
schéma
výroby:



Klasické tepelné elektrárny

Základní
schéma
výroby:

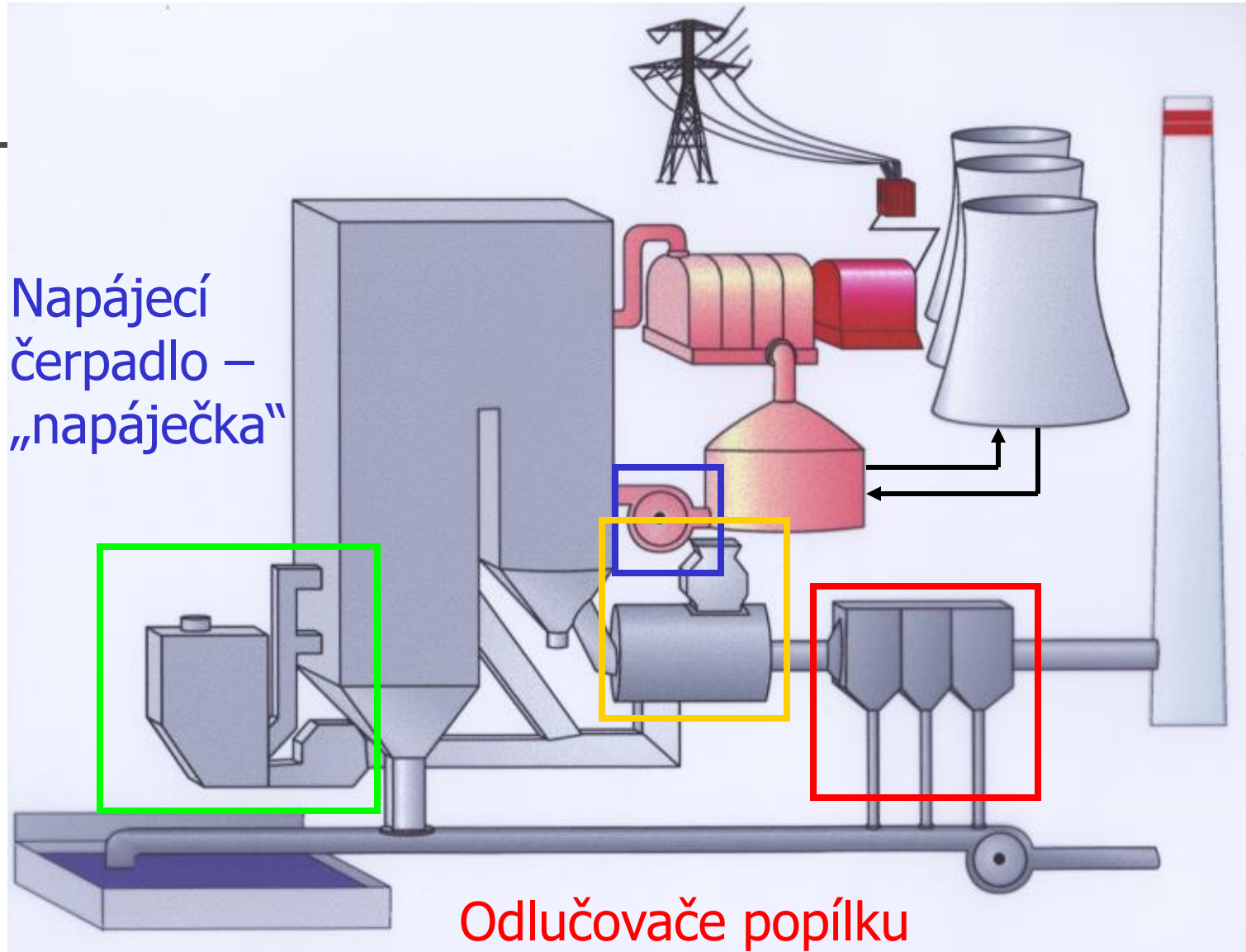


Klasické tepelné elektrárny

Základní
schéma
výroby:

Mlýn,
hořáky a
ventilátor

Napájecí
čerpadlo –
„napáječka“



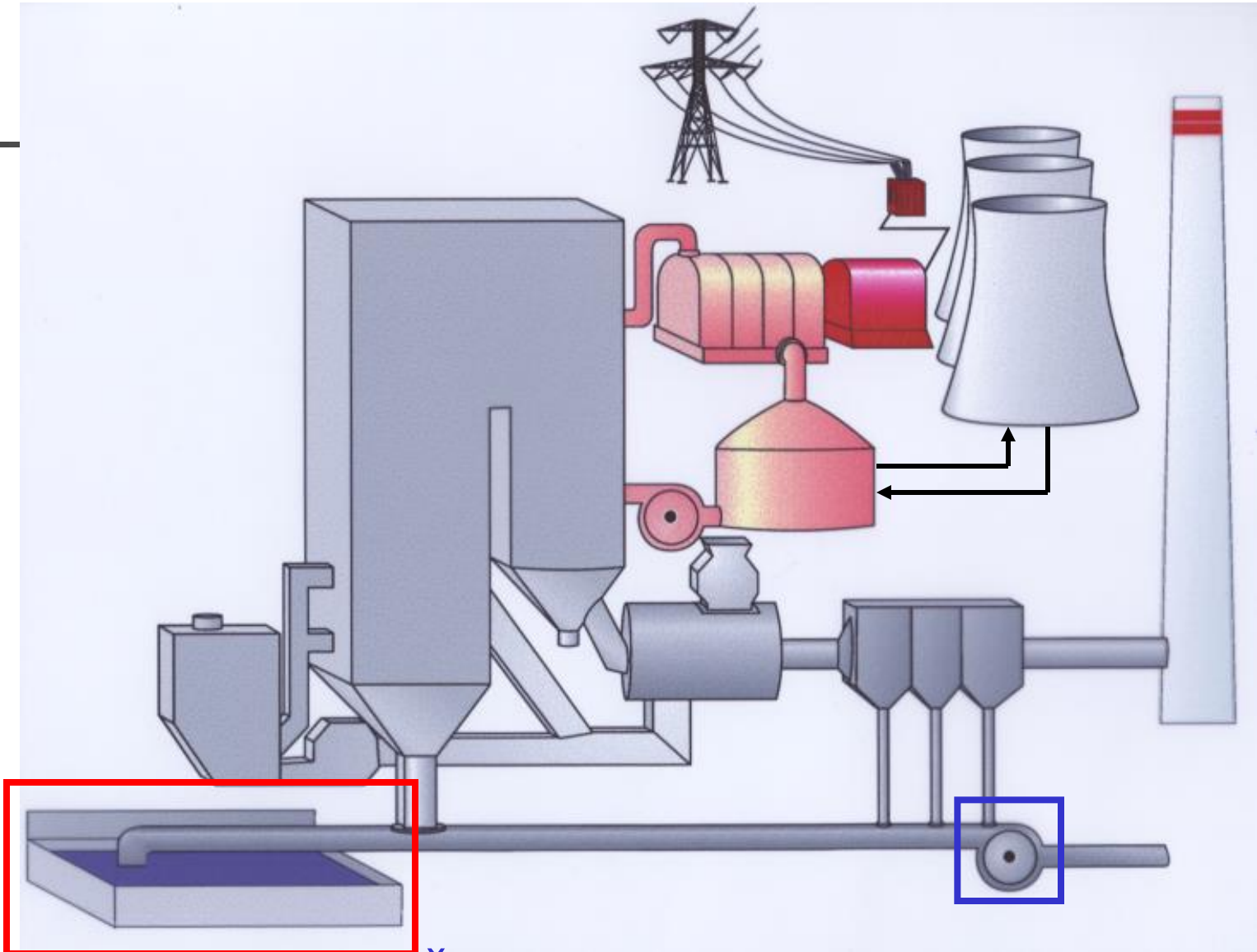
Odlučovače popílků

Ohřívač vzduchu s ventilátorem

Klasické tepelné elektrárny

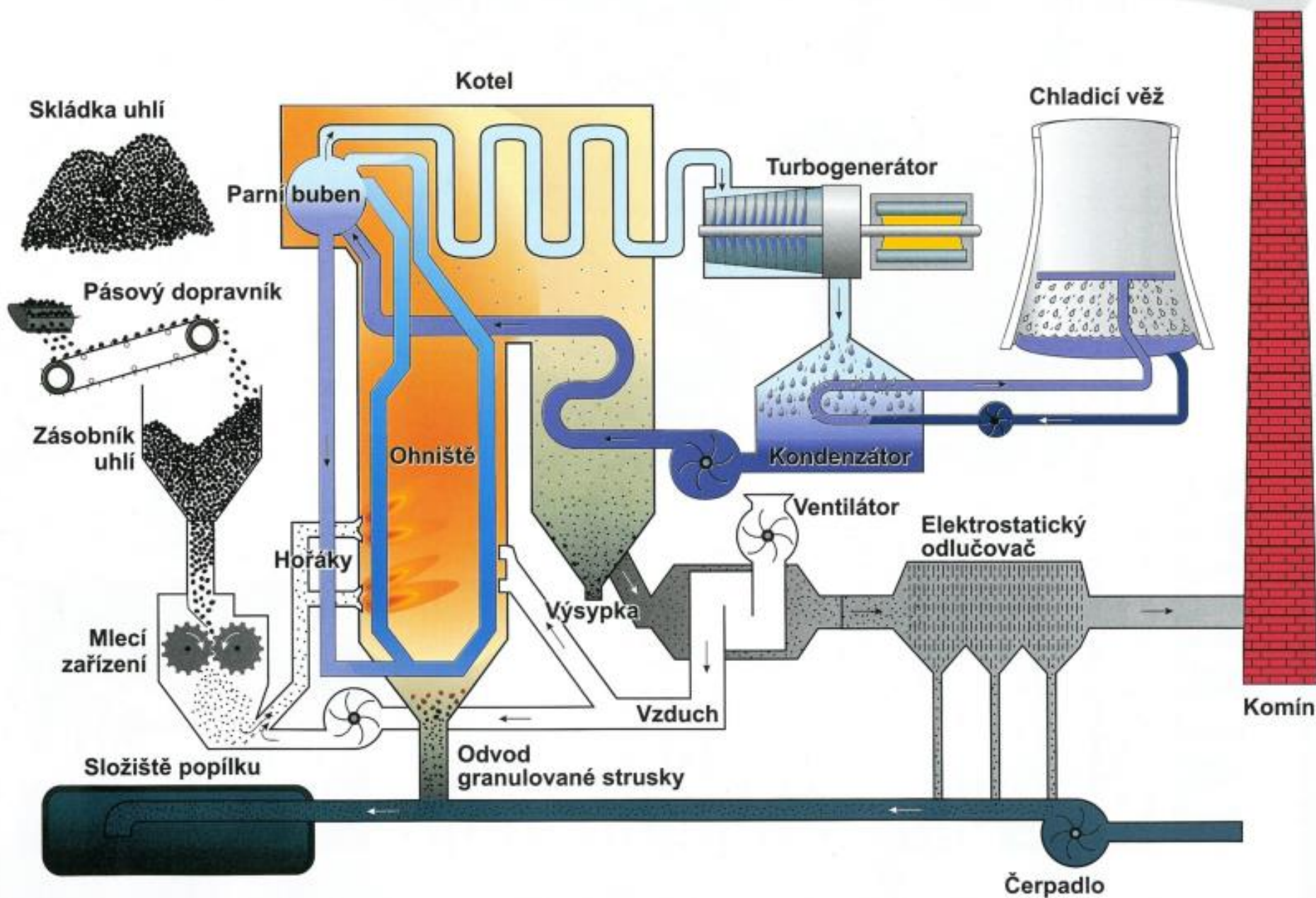
Základní
schéma
výroby:

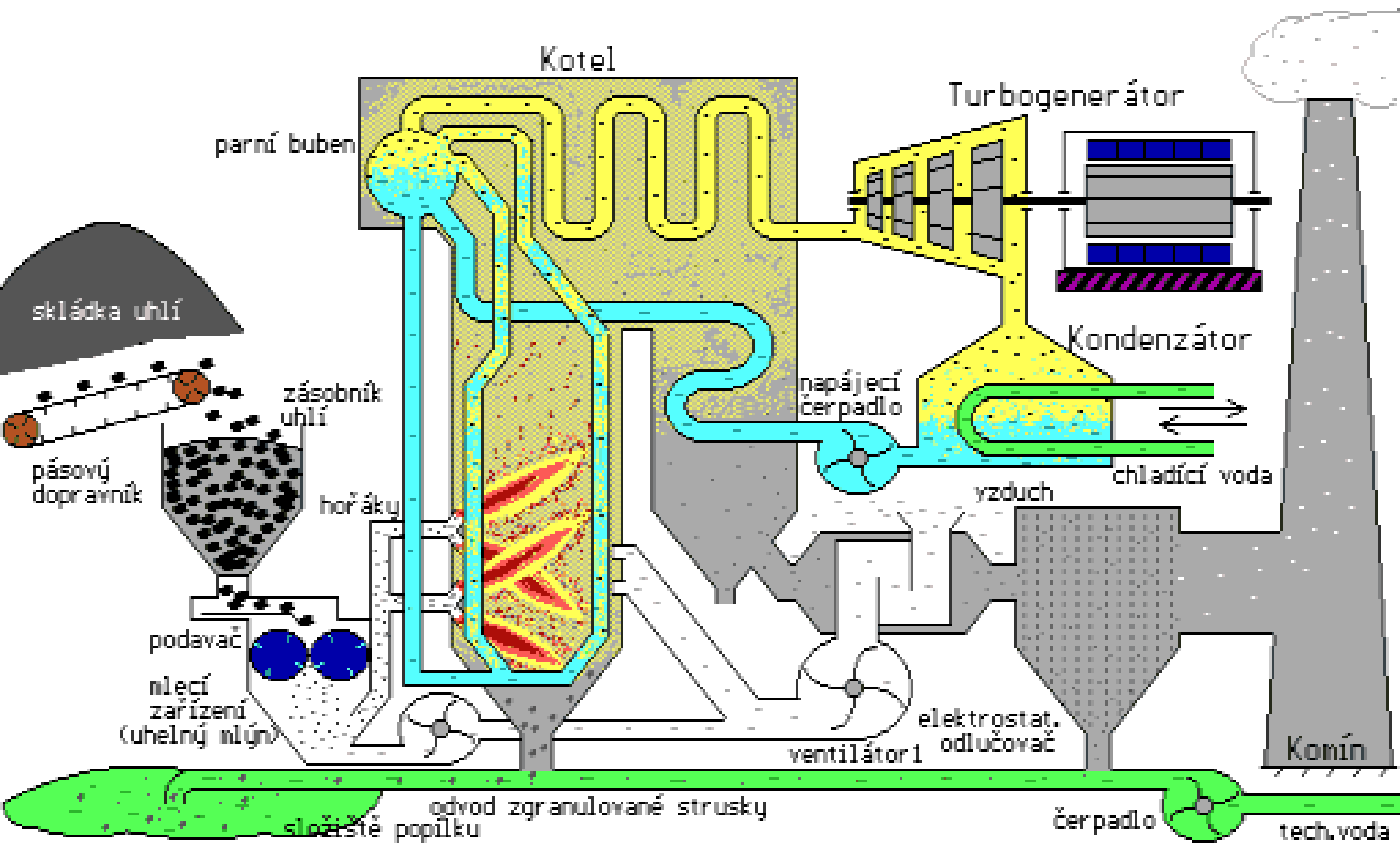
Složisté
škváry
a popílku



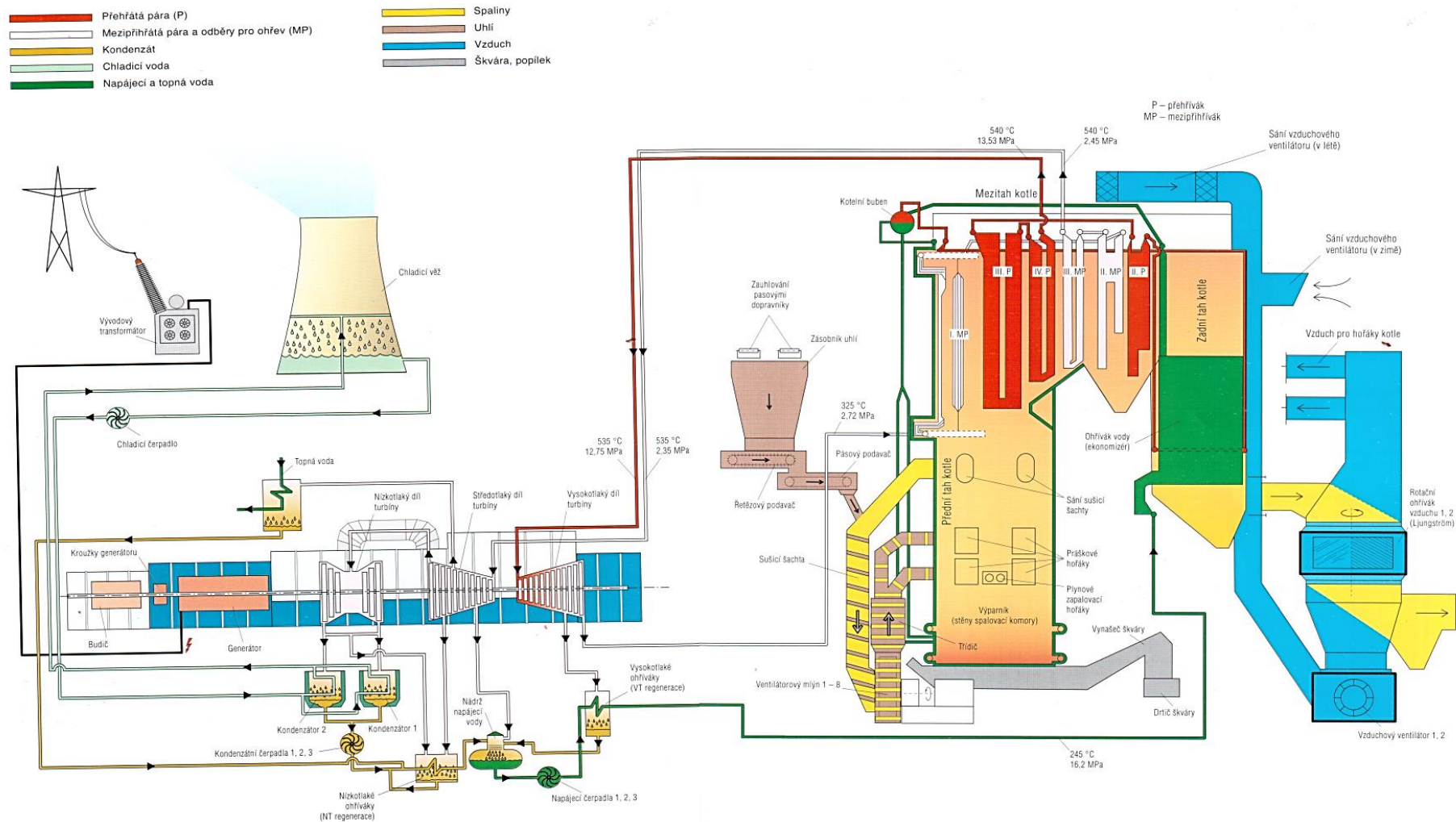
Čerpadlo pro odtah škváry a popílku

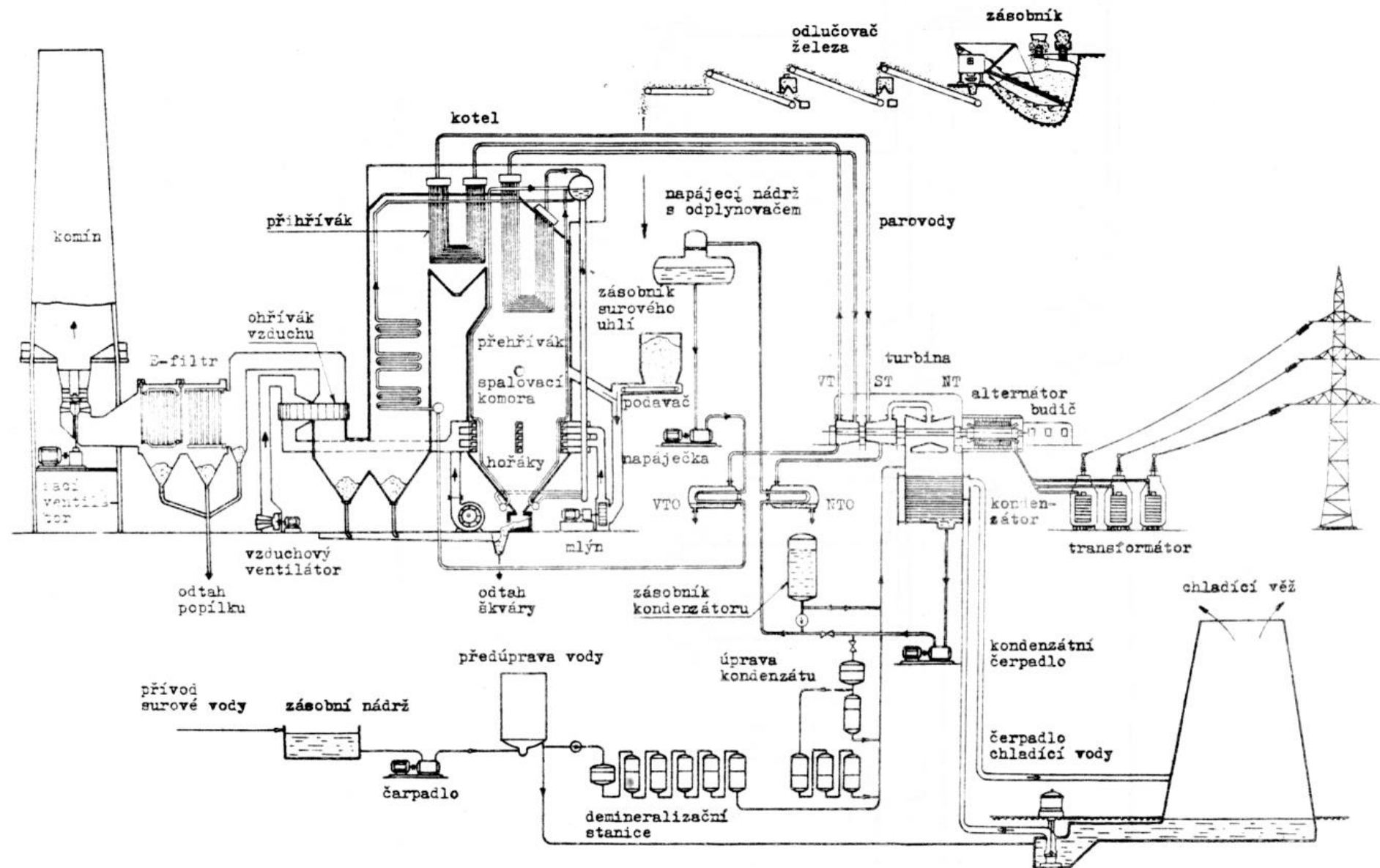
SCHÉMA TEPELNÉ ELEKTRÁRNY

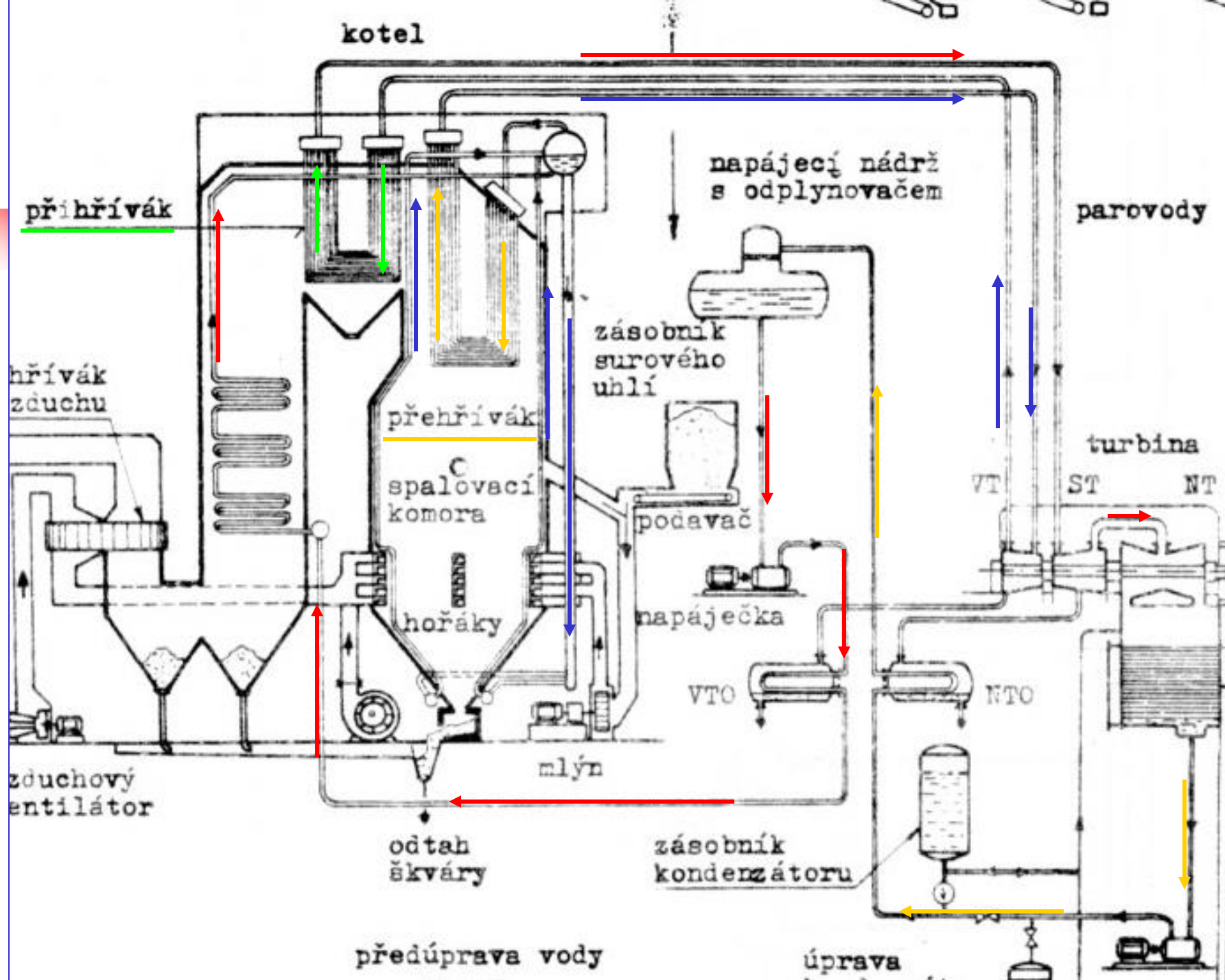




ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA VÝROBNÍHO BLOKU EPR2



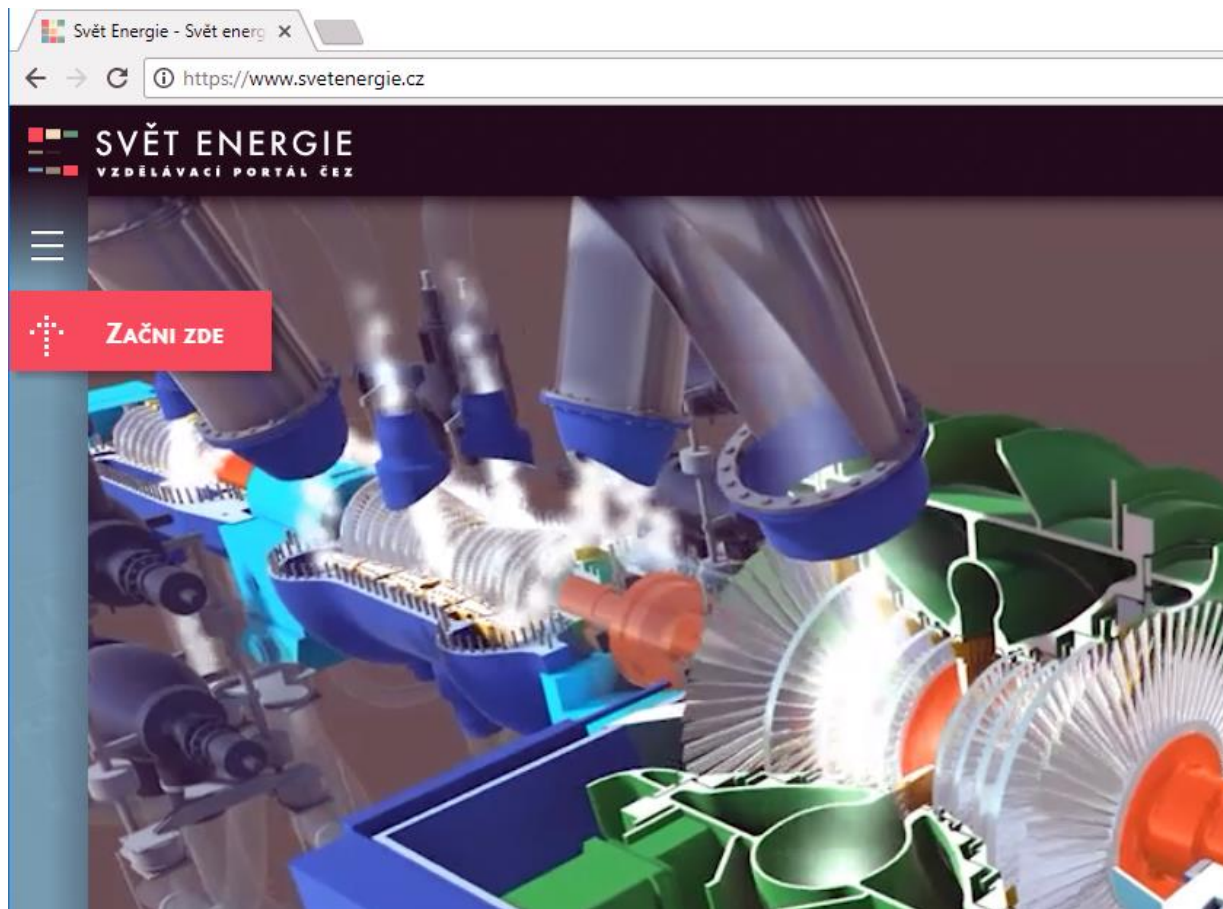




Vzdělávací podklady ČEZ

3D modely technologických prvků a systémů:

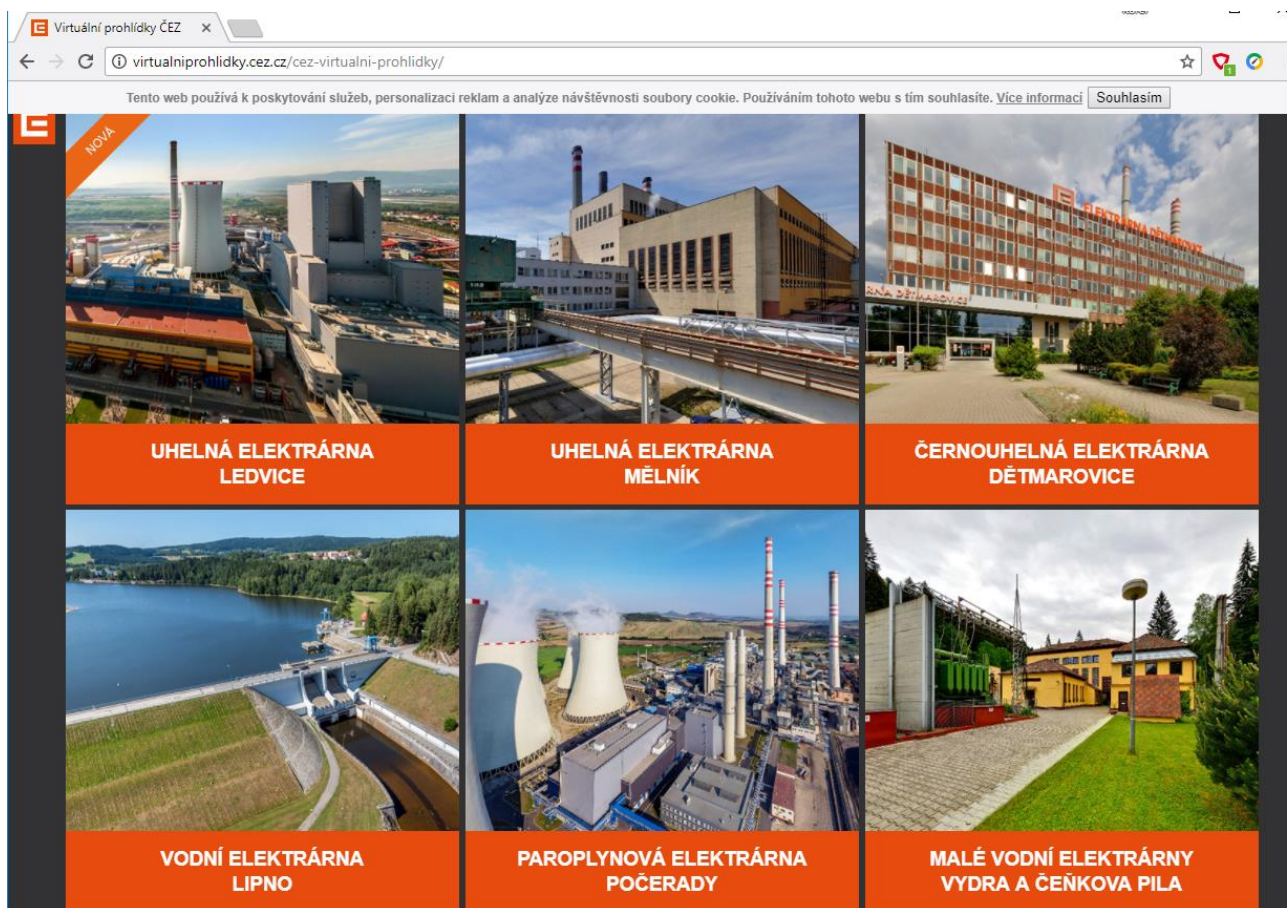
<https://www.svetenergie.cz/>



Vzdělávací podklady ČEZ

Reálné panoramatické prohlídky:

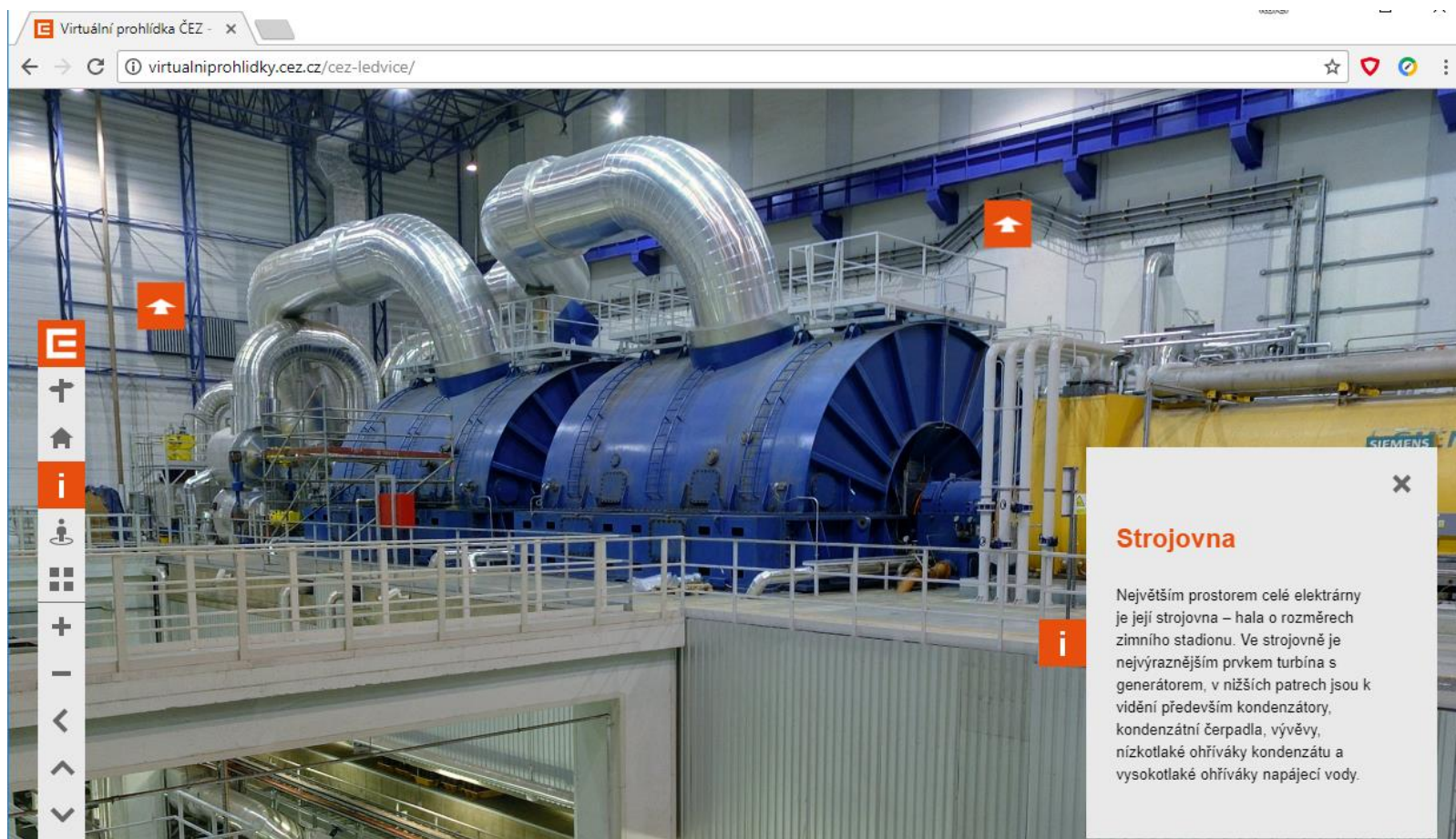
<http://virtualniprohlidky.cez.cz/cez-virtualni-prohlidky/>



Vzdělávací podklady ČEZ

Reálné panoramatické prohlídky:

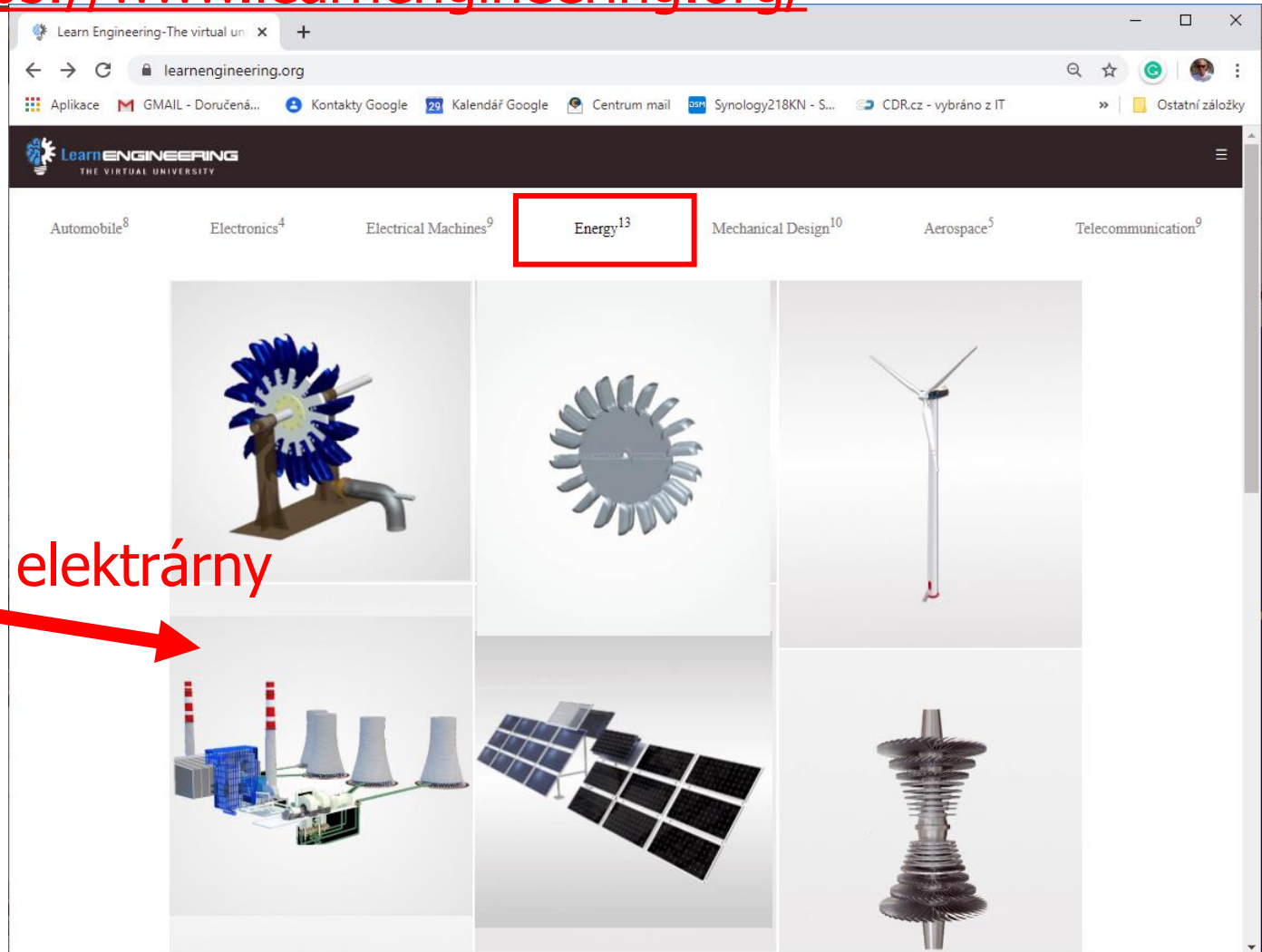
<http://virtualniprohlidky.cez.cz/cez-virtualni-prohlidky/>



Další vzdělávací podklady

Videa vysvětlující princip fungování v angličtině:

<https://www.learnengineering.org/>



Blok tepelné elektrárny



Další vzdělávací podklady

Blok tepelné elektrárny v angličtině:

<https://www.learnengineering.org/how-does-a-thermal-power-plant-work.html>



Learn Engineering-The virtual uni x Working of Steam turbine x How does a thermal power plant: x +

learnengineering.org/how-does-a-thermal-power-plant-work.html

LearnENGINEERING
THE VIRTUAL UNIVERSITY

How does a Thermal power plant work ?

January 9, 2013

The purpose of this article is to give you a conceptual introduction to power plants. Here working of a thermal power plant is explained in a simple manner.

Thermal power plant and steam turbine

Thermal power plants use water as working fluid. Nuclear and coal power plants come under this category. The way energy from fuel gets transformed into electricity is the working of a power plant. In a thermal power plant a steam turbine converts the pressure and high temperature steam and this rotation is transformed into electricity. Steam turbine is the heart of the power plant.

THERMAL POWER PLANT

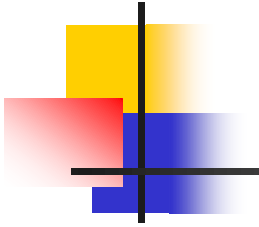
Others Oil Hydroelectric Gas THERMAL (Coal) THERMAL (Nuclear)

www.LearnEngineering.org
A YouTube PARTNER...
NOTE : WE ENCOURAGE SHARING AND EMBEDDING OF OUR VIDEOS

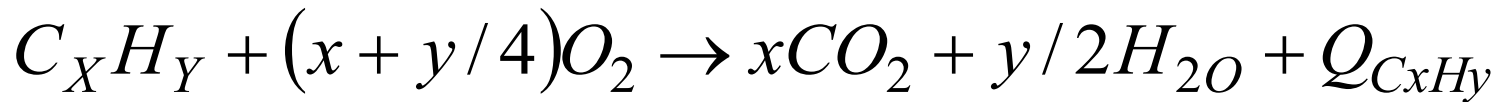
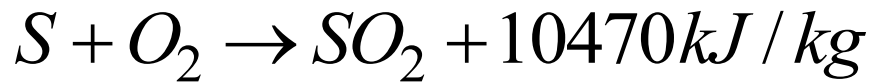
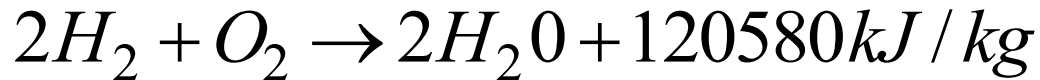
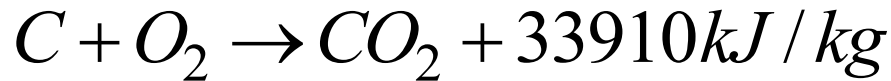
High P, High T

<https://www.youtube.com/watch?v=IdPTuwKEfmA&feature=youtu.be>

Kotle pro výroby elektřiny



Získávání tepelné energie chemickou reakcí fosilních paliv:



Složení hořlavé části uhlí:

Hnědé uhlí:

C-70%, H-6%, S-2%, N-1%, O-21%

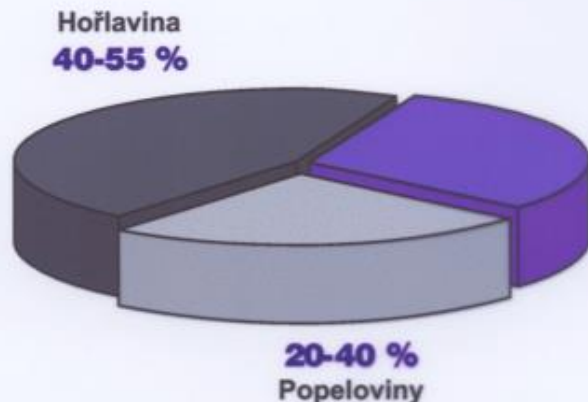
Černé uhlí:

C-85%, H-5%, S-1%, N-1%, O-8%

Kotle pro výroby elektřiny

Složení surového uhlí

Hnědé uhlí



| | Hnědé uhlí | | | Černé uhlí | |
|--------------------------------|----------------|--------|--|----------------|--------|
| | V hořlavinách | Celkem | | V hořlavinách | Celkem |
| C | 70 | 29.8 | | 85 | 53.1 |
| H | 6 | 2.6 | | 5 | 3.1 |
| S | 2 | 0.9 | | 1 | 0.6 |
| N | 1 | 0.4 | | 1 | 0.6 |
| O | 21 | 8.9 | | 8 | 5.0 |
| | V popelovinách | | | V popelovinách | |
| SiO ₂ | 48.5 | 12.1 | | 44.5 | 12.9 |
| Al ₂ O ₃ | 28.0 | 7.0 | | 18.0 | 5.2 |
| FE ₂ O ₃ | 9.0 | 2.3 | | 32.5 | 9.4 |
| CaO | 6.5 | 1.6 | | 3.0 | 0.9 |
| MgO | 6.5 | 1.6 | | 0.8 | 0.2 |
| Voda | | 33.5 | | | 10.0 |
| Celkem | | 99.6 | | | 101.1 |

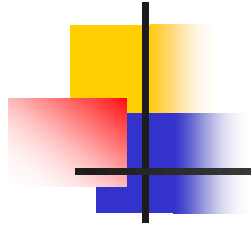
Výhřevnost:

$$Q_N = 8 \text{ až } 20 \text{ MJ/kg}$$

| typ | podíl uhlíku | výhřevnost |
|------------|------------------|----------------|
| lignit | 30 až 50 procent | okolo 13 MJ/kg |
| hnědé uhlí | 50 až 80 procent | 15 až 20 MJ/kg |
| cerné uhlí | 80 až 90 procent | 18 až 30 MJ/kg |
| antracit | nad 90 procent | 26 až 30 MJ/kg |

$$Q_N = 33 \text{ až } 38 \text{ MJ/kg}$$

Kotle pro výroby elektřiny



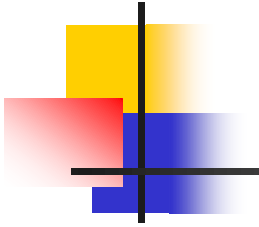
Kapalná a plynná paliva:

Kapalná paliva: ropa, topné oleje, nafta... $Q_N = 40$ až 45 MJ/kg

Plynná paliva: zemní plyn $Q_N = 50$ až 60 MJ/kg

(pozor nezaměňovat s $Q_V [\text{MJ/m}^3]$ - spalné teplo na m^3)

Kotle pro výroby elektřiny



Dělení kotlů:

Dle typu paliva:

- *tuhá*
- *plynná*
- *kapalná*

Dle výparníku:

- *bubnové - s přirozeným oběhem*
- *bubnové s nuceným oběhem*
- *průtlačné - pro $p_a > 13 \text{ MPa}$*

Dle tlaku páry:

- *nízkotlaké*
- *vysokotlaké*
- *nadkritické*

Dle spalovacího zařízení:

- *roštové*
- *práškové*
- *fluidní*
- *cyklónové*

Kotle pro výroby elektřiny

Tlakový
systém
kotle:

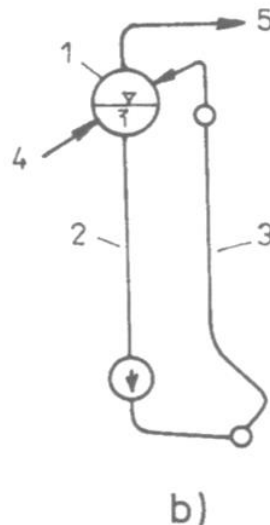
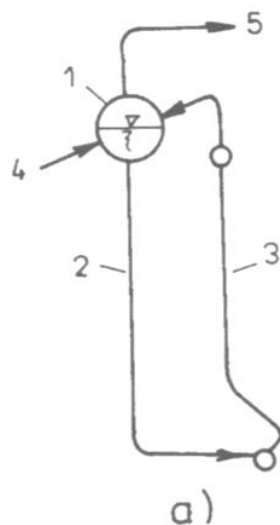
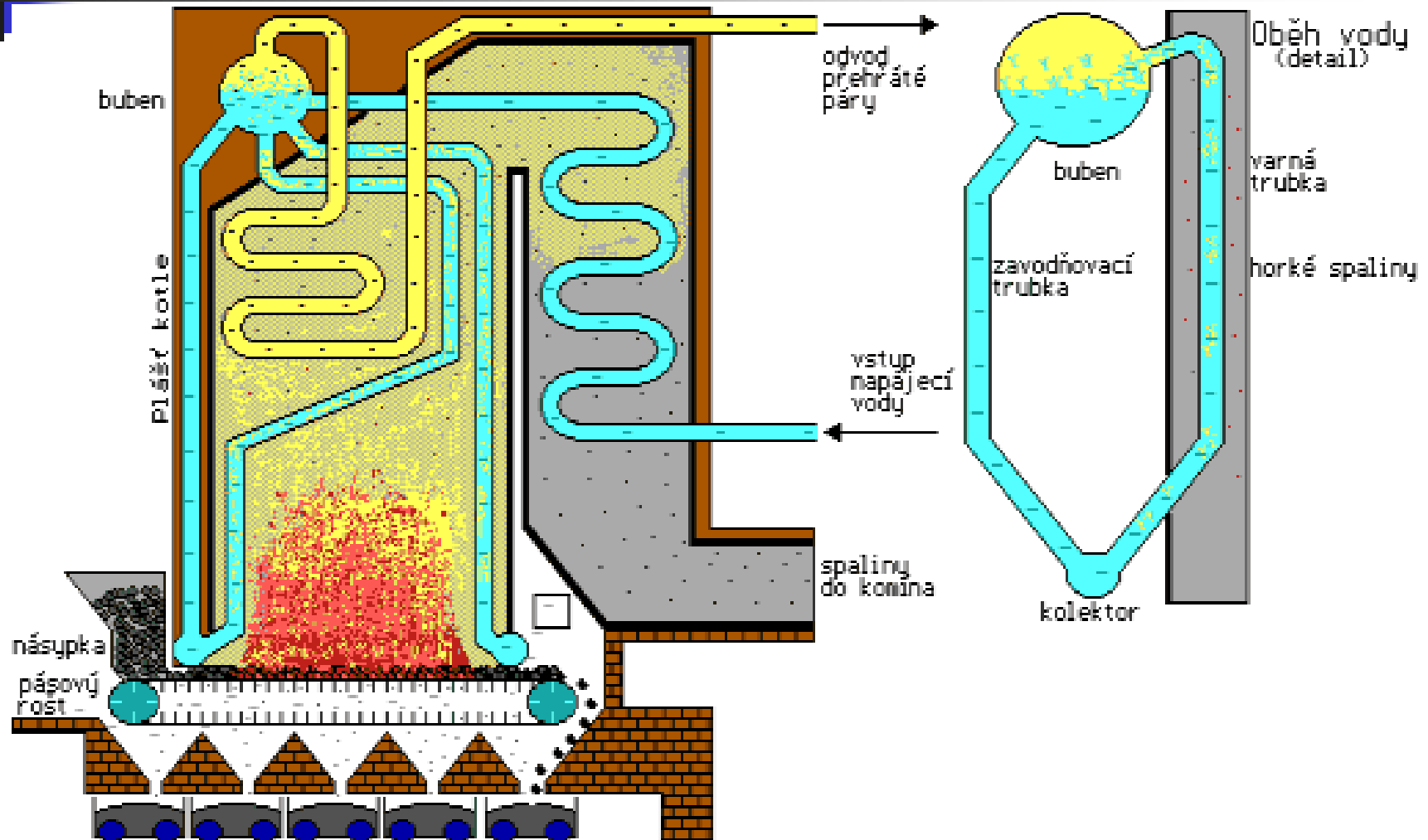


Schéma tlakového systému parního kotle

a) – s přirozeným oběhem, kdy lehčí směs vody a páry je vytlačována z varnic těžší vodou v zavodňovacích trubkách, b) s nuceným oběhem, kdy proudění vody ve varnicích je podpořeno oběhovým čerpadlem, c) průtočný výparník bez oběhu vody ve výparníku a bez bubnu, O – ohřívák vody, V výparník, P přehřívák, 1 – bubna, 2 zavodňovací trubky, 3 varnice, 4 napájecí voda, 5 pára

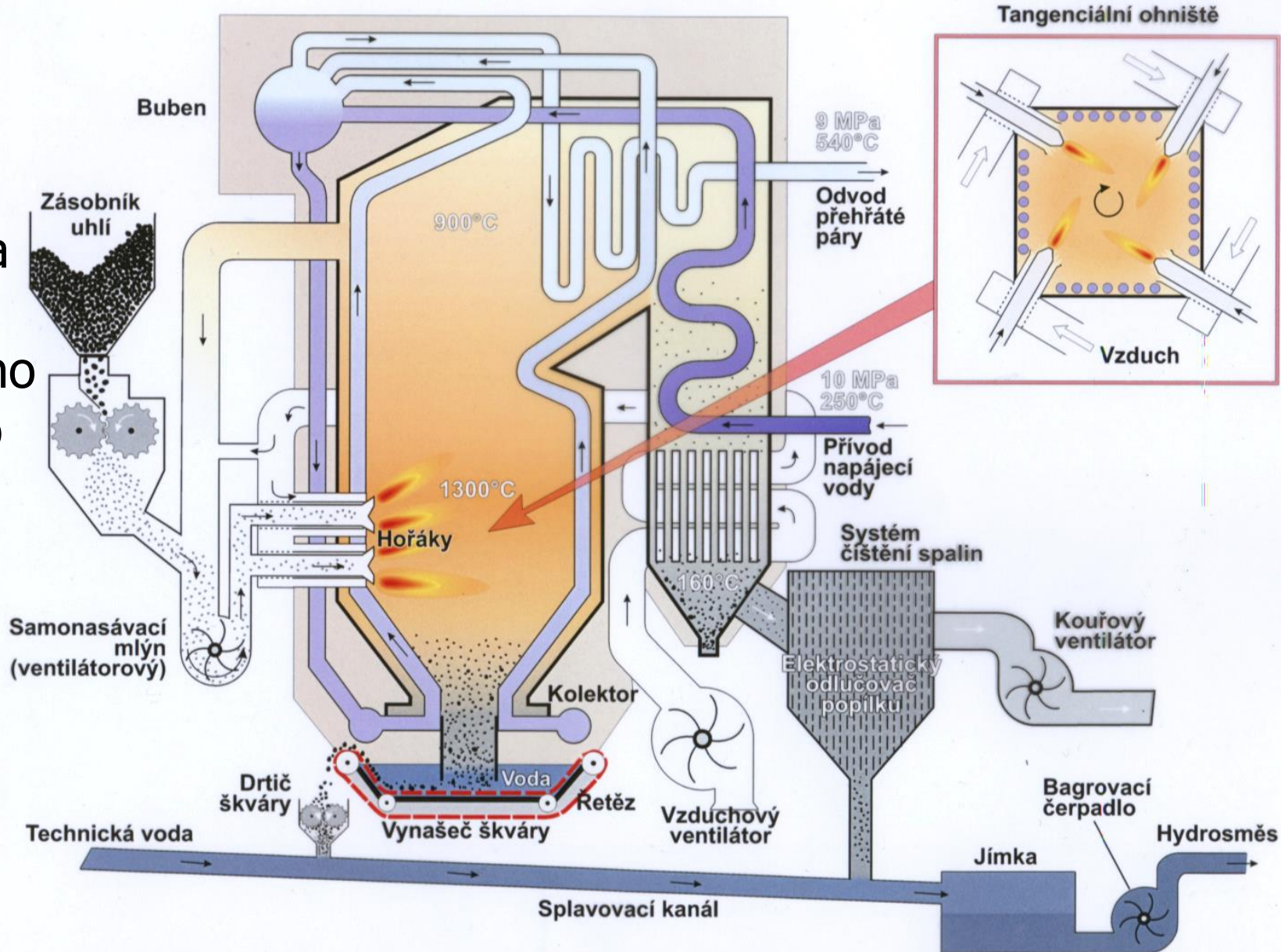
Kotle pro výroby elektřiny

Schéma parního kotle:



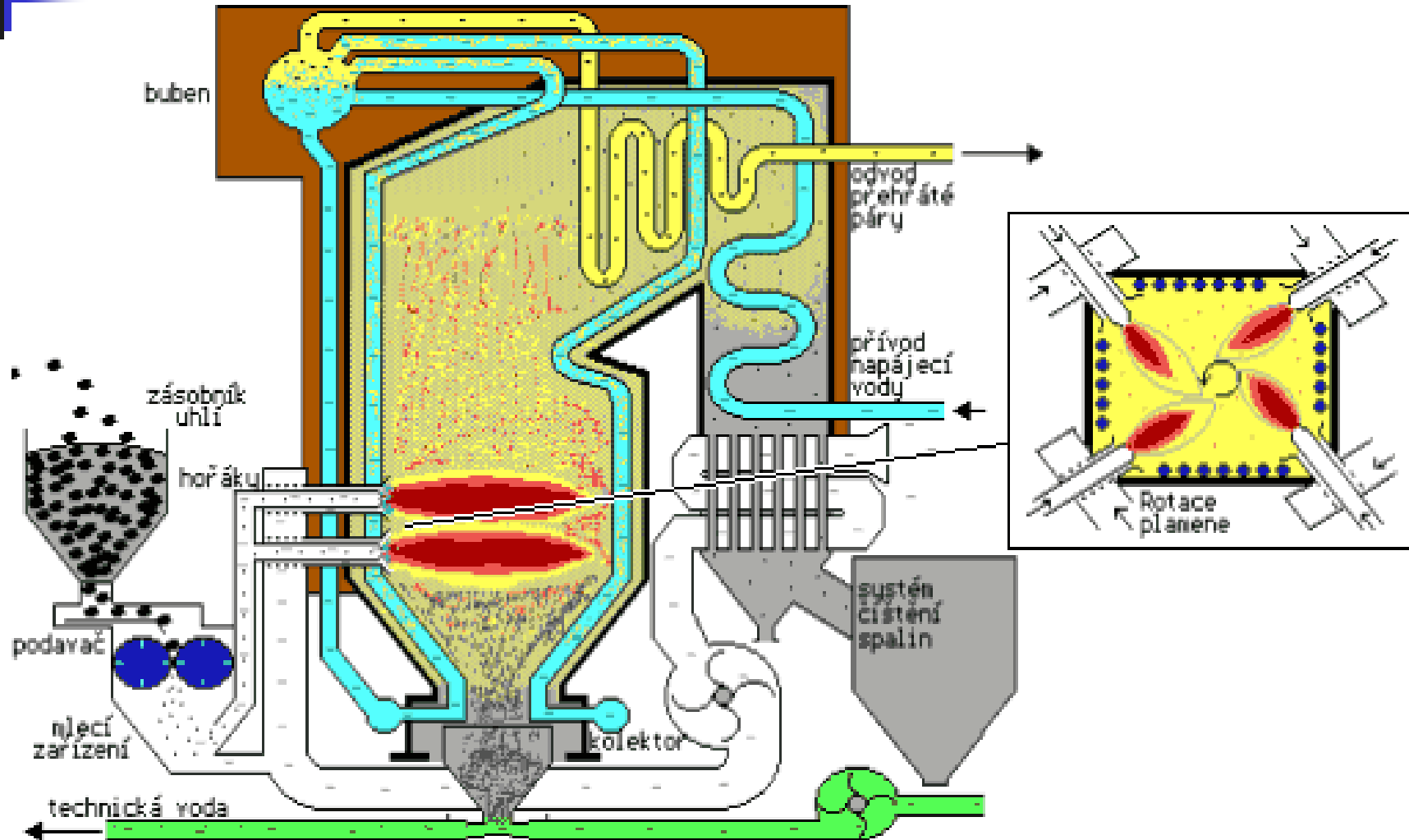
Kotle pro výroby elektřiny

Schéma
strmo-
trubného
parního
kotle:

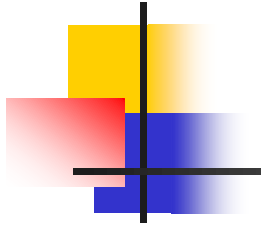


Kotle pro výroby elektřiny

Schéma parního kotle:



Kotle pro výroby elektřiny



Model parního
kotle na FST:



Kotle pro výroby elektřiny

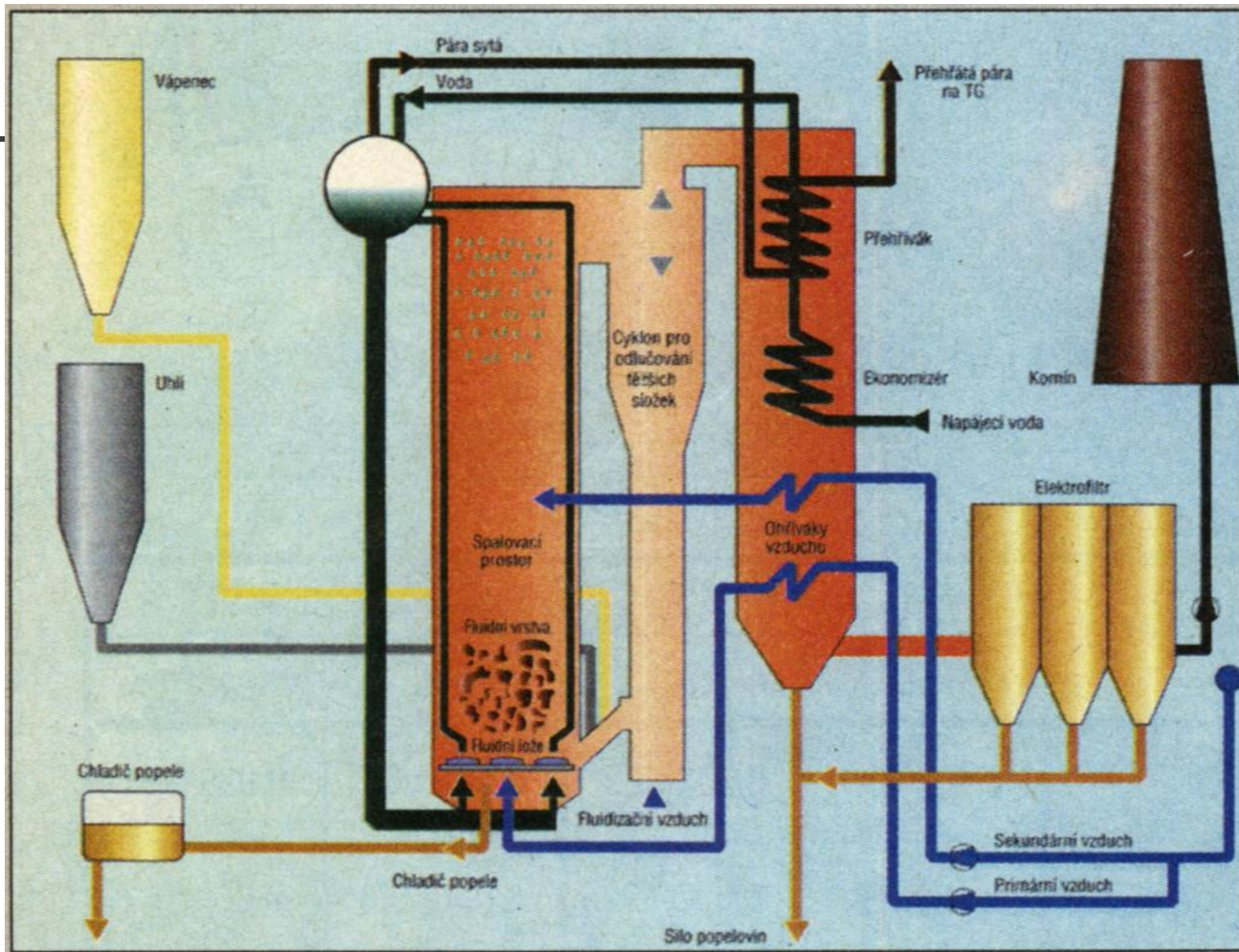
3D modely technologických prvků a systémů:



<https://www.svetenergie.cz/>

Kotle pro výroby elektřiny

Schéma
fluidního
parního
kotle:



Kotle pro výroby elektřiny

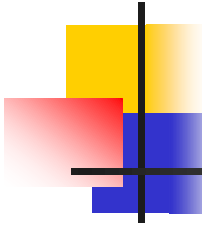
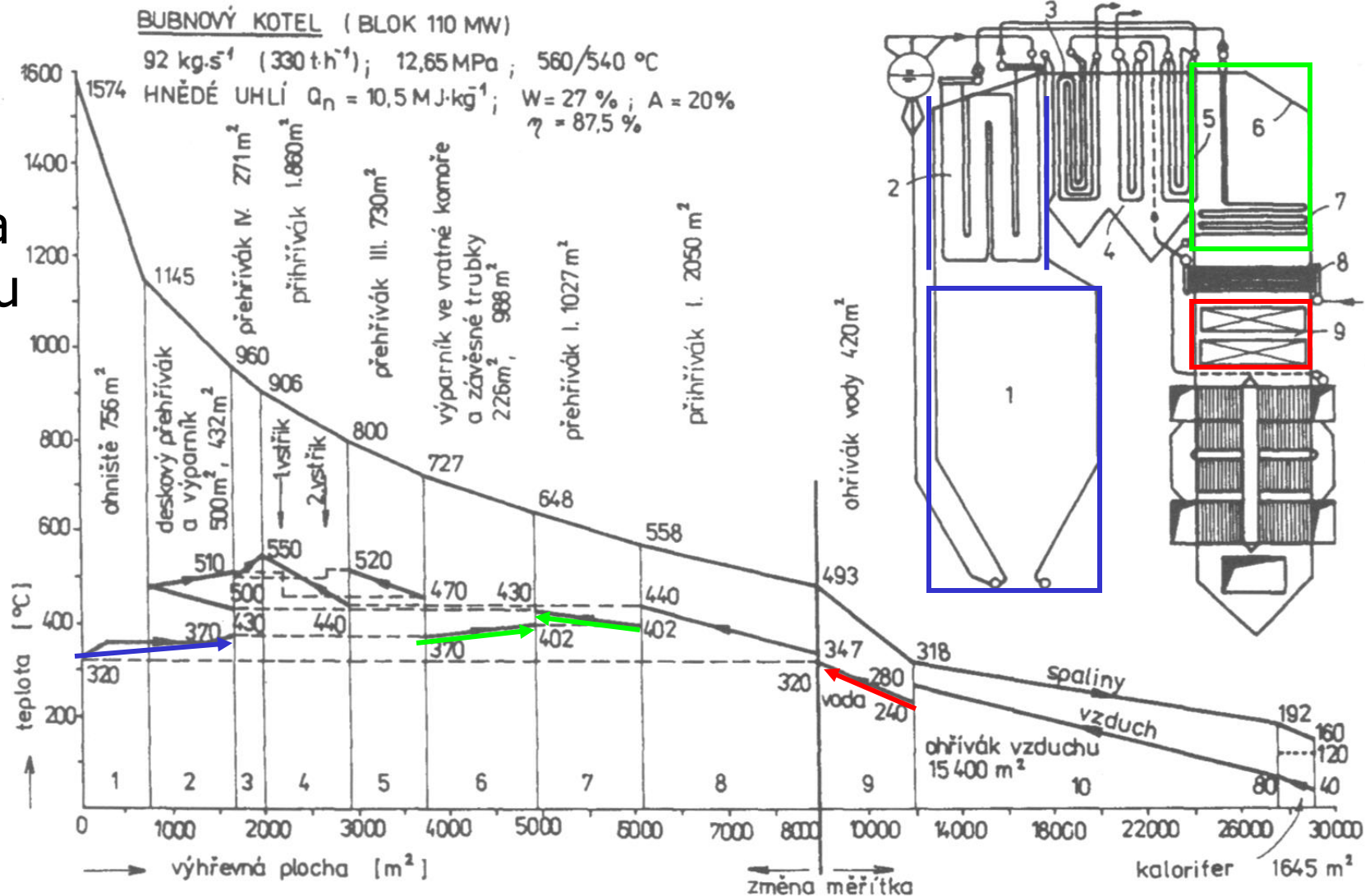


Schéma
průběhu
výroby
páry:



Kotle pro výroby elektřiny

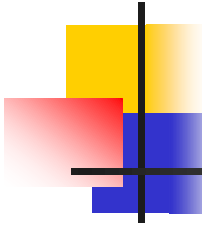
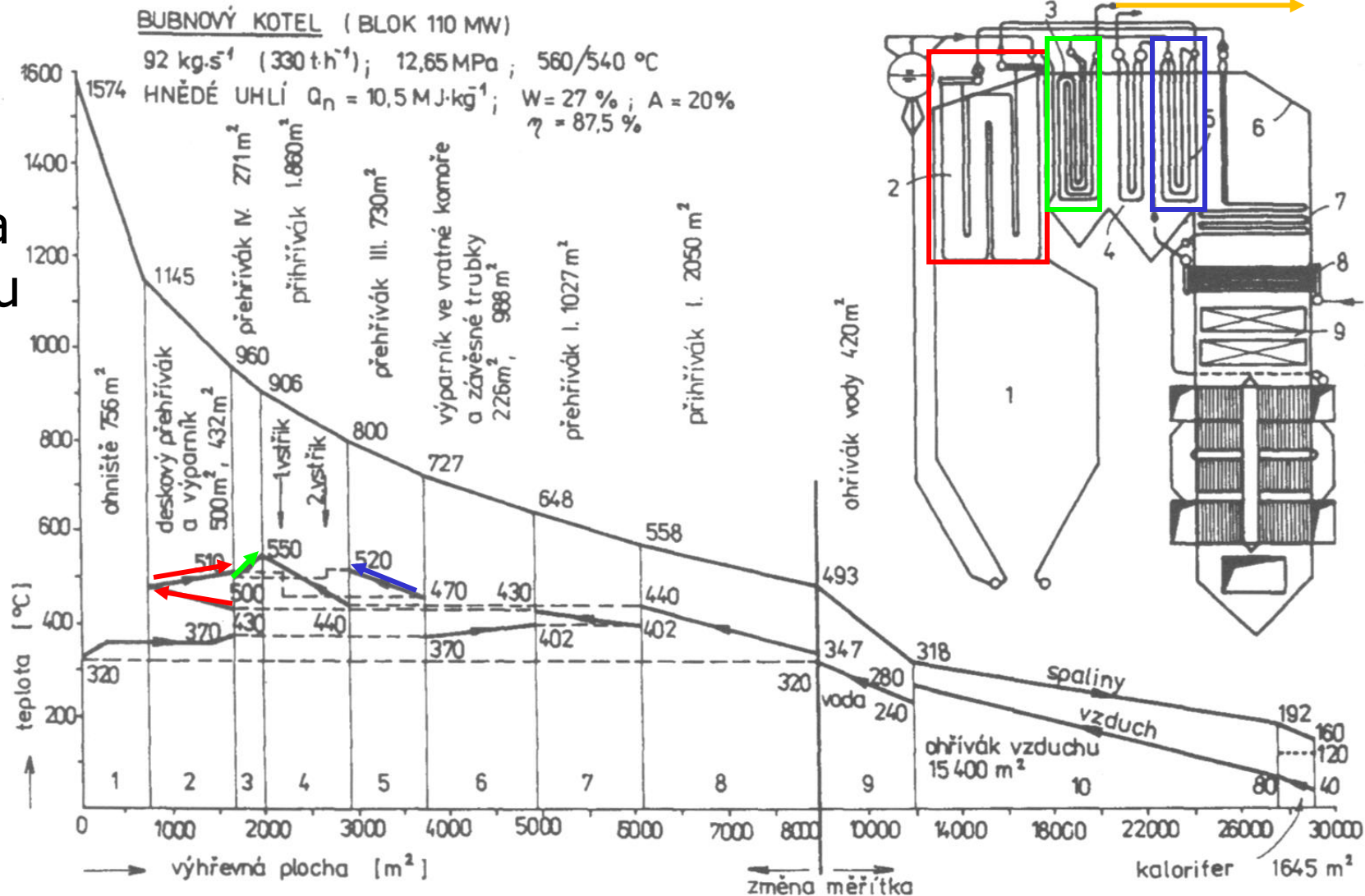


Schéma
průběhu
výroby
páry:



Kotle pro výroby elektřiny

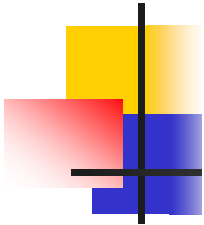
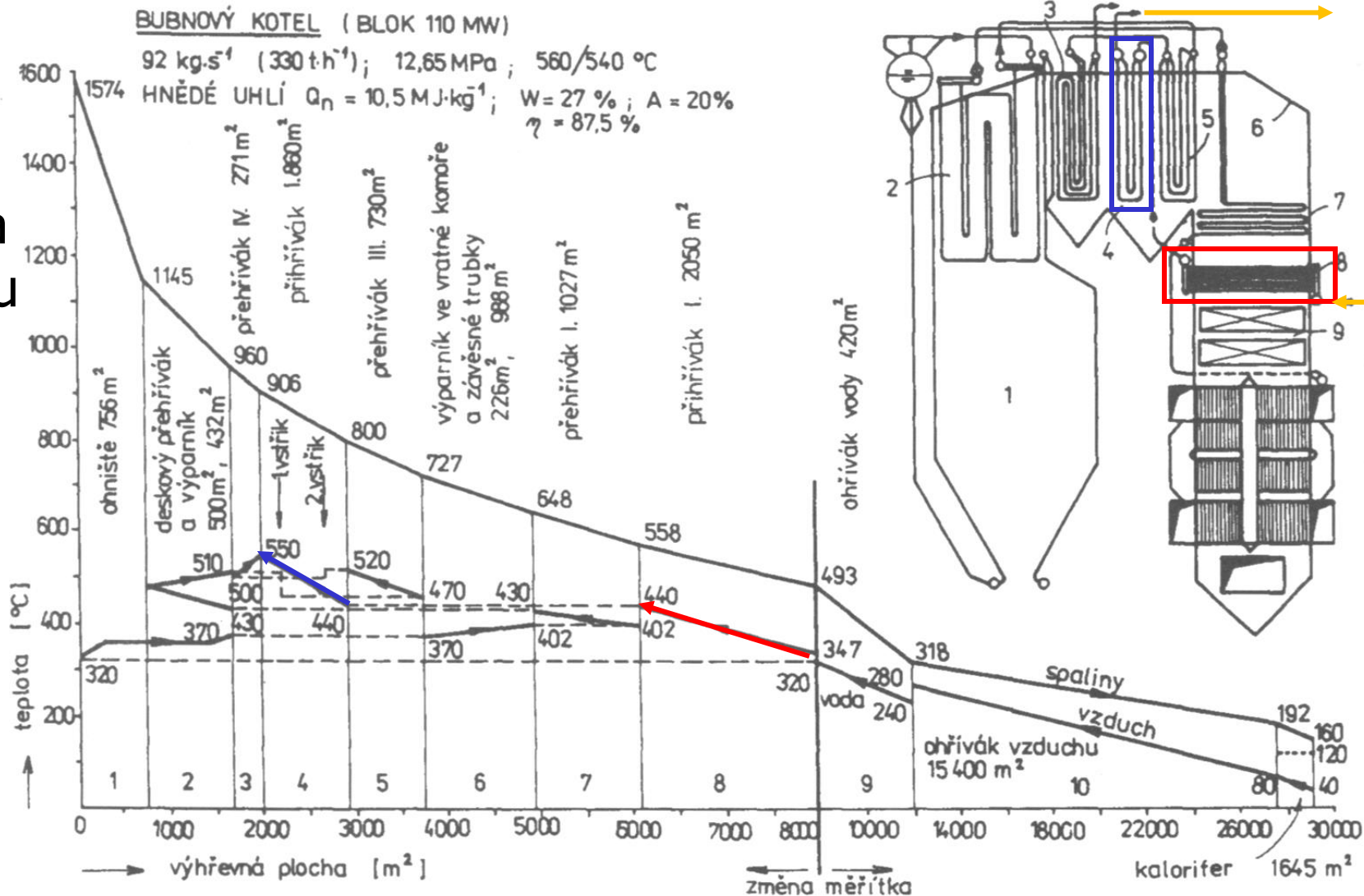


Schéma průběhu výroby páry:



Kotle pro výroby elektřiny

Účinnost kotle:

Ztráty v kotli:

- *ztráta chemickou a mechanickou nedokonalostí spalování*
- *ztráta nedokonalým využitím uvolněného tepla (ztráta komínová, teplem tuhých zbytků, sdílením tepla do okolí)*

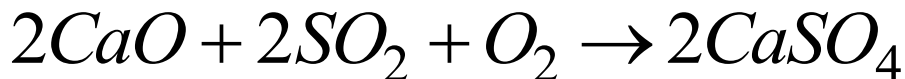
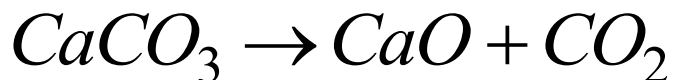
$$\eta = \frac{M_P(i_a - i_{NV})}{M_U Q_N}$$



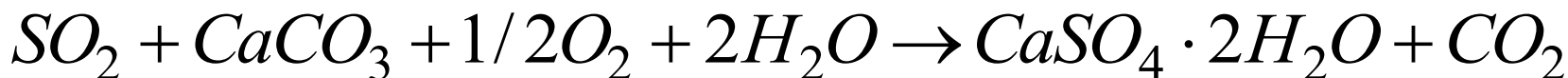
Kotle pro výroby elektřiny

Odsíření spalin:

Fluidní kotle (přidáním mletého vápence do ohniště vzniká opět síran vápenatý):



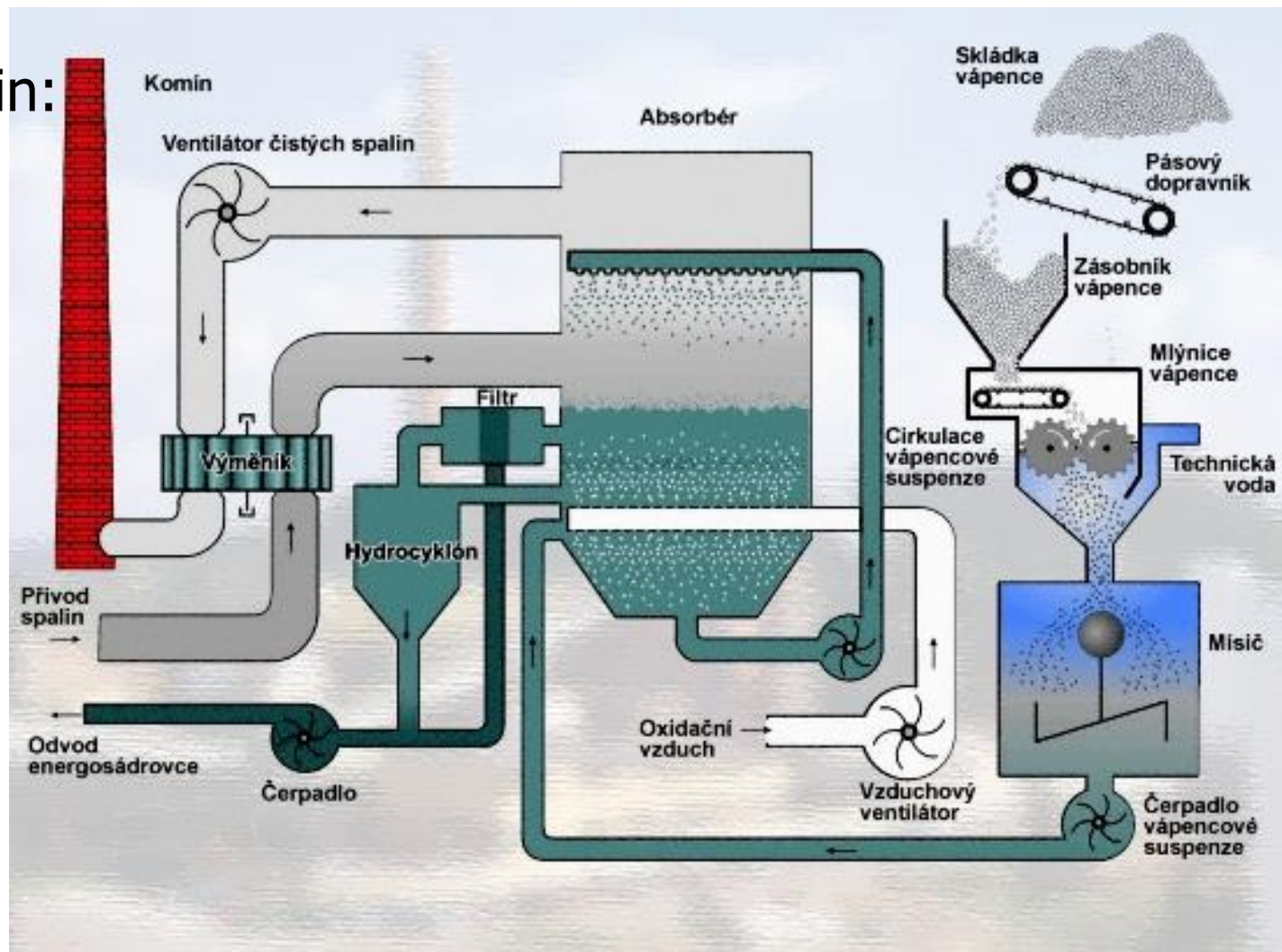
Mokrý vápencová vypírka (propíráním ve vápencové emulzi plus vháněním vzduchu vzniká sádrovec):



Kotle pro výroby elektřiny

Odsíření spalin:

*Mokrá
vápencová
vypírka*





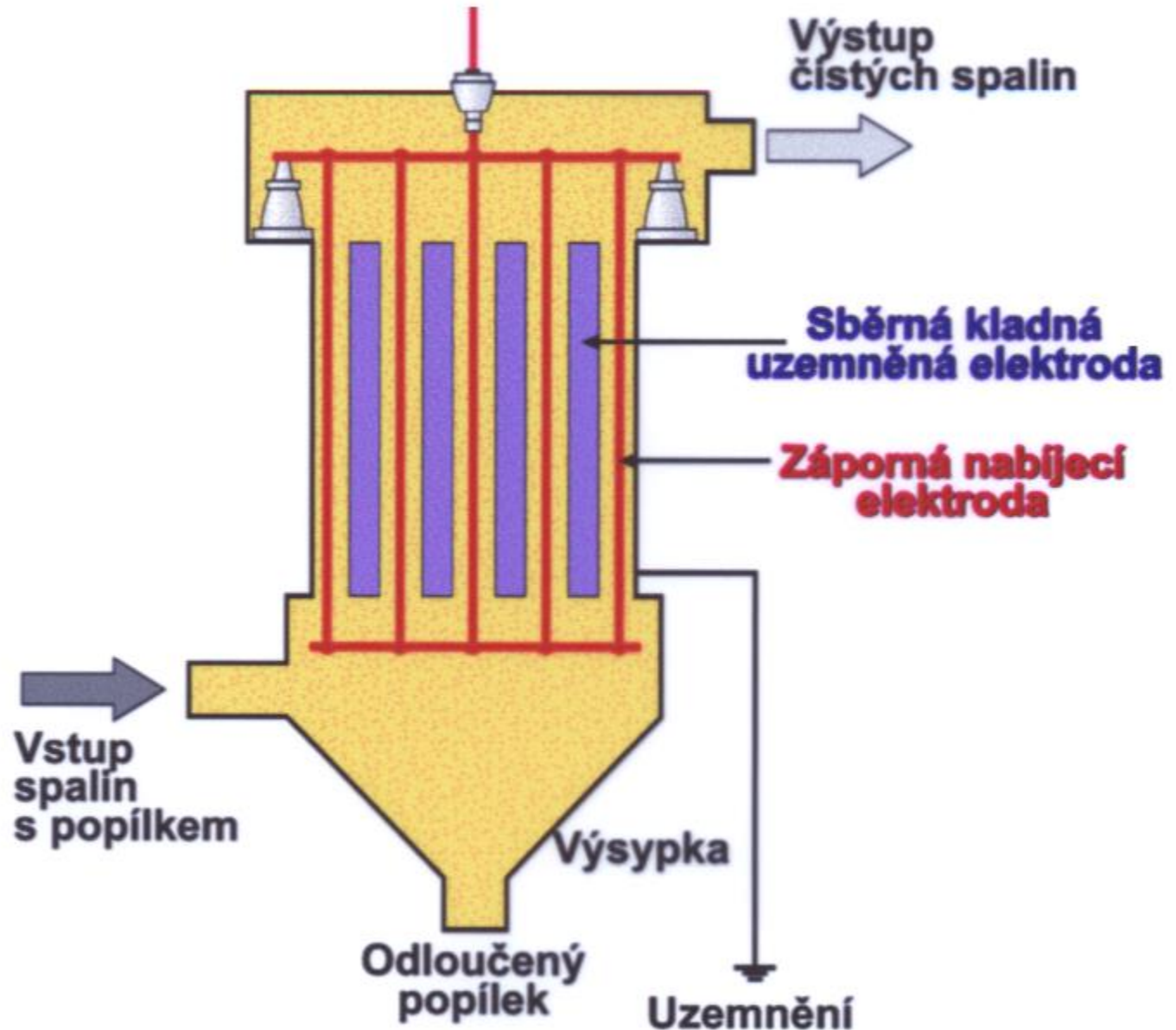
Kotle pro výroby elektřiny

Odlučovače popílků:

- *elektrostatické (účinnost až 99%, nízká spotřeba el. energie)*
- *cyklónové (účinnost ještě lepší, ale vysoká spotřeba el. energie)*
- *textilní filtry (účinnost jen 90%)*

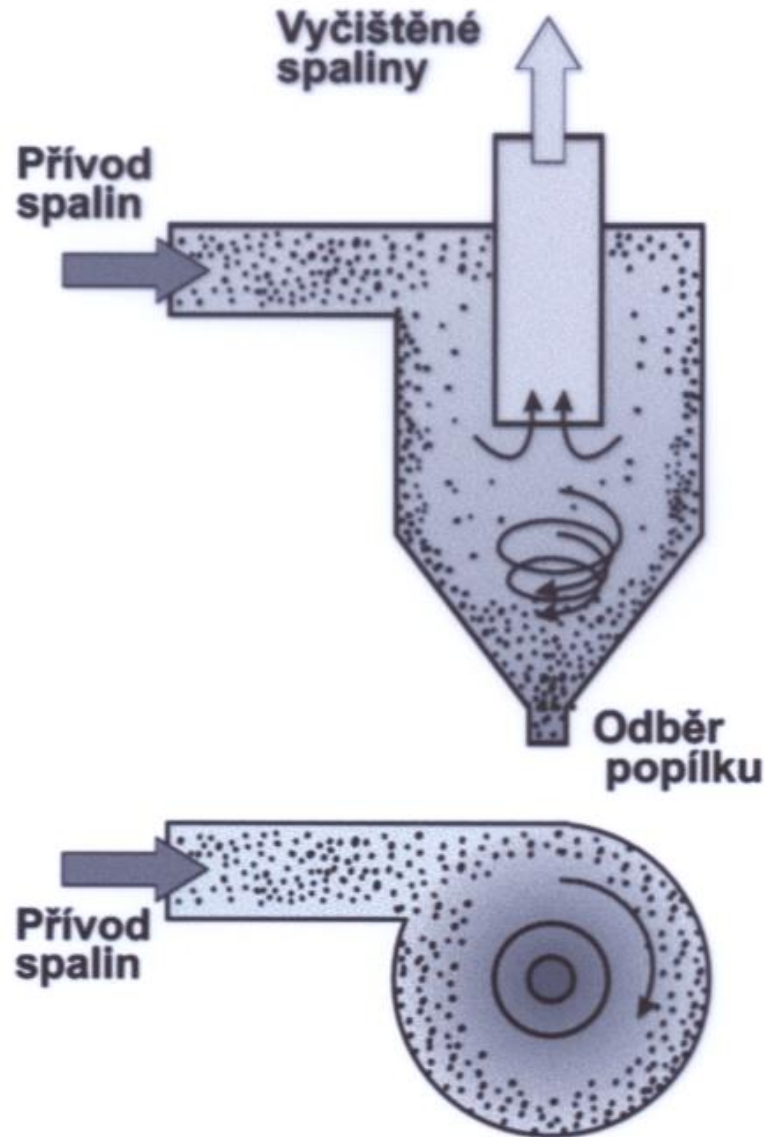
Kotle pro výroby elektřiny

Elektrostatický
odlučovač:



Kotle pro výroby elektřiny

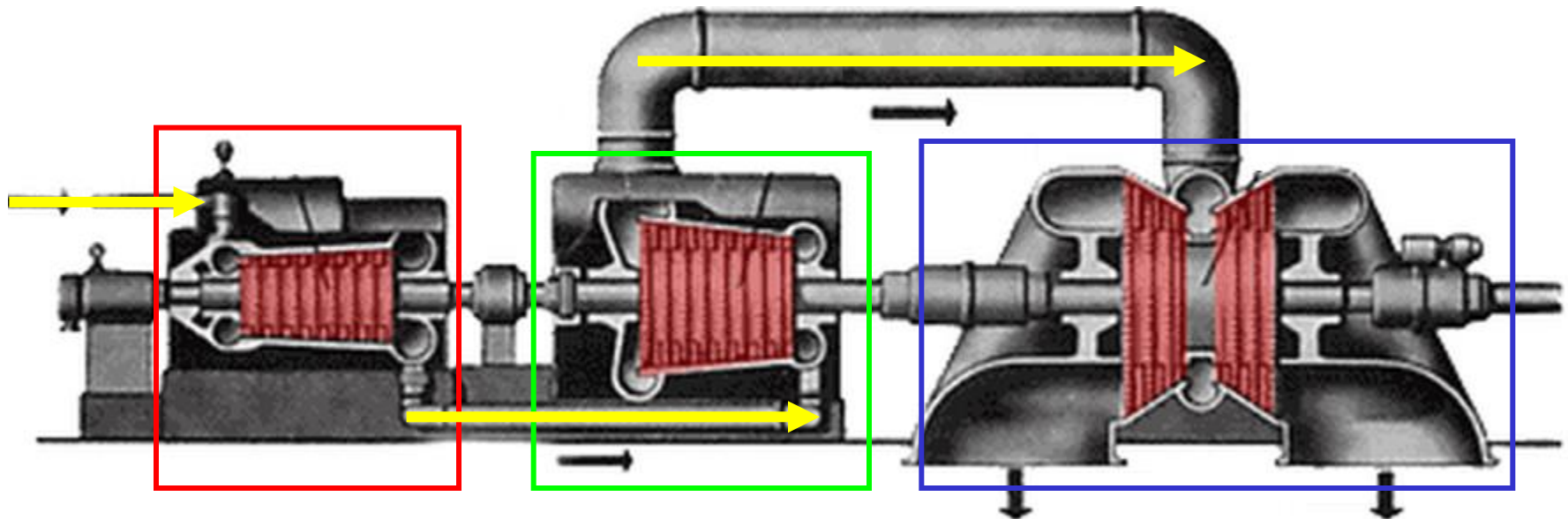
Cyklónový
odlučovač:



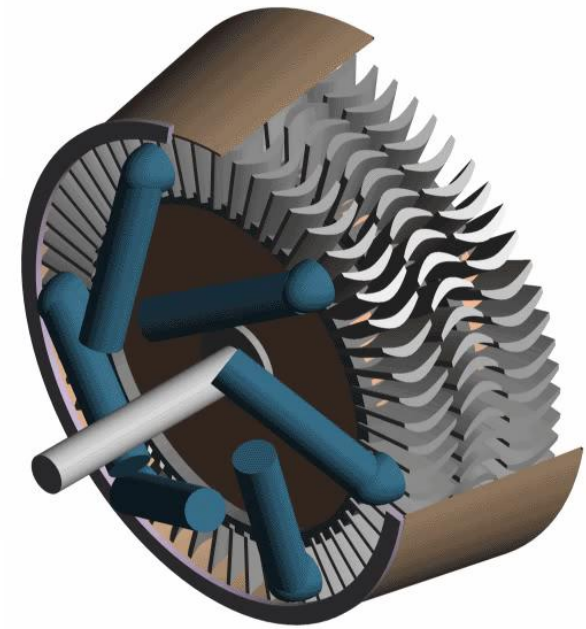
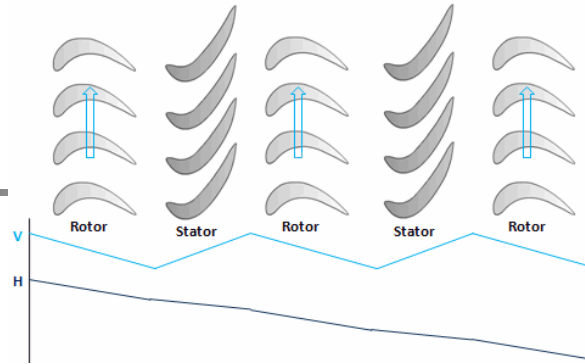
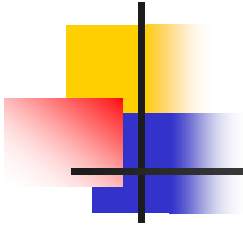
Parní turbíny

Obvykle jsou vícetělesové s VT, NT, popř. ST tělesem a vícestupňové

Ideální jsou turbíny s rovnoměrným rozložením teplot a s minimálními vibracemi v tělese



Parní turbíny



Dělení parních turbín:

- *Dle změny tlaku v oběžných kolech:*

- *rovnotlaké (celá změna entalpie se přemění na rychlost média již v rozváděcích kolech)*
- *přetlakové (částečně i v oběžných)(pro menší výkony)*

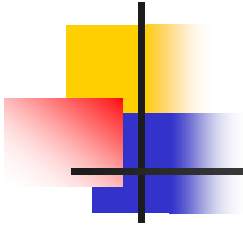
- *Dle tlaku výstupní páry:*

- *kondenzační (elektrárenské)*
- *protitlaké (teplárenské)*

$$p_K = 0.002 \div 0.01 \text{ MPa}$$

$$p_K = 0.11 \div 0.6 \text{ MPa}$$

Parní turbíny



Dělení parních turbín:

- *Dle použité páry:*

- *na přehřátou (suchou) páru*
- *na sytou resp. mokrou páru (u JE)*

- *Dle regulace odběrů:*

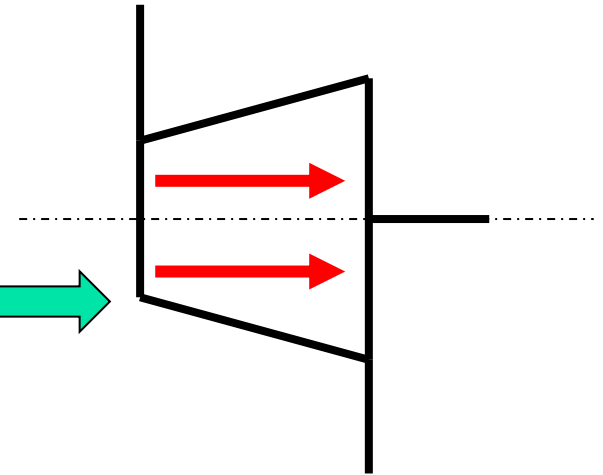
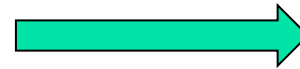
- *s regulovanými odběry páry (pro tepelné spotřebiče)*
- *s neregulovanými odběry páry (pro regenerativní ohřev)*

Parní turbíny

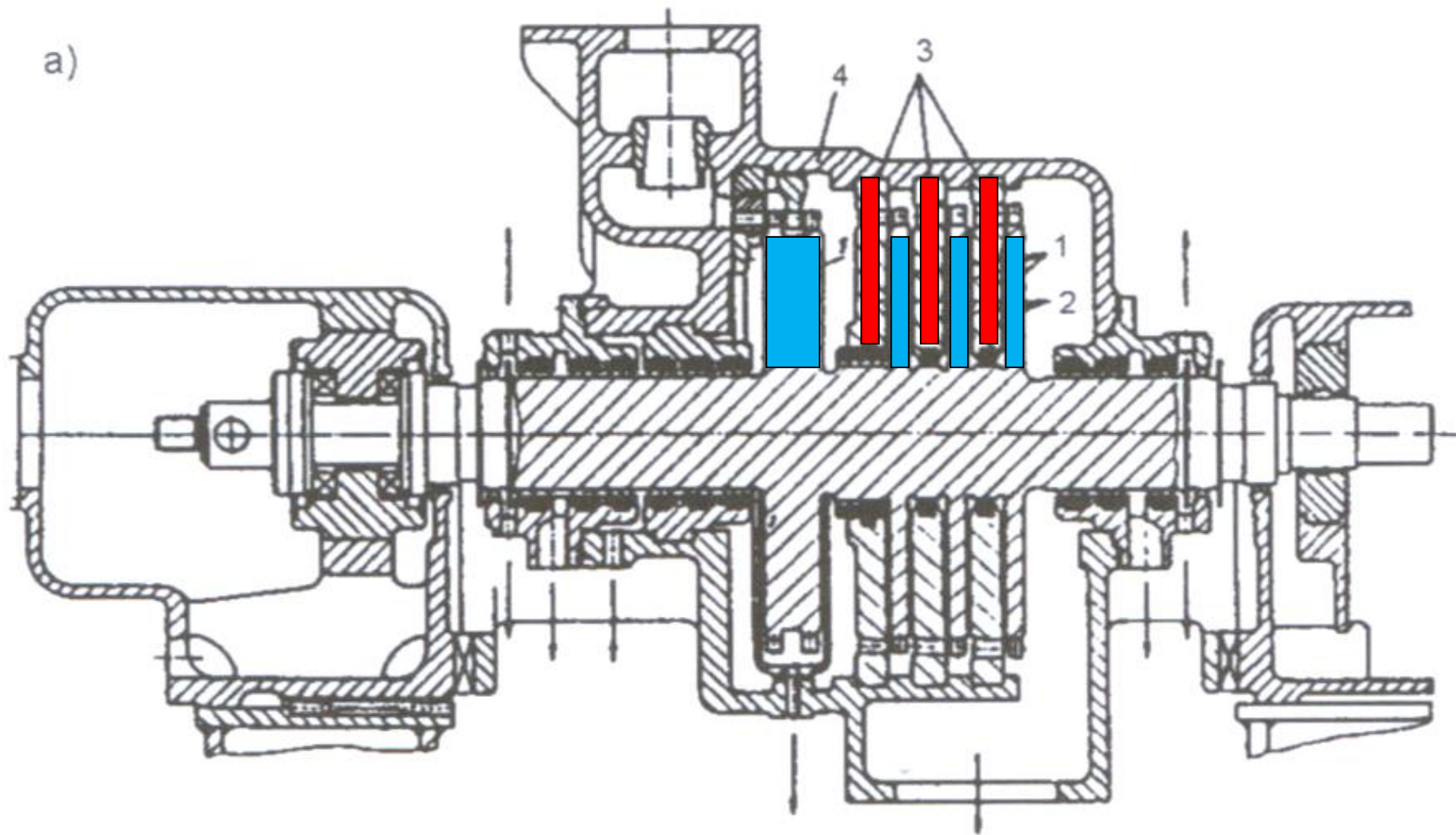
Dělení parních turbín:

- *Dle proudění média:*

- *axiální (rovnoběžně s osou)*
- *radiální (již se neprojektují)*
- *centripetální (radiálně-axiální, pro malé pohonné turbíny)*



Parní turbíny

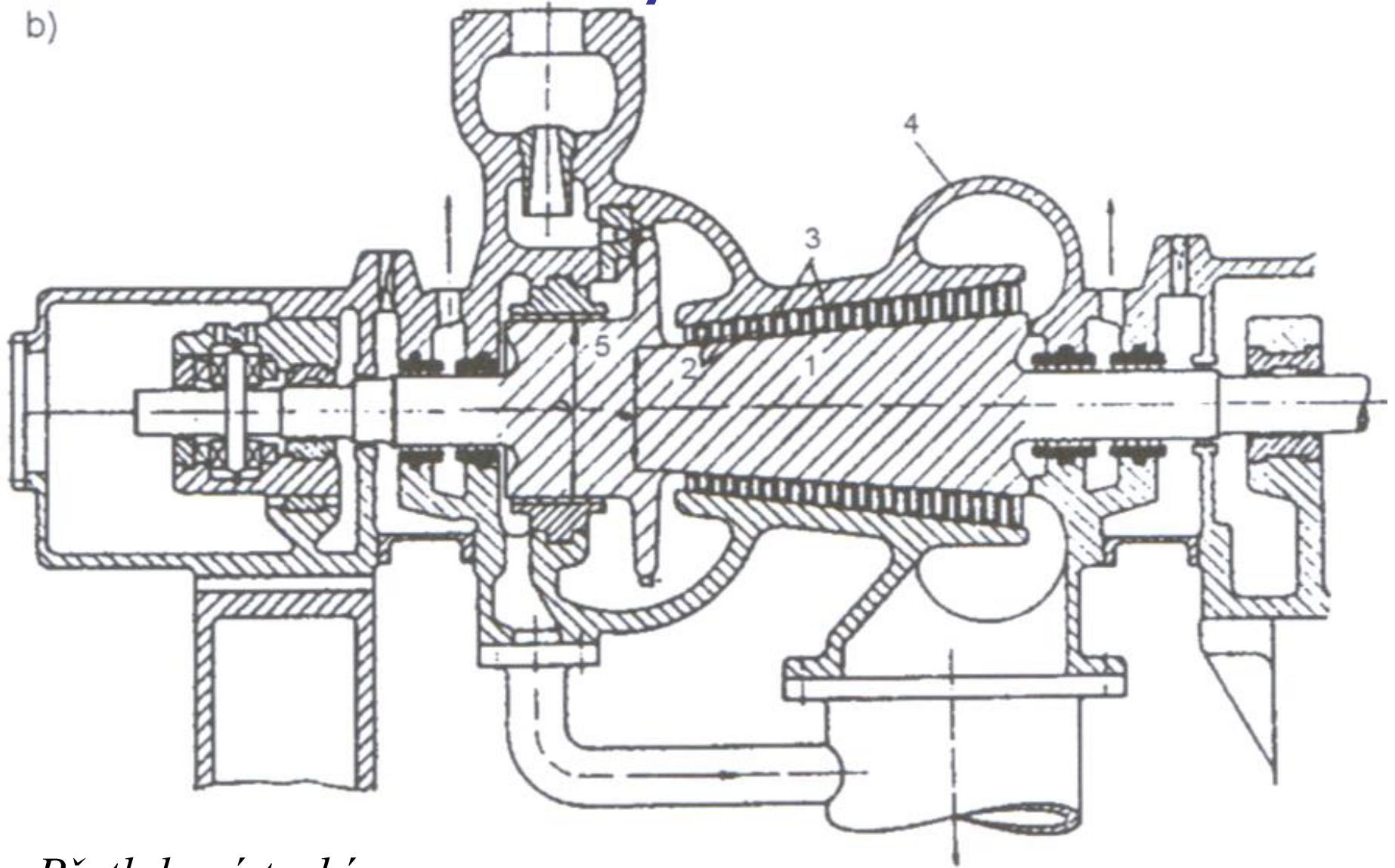


Vícestupňová rovnotlaká turbína

(1 – oběžná kola, 2 – rozváděcí kola, 3 – rozváděcí lopatky)

Parní turbíny

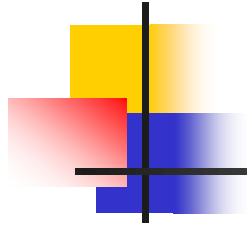
b)



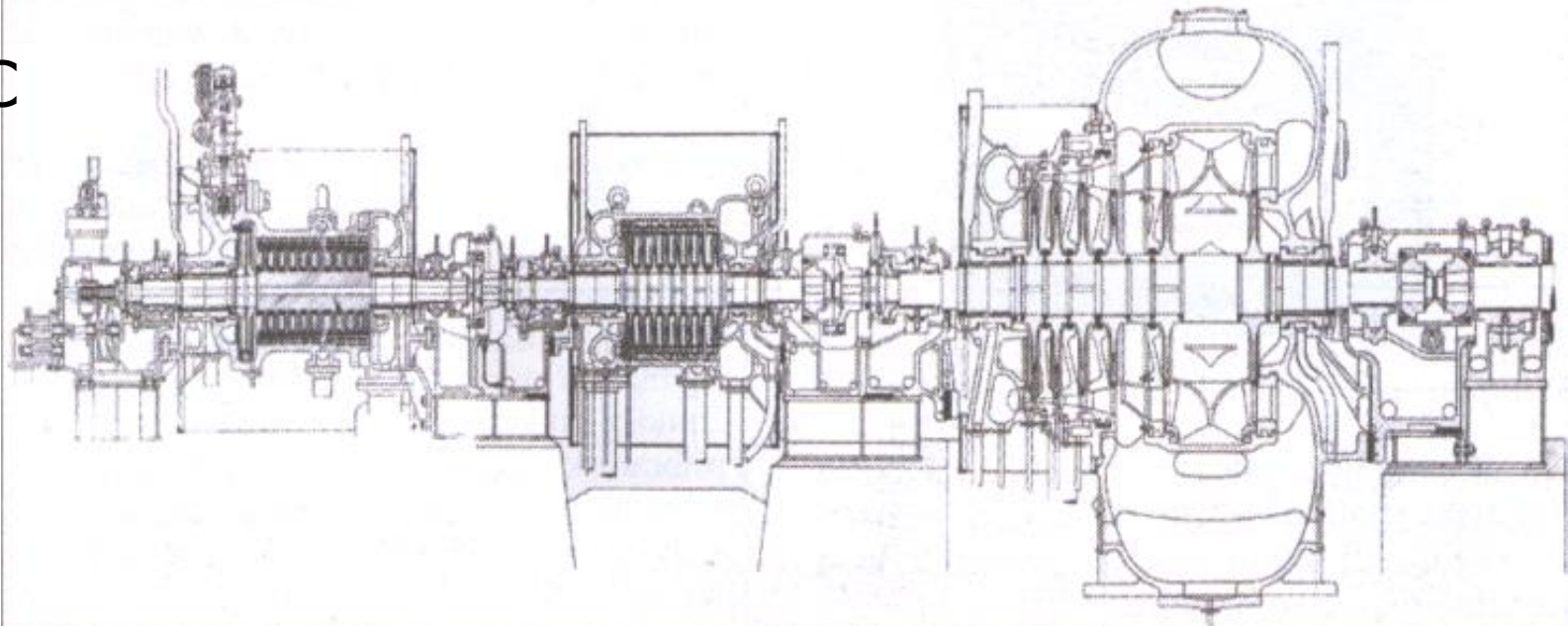
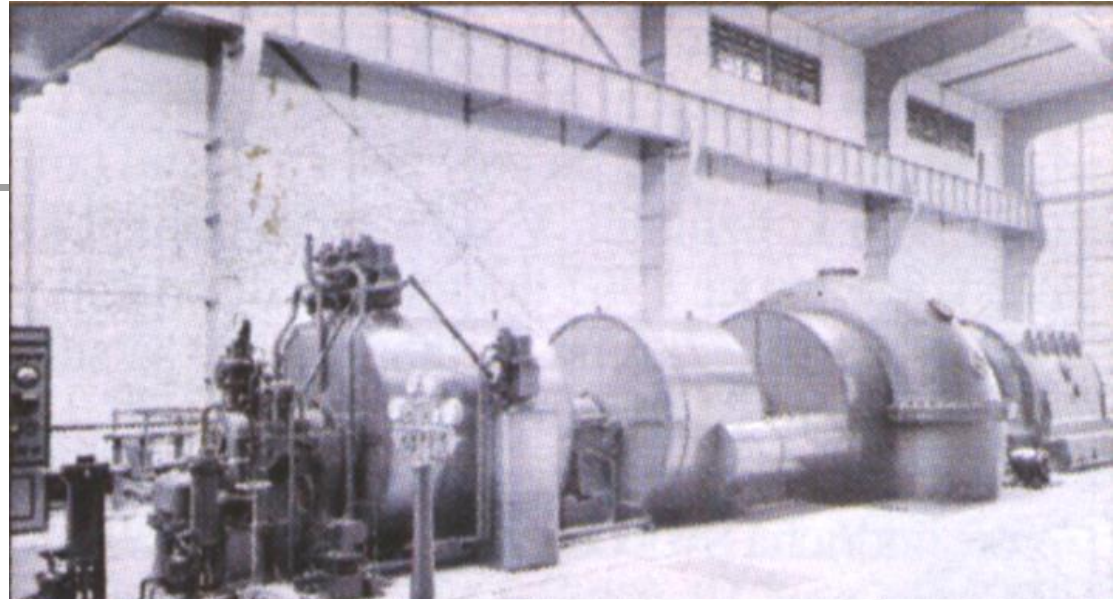
Přetlaková turbína

(1 – bubnový rotor, 2 – oběžné lopatky, 3 – rozváděcí lopatky)

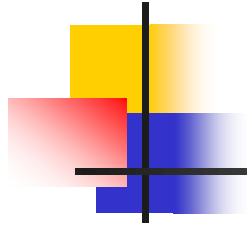
Parní turbíny



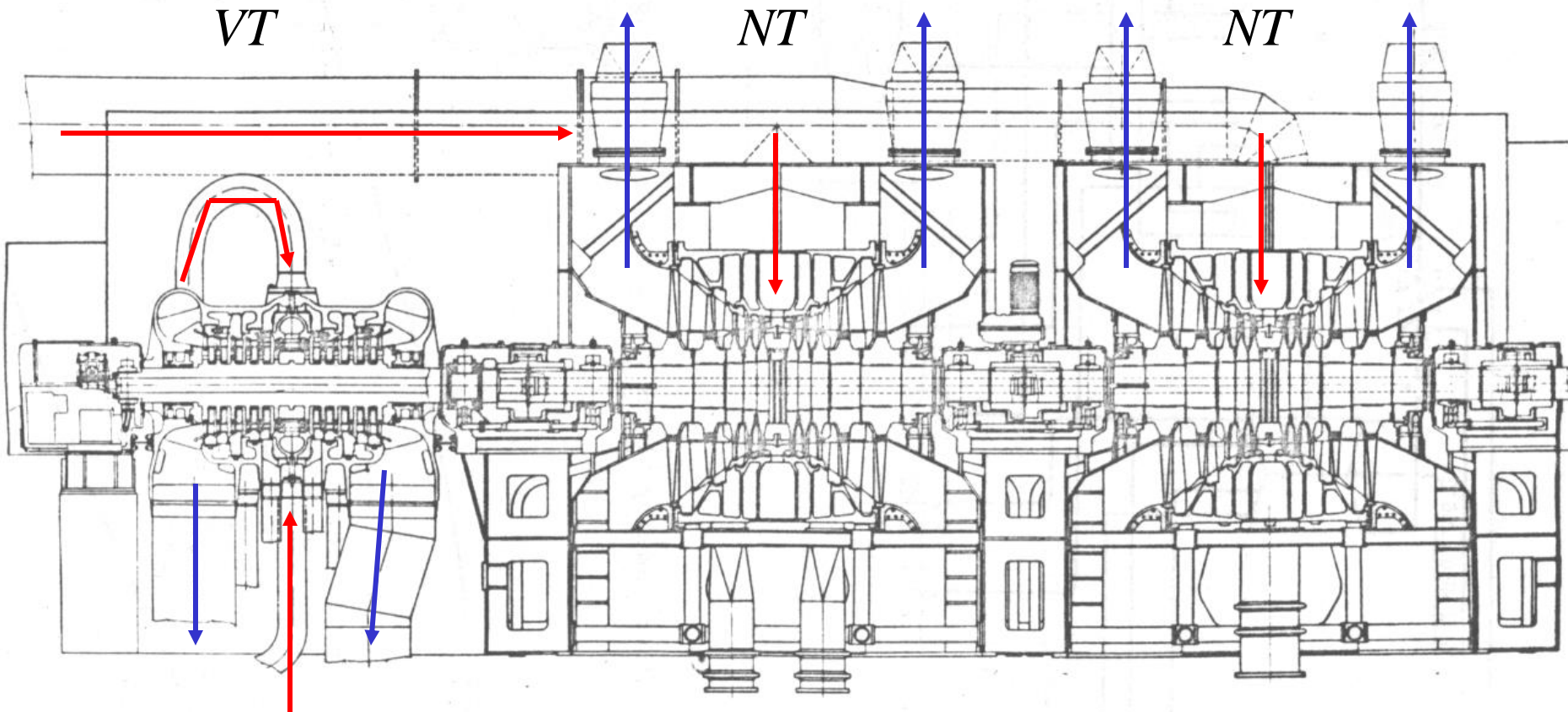
Třítělesová kondenzační
turbína 23 MW,
elektrárna Třebovice
pro parametry páry
12.26 MPa
480-500 °C



Parní turbíny



Turbína 220 MW pro JE Dukovany



Parní turbíny

VT těleso ETI



Parní turbíny

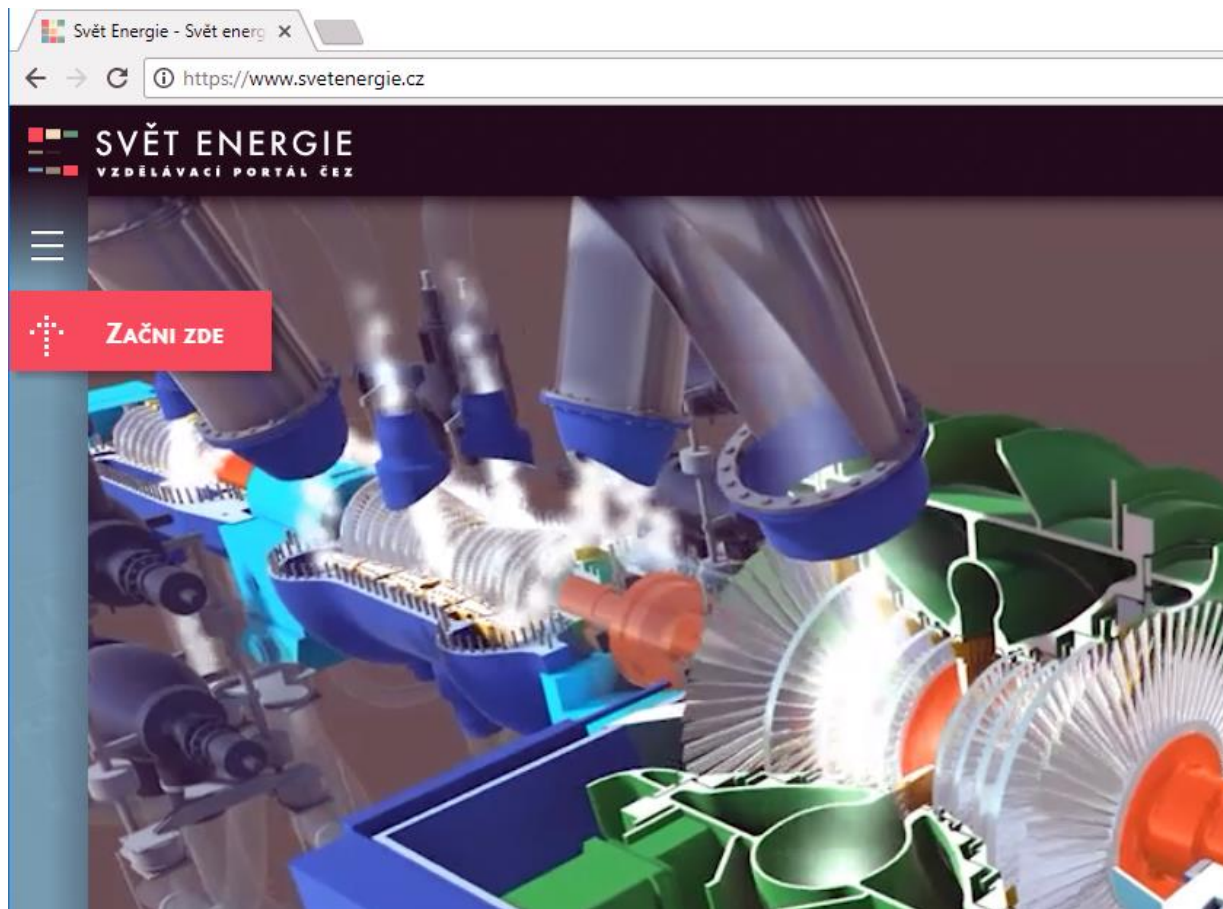
VT těleso ETI



Vzdělávací podklady ČEZ

3D modely technologických prvků a systémů:

<https://www.svetenergie.cz/>



Parní turbíny

Parní turbíny v angličtině:


<https://www.learnengineering.org/working-of-steam-turbine.html>

Learn Engineering - The virtual university

Working of Steam Turbine

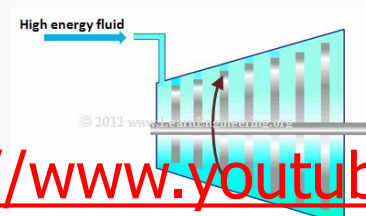
February 6, 2013

Steam turbines are the hearts of the power plants, they are the thermal energy in fluid to mechanical energy. In this article, working of steam turbine is explained in a logical manner.

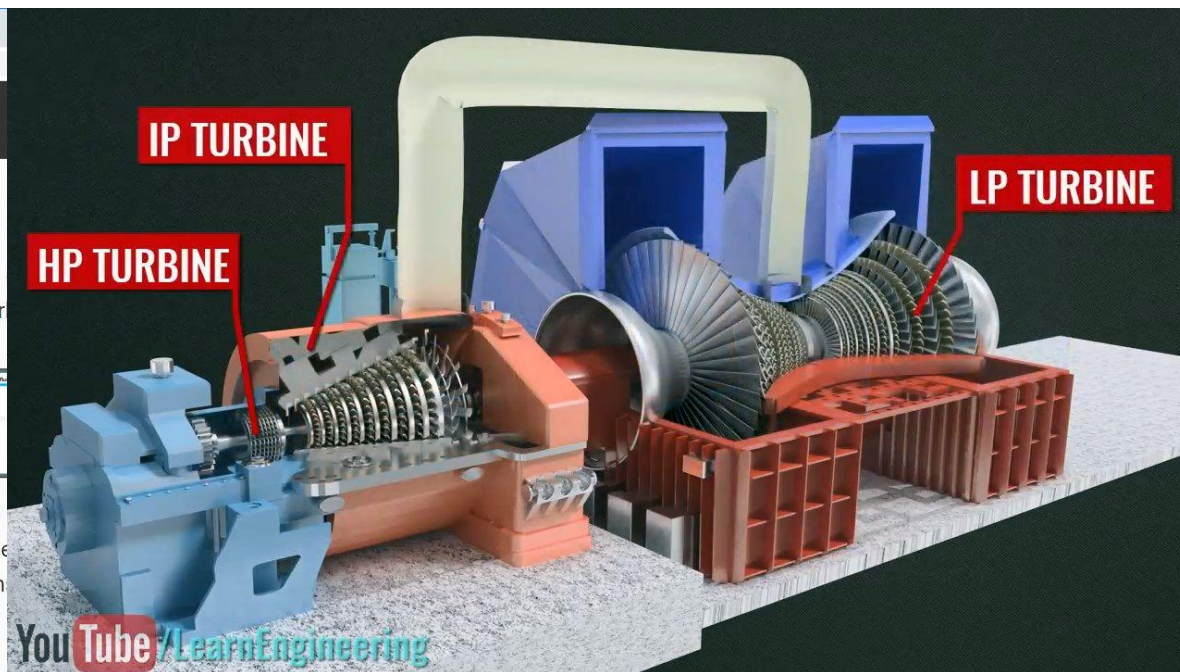


Energy absorption from fluid – role of rotor blades

When high energy fluid (high pressure and high temperature) passes through the rotor blades, it absorbs energy from the fluid and starts rotating, thus it transfers energy from the fluid to mechanical energy.

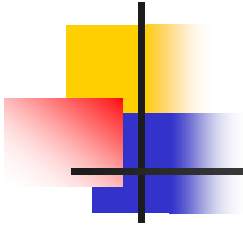


© 2012 www.learnengineering.org



<https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=SPg7hOxFitI>

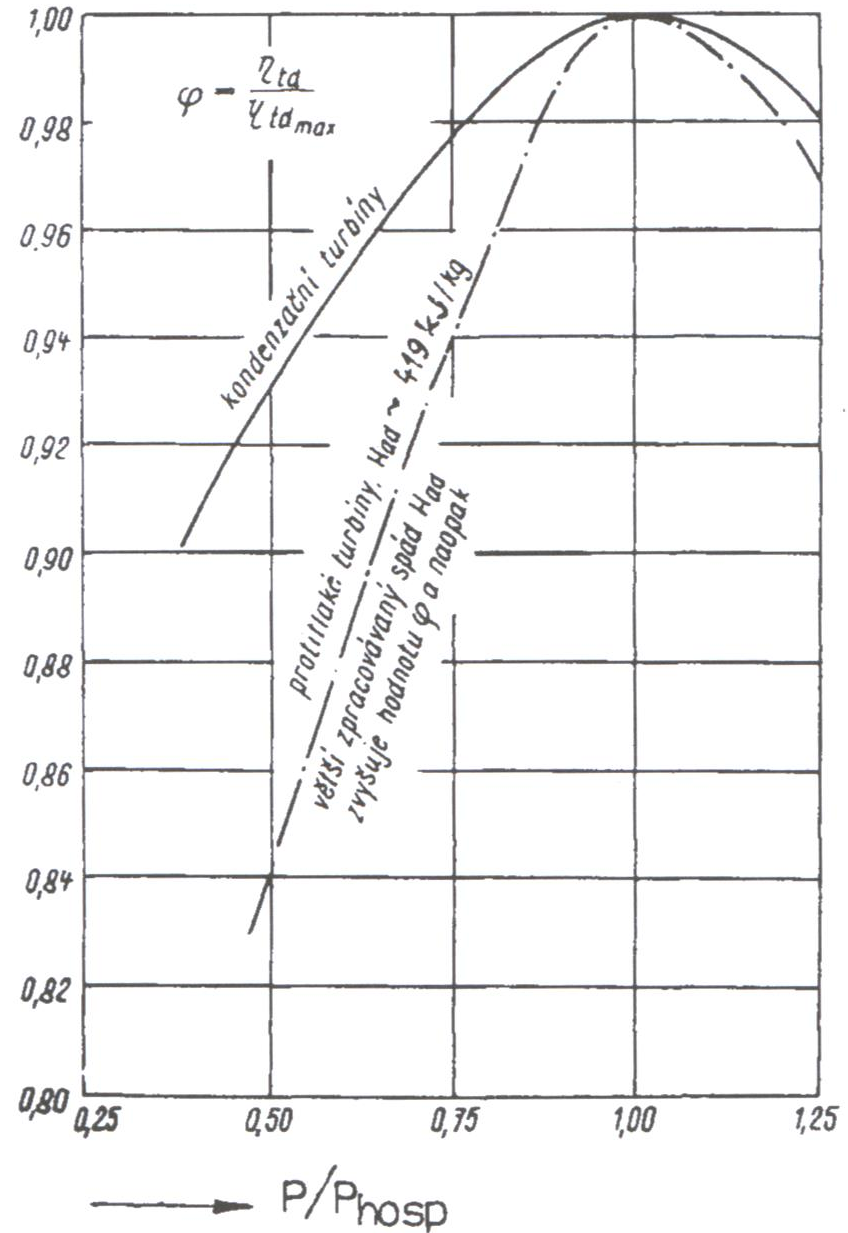
Parní turbíny



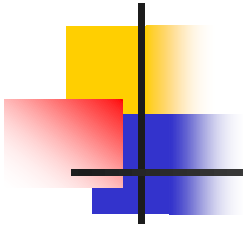
Účinnost turbíny:

Ztráty v turbíně:

Třením na lopatkách, změnou směru proudu média, rázem média na vstupu, vlhkostí páry, výstupní rychlostí média, třením rotoru, ventilační, vnitřními netěsnostmi a netěsnostmi ucpávek, vedením tepla do okolí.



Parní turbíny

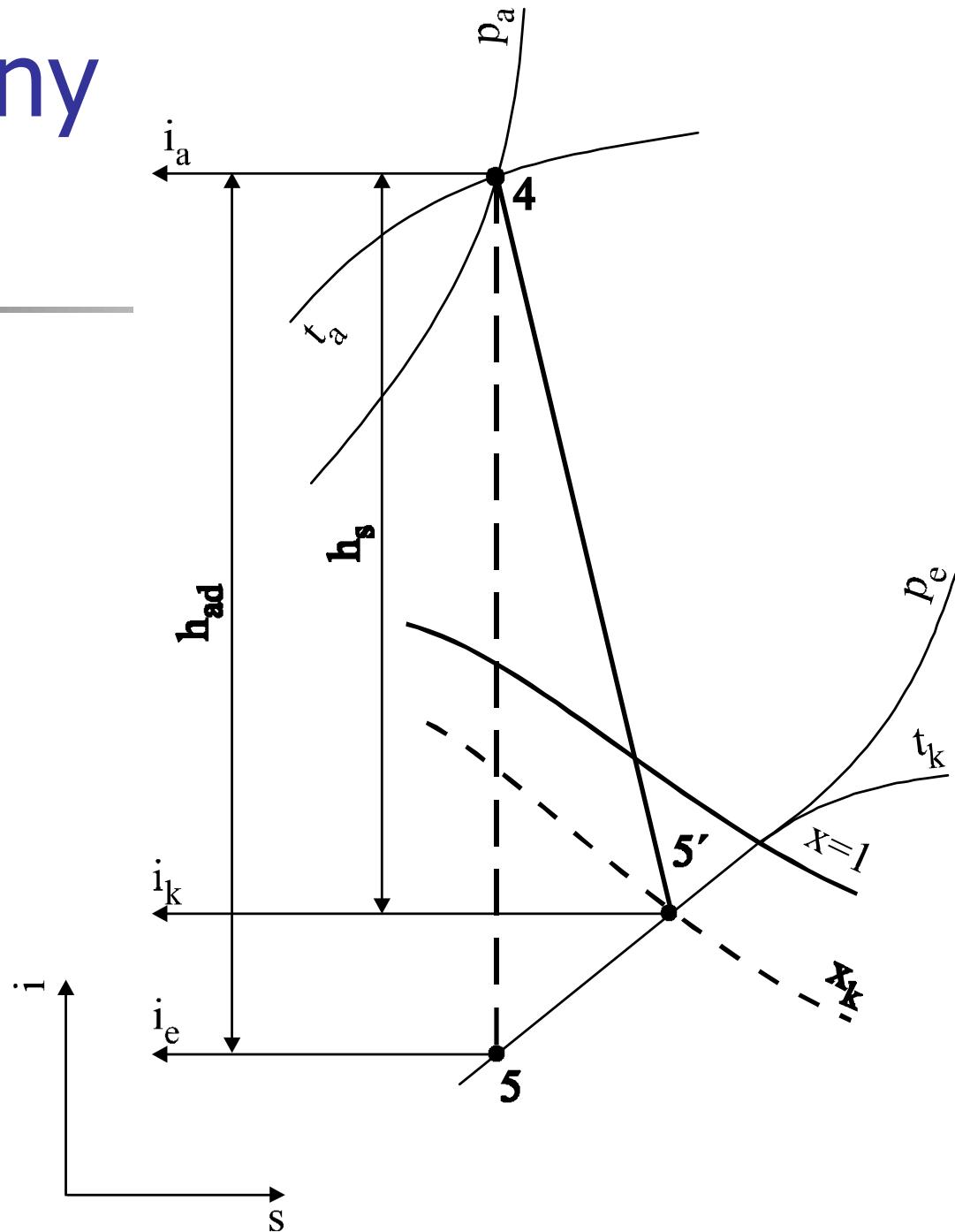


Účinnost turbíny:

*Vlastní účinnost odpovídá
termodynamické účinnosti:*

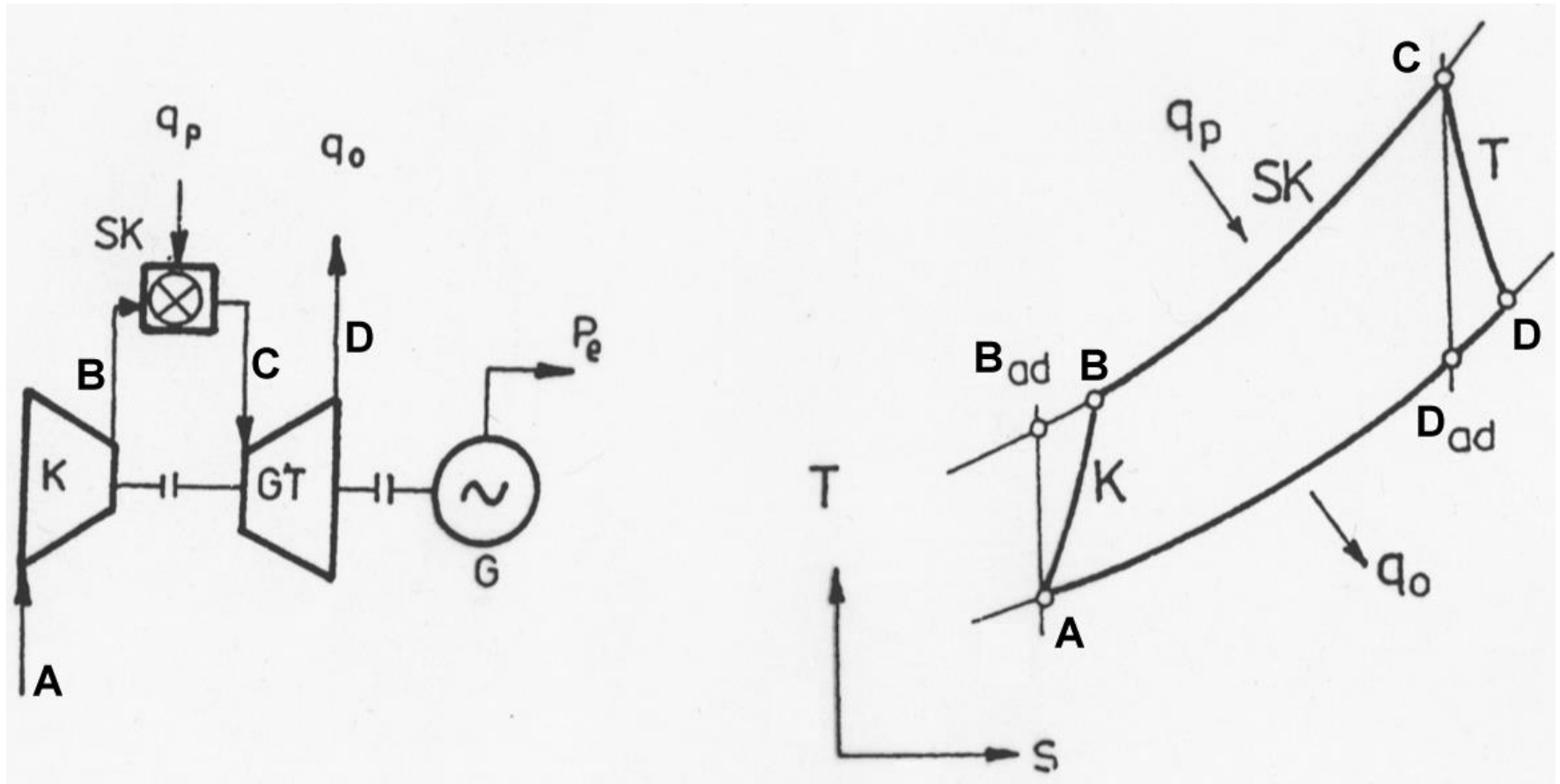
$$\eta_{TD} = \frac{h_S}{h_{ad}} = \frac{i_a - i_K}{i_a - i_e}$$

$$\eta_{TD} \approx 0.7 \div 0.9$$



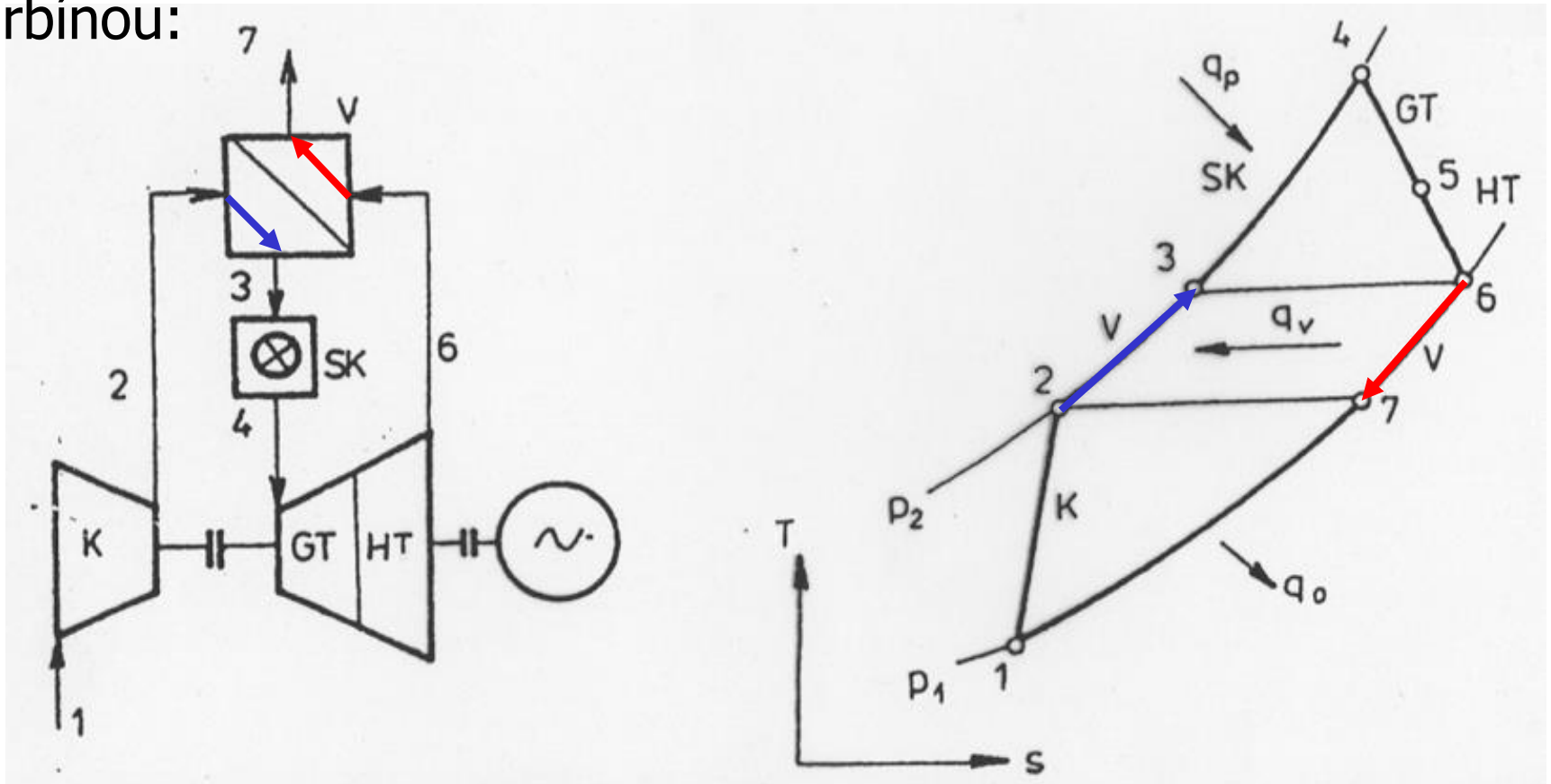
Cyklus s plynovou turbínou

Jouleův-Braytonův cyklus plynové turbíny:



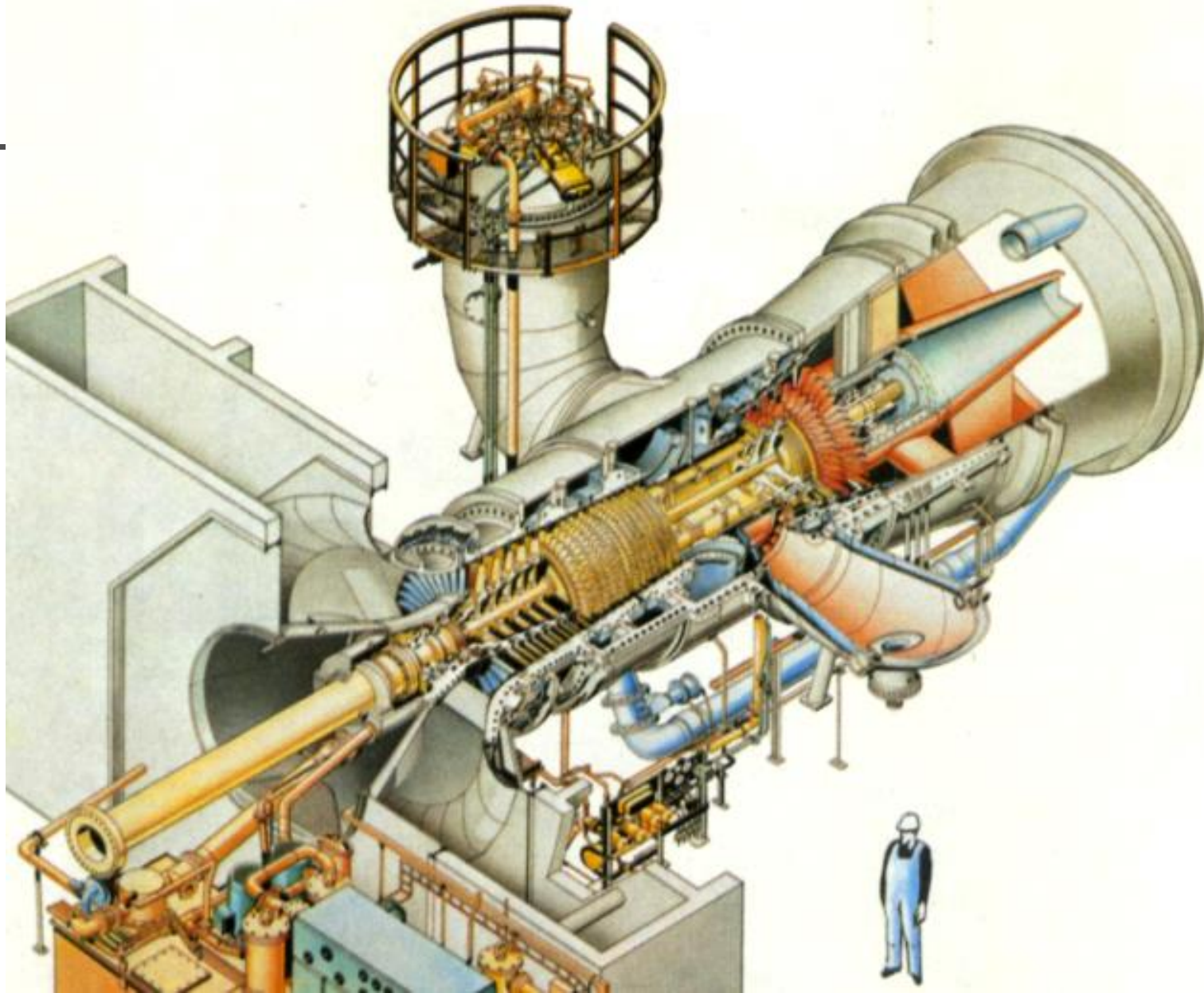
Cyklus s plynovou turbínou

Praktická realizace s výměníkem tepla a rozdělenou turbínou:



Cyklus s plynovou turbínou

Praktická
realizace



Cyklus s plynovou turbínou

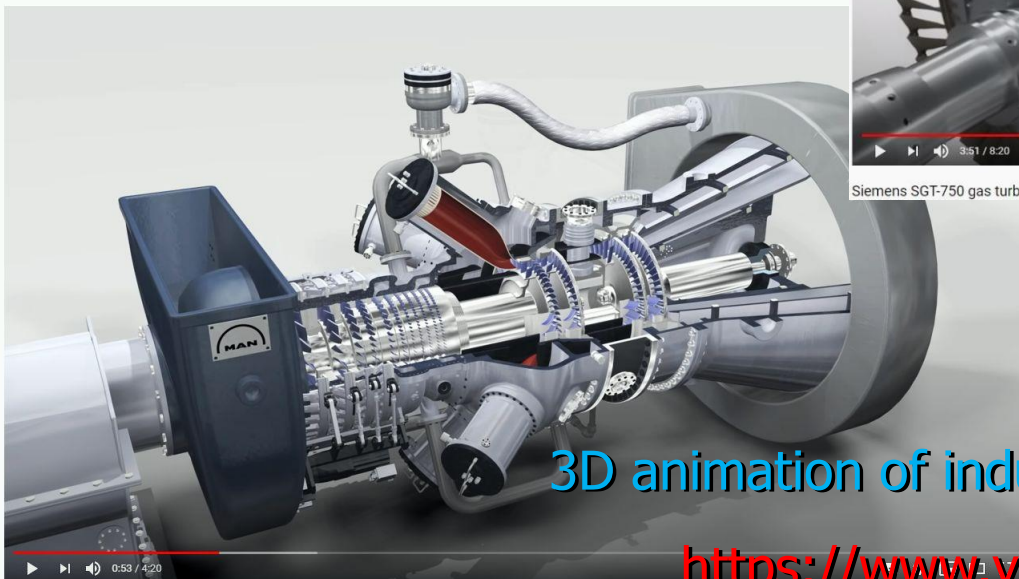
Plynové turbíny v angličtině

Siemens SGT-750 gas turbine flythrough

<https://www.youtube.com/watch?v=c12Gh8BN0Io>



Siemens SGT-750 gas turbine flythrough



3D animation of industrial gas turbine working principle

<https://www.youtube.com/watch?v=GF-70yncAVY>

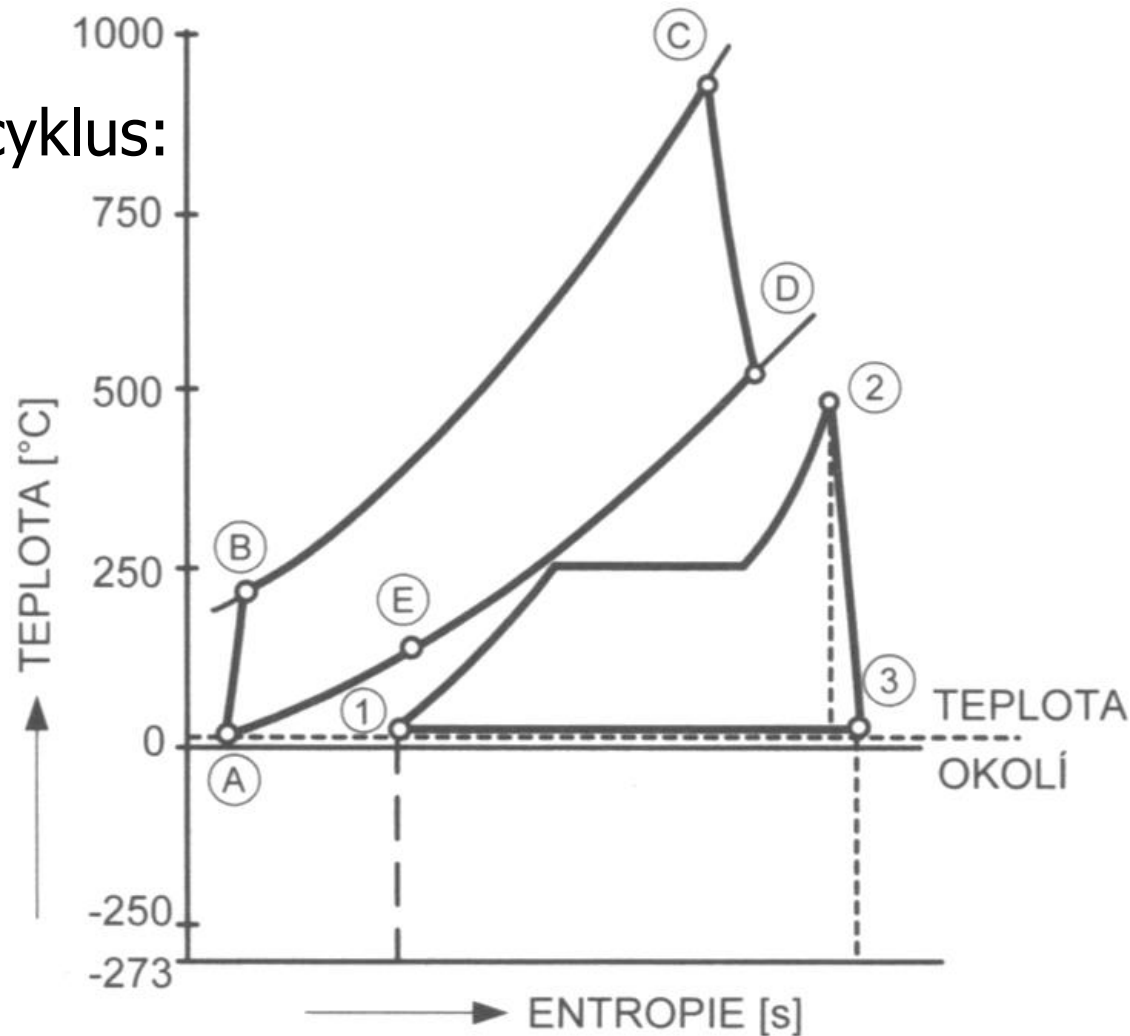
Paroplynný cyklus



Kombinovaný paroplynný cyklus:

*Spojuje výhody a
snižuje nevýhody
obou cyklů:*

- *příliš vysoká výstupní
teplota u plyného*
- *příliš nízká vstupní u
parního*



Paroplynný cyklus



Kombinovaný paroplynný cyklus:

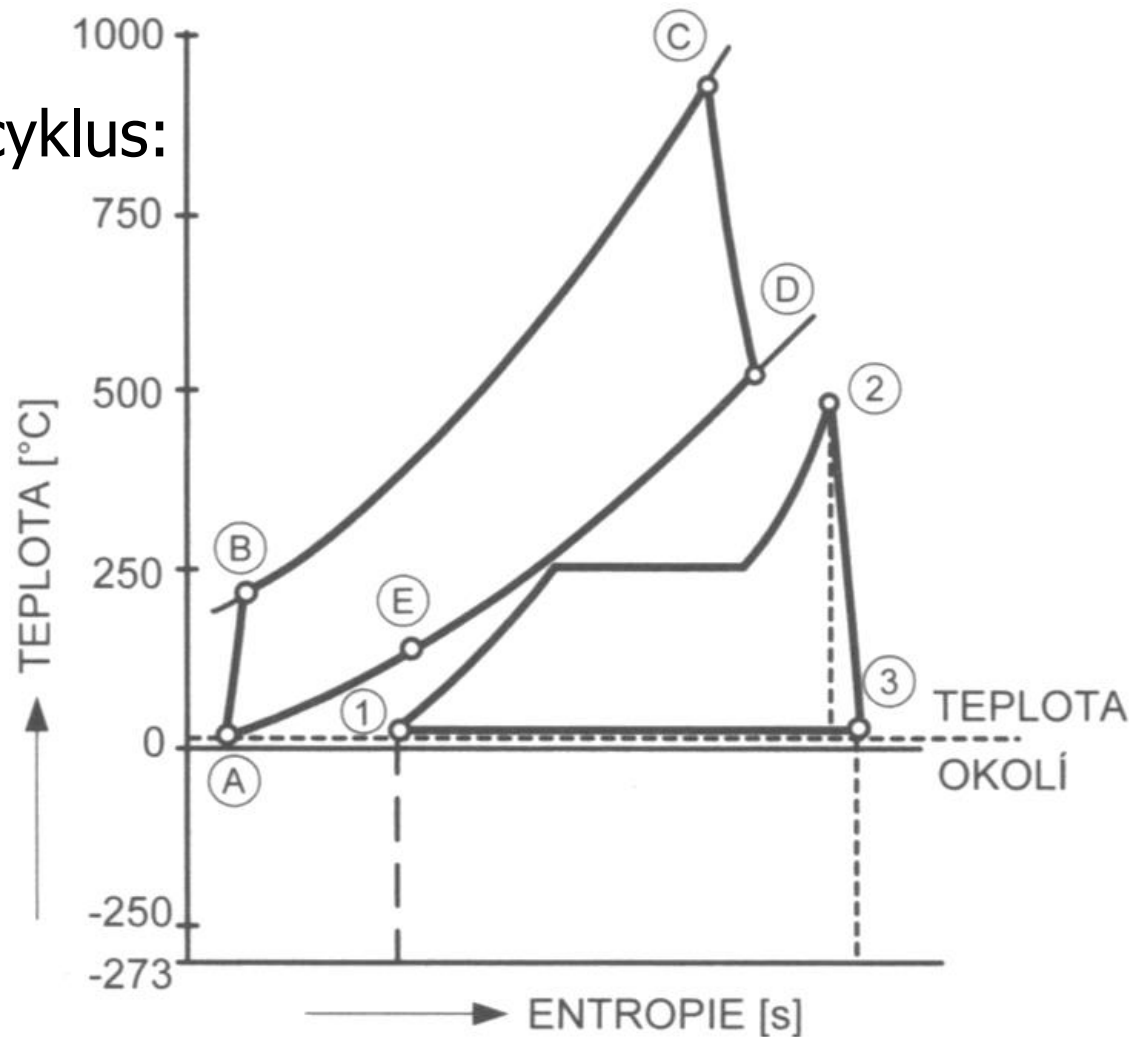
*Reálná praktická
účinnost:*

0.42 až 0.58

*Plynový oběh s běžnou
teplotou $t_c > 800\text{ °C}$
má účinnost“*

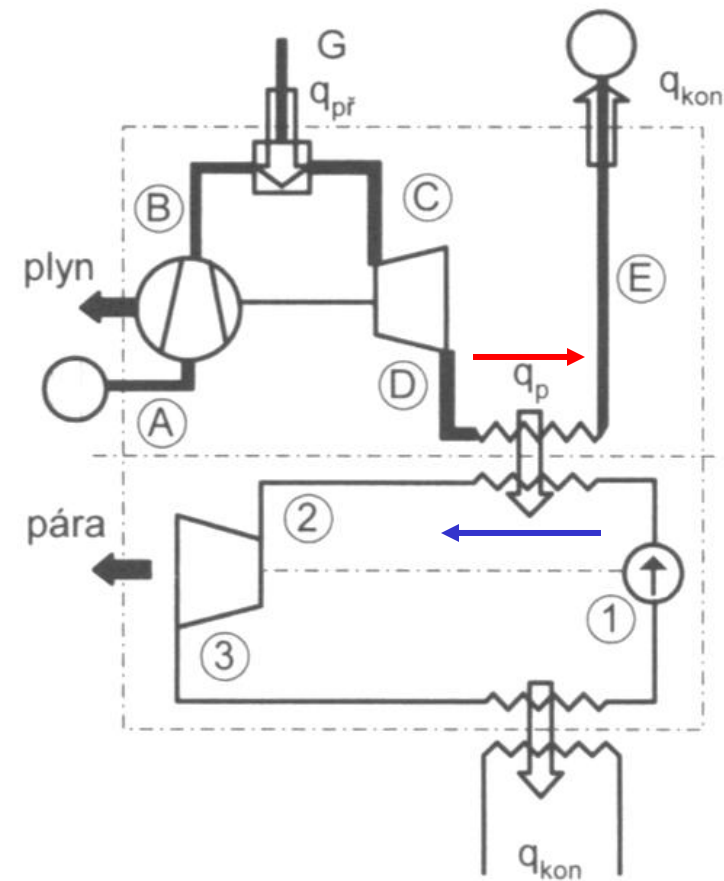
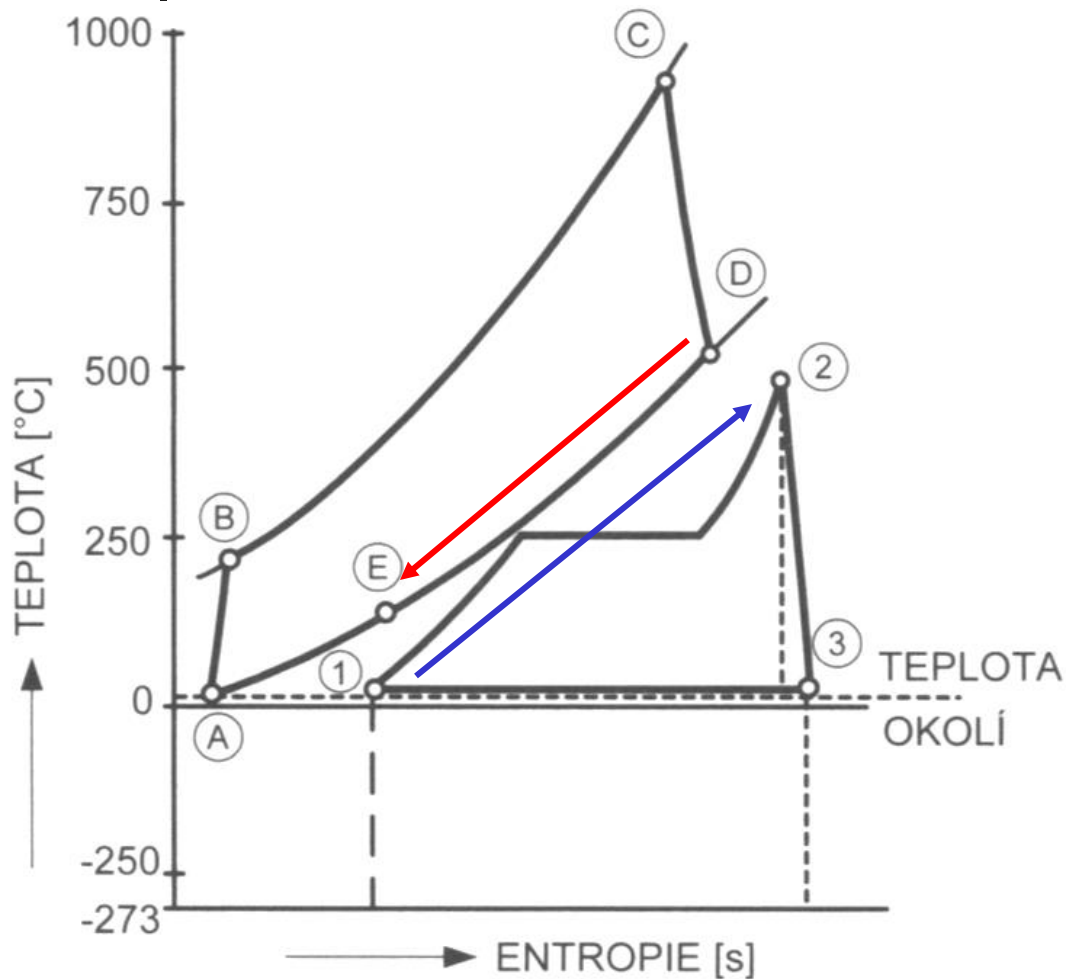
0.28 až 0.38

*Parní oběh s běžnou
 $t_2 > 500\text{ °C}$ má
účinnost: 0.28 až 0.42*



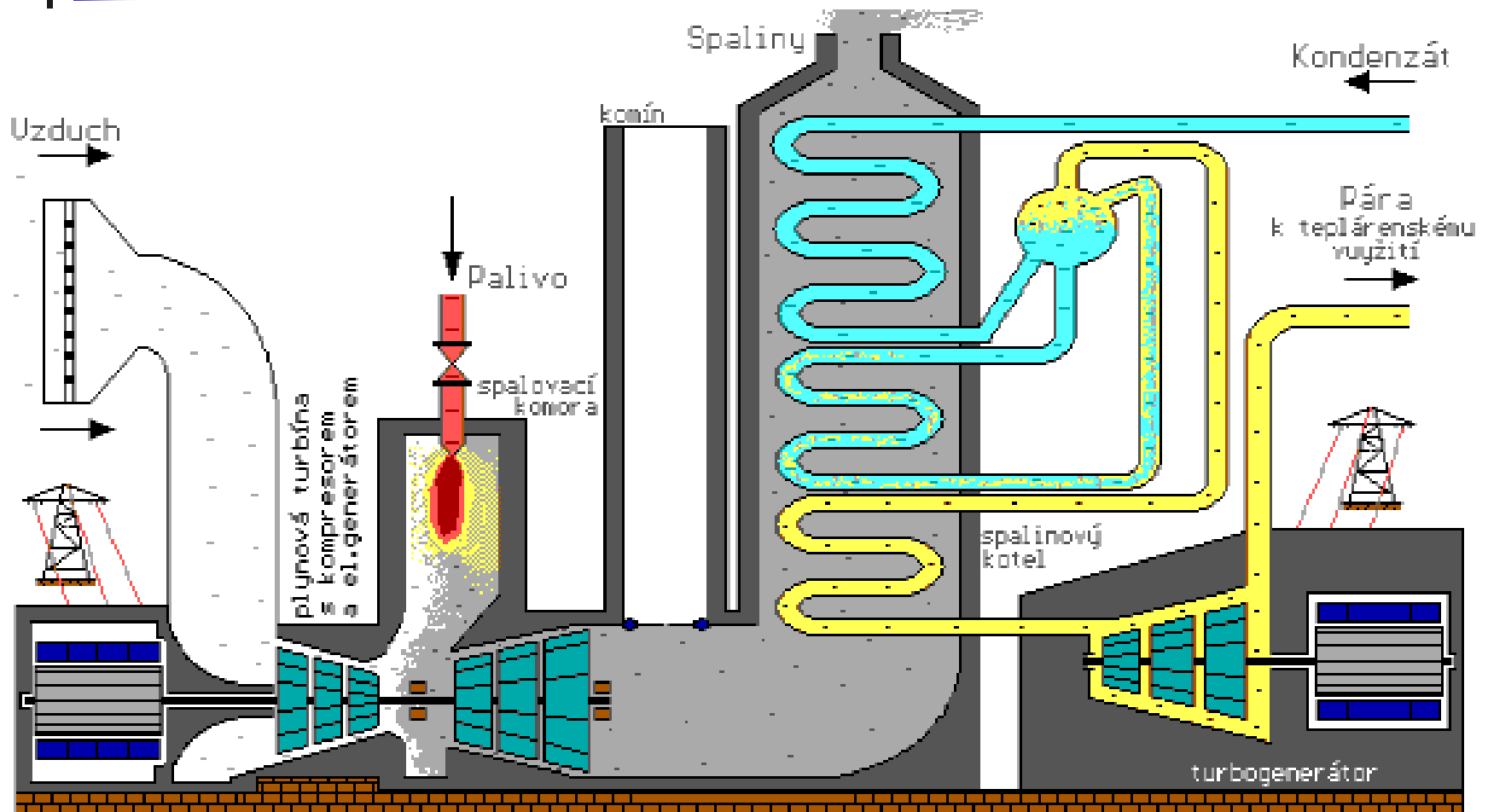
Paroplynný cyklus

Schéma kombinovaného paroplynného cyklu:



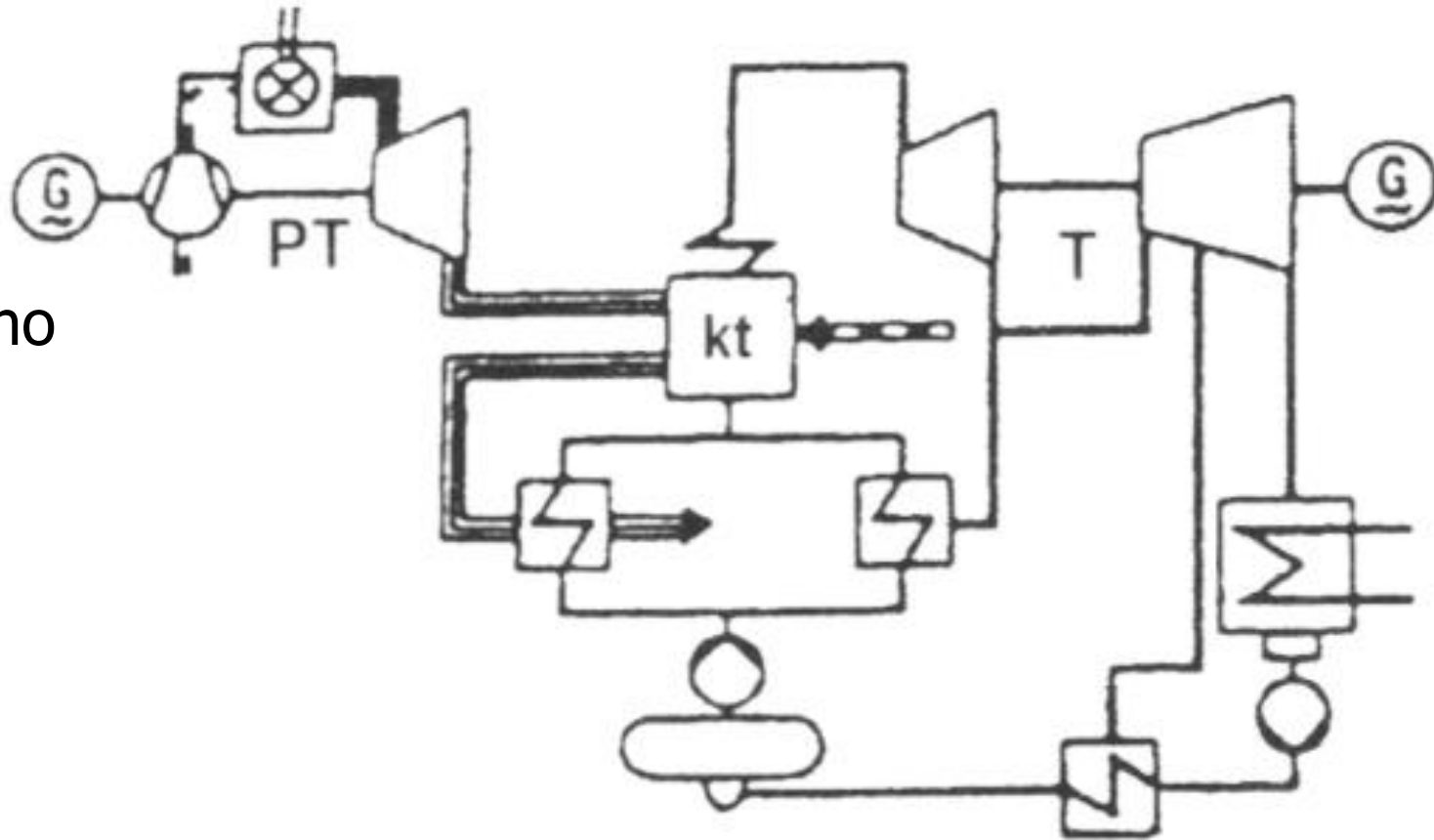
Paroplynný cyklus

Schéma kombinovaného paroplynného cyklu:



Paroplynný cyklus

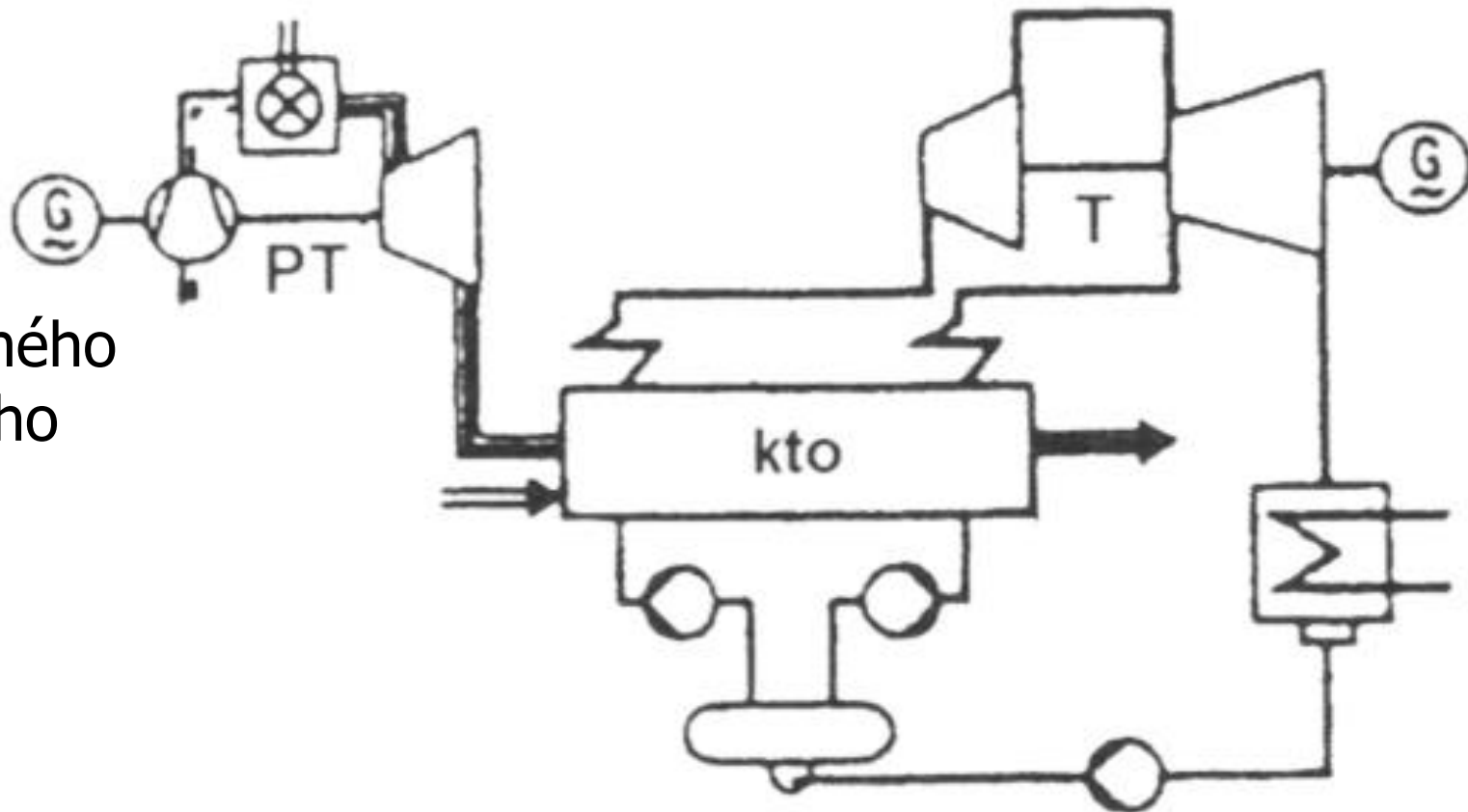
Praktická
realizace
kombinovaného
paroplynného
cyklu:



Výfukové plyny plynové turbíny jsou přidávány do klasického parního kotle a do paralelního vysokotlakého ohřevu vody.

Paroplynný cyklus

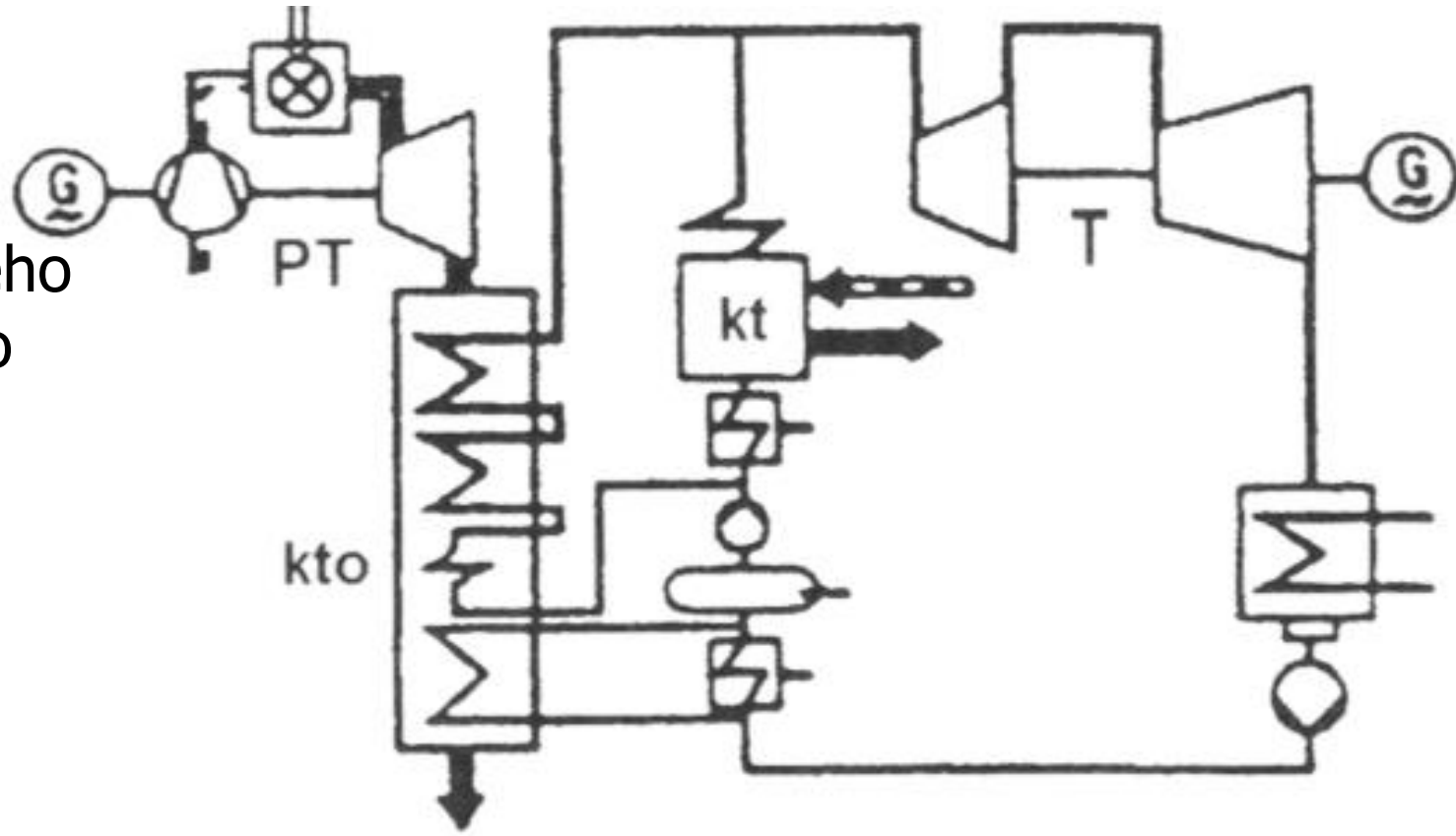
Praktická
realizace
kombinovaného
paroplynného
cyklu:



*Nepřítápěný kotel, ale přítápění možné příležitostně
(kotel není jen výměník).*

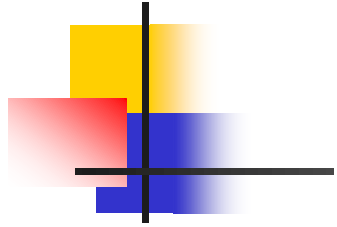
Paroplynný cyklus

Praktická
realizace
kombinovaného
paroplynného
cyklu:

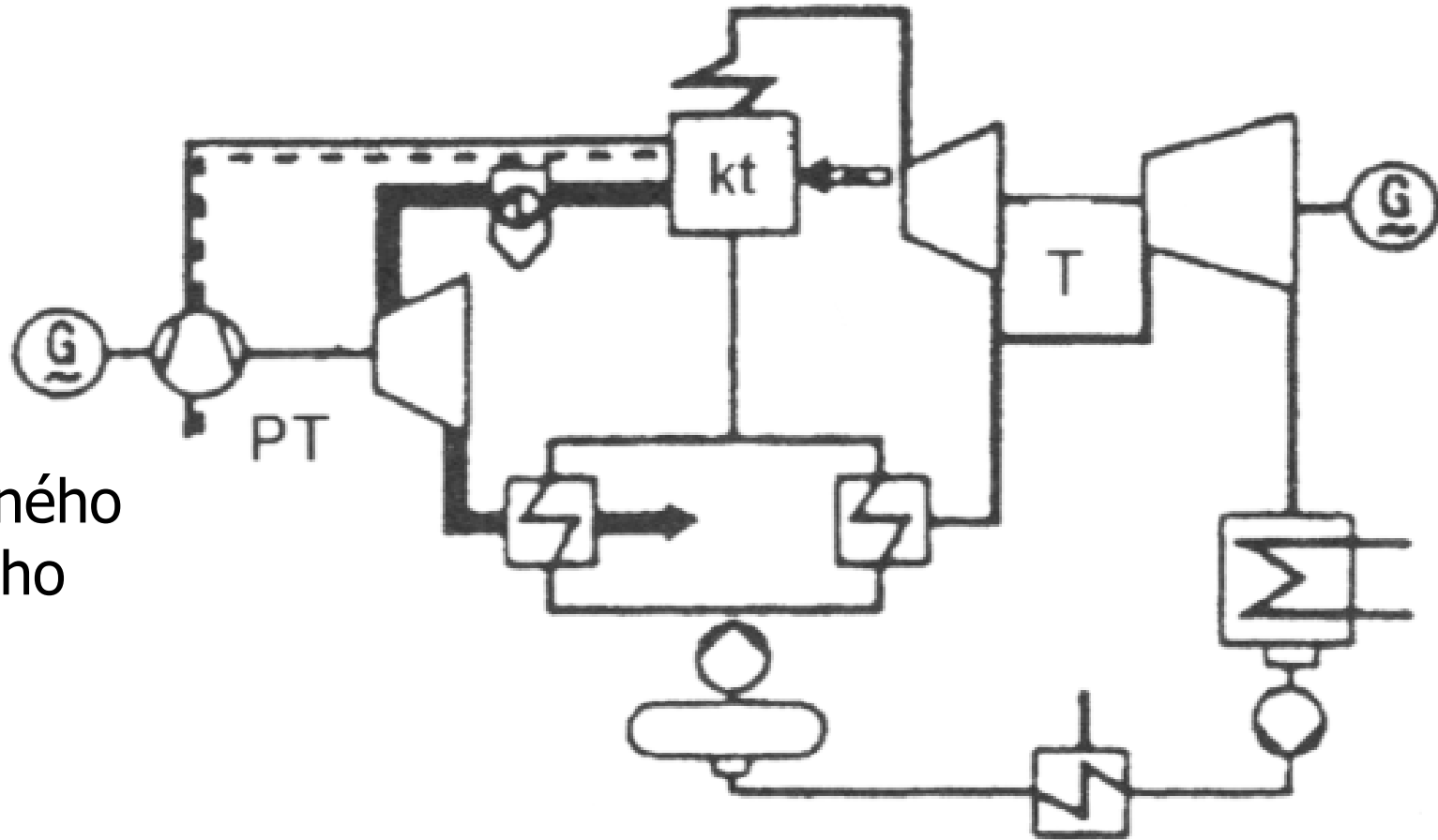


Zcela paralelní spojení plyného a parního cyklu, které jsou relativně samostatné.

Paroplynný cyklus



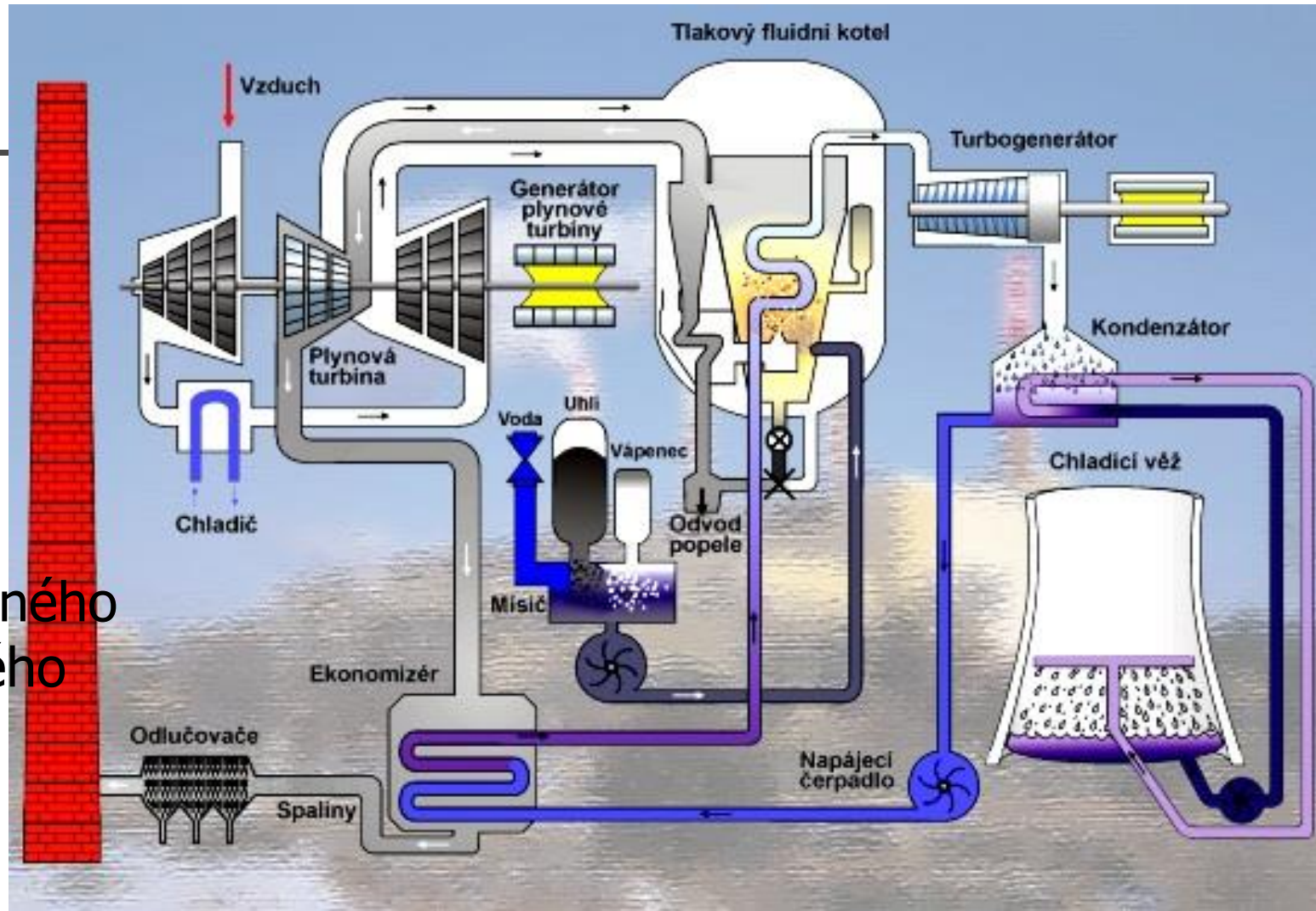
Praktická
realizace
kombinovaného
paroplynného
cyklu:



*Velmi těsná vazba mezi oběhy, které nemohou pracovat samostatně
(funkce plynové turbíny vázána na kotel).*

Paroplynný cyklus

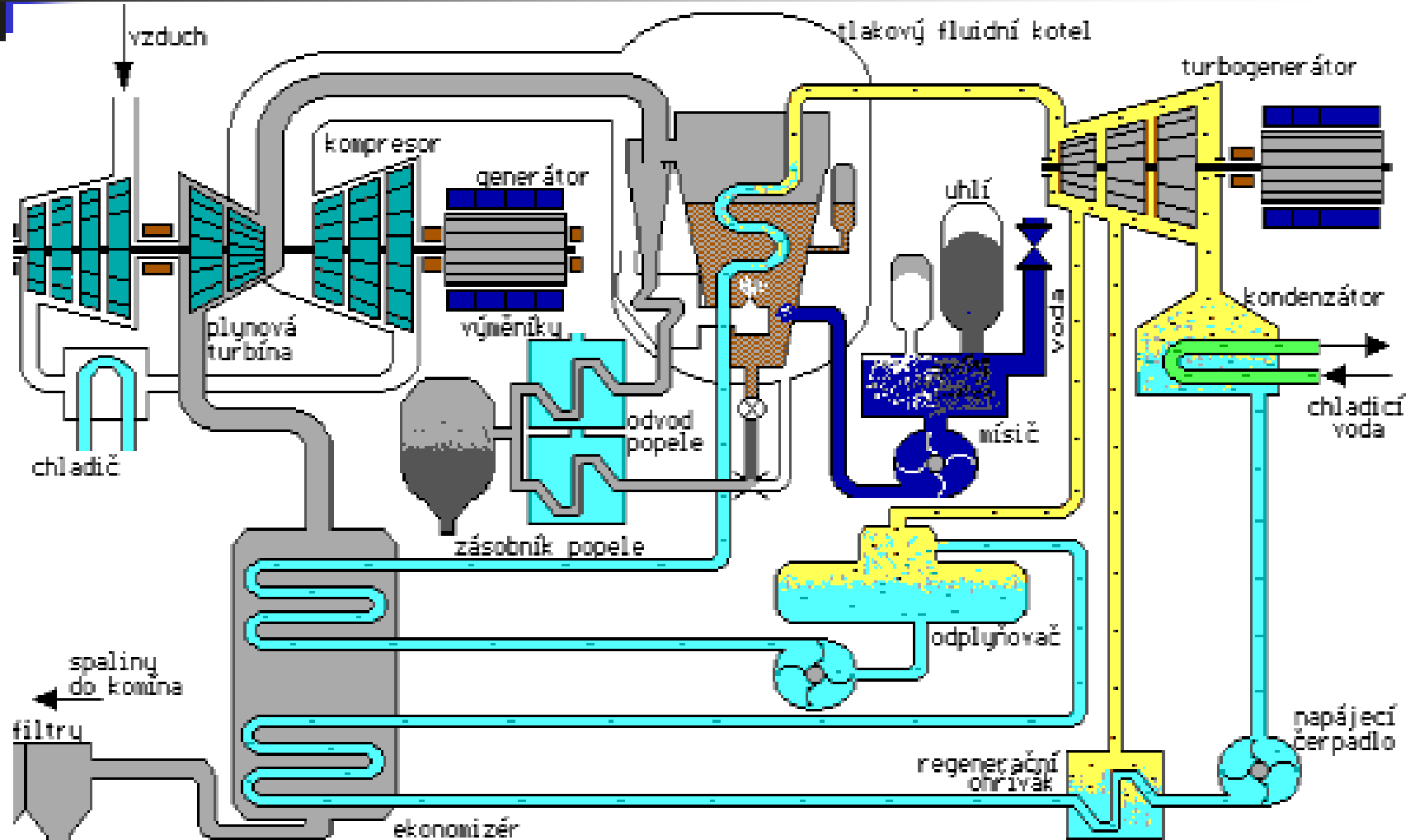
Praktická
realizace
kombinovaného
paroplynného
cyklu:



Opět těsná vazba mezi oběhy, které nemohou pracovat samostatně v provedení fluidním kotlem.

Paroplynný cyklus

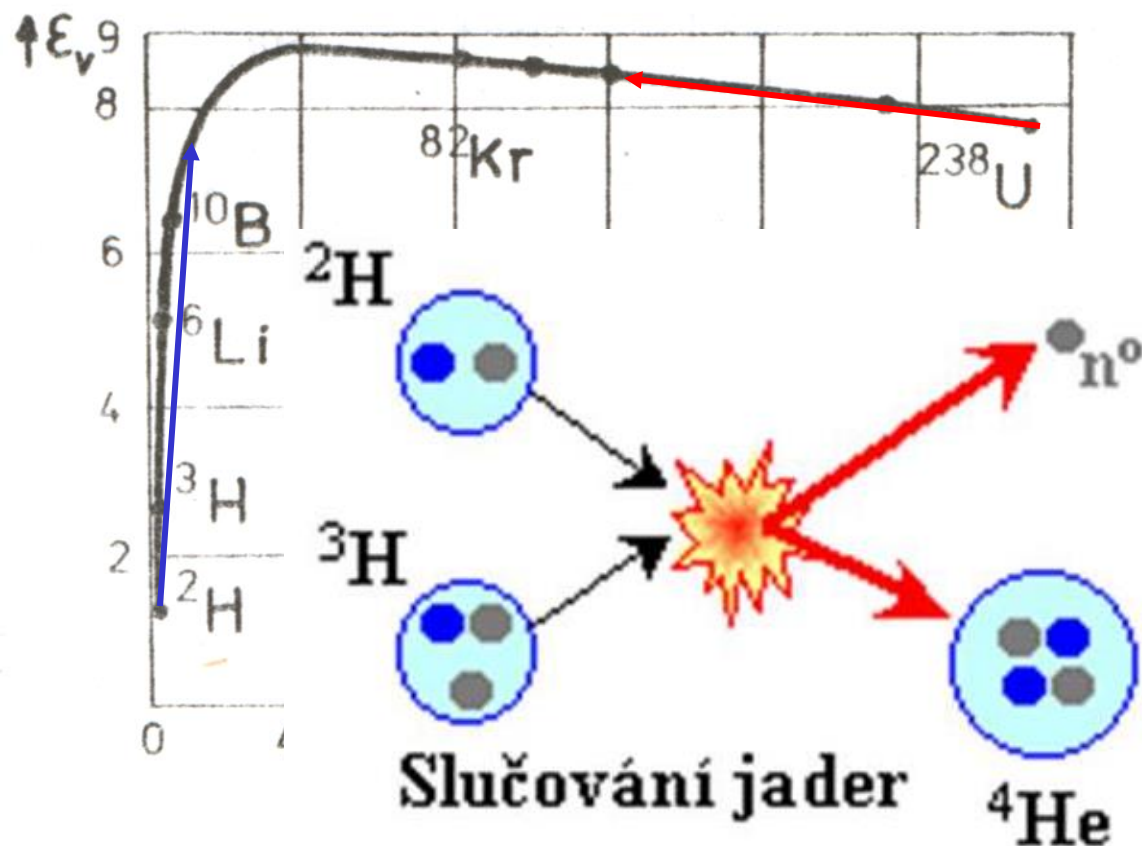
Praktická realizace kombinovaného paroplynného cyklu:



Jaderné elektrárny

Vychází ze získání energie změnou hmotnosti při jaderných reakcích dvou typů:

- štěpením velmi těžkých jader
- jadernou fúzí velmi lehkých jader





Jaderné elektrárny

Nejužívanější typ jaderné reakce je štěpení izotopů uranu tepelnými neutrony:



Základní jednotky:

- *atomová jednotka hmoty – u*
1/16 izotopu

$$O_8^{16} = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- *Energie 1 MeV*

$$1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6 \text{ J} = 1.602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

- *Energie 1 u*

$$E = m_u c^2 = \frac{1.67 \cdot 10^{-27} \cdot (2.9979 \cdot 10^8)^2}{1.602 \cdot 10^{-13}} = 931 \text{ MeV}$$



Jaderné elektrárny

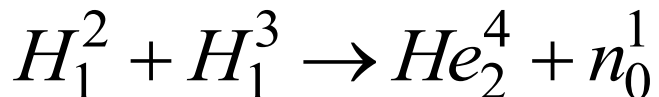
Nejužívanější typ jaderné reakce je štěpení izotopů uranu tepelnými neutrony:



Jedna štěpná reakce
195 +- 5 MeV

odpovídá získání energie

Nejužívanější typ fúzní jaderné reakce je slučování izotopů vodíku:



Jedna fúzní reakce odpovídá získání energie 17.6 MeV



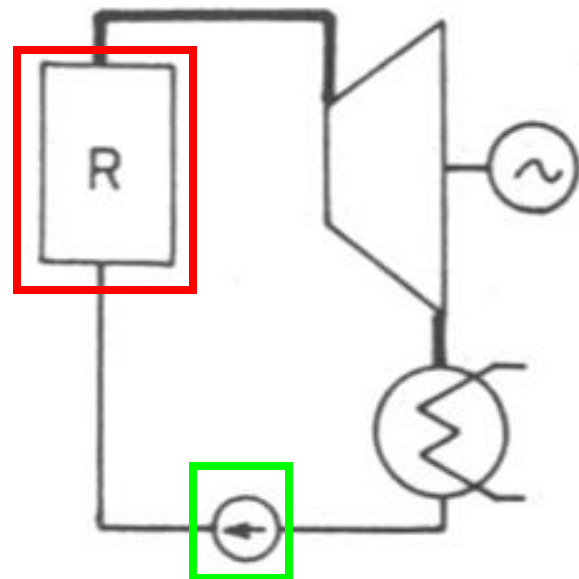
Jaderné elektrárny

Český-jaderný-program:

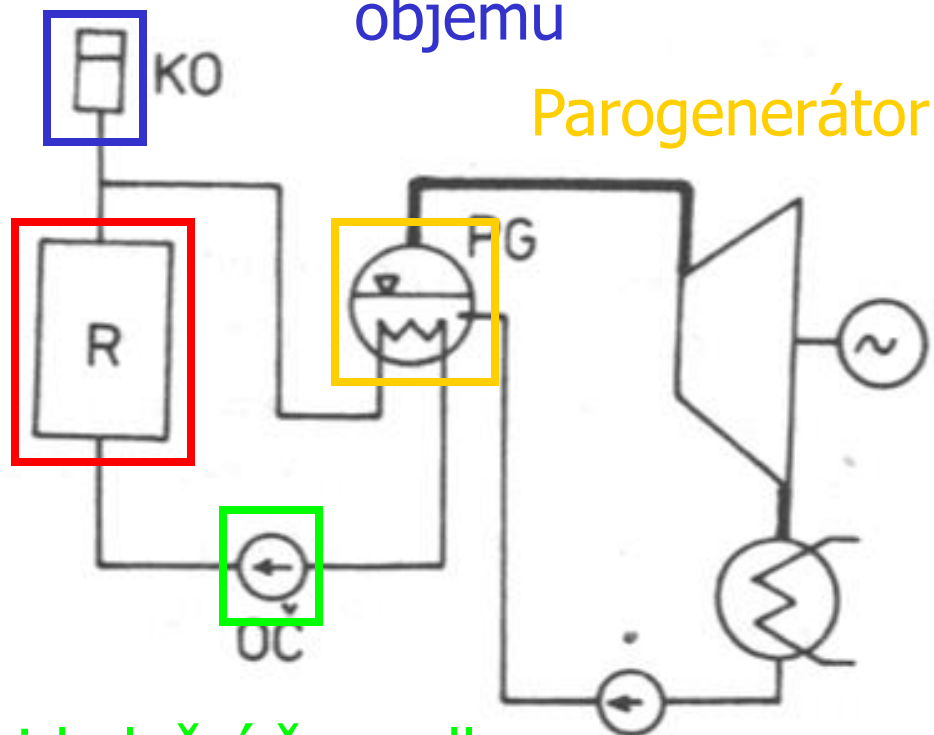
- Založení ÚJV 10. června 1955
- Spolupráce se SSSR
- První neutronový zdroj pro jaderný reaktor
- Vývoj jaderné elektrárny A1
- Přejít na sovětské reaktory typu VVER
- V-1–Jaslovské Bohunice
- EDU – Dukovany - reaktory VVER440
- ETE – Reaktory VVER 1000

Výrobní schémata JE

Jednookruhová a dvouokruhová JE:



Reaktor



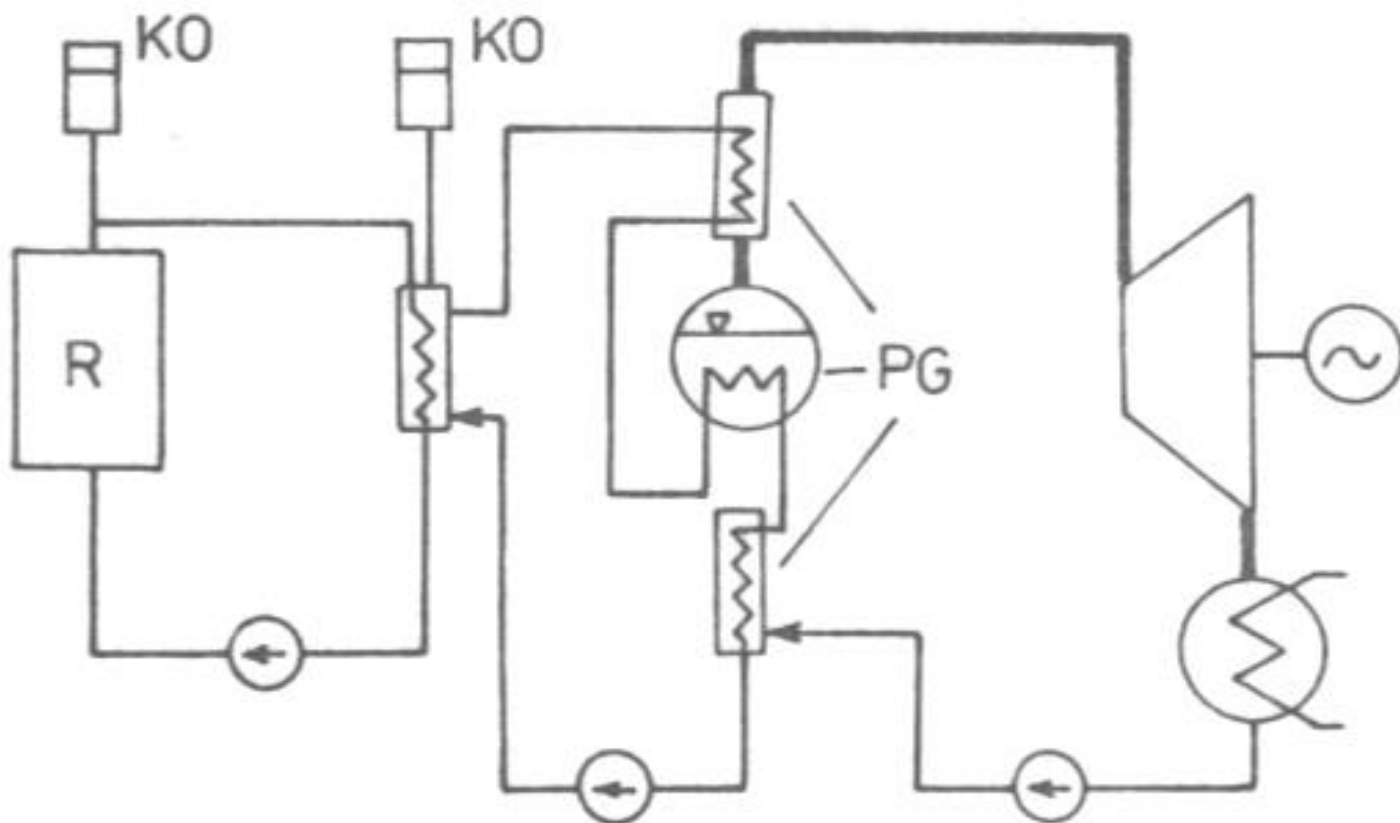
Kompenzátor
objemu

Parogenerátor

Hlavní cirkulační čerpadlo

Výrobní schémata JE

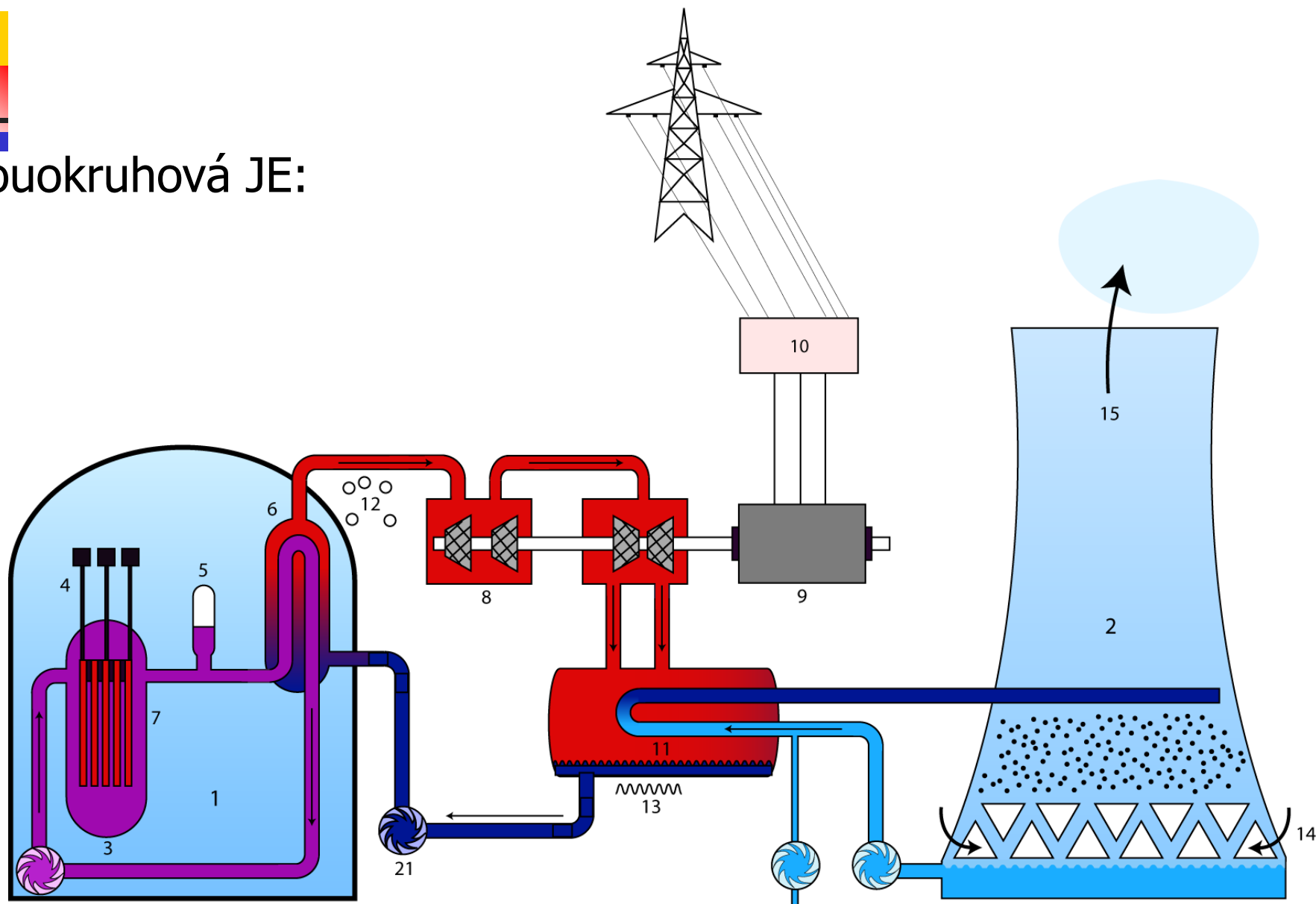
Tříokruhá
JE:



Výrobní schémata JE



Dvouokruhová JE:



Výrobní schémata JE

Dvouokruhová JE:

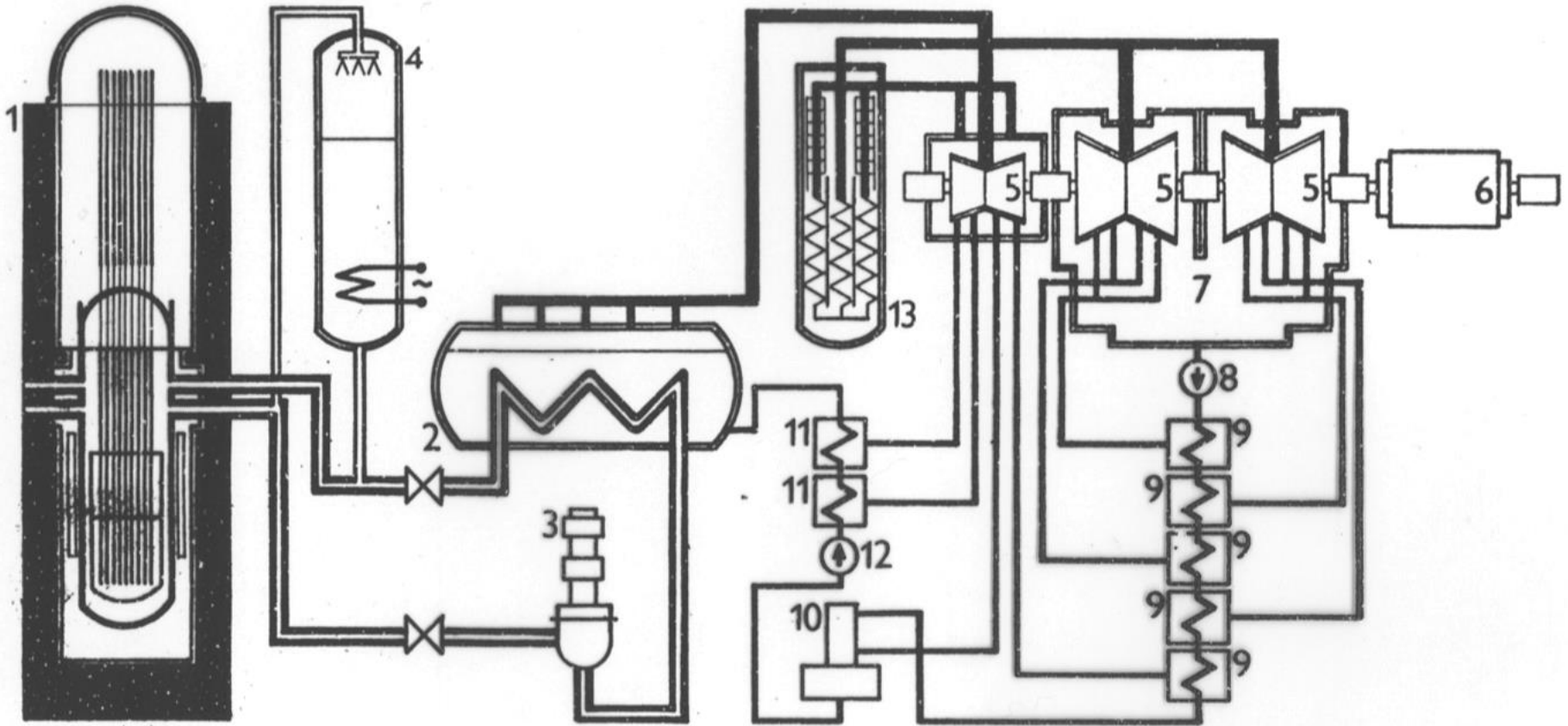
1 – reaktor

2 – parogenerátor

3 – hlavní cirkulační čerpadlo

4 – kompenzátor objemu

13 – přehříváč páry a separátor vlhkosti



Výrobní schémata JE

Schéma JE VVER-440:

5 - odplynění doplňující vody

6 - doplňovací čerpadlo

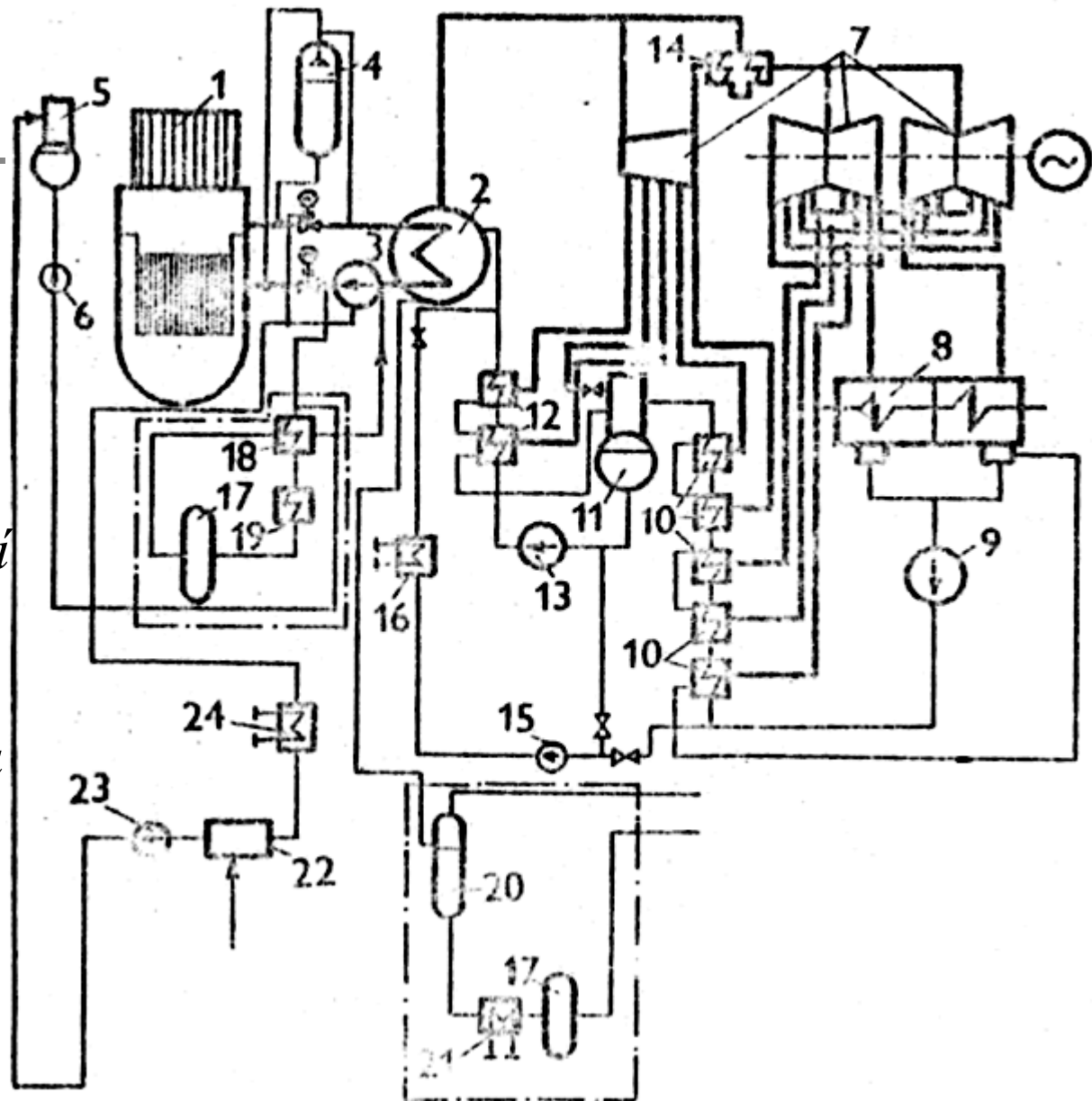
15 - havarijní doplňovací čerpadlo

17 - filtrační stanice

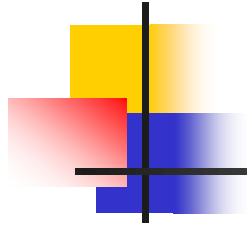
18, 19 - výměníky odluhu prim. okruhu

20 - expandér odluhu parogenerátoru

22 - sběrná nádrž úniků



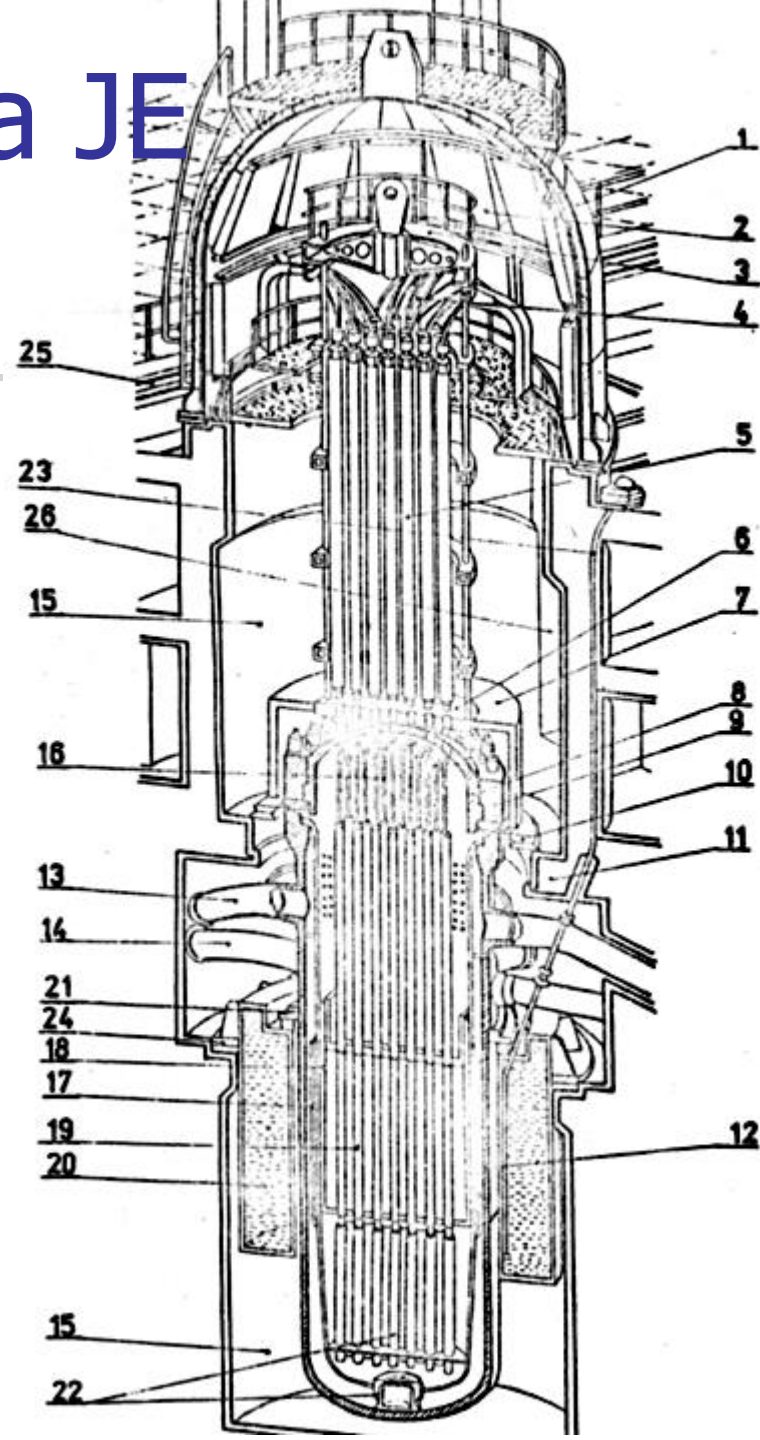
Výrobní schémata JE



U nás se používají dvouokruhové JE s tlakovodními reaktory VVER-440 a VVER-1000, využívající jako moderátoru i chladiva lehkou vodu.

Reaktor VVER-440:

- 1 - ochranné víko – obálka*
- 5 - regulační tyče*
- 13 - výstupní potrubí chladicí vody*
- 14 - vstupní potrubí chladicí vody*
- 19 - kazety palivových článků*



Výrobní schémata JE

ŘEZ HLAVNÍM VÝROBNÍM BLOKEM
JADERNÉ ELEKTRÁRNY TEMELÍN

- 
- 1 Reaktor
 - 2 Potrubí primárního okruhu
 - 3 Hlavní cirkulační čerpadlo
 - 4 Kompenzátor objemu
 - 5 Parogenerátor
 - 6 Polární jeřáb
 - 7 Bazén použitého paliva
 - 8 Zavážecí stroj
 - 9 Hydroakumulátory
 - 10 Ochranná obálka – kontejnment
 - 11 Ventilační komín
 - 12 Systém havarijního chlazení aktivní zóny
 - 13 Dieselgenerátorová stanice
 - 14 Strojovna
 - 15 Napájecí nádrž
 - 16 Hlavní parní potrubí
 - 17 Vysokotlaký díl turbíny
 - 18 Nízkotlaký díl turbíny
 - 19 Generátor
 - 20 Budič
 - 21 Separátor
 - 22 Kondenzátor
 - 23 Tepelný výměník
 - 24 Vstup a výstup chladicí vody
 - 25 Čerpací stanice
 - 26 Čerpadlo chladicí vody
 - 27 Chladicí věž
 - 28 Vývod výkonu z generátoru
 - 29 Transformátor
 - 30 Vyvedení výkonu
 - 31 Zásobníky destilátu

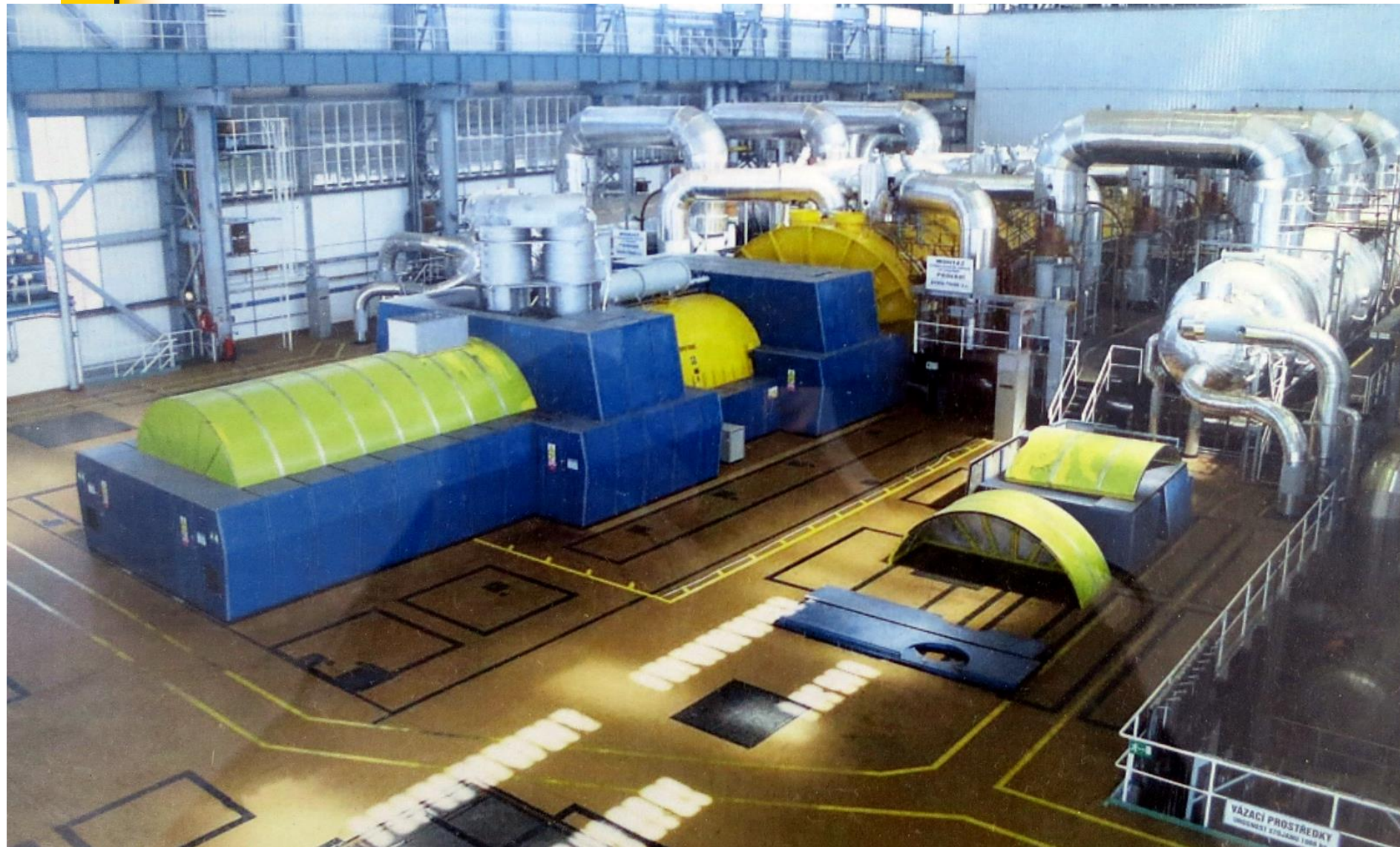
Výrobní schémata JE

ŘEZ HLAVNÍM VÝROBNÍM BLOKEM JADERNÉ ELEKTRÁRNY TEMELÍN

- 1 Reaktor
- 2 Potrubí primárního okruhu
- 3 Hlavní cirkulační čerpadlo
- 4 Kompenzátor objemu
- 5 Parogenerátor
- 6 Polární jeřáb
- 7 Bazén použitého paliva
- 8 Zavážecí stroj
- 9 Hydroakumulátory
- 10 Ochranná obálka – kontejnment
- 11 Ventilací komín
- 12 Systém havarijního chlazení aktivní zóny
- 13 Diesलगenerátorová stanice
- 14 Strojovna
- 15 Napájecí nádrž
- 16 Hlavní parní potrubí
- 17 Vysokotlaký díl turbíny
- 18 Nízkotlaký díl turbíny
- 19 Generátor
- 20 Budič
- 21 Separátor
- 22 Kondenzátor
- 23 Tepelný výměník
- 24 Vstup a výstup chladicí vody
- 25 Čerpací stanice
- 26 Čerpadlo chladicí vody
- 27 Chladicí věž
- 28 Vývod výkonu z generátoru
- 29 Transformátor
- 30 Vyvedení výkonu
- 31 Zásobníky destilátu



Výrobní schémata JE

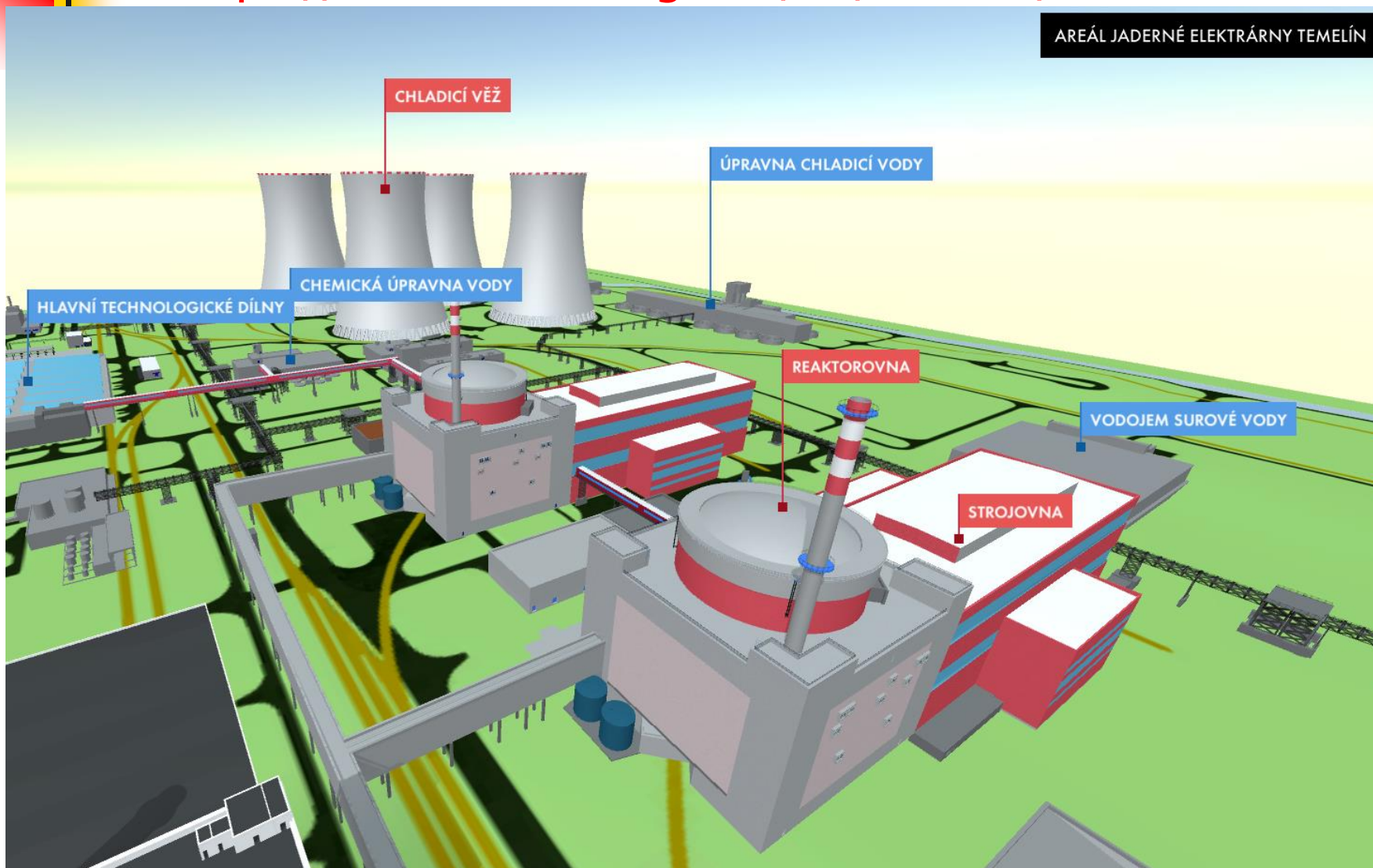


Výrobní schémata JE



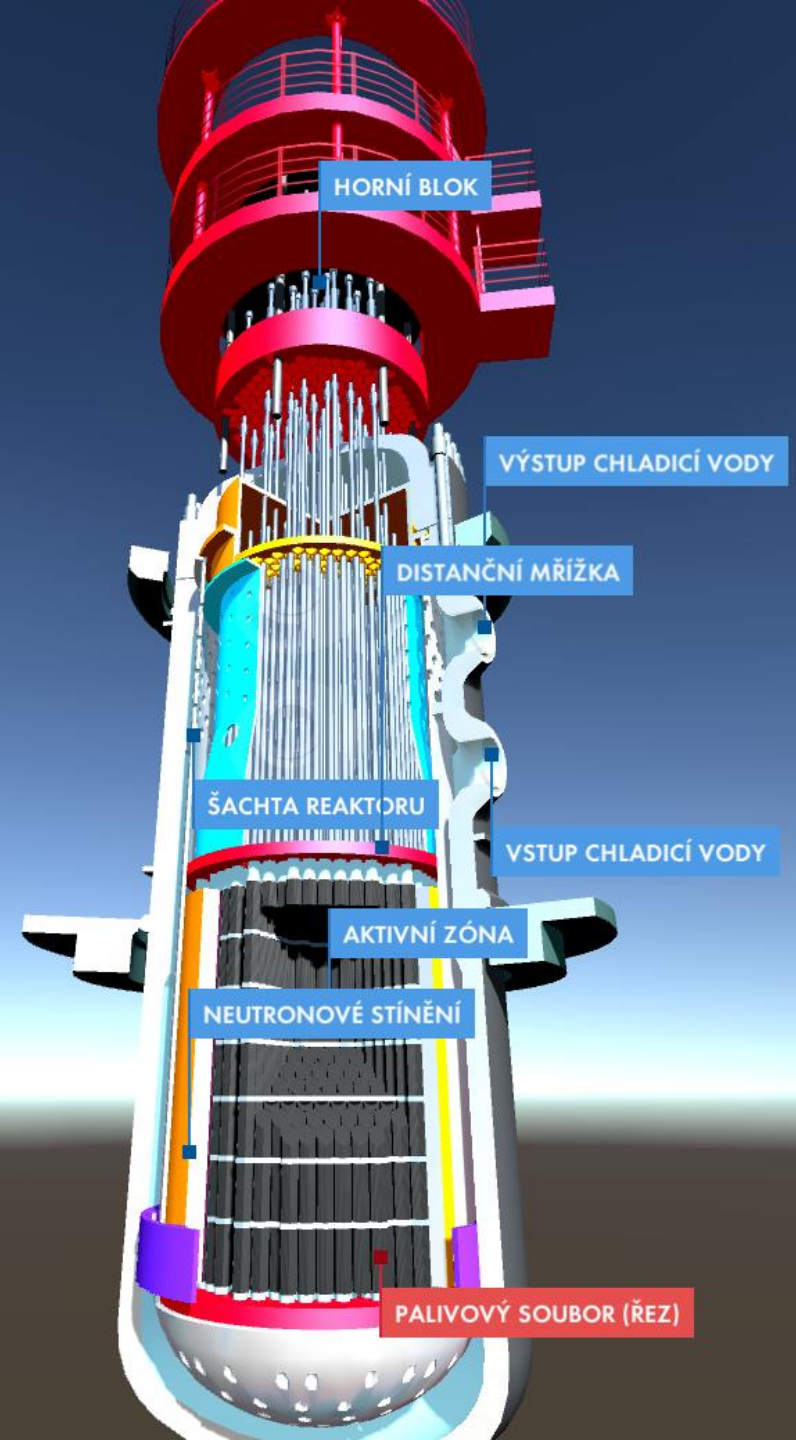
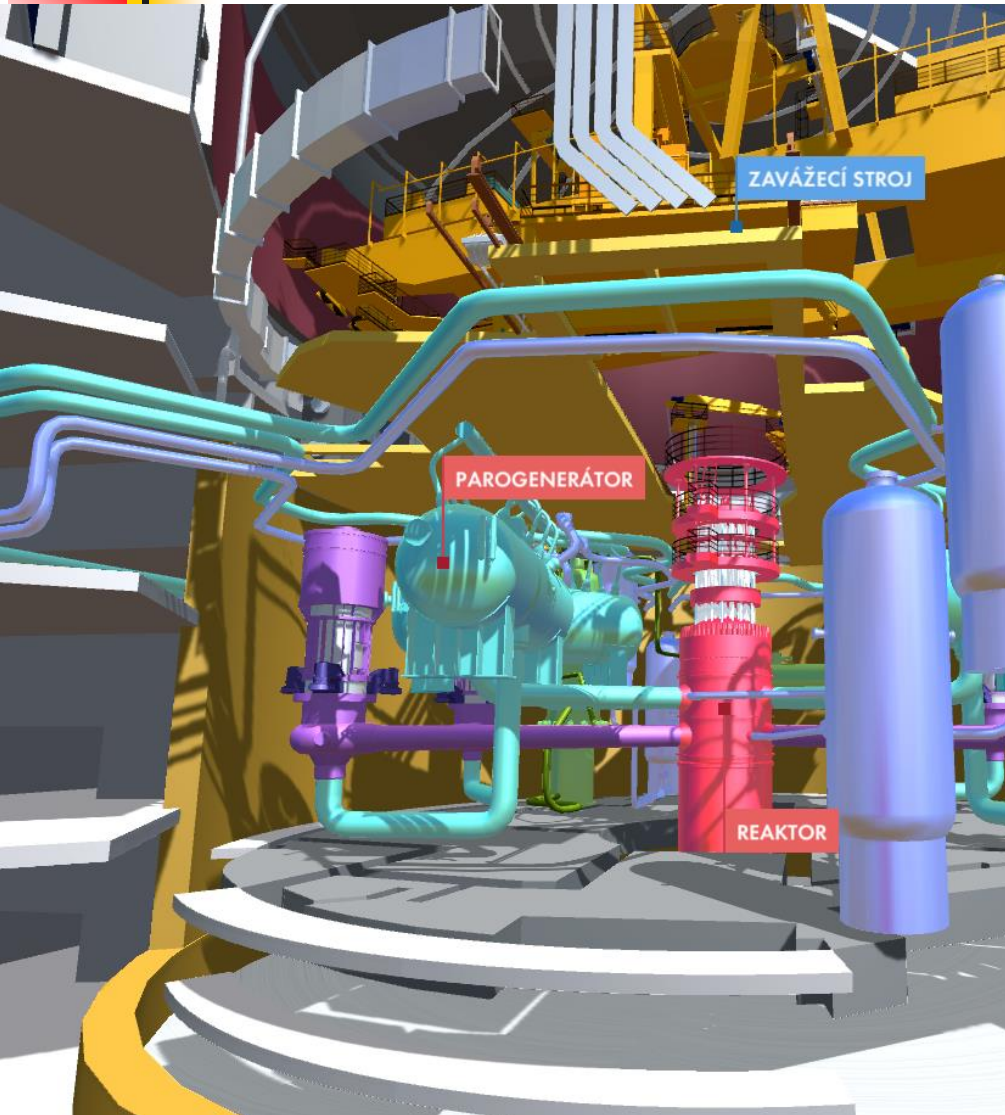
Výrobní schémata JE

<https://www.svetenergie.cz/3d/temelin/>



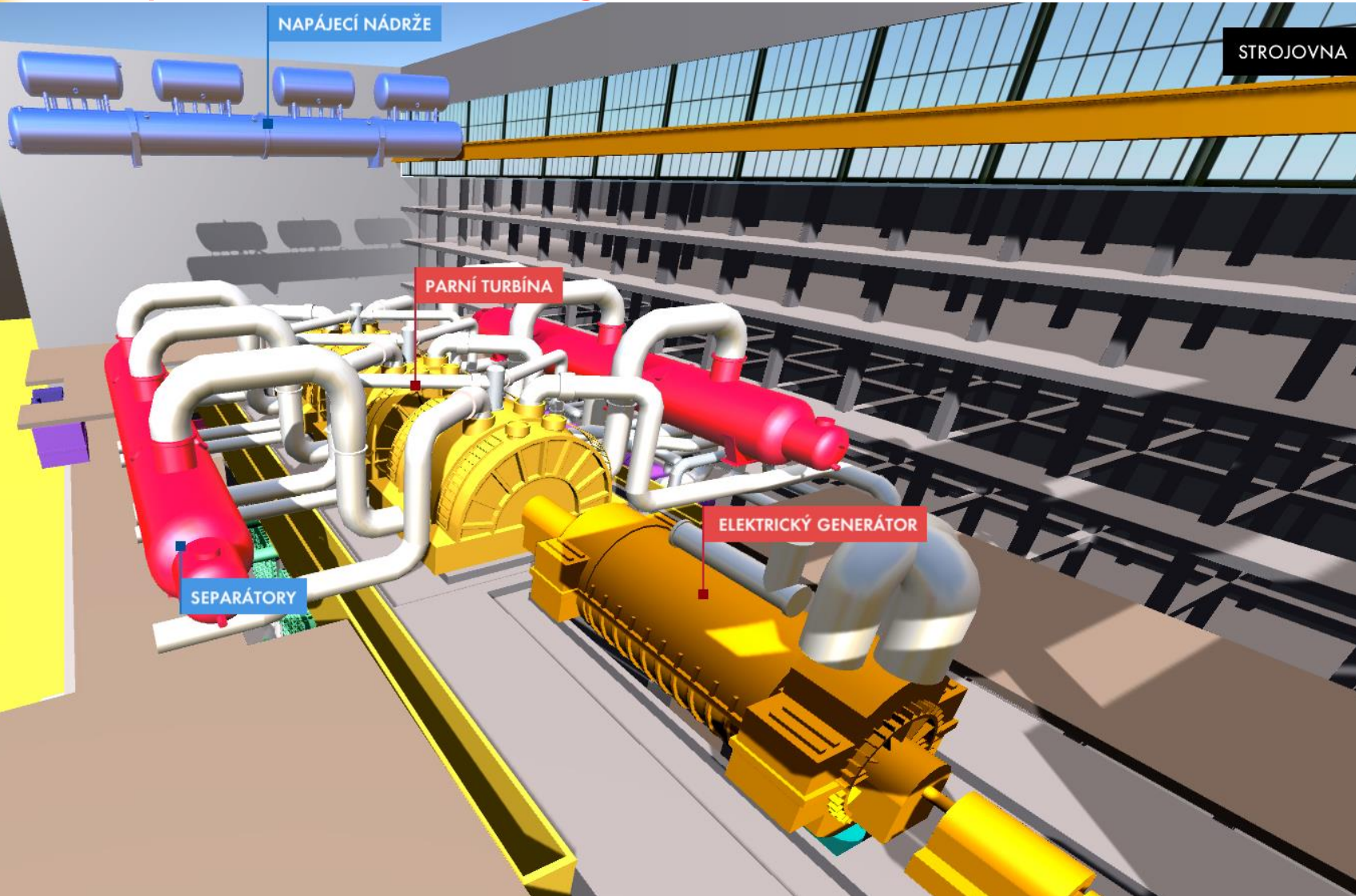
Výrobní schéma

<https://www.svetenergie.cz>



Výrobní schémata JE

<https://www.svetenergie.cz/3d/temelin/>

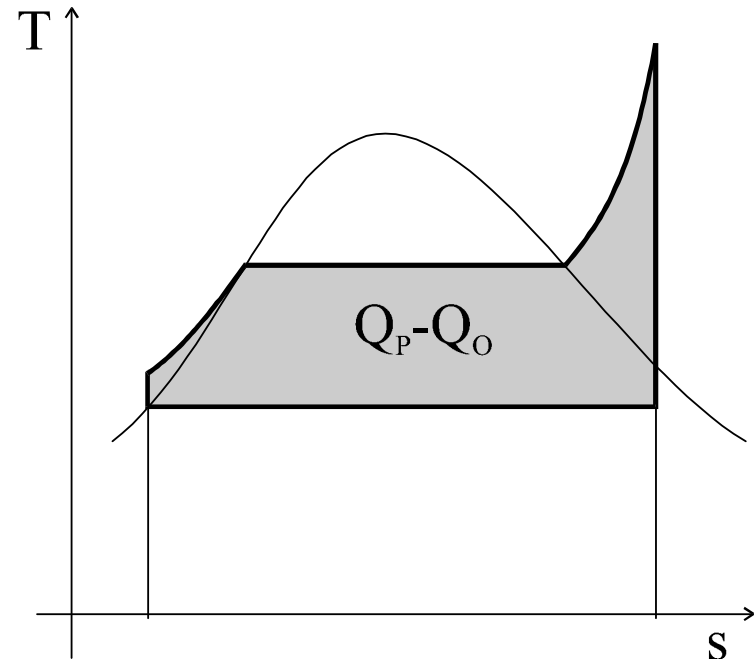
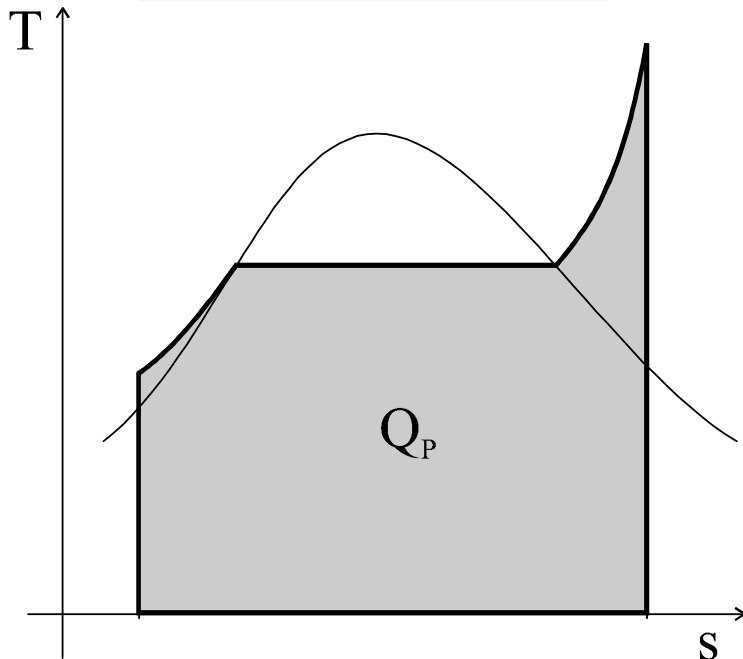


Účinnost C-R cyklu parní turbíny uhelné vs JE:

Vyšetření z diagramu T-S:

$$\eta_{UHELNA} \approx 40\%$$

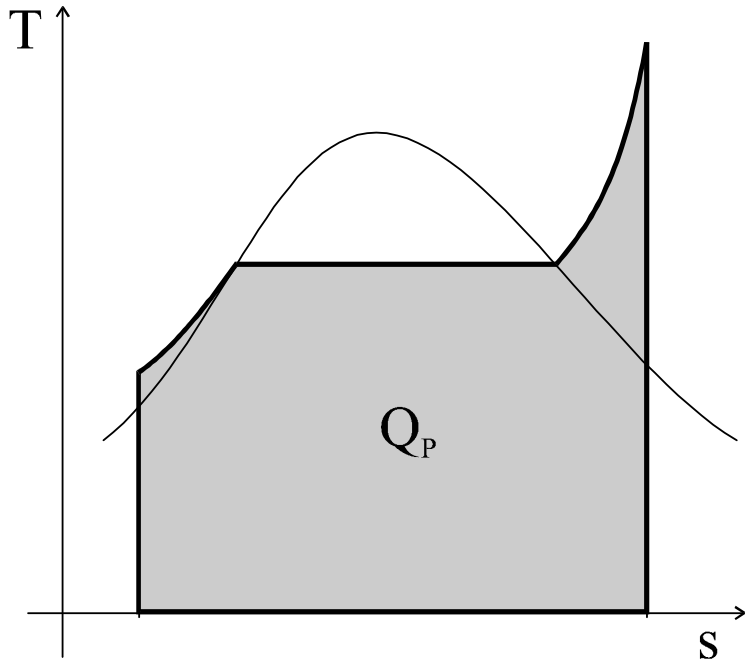
$$\eta = 1 - \frac{Q_O}{Q_P} = \frac{Q_P - Q_O}{Q_P}$$



Účinnost C-R cyklu parní turbíny uhelné vs JE:

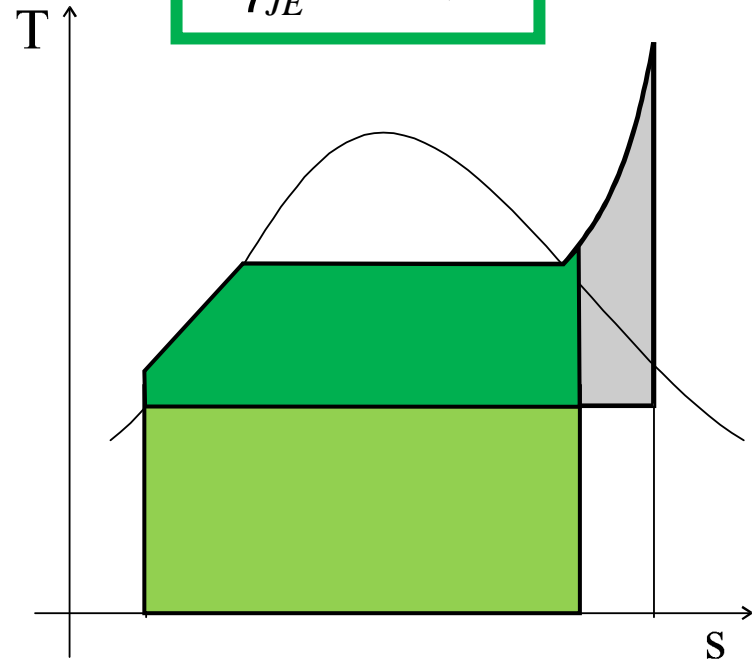
Vyšetření z diagramu T-S:

$$\eta_{UHELNA} \approx 40\%$$

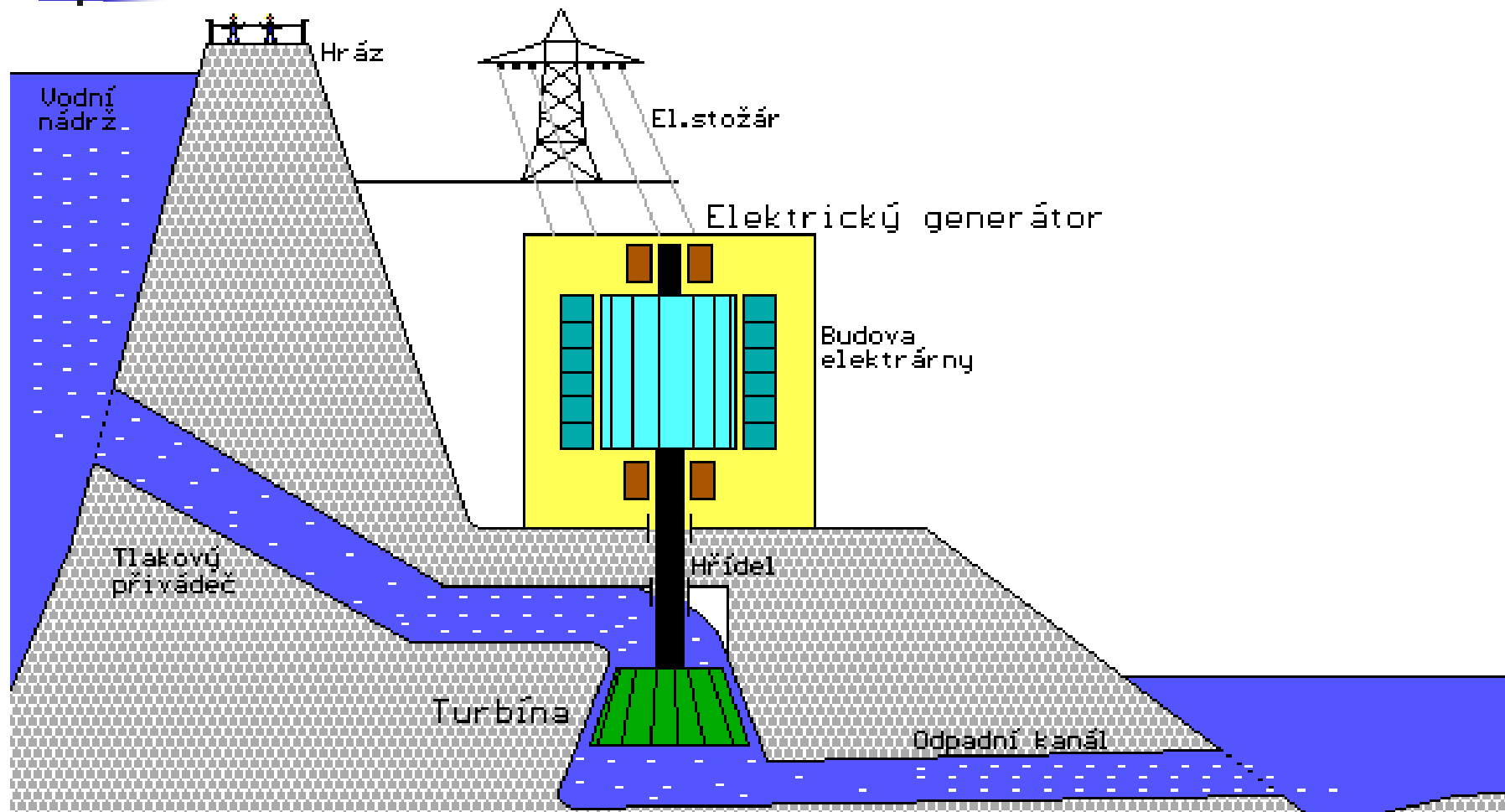


$$\eta = 1 - \frac{Q_O}{Q_P} = \frac{Q_P - Q_O}{Q_P}$$

$$\eta_{JE} \approx 35\%$$



Vodní elektrárny





Vodní elektrárny

Vychází ze získání energie z potenciální, tlakové a kinetické energie vody.

$$W_H = m \cdot g \cdot h \qquad W_P = V \cdot p = \frac{m}{\rho} p \qquad W_V = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Měrná energie 1 kg vody:

$$E_H = g \cdot (h_1 - h_2) \qquad E_P = \frac{(p_1 - p_2)}{\rho} \qquad E_V = \frac{1}{2} (v_1^2 - v_2^2)$$

$$E_{CELK} = E_H + E_P + E_V \qquad W = m \cdot E_{CELK} = V \cdot \rho \cdot E_{CELK}$$

$$P = Q \cdot \rho \cdot E_{CELK} \qquad [W] = [J / s] = [m^3 / s] \cdot [kg / m^3] \cdot [J / kg]$$



Vodní elektrárny

Příklad výpočtu jmenovitého teoretického výkonu vodní elektrárny:

$$\Delta h = 10 \text{ m}, \quad Q = 1 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$E_H = g \cdot (h_1 - h_2) = 9.81 \cdot 10 \text{ J} / \text{kg} \approx 100 \text{ J} / \text{kg}$$

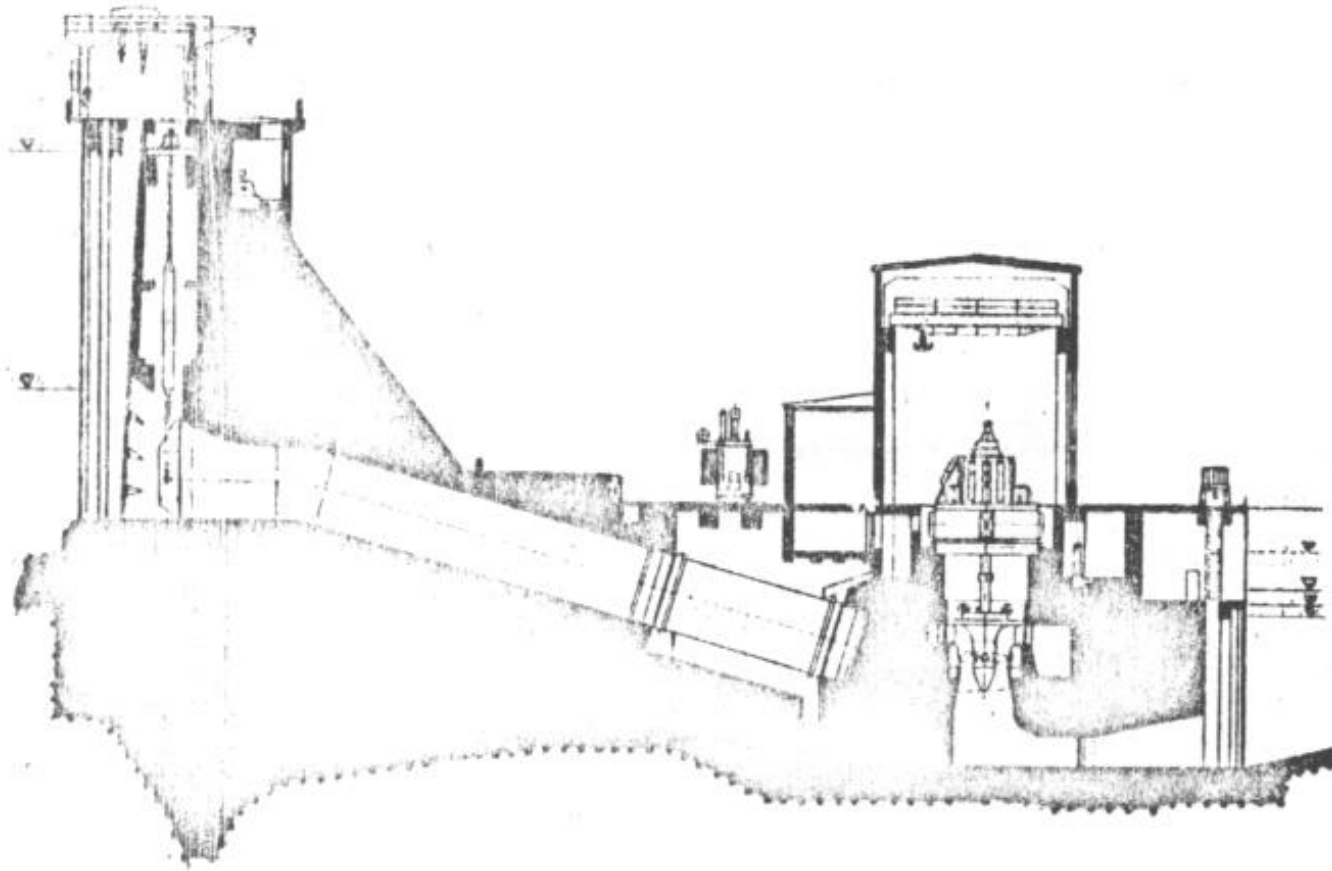
$$P = Q \cdot \rho \cdot E_{CELK} = 1 \cdot 1000 \cdot 100 \text{ W} = 100 \text{ kW}$$

Vodní elektrárny

Dělení VE:

Dle systému
soustředění
energie:

- *přehradní a jezové*
- *derivační*
- *přečerpávací*
- *přílivové*

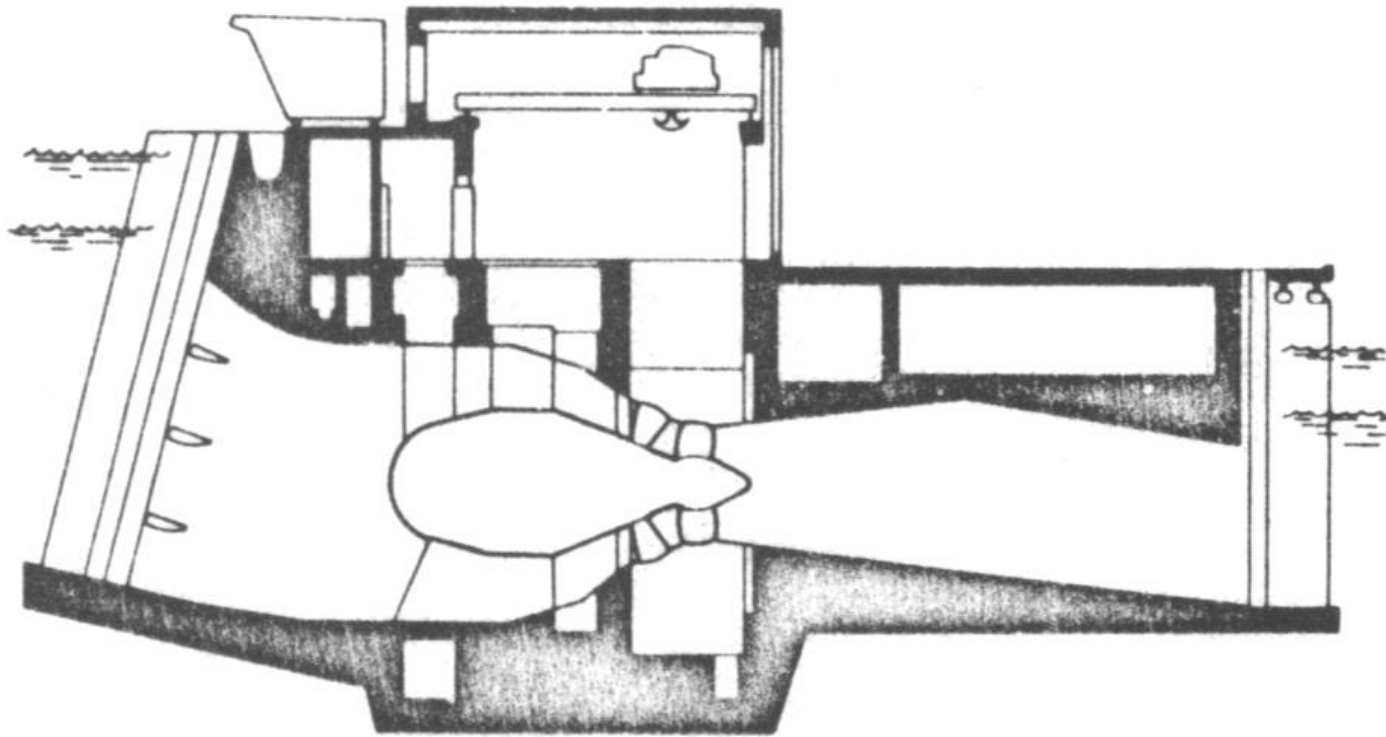


Vodní elektrárny

Dělení VE:

Dle systému
soustředění
energie:

- přehradní a jezové
- derivační
- přečerpávací
- přílivové

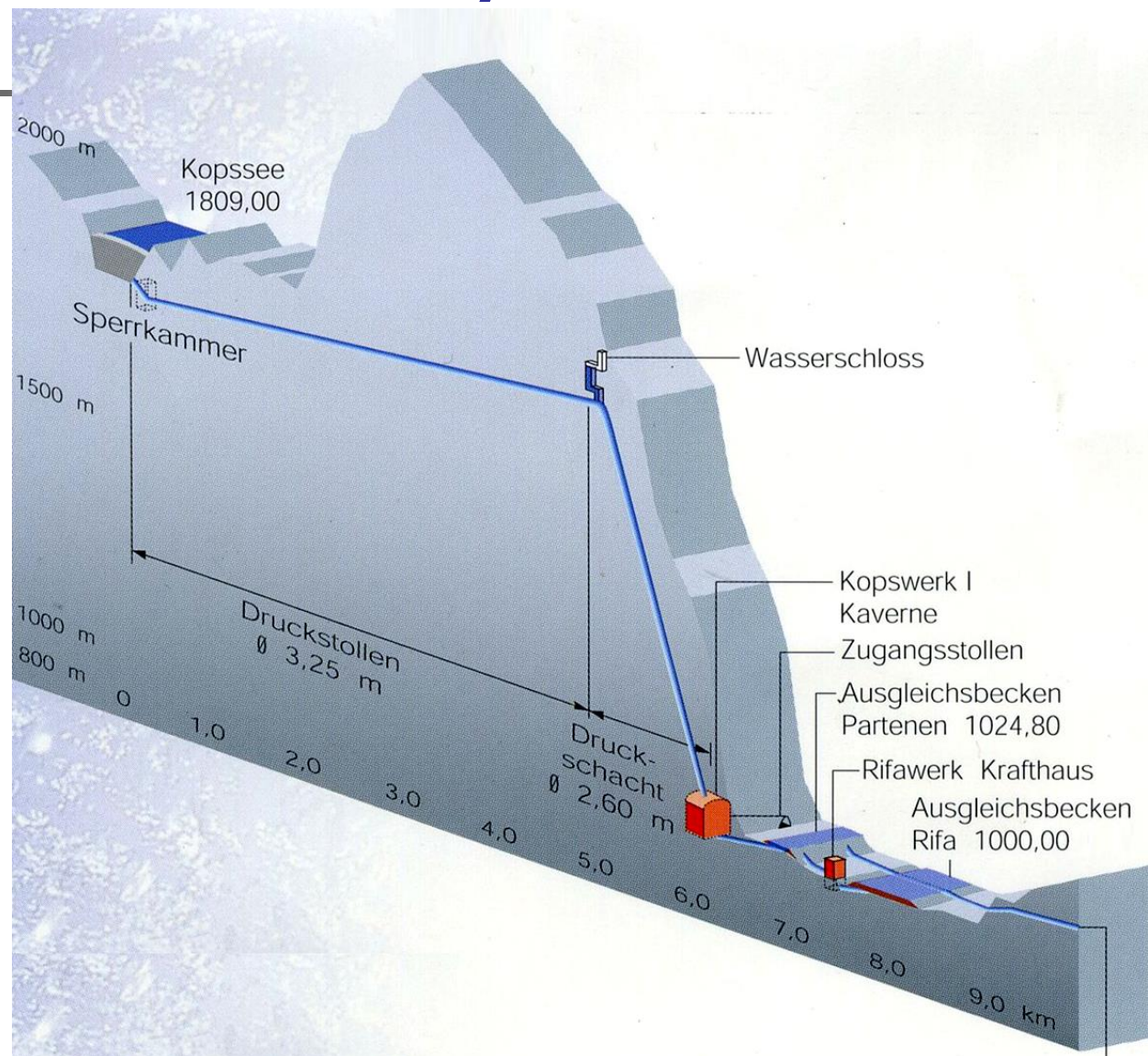


Vodní elektrárny

Dělení VE:

Dle systému
soustředění
energie:

- přehradní a jezové
- derivační
- přečerpávací
- přílivové

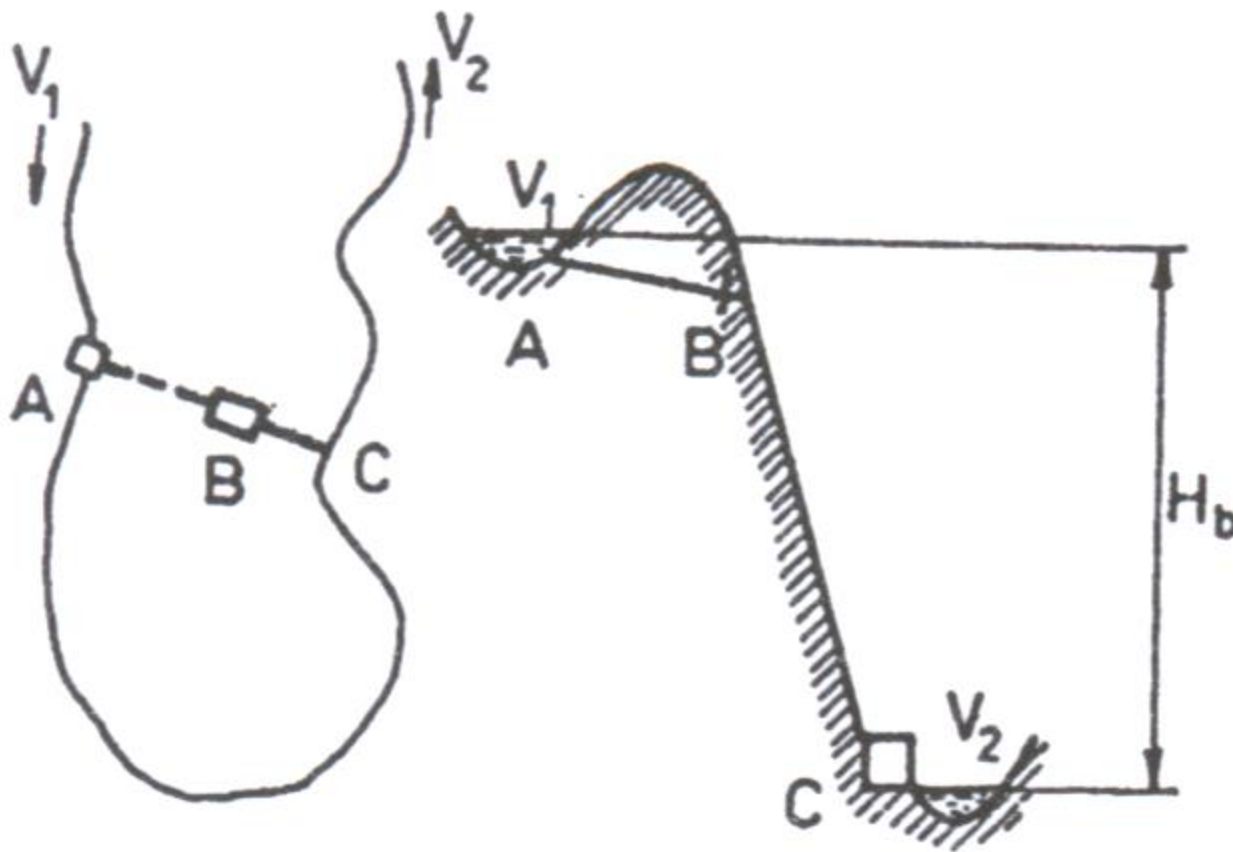


Vodní elektrárny

Dělení VE:

Dle systému
soustředění
energie:

- přehradní a jezové
- *derivační*
- přečerpávací
- přílivové

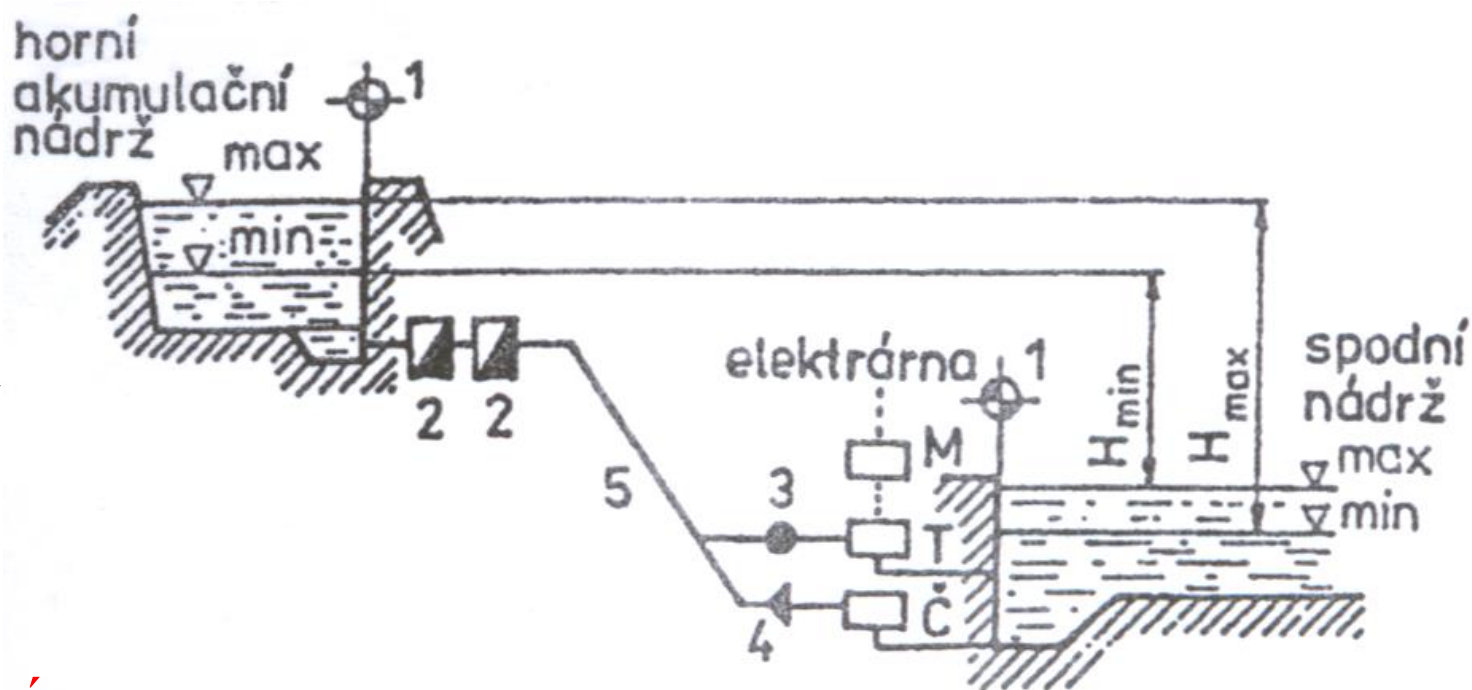


Vodní elektrárny

Dělení VE:

Dle systému
soustředění
energie:

- přehradní a jezové
- derivační
- *přečerpávací*
- přílivové





Vodní elektrárny

Dělení VE:

Dle tlaku vody:

- *nízkotlaké ($EV \leq 200 \text{ J/kg}$)*
- *středotlaké ($EV \leq 1000 \text{ J/kg}$)*
- *vysokotlaké*

Dle charakteru provozu:

- *průtočné*
- *akumulační*
- *přečerpávací*

Dělení vodních turbín:

Dle způsobu přenosu energie:

- *rovnotlaké (veškerý přetlak přeměněn na rychlost vody ještě před oběžným kolem) (tzv. akční)*
- *přetlakové (částečná přeměna přetlaku ještě v oběžných kolech) (tzv. reakční)*



Vodní elektrárny

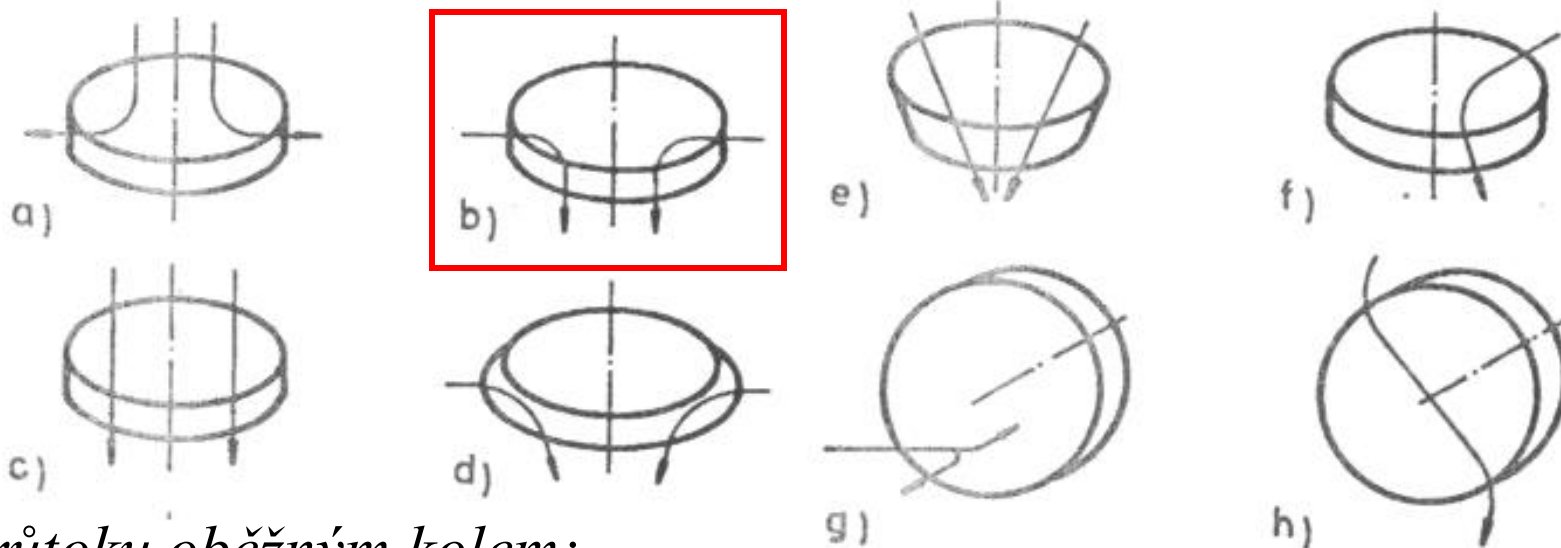
Dělení vodních turbín:

Dle průtoku oběžným kolem:

- a) *centrifugální (vnitřní vtok, proudění od hřídele)(Fourneyronova)*
- b) *centripetální (s vnějším vtokem, proudění ke hřídeli)(historická Francisova)*
- c) *axiální (Kaplanova)*
- d) *radiálně - axiální (moderní Francisova)*
- e) *diagonální (Dériazova)*
- f) *se šikmým průtokem (Turgo)*
- g) *tangenciální (Peltonova)*
- h) *s dvojím průtokem (vstup centripetálně, výstup centrifugálně)(Bánkiho)*

Vodní elektrárny

Dělení vodních turbín:



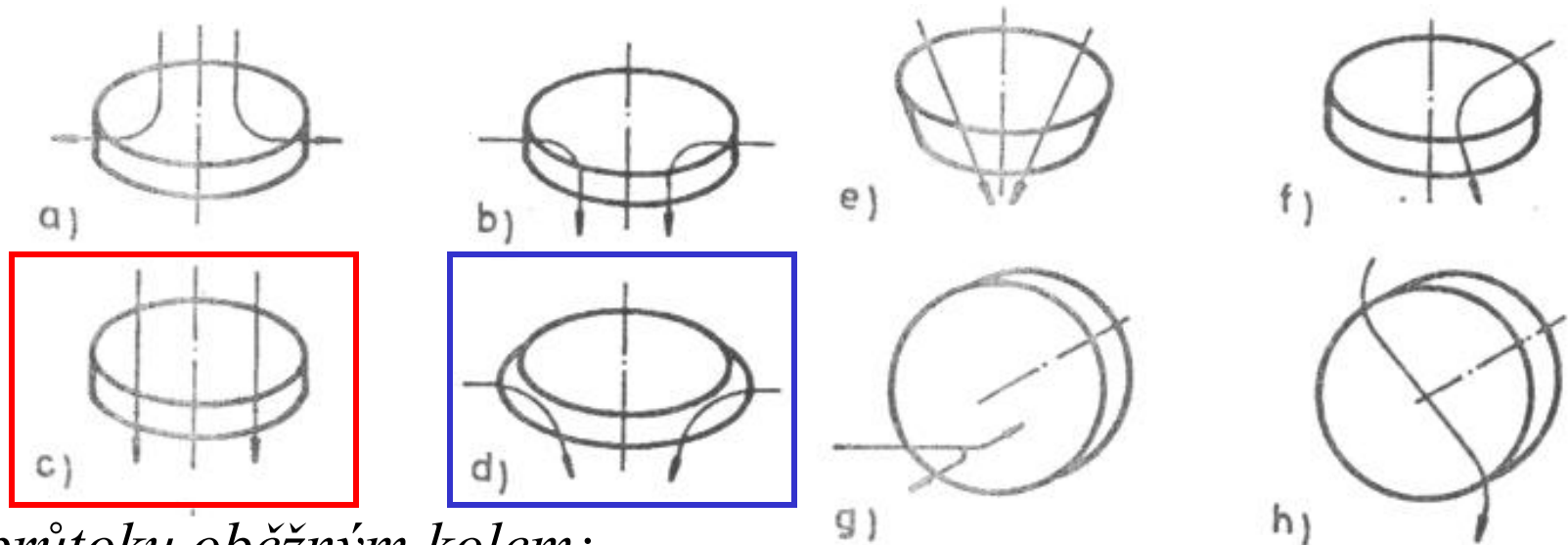
Dle průtoku oběžným kolem:

a) *centrifugální (vnitřní vtok, proudění od hřídele)(Fourneyronova)*

b) *centripetální (s vnějším vtokem, proudění ke hřídeli)(historická
Francisova)*

Vodní elektrárny

Dělení vodních turbín:



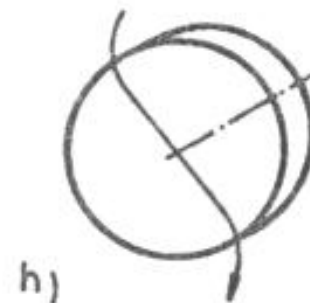
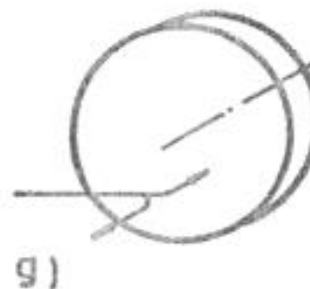
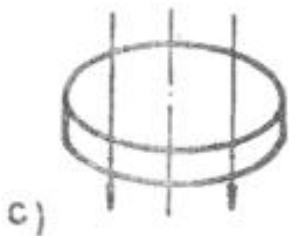
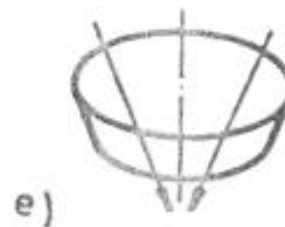
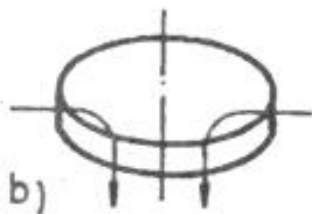
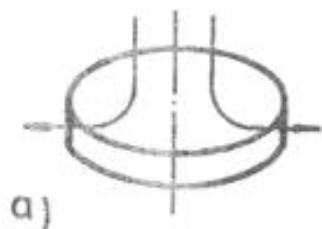
Dle průtoku oběžným kolem:

c) axiální (Kaplanova)

d) radiálně - axiální (moderní Francisova)

Vodní elektrárny

Dělení vodních turbín:



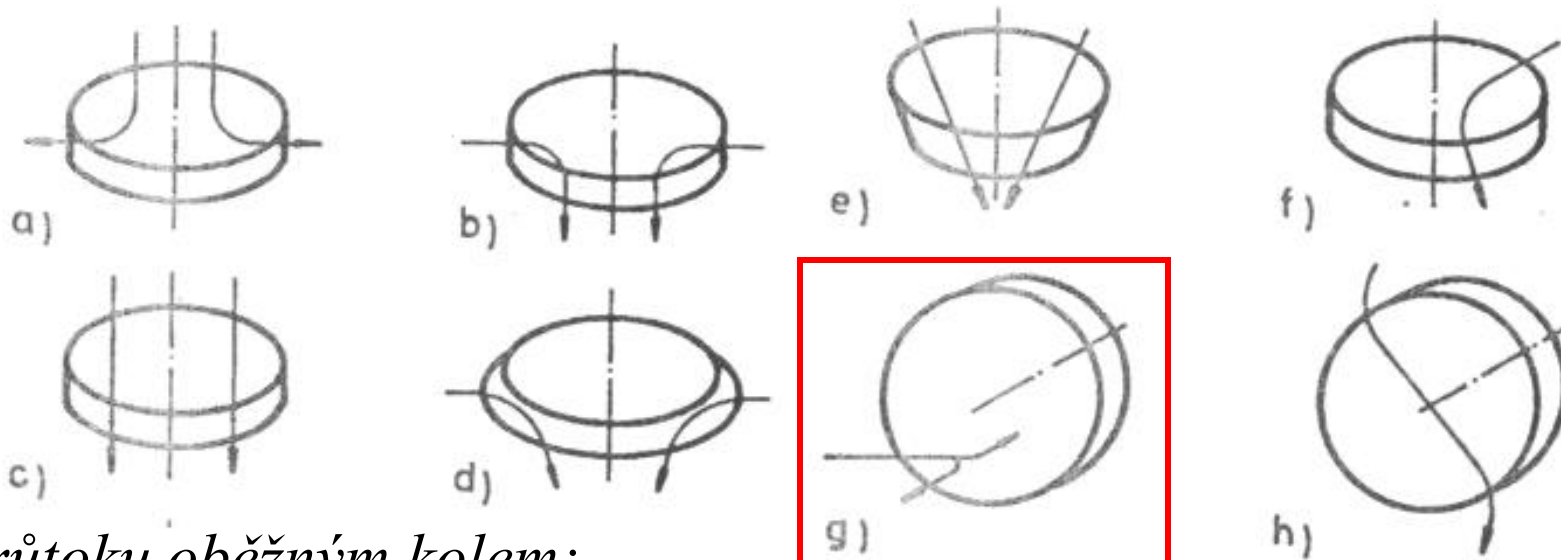
Dle průtoku oběžným kolem:

e) diagonální (Dériazova)

f) se šikmým průtokem (Turgo)

Vodní elektrárny

Dělení vodních turbín:



Dle průtoku oběžným kolem:

g) tangenciální (Peltonova)

h) s dvojím průtokem (vstup centripetálně, výstup centrifugálně) (Bánkiho)



Vodní elektrárny

Dělení vodních turbín:

Dle polohy hřídele:

- *horizontální*
- *vertikální*
- *šikmé*

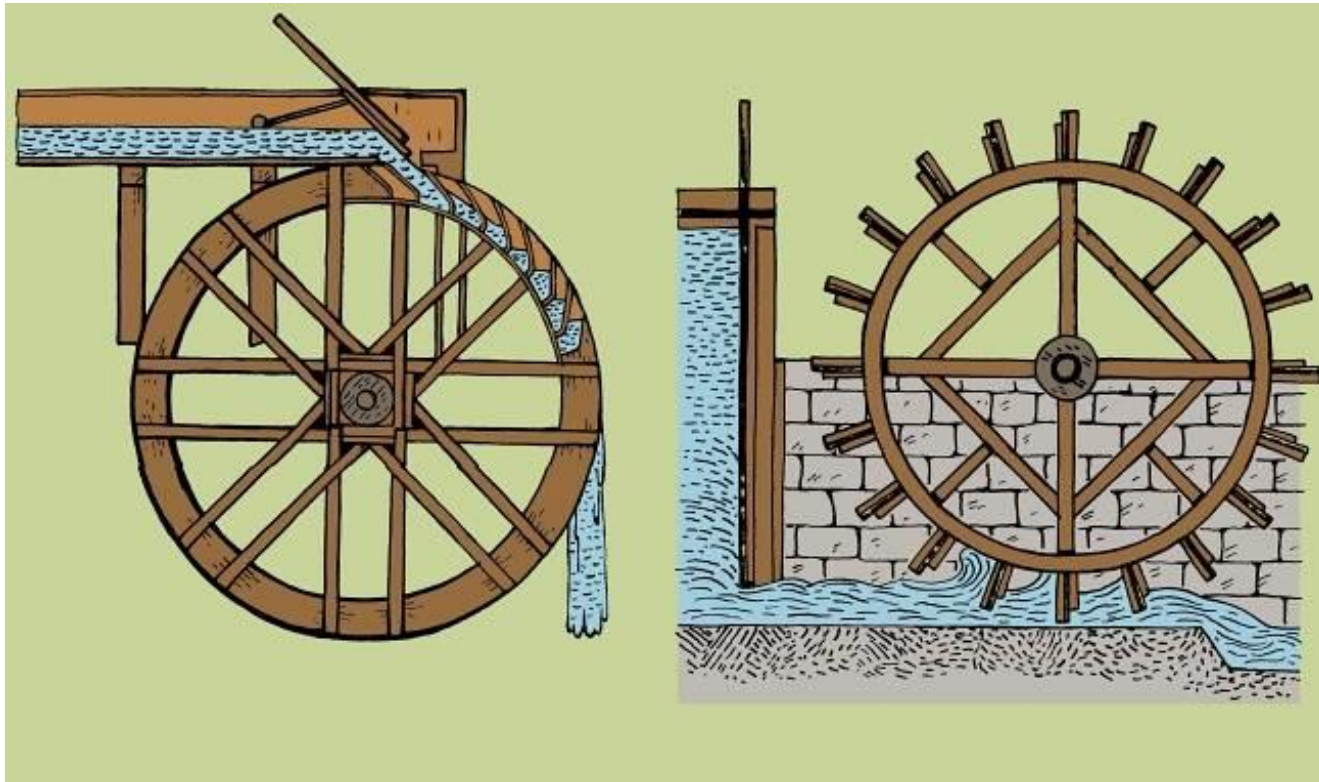
Dle vstupní části:

- *spirální*
- *kašnová*
- *kotlová*
- *násosková*
- *přímoproudá*

Vodní elektrárny

Dělení vodních turbín:

Vodní kola na vrchní a spodní vodu

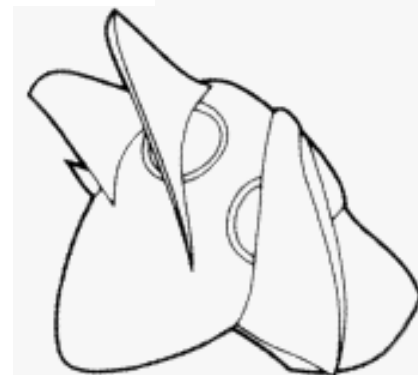
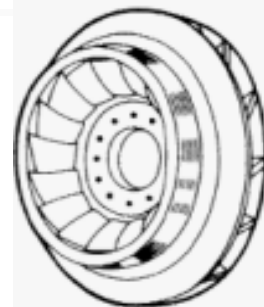


Vodní elektrárny

Dělení vodních turbín:

Dle konstrukce:

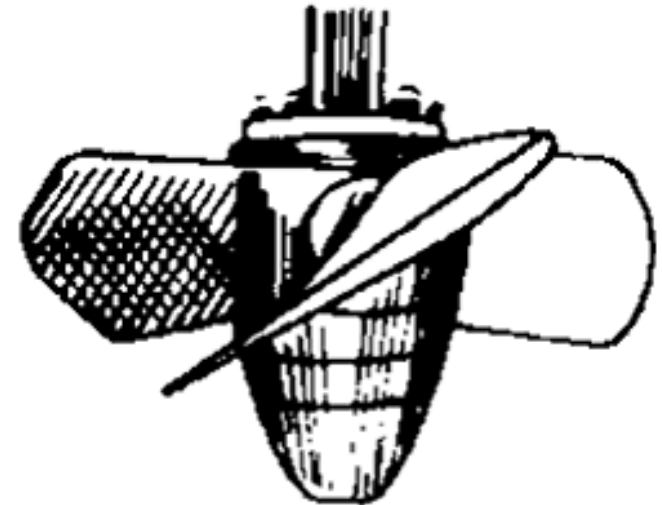
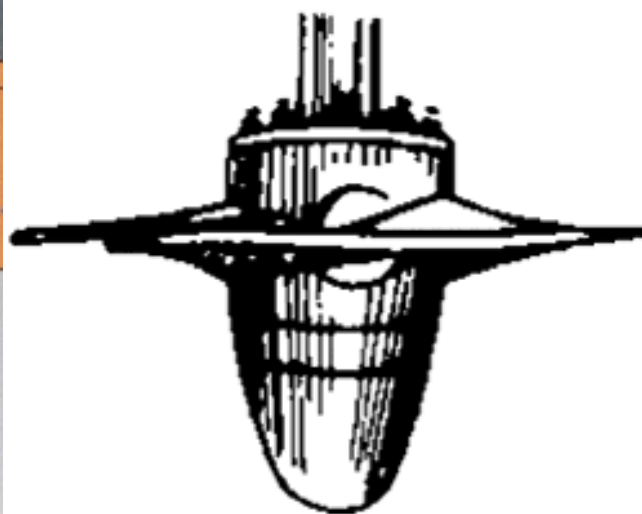
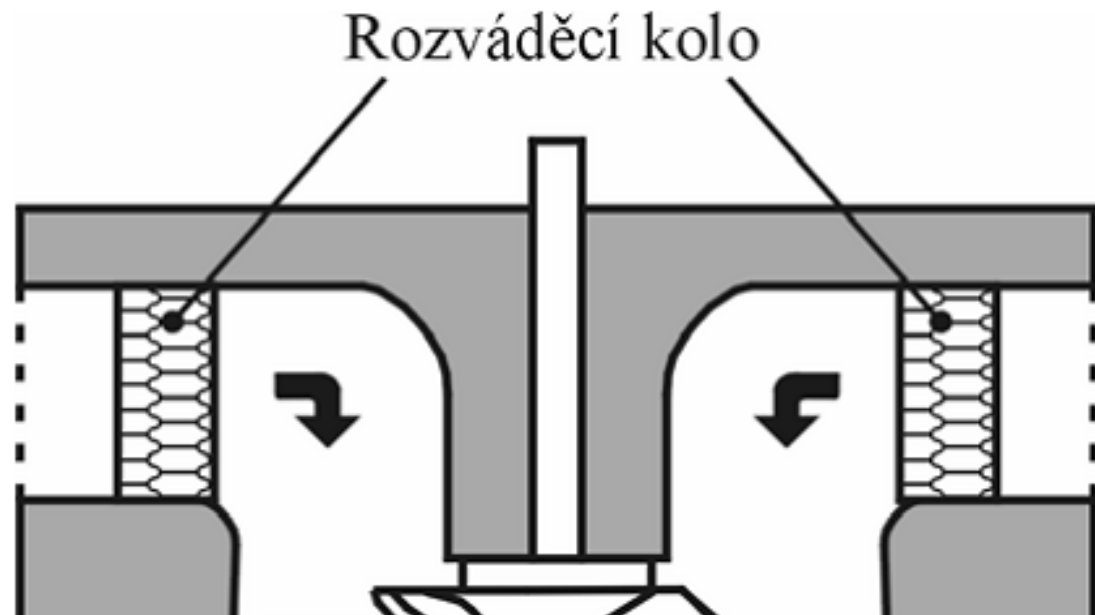
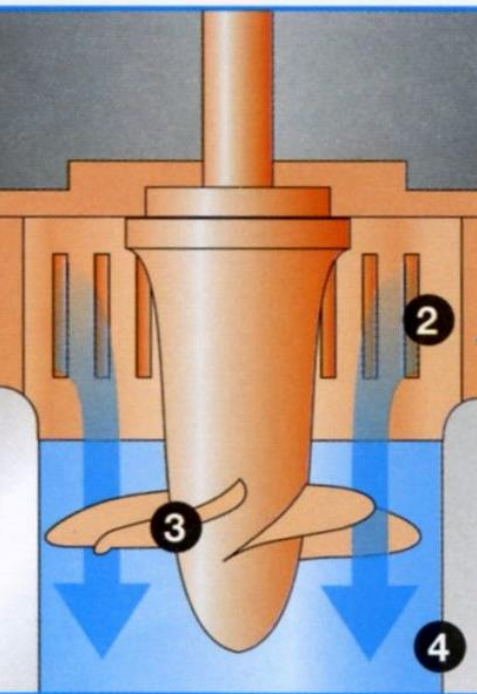
- **Francisova** - přetlaková, radiálně-axiální, nebo centripetální, regulované rozváděcí lopatky, vhodné pro reversibilní provoz
- **Kaplanova** - přetlaková, axiální, regulované rozváděcí i oběžné lopatky
- **Peltonova** - rovnotlaká, tangenciální



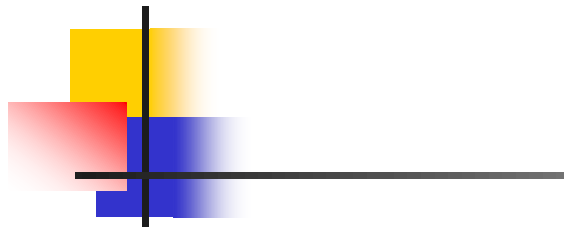
Vodní elektrárny



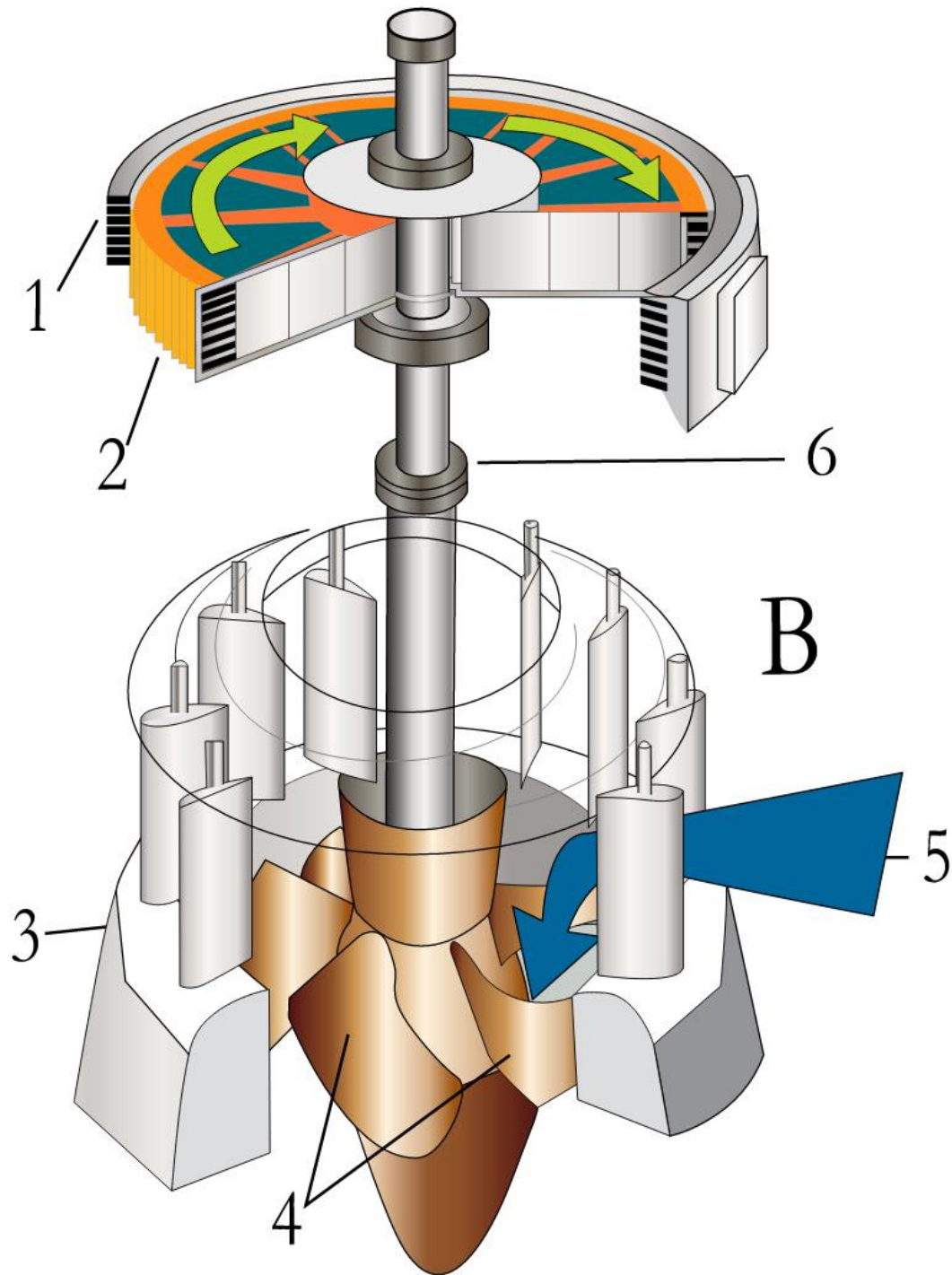
Kaplanova
vertikální
turbína



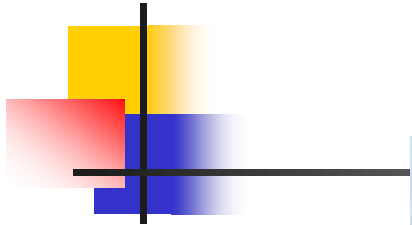
Vodní



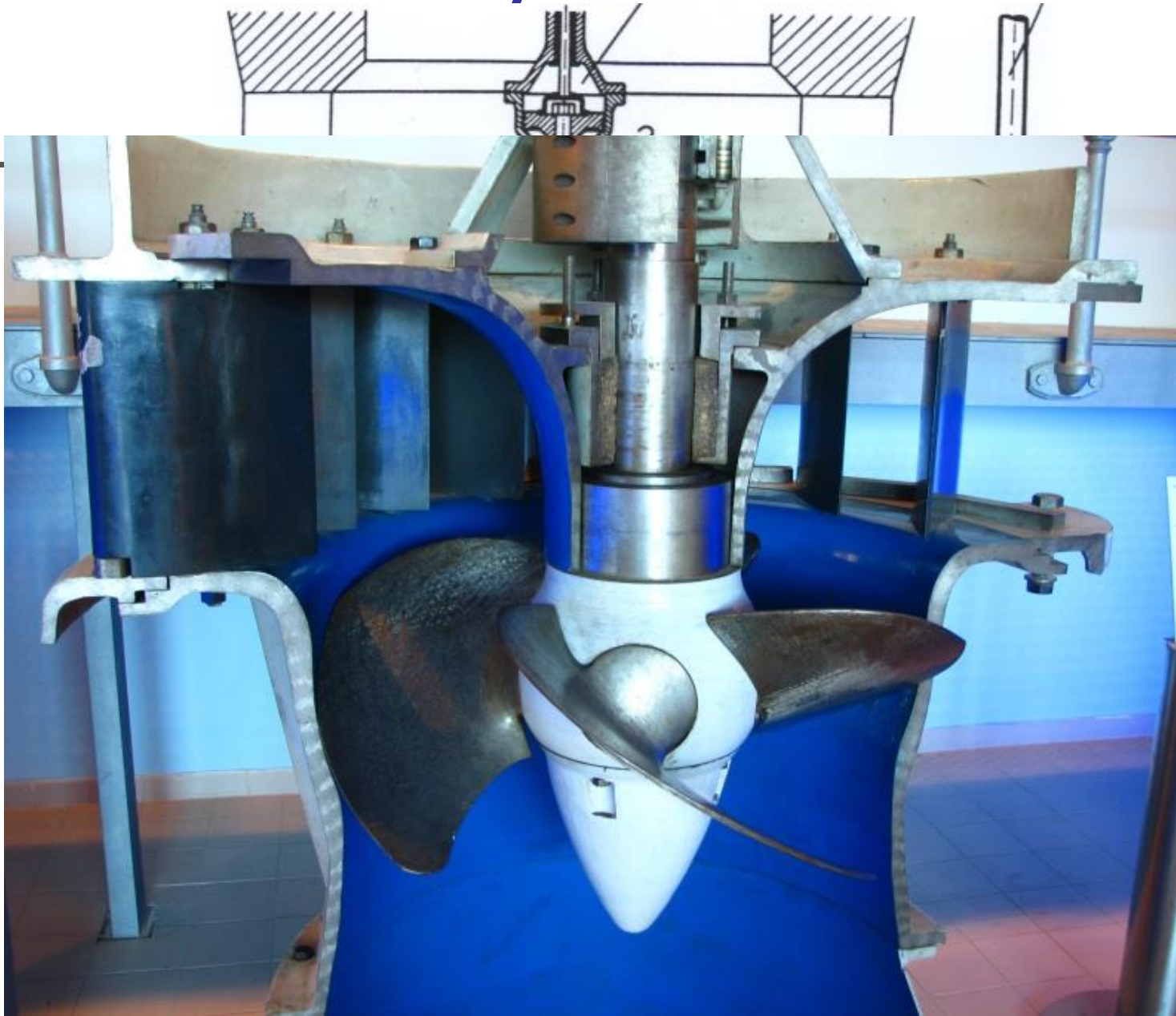
Kaplanova
vertikální
turbína
s
generátorem



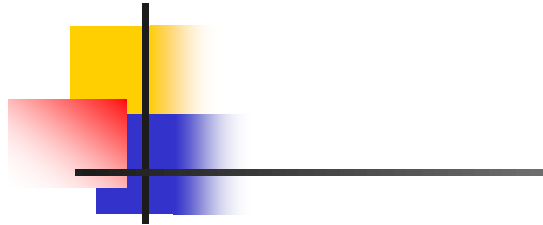
Vodní elektrárny



Kaplanova
vertikální
turbína
s diagonálním
rozvaděčem



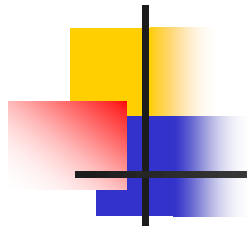
Vodní



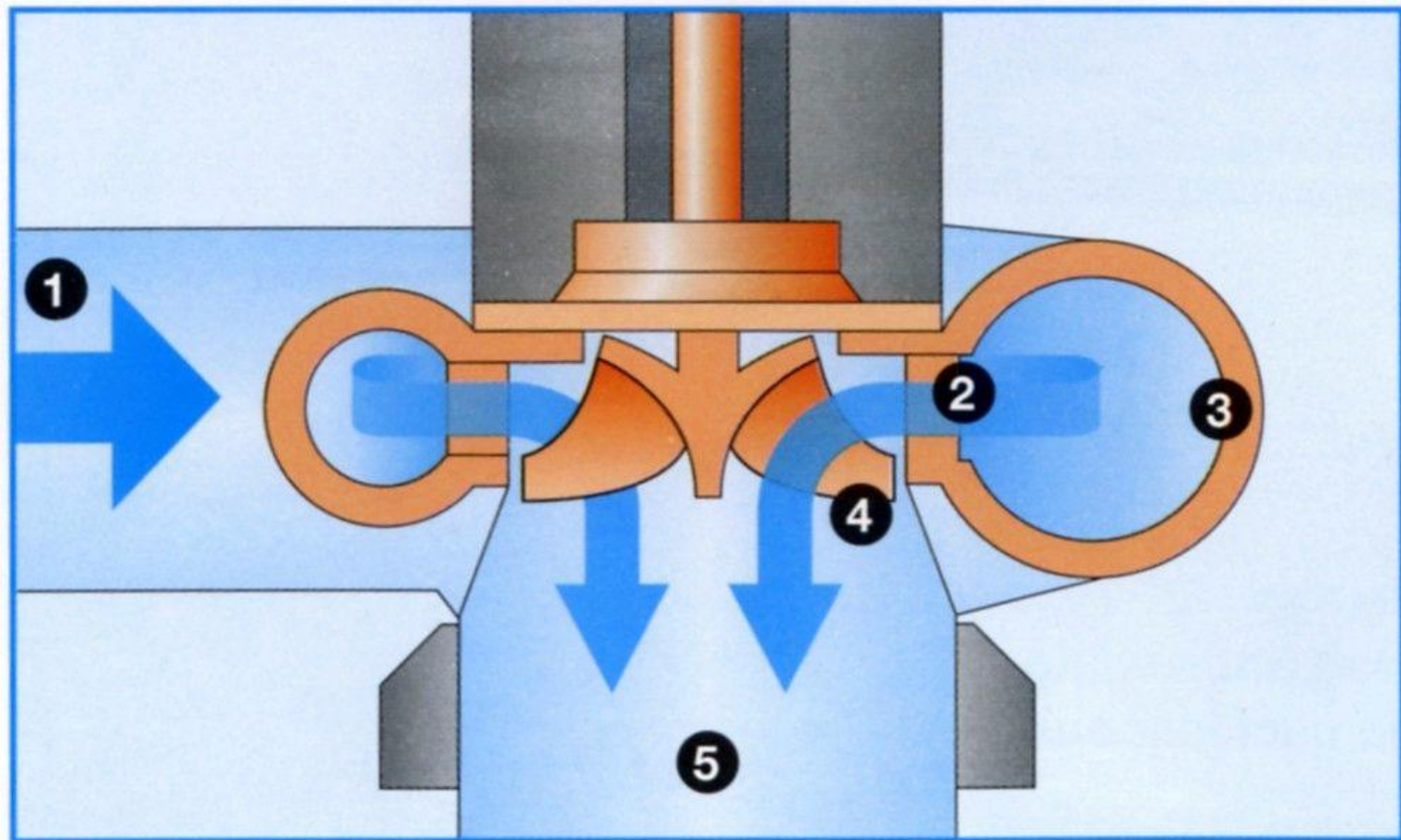
Kaplanova
vertikální
turbína



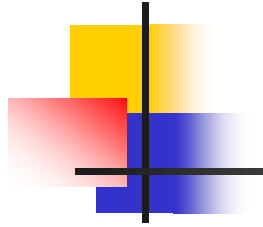
Vodní elektrárny



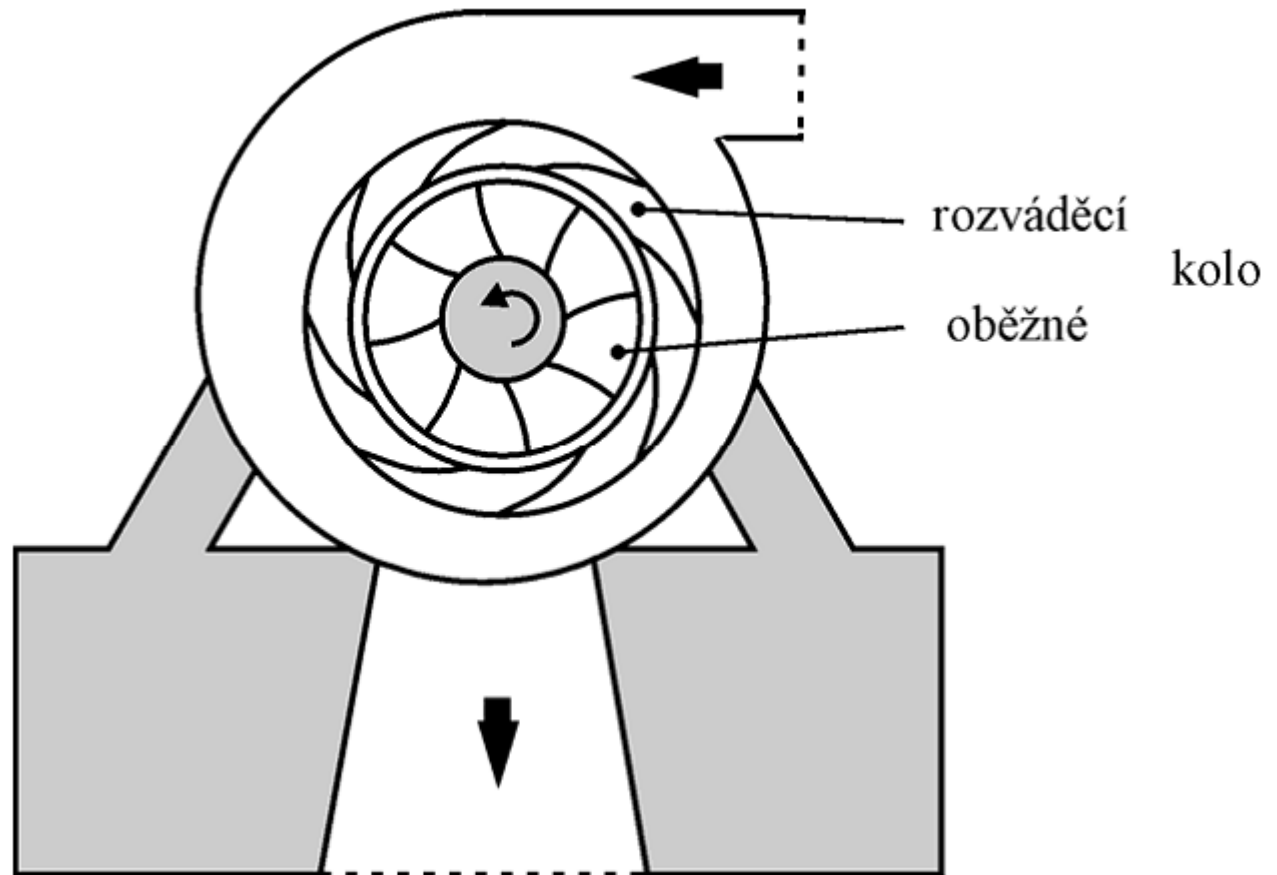
Francisova
vertikální
spirální
turbína



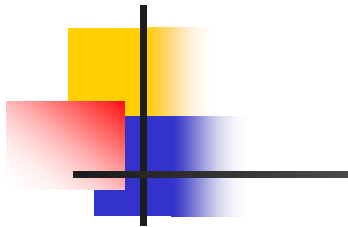
Vodní elektrárny



Francisova
horizontální
turbína



Vodní elektrárny



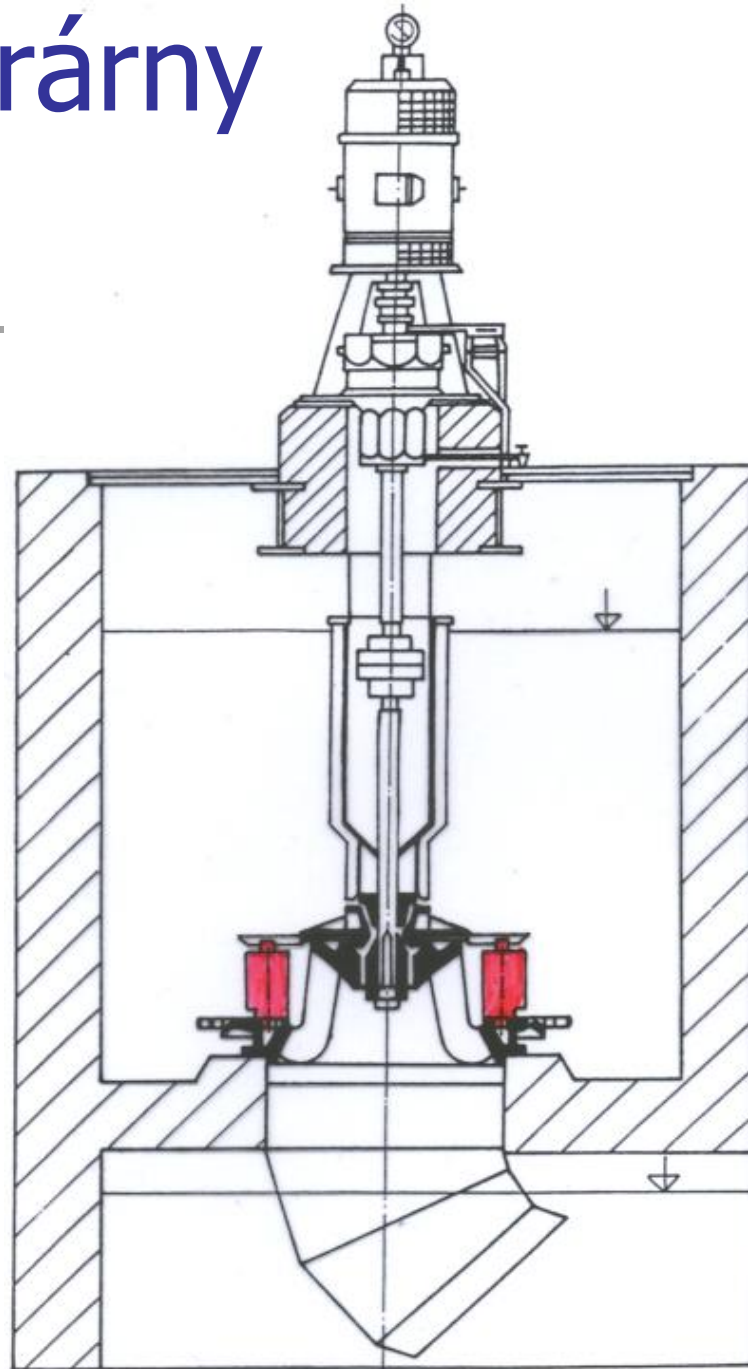
Francisova
horizontální
spirální
turbína



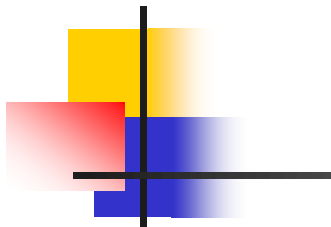
Vodní elektrárny



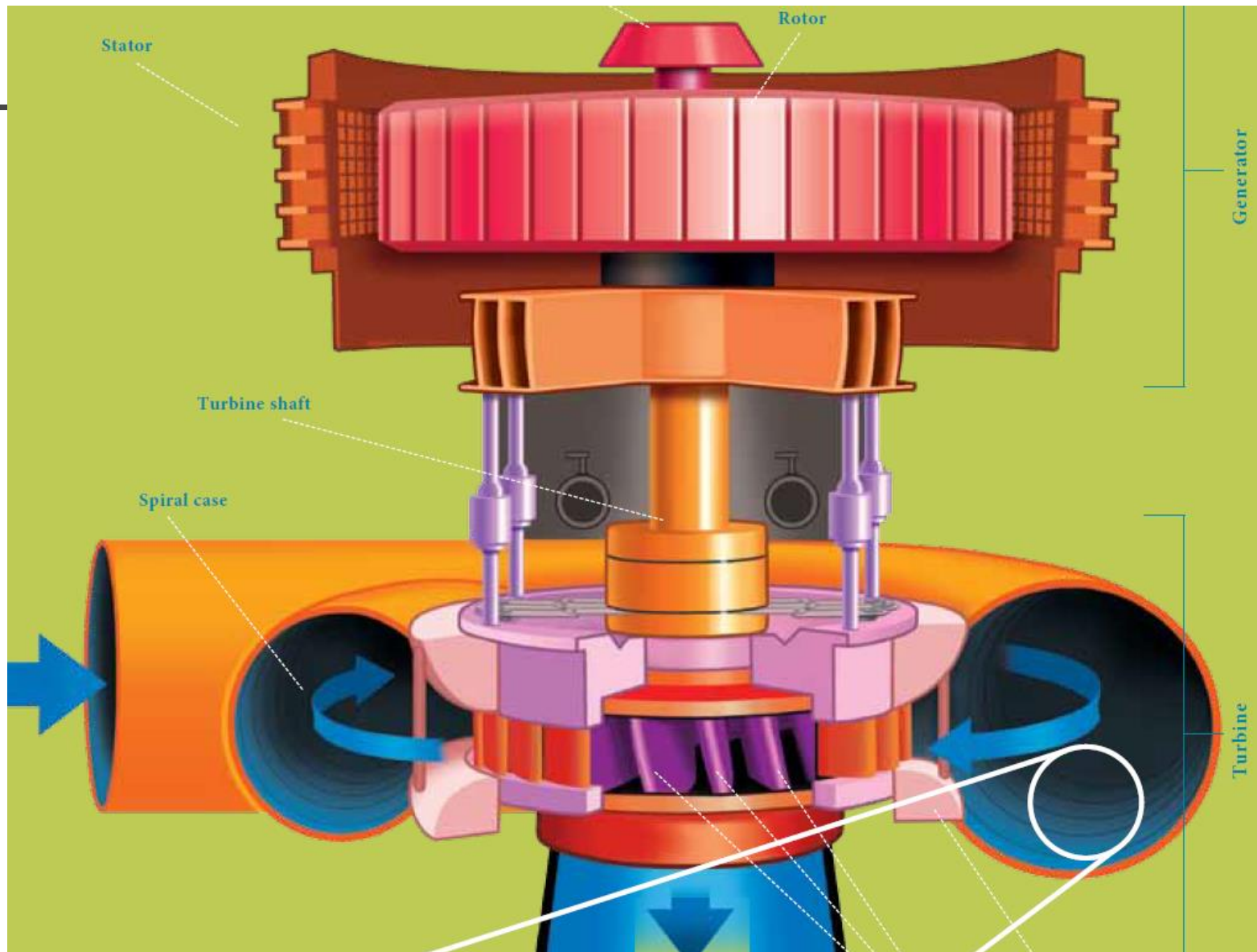
Francisova
vertikální
kašnová
turbína



Vodní elektrárny

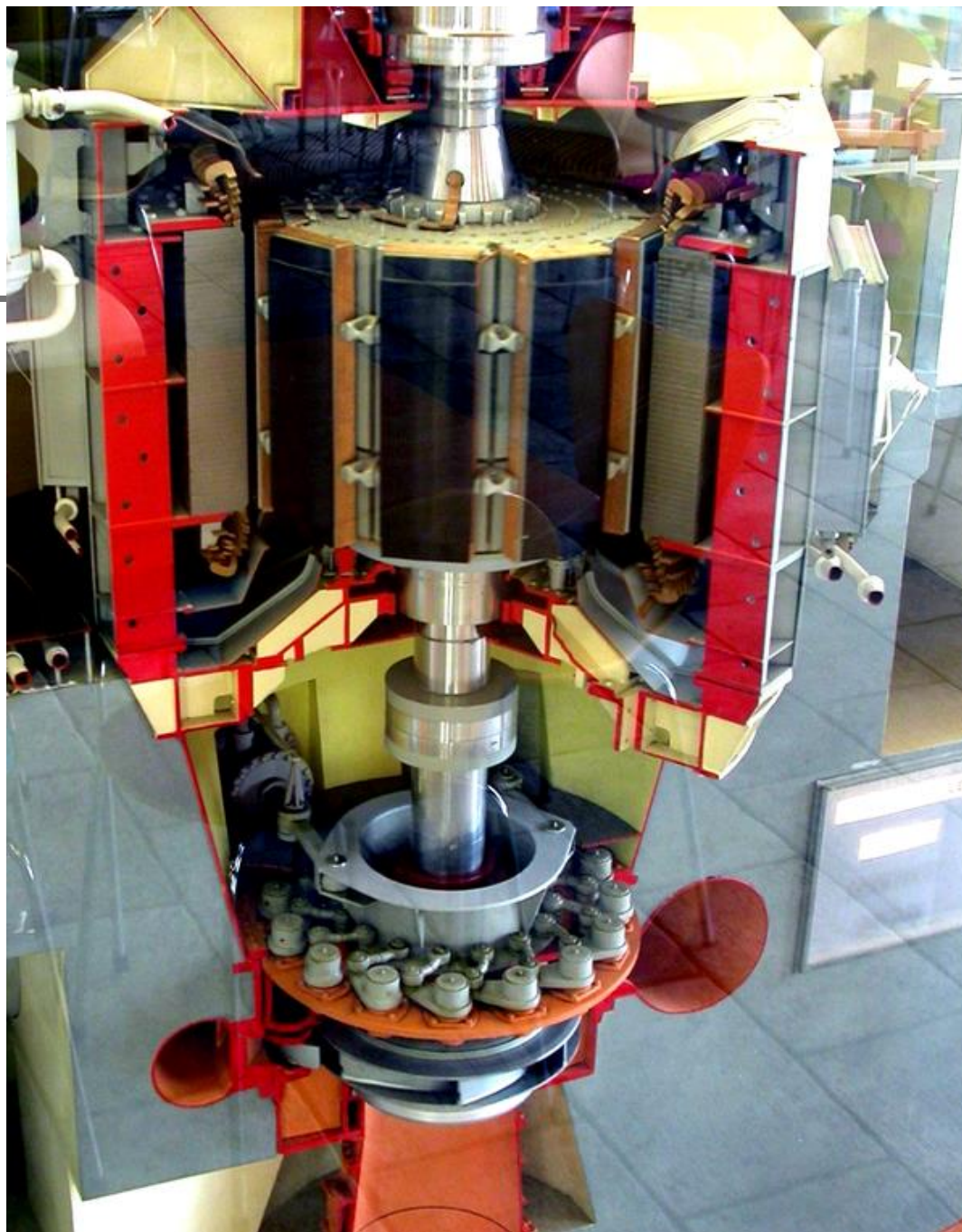


Soustrojí
Francisovy
vertikální
turbíny
a
generátoru

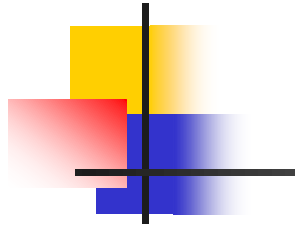


Vodní

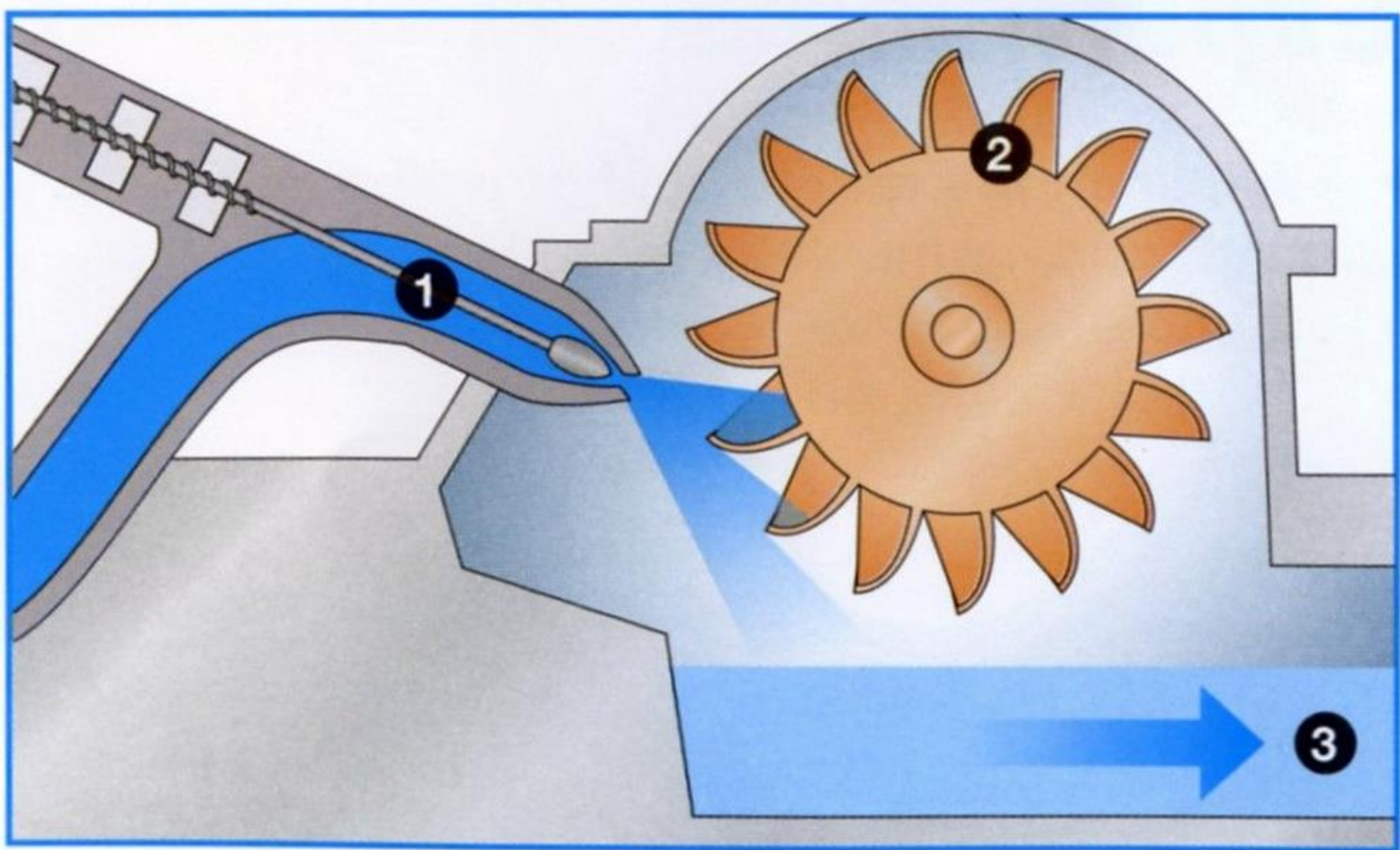
Provedení VE:



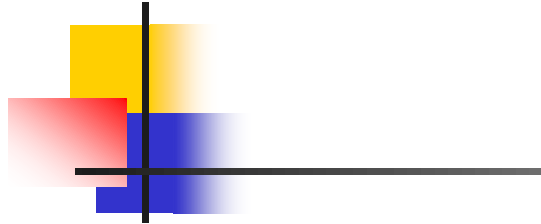
Vodní elektrárny



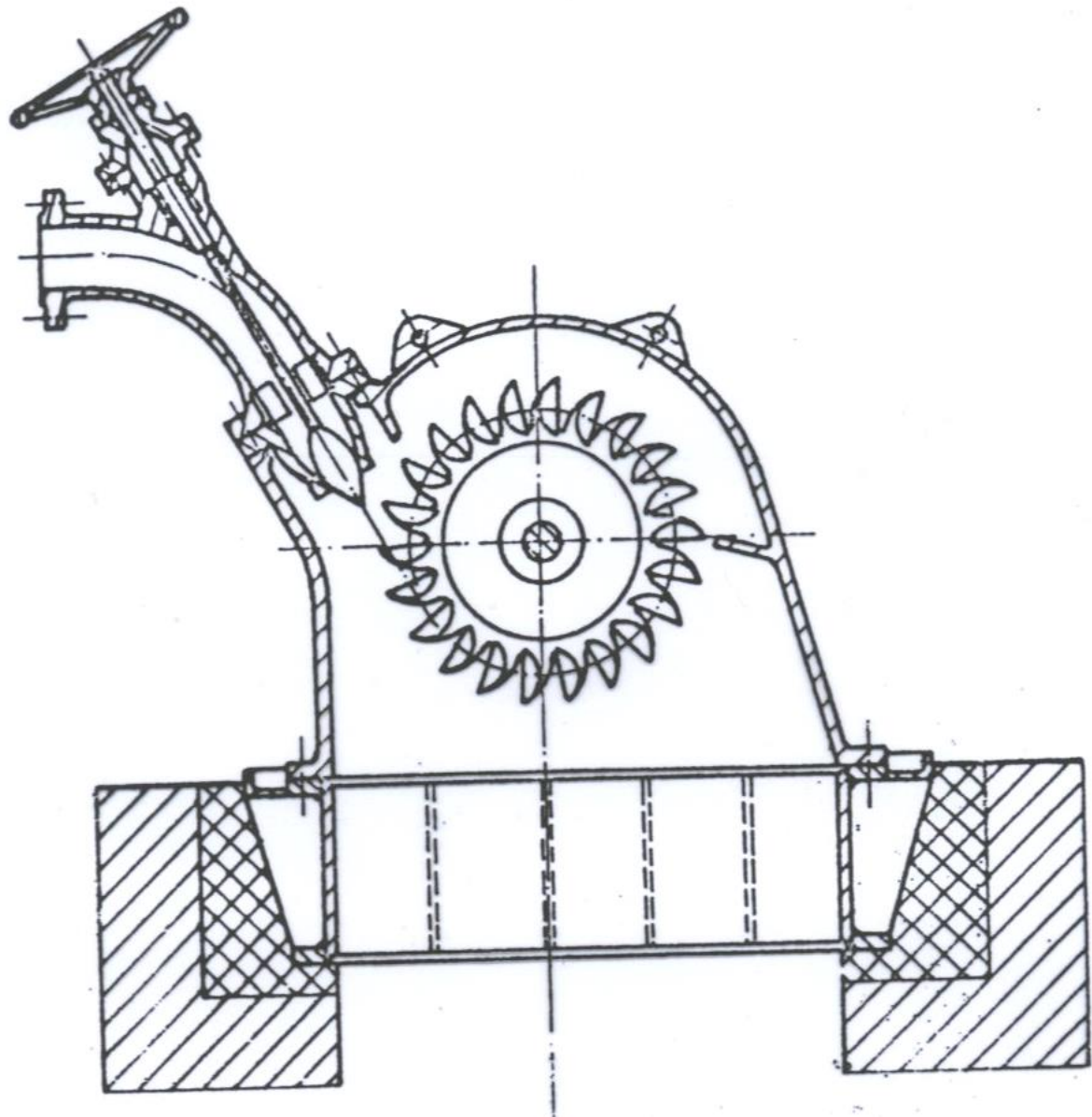
Peltonova
turbína



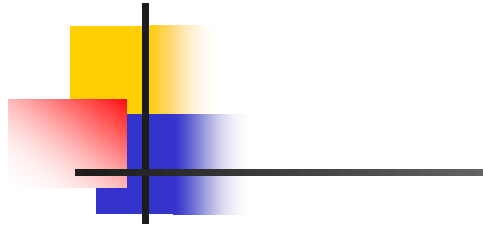
Vodní elektrárny



Peltonova
turbína



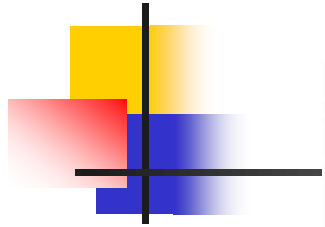
Vodní elektrárny



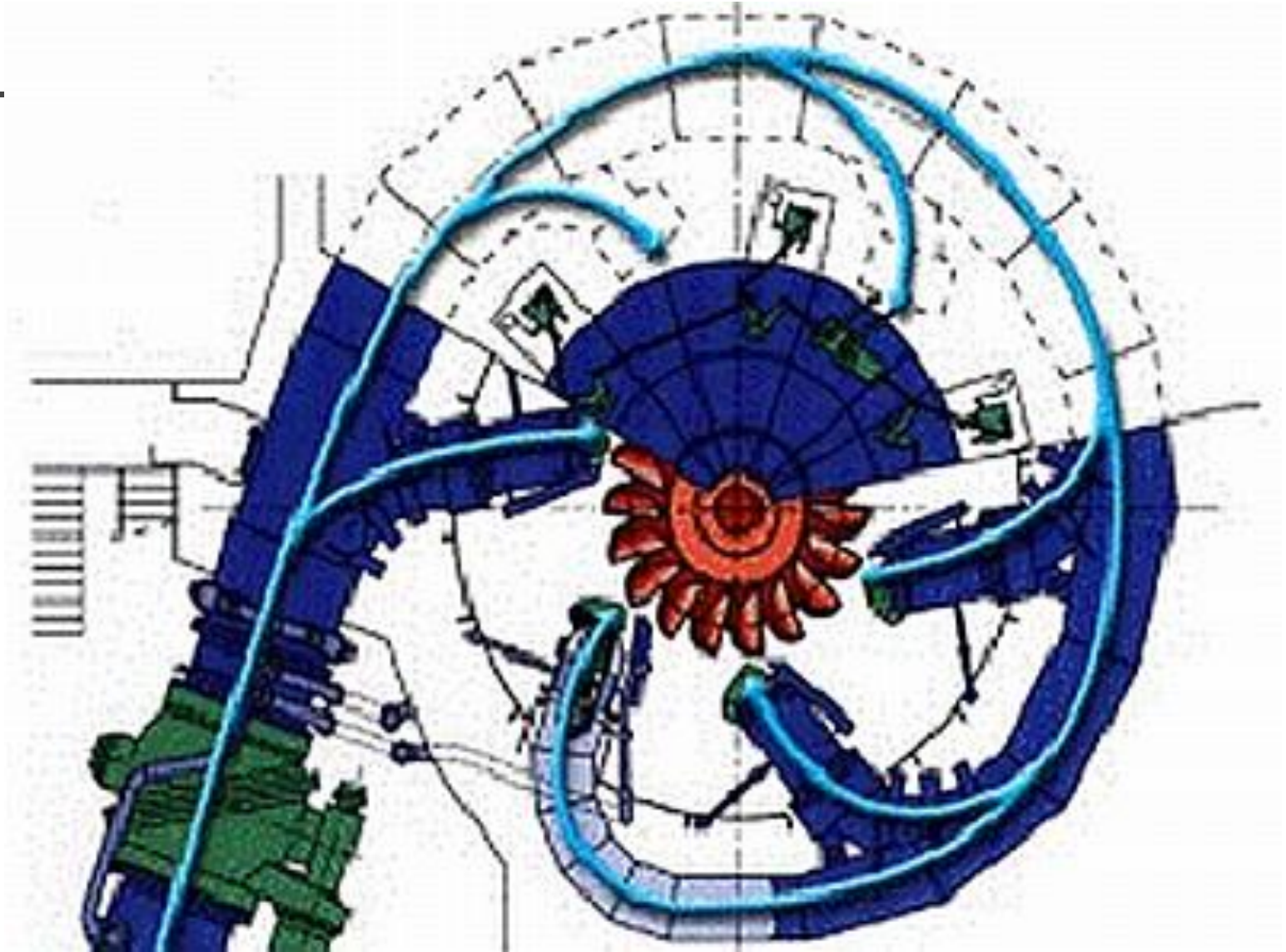
Peltonova
turbína



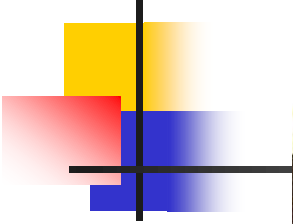
Vodní elektrárny



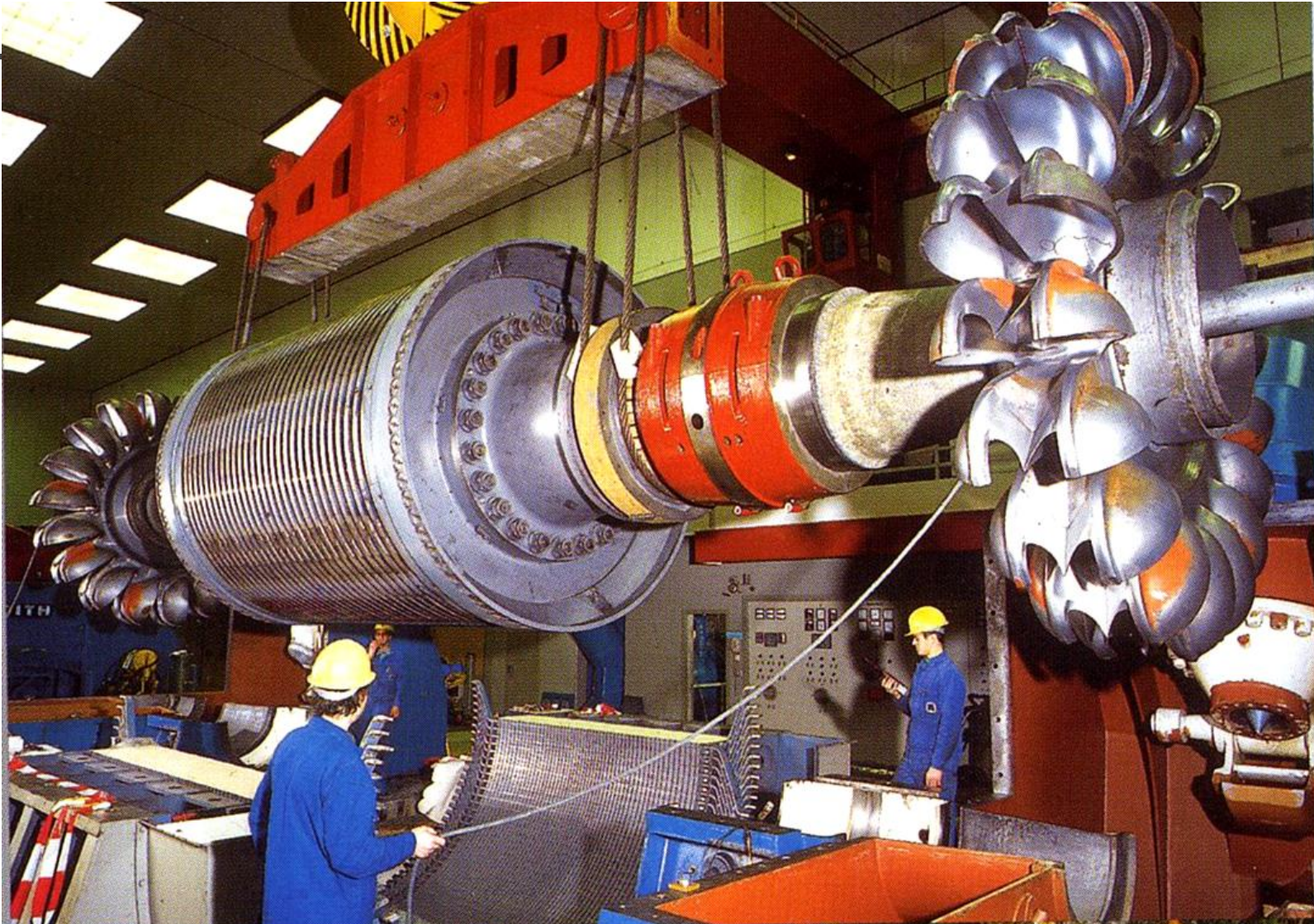
Peltonova
turbína



Vodní elektrárny



Peltonova
turbína
Kopswerk
85 MW,
spád
800 m,
12 m³/s,
500 ot./s,
12.5 kV



Vodní elektrárna

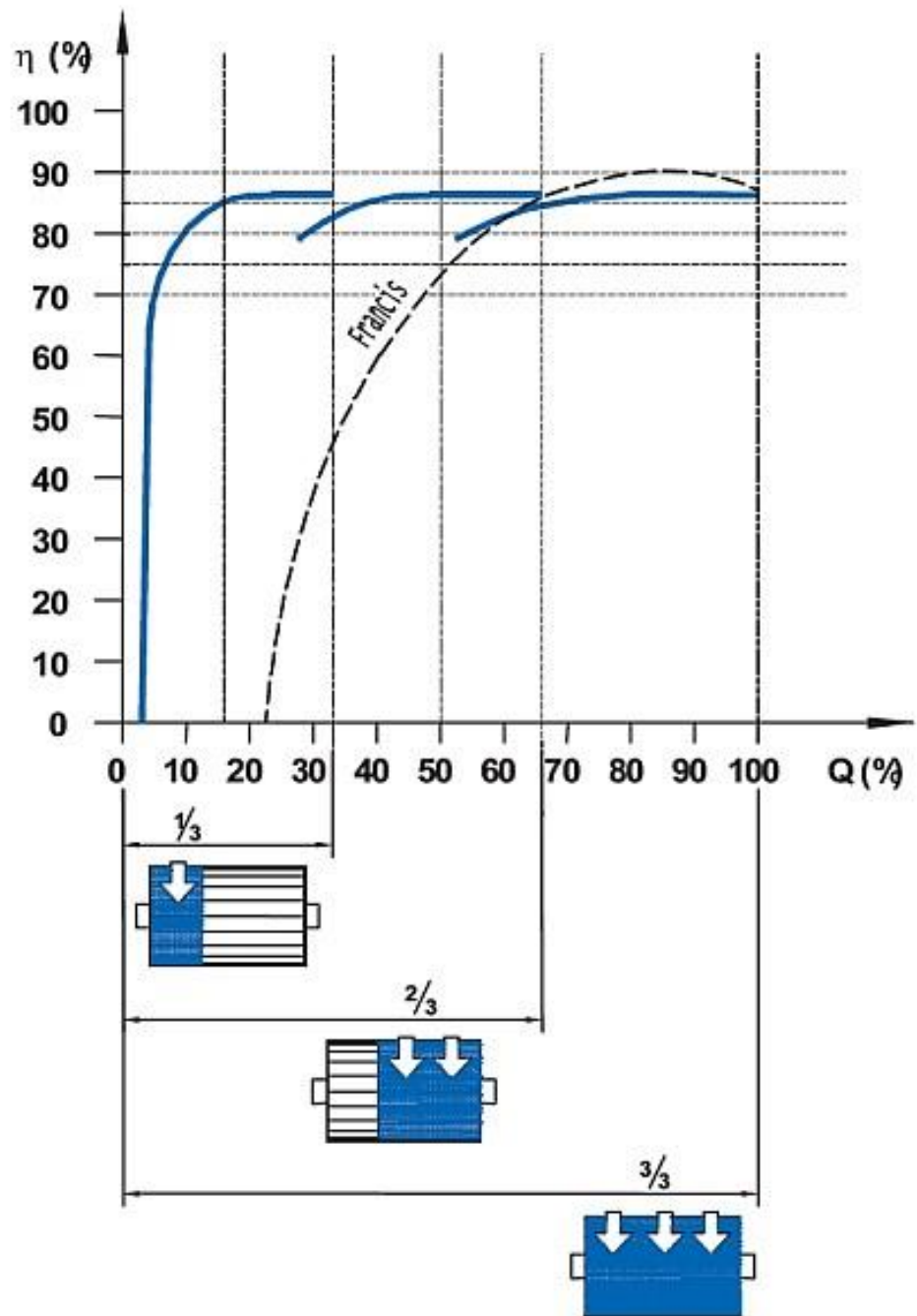
Bánkiho
turbína

Emergency shutdown weight

Inlet pipe

Bearings

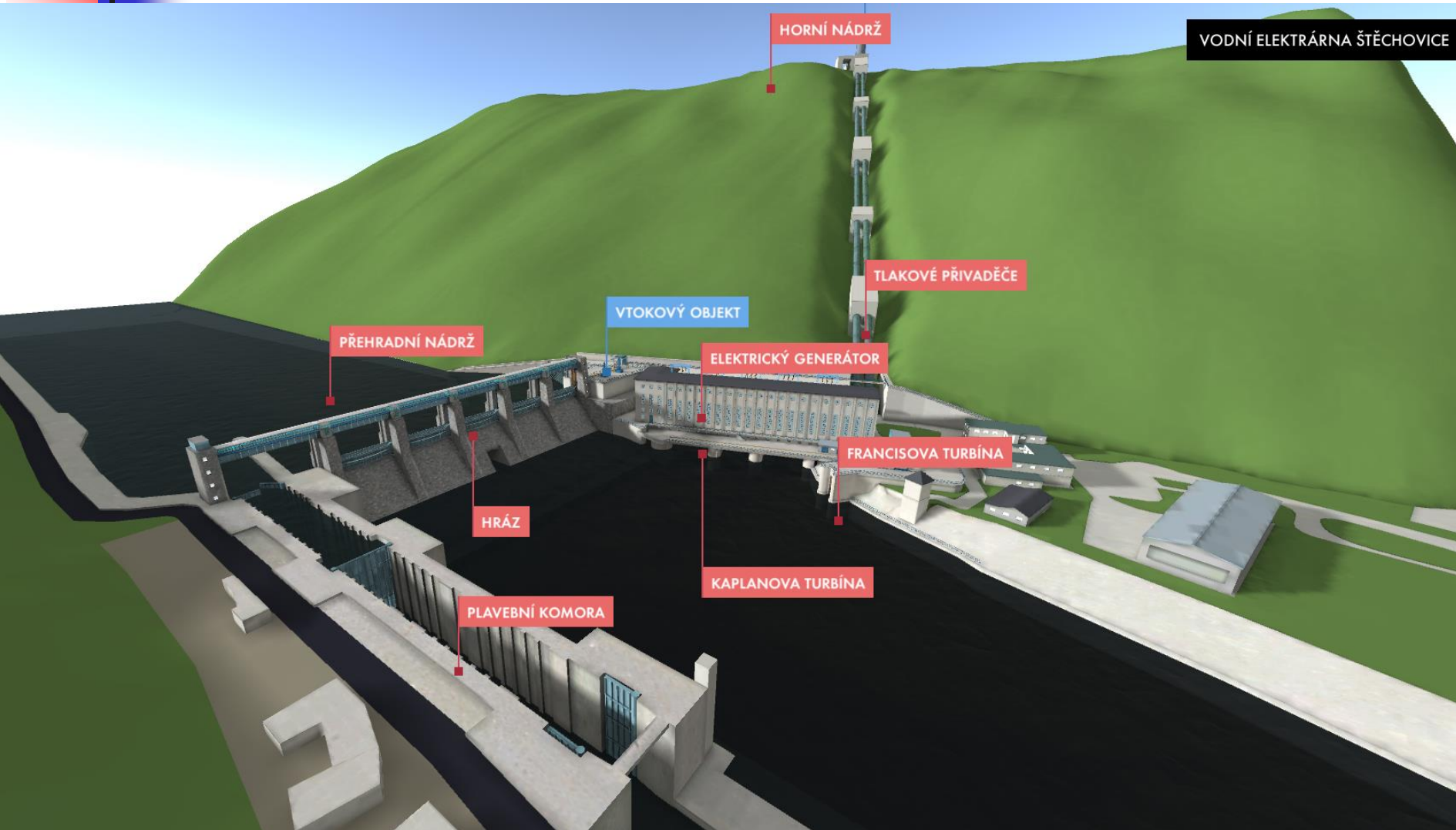
Base plate frame



Vodní elektrárny

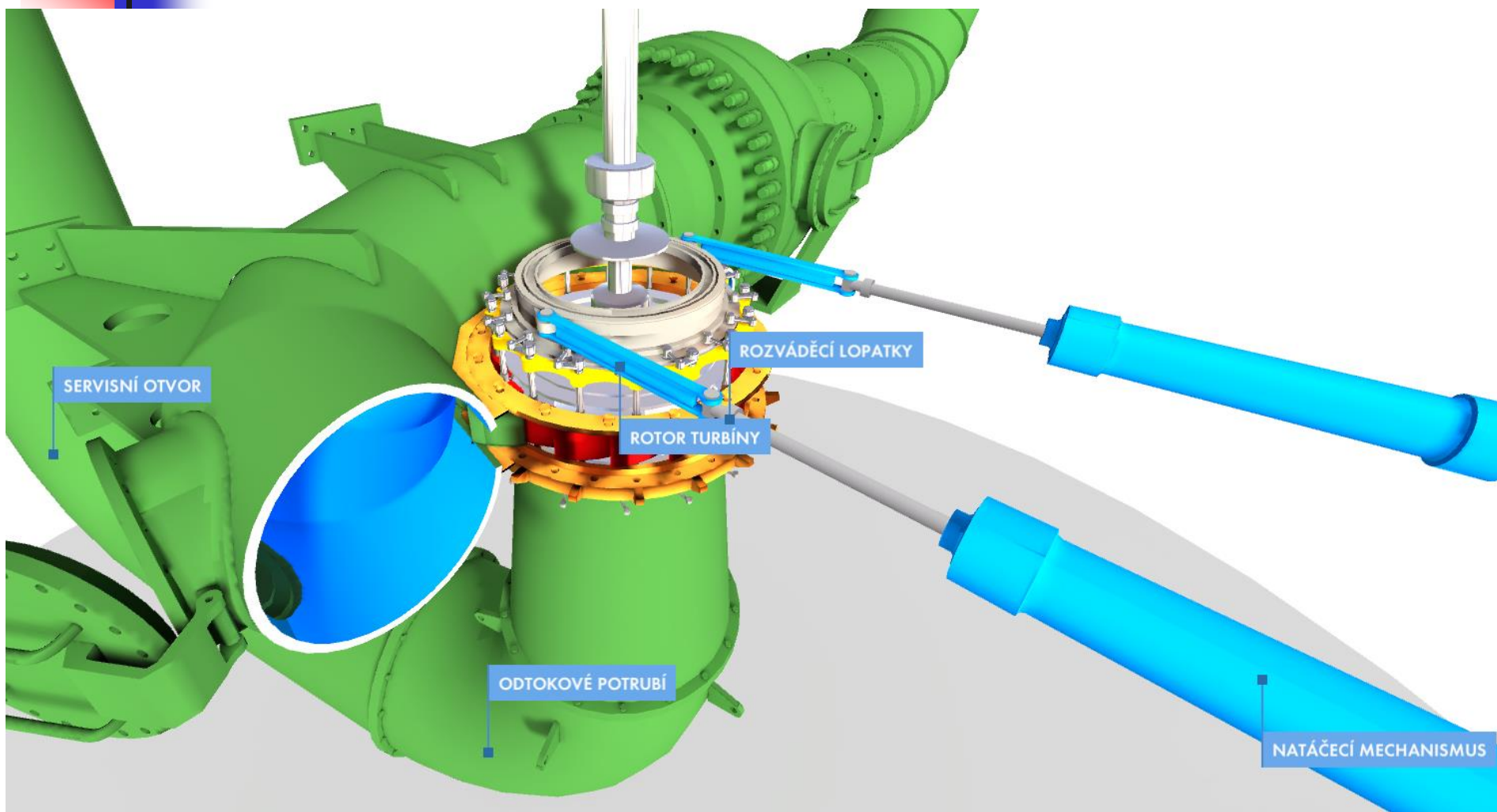
<https://www.svetenergie.cz/3d/stechovice/>

VODNÍ ELEKTRÁRNA ŠTĚCHOVICE



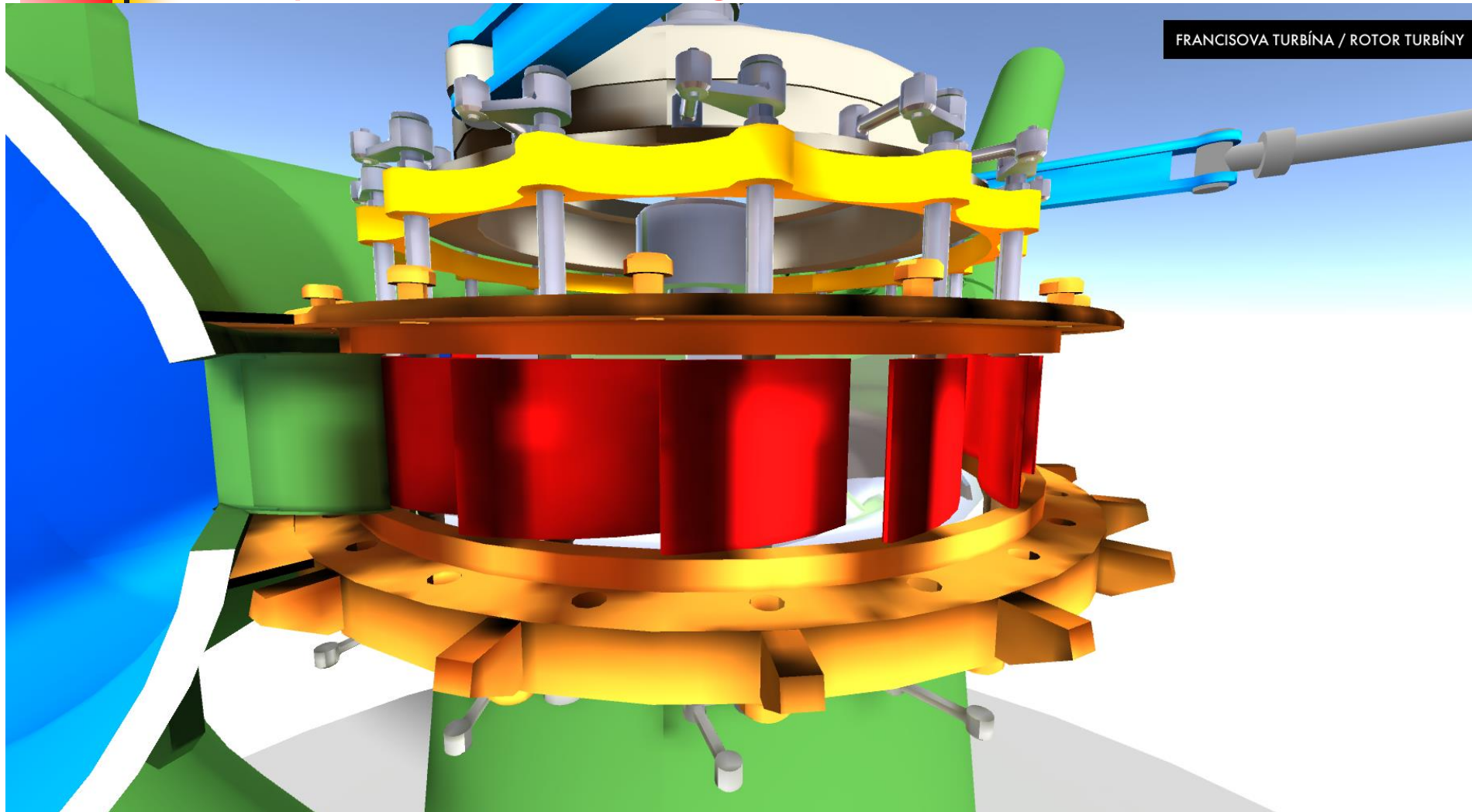
Vodní elektrárny

<https://www.svetenergie.cz/3d/stechovice/>



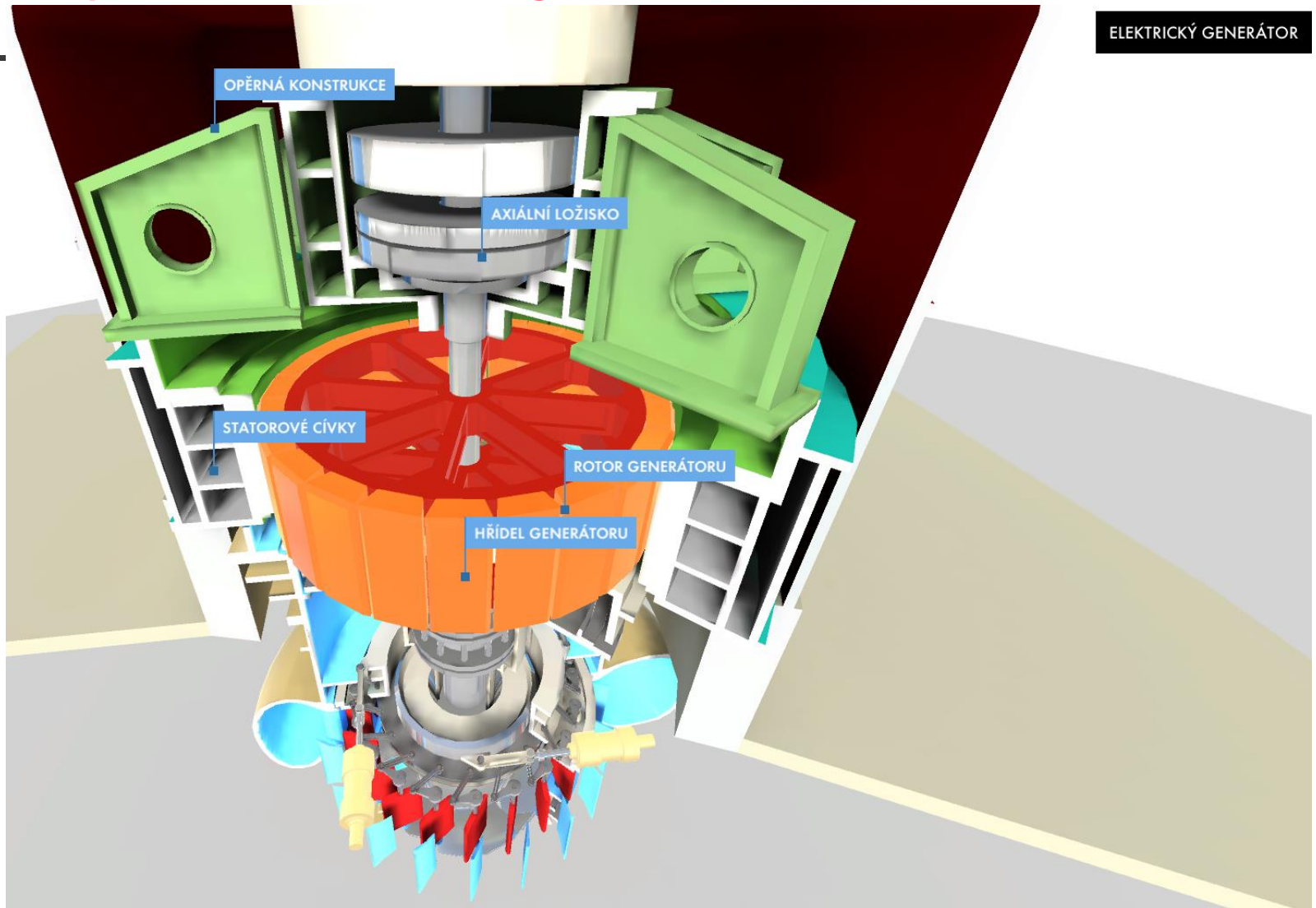
Vodní elektrárny

<https://www.svetenergie.cz/3d/stechovice/>



Vodní elektrárny

<https://www.svetenergie.cz/3d/stechovice/>

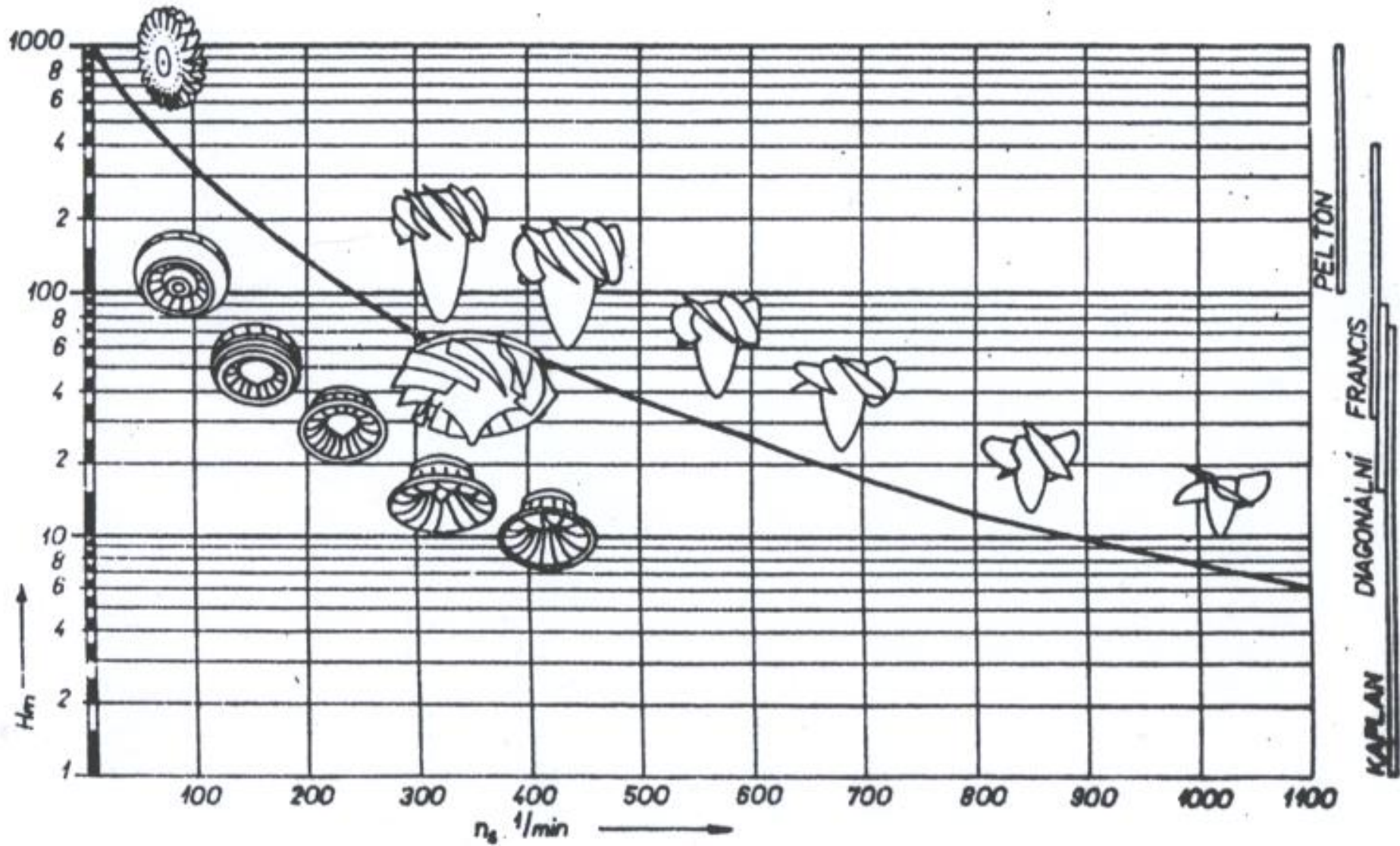


Vodní elektrárny

<https://www.svetenergie.cz/3d/stechovice/>



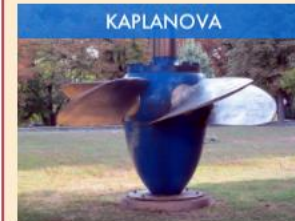
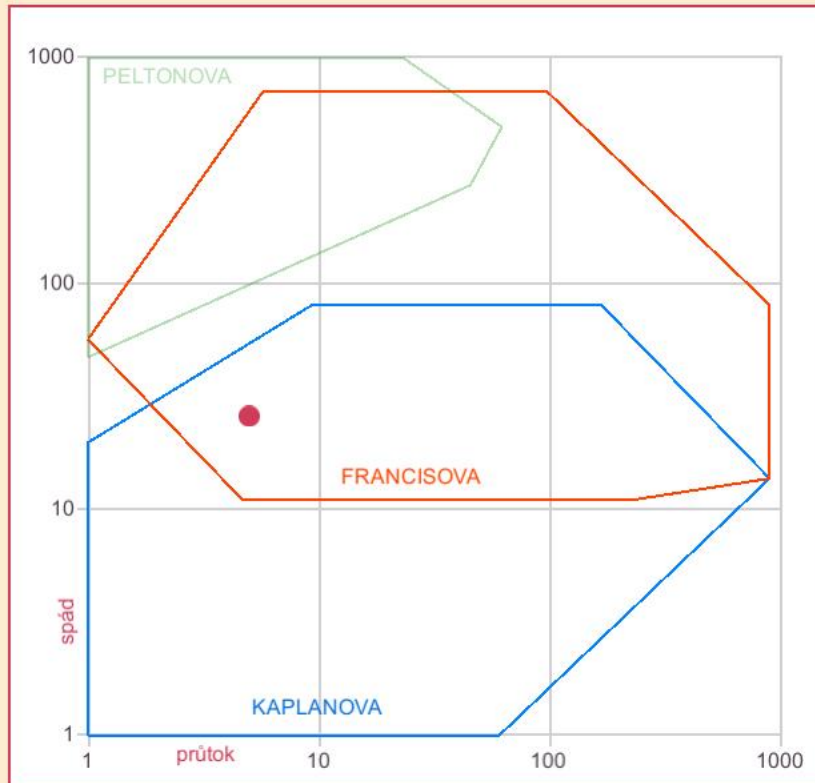
Vodní elektrárny



Vodní elektrárny

<https://www.svetenergie.cz/3d/stechovice/>

VÝKON A VÝBĚR SPRÁVNÉ TURBÍNY



VÝKON

$P_t = 1 \text{ MW}$

$P_t = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$

SPÁD

$H = 26 \text{ m}$

PRŮTOK

$Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

KONSTANTY

ρ : měrná hmotnost vody [kg/m^3] g : gravitační zrychlení [m/s^2]



Vodní elektrárny

Účinnost vodních turbin:

$$\eta = \eta_Q \cdot \eta_H \cdot \eta_M$$

Objemové ztráty (únikem množství Q_Z netěsnostmi mimo oběžné kolo):

$$\eta_Q = 1 - \frac{Q_Z}{Q}$$

Hydraulické ztráty (vazkostí vody, změny směru proudění, ráz při vstupu, změna průřezu, ...):

$$\eta_H = \frac{P_H}{P_T} = 1 - \frac{E_Z}{E}$$



Vodní elektrárny

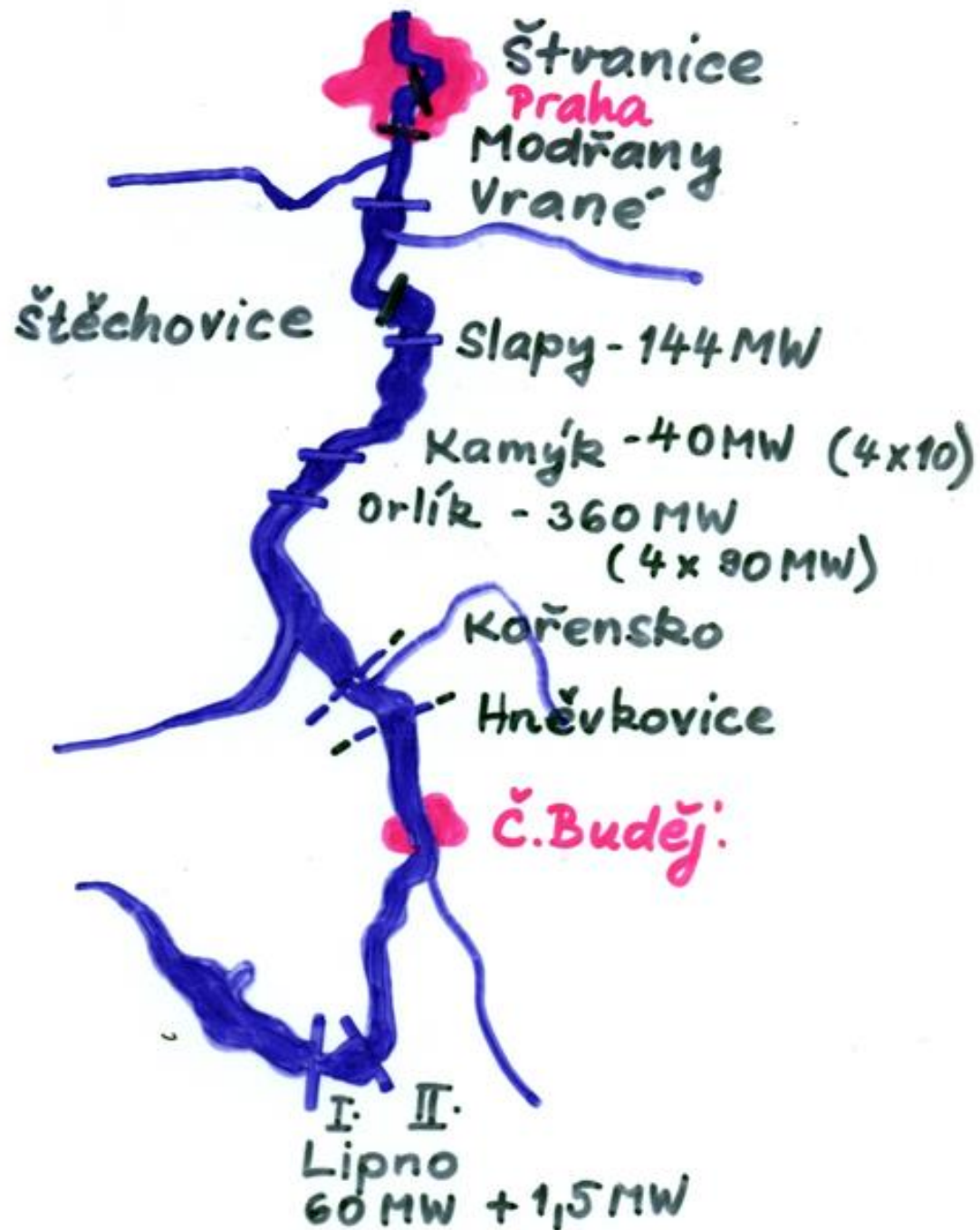
Účinnost vodních turbín:

$$\eta = \eta_Q \cdot \eta_H \cdot \eta_M$$

Mechanické ztráty (mechanické tření v ložiskách a ucpávkách):

$$\eta_M = \frac{P}{P_H} = 1 - \frac{P_Z}{P_H}$$

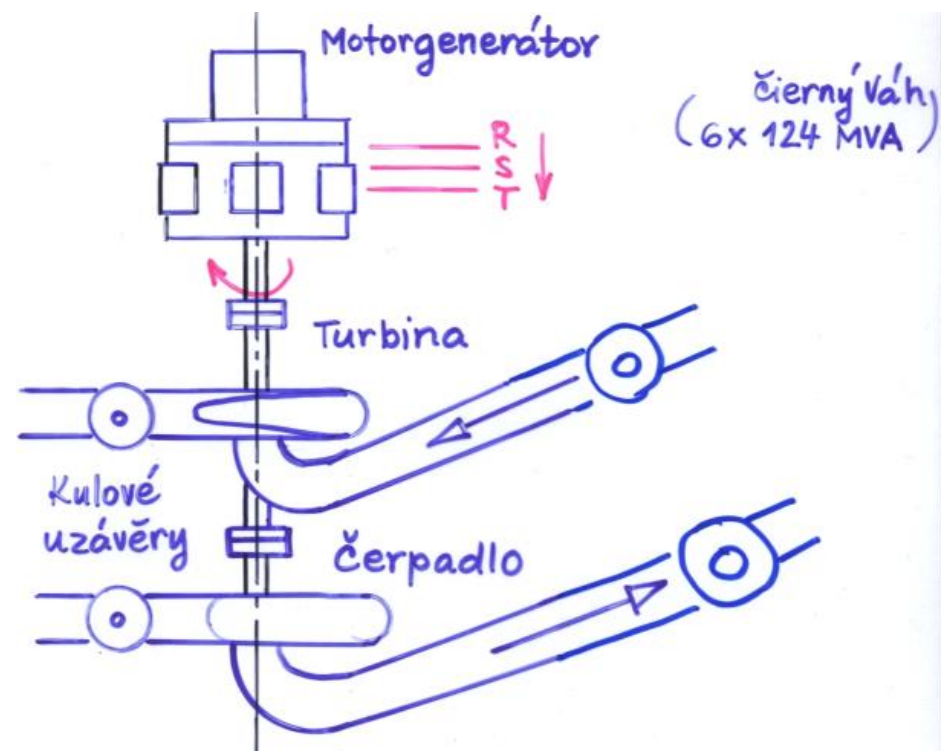
Vodní



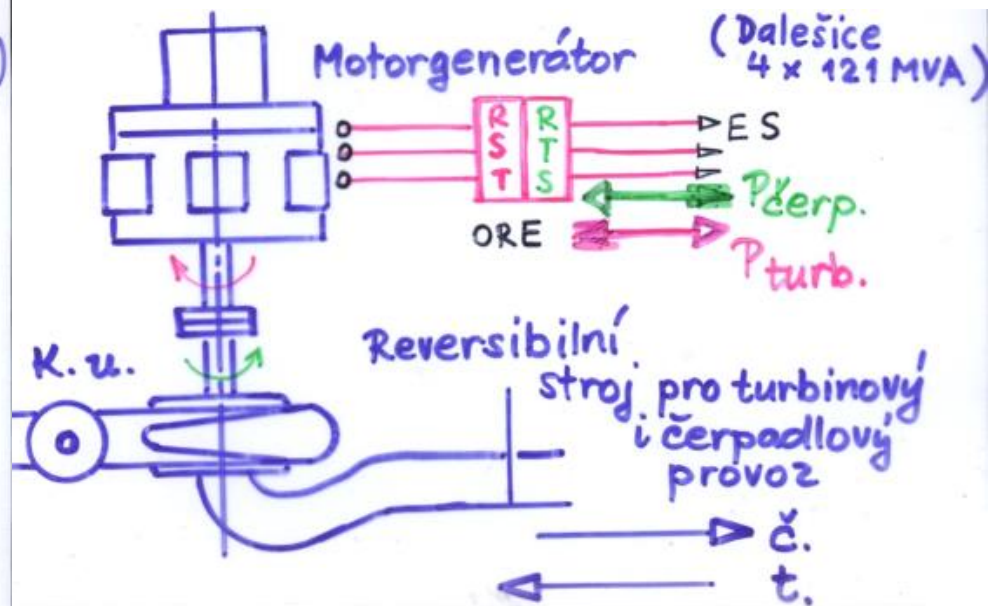
Vodní elektrárny

Provedení přečerpávacích VE:

Třístrojové:



Dvoustrojové:




Vodní elektrárny

Provedení
přečerpávacích
VE:

Dlouhé Stráně

2x 325 MW



Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně v Jeseníkách, spuštěná v roce 1996, má tři NEJ: největší reverzní turbínu v Evropě, největší spád v ČR (510,7 m) a největší instalovaný výkon v ČR (2x325 MW)

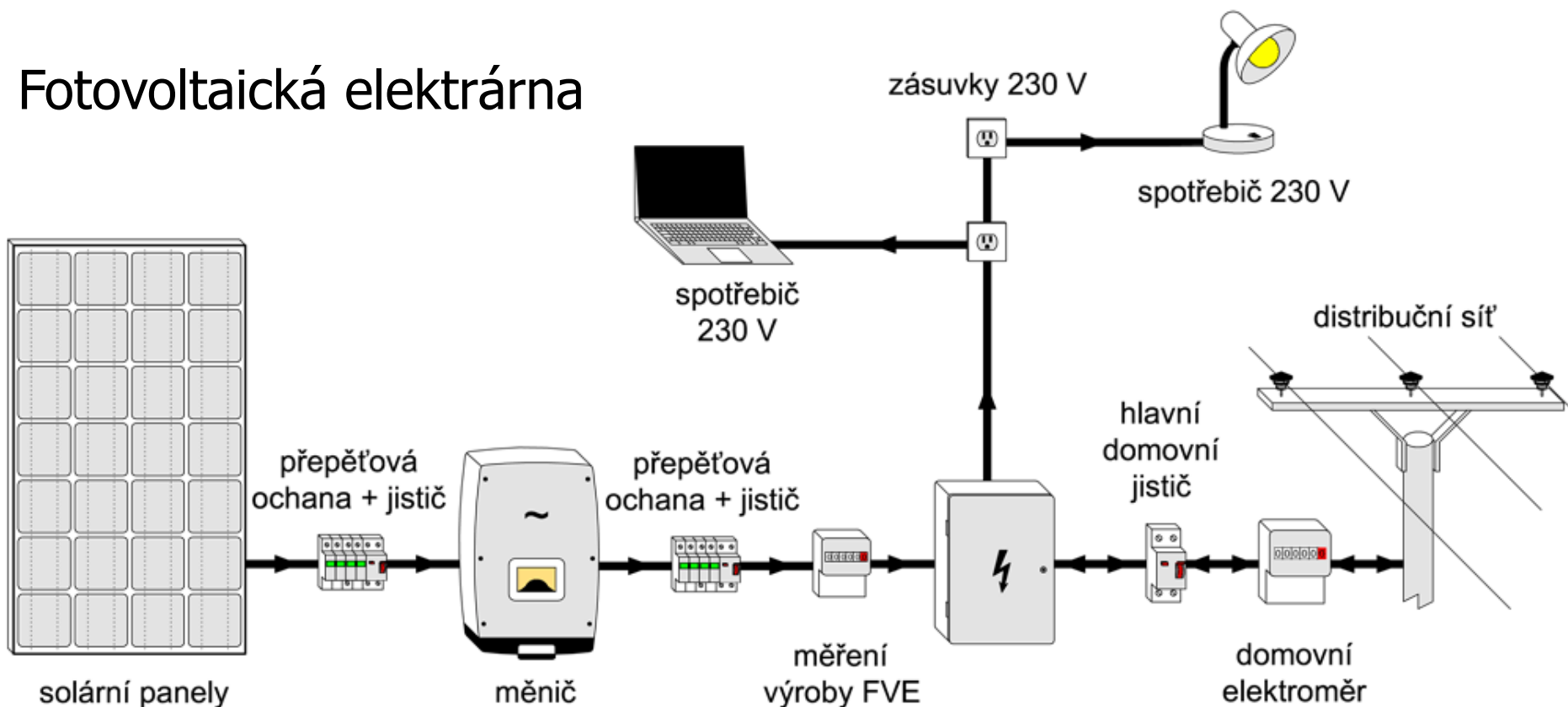
Sluneční elektrárny

Fotovoltaická elektrárna



Sluneční elektrárny

Fotovoltaická elektrárna

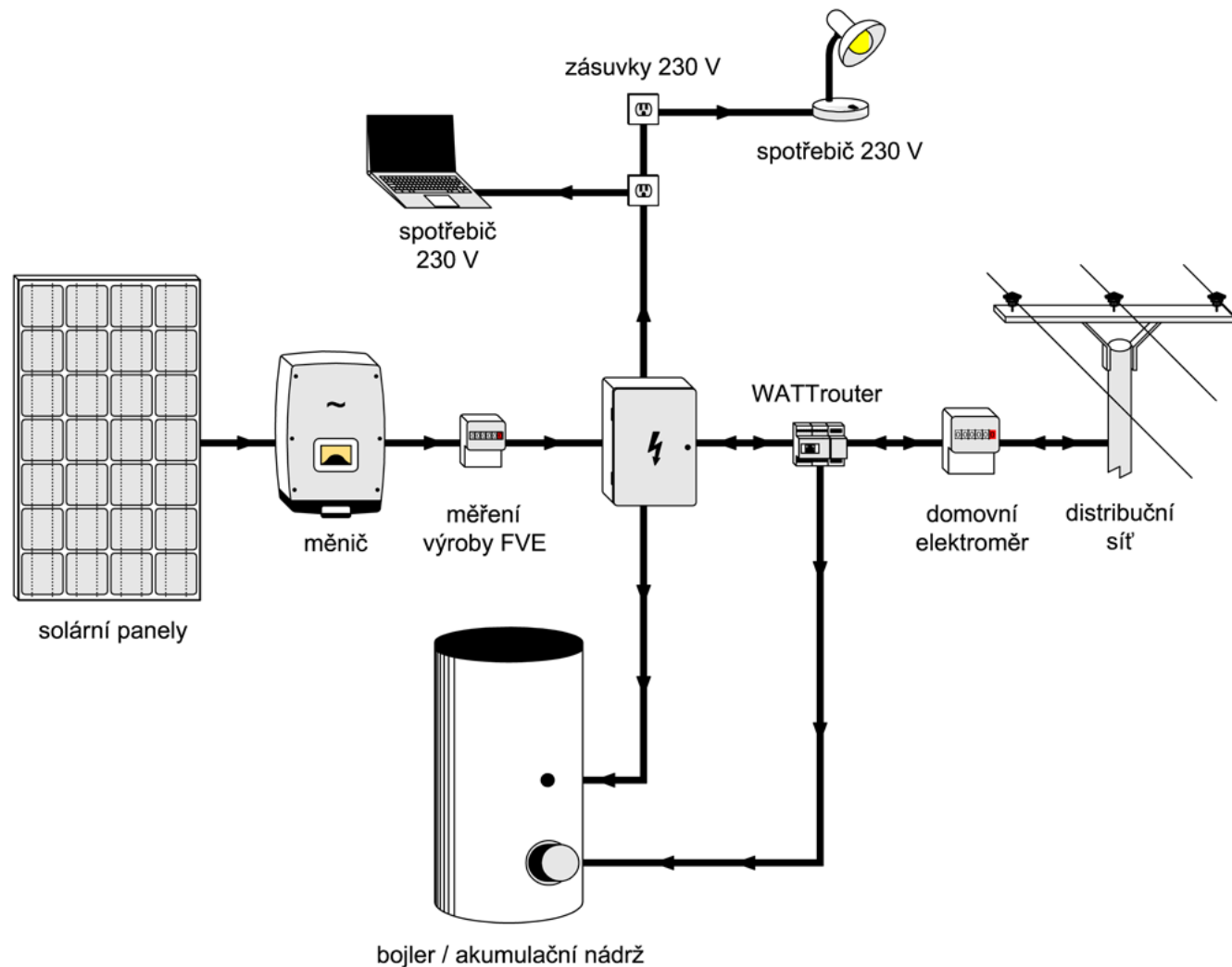


Převzato z:

<https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>

Sluneční elektrárny

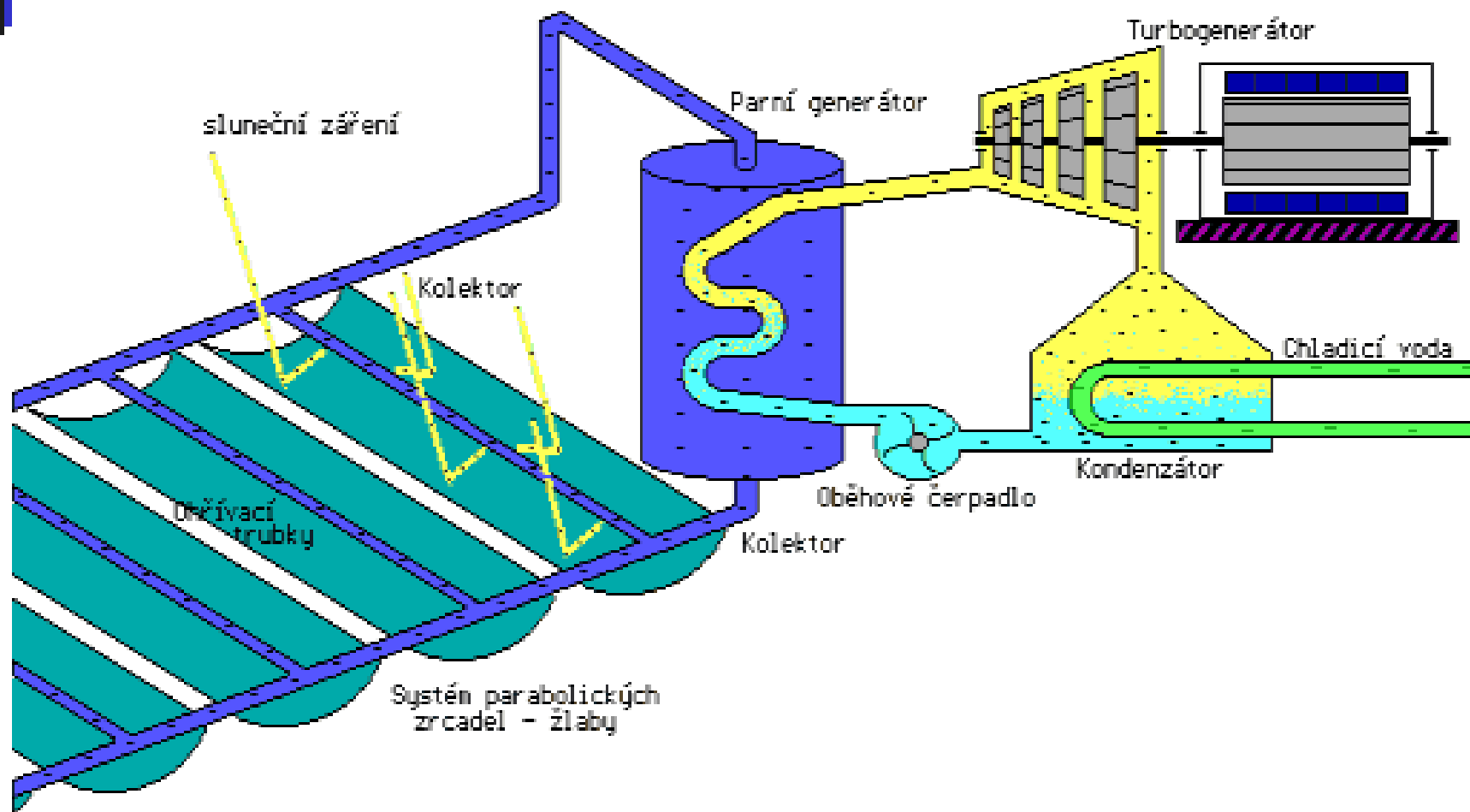
Fotovoltaická
elektrárna
s optimalizací
vlastní
Spotřeby



Převzato z:

<https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>

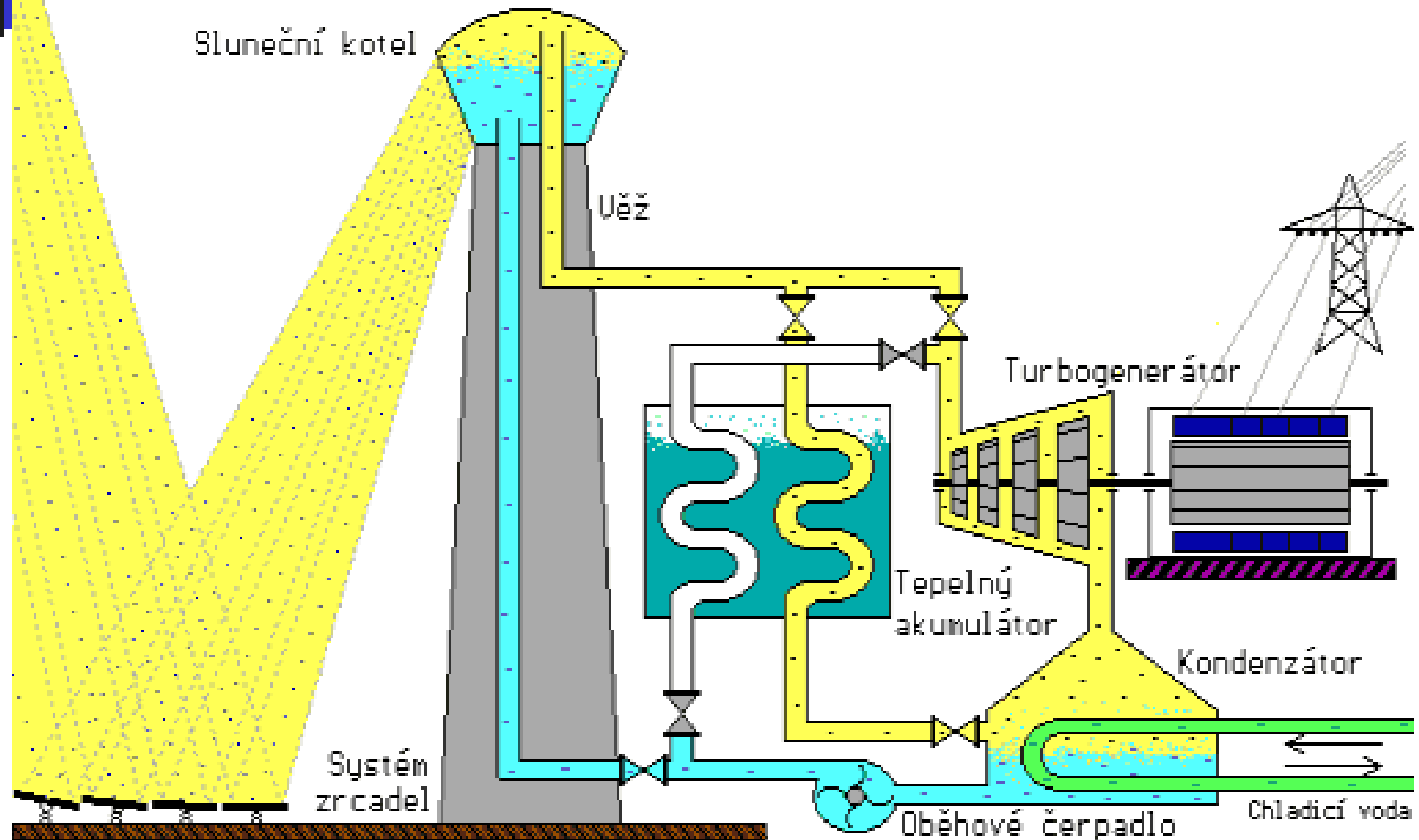
Sluneční elektrárny



Sluneční elektrárny



Sluneční elektrárny



Sluneční elektrárny



Sluneční elektrárny



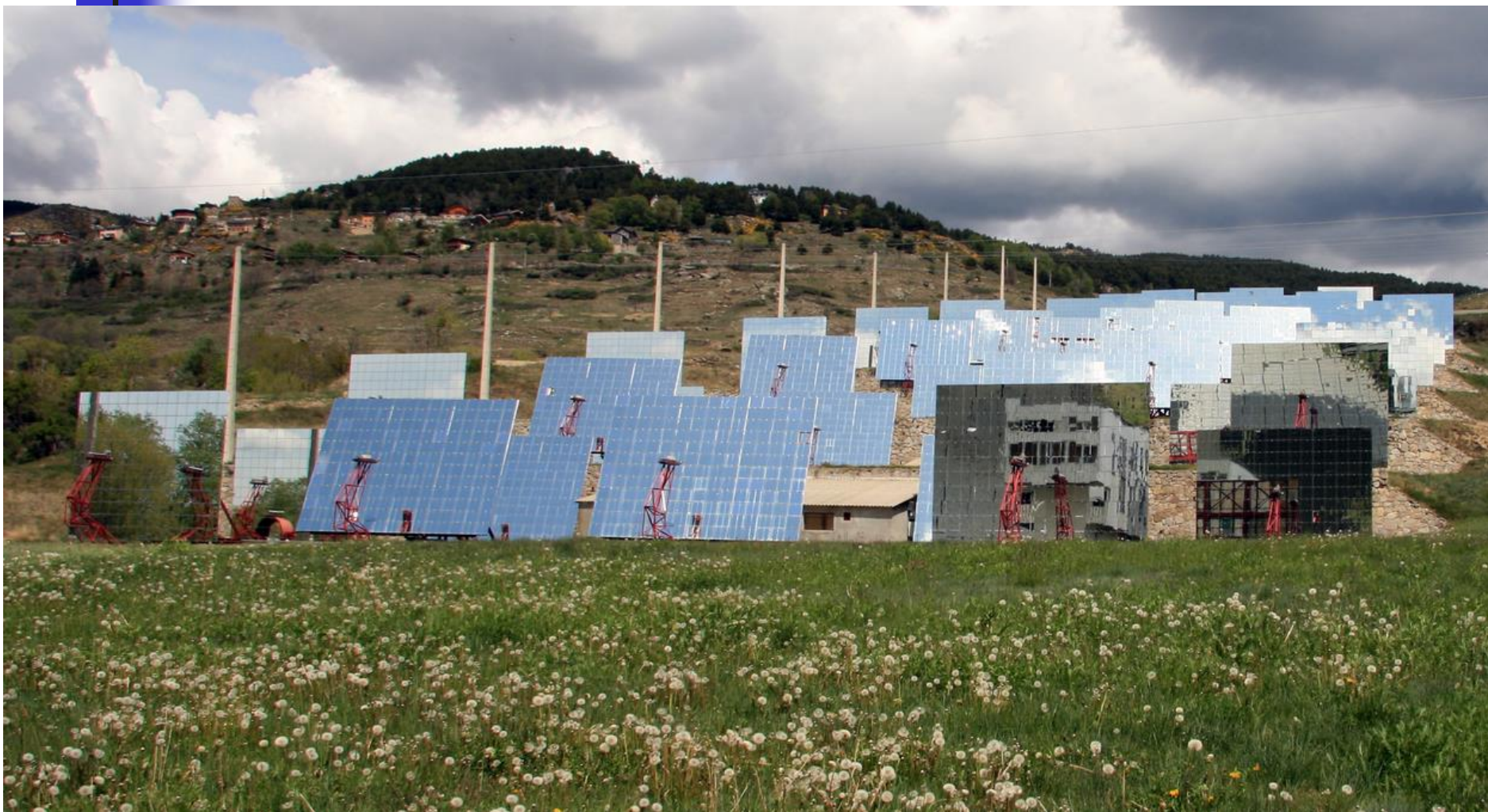
Sluneční elektrárny



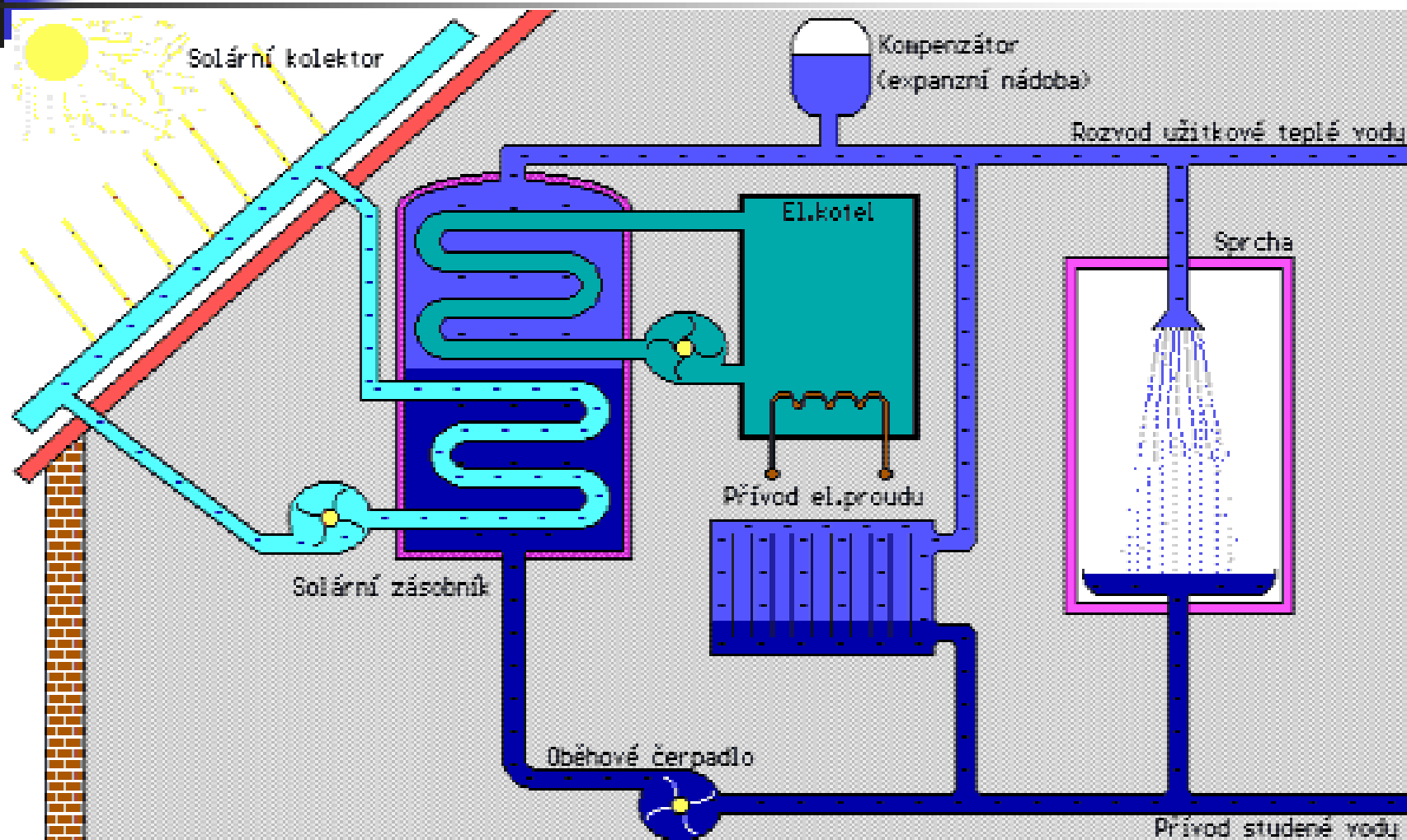
Sluneční elektrárny



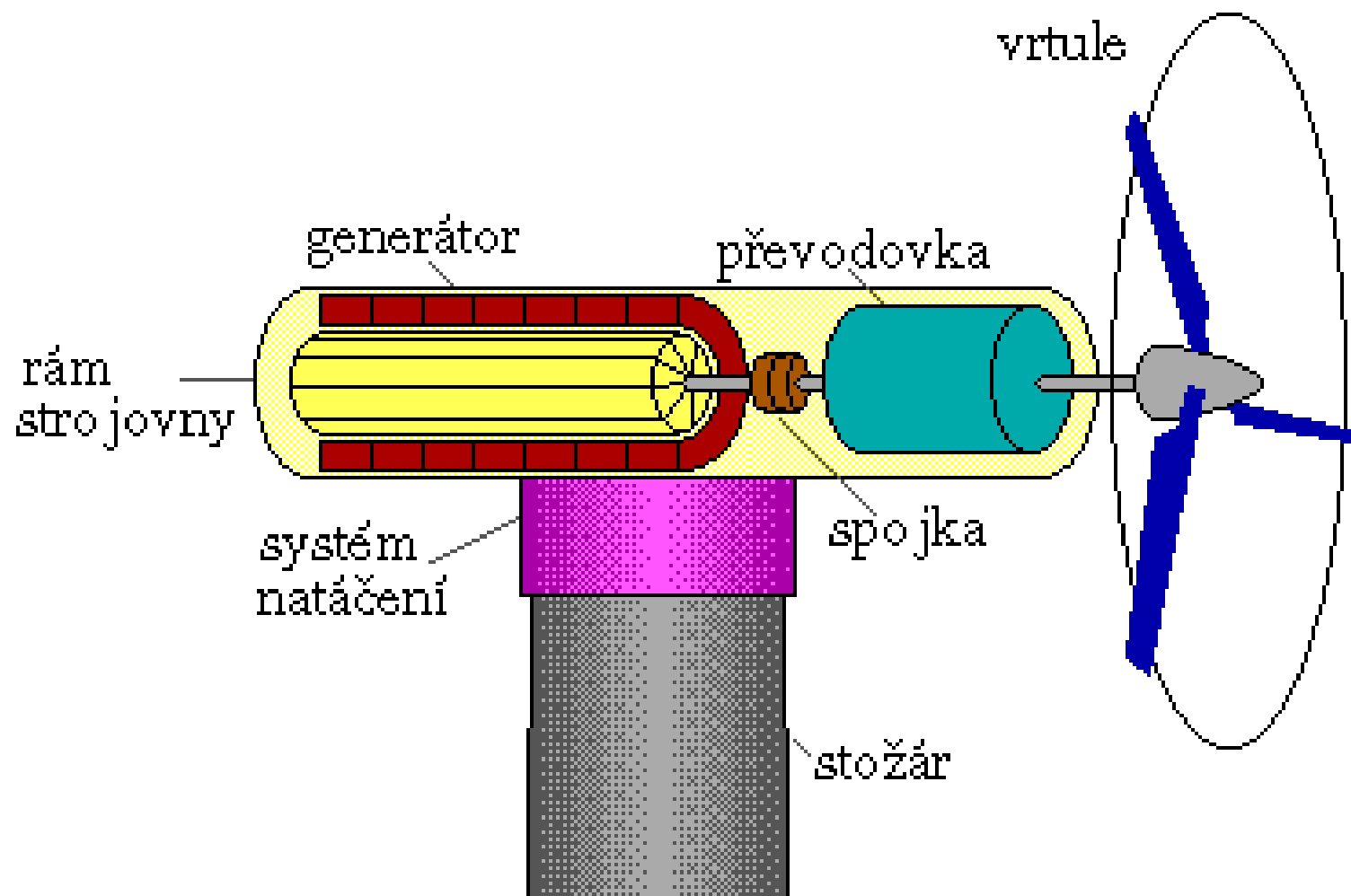
Sluneční elektrárny



Sluneční elektrárny



Větrné elektrárny



Větrné elektrárny



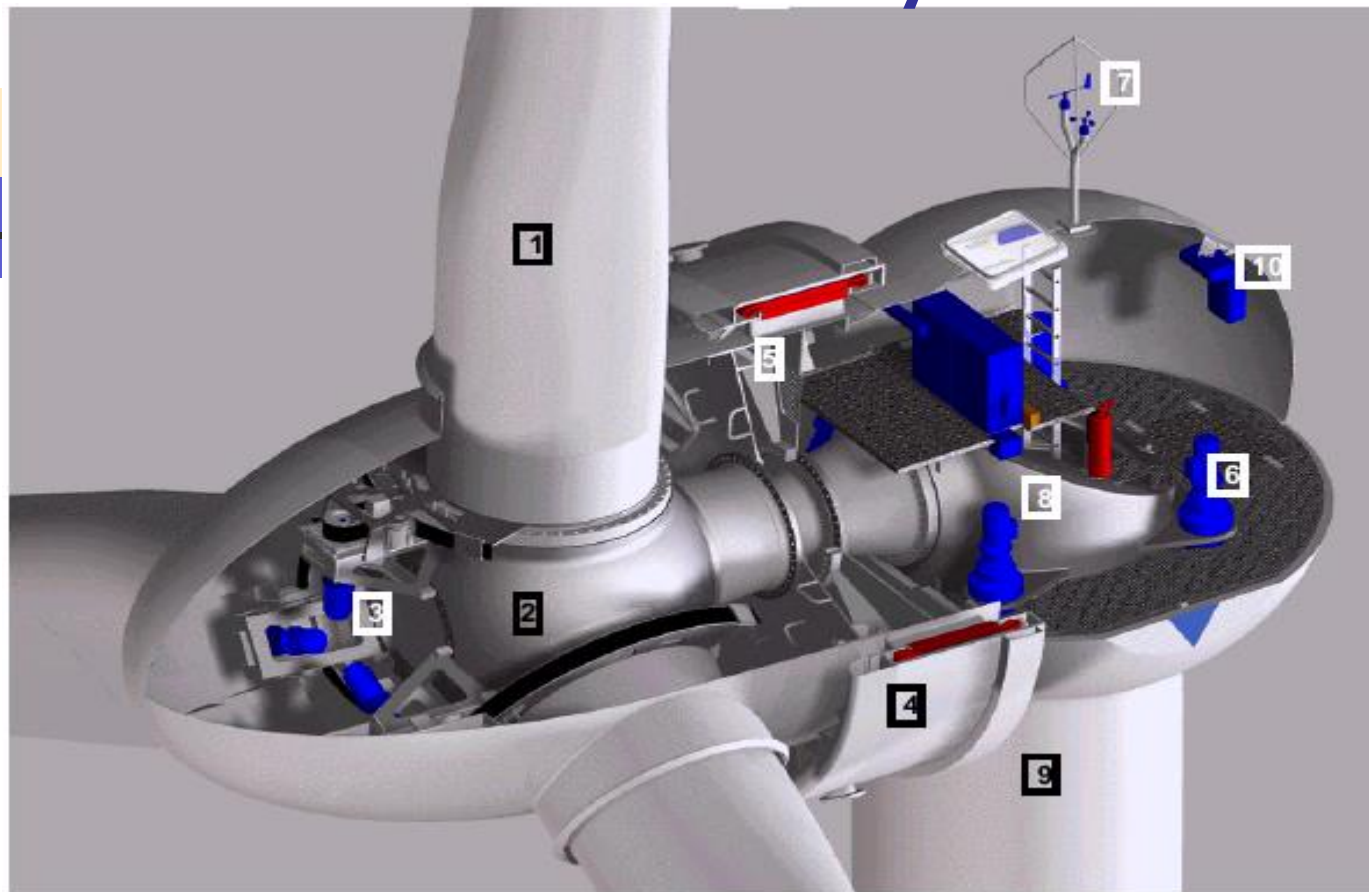
Větrné elektrárny



Větrné elektrárny



Větrné elektrárny



1 List rotoru

2 Litinový náboj

3 Nastavování listů

4 Rotor generátoru

5 Stator generátoru

6 Azimutální pohon

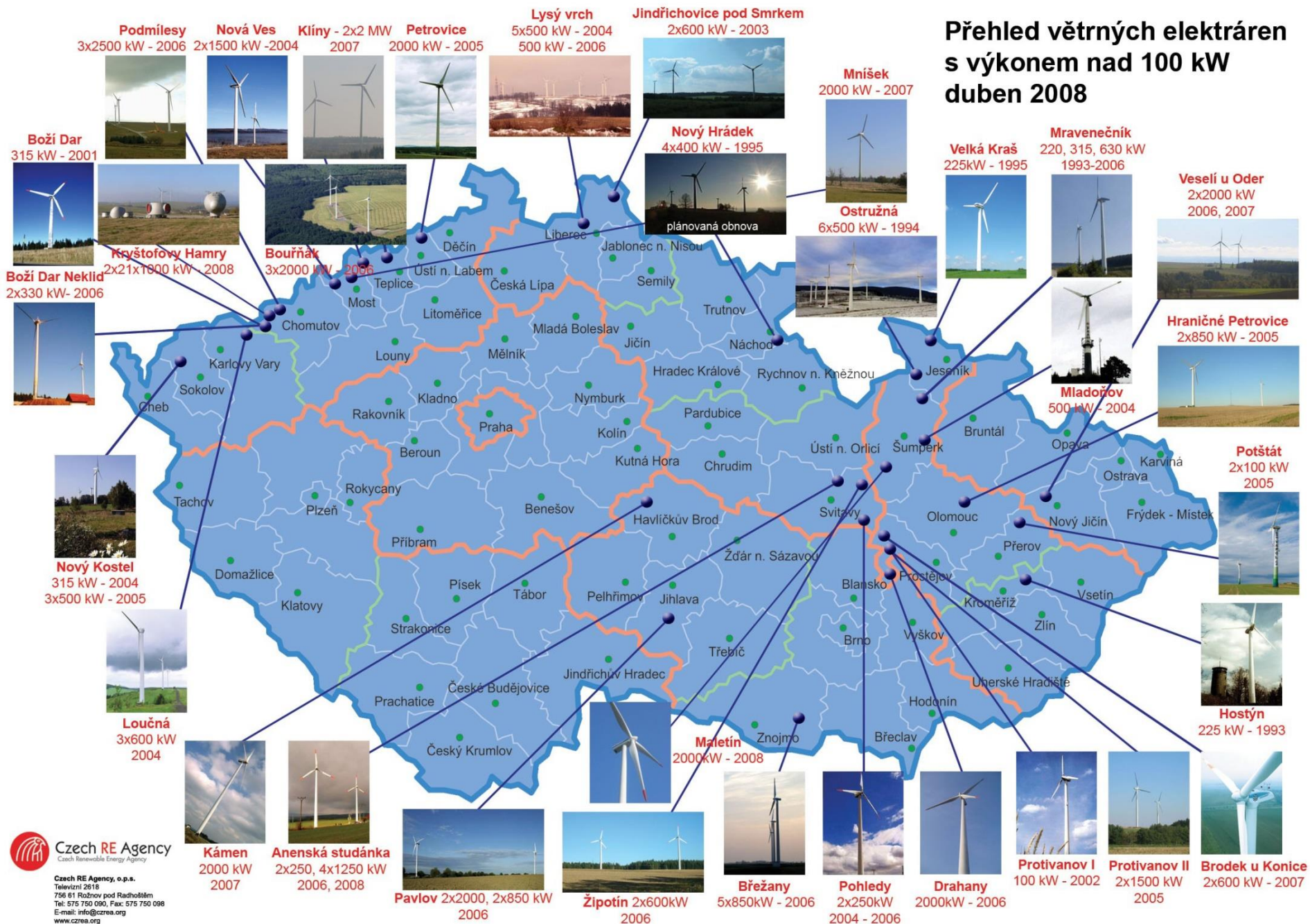
7 Zařízení pro měření větru

8 Základní rám stroje

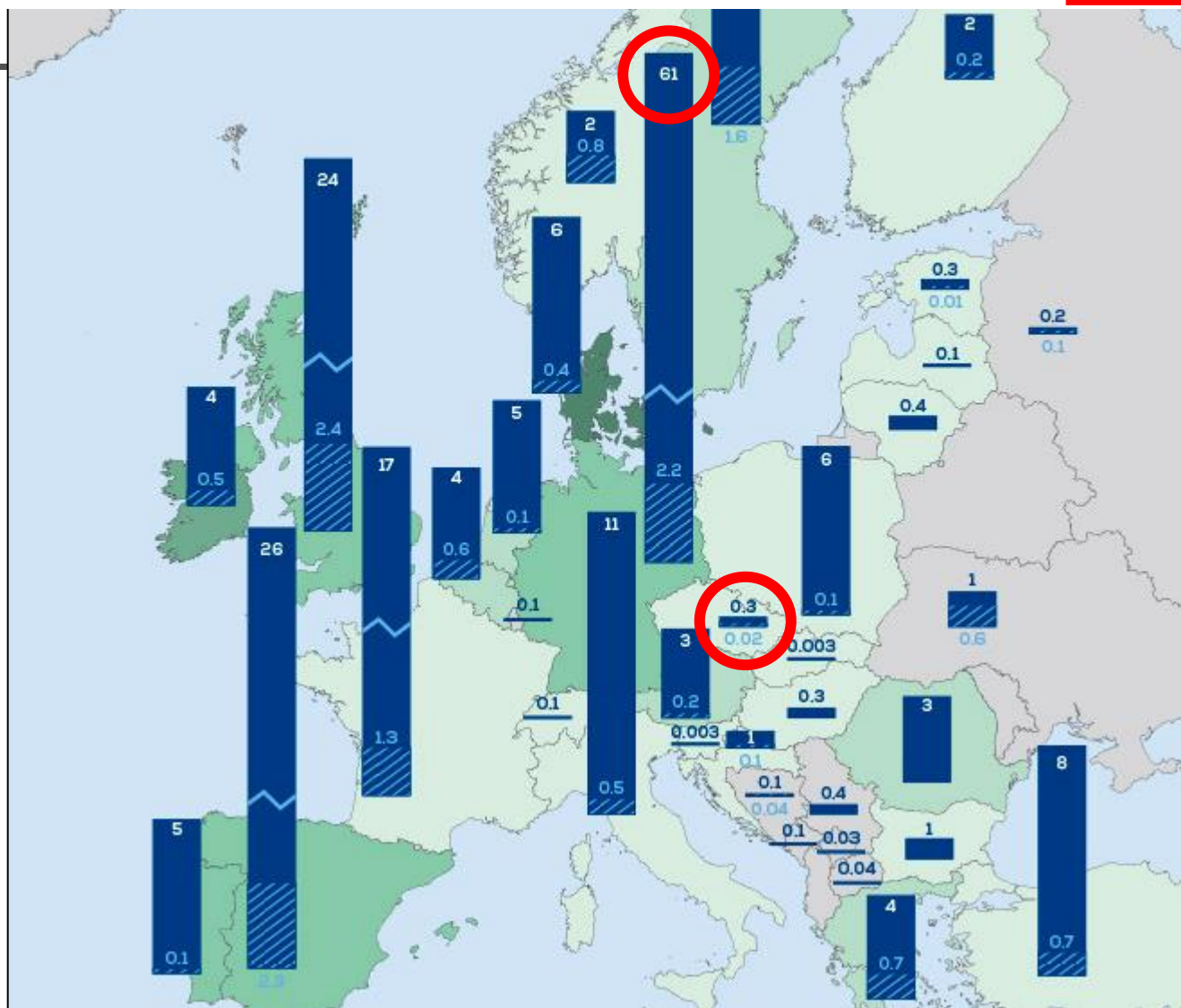
9 Věž

10 Pomocný jeřáb

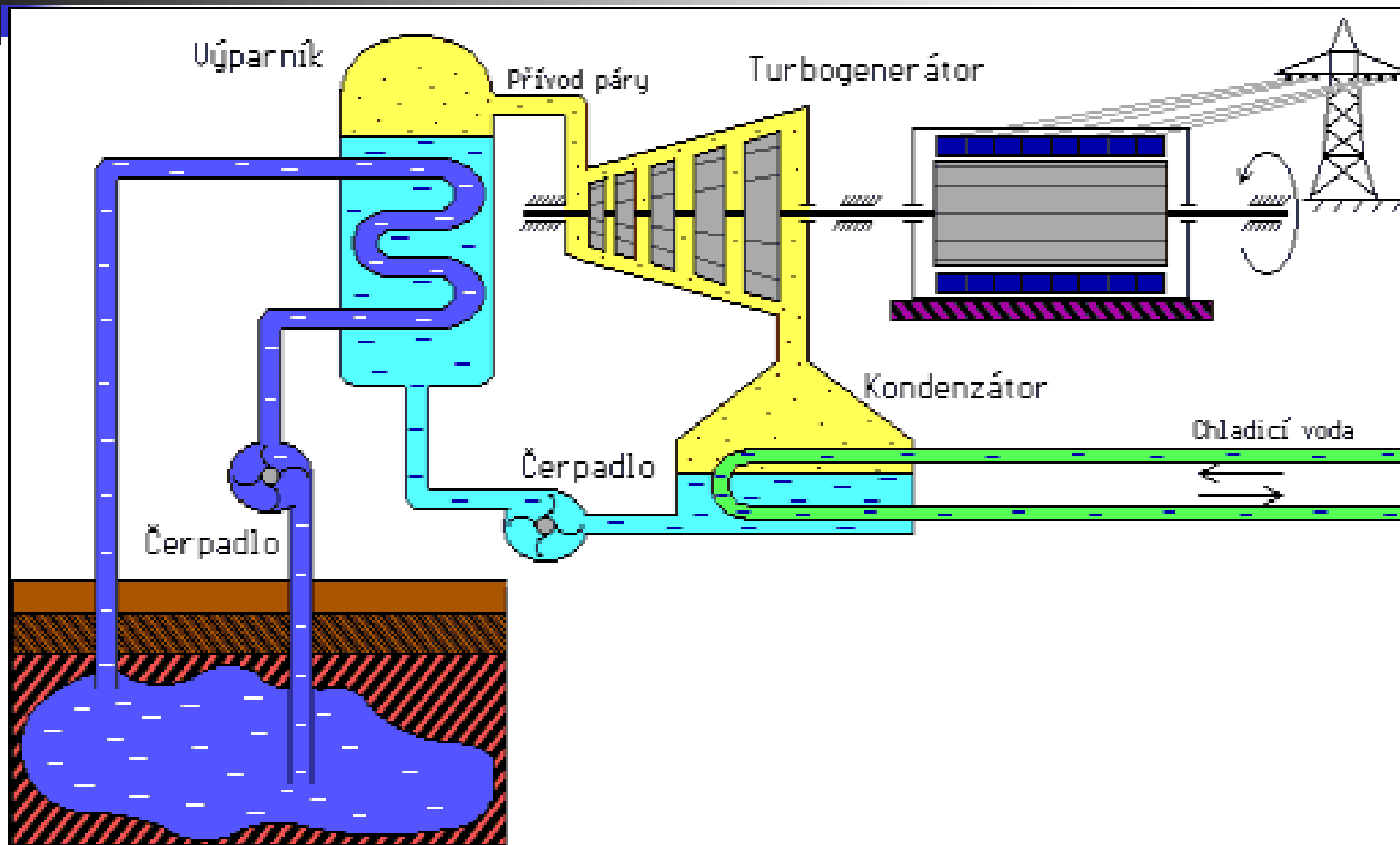
Přehled větrných elektráren s výkonem nad 100 kW duben 2008



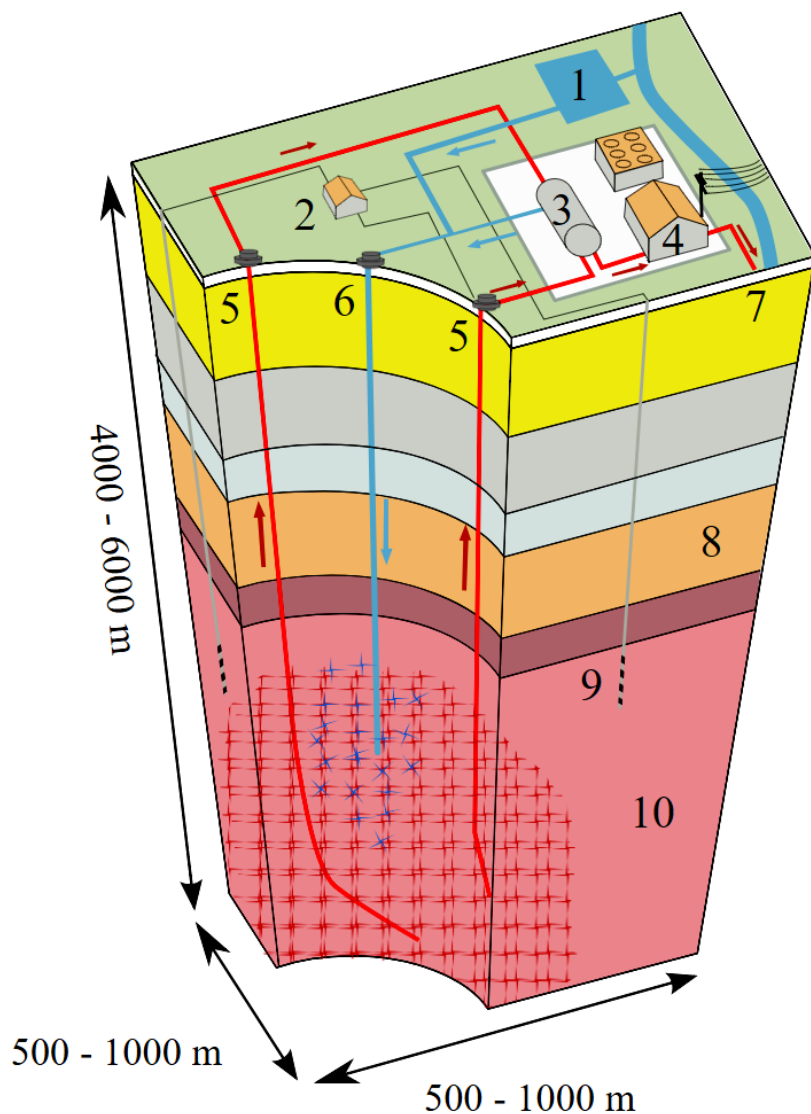
Přehled instalovaných výkonů v Evropě v roce 2019



Geotermální elektrárny



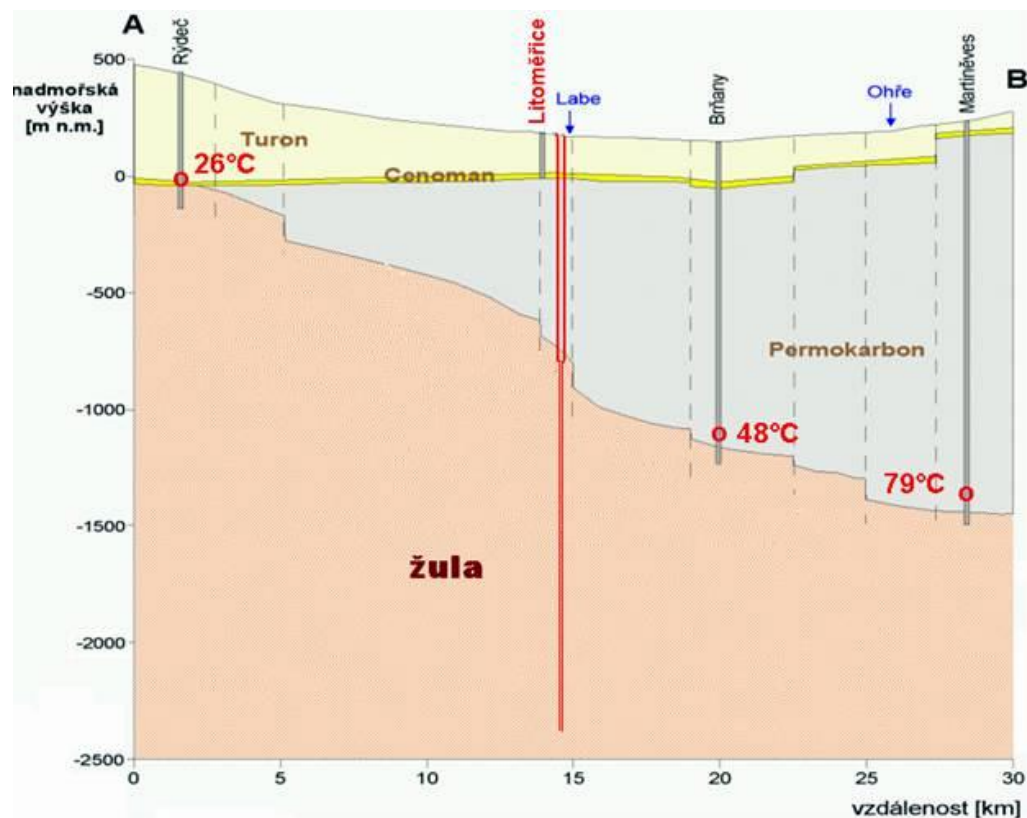
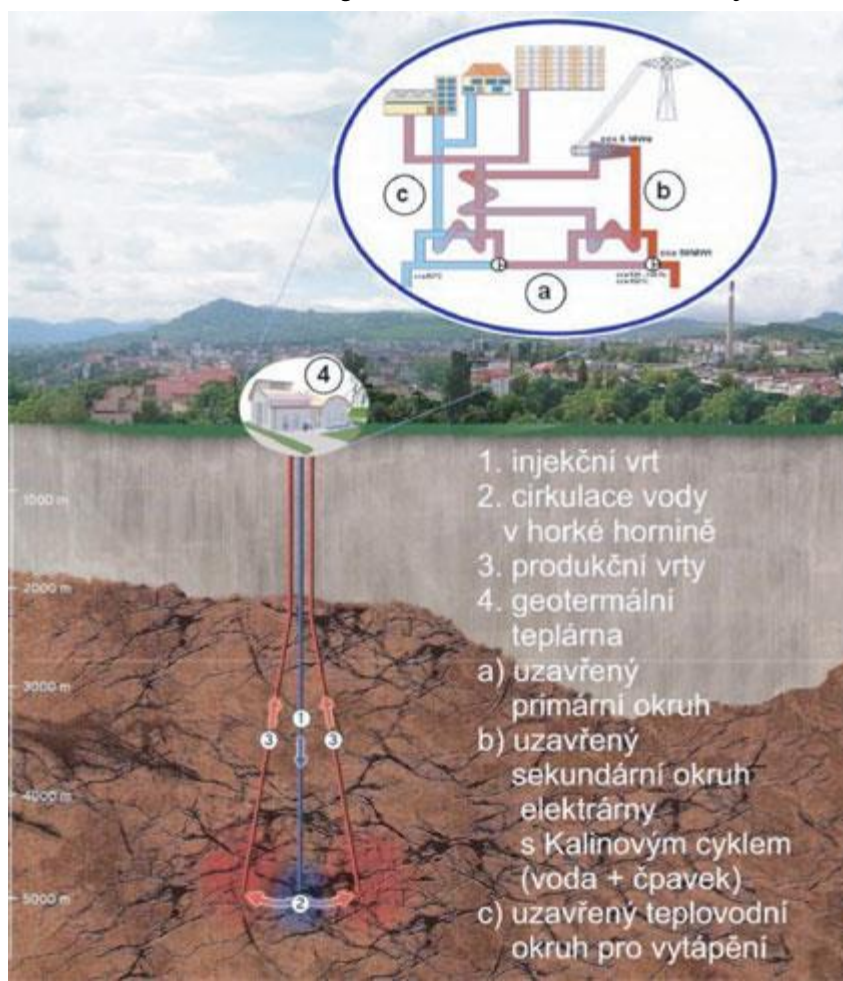
Geotermální elektrárny



- 1:Nádrž
- 2:Čerpací stanice
- 3:Tepelný výměník
- 4:Strojovna
- 5:Vstupní produkční šachta (vrt)
- 6:Výstupní vstřiková šachta (vrt)
- 7:Horkovod pro teplárenské účely
- 8:Porézní sedimenty
- 9:Měřicí šachta (vrt)
- 10:Krystalické podloží

Geotermální elektrárny

Projekt HDR (Hot Dry Rock) Litoměřice



Geotermální elektrárny

Geotermální elektrárna Nesjavellir (Island) - 120 MW





Geotermální elektrárny

| Země | Instalovaná kapacita 2014 (MWe) | Výroba elektřiny v roce 2012 (GWh) | Podíl na výrobě elektřiny 2012 (%) |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Spojené státy Americké | 3 442 | 15 562 | 0,38 |
| Filipíny | 1 904 | 9 934 | 15,05 |
| Indonésie | 1 333 | 10 556 | 6,11 |
| Mexiko | 1 005 | 5 792 | 2,09 |
| Itálie | 901 | 8 768 | 3,06 |
| Nový Zéland | 895 | 6 015 | 14,02 |
| Island | 664 | 4 974 | 28,93 |
| Japonsko | 537 | 2 917 | 0,30 |
| Turecko | 275 | 850 | 0,37 |
| Keňa | 237 | 1 518 | 19,93 |
| Kostarika | 208 | 1 473 | 14,90 |
| Salvador | 204 | 1 525 | 25,45 |
| Nikaragua | 104 | 550 | 15,63 |
| Rusko | 97 | 505 | 0,05 |
| Papua-Nová Guinea | 56 | 400 | 12,03 |
| Guatemala | 42 | 271 | 3,24 |
| ostatní | >30 | >250 | - |