

Člověk a energie – 1. přednáška

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obsah přednášky

- Úvod do energetiky – energetický systém, rozdělení zdrojů energie, výhřevnost paliv,
- Diagram zatížení
- Stavové diagramy: T-s, i-s, p-V diagram
- Blokové schéma elektrárny
- Elektrárenské oběhy: parní oběh, plynový, paroplynový, kogenerace, trigenerace
- Otázky pro studenty



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

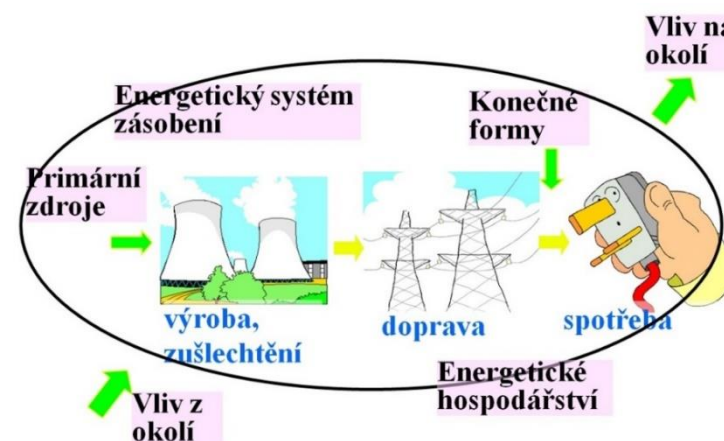
Energetický transformační systém

- Slouží pro dodávku koncové užité energetické formy:

- Elektrická energie
- Teplo
- Paliva



- Vyžadované v určité kvalitě a v množství, v konkrétním čase, zároveň dostupné za rozumnou cenu a získané bezpečně a environmentálně přijatelným způsobem.
- Koncová užitná forma je získána transformací primárního (nebo také sekundárního) zdroje, který je charakterizován energetickým potenciálem ve formě:
 - Kinetické a potenciální energie.
 - Záření a tepelné energie.
 - Energie chemicky vázané v molekulách.
- Zdroj může být obecně primární (fosilní nebo jaderné palivo, voda, biomasa, slunce či vítr apod), sekundární (odpadní teplo, odpadní tlaky, komunální odpad) a obnovitelný či neobnovitelný.

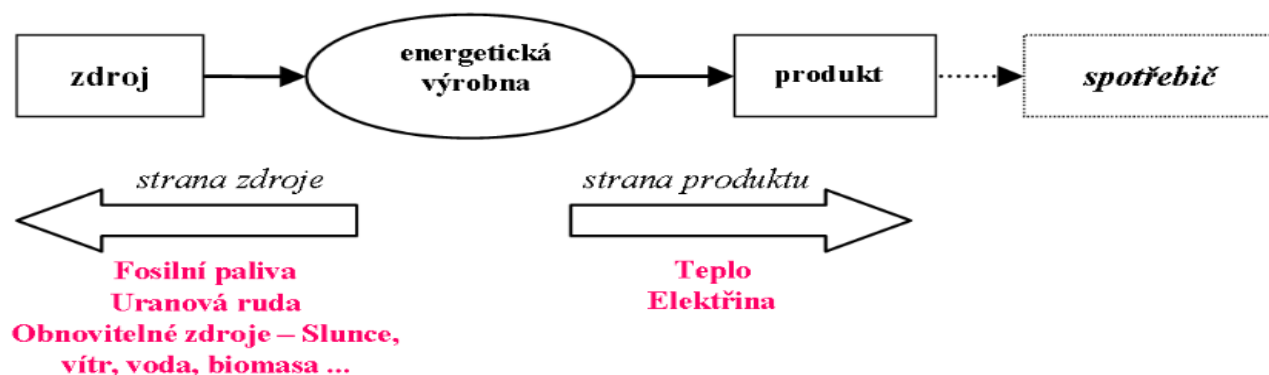


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Kritéria pro koncovou formu energie

- Transformovatelnost – schopnost určitého druhu energie být přetransformován na druh jiný.
- Akumulovatelnost – vyrovnávání časové a výkonové disproporce mezi výrobou energie a její spotřebou krátkodobě i dlouhodobě.
- Transportovatelnost – schopnost technicky a ekonomicky dopravit energii z místa výroby do místa spotřeby.
- Spolehlivost dodávky – schopnost energetické výroby dodávat produkt v množství a kvalitě, která je v daný okamžik případně po určitou dobu požadovaná.
- Ekologická stopa – komplexní hodnocení veškerých zúčastněných procesů z hlediska vlivu na životní prostředí (těžba zdrojů, výroba a provozování transformačních technologií, vznikající odpad apod.)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Zdroje energie

- Primární – fosilní a jaderná paliva, voda, biomasa, ostatní přírodní zdroje.
- Sekundární – odpadní teplo, odpadní tlaky, odpady jako takové.
- Konvenční – běžné využívané zdroje (fosilní a jaderná paliva, voda, slunce, vítr ...).
- Nekonvenční – méně využívané zdroje (geotermální energie, slapová energie, ...).
- Obnovitelné – energie ze Slunce, ze zemské rotace nebo ze zemského jádra (tepla).
- Neobnovitelné – energie chemicky vázaná v palivu, uvolní se spálením, jadernou reakcí.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

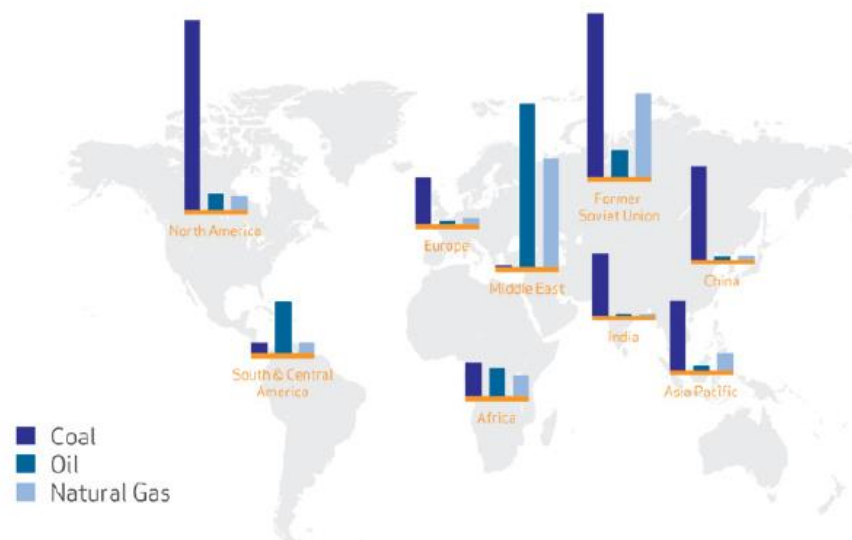
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Fosilní paliva

- Nerostná surovina vznikající rozkladem dávnych odumřelých rostlin a živočichů za nepřístupu vzduchu. Proces obnovy fosilních paliv trvá stovky miliónů let => považují se za neobnovitelné.
- Ropa, zemní plyn a uhlí – od průmyslové revoluce hromadně nahrazují dřevo, které již nestačí vyhovovat požadavkům na výhřevnost a dostupnost v dostatečném množství.
- Fosilní paliva jsou však kromě energetiky použitelná také například v dopravě v podobě rafinované ropy nebo jako méně používaný ropný plyn (LPG).
 - Zavedený systém dodávky a čerpání paliva do vozidel, stále (zatím) mnohem rozsáhlejší než síť čerpacích stanic biopaliv nebo nabíjecích stanic pro elektromobily.



Location of the world's main fossil fuel reserves (billion tonnes of oil equivalent)



Source: BP Statistical Review of World Energy 2011



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tuhá paliva

- Lignit – mladé hnědé uhlí, nejméně karbonizované
 - Obsah vody 40 – 55 %
 - Obsah popelovin 16 – 25 %
 - Výhřevnost 8 – 10 MJ/kg
- Hnědé uhlí
 - Obsah vody 15 – 35 %
 - Obsah popelovin 5 – 25 %
 - Výhřevnost 10 – 17 MJ/kg
- Černé uhlí
 - Obsah vody 4,5 – 10 %, obsah popelovin 5 – 10 %, výhřevnost 22 – 30 MJ/kg
- Antracit – čisté černé uhlí, vysoký podíl uhlíku (90 – 96 % C), vzniká vystavením černého uhlí vysoké teplotě a tlaku
 - Minimální obsah vody a popelovin, výhřevnost 32 – 34 MJ/kg
- Odpad – netříděný komunální odpad s výhřevností 7 – 12 MJ/kg. Tříděním se může výhřevnost zvýšit, např. hodnoty výhřevnosti některých plastů se blíží plyným palivům.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Plynná paliva

Výhřevnosti jsou uvedené za normálních (standartních) podmínek – teplota 0 °C, tlak $p = 101,325 \text{ kPa}$ (atmosférický). Výhřevnosti uvedené v MJ/Nm^3 (tedy MJ na tzv. normální kubík).

- Přírodní zemní plyn (hlavní složka je metan a ethan), výhřevnost cca 36.
- Ropné kapalné plyny (vznikají rafinací ropy)
 - propan (výhřevnost cca 95), butan (výhřevnost cca 121).
- Koksárenský plyn – směs plynů vznikajících při koksování černého uhlí, výhřevnost cca 16.
- Syntézní plyn – procesní plyn ze zplyňování uhlí, biomasy, odpadů, výhřevnost 4 – 20.
- Vysokopecní (kychtový) plyn – vzniká při hutním zpracování železa, výhřevnost 15 – 18.
- Bioplyn – plyn vznikající v bioplynových stanicích anaerobní fermentací, výhřevnost 18 – 26.

Poznámka: Kvalitu plyných paliv může snížit zvýšený podíl vodní páry a nehořlavých plynů.

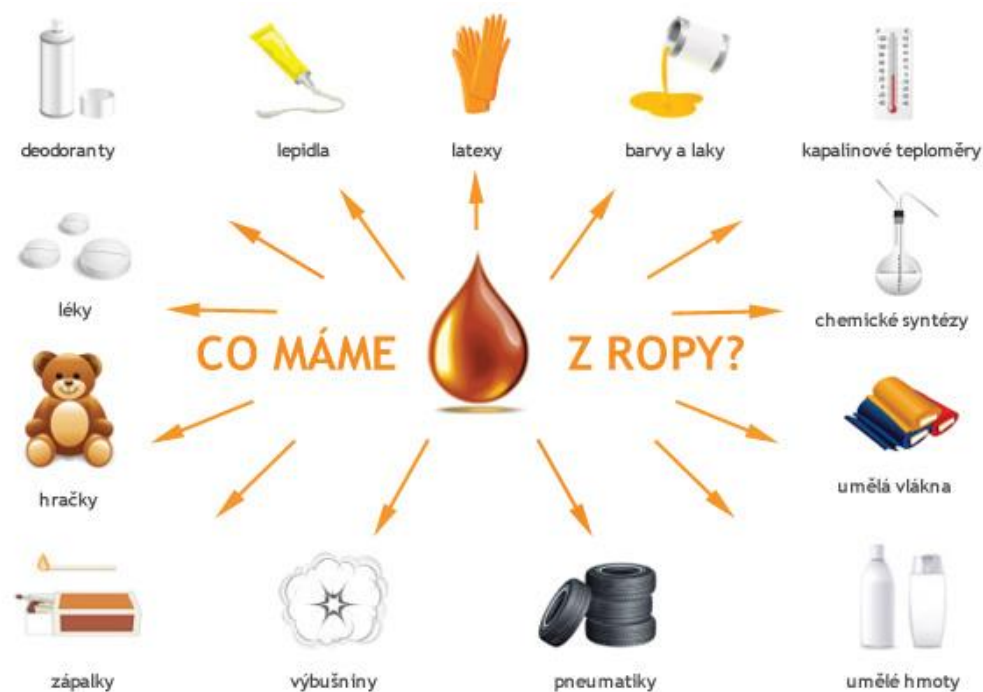


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Kapalná paliva

- Ropa – skládá se z kapalných uhlovodíků + nevýznamné příměsi síry, vody, minerálů
 - Výhřevnost 40 – 44 MJ/kg
 - Velmi široké uplatnění napříč průmyslem.
- V praxi se surová ropa zpracovává (dvoustupňově frakční destilací a krakováním) na topné oleje (výhřevnosti 39 – 43 MJ/kg). Dle hustoty:
 - TTO (těžký topný olej)
 - LTO (lehký topný olej)
 - TOEL (extra lehký topný olej)
- Topné oleje se v praxi doplňují o aditiva pro lepší spálení, snížení vazkosti a schopnosti způsobovat korozi.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Jaderné palivo

U jaderného paliva nehovoříme o výhřevnosti, ale o vyhoření, které udáváme v jednotkách megawattden na kilogram (MWd/kg). Přitom $1 \text{ MWd} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ MJ}$. Porovnání udává následující tabulka (zdroj cez.cz):

Palivo	Výhřevnost MJ/kg
Černé uhlí (ČEZ v r.1994)	21,3
Hnědé uhlí (ČEZ v r.1994)	11,4
Suché dřevo	16,0
Benzín	42,7
Petrolej	44,4
Vodík	95,5
Jaderné palivo firmy WEC pro JE Temelín	cca $45 \text{ MWd/kg} = 3,9 \cdot 10^6 \text{ MJ/kg}$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obnovitelná energie - původ

Ze Slunce

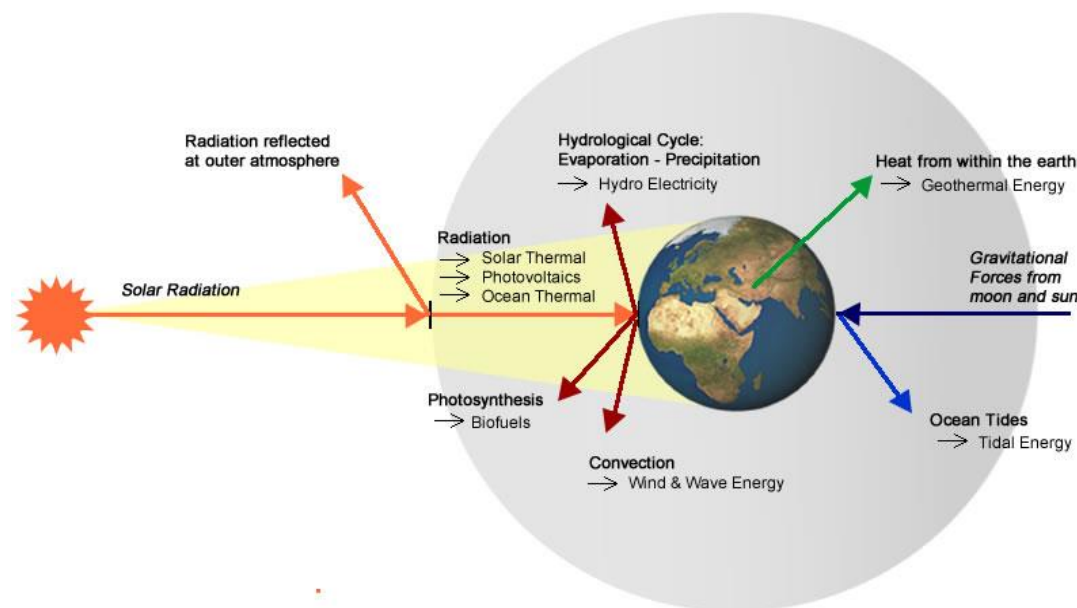
- sluneční energie – Slunce předává Zemi svou energii ve formě záření.
- větrná energie – Slunce ohřívá Zemi nerovnoměrně => tlakové rozdíly v atmosféře vyrovnávané prouděním vzduchu.
- vodní energie – Slunce spolu s gravitační silou Země umožňuje koloběh vody.
- energie biomasy – sluneční záření umožňuje fotosyntézu a je nezbytné pro organický život.

Ze zemského jádra

- geotermální energie – zbytkové teplo zemského nitra + teplo z jaderných rozpadů v zemském tělese.

Ze zemské rotace

- slapová energie – rotace Země a gravitační působení Slunce a Měsíce způsobuje příliv a odliv.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obnovitelné zdroje - vlastnosti

Výhody:

- Množství energie přesahuje o několik řádů dnešní i budoucí spotřebu energie.
- Plošné rozptýlení po celém světě (možnost decentralizace zdrojů).
- Menší negativní vliv na ŽP.
- Při provozu většinou nejsou zdrojem skleníkových plynů.

Nevýhody:

- Materiálově a prostorově náročná jímací zařízení (nutné kompenzovat nízkou plošnou, respektive prostorovou hustotu energie), často vysoké pořizovací náklady.
- Značné a nepředvídatelné výkyvy u některých typů OZE – hrozí přetoky výkonu v elektrizační soustavě a její přetížení (v krajním případě nutnost regulovat výkon ostatních elektráren) – řešení: zálohování nebo akumulace energie (ve velké míře neumíme).

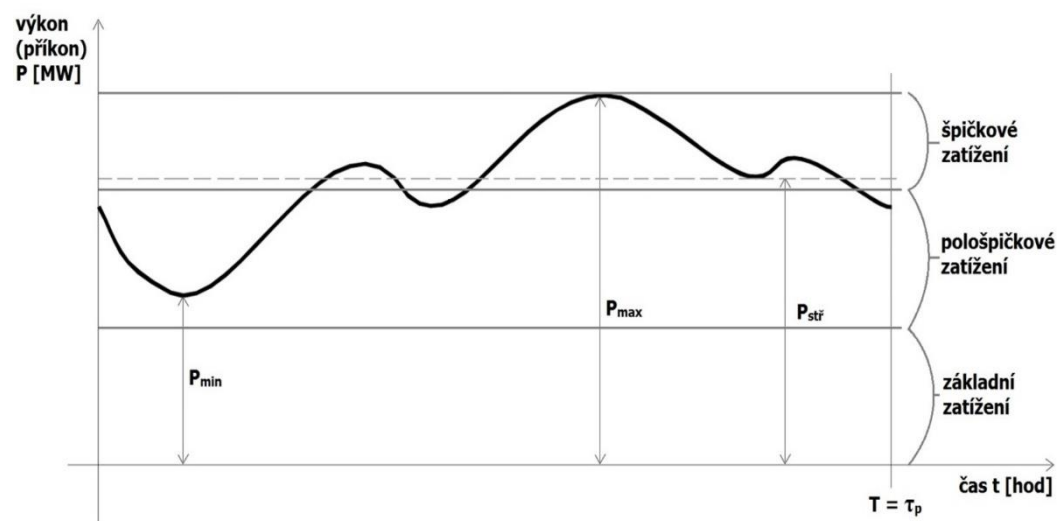


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Diagram zatížení

- Udává poměry v elektrizační soustavě. Nejčastěji se uvádí denní diagram zatížení, tedy závislost výroby (spotřeby) elektrické energie v čase, tedy během 24 hodin.
- Strategie pokrývání diagramu zatížení je dle schopnosti a ekonomické náročnosti regulace od špatně regulovatelných bloků po dobře regulovatelné.
- **Základní zatížení** – hůře regulovatelné elektrárny: klasické tepelné s vysokou účinností a velkým výkonem, jaderné elektrárny, větrné, fotovoltaické a vodní průtočné (jezové) elektrárny.
- **Pološpičkové zatížení** – starší klasické tepelné elektrárny s menší účinností, paroplynové a vodní akumulární (přehradové) elektrárny.
- **Špičkové zatížení** – vodní přečerpávací elektrárny, občas rovněž vodní akumulární, plynové elektrárny, parní turbíny s rychlým náběhem, výjimečně dieselové a proudové motory.



Stavové diagramy

- Jsou funkční závislosti dvou stavových veličin, ve kterých jsou vidět vždy termodynamické změny a jednotlivé stavy pracovní látky. Stavové veličiny pro diagramy jsou:
 - **měřitelné** – p , v , t (tlak [tlakové jednotky - Pa, Bar, PSI], měrný objem [objemová jednotka/hmotnostní jednotka - m^3/kg], teplota [stupeň teplotní stupnice - $^{\circ}\text{C}$, F, K])
 - **počitatelné** (vypočítané z termodynamických zákonů) – i , s (měrná entalpie [energetická jednotka/hmotnostní jednotka – J/kg, kcal/kg, BTU/lb] a měrná entropie [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$])
- Pomocí z těchto diagramů je možné spočítat hodnotu účinnosti tepelného oběhu.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

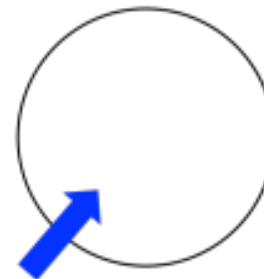
Entalpie

- Extenzivní (vnější, závisí na velikosti systému) stavová veličina – její absolutní hodnotu nelze změřit, pouze spočítat.
- Entalpie (dříve tepelný obsah) je fyzikální veličina označovaná písmenem H nebo I (h nebo i v případě měrných veličin vztažených na 1 kg) udávaná v joulech, která **vyjadřuje energii uloženou v termodynamickém systému.**

$$H = U + p \cdot V$$

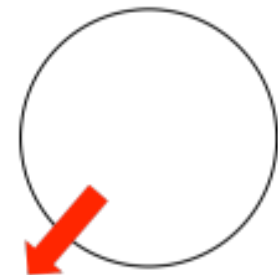
kde U je vnitřní energie (úměrná teplotě) soustavy, p její tlak a V objem.

enthalpy increases



heat energy in

enthalpy decreases



heat energy out



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Entropie

- Míra neuspořádanosti systému, respektive míra neurčitosti systému.
- Nevratné přirozené tepelné procesy probíhající v izolovaných termodynamických soustavách (přenos tepla, rozpínání plynu, atd.) jsou spojeny s neustálým růstem entropie – zvyšuje se míra neurčitosti (neuspořádanosti) systému.
- Princip růstu entropie v izolované soustavě je nejobecnější matematickou formulací 2. věty termodynamiky.
- Při teoretických vratných adiabatických procesech se entropie nemění (**adiabata je současně izoentropou**) – přírůstek entropie je nulový, pak libovolné procesy v izolované termodynamické soustavě – vratné i nevratné jsou charakterizované:

$$\Delta S \geq 0$$

... Princip růstu entropie v izolované soustavě – obecný matematický tvar 2. věty termodynamiky



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

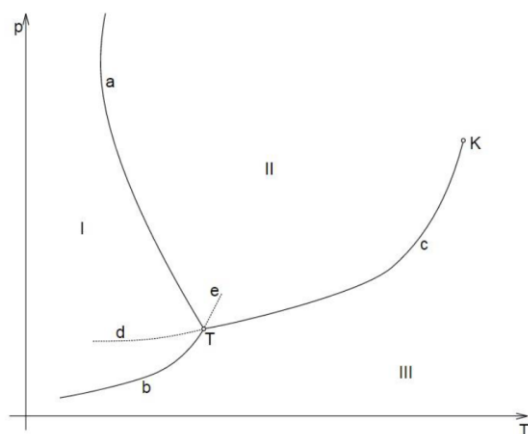
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Diagramy vodní páry – T-s diagram

Kritický bod vody:

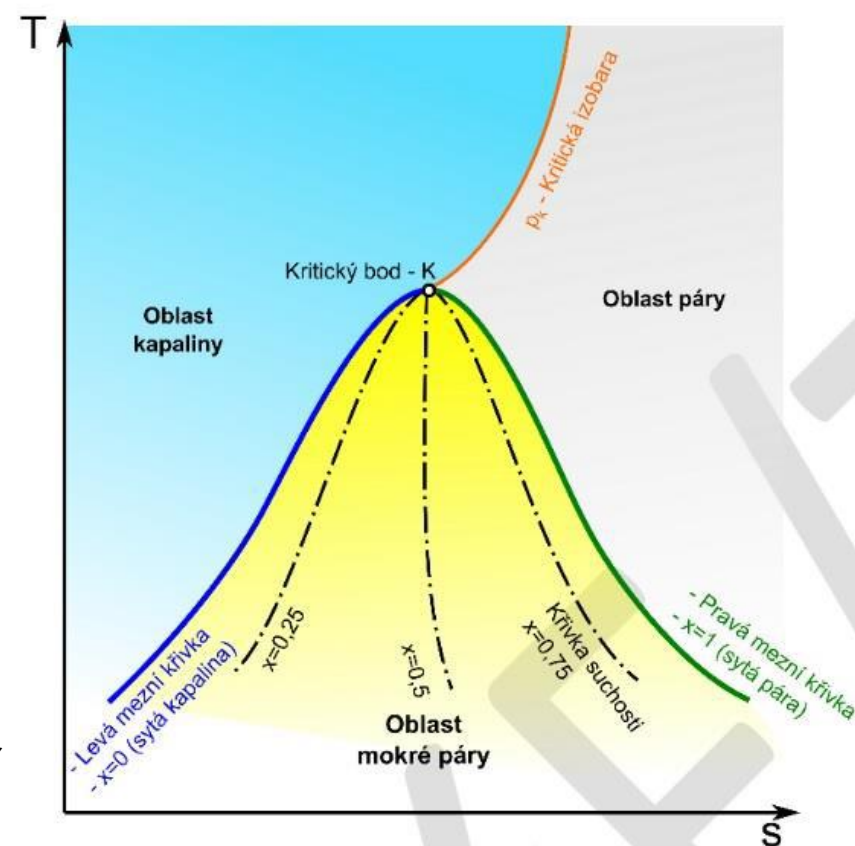
Teplota $t_k = 374\text{ °C}$ ($647\text{ K} = 705\text{ °F}$)

Tlak $p_k = 22,064\text{ MPa}$ ($220,64\text{ bar} = 217,755\text{ atm}$)



I - pevná fáze
II - kapalná fáze
III - plynná fáze
a - křivka tání
b - křivka sublimace
c - křivka odpařování
T - trojný bod
K - kritický bod

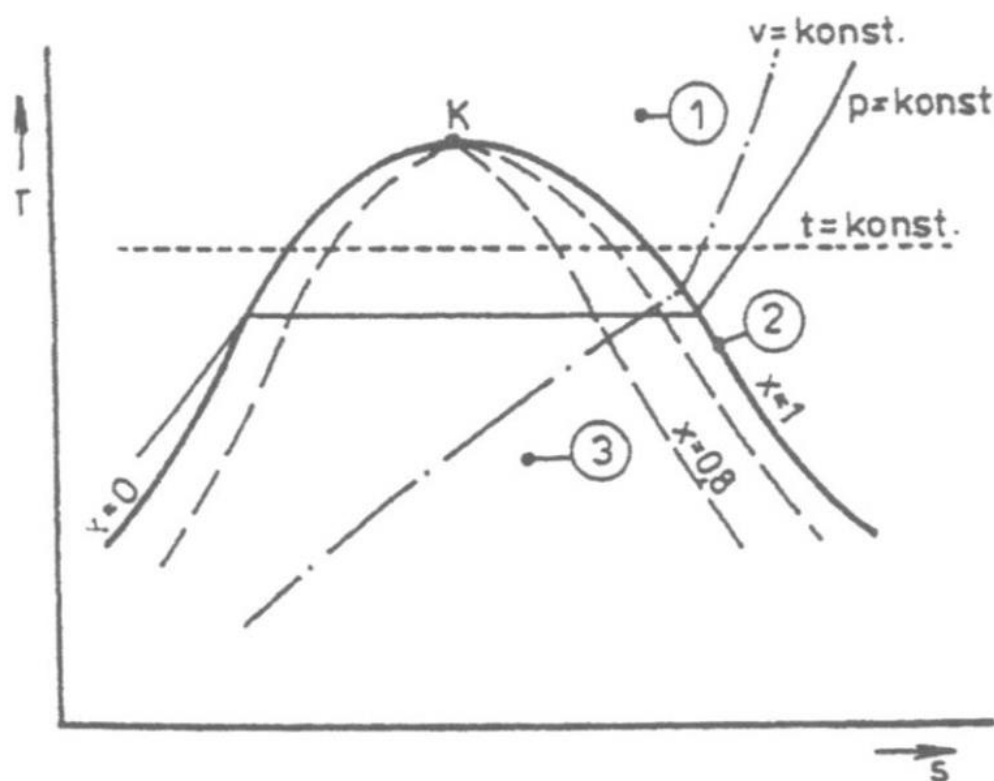
- Při teplotě vyšší než kritická teplota t_k nemůže látka existovat v kapalném skupenství. Plyn, který má teplotu vyšší než je kritická teplota, nelze žádným stlačováním zkapalnit.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

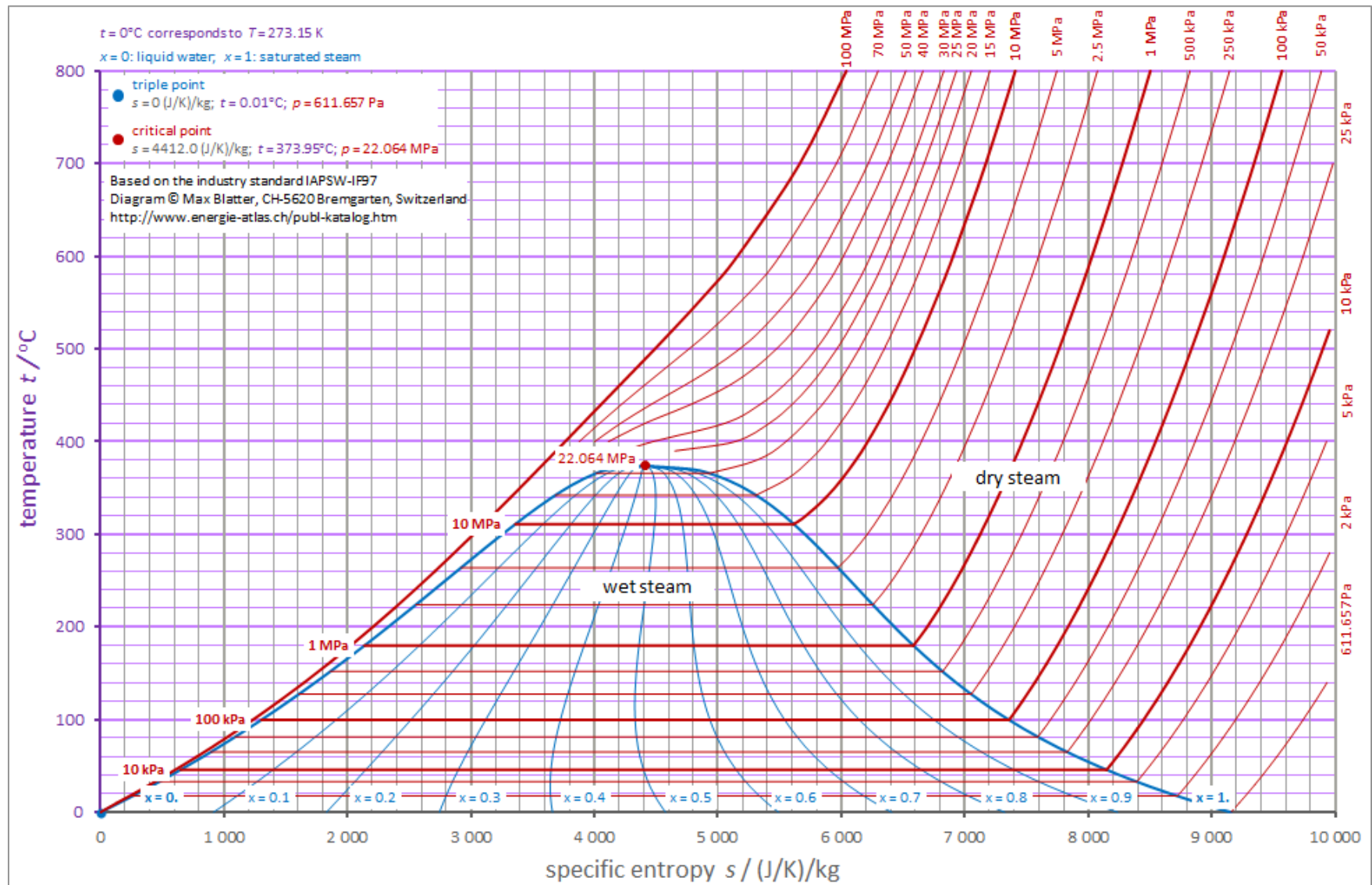
Diagramy vodní páry – T-s diagram



- Oblast 1 – přehřátá pára.
- Oblast 2 – suchá sytá pára (sytá pára bez vlhkosti).
- Oblast 3 – mokrá pára (směs – pára s určitým množstvím vlhkosti – suchost x), v oblasti mokré páry izobara splývá s izotermou!
- Z diagramu vyplývá možnost zobrazení izoterm ($t = \text{konst.}$), izobary ($p = \text{konst.}$), izochory ($V = \text{konst.}$).



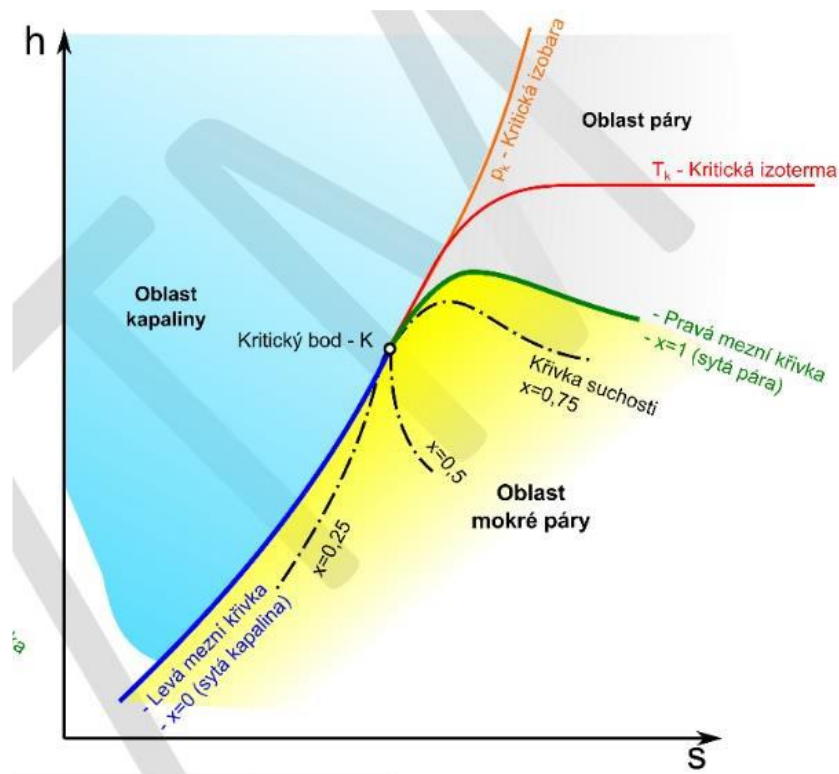
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



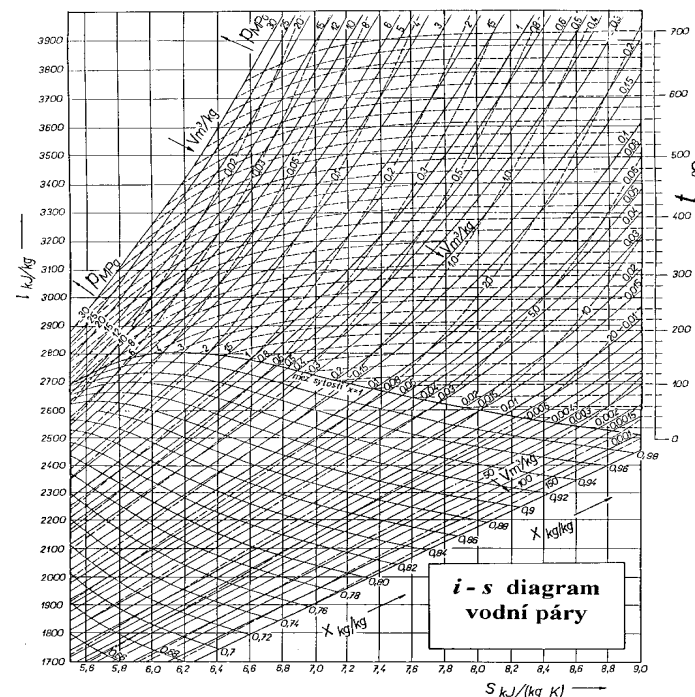
EVROPSKÁ UNIE
 Evropské strukturální a investiční fondy
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání


 MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
 MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Diagramy vodní páry – i-s diagram (h-s)



- V i-s (nebo h-s) diagramu se zobrazuje oblast kolem pravé mezní křivky, tedy oblast přechodu mezi přehřátou párou a mokrou párou, kde je patrná vykonaná práce úměrná rozdílu entalpií v admisní a emisní bodě.



Na osách se zobrazuje entalpie (svislá osa) a entropie (vodorovná osa).



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Izobara 10 MPa

izobary

Izoterma 510 °C

izotermny

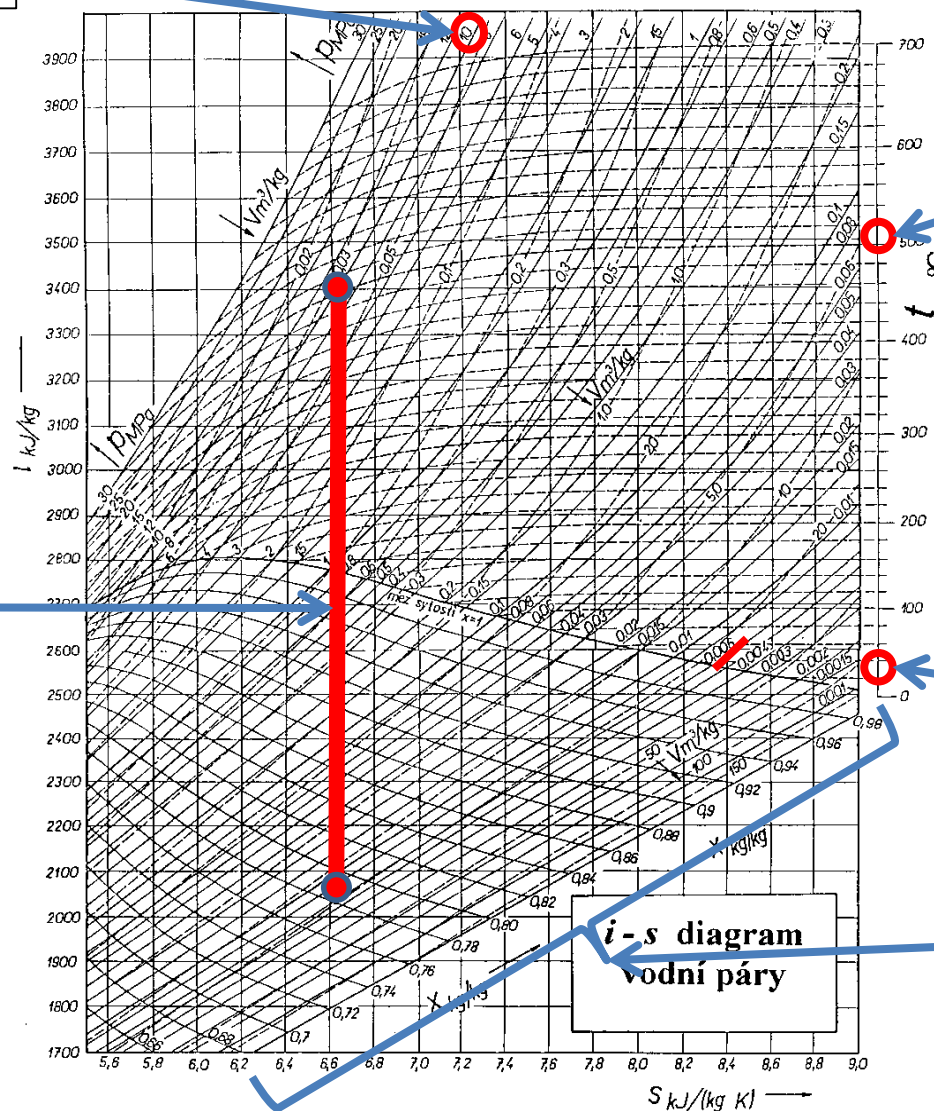
izoentropická
(adiabatická)
expanze

$$w^{ad} = i_a - i_e$$

izoterma 35 °C, v
oblasti mokré páry
shodná s izobarou
0,006 MPa

suchost páry

i - *s* diagram
vodní páry



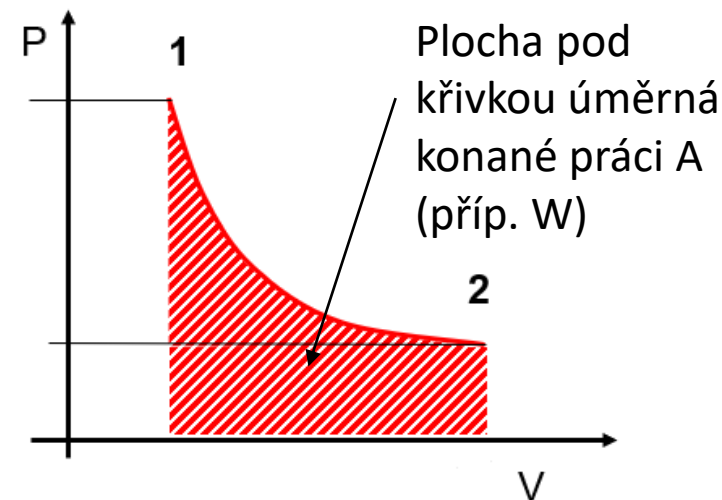
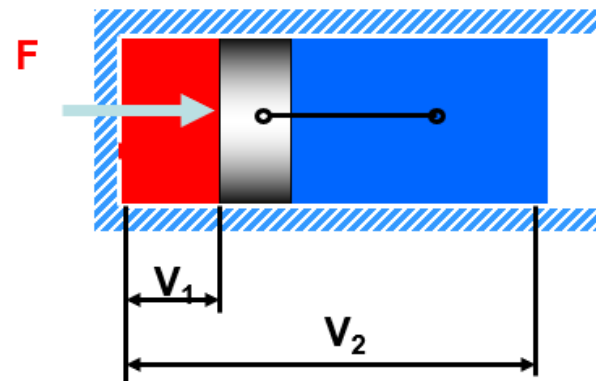
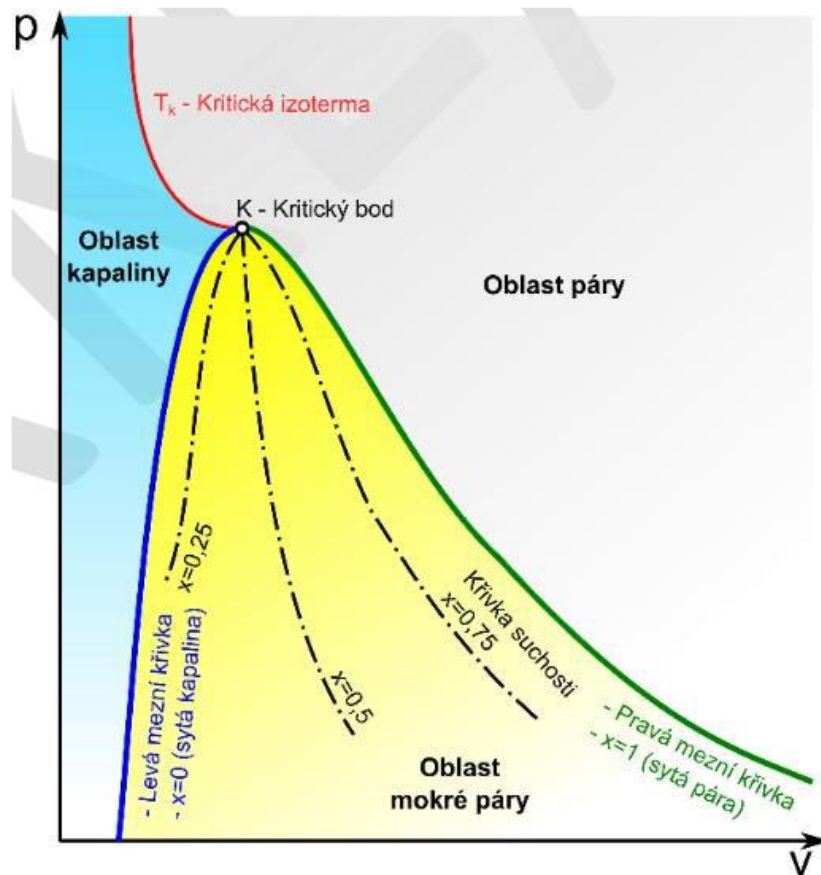
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Diagramy vodní páry – p-V diagram

- Popisuje změny objemu a tlaku v systému.
- V diagramu je možné vizualizovat množství dodané a získané práce vzhledem k definici práce:

$$A = p \cdot \Delta V$$

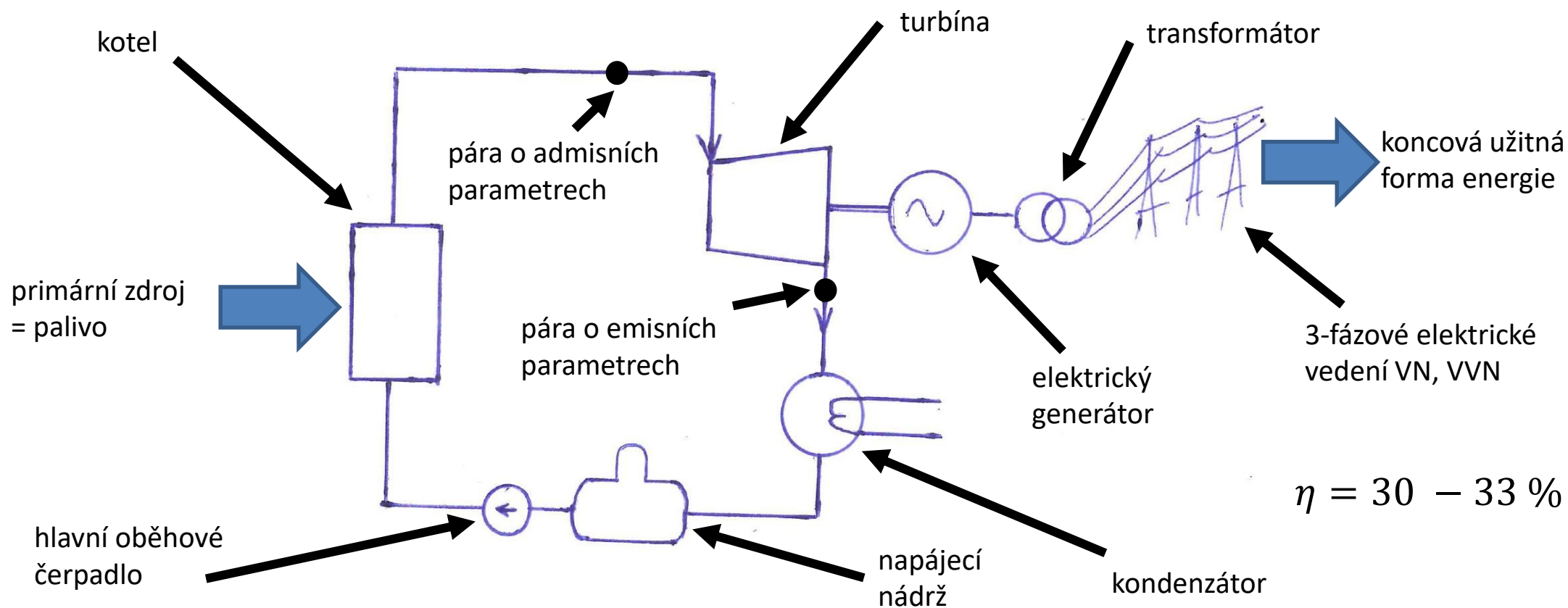


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Klasická tepelná elektrárna – blokové schéma



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tepelná elektrárna - kotel

- Kotel (tepelný zdroj) – termodynamické zařízení, v němž dochází k přívodu tepla získaného transformací energie primárního zdroje do pracovní látky tepelného oběhu (voda).
- Nejprve dojde k ohřevu vody v ekonomizéru (využití tepla spalin před vstupem do systému čištění) => v ekonomizéru dochází k **izobarickému ohřátí** pracovní látky.
- Následně dojde ve výparníku k varu a k vytvoření suché páry (využití tepla bezprostředně v prostoru ohniště) => ve výparníku dochází k **izobarickému a současně izotermickému vypařování**.
- Běžnou součástí parního kotle je na výparník navazující přehřívák, který vytváří přehřátou páru zavedením páry zpět nad ohniště => **izobarické přehřátí** páry v přehříváku.
- Z kotle proudí pára dále na turbínu o tzv. admisních parametrech, jejichž typické hodnoty jsou tlak 2 – 25 MPa a teplota 300 – 650 °C (př. uhelná elektrárna v ČR Prunéřov – 13,63 MPa a 540 °C).



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tepelná elektrárna - turbína

- Turbína (tepelný motor) – otevřený termodynamický systém, ve kterém platí zákon zachování energie a dochází v něm k transformaci tepelné energie na mechanickou práci vytvořením rychlostního proudu pracovní látky, jenž vytvoří kroutící moment na hřídeli spojené s generátorem.
- Turbína je lopatkový stroj pro který je typický tlakový rozdíl, tudíž dochází ideálně k **izoentropické (adiabatické) expanzi** pracovní látky na tzv. emisní parametry (tlak, teplota, entalpie).
- Mechanická práce je rovna **rozdílu admisní a emisní entalpie**.
- Rozváděcí lopatkové kolo je nepohyblivé a slouží k usměrnění (urychlení) proudu do oběžného kola, kde se kinetická energie přemění na mechanickou práci.

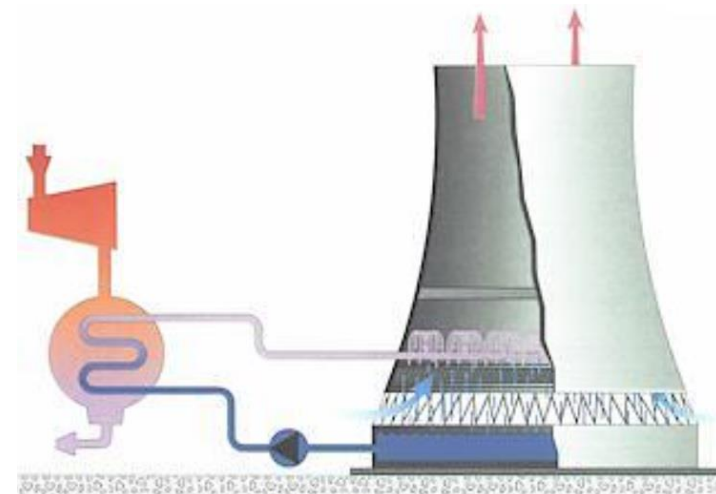


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tepelná elektrárna - kondenzátor

- Kondenzátor je tepelný výměník pro **izobarické ochlazení** pracovní látky (páry) a její přeměnu (**izobarickou a současně izotermickou kondenzací**) na kapalinu (kondenzát). Obvyklými chladicími médii jsou voda nebo vzduch.
- Chladicí věž slouží k ochlazování chladicího média.
- Chladicí věže k ochlazování používají proud vzduchu. Ten může být přirozený, způsobený komínovým efektem vysokých věží, nebo nucený, poháněný ventilátorem nad tepelným výměníkem.
- Chladicí věže se dělí podle toho, zda ochlazovaná voda přichází do přímého styku s proudícím vzduchem (otevřený okruh) nebo tato voda prochází věží v uzavřeném potrubí (uzavřený okruh).



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tepelná elektrárna - čerpadlo

- Hlavní oběhové čerpadlo zajišťuje cirkulaci pracovní látky tepelným okruhem v množství odpovídajícímu tepelnému výkonu kotle, čímž okruh uzavírá. Díky **adiabatické (izoentropické) kompresi** vytváří potřebný tlakový rozdíl pro expanzi.
- Čerpadlo je mechanický stroj, který dodává kinetickou, potenciální, nebo tlakovou energii tekutině, která skrz něj protéká. Obvykle je poháněno výkonným motorem, jehož spotřeba představuje nejvýznamnější položku ve vlastní spotřebě elektrárny (8 – 15 %).



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Klasická tepelná elektrárna



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

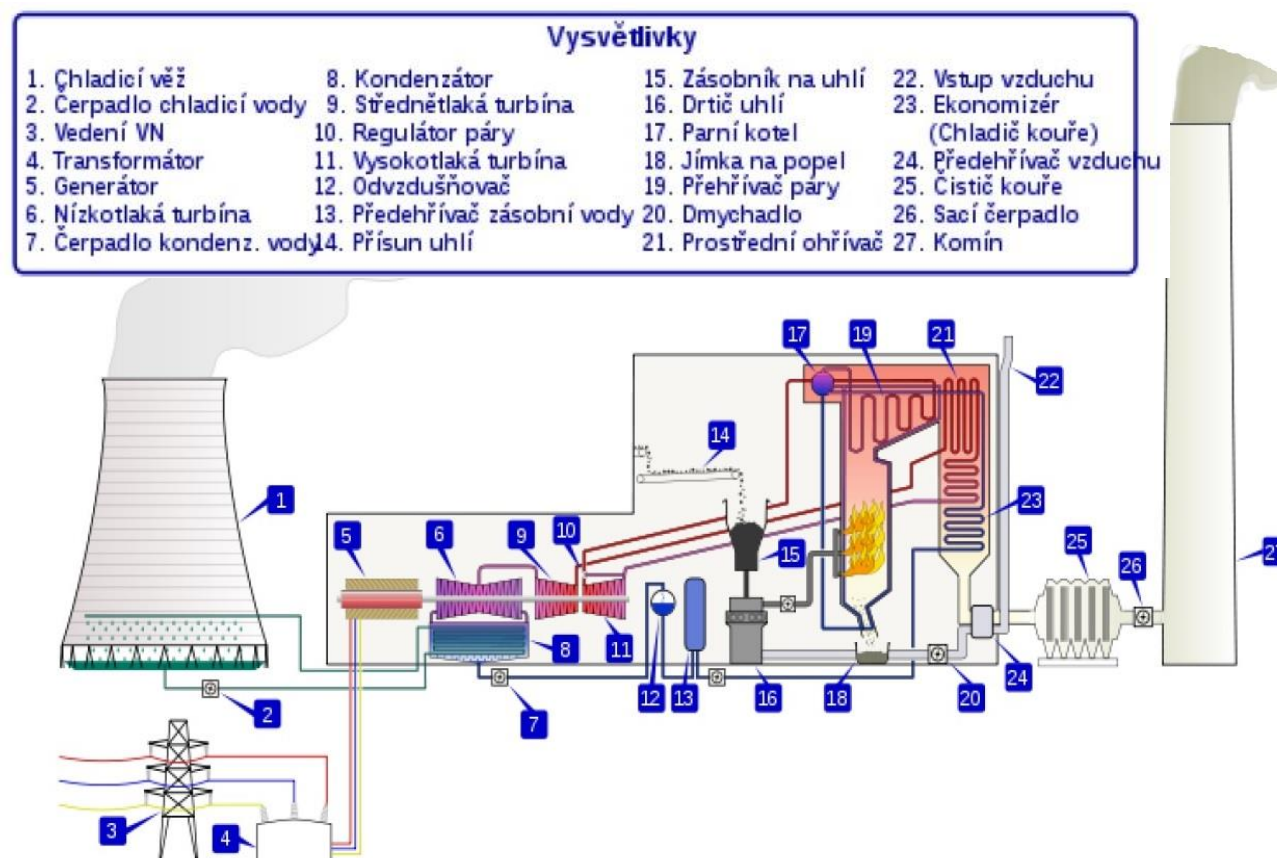


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Klasická tepelná elektrárna (KTE)

- Účinnost KTE se pohybuje v rozmezí 30 – 34 % v závislosti na stupni carnotizace – zvyšování účinnosti a snaha se přiblížit ideálnímu (nejúčinnějšímu) tepelnému cyklu (Carnotův cyklus).
- V praxi je však v současné době možné dosáhnout cca 45 % s využitím principu kogenerace, respektive trigenerace.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

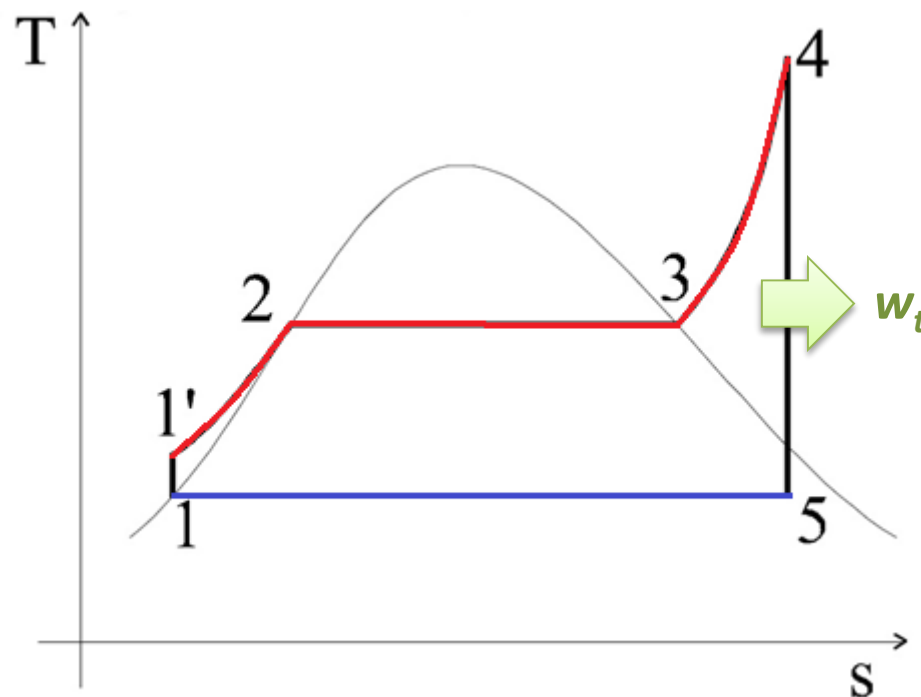
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Clausius-Rankinův cyklus parní turbíny

Q_p
přivedené
teplo

Q_o
odvedené
teplo

- 1 - 1' adiabatická komprese v hlavním oběhovém čerpadle (napáječe)
- 1' - 2 izobarický ohřev v ohříváku – ekonomizéru (součást kotle)
- 2 - 3 izobarický a současně izotermický var ve výparníku (součást kotle)
- 3 - 4 izobarické přehřátí páry v přehříváku (součást kotle)
- 4 - 5 adiabatická expanze páry v turbíně
- 5 - 1 izobarická a současně izotermická kondenzace v kondenzátoru



- Množství přeneseného tepla je úměrné plochám pod danou křivkou (vratně dodané teplo je definováno teplotou a změnou entropie).
- Při adiabatických dějích dochází ke konání (turbína) nebo dodávání (čerpadlo) mechanické práce, k výměně tepla nedochází, pokud jsou děje ideální, jsou zároveň izoentropické.

$$\eta^{TO} = \frac{Q_P - Q_O}{Q_P} = 1 - \frac{q_O}{q_P} = \frac{w_T}{Q_P} = \frac{i_4 - i_5}{i_4 - i_1}$$



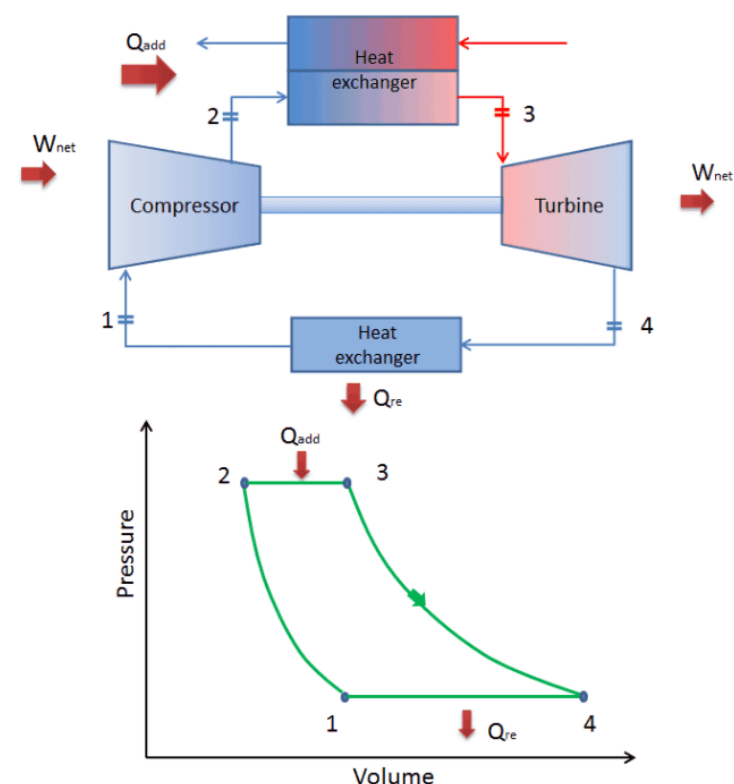
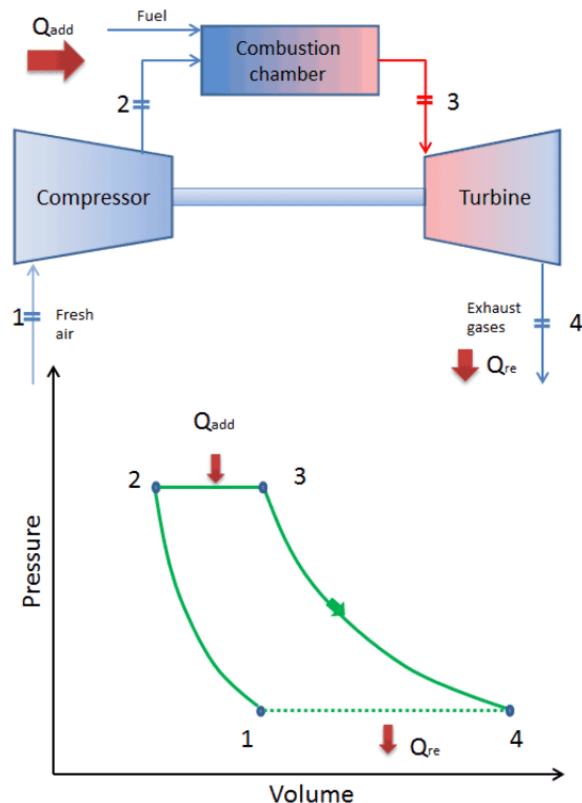
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Ericssonův–Braytonův cyklus plynové (spalovací) turbíny

Složen ze 2 izobar (izobarický přívod a odvod tepla) a 2 adiabat – adiabatická (ideálně izoentropická) expanze a komprese).

- Spalovací turbína => otevřený oběh (teplo odváděno přímo do atmosféry). Kompresorem nasávaný atmosférický vzduch je ve spalovací komoře smíchán se spaliny, které expandují na turbíně.
- Plynová turbína => uzavřený oběh (teplo odváděné v chladiči – tepelném výměníku). Pracovní látkou je čistý technický plyn, který je stlačován, ohříván, expandován a ochlazován. Výhoda je absence erozivního opotřebení na turbíně.

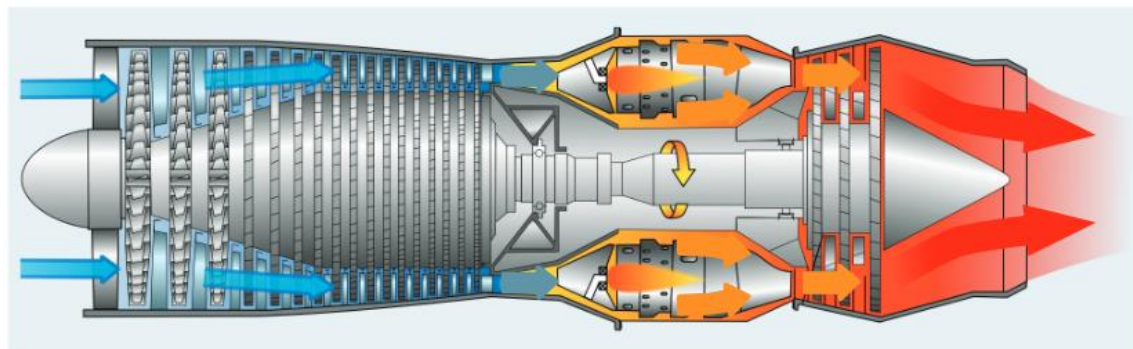
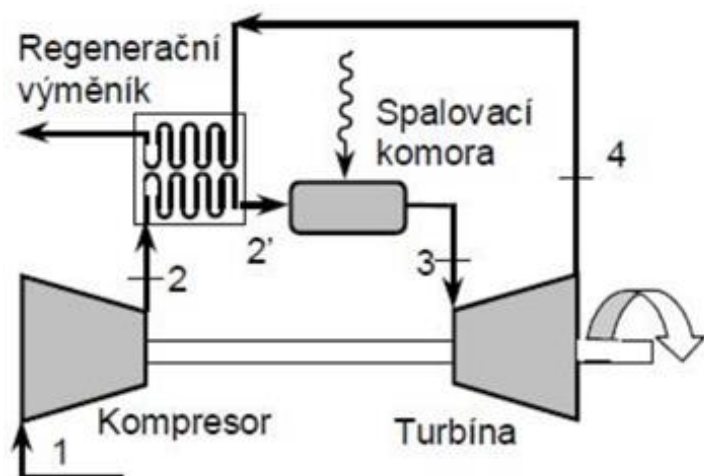


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

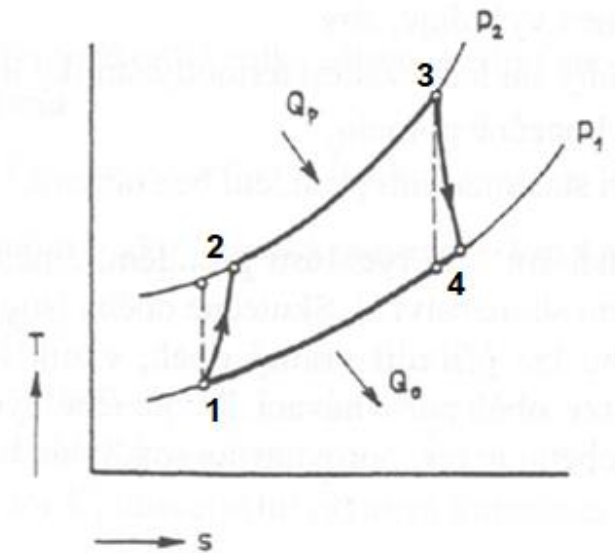
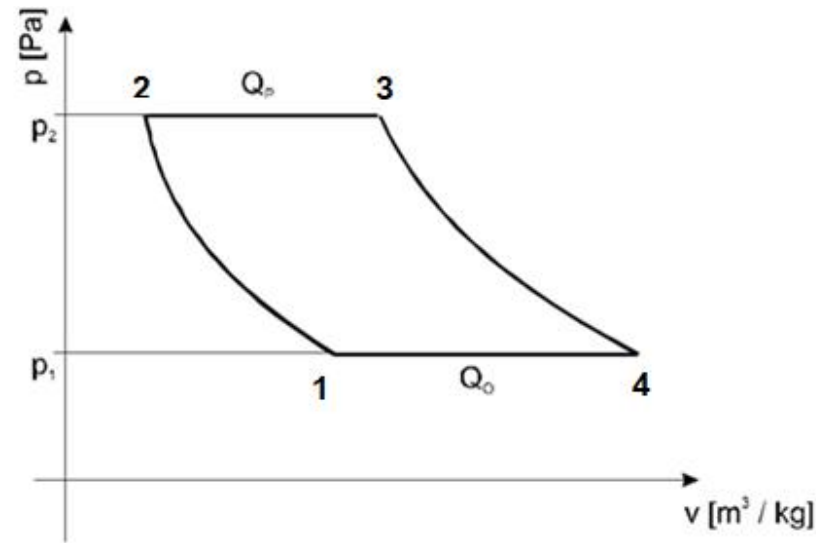
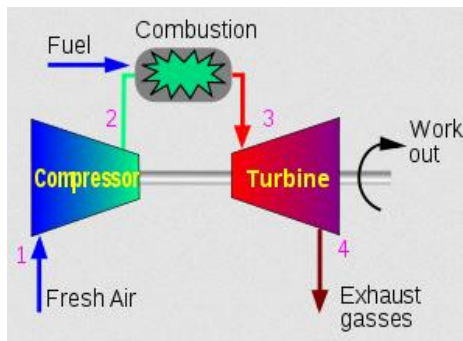
MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Ericssonův–Braytonův cyklus spalovací turbíny

- Admisní teplota (do turbíny) 1100 – 1500 °C.
- Emisní teplota (z turbíny) cca 500 °C – vhodné pro regeneraci (předehřev vzduchu, paroplyn apod.).
- Odpadá kondenzátor – výhoda v místě, kde není dostatek chladicí vody.
- Motor pro pohon kompresoru – vysoká spotřeba cca 50 – 60 % výkonu.



Ericssonův–Braytonův cyklus plynové (spalovací) turbíny



$$w_t = q_p - q_o = (i_3 - i_2) - (i_4 - i_1)$$

$$w_t = w_{získaná} - w_{dodaná} = (i_3 - i_4) - (i_2 - i_1)$$

$$\eta = \frac{w_t}{q_p} = \frac{w_t}{i_3 - i_2}$$

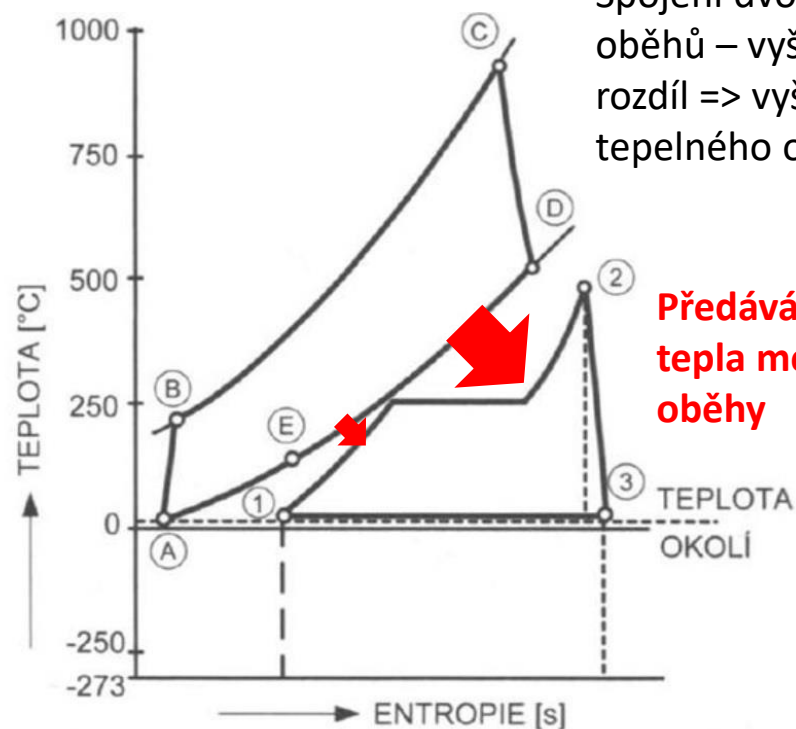


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

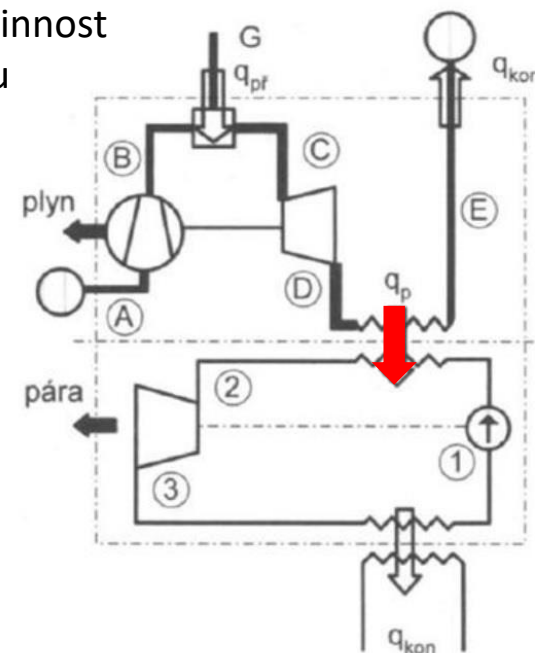
Paroplynový tepelný oběh

- Klasický kombinovaný oběh – sériové propojení otevřeného plynového oběhu a parního uzavřeného oběhu (př. Vřesová).
- Spaliny předávají svoje teplo v rekuperačním spalinovém výměníku (parogenerátoru) – vzniká pára.
- Účinnost 50 – 55 %.



Spojení dvou tepelných oběhů – vyšší teplotní rozdíl => vyšší účinnost tepelného oběhu

**Předávání
tepla mezi
oběhy**



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Paroplynový oběh



<https://www.youtube.com/watch?v=qG7SIVfAuPA>



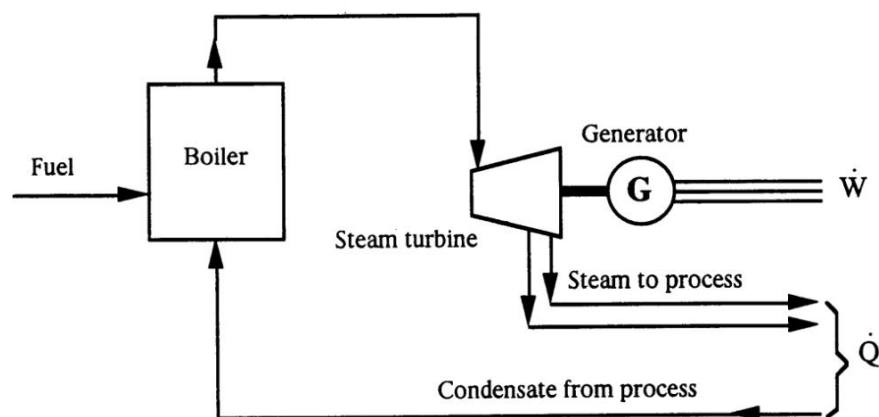
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

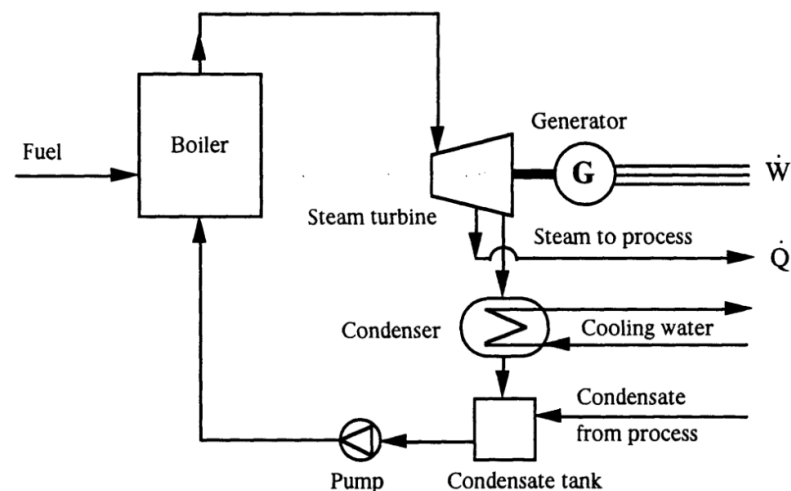
Kogenerace – kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET)

- Zvyšování účinnosti přeměny energie primárního zdroje na koncovou užitou formu.
- Účinnost cca 43 %.
- Množství páry pro vytápění regulováno škrticími ventily.

a) protitlaká turbína – sériové zapojení
(emisní tlak je omezen tlakem atmosféry)



b) odběrová turbína – paralelní zapojení
(expanze teoreticky možná do vakua)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Trigenerace – kombinovaná výroba elektřiny, tepla a chladu

- Uplatnění principu absorpčního chlazení.
- Absorpční chladicí jednotky využívají teplo jako primární zdroj energie pro výrobu chladu, na rozdíl od kompresorového chlazení nevyžaduje elektřinu a negeneruje hluk z kompresoru).
- Absorpce – fyzikální děj rozpouštění plynné fáze (absorbátu) v kapalině (absorbent) při nízkém tlaku, tedy při nízké výparné teplotě. Pracovní dvojice:
 - Amoniak (NH_3) – voda: amoniak je chladivem (absorbátem) – mrazničky, teploty $< 0^\circ\text{C}$
 - Voda – vodný roztok bromidu lithného (LiBr): chladivem (absorbátem) je voda – klimatizace, teploty $> 0^\circ\text{C}$
- Účinnost přeměny energie primárního zdroje cca 45 %.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Otázky pro studenty

- Jaká znáte kritéria pro koncovou formu energie?
- Jak můžeme dělit zdroje energie?
- Co je diagram zatížení?
- Nakreslete blokové schéma klasické tepelné elektrárny.
- Nakreslete schéma Ericsson–Braytonova cyklu plynové (spalovací) turbíny.
- Co je trigenerace?



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Děkuji za pozornost



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY