



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ**



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



FAKULTA
CHEMICKÁ



FAKULTA
STAVEBNÍ



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Projektování energetických centrál

1. Projekční činnosti v energetice

Fakulta strojního inženýrství

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

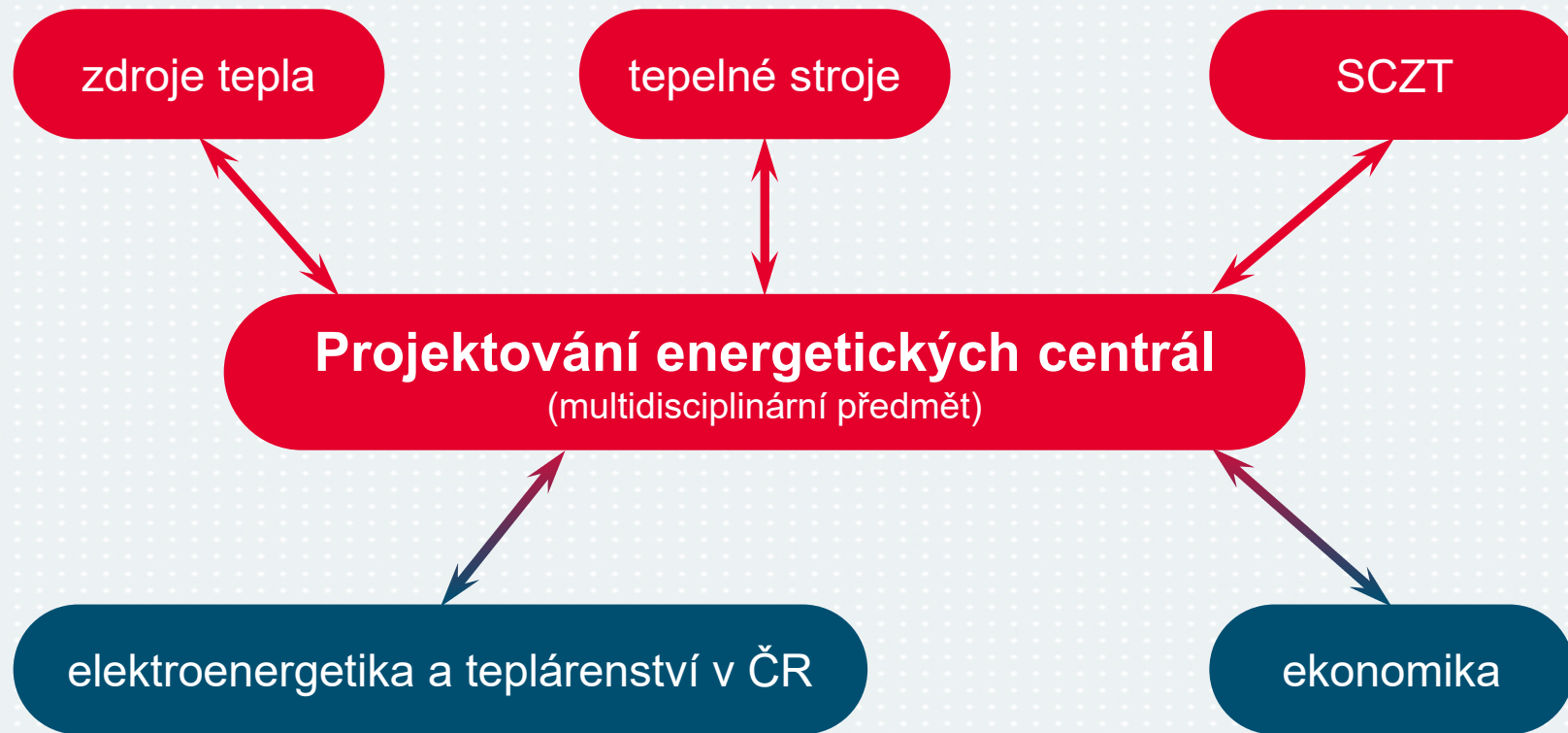
2024



Vysoké učení technické v Brně



Obsah předmětu



Projekční činnost v energetice

Projektant je člověk, který

- (1) propojuje technické činnosti pro podání nabídky
- (2) technicky zajišťuje chod výstavby a realizaci zakázky
- (3) dohlíží na garanční měření a předávání díla

Projekční činnost v energetice

Projekční činnost zajišťuje komplexní dokumentaci a veškeré služby ve všech fázích investiční výstavby

- Velký objem prací
- Složitost a vazby mezi profesemi
 - jeden projektant manager + další profese (stavební, strojní, potrubáři, elektro, MaR, zabezpečení, hasiči, ekologové)
- Bezpečnost (zemní plyn, jaderná elektrárna, ...)
- Legislativa (EIA, Jednotné environmentální stanovisko (v gesci MŽP), územní řízení, stavební povolení ⇒ pro energetické celky nově DESÚ)
 - např. PT: hlučnost, chvění, prašnost a bezpečnost proti úniku provozních kapalin

Projekční činnost v energetice

Zákon č. 458/2000 Sb. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)
(v 2024 aktuálně v43). Vybrané prováděcí předpisy:

- Vyhláška č. 248/2024 Sb., kterou se mění vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění vyhlášky č. 487/2021 Sb.
- Vyhláška č. 222/2024 Sb., kterou se mění vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov
- Vyhláška č. 219/2024 Sb., kterou se mění vyhláška č. 207/2021 Sb., o vyúčtování dodávek a souvisejících služeb v energetických odvětvích, ve znění vyhlášky č. 271/2022 Sb.
- Vyhláška č. 172/2024 Sb., kterou se mění vyhláška č. 79/2010 Sb., o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení, ve znění pozdějších předpisů
- a desítky dalších platných Vyhlášek a Nařízení

Projekční činnost v energetice

Zákon č. 406/2000 Sb. Zákon o hospodaření energií. Vybrané prováděcí předpisy:

- Nařízení vlády č. 349/2022 Sb. Nařízení vlády o státní energetické koncepci a o územní energetické koncepci
- Vyhláška č. 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie s účinností od 01.01.2013 ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška č. 166/2022 Sb. Vyhláška o vykazování energie z podporovaných zdrojů
- Vyhláška č. 38/2022 Sb. Vyhláška o kontrole provozovaného systému vytápění a kombinovaného systému vytápění a větrání
- Vyhláška č. 15/2022 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 141/2021 Sb., o energetickém posudku a o údajích vedených v Systému monitoringu spotřeby energie

Projekční činnost v energetice

Zákon č. 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší. Vybrané prováděcí předpisy:

- Vyhláška č. 415/2012 Sb. Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší
- Vyhláška č. 169/2023 Sb. Vyhláška o stanovení podmínek, při jejichž splnění přestává být tuhé palivo z odpadu odpadem

Zákon č. 250/2021 Sb. Zákon o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení a o změně souvisejících zákonů. Vybrané prováděcí předpisy:

- Nařízení vlády č. 191/2022 Sb. o vyhrazených technických plynových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti
- Nařízení vlády č. 192/2022 Sb. o vyhrazených technických tlakových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti

Projekční činnost v energetice

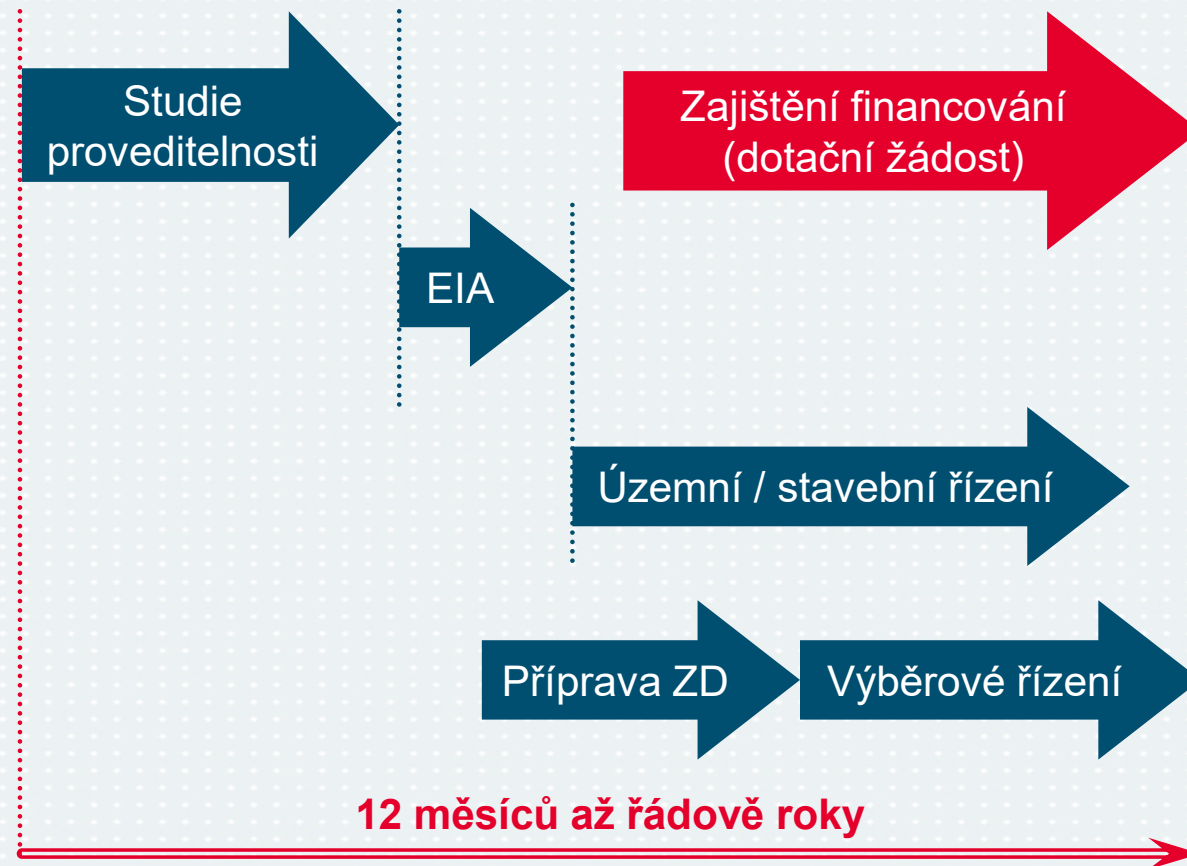
Zákon č. 90/2016 Sb. Zákon o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh. Vybrané prováděcí předpisy:

- Nařízení vlády č. 219/2016 Sb. o posuzování shody tlakových zařízení při jejich dodávání na trh. Toto nařízení zapracovává příslušný předpis Evropské unie (Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/68/EU – PED) a upravuje technické požadavky na tlaková zařízení, které musí splňovat při uvedení na trh, podmínky a postupy při jejich dodávání na trh a způsoby posuzování shody.
- Nařízení vlády č. 119/2016 Sb. o posuzování shody jednoduchých tlakových nádob při jejich dodávání na trh. Toto nařízení zapracovává příslušný předpis Evropské unie (Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/29/EU)

Nařízení vlády č. 25/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na účinnost nových teplovodních kotlů spalujících kapalná nebo plynná paliva s účinností od 01.05.2004 ve znění pozdějších předpisů..

Fáze projektu

(1) Příprava projektu



Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Studie proveditelnosti (Feasibility study)

- analýza investičního záměru jako podklad pro investora (zadavatele)
- vstupem bývá znalost velikosti potřeby tepla, elektřiny, chladu, ...
- obvykle obsahuje varianty plánovaného díla:
 - technické (fyzikální, konstrukční, provozní):
kotel + PT × KJ × PPB × ??
 - ekonomické (návratnost, rizika zdrojů):
ZP × biomasa × odpad × ??
- legislativní a společenská přijatelnost
(zákony, nařízení, Best Available Techniques, Reference Document on Best Available Techniques, ...)

Na základě výsledků investor zvolí variantu, kdy je záměr proveditelný

- Předcházet může Koncepční studie a Předběžná studie proveditelnosti

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – **Koncepční projekt**

- Stanovení technických a kvalitativních požadavků na zařízení
- Podklad pro zpracování dokumentace EIA

⇒ Dokumentace vlivu záměru na životní prostředí (EIA)

Dokumentace dle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivu na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a odborné posudky vlivu staveb a technologií na životní prostředí

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Koncepční projekt

- Podklad pro zpracování dokumentace EIA

⇒ Dokumentace vlivu záměru na životní prostředí (EIA)

Příloha č. 1 k zákonu č. 100/2001 Sb.

| Záměr: | Kategorie I (podléhá posuzování vždy) | | Kategorie II (zjišťovací řízení) | |
|---|---|----|-------------------------------------|-------|
| | MŽP | KÚ | MŽP | KÚ |
| Příslušný úřad | | | | |
| 1 Rafinerie ropy nebo primární zpracování ropných produktů. | x | | | |
| 2 Zařízení ke zplyňování a zkapaňování uhlí a bituminové horniny s kapacitou od stanoveného limitu. | 500 t/den | | 50 t/den | |
| 3 Tepelné nebo chemické zpracování uhlí, popřípadě bituminových hornin, včetně výroby uhlíku vysokoteplotní karbonizací uhlí nebo elektrografitu vypalováním nebo grafitizací. | x | | | |
| 4 Zařízení ke spalování paliv s tepelným výkonem od stanoveného limitu. | 300 MW | | 50 MW | |
| 5 Průmyslová zařízení k výrobě elektrické energie, páry a teplé vody o výkonu od stanoveného limitu. | | | | 50 MW |
| 6 Vodní elektrárny s celkovým instalovaným elektrickým výkonem od stanoveného limitu. | | | | 10 MW |
| 7 Větrné elektrárny s výškou stožáru od stanoveného limitu. | | | | 50 m |
| 8 Jaderné elektrárny a jiné jaderné reaktory včetně demontáže nebo konečného uzavření těchto elektráren nebo reaktorů s výjimkou výzkumných zařízení pro výrobu a přeměnu štěpných a množivých látek, jejichž maximální výkon nepřesahuje 1 kW nepřetržitého tepelného výkonu. | x | | | |
| 9 Zařízení na přepracování vyhořelého jaderného paliva. | x | | | |
| 10 Zařízení na obohacování nebo výrobu jaderného paliva. | x | | | |
| 11 Zařízení určená pro zpracování vyhořelého nebo ozářeného jaderného paliva nebo vysoce aktivních radioaktivních odpadů. | x | | | |
| 12 Zařízení určená pro a) konečné uložení vyhořelého nebo ozářeného jaderného paliva a radioaktivních odpadů, b) konečné zneškodnění vyhořelého nebo ozářeného jaderného paliva a radioaktivních odpadů nebo c) dlouhodobé skladování vyhořelého nebo ozářeného jaderného paliva a radioaktivních odpadů na jiném místě, než na kterém jsou vyprodukovány, plánované na více než 10 let. | x | | | |
| 13 Zařízení ke zpracování a skladování radioaktivního odpadu; vrty pro ukládání jaderného odpadu. | | | x | |
| 14 Hlubinné geotermální vrty a hloubkové vrty pro zásobování vodou u vodovodů s hloubkou od stanoveného limitu. | | | | 200 m |

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – **Koncepční projekt**

- Podklad pro zpracování žádosti pro Jednotné environmentální stanovisko (JES) podle Zákon č. 148/2023 Sb. Zákon o jednotném environmentálním stanovisku
 - § 1: Tento zákon upravuje postup a působnost správních orgánů při vydávání JES za účelem zajištění veřejného zájmu na ochraně životního prostředí jako celku a přispění k udržitelnému rozvoji při rozhodování v řízení o povolení záměru podle stavebního zákona nebo navazujícím řízení podle zákona o posuzování vlivů na životní prostředí.
 - § 2 odst. 1: JES je závazné stanovisko k vlivům na životní prostředí u záměru, který podléhá povolování podle stavebního zákona nebo posouzení vlivů na životní prostředí podle Zákona o posuzování vlivů na životní prostředí ...
 - MŽP: JES je nástrojem procesní integrace státní správy v oblasti ochrany životního prostředí (ŽP). JES se vydává namísto až 26 správních úkonů obsažených v 9 různých zákonech z oblasti ŽP.

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Koncepční projekt

- Podklad pro zpracování Dokumentace pro povolení stavby, která se přikládá k žádosti o povolení stavby vedeném podle Zákona č. 283/2021 Sb. Stavební zákon ve znění pozdějších předpisů
 - § 5 odst. 2 písm. c) zákona: Stavby jsou vyhrazené, které jsou uvedeny v příloze č. 3 k tomuto zákonu
 - e) stavby a zařízení přenosové soustavy,
 - f) výroby elektřiny o celkovém instalovaném výkonu 100 MW a více,
 - h) výroby plynu nad 1 MW připojené k plynárenské soustavě včetně těžebních plynovodů a zásobníky plynu,
 - i) stavby a zařízení produktovodů, včetně skladovacích zařízení, která jsou součástí technické infrastruktury produktovodů,
 - j) stavby k účelům těžby, zpracování, transportu a ukládání radioaktivních surovin na území vyhrazeném pro tyto účely,
 - k) stavby související s úložišti radioaktivních odpadů obsahujících výlučně přírodní radionuklidy,
 - l) stavby jaderného zařízení a stavby související, nacházející se uvnitř i vně areálu jaderného zařízení,

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Koncepční projekt

- Podklad pro zpracování Dokumentace pro povolení stavby, která se přikládá k žádosti o povolení stavby vedeném podle Zákona č. 283/2021 Sb. Stavební zákon ve znění pozdějších předpisů
 - § 5 odst. 2 písm. c) zákona: Stavby jsou vyhrazené, které jsou uvedeny v příloze č. 3 k tomuto zákonu
 - o) výroba z obnovitelných zdrojů energie s výjimkou vodních děl, a to
 - 1. výroba elektřiny využívající energii slunečního záření s celkovým instalovaným elektrickým výkonem výroby elektřiny nad 5 MW,
 - 2. výroba elektřiny s celkovým instalovaným elektrickým výkonem nad 1 MW, nejde-li o výrobu elektřiny podle bodu 1,
 - 3. výroba tepla z obnovitelných zdrojů energie s celkovým instalovaným tepelným příkonem výroby tepla nad 10 MW,
 - 4. zařízení na energetické využívání odpadů,
 - p) stavby a zařízení rozvodného tepelného zařízení o dimenzi potrubí DN 300 a více,

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Koncepční projekt

- Podklad pro zpracování Dokumentace pro povolení stavby, která se přikládá k žádosti o povolení stavby vedeném podle Zákona č. 283/2021 Sb. Stavební zákon ve znění pozdějších předpisů
 - § 32b odst. 1 písm. a) zákona: Ministerstvo průmyslu a obchodu je nadřízeným správním orgánem Dopravního a energetického stavebního úřadu (DESÚ) ve věcech vyhrazených staveb uvedených v příloze č. 3 písm. d) až p) k tomuto zákonu, včetně staveb souvisejících, ...
 - § 33 odst. 1 písm. b) zákona: DESÚ je nadřízeným správním orgánem krajského stavebního úřadu ve věcech staveb uvedených v § 34 písm. a) bodu 3,
 - § 34 písm. a) bod 3 zákona: Krajský stavební úřad vykonává působnost stavebního úřadu ve věcech výroben z obnovitelných zdrojů energie neuvedených v příloze č. 3 k tomuto zákonu,

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Koncepční projekt

- Podklad pro zpracování Dokumentace pro povolení stavby, která se přikládá k žádosti o povolení stavby vedeném podle Zákona č. 283/2021 Sb. Stavební zákon ve znění pozdějších předpisů
 - § 33 odst. 2 zákona: Dopravní a energetický stavební úřad
 - vykonává působnost stavebního úřadu ve věcech vyhrazených staveb,
 - vykonává působnost stavebního úřadu ve věcech staveb souvisejících s vyhrazenými stavbami, jež by jinak byly v působnosti krajského stavebního úřadu nebo obecního stavebního úřadu,
 - vydává rámcové povolení pro stavby jaderného zařízení a stavby související, nacházející se uvnitř i vně areálu jaderného zařízení, a
 - vykonává kontrolu ve věcech stavebního řádu.

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Koncepční projekt

- Podklad pro zpracování Dokumentace pro povolení stavby, která se přikládá k žádosti o povolení stavby vedeném podle Zákona č. 283/2021 Sb. Stavební zákon ve znění pozdějších předpisů
 - Požadavky na obsah Dokumentace pro povolení stavby vychází ze struktury dokumentace pro povolení stavby stanovené ve Vyhlášce č. 131/2024 Sb., o dokumentaci staveb. Pro strojní řazízení mimo jiné:
 - B Souhrnná technická zpráva
 - B.3 Základní stavebně technické a technologické řešení
 - B 3.1. Celková koncepce stavebně technického a technologického řešení
 - B.3.3 Zásady bezpečnosti při užívání stavby
 - B.3.5 Technologické řešení – základní popis technických a technologických zařízení
 - B.7 Popis vlivů stavby na životní prostředí a jeho ochrana
 - **Odpovědnost za soulad dokumentace s platnými právními předpisy a s požadavky Dotčených orgánů nese projektant (autorizovaná osoba/y)**

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – **Koncepční projekt**

- Podklad pro zpracování Dokumentace pro povolení stavby, která se přikládá k žádosti o povolení stavby vedeném podle Zákona č. 283/2021 Sb. Stavební zákon ve znění pozdějších předpisů
 - Požadavky na obsah Dokumentace pro povolení stavby vychází ze struktury dokumentace pro povolení stavby stanovené ve Vyhlášce č. 131/2024 Sb., o dokumentaci staveb. Pro strojní řazízení mimo jiné:
 - D Dokumentace objektů
 - D.1 Stavební a technologická část
 - D.1.2 Technologické řešení
 - D.1.2.1 Technická zpráva
 - D.1.2.2 Výkresová část
 - D.1.2.2.1 Charakteristické půdorysy
 - Půdorysy se schématickým rozmístěním technických a technologických zařízení.
 - D.1.2.2.2 Charakteristické řezy strojní technologie
- **Odpovědnost za soulad dokumentace s platnými právními předpisy a s požadavky Dotčených orgánů nese projektant (autorizovaná osoba/y)**

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – **Koncepční projekt**

- Podklad pro zpracování Zadávací dokumentace pro výběr dodavatelů hlavních zařízení
⇒ Zadávací dokumentace

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Výběr dodavatelů hlavních zařízení (HZ)

(A) Výběrové (poptávkové) řízení

- nestátní organizace
- poptávka produktů u vybraných dodavatelů

(B) Veřejná obchodní soutěž

- výzva ve věstníku, například Tender arena apod.

(C) Mezivládní smlouva (contract **g**overnment **to** government)

- Specifikace soutěže = co musí uchazeč splnit vychází ze Zadávací dokumentace
 - například turbínový ostrov: základní parametry (p_0 , t_0 , $\dot{M}_0 \times P_{sv}$, ...),
 - ale nesmí být podrobná, například s × bez převodovky; A × R typ lopatkování,...
- Kritéria pro posuzování nabídek (cena, kvalita, reference, doba dodání)

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Výběr dodavatelů hlavních zařízení (HZ)

(B) Veřejná obchodní soutěž

- výzva ve věstníku, například Tender arena apod.
- musí obsahovat například
 - lhůtu plnění
 - Zadávací dokumentaci
 - kvalifikační předpoklady (zkušenosti = reference, oprávnění například elektro)
 - místo a lhůta pro podání nabídek
 - místo a čas otevírání obálek s nabídkami (kontrola zapečení a ostatní uchazeči se mohou seznámit s nabídkami / cenami
 - zrušení veřejné soutěže

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Výběr dodavatelů hlavních zařízení (HZ) – nabídky

- Základní identifikační údaje (IČ, DIČ) + historie firmy
- U veřejné obchodní soutěže i dluhy vůči státu (daně, zdravotní, sociální)
- Technická část nabídky
 - Konkrétní specifikace dodaného zařízení.
Například PT s kondenzátorem, 2× NTO, NN, olejové hospodářství, MaR, ...
Výkres strojovny, PID, konstrukční řez PT, ...
- Cenová část nabídky
 - Celková cena, případně cena za dílčí části (PT, generátor, kondenzátor, ...)
- Obchodní část nabídky
 - Záruky: garantované body (hltnost × výkon ⇒ účinnost), záruky, sankce za neplnění termínů, provozních parametrů apod.
 - Servis a údržba: kvalifikační předpoklady, servisní intervaly, ...
 - Reference například za poslední 3 roky

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Výběr dodavatelů hlavních zařízení (HZ) – vyhodnocení soutěže

- u veřejné obchodní soutěže:
 - otevření obálek
(musí být veřejné a minimálně jeden zástupce každé firmy, která podala nabídku, se může účastnit)
 - hodnotící komise
 - výběr podle kritérií
 - zveřejnění výsledků
⇒ vítěz × všichni poražení (napadnutí výsledků, soudní spory, zrušení soutěže)
- u výběrového (poptávkového) řízení
 - zadavatel nemusí zveřejnit výsledky soutěže

Fáze projektu

(1) Příprava projektu – Basic Design

- Zadání pro zpracování profesní dokumentace v úrovni Detail Design
- Koordinaci profesních Detail Design a koordinaci subdodavatelů technologických celků navzájem a se stavební částí
- Řízení případných změn projektu vyvolaných např. výběrem dodavatelů
- Výkon Autorského dozoru nad stanovenou koncepcí
- Zpracování Zadávací dokumentace pro výběr dodavatelů pomocných zařízení.

Fáze projektu

(2) Realizace díla – 6 až 36 měsíců dle typu projektu

- Dokumentace pro provádění stavby ([Detail Design](#))
 - Obsah Dokumentace pro provádění stavby je rámcově vymezen přílohou č. 6 vyhlášky 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, ve znění pozdějších předpisů. Rozsah a podrobnosti zpracování Detail Design mohou být přizpůsobeny podmínkám konkrétní akce a účelu použití dokumentace.
- Realizace díla:
 - Stavební část
 - Strojní část (kotel, strojovna, elektro, ...)
 - MaR
 - vyvedení výkonu
 - ...

Fáze projektu

(3) Zkušební provoz zařízení

(4) Komplexní zkoušky a garanční měření

(5) Předání díla (podpis předávacího protokolu) a dílo je zákazníka.

- Dokumentace skutečného provedení (AS-BUILT)

EPC projekt

Engineering, Procurement and Construction

- tzv. „dodávka na klíč“
- Smluvní vztah mezi Investorem a EPC dodavatelem
- EPC dodavatel má Projektového managere a zajišťuje
 - engineering
 - nákup (stavba, strojní i elektro část, MaR, ...)
 - realizaci
 - zkušební provoz i předání díla
 - záruční i pozáruční servis
- Smluvní vztah u dílčích částí je:
Investor ↔ EPC dodavatel ↔ dodavatel dílčí technologie či stavby

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ**



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



FAKULTA
CHEMICKÁ



FAKULTA
STAVEBNÍ



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Projektování energetických centrál

2. Elektrizační soustava a PpS

Fakulta strojního inženýrství

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

2024



Vysoké učení technické v Brně



Elektroenergetika

Elektroenergetika je vědní disciplína, která se zabývá (1) výrobou elektřiny, (2) přenosem a distribucí elektřiny, (3) spotřebou elektřiny, (4) provozem elektrizační soustavy a dispečerským řízením a (5) zabezpečením a řízením rozvoje elektroenergetiky.

Elektrizační soustava je systém zajišťující výrobu, distribuci a konečné užití elektřiny.

Základní úkoly jsou:

- (1) zajistit dostatečné množství elektřiny v daném čase
- (2) zajistit kvalitu elektřiny
- (3) zajistit spolehlivost dodávky
- (4) zajisti odpovídající cenu (ČEPS × ERU)

Elektroenergetika

Pro výrobu a spotřebu elektřiny musí platit v každém okamžiku

$$\sum P_{spotřeba} = \sum P_{výroba} - \sum P_{ztráty}$$

Výroba elektřiny

- (A) Velké zdroje – připojeno na PS 400 / 220 / 110 kV
- (B) Střední a menší zdroj (teplárny a kogenerační výrobny) (DS 110 kV)
- (C) Ostrovní provoz (teplárny, závodní energetika) (DS 110 / 22 kV)
- (D) Záložní zdroje (pro plnění kritéria n-1 = startují za výpadek největšího zdroje – typicky přečerpávací elektrárna)

Elektroenergetika

(A) velké zdroje (400/220 kV)

- relativně malý počet zdrojů o velkém výkonu
- negativní dopad výpadku velkého zdroje na celou přenosovou síť
- přeprava elektřiny na větší vzdálenosti = větší ztráty při přenosu

(B - C) střední a malé zdroje

- Výpadek malého zdroje nemá významný vliv na kvalitu elektřiny v síti (frekvence, fí, ...)
- elektřina je vyráběna v místě spotřeby = odpadají ztráty přenosem
- neodpovídá historické koncepci PS a DS v ČR ⇒ možné problémy s připojitelností („slabé rozvody“ v oblasti, trafostanice, ...)

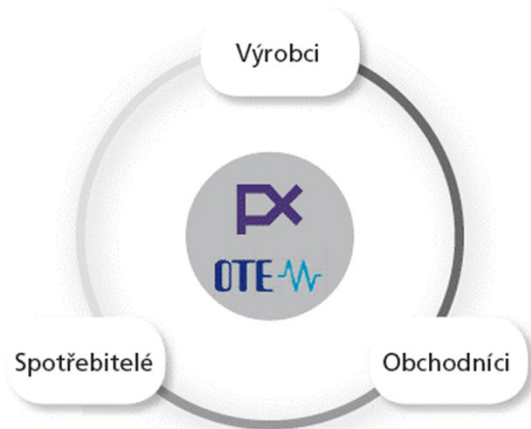
Elektroenergetika

Definice výkonů zařízení

- **jmenovitý (štítkový) výkon** = výkon stroje (generátoru), na který byl navržen
- **instalovaný výkon** = součet jmenovitý výkonu strojů (generátorů) v jednom objektu (bloku / elektrárně) včetně generátorů určených pro vlastní spotřebu
např. JEDU 4 bloky po 2 TG $\Rightarrow 4 \cdot 2 \cdot (220 + 35) MW_e = 2\,040 MW_e$
- **dosažitelný výkon** = maximální výkon stroje, kterého je možné dosáhnout při běžném stavu a provozních podmínkách (palivová základna, výhřevnost paliva, opotřebení stroje)
- **pohotový výkon** = nejvyšší dosažitelný výkon, kterého může elektrárna dosáhnout v určitém čase s ohledem na technické a provozní podmínky (např. jeden blok je v opravě, TG ve studené záloze, teplota chladicí vody v létě / zimě)
- **aktuální výkon** = výkon měřený na svorkách generátoru
- **minimální výkon** = minimální výkon stroje, při kterém ho lze bezpečně dlouhodobě provozovat (dáno výrobcem stroje)

Elektroenergetika

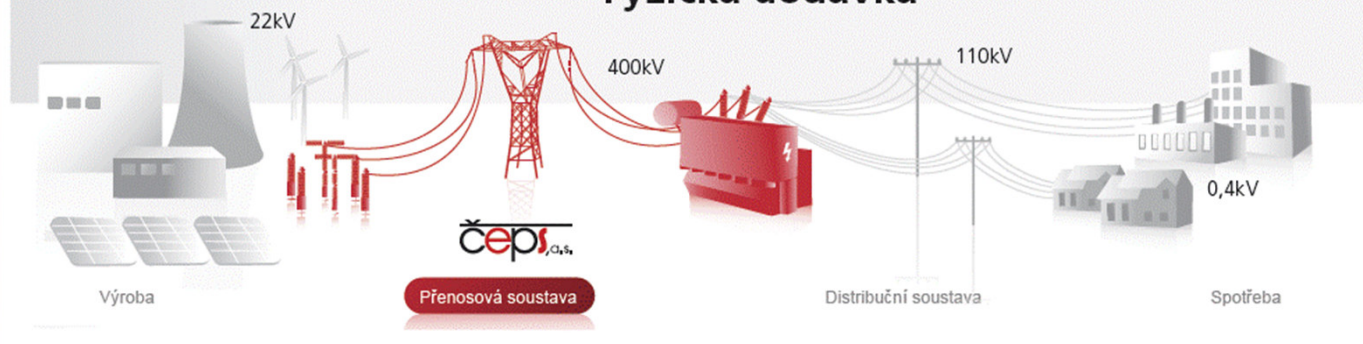
Obchodování silové elektřiny



Regulované subjekty



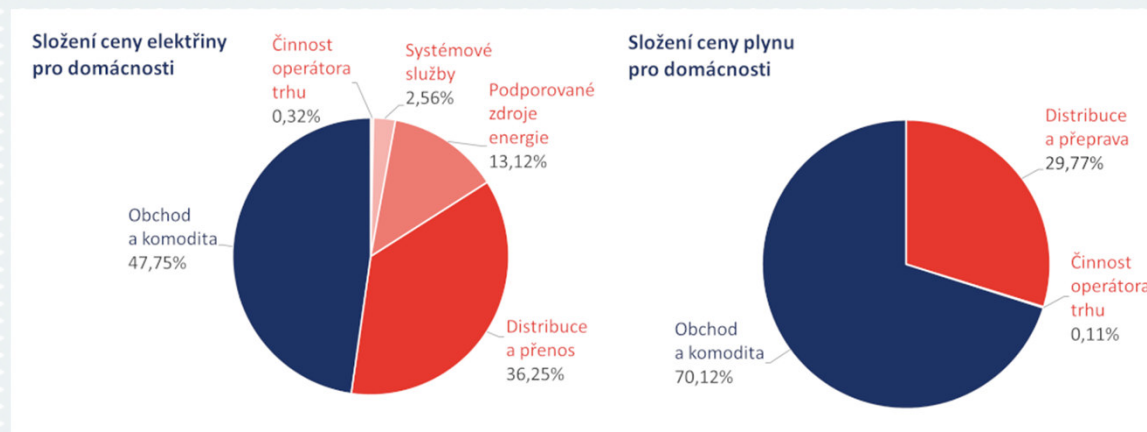
Fyzická dodávka



Elektroenergetika

Energetický regulační úřad (ERÚ)

- byl zřízen v roce 2001 Energetickým zákonem, který také upravuje jeho kompetence.
- Pravomoci a působnost:
 - (1) Reguluje regulované složky cen energií, ke kterým každoročně vydává cenová rozhodnutí.
 - (2) Cenovým rozhodnutím podle zákona stanovuje podporu pro OZE.



Elektroenergetika

Energetický regulační úřad (ERÚ)

- byl zřízen v roce 2001 Energetickým zákonem, který také upravuje jeho kompetence.
- Pravomoci a působnost:
 - (1) Reguluje regulované složky cen energií, ke kterým každoročně vydává cenová rozhodnutí.
 - (2) Cenovým rozhodnutím podle zákona stanovuje podporu pro OZE.
 - (3) Licencuje výrobce energií, obchodníky a další energetické subjekty, které následně dozoruje.
 - (4) Podporuje hospodářskou soutěž v energetice.
 - (5) Chrání spotřebitele na energetickém trhu. Proto je to ten pravý úřad, na který se může spotřebitel obrátit, když řeší spory se svým dodavatelem energií, případně s distributorem.

Elektroenergetika

OTE, a.s.

- byl založen 18. 4. 2001. Jejím zakladatelem a jediným akcionářem je stát Česká republika. Výkon akcionářských práv provádí z pověření státu Ministerstvo průmyslu a obchodu. Na trhu s elektřinou je společnost aktivní od roku 2002 a na trhu s plynem od roku 2010
- Mezi hlavní předměty činnosti patří:
 - (1) vyhodnocování, zúčtování a vypořádání odchylek mezi sjednanými a skutečnými dodávkami a odběry elektřiny a plynu,
 - (2) organizování krátkodobého trhu s elektřinou a plynem
 - (3) zpracování a výměna dat a informací na trhu s elektřinou a trhu s plynem prostřednictvím centra datových a informačních služeb 24/7
 - (4) administrace výplaty podpory podporovaným zdrojům energie (POZE)

Elektroenergetika

OTE, a.s.

- byl založen 18. 4. 2001. Jejím zakladatelem a jediným akcionářem je stát Česká republika. Výkon akcionářských práv provádí z pověření státu Ministerstvo průmyslu a obchodu. Na trhu s elektřinou je společnost aktivní od roku 2002 a na trhu s plynem od roku 2010
- Mezi hlavní předměty činnosti patří:
 - (5) vydávání záruk původu elektřiny z obnovitelných zdrojů a elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla
 - (6) provádění funkce národního správce Rejstříku obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů

Elektroenergetika

Přenosová soustava v ČR

- je propojený soubor vedení a zařízení sloužící k zajištění přenosu elektřiny z výrobních bloků (elektráren) do distribučních soustav
- V ČR je přenosová soustava (PS) provozována akciovou společností ČEPS, a.s. (Česká přenosová soustava) a jediným akcionářem je ČR.

délka vedení

400 kV: 3 940 km

220 kV: 1 824 km

110 kV: 84 km

přenesená ele:

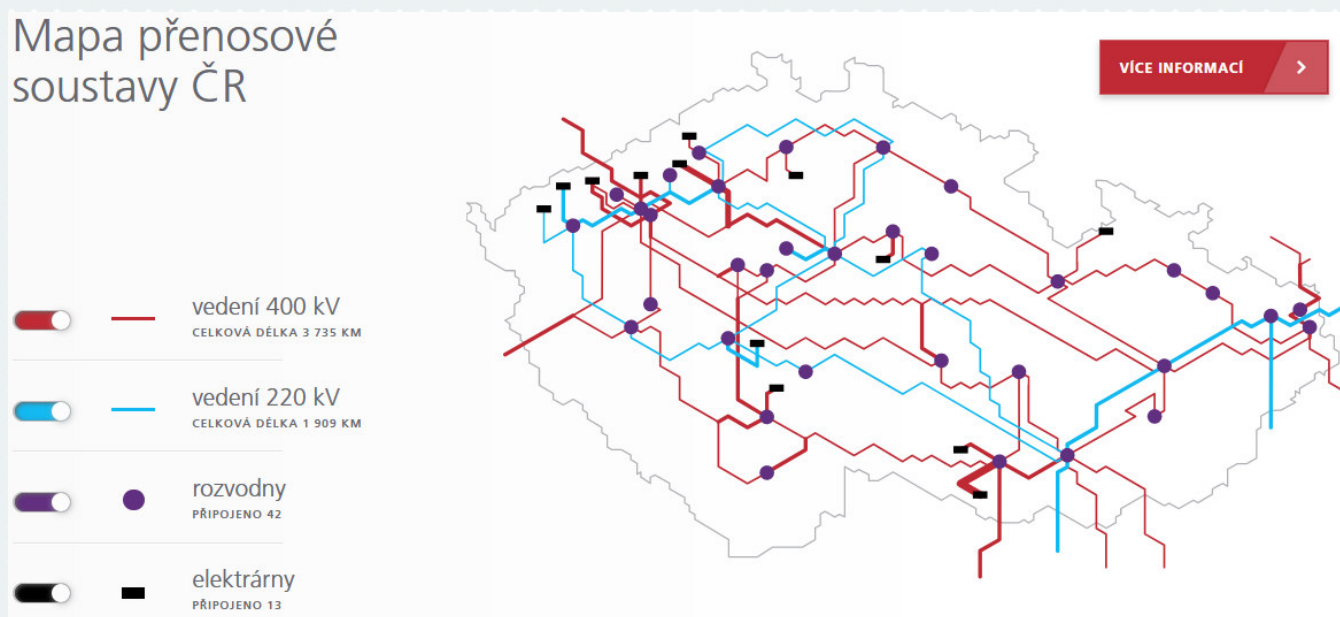
68 625 GWh

ztráty PS:

1 012 GWh

(1,47 %)

Mapa přenosové soustavy ČR



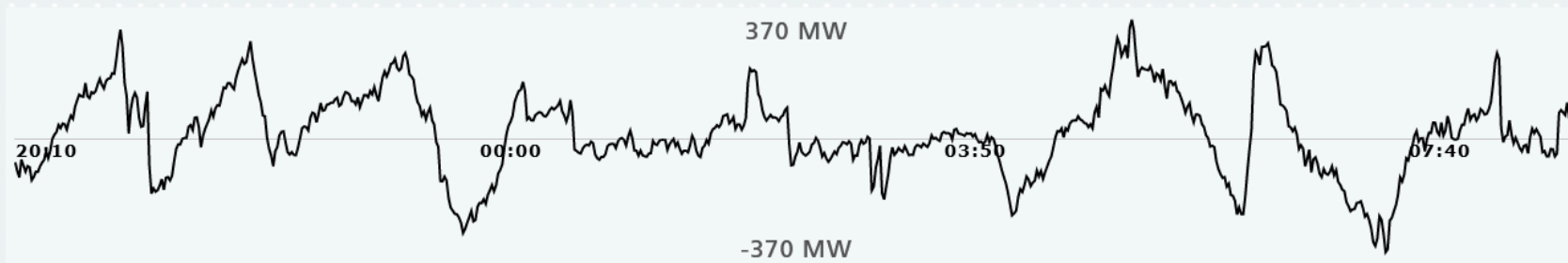
© ČEPS, a.s., data za rok 2022

12

Elektroenergetika

Přenosová soustava v ČR – ČEPS, a.s.

- Systémové služby jsou činnosti ČEPS, kterými zajišťuje **kvalitu a spolehlivost dodávky elektřiny** na úrovni přenosové soustavy (PS) a plnění mezinárodních závazků a podmínek propojení elektrizační soustavy (ES) ČR. Kvalitou se rozumí zejména parametry **frekvence a napětí**, definované Kodexem PS. Spolehlivostí dodávky se rozumí **nepřerušenosť dodávky v odběrných místech z PS** definovaná průměrným počtem a trváním dílčích výpadků dodávky v jednotlivých předacích místech.
- Odchylna salda výkonové rovnováhy (FRCE) – okamžité hodnoty:
 - maximum: 1 159 MW dne 29. 06. 2022 v 16:35 hod. (při cca 8,78 GW)
 - minimum: – 686 MW dne 30. 11. 2022 v 00:05 hod. (při cca 8,13 GW)

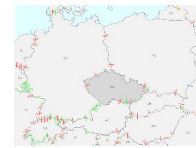


Elektroenergetika

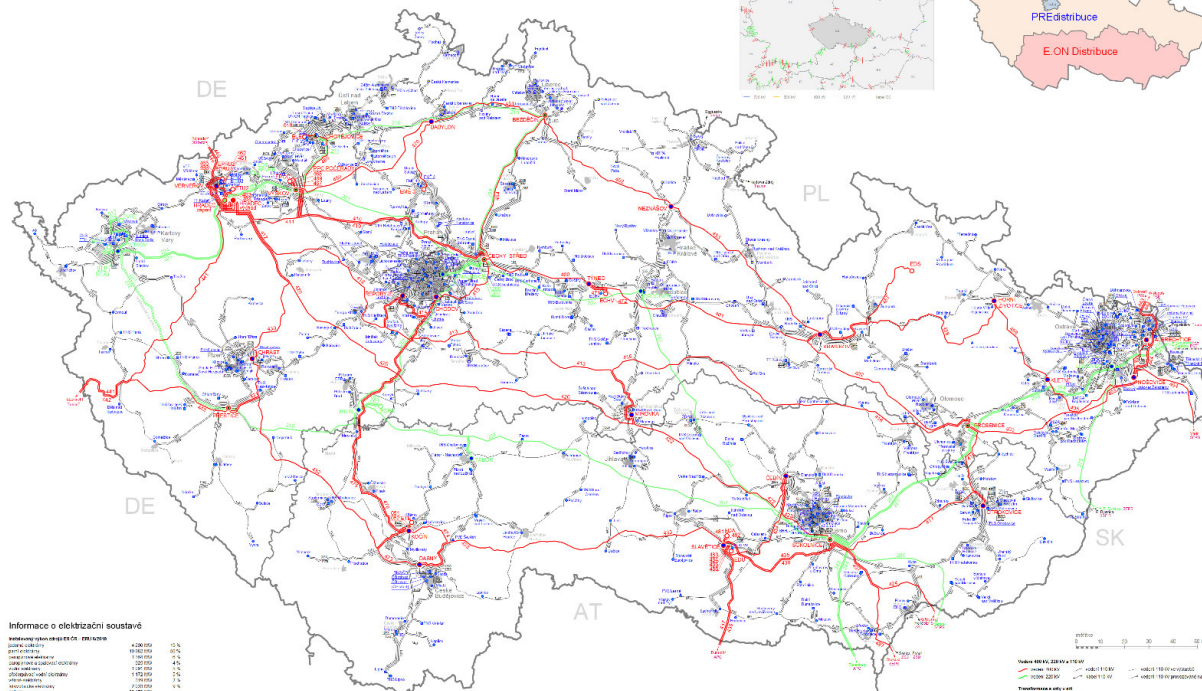
Distribuční soustava v ČR – akciová společnost OTE, a.s.

OTE Elektrizační soustava ČR
2020

Propojené elektrizační soustavy



Podobnost distribučních společností



Informace o elektrizační soustavě

| Indikátor | Hodnota | Podíl |
|--------------------------------|------------|-------|
| Podíl elektrizační soustavy ČR | 4 200 000 | 100% |
| Podíl elektrizační soustavy ČR | 10 000 000 | 95% |
| Podíl elektrizační soustavy ČR | 1 000 000 | 4% |
| Podíl elektrizační soustavy ČR | 200 000 | 4% |
| Podíl elektrizační soustavy ČR | 1 500 000 | 3% |
| Podíl elektrizační soustavy ČR | 700 000 | 3% |
| Podíl elektrizační soustavy ČR | 200 000 | 3% |
| Podíl elektrizační soustavy ČR | 20 000 000 | 3% |



Elektroenergetika

Licence na výrobu elektřiny a výkaznictví

- Podnikat v energetických odvětvích na území České republiky mohou za podmínek stanovených Energetickým zákonem č. 458/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů podle § 3 osoby pouze na základě licence udělené Energetickým regulačním úřadem (ERÚ).
- **Na základě novel EZ a příslušných ustanovení EZ zejména § 3 odst. 3, § 28 odst. 5 a odst. 6, je možné od ~~1.1.2016~~ 2023 provozovat výrobu elektřiny připojenou k elektrizační soustavě do instalovaného výkonu 40 50 kW (včetně) bez licence pro vlastní spotřebu pokud ...**
- **Energetický regulační úřad je povinen** podle § 17, odst. 7, písm. m) EZ, o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (Energetický zákon), v platném znění, **zveřejňovat roční a čtvrtletní zprávu o provozu elektrizační soustavy a plynárenské soustavy** způsobem umožňující dálkový přístup.

Elektroenergetika

Licence na výrobu elektřiny a výkaznictví

- Vykazovací povinnost pro výrobce elektřiny, jakožto držitele licence na výrobu elektřiny, určuje přímo EZ. Ten v § 11, odst. 1, písm. e) mimo jiné uvádí, že **držitel licence je povinen poskytovat ministerstvu a ERU pravdivé a úplné informace a podklady nezbytné pro výkon jejich zákonem stanovených oprávnění a umožnit jim přístup k zařízením, která k výkonu licencované činnosti slouží.**
- Statistických dat malých vodních elektráren (MVE), větrných elektráren (VTE) a fotovoltaických elektráren (FVE), tj. nepalivových podporovaných zdrojů (POZE), jsou převzata ze systému OTE, a. s, který je eviduje v souvislosti s výplatou provozní podpory podle zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie.

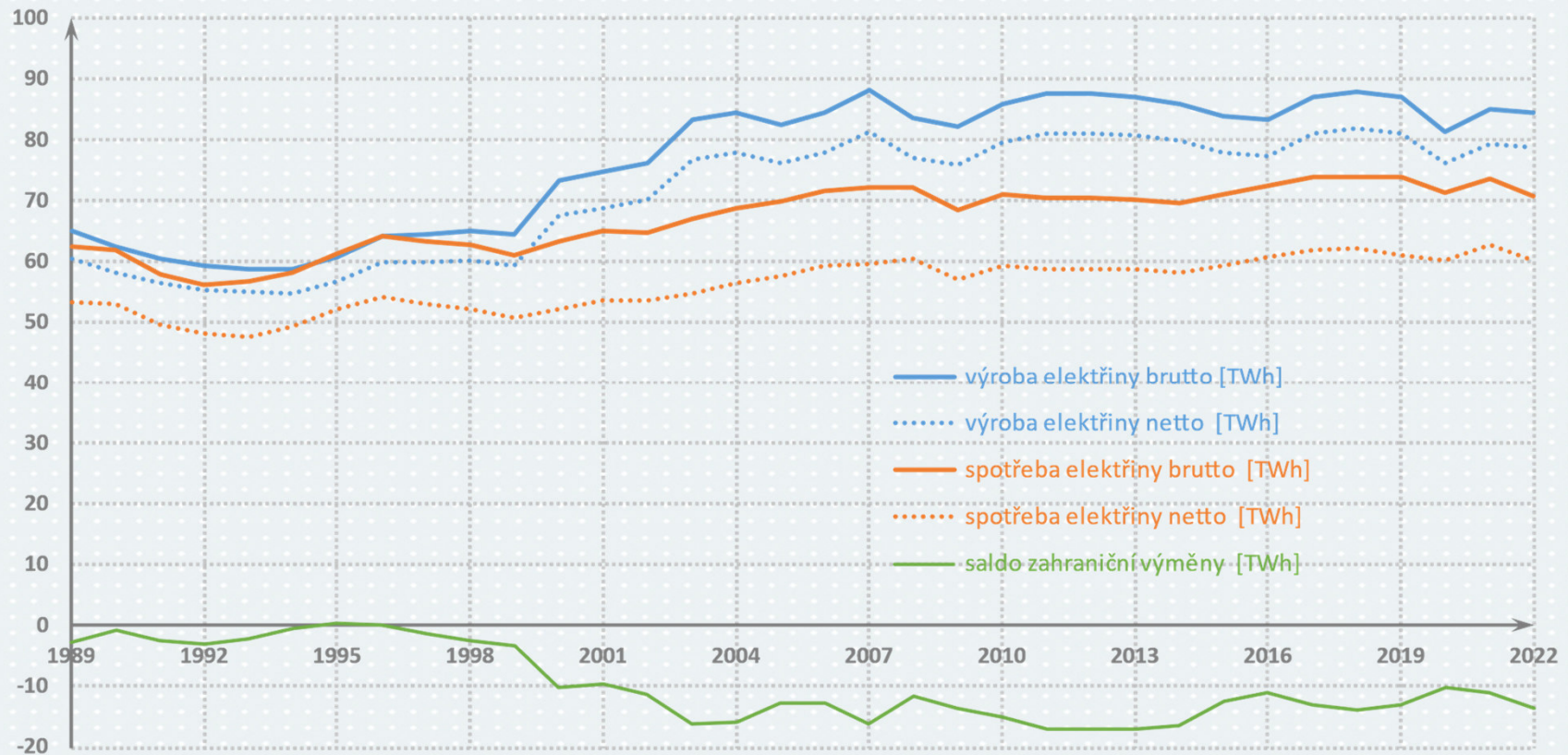
Elektroenergetika

Bilance elektřiny v síti

- **výroba elektřiny brutto** = celková výroba elektřiny měřená na svorkách generátorů nebo zdroje elektřiny
- **výroba elektřiny netto** = od vyrobené elektřiny brutto je odečtena nezbytná vlastní spotřeba elektřiny bloku / elektrárny potřebná pro výrobu elektřiny včetně ztrát při výrobě elektřiny
- **saldo** = bilanční součet přeshraničních toků elektřiny. Záporná hodnota je při „vývozu“ elektřiny z republiky a kladná při „dovozu“ elektřiny.
- **spotřeba elektřiny brutto** = je dána součtem výroby elektřiny brutto a salda
- **spotřeba elektřiny netto** = od spotřeby elektřiny brutto je odečtena
 - (1) vlastní spotřeba na výrobu elektřiny
 - (2) ztráty v sítích
 - (3) spotřeba na přečerpávacích vodních elektrárnách

Elektroenergetika

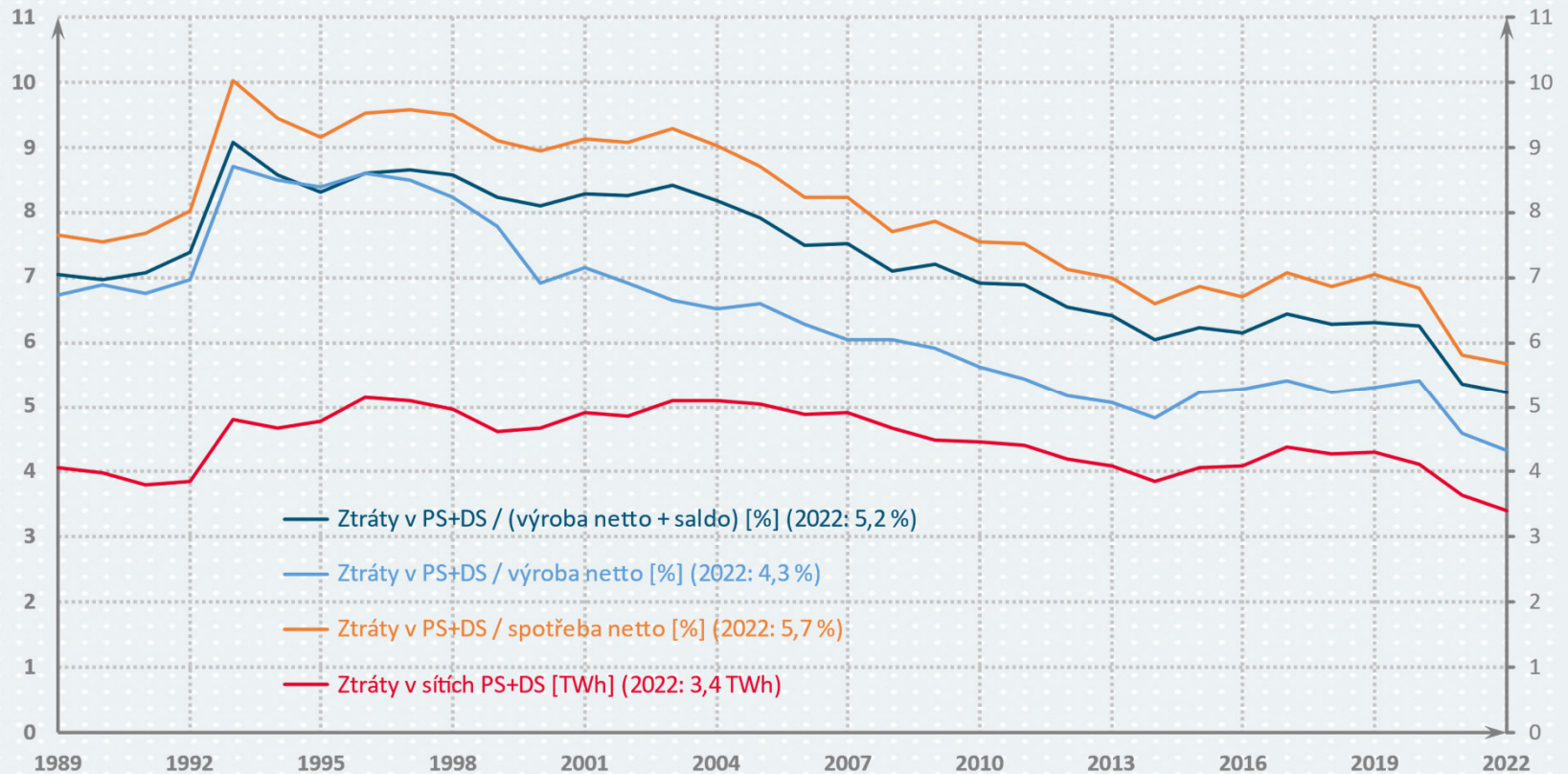
Výroba a spotřeba elektřiny v letech 1989 až 2022 [TWh]



Elektroenergetika

Ztráty v PS + DS v letech 1989 až 2022 [TWh]

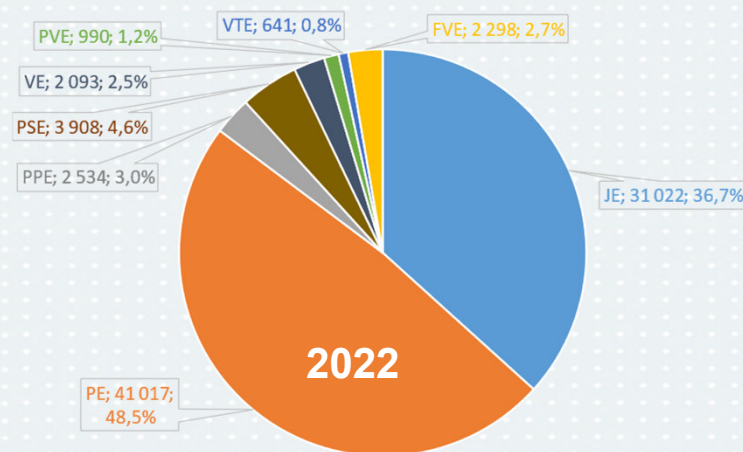
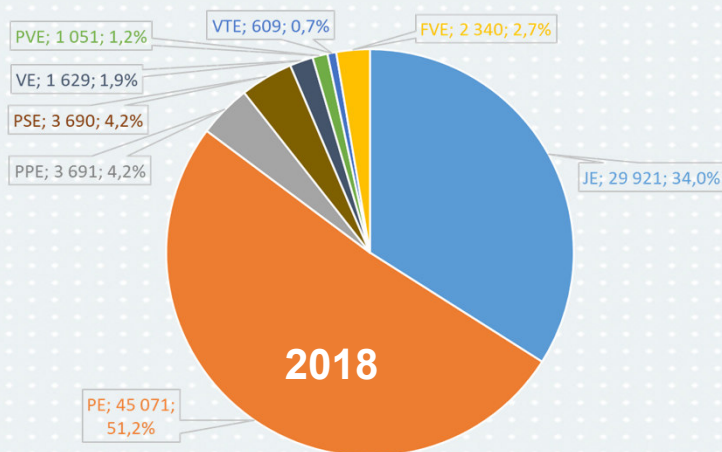
Ztráty v PS jsou kryty v rámci aukcí ČEPS, a.s.



Elektroenergetika

Výroba elektřiny v ČR (rok 2022) – podle zdroje

| | Výroba brutto | | TVSe | | TVSt | | Výroba netto | |
|--------------------------------------|---------------|------|--------------|-------------|------------|------------|---------------|------|
| | GWh | % | GWh | % z brutto | GWh | % z brutto | GWh | % |
| Jaderné elektrárny (JE) | 31 022 | 36,7 | 1 710 | 5,51 | 3 | 0,01 | 29 311 | 37,2 |
| Parní elektrárny (PE) | 41 017 | 48,5 | 3 730 | 9,09 | 937 | 2,29 | 37 288 | 47,4 |
| Paroplynové elektrárny (PPE) | 2 534 | 3,0 | 34 | 1,35 | 6 | 0,23 | 2 499 | 3,2 |
| Plynové a spalovací elektrárny (PSE) | 3 908 | 4,6 | 225 | 5,76 | 37 | 0,95 | 3 683 | 4,7 |
| Vodní elektrárny (VE) | 2 093 | 2,5 | 17 | 0,80 | - | - | 2 077 | 2,6 |
| Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) | 990 | 1,2 | 13 | 1,28 | - | - | 977 | 1,2 |
| Větrné elektrárny (VTE) | 641 | 0,8 | 8 | 1,26 | - | - | 633 | 0,8 |
| Fotovoltaické elektrárny (FVE) | 2 298 | 2,7 | 19 | 0,81 | - | - | 2 280 | 2,9 |
| Celkem | 84 503 | | 5 755 | 6,81 | 983 | 1,2 | 78 748 | |



Elektroenergetika

Výroba elektřiny v ČR (rok 2022) – podle zdroje

| | 2018 | | 2022 | |
|----------------------------------|------------|--------|------------|--------|
| Výroba elektřiny brutto | 88 002 GWh | | 84 503 GWh | |
| Hnědé uhlí | 37 734 GWh | 42,9 % | 34 306 GWh | 40,4 % |
| Jaderné palivo | 29 921 GWh | 34,0 % | 31 022 GWh | 36,5 % |
| Obnovitelné zdroje energie (OZE) | 9 404 GWh | 10,7 % | 10 437 GWh | 12,3 % |
| Zemní plyn | 3 488 GWh | 4,0 % | 4 038 GWh | 4,8 % |
| Černé uhlí | 3 455 GWh | 3,9 % | 2 426 GWh | 2,9 % |
| Přečerpávací | 1 051 GWh | 1,2 % | 990 GWh | 1,2 % |
| Ostatní plyny | 2 752 GWh | 3,1 % | 941 GWh | 1,1 % |
| Ostatní pevná paliva (mimo BRKO) | 77 GWh | 0,1 % | 98 GWh | 0,1 % |
| Odpadní teplo | 64 GWh | 0,1 % | 66 GWh | 0,1 % |
| Topné oleje | 35 GWh | 0,0 % | 23 GWh | 0,0 % |
| Ostatní kapalná paliva | 22 GWh | 0,0 % | 12 GWh | 0,0 % |
| Ostatní | 1 GWh | 0,0 % | 144 GWh | 0,2 % |
| Koks | 0 GWh | 0,0 % | 0 GWh | 0,0 % |

2020 (Covid a výroba 81,4 GWh): hnědé uhlí 29,1 GWh (35,7 %) × jaderné palivo 30,0 GWh (36,9 %)

Elektroenergetika

Výroba elektřiny v ČR (rok 2022) – podle zdroje

| | 2018 | | 2022 | |
|----------------------------------|------------|--------|------------|--------|
| Výroba elektřiny brutto | 88 002 GWh | | 84 503 GWh | |
| Hnědé uhlí | 37 734 GWh | 42,9 % | 34 306 GWh | 40,4 % |
| Jaderné palivo | 29 921 GWh | 34,0 % | 31 022 GWh | 36,5 % |
| Obnovitelné zdroje energie (OZE) | 9 404 GWh | 10,7 % | 10 437 GWh | 12,3 % |
| - Biomasa | 2 119 GWh | 2,4 % | 2 659 GWh | 3,1 % |
| - Bioplyn | 2 607 GWh | 3,0 % | 2 615 GWh | 3,1 % |
| - Vodní | 1 629 GWh | 1,9 % | 2 093 GWh | 2,5 % |
| - Fotovoltaické | 2 340 GWh | 2,7 % | 2 298 GWh | 2,7 % |
| - Větrné | 609 GWh | 0,7 % | 641 GWh | 0,8 % |
| - BRKO | 100 GWh | 0,1 % | 130 GWh | 0,2 % |

2018: OZE 10,69 % k brutto výrobě; 12,72 % k brutto spotřebě

2021: OZE 12,42 % k brutto výrobě; 14,32 % k brutto spotřebě

2022: OZE 12,29 % k brutto výrobě; 14,75 % k brutto spotřebě

Elektroenergetika

Výroba elektřiny v ČR (rok 2022) – podle zdroje

Energetika - dobývání černého a hnědého uhlí, ropy, zemního plynu, uranových rud, koksování, rafinérské zpracování ropy, výroba jaderných paliv, výroba a rozvod páry a teplé vody, atd.)

Průmysl, Stavebnictví,

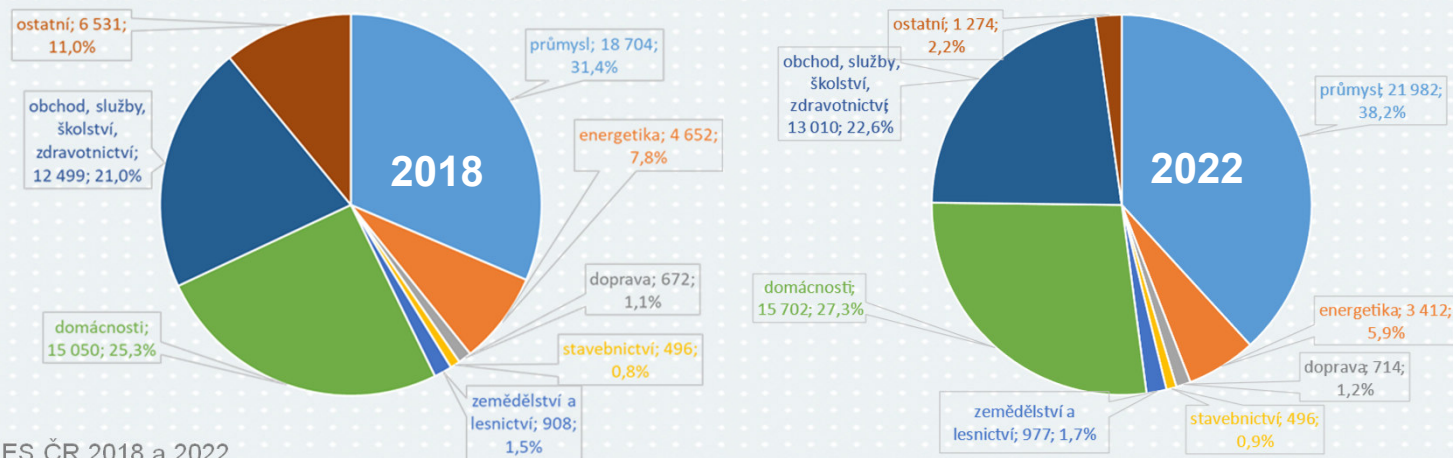
Doprava – doprava pozemní (silniční i železniční), vodní, atd.

Obchod služby, školství, zdravotnictví - velkoobchod a zprostředkování obchodu bez obchodu s vykazovanými položkami, maloobchod, služby, peněžnictví, správa, zdravotnictví, výzkum, vývoj, apod.

Domácnosti – přímý prodej domácnostem, včetně bytových družstev a společenství vlastníků jednotek (tj. subjektů s předpokládaným výrazným podílem domácností jako konečných spotřebitelů tepla, které nejsou držitelem licence na výrobu nebo rozvod tepla).

Zemědělství a lesnictví - zemědělství, myslivost, lesní hospodářství, chov ryb, rybolov

Ostatní - dodávky ostatním odběratelům, které nelze zařadit do předchozích sloupců



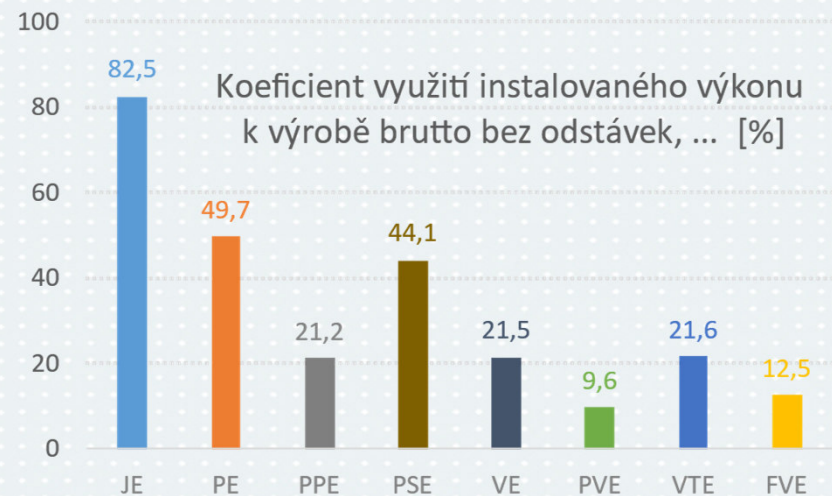
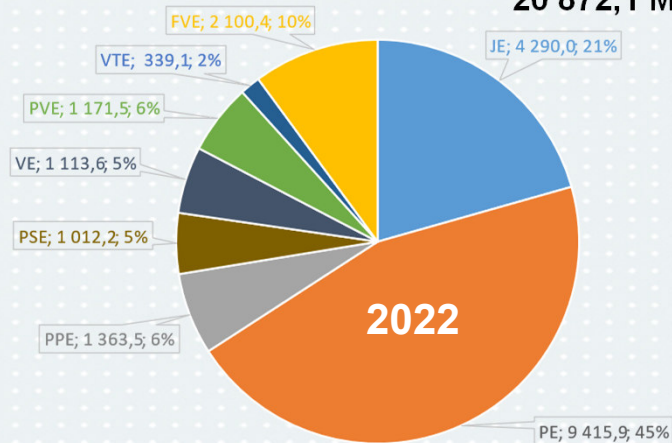
Elektroenergetika

Instalovaný výkon v ČR (rok 2022) × využití vůči brutto výrobě

| | |
|--------------------------------------|---|
| Jaderné elektrárny (JE) | 4 290,0 MW (20,6 %) × 82,5 % |
| Parní elektrárny (PE) | 9 415,9 MW (45,3 %) × 49,7 % (2019 -671,6 MW, 2020 -531,1 MW, 2021 -111,3 MW) |
| Paroplynové elektrárny (PPE) | 1 363,5 MW (6,6 %) × 21,2 % (2021 43,9 %) |
| Plynové a spalovací elektrárny (PSE) | 1 012,2 MW (4,9 %) × 44,1 % (2020 +21,5 MW, 2021 +28,6 MW) |
| Vodní elektrárny (VE) | 1 113,1 MW (5,4 %) × 21,5 % (2020 +19,5 MW, 2021 +0,2 MW) |
| Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) | 1 171,5 MW (5,6 %) × 9,6 % |
| Větrné elektrárny (VTE) | 339,1 MW (1,6 %) × 21,6 % (2021 +0,3 MW) |
| Fotovoltaické elektrárny (FVE) | 2 100,4 MW (10,1 %) × 12,5 % (2020 +12,1 MW, 2020 +16,9 MW) |

Celkem

20 872,1 MW

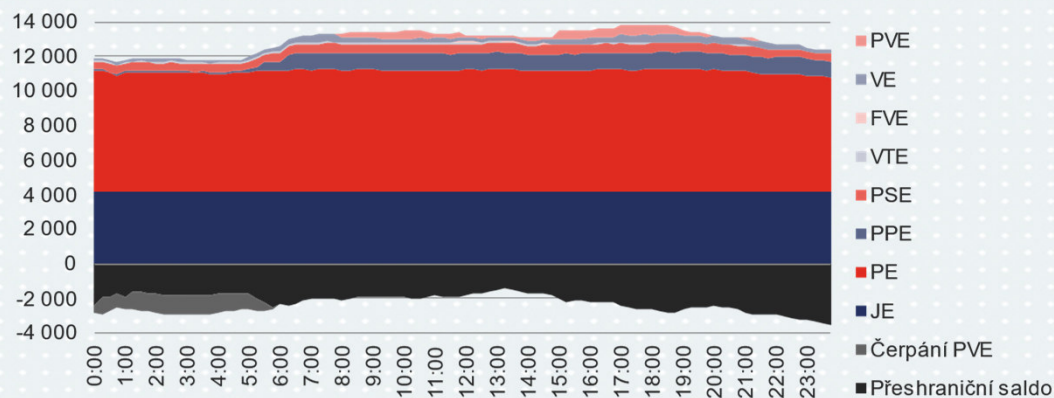


Elektroenergetika

Den maxima zatížení ES ČR v roce 2022 (14. 12. 2022 13:15)

| | [MW] | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|
| Zatížení brutto | 11 774,4 | 100% |
| Jaderné elektrárny (JE) | 4 203,5 | 36% |
| Parní elektrárny (PE) | 7 038,8 | 60% |
| Paroplynové elektrárny (PPE) | 965,0 | 8% |
| Plynové a spalovací elektrárny (PSE) | 547,9 | 5% |
| Vodní elektrárny (VE) | 191,4 | 2% |
| Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) | 150,6 | 1% |
| Fotovoltaické elektrárny (FVE) | 42,8 | 0% |
| Větrné elektrárny (VTE) | 69,8 | 1% |
| Přeshraniční saldo | -1 435,5 | -12% |
| Čerpání PVE | 0,0 | 0% |

Zatížení brutto ve dni maxima (MW)

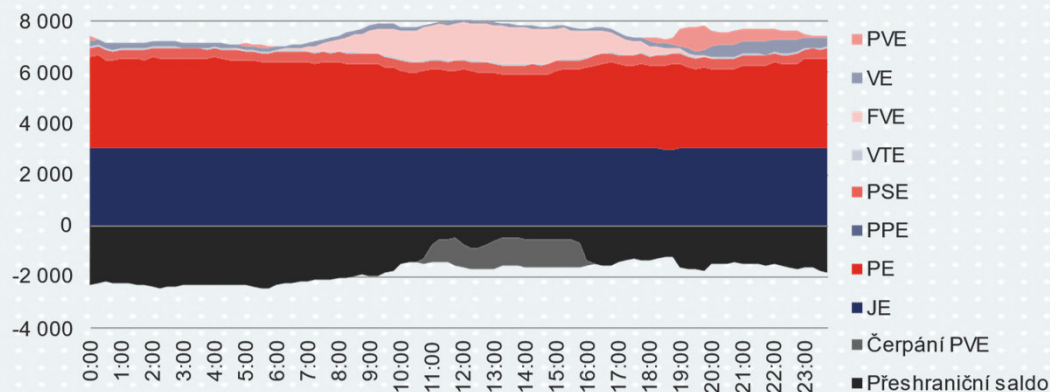


Elektroenergetika

Den maxima zatížení ES ČR v roce 2022 (14. 12. 2022 13:15)

| | [MW] | |
|--------------------------------------|----------------|-------------|
| Zatížení brutto | 4 616,6 | 100% |
| Jaderné elektrárny (JE) | 3 050,7 | 66% |
| Parní elektrárny (PE) | 3 329,3 | 72% |
| Paroplynové elektrárny (PPE) | 0,0 | 0% |
| Plynové a spalovací elektrárny (PSE) | 367,5 | 8% |
| Vodní elektrárny (VE) | 137,4 | 3% |
| Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) | 89,0 | 2% |
| Fotovoltaické elektrárny (FVE) | 15,2 | 0% |
| Větrné elektrárny (VTE) | 63,0 | 1% |
| Přeshraniční saldo | -2 435,4 | -53% |
| Čerpání PVE | 0,0 | 0% |

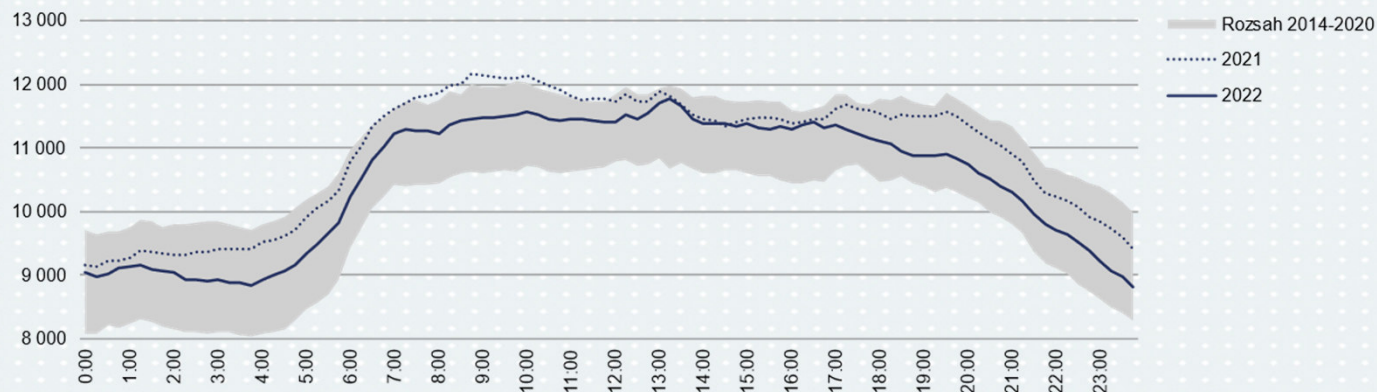
Zatížení brutto ve dni minima (MW)



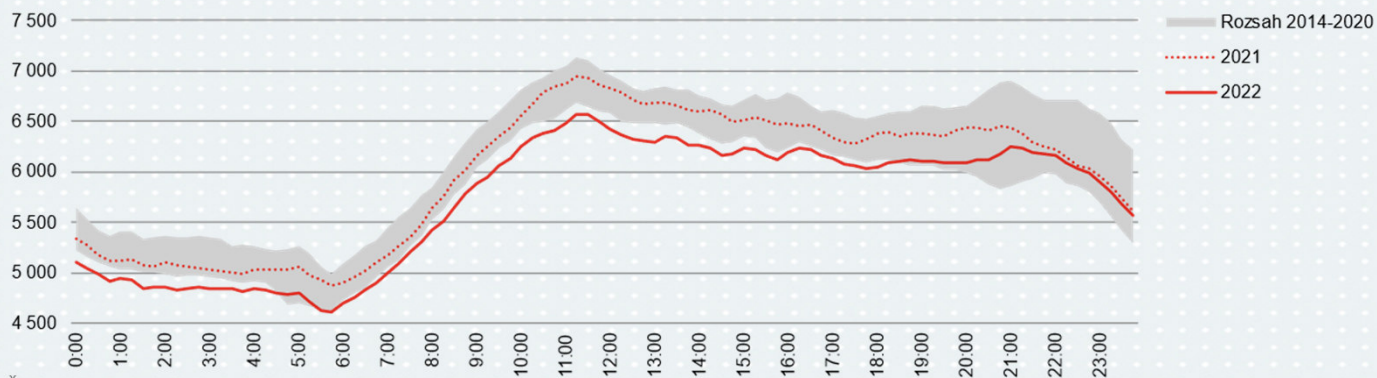
Elektroenergetika

Průběh spotřeby brutto ve dni maxima a minima

Průběh spotřeby brutto ve dnech ročního maxima (MW)



Průběh spotřeby brutto ve dnech ročního minima (MW)

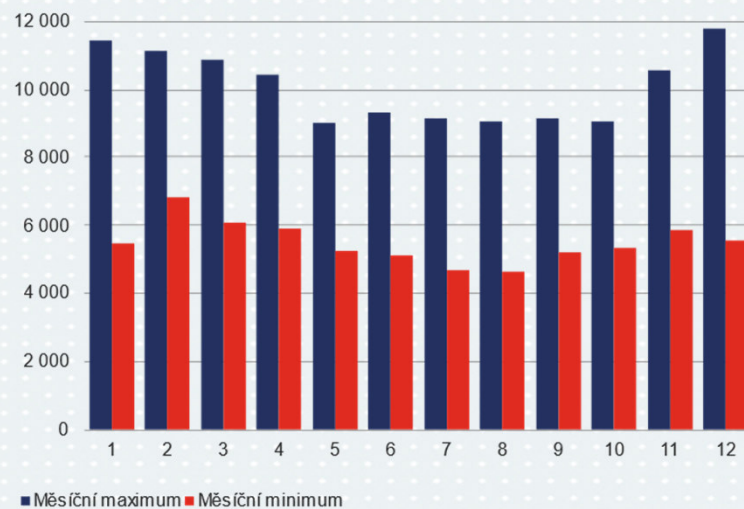


Elektroenergetika

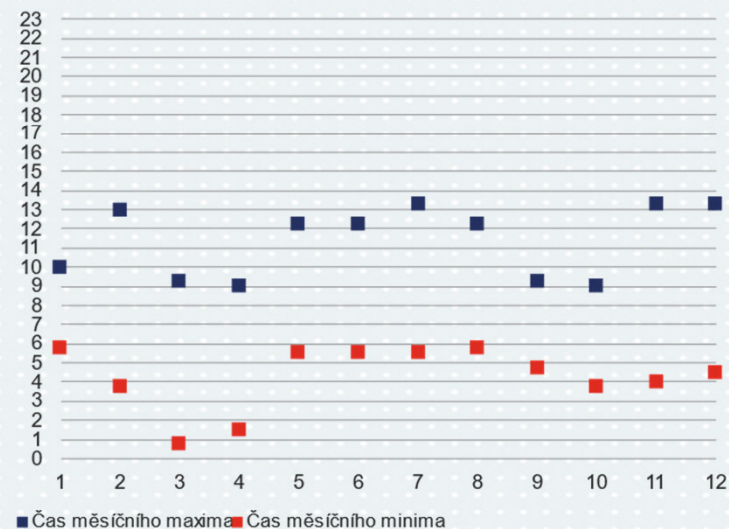
Měsíční maxima a minima zatížení ES ČR v roce 2022

| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Měsíční maximum [MW] | 11 462,6 | 11 122,0 | 10 865,3 | 10 447,2 | 8 990,2 | 9 324,9 | 9 145,4 | 9 022,8 | 9 119,9 | 9 059,3 | 10 572,6 | 11 774,4 |
| Datum | 12. 1. | 1. 2. | 7. 3. | 5. 4. | 25. 5. | 28. 6. | 19. 7. | 18. 8. | 21. 9. | 13. 10. | 22. 11. | 14. 12. |
| Čas ^{*)} | 10:00 | 13:00 | 9:15 | 9:00 | 12:15 | 12:15 | 13:15 | 12:15 | 9:15 | 9:00 | 13:15 | 13:15 |
| Měsíční minimum [MW] | 5 485,3 | 6 811,8 | 6 066,0 | 5 903,1 | 5 258,5 | 5 093,6 | 4 693,2 | 4 616,6 | 5 185,7 | 5 334,2 | 5 839,7 | 5 562,3 |
| Datum | 1. 1. | 20. 2. | 27. 3. | 16. 4. | 15. 5. | 12. 6. | 31. 7. | 7. 8. | 4. 9. | 16. 10. | 6. 11. | 26. 12. |
| Čas ^{*)} | 5:45 | 3:45 | 0:45 | 1:30 | 5:30 | 5:30 | 5:30 | 5:45 | 4:45 | 3:45 | 4:00 | 4:30 |

Měsíční maxima a minima zatížení (MW)



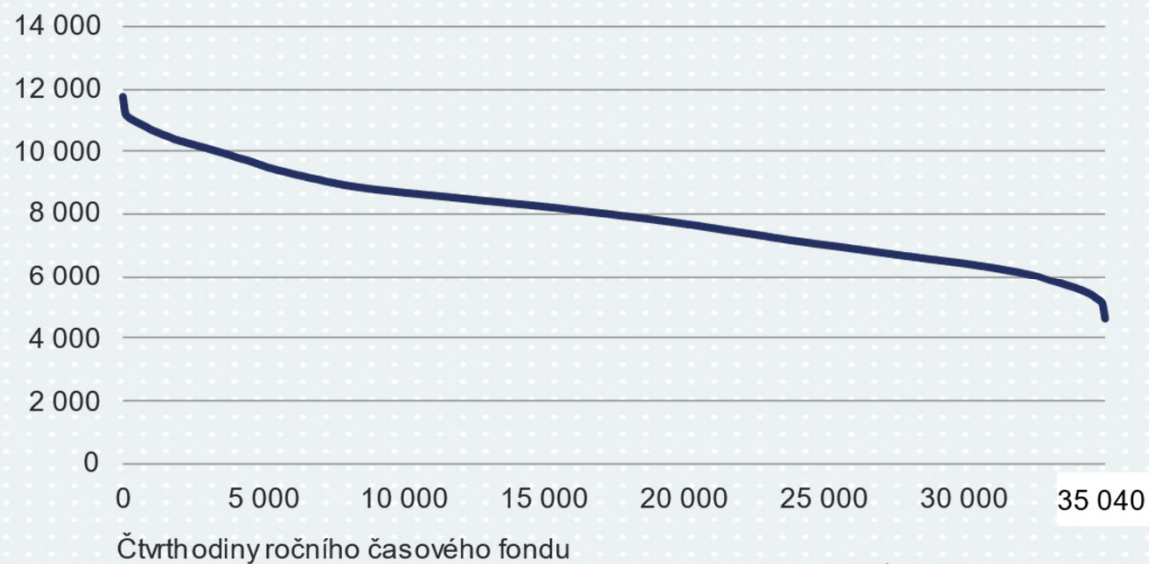
Čas dosažení maxima a minima zatížení



Elektroenergetika

Křivka trvání zatížení výroby brutto (2022) [MW]

Čára trvání zatížení brutto (MW)



$$\frac{35\,040}{4} = 8\,760\text{ h}$$

Podpůrné služby (PpS)

Hlavní činností ČEPS, a.s., je zajišťovat spolehlivý provoz a rozvoj přenosové soustavy nejen na území ČR, ale v kontextu mezinárodní spolupráce i v rámci propojených přenosových soustav.

ČEPS, a.s., zajišťuje

- přenos elektřiny mezi výrobcí a distributory,
- **systemové a podpůrné služby,**
 - udržování kvality elektřiny
 - udržování výkonové rovnováhy v reálném čase
 - obnovení provozu
 - dispečerské řízení
- spolupracuje na přidělování přeshraniční kapacity formou aukcí.

Podpůrné služby (PpS)

Rozdělení podpůrných služeb do 31. 3. 2019

- Primární regulace frekvence (PR)
- Sekundární regulace výkonu (SR)
- Minutová záloha (MZ5 a MZ15 – kladná / záporná)
(virtuální blok MZ -15)
(snížení výkonu (SV30))
- Schopnost ostrovního provozu (OP)
- Schopnost startu ze tmy – Black Start (BS)

Od 1. 4. 2019 došlo v souvislosti s implementací evropských nařízení SOGL a EBGL k přejmenování názvů podpůrných služeb

Podpůrné služby (PpS)

Rozdělení podpůrných služeb od 1. 4. 2019

(A) Služby výkonové rovnováhy

(1) Proces automatické regulace frekvence (FCP) *(dříve PR)¹⁾*

/ Záloha pro automatickou regulaci frekvence (FCR)

(2) Automaticky ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy (aFRP) *(dříve SR)¹⁾*

/ Záloha pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací (aFRR)

(3) Ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy (mFRPt); $t = 5; 15+; 15 -$ *(dříve MZt)¹⁾*

/ Zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s manuální aktivací (mFRRt)

(4) Proces Náhrady záloh (RRP)

(B) Ostatní podpůrné služby

(1) Sekundární regulace U/Q (SRUQ)

(2) Ostrovní provoz (OP)²⁾

(3) Start ze tmy (BS)²⁾

Pozn.: ¹⁾ Původní označení PpS, ²⁾ původní i současné označení PpS

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ**



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



FAKULTA
CHEMICKÁ



FAKULTA
STAVEBNÍ



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Projektování energetických centrál

3. – 6. Základní technologie parního oběhu

Fakulta strojního inženýrství

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

2024



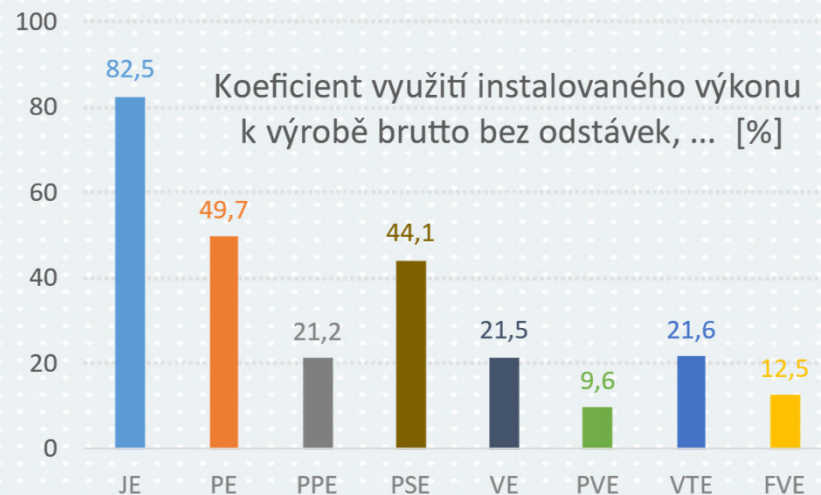
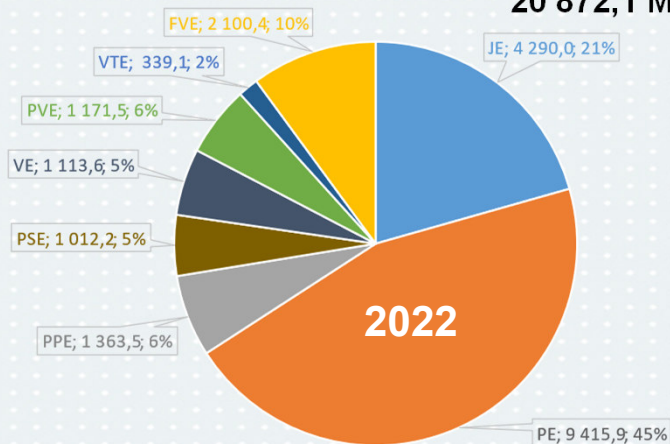
Vysoké učení technické v Brně



Elektroenergetika

Instalovaný výkon v ČR (rok 2022) × využití vůči brutto výrobě

| | |
|---|---|
| Jaderné elektrárny (JE) | 4 290,0 MW (20,6 %) × 82,5 % |
| Parní elektrárny (PE) | 9 415,9 MW (45,3 %) × 49,7 % ⇒ ∑ 13 705,9 (65,7 %) |
| Paroplynové elektrárny (PPE) | 1 363,5 MW (6,6 %) × 21,2 % |
| Plynové a spalovací elektrárny (PSE) | 1 012,2 MW (4,9 %) × 44,1 % |
| Vodní elektrárny (VE) | 1 113,1 MW (5,4 %) × 21,5 % |
| Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) | 1 171,5 MW (5,6 %) × 9,6 % |
| Větrné elektrárny (VTE) | 339,1 MW (1,6 %) × 21,6 % |
| Fotovoltaické elektrárny (FVE) | 2 100,4 MW (10,1 %) × 12,5 % |
| Celkem | 20 872,1 MW |



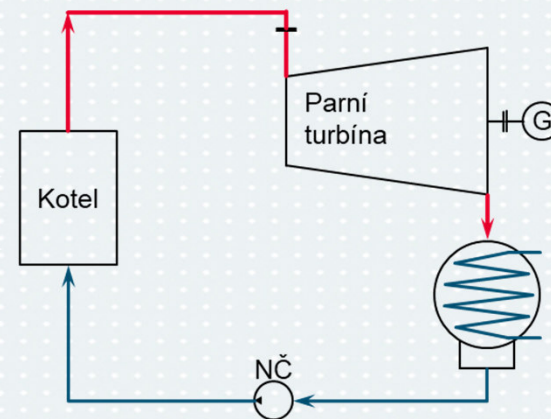
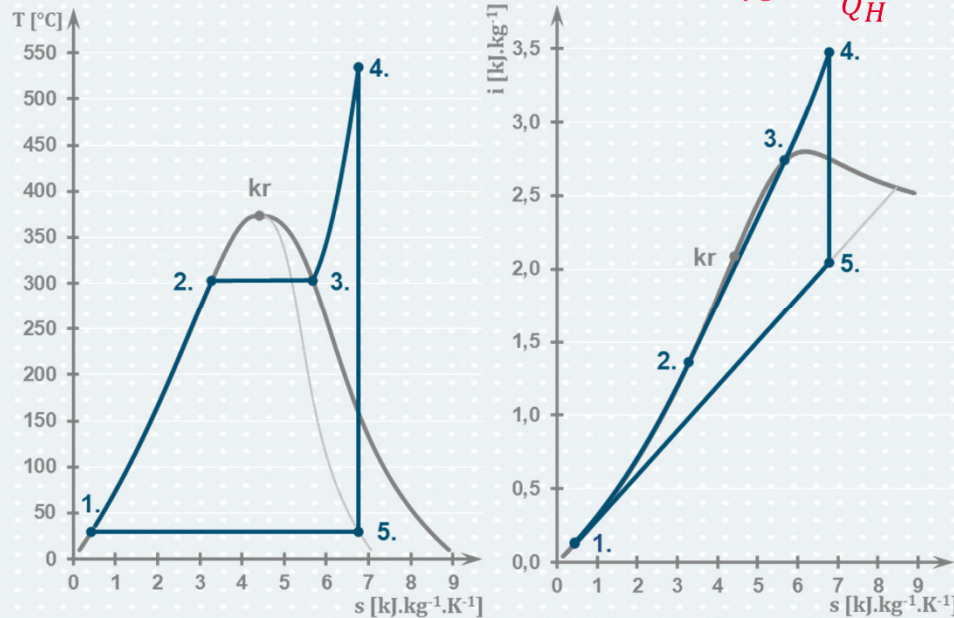
Elektroenergetika

Výroba elektřiny v ČR (rok 2022) – podle zdroje

| | 2018 | | 2022 | |
|---|------------------|--------|-------------------|--------|
| Výroba elektřiny brutto | 88 002 GWh | | 84 503 GWh | |
| * Hnědé uhlí | 37 734 GWh | 42,9 % | 34 306 GWh | 40,4 % |
| * Jaderné palivo | 29 921 GWh | 34,0 % | 31 022 GWh | 36,5 % |
| Obnovitelné zdroje energie (OZE) | 9 404 GWh 10,7 % | | 10 437 GWh 12,3 % | |
| * - Biomasa | 2 119 GWh | 2,4 % | 2 659 GWh | 3,1 % |
| * Zemní plyn | 3 488 GWh | 4,0 % | 4 038 GWh | 4,8 % |
| * Černé uhlí | 3 455 GWh | 3,9 % | 2 426 GWh | 2,9 % |
| Přečerpávací | 1 051 GWh | 1,2 % | 990 GWh | 1,2 % |
| * Ostatní plyny | 2 752 GWh | 3,1 % | 941 GWh | 1,1 % |
| * Ostatní pevná paliva (mimo BRKO) | 77 GWh | 0,1 % | 98 GWh | 0,1 % |
| * Odpadní teplo | 64 GWh | 0,1 % | 66 GWh | 0,1 % |
| * Topné oleje | 35 GWh | 0,0 % | 23 GWh | 0,0 % |
| Ostatní kapalná paliva | 22 GWh | 0,0 % | 12 GWh | 0,0 % |
| Ostatní | 1 GWh | 0,0 % | 144 GWh | 0,2 % |
| * Koks | 0 GWh | 0,0 % | 0 GWh | 0,0 % |

Rankin Clausiův cyklus

Carnotova účinnost: $\eta_C = \frac{A}{Q_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$

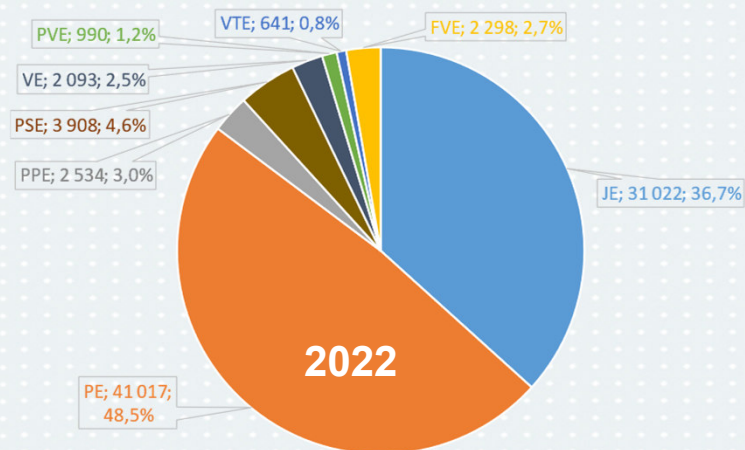
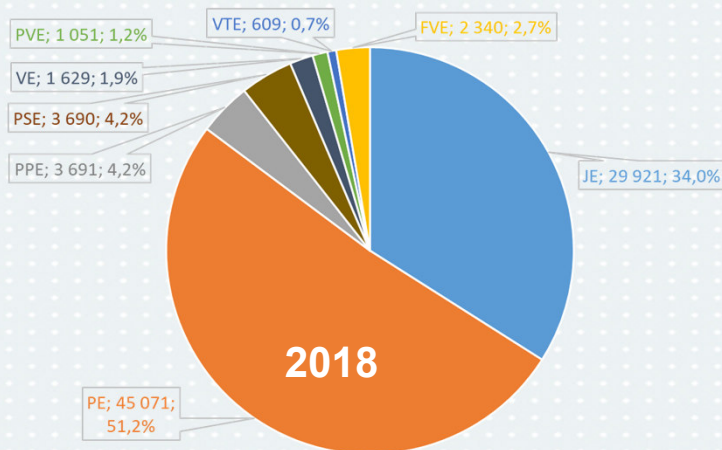


(4) $90 \text{ bar}_a / 535 \text{ }^\circ\text{C}$; (ch) $15/25 \text{ }^\circ\text{C}$; (5 \rightarrow 1) $4,3 \text{ kPa}_a / 30 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Rightarrow i_{str} = 1804 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \Rightarrow t_H = 303,3 \text{ }^\circ\text{C}$ a $t_C = 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Rightarrow \eta_C = 1 - \frac{30,0 + 273,15}{303,3 + 273,15} = 0,474 [-]$

Elektroenergetika

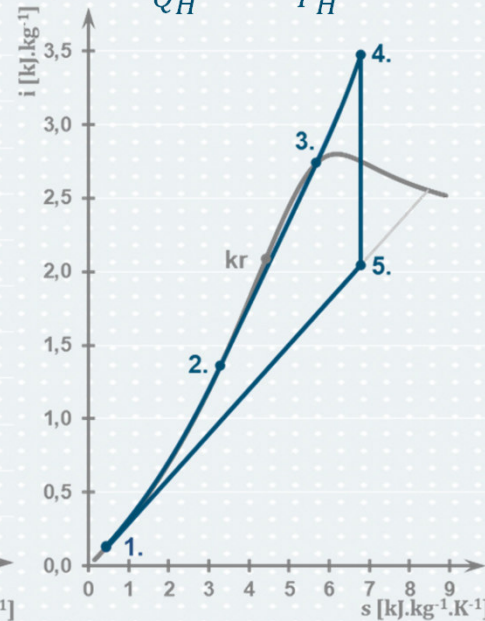
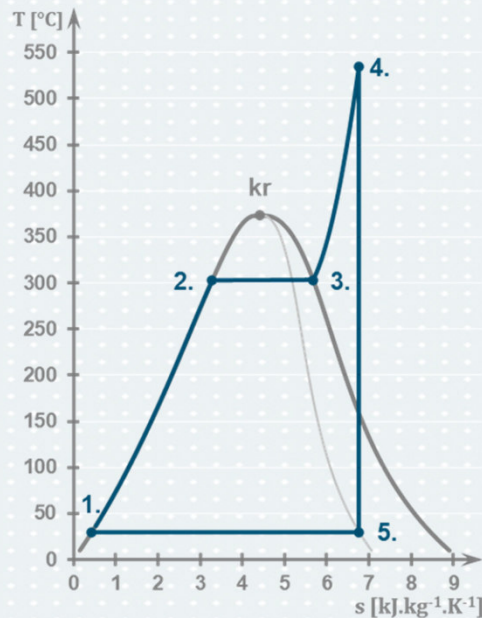
Výroba elektřiny v ČR (rok 2022) – podle zdroje

| | Výroba brutto | | TVSe | | TVSt | | Výroba netto | |
|---|---------------|------|--------------|-------------|------------|------------|---------------|------|
| | GWh | % | GWh | % z brutto | GWh | % z brutto | GWh | % |
| Jaderné elektrárny (JE) | 31 022 | 36,7 | 1 710 | 5,51 | 3 | 0,01 | 29 311 | 37,2 |
| Parní elektrárny (PE) | 41 017 | 48,5 | 3 730 | 9,09 | 937 | 2,29 | 37 288 | 47,4 |
| Paroplynové elektrárny (PPE) | 2 534 | 3,0 | 34 | 1,35 | 6 | 0,23 | 2 499 | 3,2 |
| Plynové a spalovací elektrárny (PSE) | 3 908 | 4,6 | 225 | 5,76 | 37 | 0,95 | 3 683 | 4,7 |
| Vodní elektrárny (VE) | 2 093 | 2,5 | 17 | 0,80 | - | - | 2 077 | 2,6 |
| Přečerpávací vodní elektrárny (PVE) | 990 | 1,2 | 13 | 1,28 | - | - | 977 | 1,2 |
| Větrné elektrárny (VTE) | 641 | 0,8 | 8 | 1,26 | - | - | 633 | 0,8 |
| Fotovoltaické elektrárny (FVE) | 2 298 | 2,7 | 19 | 0,81 | - | - | 2 280 | 2,9 |
| Celkem | 84 503 | | 5 755 | 6,81 | 983 | 1,2 | 78 748 | |



Rankin Clausiův cyklus

Carnotova účinnost: $\eta_C = \frac{A}{Q_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ × Tepelná účinnost: $\eta_t = \frac{a^T - \sum a^{\check{c}}}{\dot{q}_D}$



Ledvice – blok č. 6:

600 / 610 °C / 28 MPa

660 MW_e (– cca 9 % TVSe)

η_t až 42,5 %

(4) 90 bar_a / 535 °C; (ch) 15/25 °C; (5 → 1) 4,3 kPa_a / 30 °C

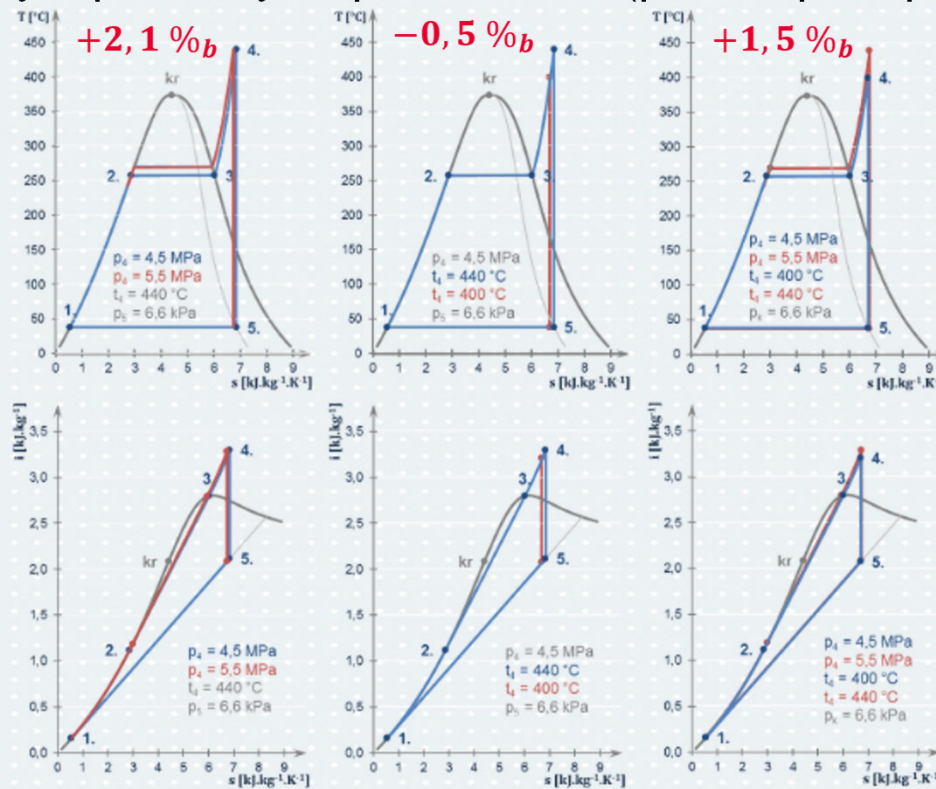
$\Rightarrow i_{str} = 1804 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \Rightarrow t_H = 303,3 \text{ °C} \text{ a } t_C = 30,0 \text{ °C}$

$\Rightarrow \eta_C = 1 - \frac{30,0 + 273,15}{303,3 + 273,15} = 0,474 [-]$

Rankin Clausiův cyklus

Zvyšování tepelná účinnosti: $\eta_t = \frac{a^T - \Sigma a^{\check{c}}}{\dot{q}_D}$

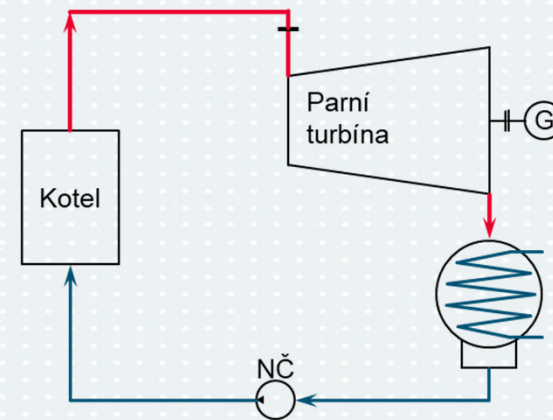
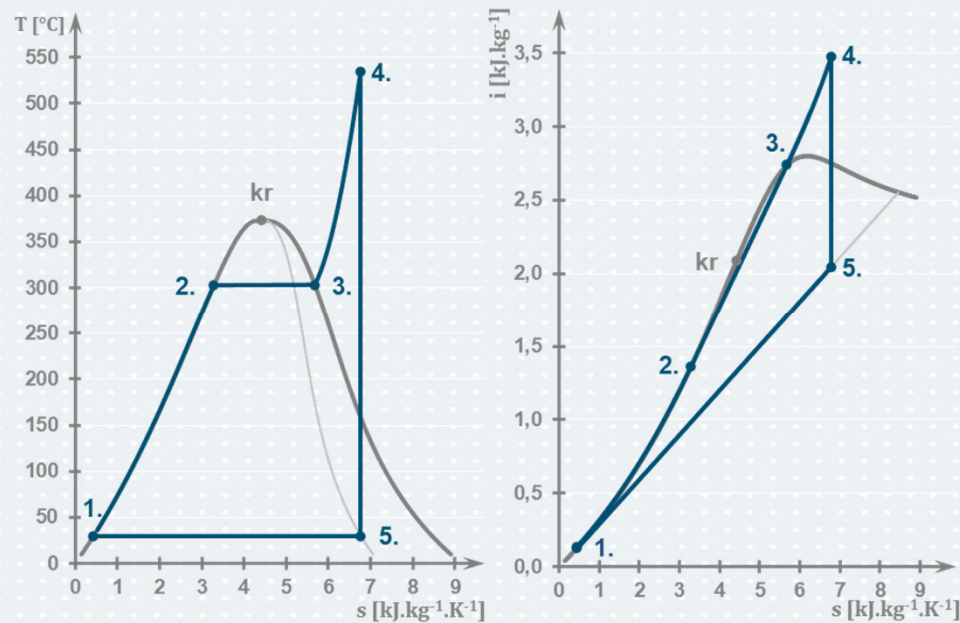
(1) zvýšení střední teploty tepla do cyklu přivedeného (p × T × pT × přehřívání)



Rankin Clausiův cyklus

$$\text{Zvyšování tepelná účinnosti: } \eta_t = \frac{a^T - \sum a^{\check{c}}}{\dot{q}_D}$$

- (1) zvýšení střední teploty tepla do cyklu přivedeného ($p \times T \times pT \times$ přehřívání)
- (2) snížení střední teploty tepla z cyklu odvedeného
- (3) regenerace tepla (NTO \times NN \times VTO)



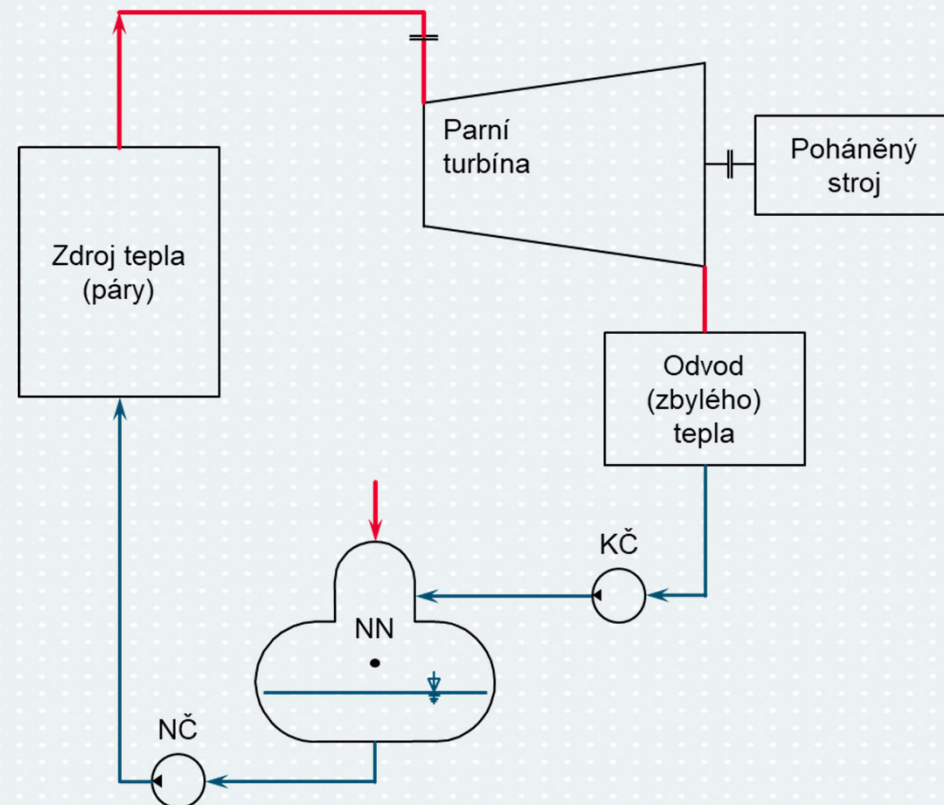
Tepelný oběh parní elektrárny

At' již provozovatel / projektant / dodavatel musí mít na začátku jasno, co od tepelného schématu požaduje

Základní technologický celek je

- „zdroj tepla / páry“
- „parní turbína“
- „odvod (zbylého) tepla“
- „kondenzátní čerpadlo“
- „napájecí nádrž“
- „napájecí čerpadlo“
- „zdroj tepla / páry“

Nejčastější teplonosnou látkou je voda / vodní pára

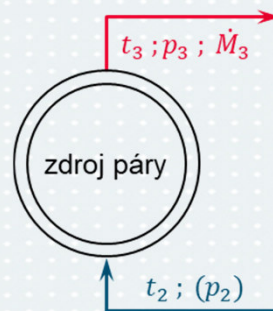


Zdroj tepla / páry

(a) pára z technologických procesů

pro další využití, místo jejího maření (chemický, petrolejářský průmysl, ...)

- pro technologické schéma většinou známe její kvalitu (**teplotu a tlak**) a kvantitu (**množství**), která může být v čase proměnná podle podmínek provozu (**měl by být uvedeny provozní hodiny pro jednotlivé hlavní parametry**, jako například:
 - rok má $365 \text{ dní} \cdot 24 \text{ hodin} = 8\,760 \text{ hodin}$ – cca 14 dní (336 hodin) odstávka ročně $\Rightarrow 8\,424 \text{ hodin}$ (při plném ročním provozu).
 - z toho například 4 000 hodin při parametrech $320 \text{ °C} / 65 \text{ bar}_a / 70 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ a 2 000 hodin bude jen $35 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ a zbytek roku někde mezi \Rightarrow dva provozní GP
- zároveň by měly být definovány požadavky na vratný kondenzát, pokud jsou (a to především teplota)

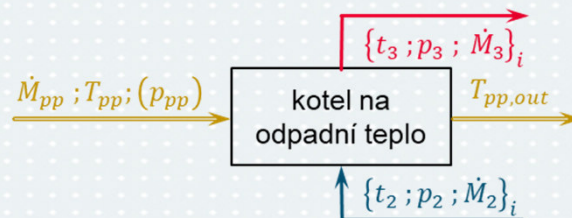


Zdroj tepla / páry

(b) plynné produkty nesoucí vysoce potenciální teplo

například chemičky, ..., plynová turbína

- využívají se v kotli na odpadní teplo (jedno nebo dvoutlaké kotle) z čehož opět většinou známe teplotu, tlak a množství páry generované v kotli a u dvoutlakých kotlů i parametry druhé páry (přihřívané, nebo přídavné). Například
 - primární pára $44 \text{ bar}_a / 460 \text{ }^\circ\text{C}$,
 - sekundární pára $5,5 \text{ bar}_a / 250 \text{ }^\circ\text{C}$.

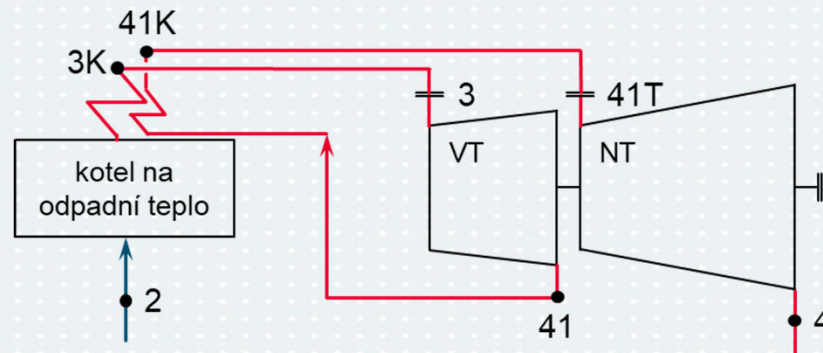


Zdroj tepla / páry

(b) plynné produkty nesoucí vysoce potenciální teplo

například chemičky, ..., plynová turbína

- využívají se v kotli na odpadní teplo (jedno nebo dvoutlaké kotle) z čehož opět většinou známe teplotu, tlak a množství páry generované v kotli a u dvoutlakých kotlů i parametry **druhé páry (přihřívané, nebo přídavné)**. Například
 - primární pára $44 \text{ bar}_a / 460 \text{ }^\circ\text{C}$,
 - sekundární pára $5,5 \text{ bar}_a / 250 \text{ }^\circ\text{C}$.

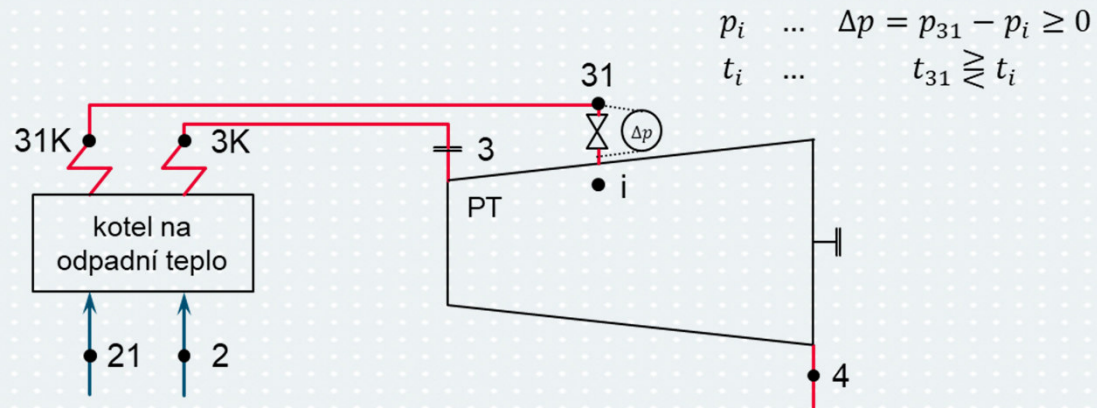


Zdroj tepla / páry

(b) plynné produkty nesoucí vysoce potenciální teplo

například chemičky, ..., plynová turbína

- využívají se v kotli na odpadní teplo (jedno nebo dvoutlaké kotle) z čehož opět většinou známe teplotu, tlak a množství páry generované v kotli a u dvoutlakých kotlů i parametry **druhé páry** (přihřívané, nebo **přídavné**). Například
 - primární pára $44 \text{ bar}_a / 460 \text{ }^\circ\text{C}$,
 - sekundární pára $5,5 \text{ bar}_a / 250 \text{ }^\circ\text{C}$.



Zdroj tepla / páry

(b) plynné produkty nesoucí vysoce potenciální teplo

například chemičky, ..., plynová turbína

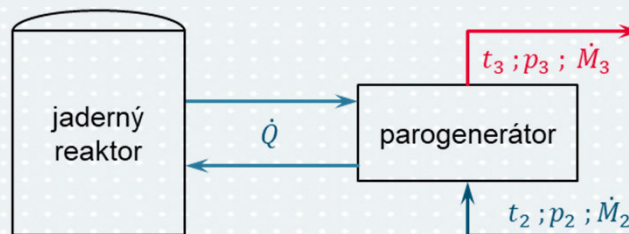
- využívají se v kotli na odpadní teplo (jedno nebo dvoutlaké kotle) z čehož opět většinou známe teplotu, tlak a množství páry generované v kotli a u dvoutlakých kotlů i parametry druhé páry (přihřívané, nebo přidavné). Například
 - primární pára $44 \text{ bar}_a / 460 \text{ }^\circ\text{C}$,
 - sekundární pára $5,5 \text{ bar}_a / 250 \text{ }^\circ\text{C}$.
- pro technologické schéma vyplyne z návrhu kotle:
 - teplota napájecí vody (v souslednosti s minimální teplotou spalin s ohledem na nízkoteplotní korozi)
 - teplota a tlak páry na výstupu z kotle (u dvoutlakých i druhá pára)
 - teplota, tlak a množství páry z přihříváku (pokud je)
 - množství páry podle velikosti zdroje tepla => dopočítá se výkon PT, nebo je požadován výkon PT a dopočítává se potřebný příkon plynného produktu

Zdroj tepla / páry

(c) kapalina nesoucí vysoce potenciální teplo

nejčastěji v jaderné elektrárně s tlakovodním reaktorem typu VVER (Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor), resp. PWR (Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor)

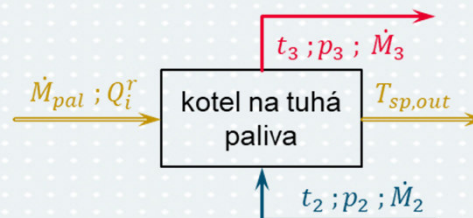
- JEDU
 - PO: 267 / 297 °C, 12,25 MPa, 42 000 m³ · hod⁻¹
 - SO: na výstupu z PG 260 °C, 4,61 MPa, 6 · 452 t · hod⁻¹
- JETE
 - PO: 290 / 320 °C, 15,7 MPa, 84 800 m³ · hod⁻¹
 - SO: na výstupu z PG 278,5 °C, 6,3 MPa, 4 · 1 470 t · hod⁻¹



Zdroj tepla / páry

(d) kotel na tuhá, kapalná nebo plynná paliva

- vlastnosti paliva (u tuhých například frakce, charakteristické teploty popele, výhřevnost, ... a množství)
- kotel může být navržen i pro různé kombinace paliva (uhlí x biomasa; bagassa x ZP)
- pro technologické schéma vyplyne z návrhu kotle:
 - teplota napájecí vody (v souslednosti s minimální teplotou spalin s ohledem na nízkoteplotní korozi)
 - teplota a tlak páry na výstupu z kotle
 - teplota, tlak a množství páry z přehříváku (pokud je)
 - množství páry podle velikosti zdroje paliva => dopočítá se výkon, nebo je výkon požadován a dopočítává se potřebné množství paliva



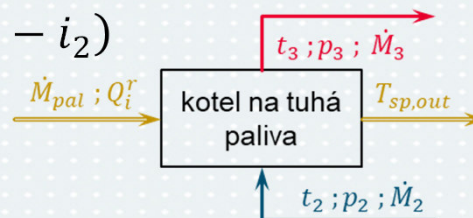
Zdroj tepla / páry

(d) kotel na tuhá, kapalná nebo plynná paliva

- zjednodušený výpočet potřebného množství paliva:
 - účinnost kotle η_K [-]
 - tuhá paliva: 85 – 90 % (*Ledvice – blok 6.*: 91,23 %)
 - plyn: 91 – 94 %
 - *výhřevnost paliva* Q_i^r [$J \cdot kg^{-1}$]
 - ČU: 22 – 28 $MJ \cdot kg^{-1}$
 - HU, komunální odpad: 8 – 12 $MJ \cdot kg^{-1}$
 - štěpka: 12 – 18 $MJ \cdot kg^{-1}$
 - ZP: 33,5 $MJ \cdot m_N^{-3}$ při $\rho_{tranzit}^{20^\circ C} = 0,68 \text{ kg} \cdot m^{-3} \Rightarrow 49,3 \text{ MJ} \cdot kg^{-1}$

$$\dot{Q}_D = \sum_{i=1}^n [\dot{M}_i \cdot (i_{out} - i_{in})_i] = \dot{M}_3 \cdot (i_3 - i_2)$$

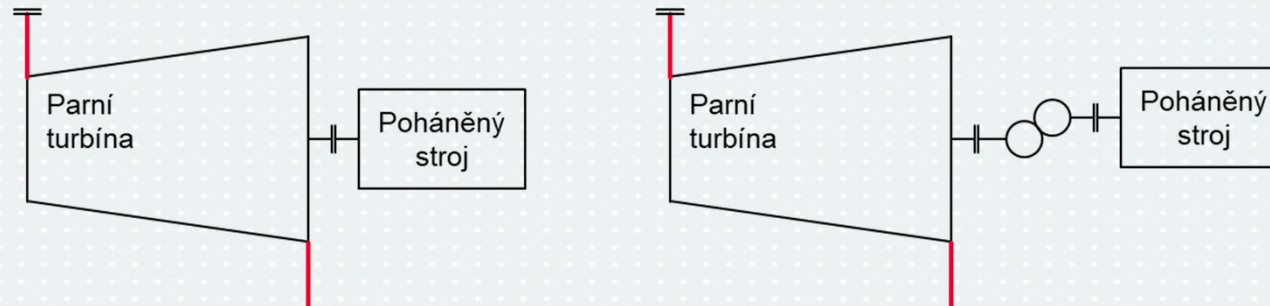
$$\dot{Q}_D = \dot{M}_{pal} \cdot Q_i^r \cdot \eta_K$$



Parní turbína – rozdělení

(1) podle poháněného stroje

- **turbíny pro pohon stroje** (například čerpadla – turbočerpadla; turbonapaječky i v řádech jednotek až desítek MW; pro pohon kompresorů – turbokompresory – i v řádech desítek MW např.: 80 MW a vyšší).
- **turbíny pro pohon generátoru** – generátor čtyřpólový = otáčky $1\,500\text{ min}^{-1}$ nebo dvoupólový s otáčkami $3\,000\text{ min}^{-1}$.
- **Otáčky turbíny a poháněného stroje mohou být**
 - (a) shodné** a stroje jsou spojeny prostřednictvím spojky
 - (b) nejsou shodné** z důvodů například nižších otáček turbíny kvůli posledním stupňům a pak je spojení realizováno prostřednictvím převodovky



Parní turbína – rozdělení

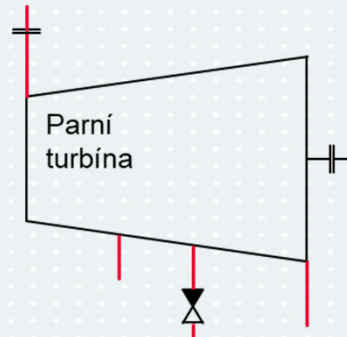
(2) podle výkonu

- malé jednostupňové parní turbíny (do *cca 2,0 MW*) – například v ČR G-team, PBS Velká Bíteš
- vícestupňové parní turbíny v řádech jednotek až stovek megawatt – například v ČR Siemens Energy, s.r.o, odštěpný závod Industrial Turbomachinery Ekol spol. s.r.o. Doosan Škoda Power, s.r.o. PBS Velká Bíteš a.s.

Parní turbína – odběry

(1) neregulované (NERO)

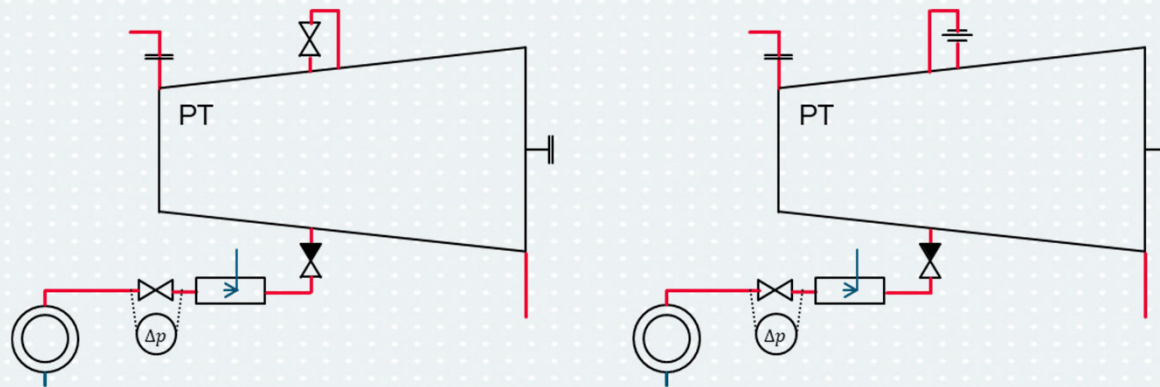
- Nejčastěji pro regeneraci, menší odběry do SCZT apod., Na parovodu není regulační ventil, ale pouze zpětná klapka



Parní turbína – odběry

(2) regulované

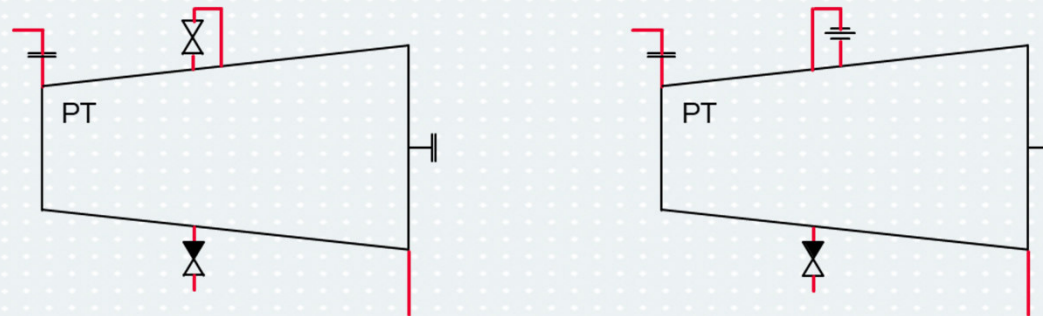
- mimo zpětné klapky je parovod osazen i regulačním ventilem, který reguluje průtok páry v požadovaném rozsahu.
- regulované odběry se rozdělují dle požadavku:
 - (a) **požadavkem je pára** o parametrech (p,t) a množství – tlak je vyšší o ztráty než požadovaný a teplota se případně upravuje (snižuje) vstřikem (v konstrukci, clona, A-kolo, ..). Důležité jsou parametry vratného kondenzátu – teplota a množství a obvykle se zavádí do schématu zpět na úrovni nízkotlaké regenerace.



Parní turbína – odběry

(2) regulované

- mimo zpětné klapky je parovod osazen i regulačním ventilem, který reguluje průtok páry v požadovaném rozsahu.
- regulované odběry se rozdělují dle požadavku:
 - (b) požadavkem je teplá / horká voda** – odebírá se pára do topných výměníků viz dále. V případě vysokých odběrů (více jak cca 10% vstupního hmotnostního průtoku) je konstrukčně realizováno jako u páry, jinak NERO, ale za provozu nelze regulovat tlak na výstupu z odběru PT



Parní turbína – i-s

Práce, účinnost a výkon PT

$$a_{iz}^T = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\dot{M}_i}{\dot{M}_0} \cdot (i_{iz,out} - i_{in})_i \right] \quad [J \cdot kg^{-1}]$$

$$a^T = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\dot{M}_i}{\dot{M}_0} \cdot (i_{out} - i_{in})_i \right] \quad [J \cdot kg^{-1}]$$

$$\eta_{TDi} = \frac{a^T}{a_{iz}^T} \quad [-]$$

$$P_{sv} = \dot{M}_0 \cdot a_{iz}^T \cdot \eta_{TDi} \cdot \eta_m \cdot \eta_{př} \cdot \eta_G \quad [W_e]$$

Parní turbína – shrnutí

Pro technologické schéma, resp. pro návrh turbíny, je třeba znát

- (1) turbína je pohonová (otáčky a příkon poháněného stroje), nebo generátorová (frekvence v síti, svorkový výkon TG, nebo hmotnostní průtok páry do turbíny)
- (2) parametry páry na vstupu / vstupech, případně parametry přehřívání
- (3) parametry páry v regulovaných odběrech a parametry vratného kondenzátu
- (4) neregulované odběry pro regeneraci. Zákazník si může řešit vlastní cestou, nebo s ní počítá v rámci regulovaných odběrů, nebo je bráno teplo z kotle (nejčastěji u kotle na odpadní teplo), anebo ji nechce vůbec
- (5) protitlak případně typ kondenzátoru, které jsou definovány dále

Parní kondenzátory

Rozdělí parních kondenzátoru

(1) vodou chlazený (dispozičně pod PT)

(a) průtočné, chladí se vodou z řeky, přehrady, ..

$$\Delta t_{43} \approx 3 \div 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ohřátí vody v řece do 1 až 2 $^\circ\text{C}$

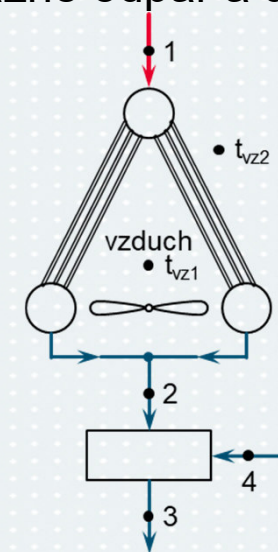
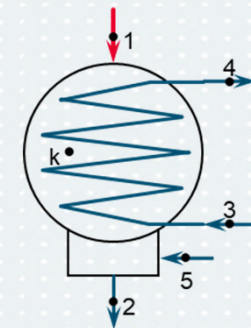
(b) s chladicí věží, kde se z externího zdroje voda pouze doplňuje převážně odpar a úlet

$$\Delta t_{43} \approx 10 \div 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(2) vzduchem chlazený (dispozičně na střeše)

$$\Delta t_{vz21} \approx 10 \div 15 \div 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(3) kombinovaná varianta (glykol + suché chladiče)



Parní kondenzátory

(1) Vodou chlazený kondenzátor

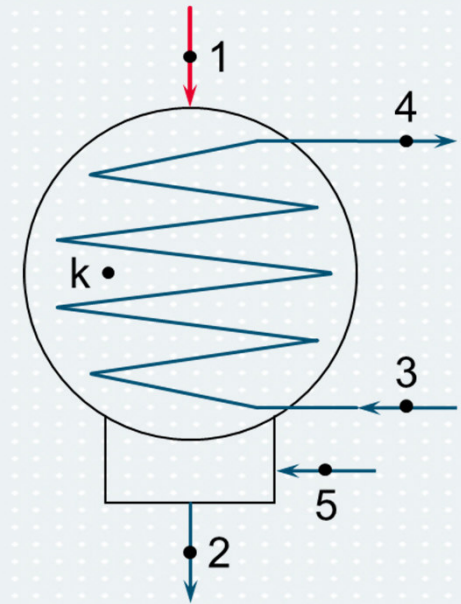
- (1) Přívod páry
- (2) Odvod kondenzátu
- (3) Přívod chladící vody
- (4) Odvod chladící vody
- (5 a) Přívod kaskádovaného kondenzátu z NTO
- (5 b) Doplnění vody do oběhu a další kond.

Okrajové podmínky:

- (1) $\dot{M}_2 = \dot{M}_1 + \dot{M}_5$
- (2) $\dot{M}_3 = \dot{M}_4$
- (3) $p_1 = p_2$

Tepelná bilance:

$$\dot{Q}_{12} + \dot{Q}_{52} = \dot{Q}_{34}$$
$$\dot{M}_1 \cdot (i_1 - i_2) + \dot{M}_5 \cdot (i_5 - i_2) = \dot{M}_3 \cdot (i_4 - i_3)$$

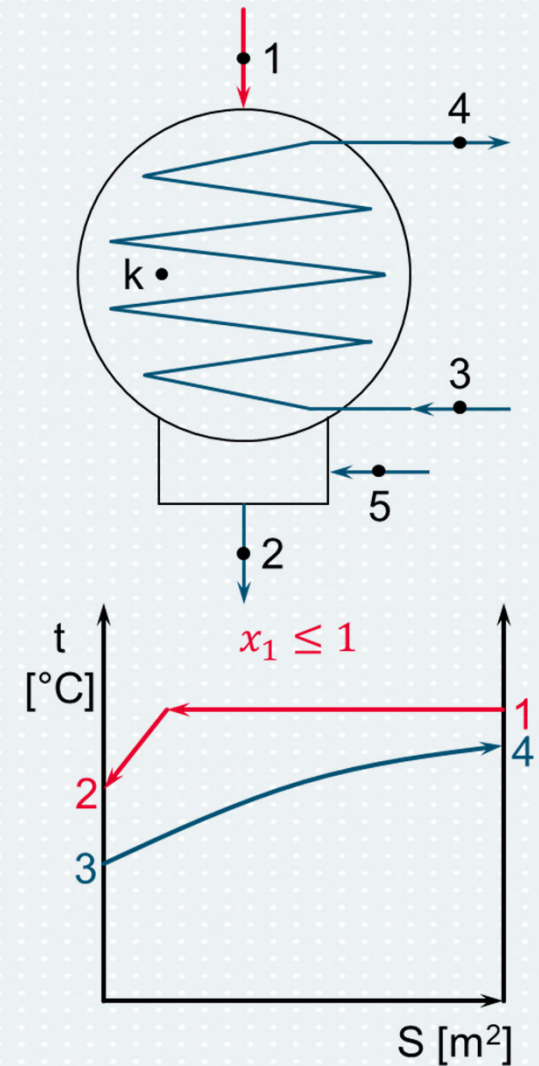


Pozn.: nejsou uvažováno brýdové páry

Parní kondenzátory

(1) Vodou chlazený kondenzátor

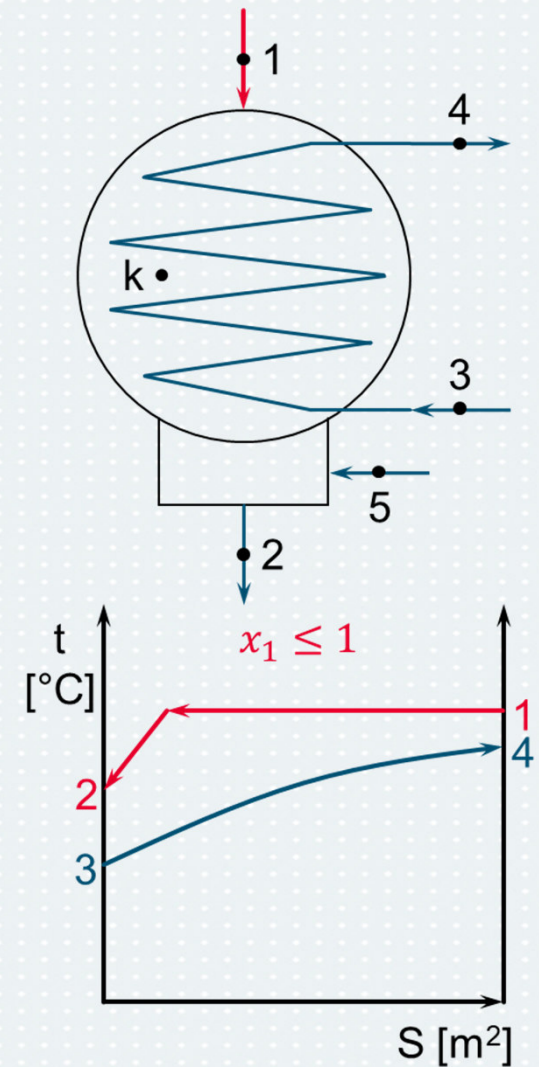
- Nedohřev $\delta_N [^{\circ}\text{C}]$ (nebo také koncový teplotní rozdíl)
 - *pro* $x_1 \leq 1 \in \delta_N = t_1 - t_4$
 - $p_1 = f\{t_1; x \in \langle 0; 1 \rangle\}$
 - při návrhovém stavu $\delta_N \in \langle 2 \text{ až } 5 \rangle ^{\circ}\text{C}$
- Podchlazení kondenzátu $\delta_P [^{\circ}\text{C}]$
 - $\delta_P = t_1 - t_2$
 - při návrhovém stavu $\delta_P \in \langle 1 \text{ až } 2 \rangle ^{\circ}\text{C}$
 - při neuvažování podchlazení *pro* $x_1 \leq 1 \in t_2 = t_1$



Parní kondenzátory

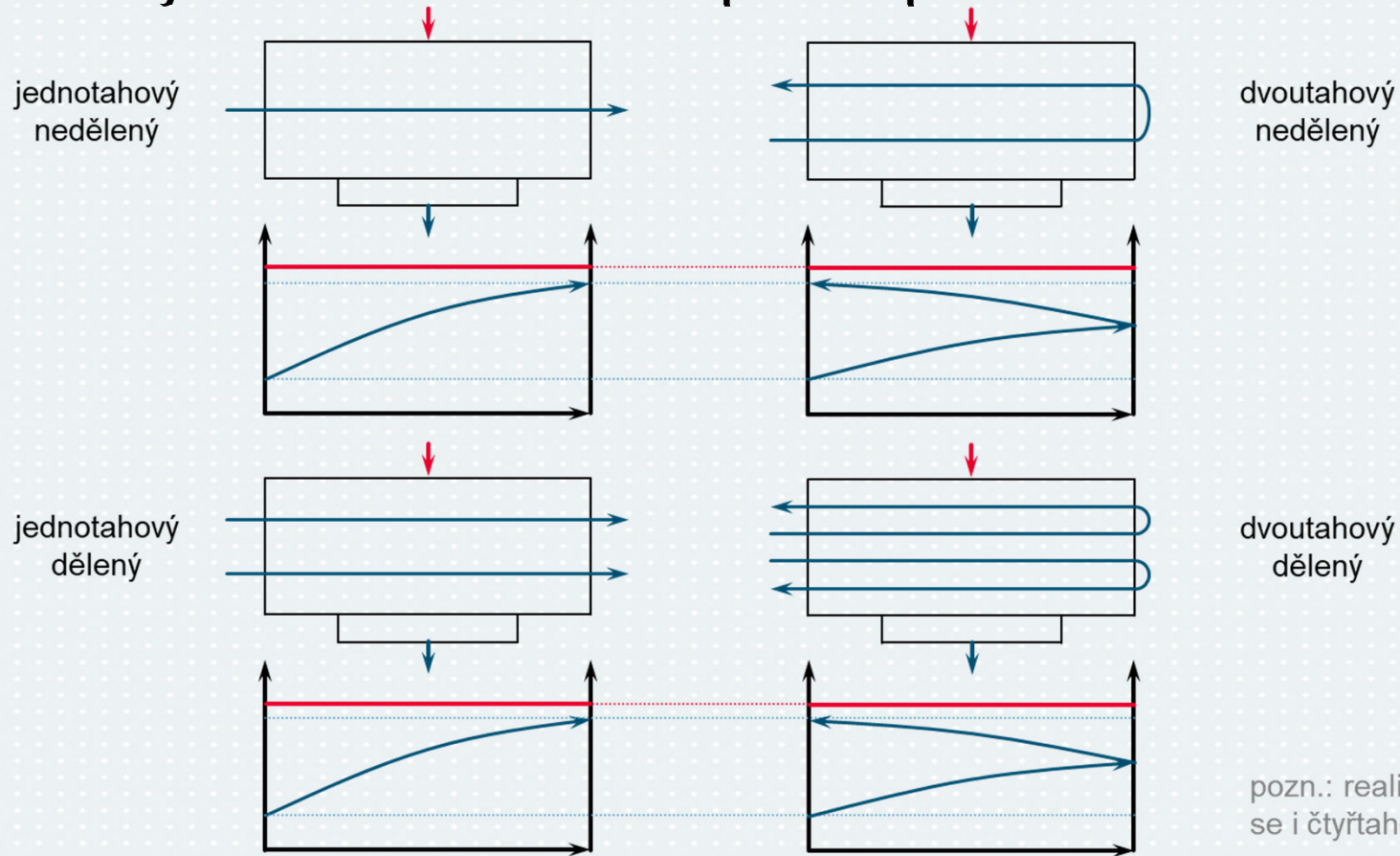
(1) Vodou chlazený kondenzátor

- Ohřátí chladicí vody
 - $\Delta t_{34} = t_4 - t_3$
 - při návrhovém stavu $\Delta t_{34} \in \langle 3 \div 5 \rangle ^\circ\text{C}$ nebo $\langle 10 \div 15 \rangle ^\circ\text{C}$
 - rychlost chladicí vody by neměla přesahovat $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (optimum je 1 až $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)



Parní kondenzátory

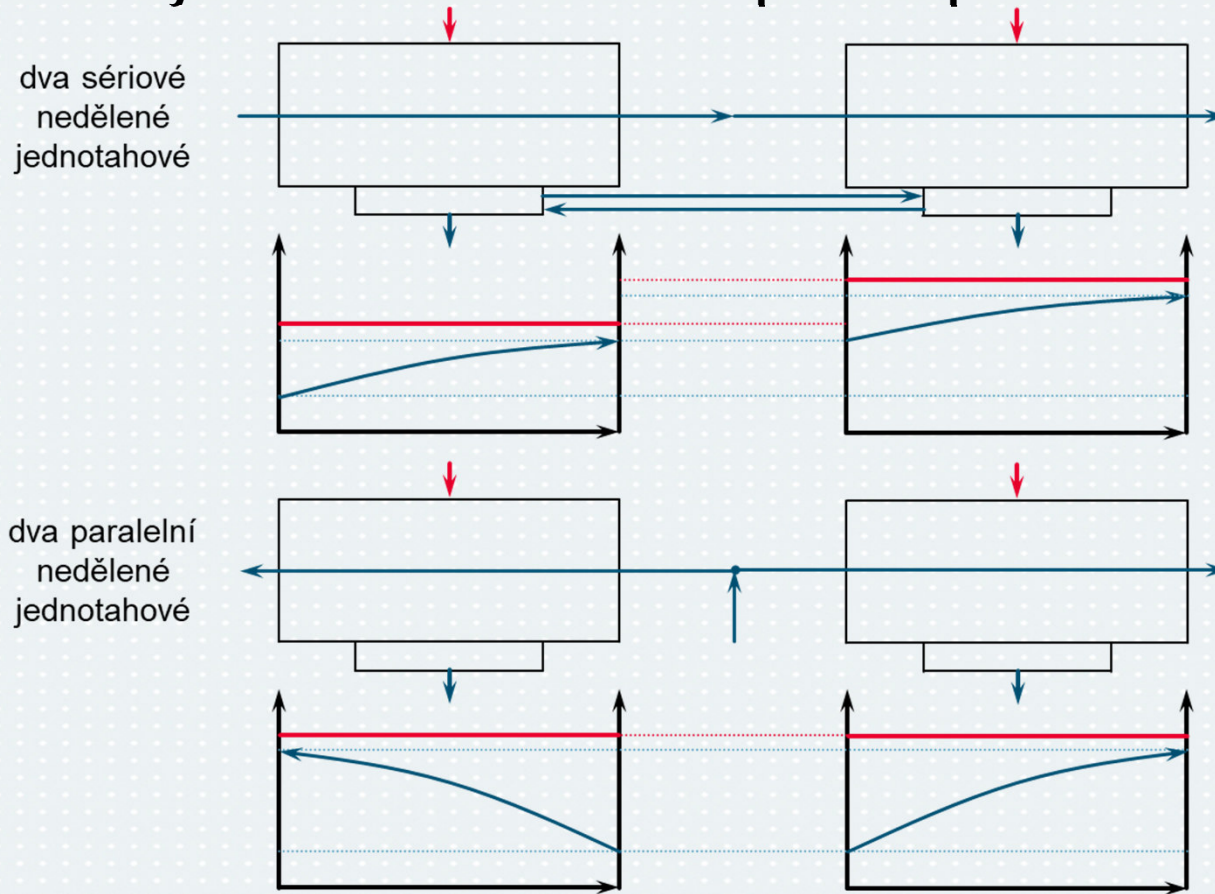
(1) Vodou chlazený kondenzátor – rozdělení podle uspořádání táhů



pozn.: realizují se i čtyřtahové

Parní kondenzátory

(1) Vodou chlazený kondenzátor – rozdělení podle uspořádání táhů



pozn.: realizují
se i dělené

Parní kondenzátory

(2) Vzduchem chlazený kondenzátor

- (1) Přívod páry
- (2) Odvod kondenzátu
- (3) Odvod kondenzátu ze sběrné nádrže
- (4 a) Přívod kaskádovaného kondenzátu z NTO
- (4 b) Doplnění vody do oběhu

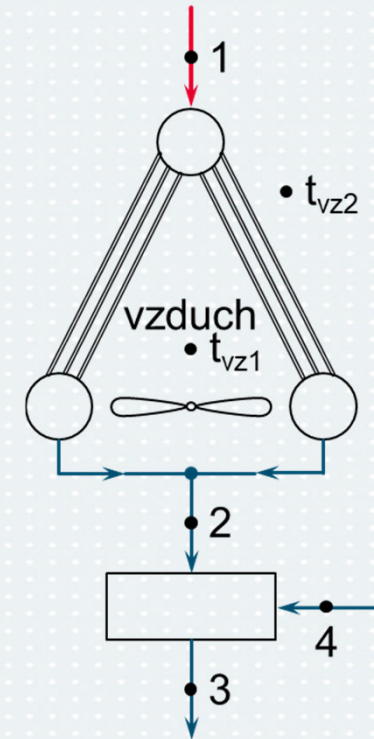
Okrajové podmínky:

- (1) $\dot{M}_1 = \dot{M}_2$
- (2) $\dot{M}_3 = \dot{M}_2 + \dot{M}_4$
- (3) $\dot{M}_{vz1} = \dot{M}_{vz2}$
- (4) $p_1 = p_2 = p_3$

Tepelná bilance:

$$\dot{Q}_{13} + \dot{Q}_{43} = \dot{Q}_{vz12}$$

$$\dot{M}_1 \cdot (i_1 - i_3) + \dot{M}_4 \cdot (i_4 - i_3) = \dot{M}_{vz12} \cdot (i_{vz2} - i_{vz1})$$

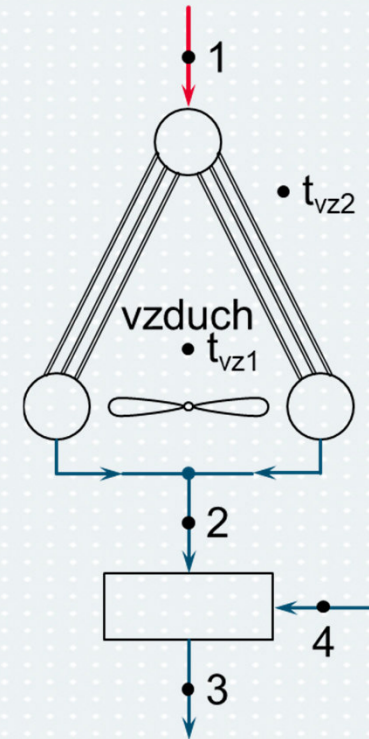
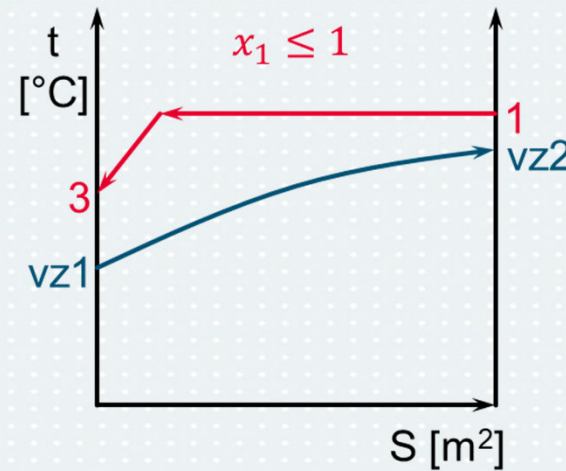


Pozn.: nejsou uvažováno brýdové páry

Parní kondenzátory

(2) Vzduchem chlazený kondenzátor

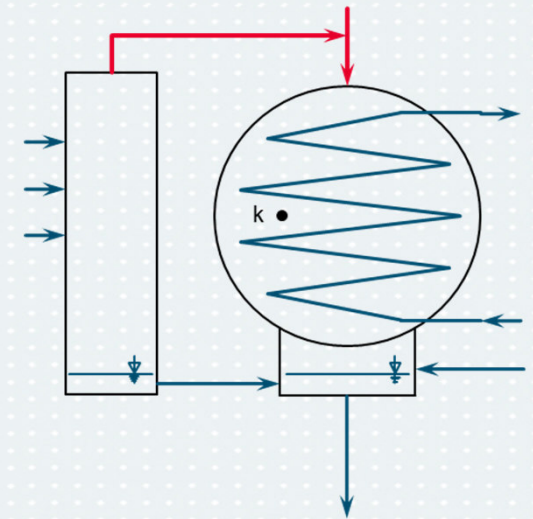
- Nedohřev $\delta_N [^{\circ}\text{C}]$
 - pro $x_1 \leq 1 \in \delta_N = t_1 - t_{vz2}$
 - $p_1 = f\{t_1; x \in \langle 0; 1 \rangle\}$
 - při návrhovém stavu $\delta_N \in \langle 5 \text{ až } 10 \rangle ^{\circ}\text{C}$
- Podchlazení kondenzátu $\delta_P [^{\circ}\text{C}]$
 - $\delta_P = t_1 - t_3$
 - při návrhovém stavu $\delta_P \in \langle 1 \text{ až } 2 \rangle ^{\circ}\text{C}$
 - při neuvážování podchlazení pro $x_1 \leq 1 \in t_3 = t_1$
- Ohřátí chladícího vzduchu
 - $\Delta t_{vz12} = t_{vz2} - t_{vz1}$
 - při návrhovém stavu $\Delta t_{vz12} \in \langle 10 \div 15 \div 30 \rangle ^{\circ}\text{C}$



Parní kondenzátory

Pomocná zařízení – expandér provozních kondenzátů

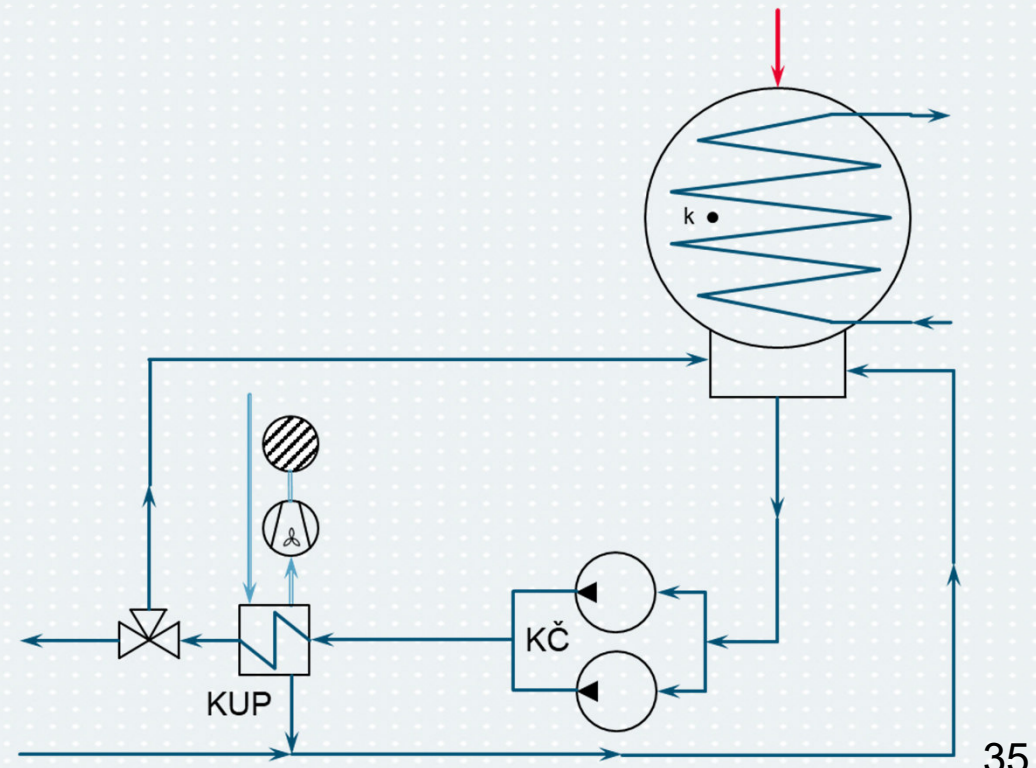
- u velkých zařízení pro kaskádování provozních kondenzátů a případně odpadní technologické páry
- tlak EPK je shodný s tlakem v kondenzátoru
- slouží současně jako zásobník kondenzátu a hladina je na stejné úrovni s SBKO



Parní kondenzátory

Pomocná zařízení – kondenzátní čerpadla

- kondenzátní i napájecí čerpadla jsou vždy alespoň v počtu
 - (a) $2 \times 100 \% \dot{M}$
 - (b) $3 \times 50 \% \dot{M}$

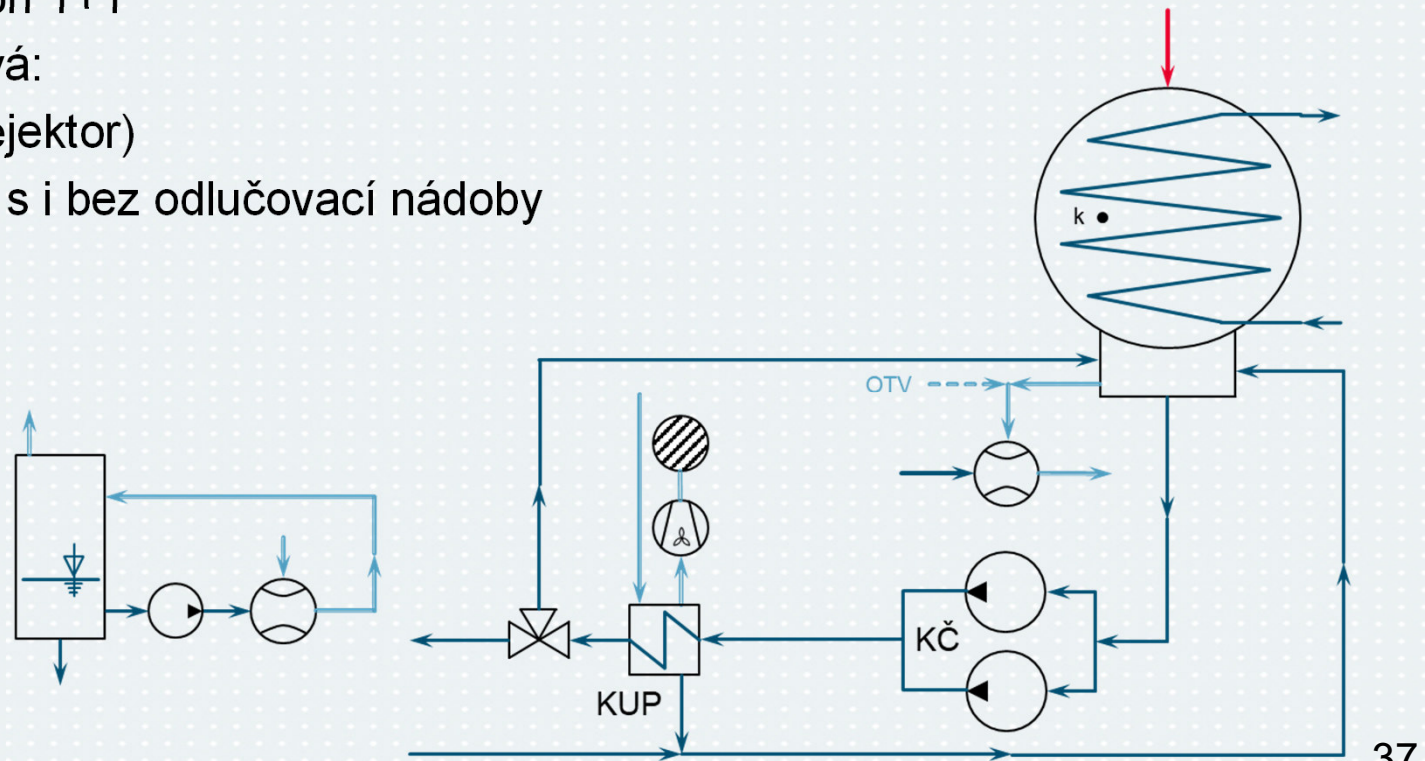


35

Parní kondenzátory

Pomocná zařízení – odsávání nekondenzujících plynů

- u vodou chlazených kondenzátorů je vývěva napojena přímo na nádobu
- vývěva je vždy v počtu alespoň 1+1
- v rámci technologie se používá:
 - (a) vodokružná vývěva (+ ejektor)
 - (b) vodoproudá vývěva – s i bez odlučovací nádobou
 - (c) paroproudá vývěva

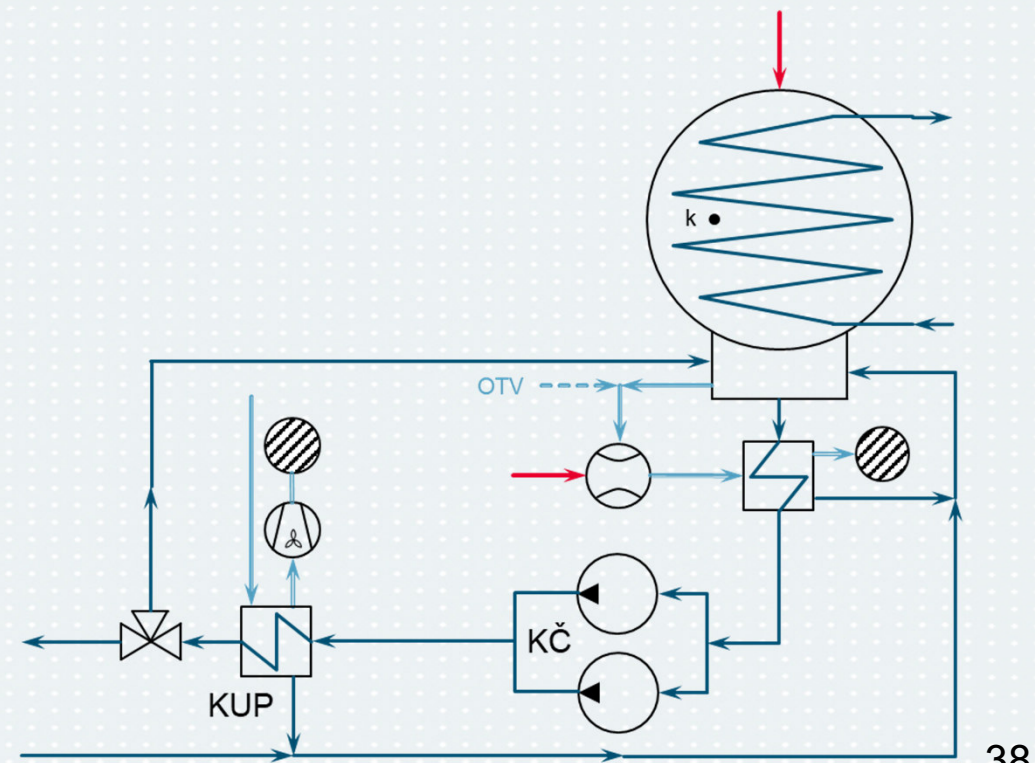


37

Parní kondenzátory

Pomocná zařízení – odsávání nekondenzujících plynů

- u vodou chlazených kondenzátorů je vývěva napojena přímo na nádobu
- vývěva je vždy v počtu alespoň 1+1
- v rámci technologie se používá:
 - (a) vodokružná vývěva (+ ejektor)
 - (b) vodoproudá vývěva
 - (c) paroproudá vývěva

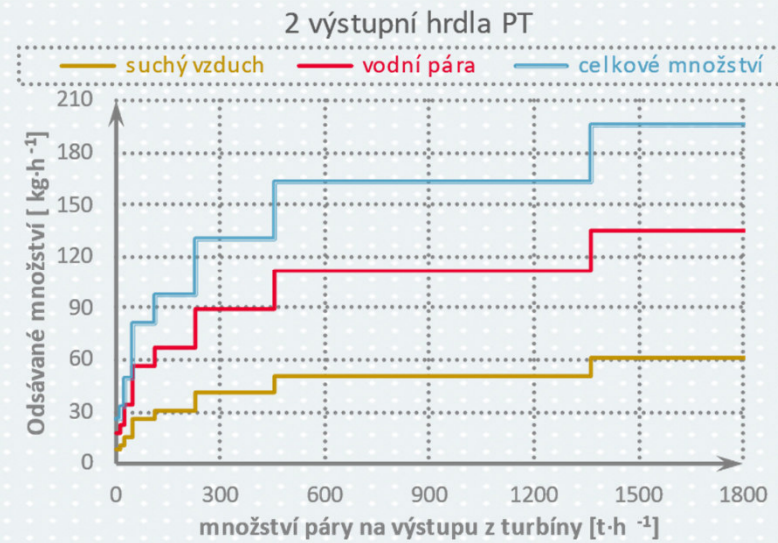
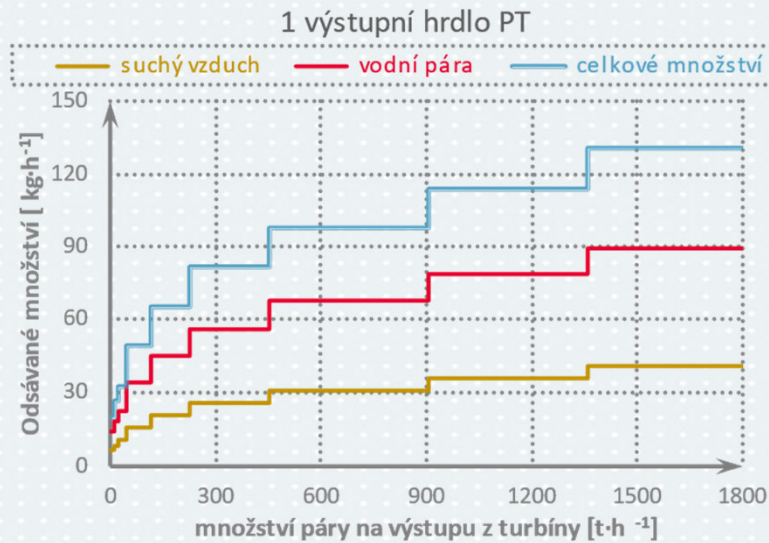


38

Parní kondenzátory

Pomocná zařízení – odsávání nekondenzujících plynů

- Dimenzování velikosti vývěvy
 - například dle HEI – Standards for Steam Surface Condenser (reálně je dostačující cca poloviční dimenze)



Parní kondenzátory

Pomocná zařízení – odsávání nekondenzujících plynů

- Doba evakuace (ideální)

$$\tau = \frac{V}{\dot{V}_{vývěva}} \cdot \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \quad [h, min, \dots]$$

kde: $V [m^3]$

objem evakuovaného prostoru

$\dot{V}_{vývěva} [m^3 \cdot h^{-1}]$

objemový průtok vývěvou

$p_1 [kPa]$

počáteční tlak v prostoru

$p_2 [kPa]$

konečný tlak v prostoru

- Reálná doba evakuace je delší (prostor není dokonale těsný) a charakteristika vývěvy je ovlivněna především:
 - (1) parametry pomocné páry / vody
 - (2) tlakem v evakuovaném prostoru

Parní kondenzátory

Pomocná zařízení – odsávání nekondenzujících plynů

- Spadek vakua – slouží pro testování těsnosti podtlakové části systému
 - provádí se za provozu PT na „stálém výkonu“
 - uzavřou se armatury na sání vývěvy
 - měří se nárůst tlaku v kondenzátoru cca 10 min

$$\Delta p = \frac{p_2 - p_1}{\tau} \cdot [Pa \cdot min^{-1}]$$

- který je možné porovnat s teoretickou hodnotou

$$\Delta p = \frac{r_{vz} \cdot (273,15 + t_k)}{60 \cdot V} \cdot \dot{M}_{vz} \quad [Pa \cdot min^{-1}]$$

| | | |
|------|---|--|
| kde: | $V [m^3]$ | objem evakuovaného prostoru |
| | $r_{vz} [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ | měrná plynová konstanta vzduchu |
| | $t_k [^{\circ}C]$ | saturační teplota v kondenzátoru |
| | $\dot{M}_{vz} [kg \cdot s^{-1}]$ | předpokládaný průtok vzduchu netěsnostmi |

Parní kondenzátory

Porovnání parních kondenzátoru

(1) vodou chlazený (dispozičně pod PT)

(a) průtočné, chladí se vodou z řeky, přehrady, ..

$$\Delta t_{43} \approx 3 \div 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

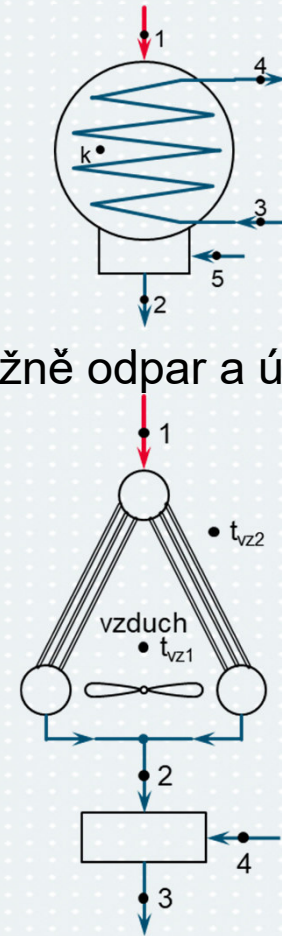
ohřátí vody v řece do 1 až 2 °C

(b) s chladicí věží, kde se z externího zdroje voda pouze doplňuje převážně odpar a úlet

$$\Delta t_{43} \approx 10 \div 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(2) vzduchem chlazený (dispozičně na střeše)

$$\Delta t_{vz21} \approx 10 \div 15 \div 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Parní kondenzátory

Porovnání parních kondenzátoru

$$\dot{Q} = \dot{M}_p \cdot (i_1 - i_2) = \dot{M}_{ch} \cdot c_p \cdot \Delta t_{ch}$$

$$\Rightarrow \dot{M}_{ch} = \dot{M}_p \cdot \frac{i_1 - i_2}{c_p \cdot \Delta t_{ch}}$$

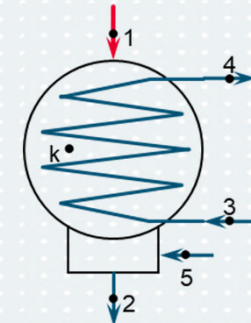
OP: $t_1 = t_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow p_1 = p_2 = 7,4 \text{ kPa}_a = 0,074 \text{ bar}_a$

$$i_1 = (40 \text{ }^\circ\text{C}; x = 1) = 2573,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad \times \quad i_1 = (40 \text{ }^\circ\text{C}; x = 0,85) = 2212,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Delta i_1 = 360,9 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$i_2 = (40 \text{ }^\circ\text{C}; x = 0) = 167,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \Rightarrow i_1 - i_2 = 2406 \div 2045,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

| | | | |
|--|--|--|--|
| $\dot{M}_p [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$ | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| $i_1 - i_2 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$ | 2 200 | | 2 200 |
| $c_p [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ | 4,2 | | 1,0 |
| $\Delta t_{ch} [^\circ\text{C}]$ | 5,0 | 10,0 | 10,0 |
| $\dot{M}_{ch} [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$ | 104,8 | 52,4 | 220,0 |
| $\dot{V}_{ch} [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$ | 378,2 $\approx t \cdot \text{h}^{-1}$ | 189,1 $\approx t \cdot \text{h}^{-1}$ | 613 953,5 $\approx 792 t \cdot \text{h}^{-1}$ |



Parní kondenzátory

Porovnání parních kondenzátoru

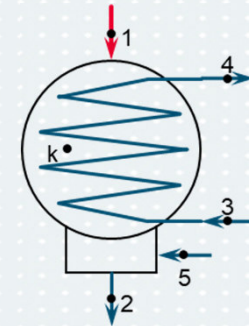
Součinitel prostupu tepla:

$$k_{vz} \approx 15 \div 40 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \text{ (zákryt} \times \text{vystřídání, počet} \times \text{pořadí trubek, ...)}$$

$$k_{voda} \approx 2\,200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

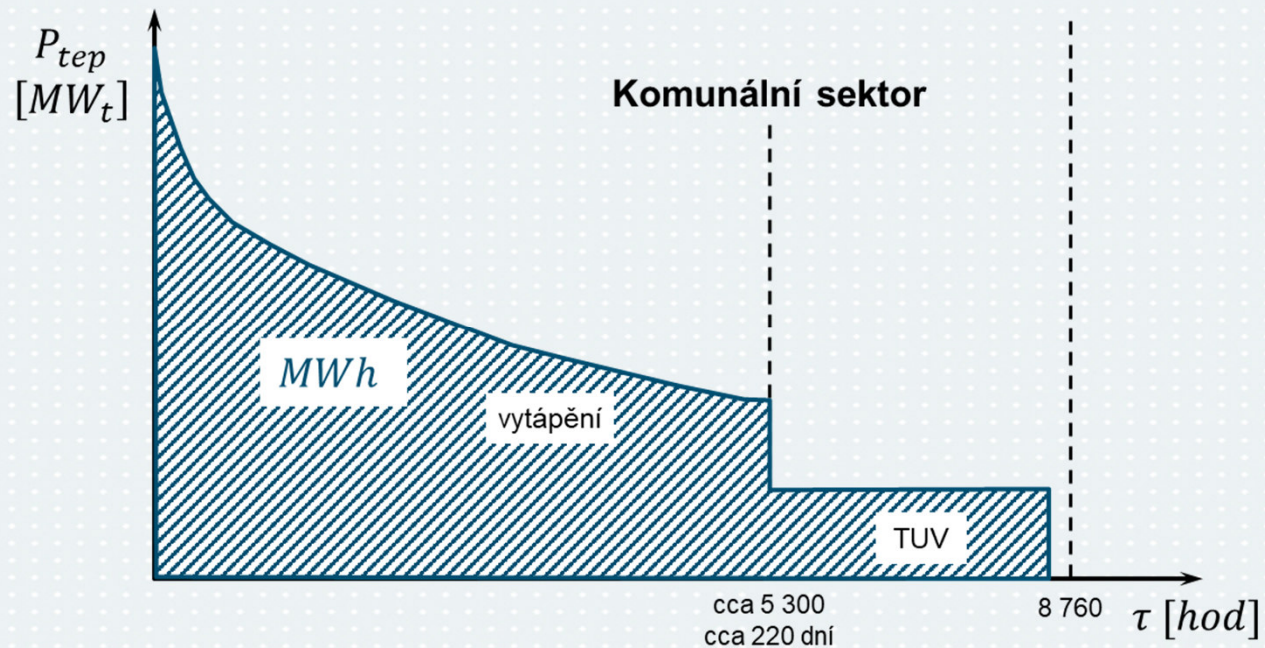
$$\dot{Q} = k_{vz} \cdot S_{vz} \cdot \Delta t = k_{voda} \cdot S_{voda} \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow S_{vz} = \frac{k_{voda}}{k_{vz}} \cdot S_{voda} = \frac{2\,200}{25} \cdot S_{voda} = 50 \cdot S_{voda} [-]$$



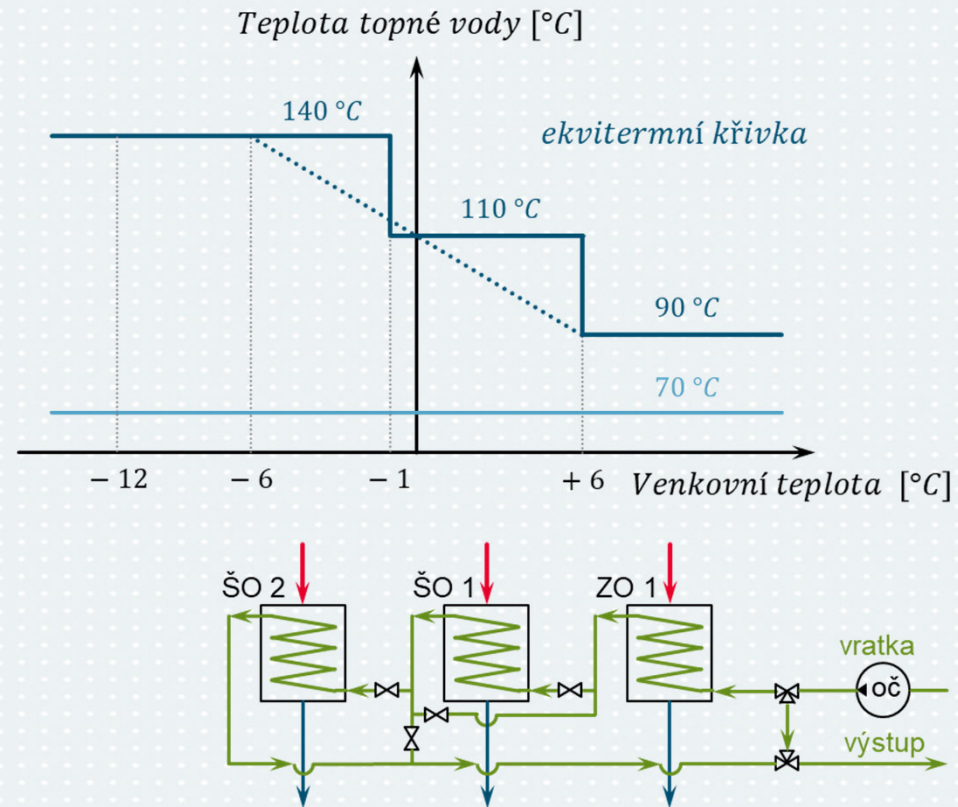
Topné výměníky – ohříváky topné vody

- (a) Základní – slouží pro pokrytí základního zatížení dodávky tepla
- (b) Špičkový (špičkovací) – slouží pro pokrytí špičkových dodávek



Topné výměníky – ohříváky topné vody

- (a) Základní – slouží pro pokrytí základního zatížení dodávky tepla
- (b) Špičkový (špičkovací) – slouží pro pokrytí špičkových dodávek



Topné výměníky – ohříváky topné vody

(ZO) Základní ohřívák / (ŠO) Špičkový ohřívák

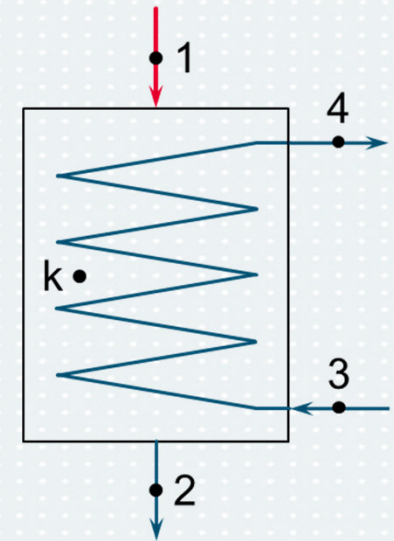
- (1) Přívod topné páry
- (2) Odvod kondenzátu
- (3) Přívod vratné vody z CZT
- (4) Odvod topné vody do CZT

Okrajové podmínky:

- (1) $\dot{M}_1 = \dot{M}_2$
- (2) $\dot{M}_3 = \dot{M}_4$
- (3) $p_1 = p_2$

Tepelná bilance:

$$\dot{Q}_{12} = \dot{Q}_{34}$$
$$\dot{M}_1 \cdot (i_1 - i_2) = \dot{M}_3 \cdot (i_4 - i_3)$$

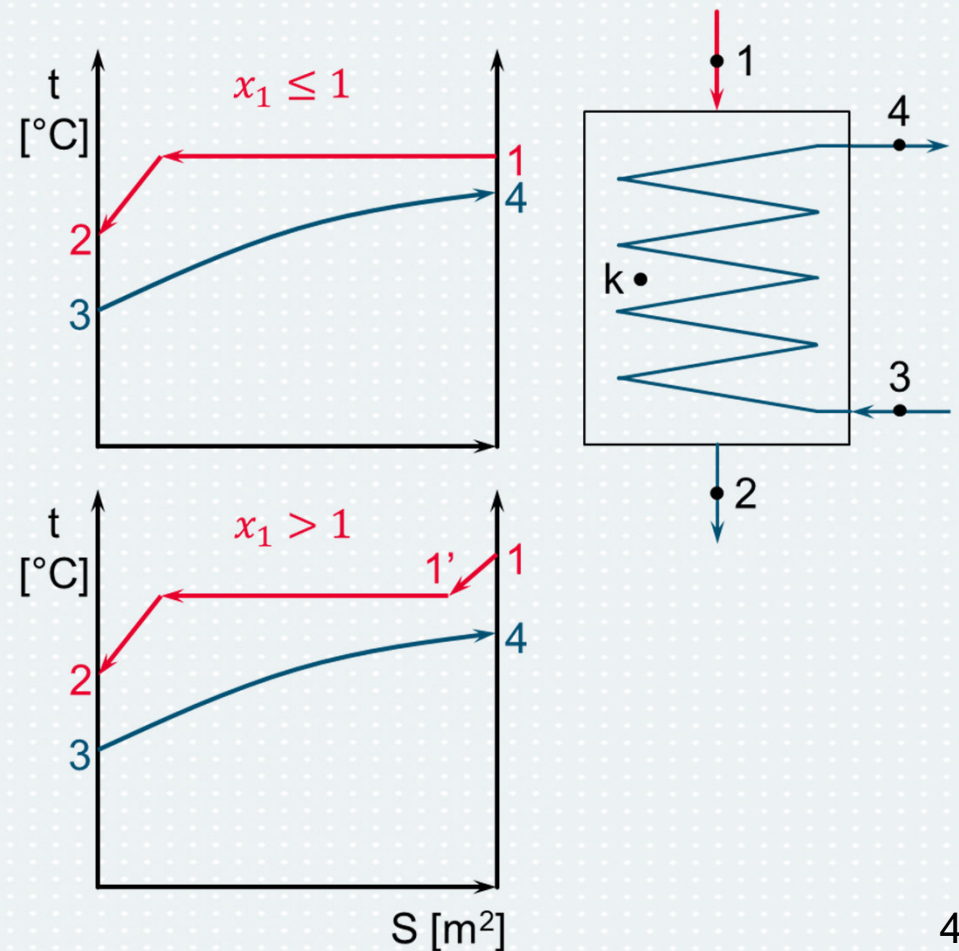


Pozn.: není zohledněno zanesení teplosměnných ploch, ztráta tepla do okolí apod.

Topné výměníky – ohříváky topné vody

(ZO) Základní ohřívák / (ŠO) Špičkový ohřívák

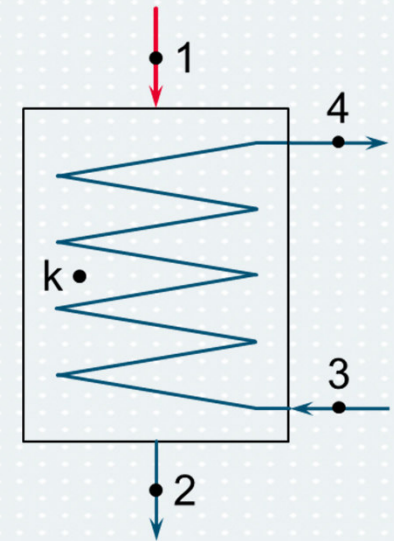
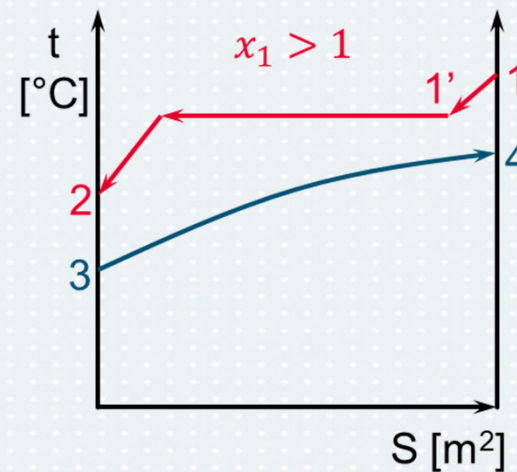
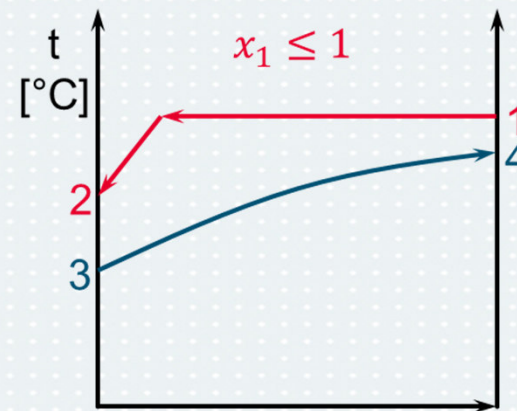
- Nedohřev $\delta_N [^{\circ}\text{C}]$
 - pro $x_1 \leq 1 \in \delta_N = t_1 - t_4$
 - pro $x_1 > 1 \in \delta_N = t_{1'} - t_4$
 - $p_1 = f\{t_{1'}; x \in \langle 0; 1 \rangle\}$
 - při návrhovém stavu $\delta_N \in \langle 4 \text{ až } 6 \rangle ^{\circ}\text{C}$
- Podchlazení kondenzátu $\delta_P [^{\circ}\text{C}]$
 - $\delta_P = t_2 - t_3$
 - při návrhovém stavu $\delta_P \in \langle 5 \text{ až } 10 \rangle ^{\circ}\text{C}$
 - při neuvážování podchlazení
 - pro $x_1 \leq 1 \in t_2 = t_1$
 - pro přehřátou páru $t_2 = t_{1'}$



Topné výměníky – ohříváky topné vody

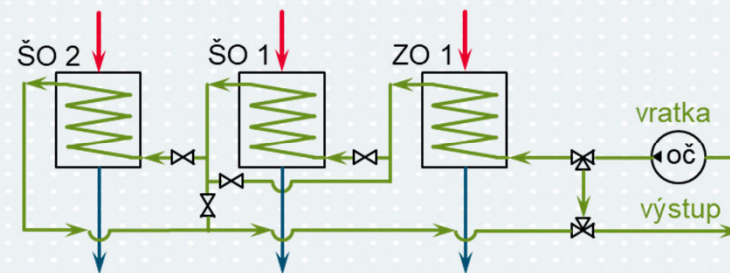
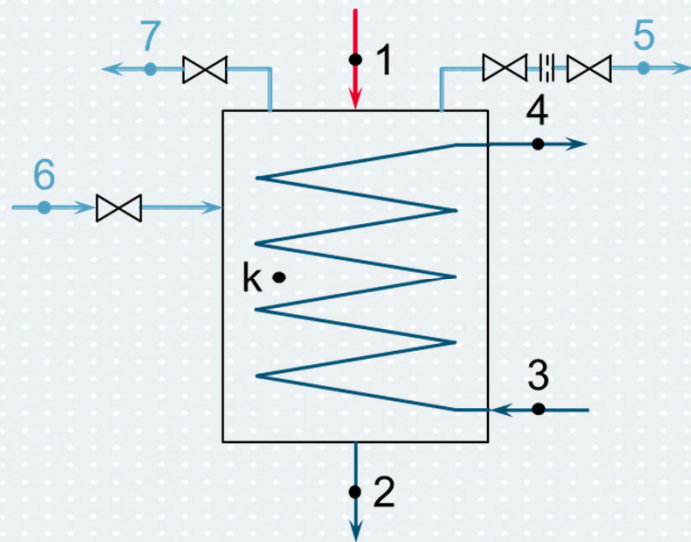
(ZO) Základní ohřívák / (ŠO) Špičkový ohřívák

- Ohřátí topné vody
 - $\Delta t_{34} = t_4 - t_3$
 - při návrhovém stavu $\Delta t_{34} \in \langle 20 \text{ až } 30 \rangle \text{ } ^\circ\text{C}$



Topné výměníky – ohříváky topné vody

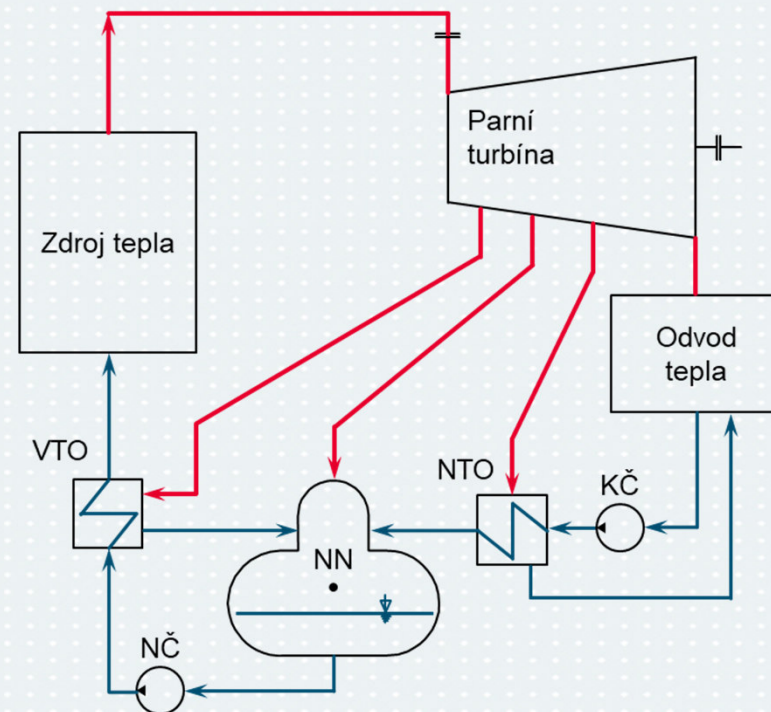
- Regulace ohříváku podle výšky hladiny / výstupní teploty
- Regulace výstupní teploty směřováním vratky s topnou vodou
- Odstavení výměníku zaplavením (za provozu PT nutná cirkulace topné vody)
- Odsávání nekondenzujících plynů u podtlakových OTV (clonka) – bod 5
- Odstavení výměníku mokrou inertizací (přívod N_2 bod 6 a odfuk bod 7)



Regenerace tepla

Regenerační výměníky:

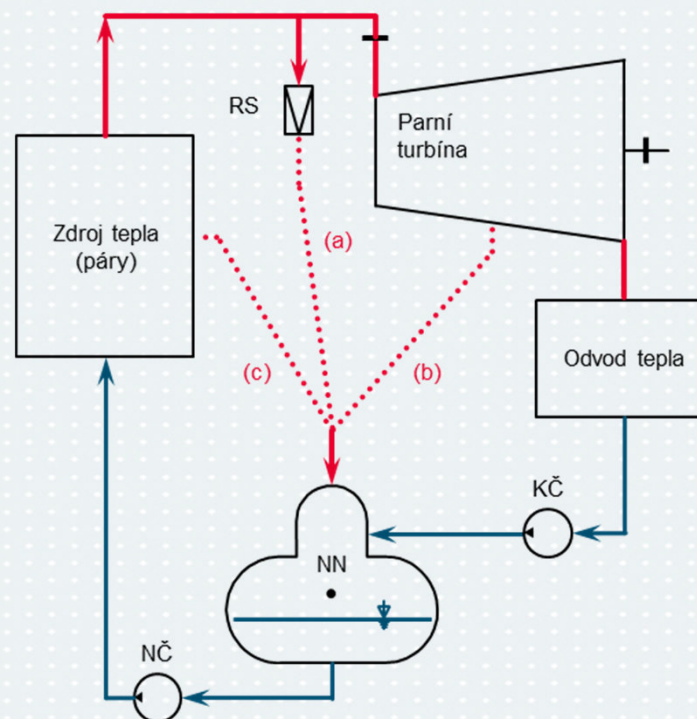
- (1) Napájecí nádrž s odplyňovákem (NN)
- (2) Nízkotlaké ohříváky (NTO)
- (3) Vysokotlaké ohříváky (VTO)



Regenerace tepla

(1) Napájecí nádrž s odplyňovákem

- Slouží jako zásobárna vody pro provoz alespoň 20 min kotle. Dochází k termickému odplynění a zároveň k regeneraci, ...
- pára se bere buď:
 - (a) ostrá přes RS,
 - (b) regulovaného / neregulovaného odběru,
 - (c) z kotle (nejčastěji bubnu)

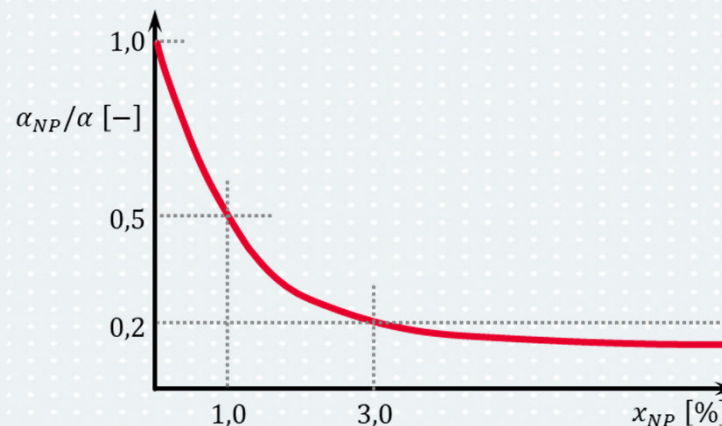


Regenerace tepla

(1) Napájecí nádrž s odplynovákem

- požadavky na kvalitu napájecí vody pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa předepisuje norma ČSN 07 7401 a pro vyšší tlaky předepisuje norma ČSN 07 7403
- Nerozpuštěné plyny ve vodě způsobují zejména:

(1) snížení součinitele přestupu tepla



(2) koroze na teplosměnných plochách

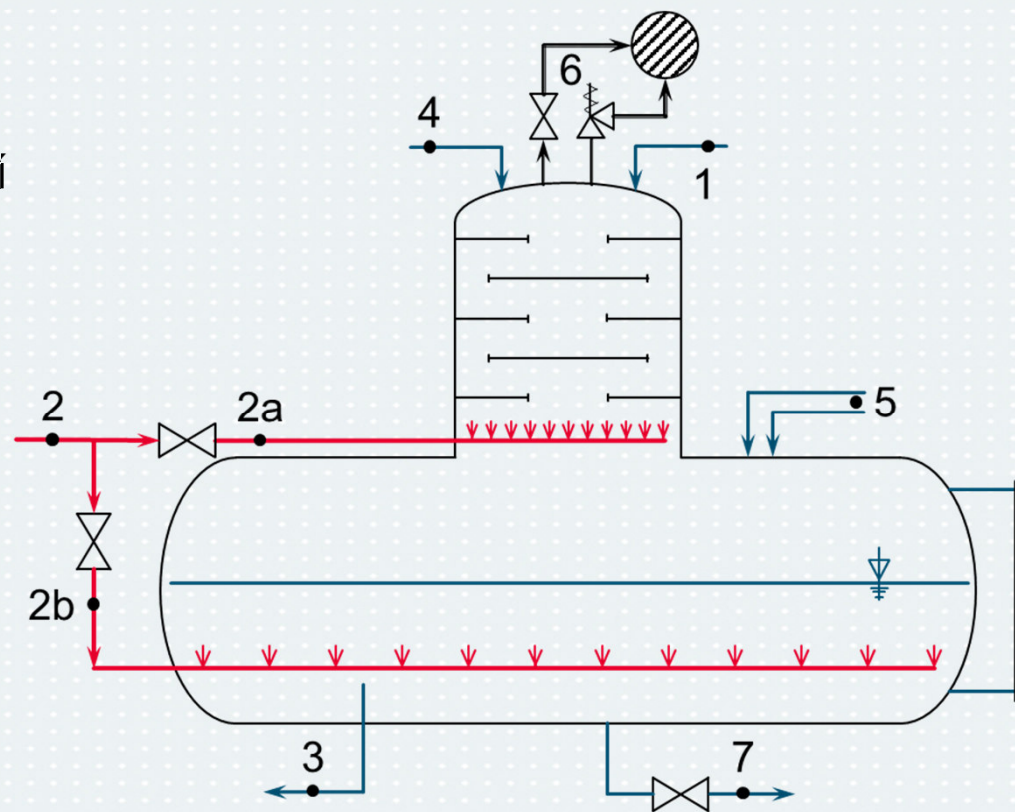
(a) $H_2O + CO_2 \Rightarrow$ plošná povrchová koroze

(b) $H_2O + O_2 \Rightarrow$ lokální důlková koroze, která jde do hloubky

Regenerace tepla

(1) Napájecí nádrž s odplynovákem

- (1) Přívod kondenzátu z NTO
- (2) Přívod topné páry:
 - (a) pro odplynění; (b) pro najíždění
- (3) Odvod napájecí vody k NČ
- (4) Doplnění vody
- (5) Přívod kaskádování VTO, uvolňovač páry, ...
- (6) Odvod brýdových par
- (7) Odvod odluhu

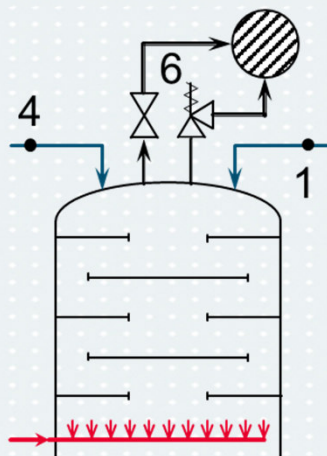


Regenerace tepla

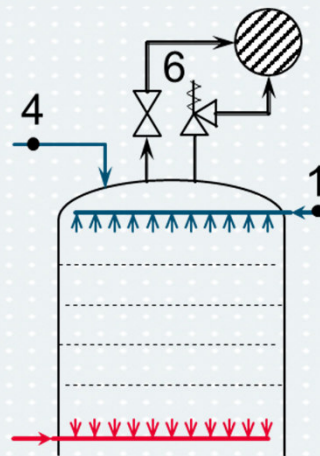
(1) Napájecí nádrž s odplyňovákem

- Termické odplynění vychází z Henryho zákona, který říká, že rozpustnost plynů klesá se stoupající teplotou a pro dokonalé odplynění je nutné, aby teplota vody byla alespoň 105 °C
- V rámci termického odplyňovače je vestavba

(a) s disky



(b) s děrovanými plechy



Regenerace tepla

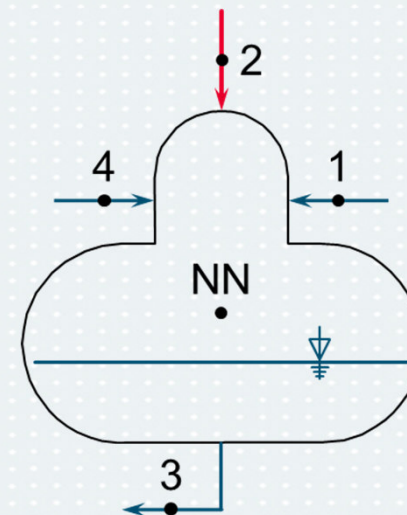
(1) Napájecí nádrž s odplynovákem

- (1) Přívod kondenzátu z NTO
- (2) Přívod topné páry
- (3) Odvod napájecí vody k NČ
- (4 a) Přívod kaskádovaného kondenzátu z VTO
- (4 b) Doplnění vody do oběhu

Okrajové podmínky:

- (1) Teplota odplynění $t_{NN} \in \langle 105; 165 \rangle ^\circ C$ (**Ledvice 188,8 °C**)
- (2) Teplota kondenzátu $t_1 \leq t_{NN} - \langle 15 \div 20 \text{ } ^\circ C \rangle_{opt}$
- (3) Tlak v napájecí nádrži $p_{NN} = f\{t_{NN}; x \in \langle 0; 1 \rangle\}$
- (4) Tlak topné páry pro odplynění $p_2 = p_{NN} + (\min 0,5) \text{ bar}_a$

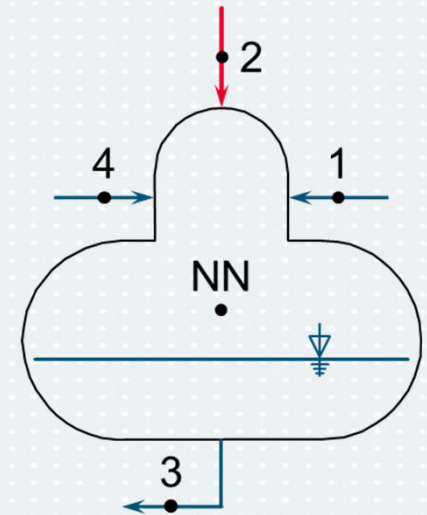
Pozn.: není zohledněn řízený únik brýdových plynů.



Regenerace tepla

(1) Napájecí nádrž s odplyňovákem

- Podchlazení napájecí vody vlivem ztrát tepelných úniků δ_P [°C]
 - $\delta_P = t_{NN} - t_3$
 - při návrhovém stavu $\delta_P \in \langle 0 \text{ až } 2 \rangle$ °C



Regenerace tepla

(2 – 3) Nízkotlaké ohříváky (NTO) a vysokotlaké ohříváky (VTO)

- (1) Přívod topné páry
- (2) Odvod kondenzátu
- (3) Přívod kaskádovaného kondenzátu
- (4) Přívod ohřivaného kondenzátu
- (5) Odvod ohřivaného kondenzátu

Okrajové podmínky:

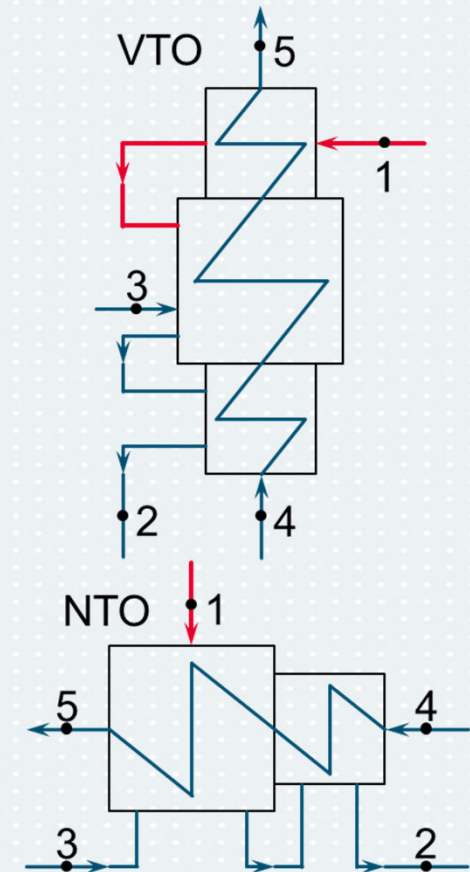
- (1) $\dot{M}_2 = \dot{M}_1 + \dot{M}_3$
- (2) $\dot{M}_4 = \dot{M}_5$
- (3) $p_1 = p_2$

Tepelná bilance:

$$\dot{Q}_{12} + \dot{Q}_{32} = \dot{Q}_{34}$$

$$\dot{M}_1 \cdot (i_1 - i_2) + \dot{M}_3 \cdot (i_3 - i_2) = \dot{M}_4 \cdot (i_4 - i_3)$$

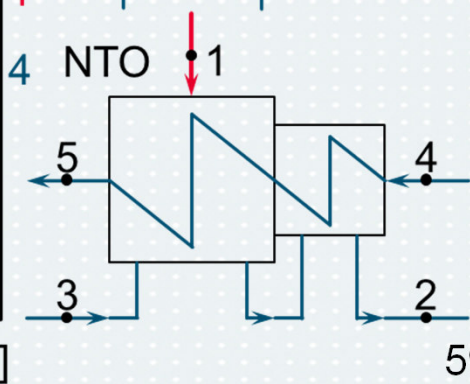
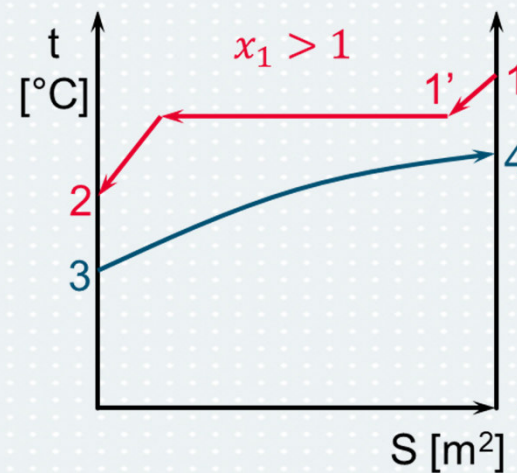
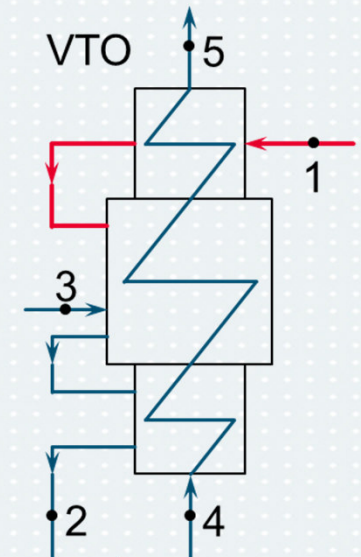
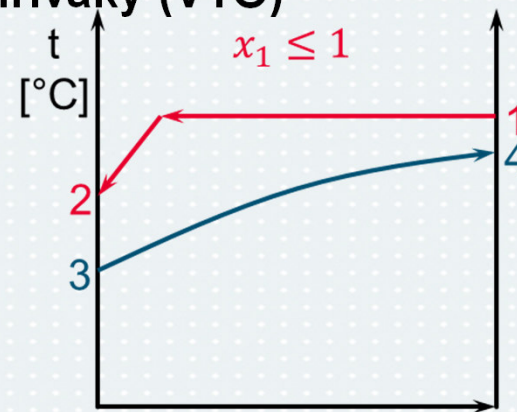
Pozn.: není zohledněno zanesení teplosměnných ploch,
ztráta tepla do okolí apod.



Regenerace tepla

(2 – 3) Nízkotlaké ohříváky (NTO) a vysokotlaké ohříváky (VTO)

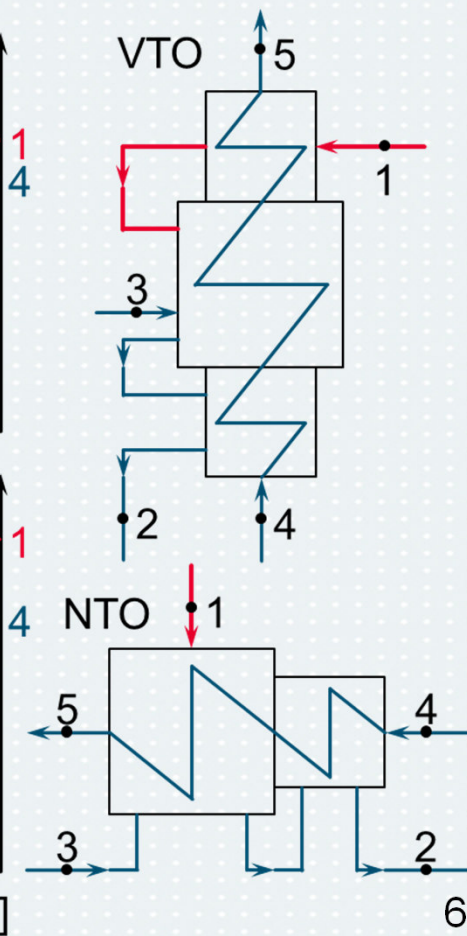
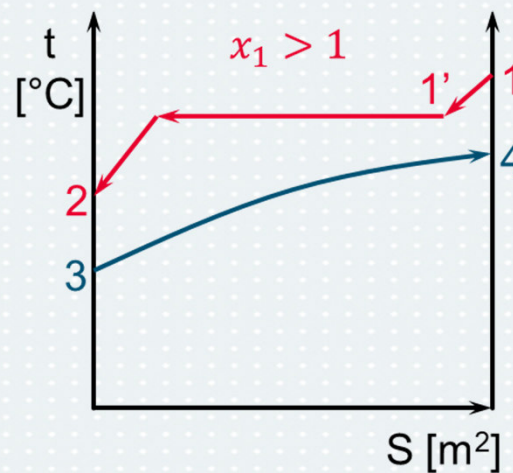
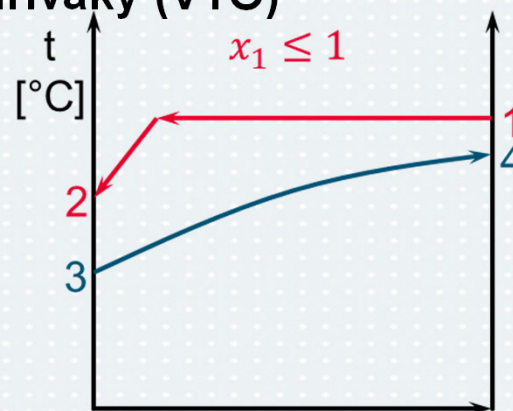
- Nedohřev $\delta_N [^{\circ}\text{C}]$
 - pro $x_1 \leq 1 \in \delta_N = t_1 - t_5$
 - pro $x_1 > 1 \in \delta_N = t_{1'} - t_5$
 - $p_1 = f\{t_{1'}; x \in \langle 0; 1 \rangle\}$
 - při návrhovém stavu $\delta_N \in \begin{matrix} VTO: \langle 3 \text{ až } 5 \rangle \\ NTO: \langle 1,5 \text{ až } 3 \rangle \end{matrix} ^{\circ}\text{C}$
- Podchlazení kondenzátu $\delta_P [^{\circ}\text{C}]$
 - $\delta_P = t_2 - t_4$
 - při návrhovém stavu $\delta_P \in \langle 5 \text{ až } 10 \rangle ^{\circ}\text{C}$
 - při neuvažování podchlazení
 - pro $x_1 \leq 1 \in t_2 = t_1$
 - pro přehřátou páru $t_2 = t_{1'}$



Regenerace tepla

(2 – 3) Nízkotlaké ohříváky (NTO) a vysokotlaké ohříváky (VTO)

- Ohřátí napájecí vody / kondenzátu
 - $\Delta t_{45} = t_5 - t_4$
 - při návrhovém stavu
 - $\Delta t_{34} \in \langle 25 \text{ až } 30 \rangle \text{ } ^\circ\text{C}$
 - Δt_{34} u VTO až $40 \text{ } ^\circ\text{C}$



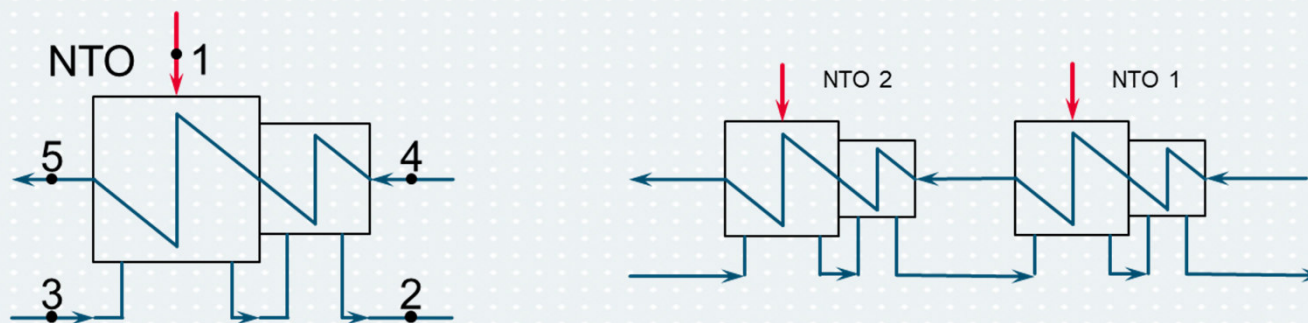
60

Regenerace tepla

(2 – 3) Nízkotlaké ohříváky (NTO) a vysokotlaké ohříváky (VTO)

?? kaskádovat, nebo přečerpávat kondenzát ??

- **Kaskádování kondenzátu:** je zapojení kondenzátu z tlakově výše položeného ohříváku do tlakově níže položeného ohříváku
 - je značný teplotní rozdíl jednotlivých kondenzátů zejména při malém počtu ohříváků (velké ohřátí hlavního kondenzátu v jednom ohříváku) a díky tomu jsou velké ztráty nevratným mísením
 - ztráty lze zmenšit podchlazením kondenzátu (2), ale vždy část kondenzátu z tlakově vyššího ohříváku částečně vyexpanduje

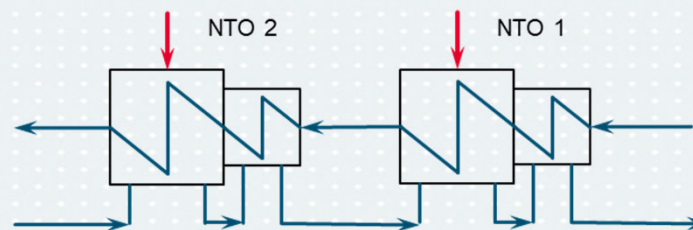
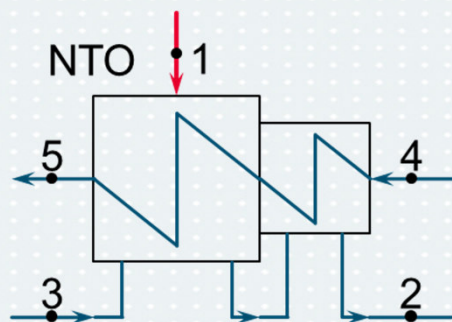


Regenerace tepla

(2 – 3) Nízkotlaké ohříváky (NTO) a vysokotlaké ohříváky (VTO)

?? kaskádovat, nebo přečerpávat kondenzát ??

- **Kaskádování kondenzátu:** je zapojení kondenzátu z tlakově výše položeného ohříváku do tlakově níže položeného ohříváku
 - konstrukčně jednoduché
 - bez dalších čerpadel (bez navýšení vlastní spotřeby bloku)
 - „menší tepelná účinnost bloku“

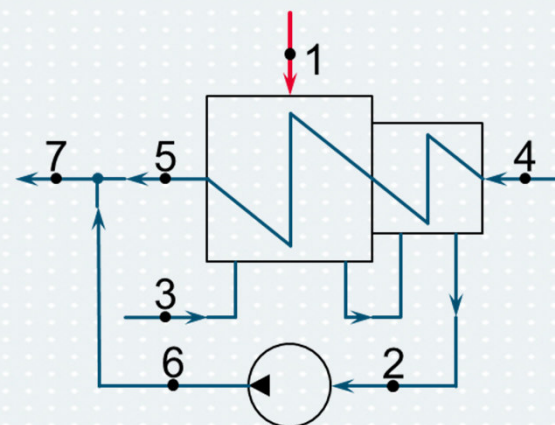
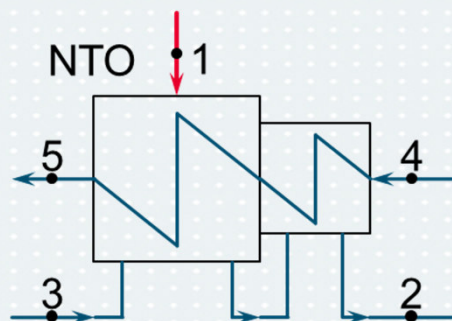


Regenerace tepla

(2 – 3) Nízkotlaké ohříváky (NTO) a vysokotlaké ohříváky (VTO)

?? kaskádovat, nebo přečerpávat kondenzát ??

- **Přečerpávání kondenzátu:** kondenzát topné páry je přečerpáván do hlavního proudu ohřívání vody / kondenzátu za ohřívák
 - u každého ohříváku musí být čerpadlo s regulací hladiny \Rightarrow vyšší investiční náklady
 - zvýšení vlastní spotřeby bloku
 - vyšší tepelná účinnost bloku, ale je nutný výpočet, zda se to vyplatí

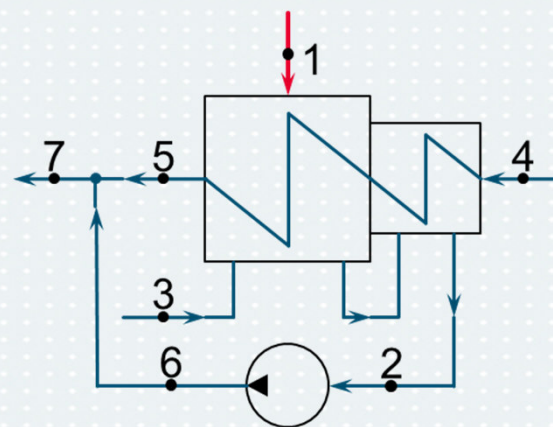
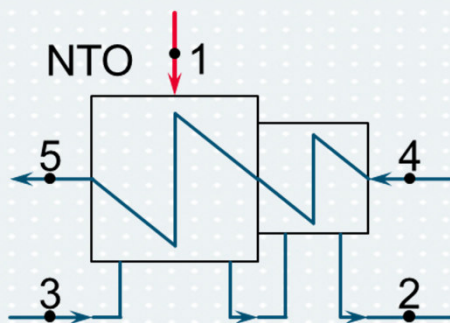


Regenerace tepla

(2 – 3) Nízkotlaké ohříváky (NTO) a vysokotlaké ohříváky (VTO)

?? kaskádovat, nebo přečerpávat kondenzát ??

- **Přečerpávání kondenzátu:** kondenzát topné páry je přečerpáván do hlavního proudu ohřívání vody / kondenzátu za ohřívák
 - u VTO obvykle pouze kaskádování (vysoké tlaky a teploty kondenzátu \Rightarrow vysoké požadavky na čerpadlo \Rightarrow vyšší cena)



Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ**



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



FAKULTA
CHEMICKÁ



FAKULTA
STAVEBNÍ



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Projektování energetických centrál

7. Výroba chladu a chladicí zařízení

Fakulta strojního inženýrství

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

2024



Vysoké učení technické v Brně



Tepelné čerpadla

Průmyslová tepelná čerpadla

- Jedná se o TČ s výkonem vyšším než 100 kW určené pro průmyslové procesy, ale i pro SCZT a rozlehlé bytové či komerční objekty s výstupní teplotou média
 - do 55 °C – nízkoteplotní TČ
 - do 90 °C – vysokoteplotní TČ
 - nad 90 °C – ultra-vysokoteplotní TČ (dnes do cca 150 °C)
- Dodávka tepla × výroba chladu
 - teplá / horká voda, nebo pára do cca 150 °C
- Výkony stovky kW až desítky MW (70 MWt / jednotka)
- Možnost provozu v systémových službách (v agregacním bloku). Nejčastěji aFRP (dříve SR) nebo mFRPt (dříve MZt)

© Annex 45 IEA HPT

Tepelné čerpadla

Průmyslová tepelná čerpadla

- Zdroj tepla
 - teplo prostředí (voda, vzduch, země)
 - soustava centrálního zásobování chladem
 - odpadní teplo z technologických procesů, například
 - čistírny odpadních vod
 - chladicí okruh kondenzátoru
 - nahrazení chladiče mazacího oleje PT
 - spaliny
 - datová centra

Tepelné čerpadla

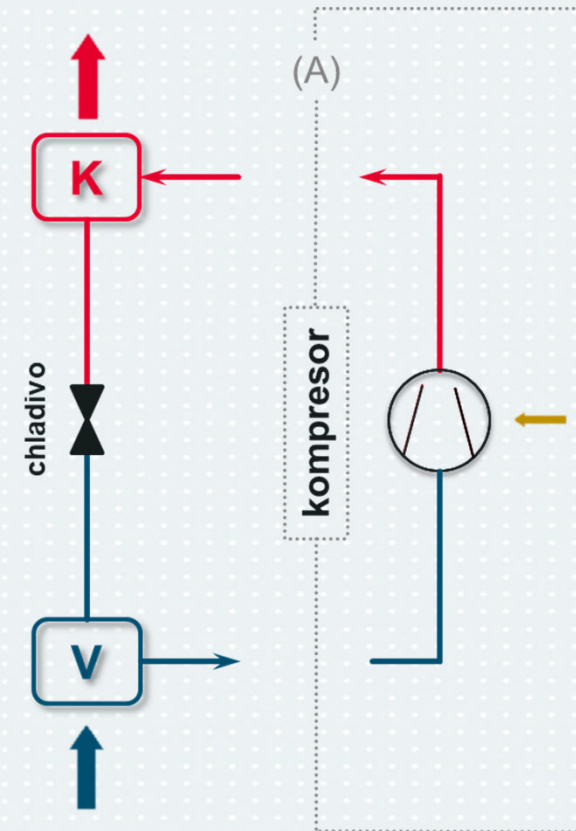
Průmyslová tepelná čerpadla

- Příkon kompresoru, nebo čerpadla:
 - elektrický: elektromotor
 - mechanický: parní turbína, spalovací motor, spalovací turbína

Tepelné čerpadla

Typy TČ – kompresorové

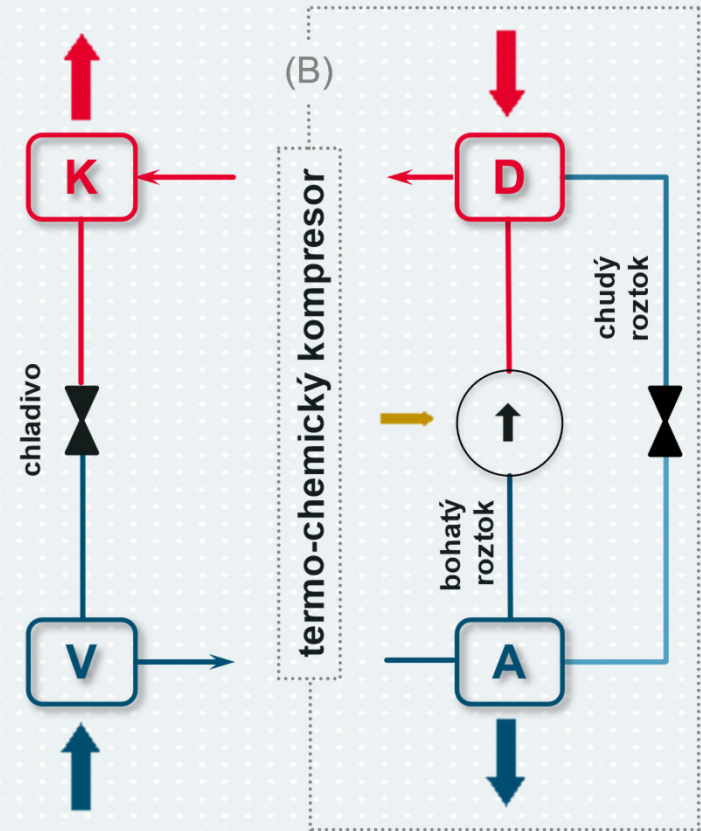
- menší rozměry
- nižší pořizovací náklady
- závislý na elektřině (nebo jiném pohonu)
- velké jednotky s axiálním lopatkovým kompresorem



Tepelné čerpadla

Typy TČ – absorpční

- až cca 1/10 spotřeba elektřiny oproti kompresorovému TČ
- tichý chod
- přírodní chladiva
- jakýkoliv zdroj tepla
 - hořáky na ZP, ...
 - hnací pára (optimálně 4–8 bar)



Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ**



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



FAKULTA
CHEMICKÁ



FAKULTA
STAVEBNÍ



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Projektování energetických centrál

8. Soustava centrálního zásobování teplem a chladem

Fakulta strojního inženýrství

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

2024



Vysoké učení technické v Brně



Typy vytápění domácností v ČR

Obydlené byty podle způsobu vytápění

| | 2001 | 2011 | 2021 | 2001 | 2011 | 2021 |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------|---------|---------|---------|
| Obydlené byty celkem | 3 827 678 | 4 104 635 | 4 480 139 | | | |
| - z kotelny mimo dům | 1 401 285 | 1 365 060 | 1 497 565 | 36,61 % | 33,26 % | 33,43 % |
| - uhlí, koks, uhelné brikety | 574 630 | 336 076 | 240 623 | 15,01 % | 8,19 % | 5,37 % |
| - plyn | 1 401 575 | 1 419 633 | 1 542 132 | 36,62 % | 34,59 % | 34,42 % |
| - elektřina | 247 539 | 255 019 | 390 376 | 6,47 % | 6,21 % | 8,71 % |
| - dřevo, dřevěné pelety | 167 341 | 285 386 | 381 536 | 4,37 % | 6,95 % | 8,52 % |
| | | | Σ | 99,08 % | 89,20 % | 90,45 % |

Tradice SCZT sahá do roku 1922, kdy byla v Ústí nad Labem poprvé v Čechách vytápěna škola, městské divadlo a lázně dálkově párou z elektrárny.

Bilance výroby tepla

- Energetický regulační úřad zveřejňuje Roční zprávu o provozu teplárenských soustav ČR za rok RRRR v souladu s § 17 odst. 7 písm. m) zákona č. 458/2000 Sb., ...
- Údaje pro roční zprávu jsou získávány na základě vyhlášky č. 404/2016 Sb., o náležitostech a členění výkazů nezbytných pro zpracování zpráv o provozu soustav v energetických odvětvích, ...
- Veškerá data vycházejí z podkladů od licencovaných subjektů: výrobců elektřiny a tepla a poprvé za rok 2019 i provozovatelů rozvodných tepelných zařízení.

Bilance výroby tepla

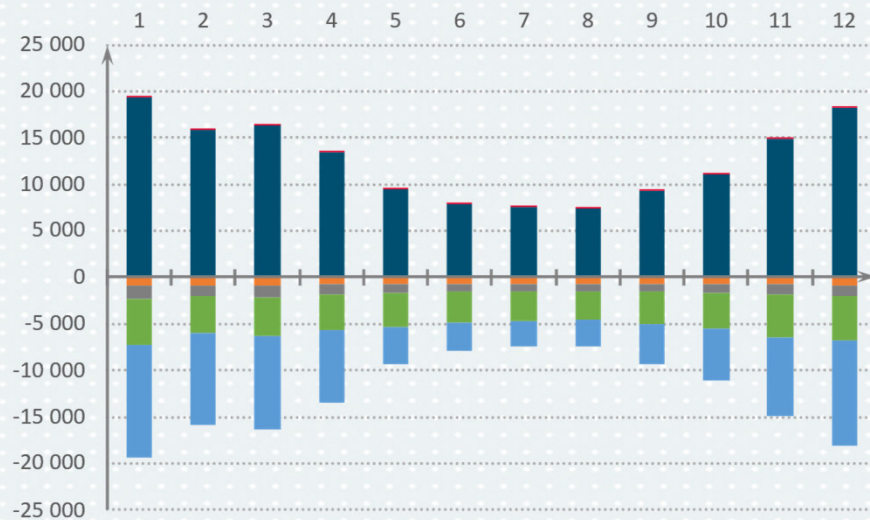
Bilance tepla

- **výroba tepla brutto** = brutto výroba tepla na zdrojích bez tepla použitého na výrobu elektřiny
- **technologická vlastní spotřeba tepla** = spotřeba tepla na výrobu tepla a elektřiny, která je nezbytná pro zajištění procesu výroby tepla a elektřiny
- **výroba tepla netto** = výroba tepla brutto bez technologické vlastní spotřeby tepla
- **ztráty** = ztráty při výrobě tepla a distribuční ztráty (v rozvodech)
- **vlastní spotřeba tepla** = spotřeba tepla pro vlastní potřebu (bez technologické vlastní spotřeby tepla)
- **dodávky tepla** = množství tepelné energie dodané do soustav zásobování teplem
- **bilanční rozdíl** = výroba tepla brutto - technologická vlastní spotřeba tepla - ztráty - dodávky do vlastního podniku - dodávky tepla

Bilance výroby tepla

Bilance tepla za rok 2022 [TJ]

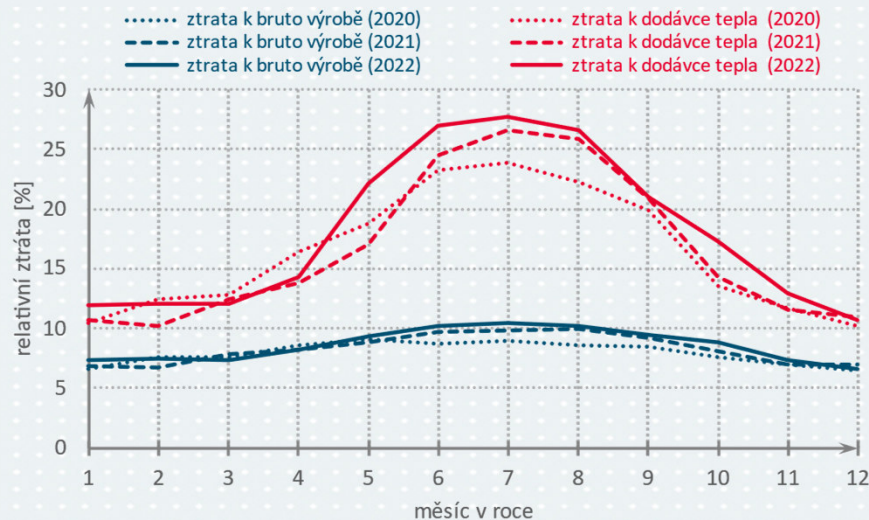
| | | |
|--------------------------------------|------------|-----------|
| Výroba tepla brutto | 151 093 TJ | |
| Technologická vlastní spotřeba tepla | 9 412 TJ | (6,23 %) |
| Ztráty | 12 345 TJ | (8,17 %) |
| Vlastní spotřeba tepla | 47 044 TJ | (31,14 %) |
| Dodávky tepla | 82 070 TJ | (54,32 %) |
| Bilanční rozdíl | 223 TJ | (0,15 %) |



Bilance výroby tepla

Bilance tepla za rok 2022 [TJ]

| | | |
|--------------------------------------|------------|-----------|
| Výroba tepla brutto | 151 093 TJ | |
| Technologická vlastní spotřeba tepla | 9 412 TJ | (6,23 %) |
| Ztráty | 12 345 TJ | (8,17 %) |
| Vlastní spotřeba tepla | 47 044 TJ | (31,14 %) |
| Dodávky tepla | 82 070 TJ | (54,32 %) |
| Bilanční rozdíl | 223 TJ | (0,15 %) |



Bilance výroby tepla

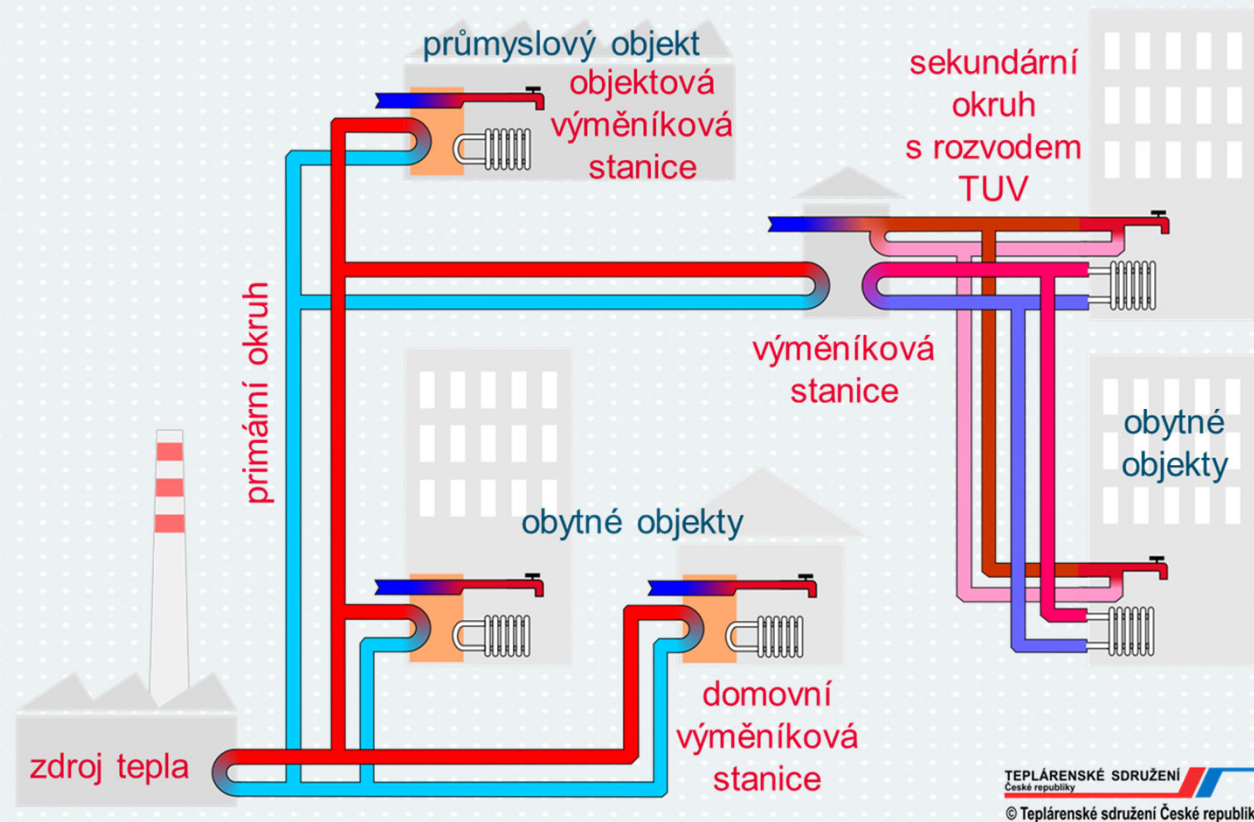
Rozdělení podle paliv v roce

| | 2019 | | | | a | 2022 | | | |
|--------------------------------------|---------------|------|---------------|------|--------|---------------|--------|---------------|---|
| | brutto výroba | | dodávka tepla | | | brutto výroba | | dodávka tepla | |
| | TJ | % | TJ | % | | TJ | % | TJ | % |
| Biomasa | 20 032 | 12,4 | 6 491 | 7,4 | 22 661 | 15,0 | 7 555 | 9,2 | |
| Bioplyn | 4 105 | 2,5 | 538 | 0,6 | 4 275 | 2,8 | 603 | 0,7 | |
| Černé uhlí | 14 807 | 9,2 | 9 966 | 11,4 | 12 539 | 8,3 | 8 294 | 10,1 | |
| Elektrická energie | 18 | 0,0 | 13 | 0,0 | 72 | 0,0 | 56 | 0,1 | |
| Energie prostředí (tepelné čerpadlo) | 88 | 0,1 | 87 | 0,1 | 81 | 0,1 | 76 | 0,1 | |
| Energie Slunce (solární kolektor) | 1 | 0,0 | 1 | 0,0 | 1 | 0,0 | 1 | 0,0 | |
| Hnědé uhlí | 67 375 | 41,7 | 40 135 | 45,8 | 59 122 | 39,1 | 36 312 | 44,2 | |
| Jaderné palivo | 853 | 0,5 | 234 | 0,3 | 866 | 0,6 | 234 | 0,3 | |
| Koks | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | |
| Odpadní teplo | 8 079 | 5,0 | 978 | 1,1 | 7 933 | 5,3 | 823 | 1,0 | |
| Ostatní kapalná paliva | 549 | 0,3 | 90 | 0,1 | 248 | 0,2 | 56 | 0,1 | |
| Ostatní pevná paliva | 4 466 | 2,8 | 2 822 | 3,2 | 4 119 | 2,7 | 2 573 | 3,1 | |
| Ostatní plyny | 10 471 | 6,5 | 3 938 | 4,5 | 8 699 | 5,8 | 3 309 | 4,0 | |
| Ostatní | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | |
| Topné oleje | 151 | 0,1 | 96 | 0,1 | 922 | 0,6 | 573 | 0,7 | |
| Zemní plyn | 30 656 | 19,0 | 22 155 | 25,3 | 29 556 | 19,6 | 21 607 | 26,3 | |

Systemy teplařenství

(A) Systém centrálního zásobování teplem (SCZT)

Teplo je vyráběno ve velkém zdroji a je dopravováno i na velké vzdálenosti do oblasti spotřeby.



Systemy teplotnosti

(A) System centrálního zásobování teplem (SCZT)

Teplota je vyráběna ve velkém zdroji a je dopravována i na velké vzdálenosti do oblasti spotřeby.

(B) Systemy decentralizovaného zásobování teplem

Teplota je vyráběna přímo uvnitř zásobovaného prostoru nebo objektu a dodávka teplota je pak přímá k jednotlivým spotřebitelům.

(C) Lokální zásobování teplem

Jedná se o lokální bytové kotelny pro vytápění a ohřev TUV.

(D) System centrálního zásobování chladem

Jedná se o centralizovanou výrobu chladu, který je dále rozváděn v potrubí k jednotlivým spotřebitelům. Chlad se vyrábí nejčastěji v absorpčních jednotkách.

Systemy teplařenství

Výhody CZT oproti individuálním zdrojům

- centrálně řízený zdroj
- vyšší účinnost zdroje díky vyšším výkonům
- kontrola a regulace spalovacího procesu
- možnost spalování i méně hodnotných paliv
- menší znečištění ovzduší díky centralizaci spalin a jejich čištění
- vyšší čistota a komfort domácností
- menší nároky na rozvoz paliva a odvoz tuhých zbytků po spalování
- menší počet osob zajišťujících obsluhu a údržbu na jednotku výkonu
- výrazně vyšší účinnost kombinované výroby elektřiny a tepla oproti lokálnímu vytápění

Systemy teplařenství

Nevýhody CZT oproti individuálním zdrojům

- vysoké investiční náklady
- vysoká konkurence místních zdrojů (lokální kotelny na zemní plyn, tepelná čerpadla) – odpojením zákazníka ze soustavy rostou fixní náklady pro zbývajících odběratele
- obtížná možnost rychlé změny palivová základna CZT v dané lokalitě. Obvykle nelze operativně měnit druh paliva podle aktuálních cen a tím je omezena konkurenceschopnost zdroje (týká zejména zemního plynu)
- neefektivní provoz při nízkém nebo nerovnoměrném zatížení soustavy
- náklady na provoz a údržbu sítí CZT, jejich nutná údržba a rekonstrukce (tepelné ztráty, úniky, ...) a zákazník je nemůže ovlivnit

Systemy teplařenství

Ekologické přínosy CZT oproti individuálním zdrojům

- možnost umístění centrálních zdrojů mimo hustě osídlená centra
- kontrola kvality spalovaných paliv
- řízení spalovacího procesu
- čištění kouřových plynů
- monitoring emisí znečišťujících látek do ovzduší
- vypouštění kouřových plynů do vyšších vrstev atmosféry s větším rozptylem
- kontrolované nakládání se zbytky po spalování

Zdroje tepla pro CZT

(1) Rozdělení podle využití instalovaného výkonu

(A) základní zdroj tepla

- vysoké využití instalovaného výkonu, tj. vysoké celoroční využití zdroje, který má vysokou účinnost transformace energie
 - dodávka tepla v topném období, celoroční dodávka TV, dodávka tepla do technologií
 - nutnost zálohy
- investičně náročný, ale má nízké provozní náklady

(B) Pološpičkový zdroj tepla

(C) Špičkový zdroj tepla

- určen je pro krátkodobé pokrytí špiček a jako částečná záloha, tj. nízké využití zdroje
- není požadovaná vysoká účinnost transformace energie
- investičně levný, ale má vysoké provozní náklady

Zdroje tepla pro CZT

(2) Rozdělení podle typu provozu

(A) Elektrárna s dodávkou tepla do SCZT

- primárně je vyráběna elektřina a část „odpadního tepla“ se odvádí do „blízké“ lokality (SCZT)
- v rámci industrializace byla potřeba po elektřině a velké zdroje se budovaly co nejbližší zdroji paliva mimo městské oblasti. Proto se přebytečné teplo mařilo na chladicích věžích
- součástí zdroje je zdroj tepla / kotel – parní kondenzační (odběrová) turbína – kondenzátor (nejčastěji vodou chlazený s chladicí věží)
- primární zdroj energie: hnědé a černé uhlí, jaderné palivo, zemní plyn a dnes i biomasa

Zdroje tepla pro CZT

(2) Rozdělení podle typu provozu

(B) Teplárna

- kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET), kde teplo je primárním produktem
- zdroje tepla
 - (a) parní zdroje: zdroje tepla – parní turbína (protitlaké, kondenzační odběrové, případně doplňkově čistě kondenzační) – kondenzátor;
(jaderný zdroj – úvahy v letech cca 1980 až 1990 o malých reaktorech)
 - (b) plynová turbína
 - (c) paroplynový zdroj
 - (d) kogenerační jednotka – spalovací motory, Stirlingův motor
 - (e) doplňkové zdroje: průmyslové TČ, elektrodové kotle
- primární zdroj energie: hnědé a černé uhlí → biomasa, TAP, komunální odpad, zemní plyn, jaderné palivo

Zdroje tepla pro CZT

(2) Rozdělení podle typu provozu

(C) Kotelna / výtopna

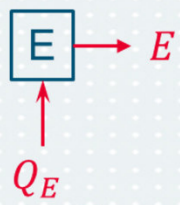
- je samostatně umístěný zdroj tepla pro menší lokalitu
- slouží pro výrobu teplé vody (do 110 °C), horké vody (nad 110 °C) případně páry a v rámci technologického celku není tepelný stroj
 - kotelna – v zařízení je jen kotel / kotle s pomocnou technologií
 - výtopna – může být i s parními kotli a kompletní technologií včetně úpravy vody
- zdroj tepla je horkovodní, teplovodní, nebo parní kotel, tepelné čerpadlo
- zdroj primárního paliva je hnědé uhlí, zemní plyn, biomasa, teplo prostředí a elektřina

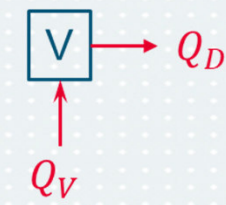
Teplárna × oddělená výroba

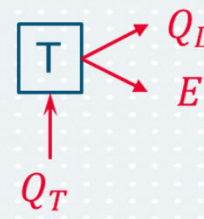
Elektrárna (E) je technologické zařízení (celek), které slouží pro výrobu elektřiny E s účinností výroby η_E vztažené na teplo dodaném v palivu Q_E .

Kotelna / výtopna (V) je technologické zařízení (celek), které slouží pro výrobu tepla Q_D v podobně teplé / horké vody nebo páry s účinností výroby η_V vztažené na teplo dodaném v palivu Q_V a není v ní žádný tepelný stroj.

Teplárna (T) je technologické zařízení (celek), které slouží pro kombinovanou výrobu elektřiny E a tepla Q_D (KVET) s účinností výroby η_T vztažené na teplo dodaném v palivu Q_T a vždy v ní musí být tepelný stroj, případně kogenerační jednotka.


$$\eta_E = \frac{E}{Q_E}$$
$$\eta_E \approx 0,25 - 0,425 [-]$$


$$\eta_V = \frac{Q_D}{Q_V}$$
$$\eta_V \approx 0,6 - 0,93 [-]$$


$$\eta_T = \frac{E + Q_D}{Q_T}$$
$$\eta_T \approx 0,8 - 0,9 [-]$$

!! $[MW_e] + [MW_t]$!!
!! 2.TDZ !!

Teplárenský modul

nebo také Modul teplárenské výroby e nebo také σ

$$e = \frac{E}{Q_D} = \frac{\text{vyrobená elektřina}}{\text{vyrobené teplo}} \quad [-]; \left[\frac{W}{W} \right]; \left[\frac{Wh}{Wh} \right]; \left[\frac{kJ \cdot kg^{-1}}{kJ \cdot kg^{-1}} \right]$$

pro výtopnu / kotelnu $e = 0$

pro elektrárnu $e = \infty$

pro teplárnu $e = 0,1$ až $1,5$ (záleží na typu zařízení)

Teplárenský modul je dán

- 1) typem a konstrukcí energetického zařízení
- 2) velikostí výroby elektřiny a její závislosti na výrobě tepla
- 3) parametry odebíraného tepla (teplot, tlak) a množství

Soustavy CZT (SCZT)

Tepelná síť

- slouží pro dopravu tepla prostřednictvím teponosné látky
- teponosnou látkou je nejčastěji voda / vodní pára
- transport tepla je veden ze zdroje tepla (výtopna / kotelna, elektrárna, teplárna) v potrubí ke spotřebiči (zákazníkovi)
- tepelná síť musí umožňovat transport tepla
 - v požadované kvalitě (stavu – teplota a tlak)
 - v požadované kvantitě (průtok)



Soustavy CZT (SCZT)

Tepelná síť – dle teponosného média

(A) parní

- jsou přenášeny velké tepelné výkony o vysokých stavových parametrech media
- historicky hlavně pro průmysl, případně primární síť
- rychlá dodávka tepla (rychlost páry v potrubí je 10 až 20 $m \cdot s^{-1}$)
- kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET), kde teplo je primárním produktem

(B) parní

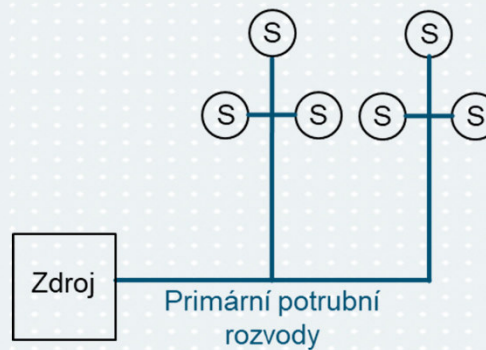
- pomalá dodávka tepla (rychlost vody v potrubí je 1 až 2 $m \cdot s^{-1}$)
- má ale velký akumulární efekt

(C) smíšené

Soustavy CZT (SCZT)

Tepelná síť – dle rozdělení sítě

(A) odběratelé jsou napojeni přímo na zdroj tepla (primární síť)

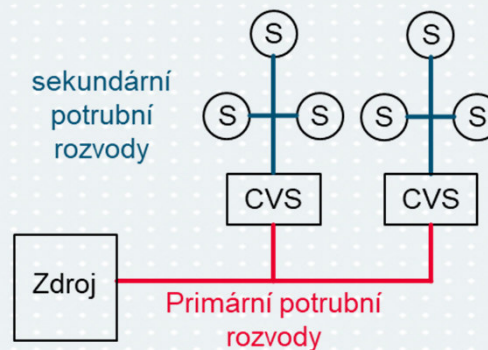


Soustavy CZT (SCZT)

Tepelná síť – dle rozdělení sítě

(B) odběratelé jsou napojeni na sekundární síť

- CVS (Centrální výměňkové stanice) - podle charakteru zdroje transformují primární tepelnou energii do rozvodů sekundárních topných potrubních rozvodů
 - tlakově oddělují primární síť od sekundární
 - regulace topné vody pro objektové předávací stanice (i ekvitermní regulace)
 - může být centrální ohřev TV (TUV).

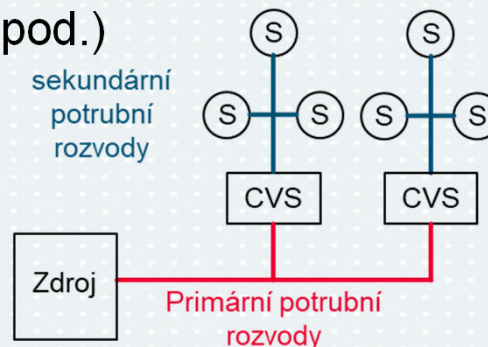


Soustavy CZT (SCZT)

Tepelná síť – dle rozdělení sítě

(B) odběratelé jsou napojeni na sekundární síť

- CVS (Centrální výměňkové stanice) - podle charakteru zdroje transformují primární tepelnou energii do rozvodů sekundárních topných potrubních rozvodů
 - na sekundární straně je zajištěna cirkulace topné vody pomocí oběhových čerpadel s řízením (statického) diferenčního tlaku
 - slouží také pro doplňování upravené vody do sekundárních rozvodů
 - u CVS, kde je primární teplo dodáváno v páře, je součástí kondenzátní hospodářství (sběrná nádrž kondenzátu, čerpadla pro přečerpání kondenzátu do primární sítě apod.)

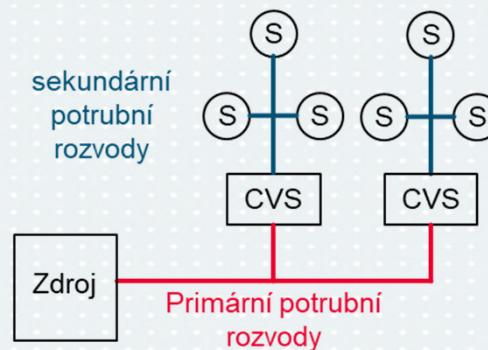


Soustavy CZT (SCZT)

Tepelná síť – dle rozdělení sítě

(B) odběratelé jsou napojeni na sekundární síť

- CVS (Centrální výměňkové stanice) - podle charakteru zdroje transformují primární tepelnou energii do rozvodů sekundárních topných potrubních rozvodů
- Primární potrubní rozvody jsou:
 - parní s teplotou a tlakem dle možností odběru turbíny
 - horkovodní s teplotou do 160 °C a PN25

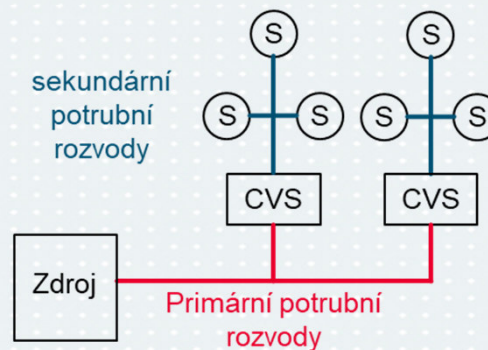


Soustavy CZT (SCZT)

Tepelná síť – dle rozdělení sítě

(B) odběratelé jsou napojeni na sekundární síť

- CVS (Centrální výměňkové stanice) - podle charakteru zdroje transformují primární tepelnou energii do rozvodů sekundárních topných potrubních rozvodů
- Sekundární potrubní rozvody jsou:
 - horkovodní s teplotou do 160 °C a PN25; nebo 130 °C a PN16
 - teplovodní s teplotou do 110 °C a PN6



Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ**



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



FAKULTA
CHEMICKÁ



FAKULTA
STAVEBNÍ



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Projektování energetických centrál

9. Návrh provozů s PT a dodávkou tepla (chladu) do SCZT

Fakulta strojního inženýrství

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

2024



Vysoké učení technické v Brně



Typy teplárenských provozů

Cílem teplárenských provozů je dodávka:

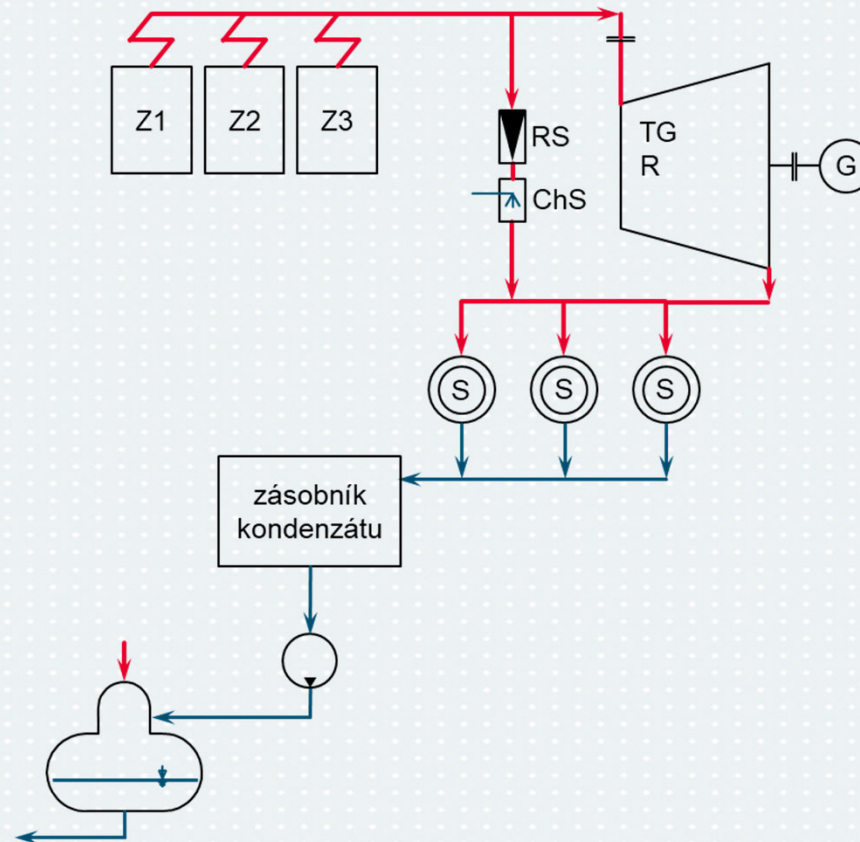
- (1) teplé vody ($t < 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
- (2) horké vody ($t \geq 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
- (3) páry

Typy teplárenských provozů jsou s PT:

- (1) provoz s protitlakou PT – dodávka v páře
- (2) provoz s protitlakou PT – dodávka v horké vodě
- (3) provoz s kondenzační odběrovou PT – dodávka v páře nebo vodě

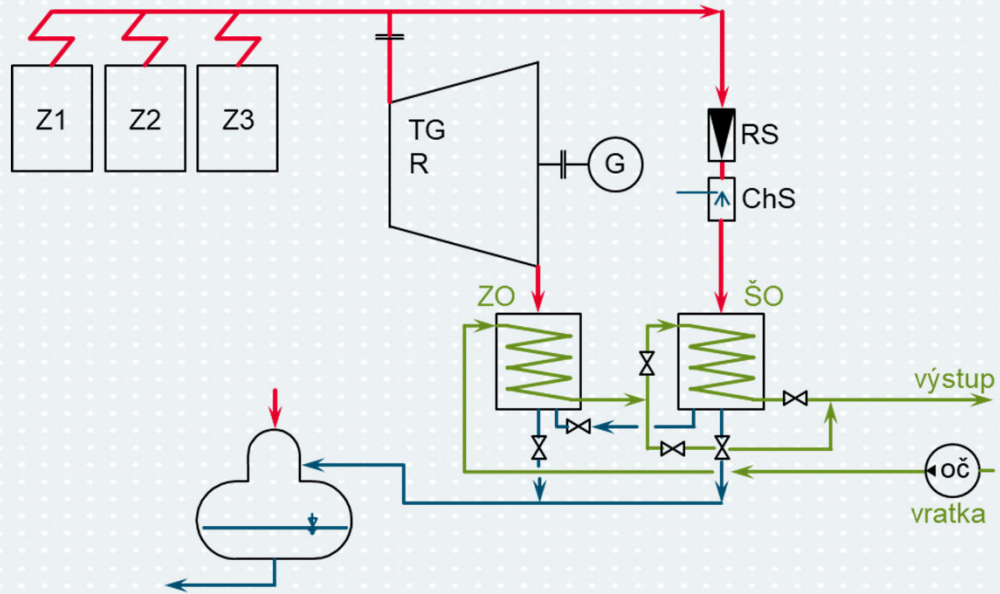
(1) Provoz s protitlakou PT

Dodávka v páře – základní schéma



(2) Provoz s protitlakou PT

Dodávka v horké vodě – základní schéma



Shrnutí (1+2) – provoz s protitlakou PT

Výhody

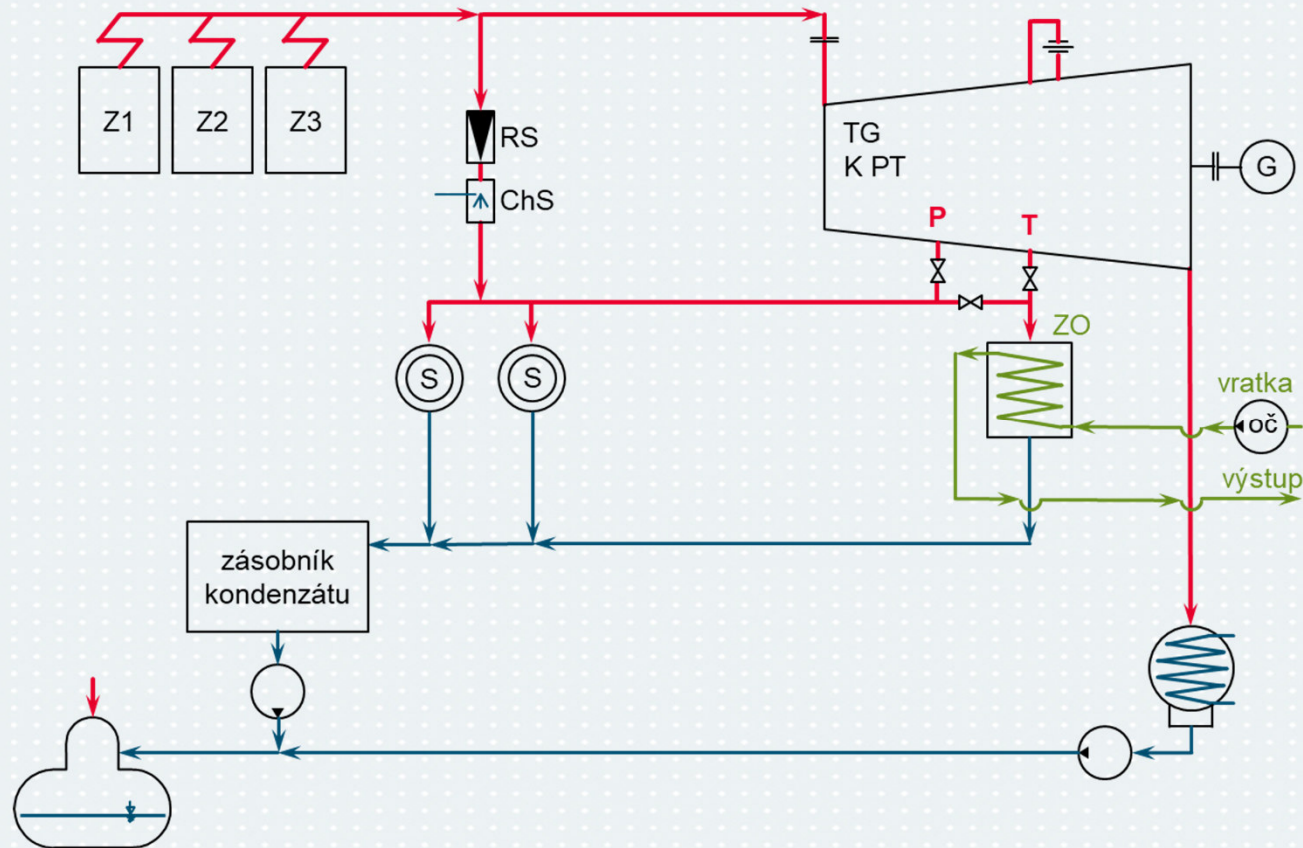
- vysoká celková energetická účinnost (vždy je dodávka tepla)
- PT má dlouhou životnost
 - rotor má životnost 100 až 150 tisíc provozních hodin
 - stator má životnost 250 až 300 (a více) provozních hodin
- je možné dodávat horkou vodu i páru (nezávisí na turbíně, ale omezením je dimenzování odběrů)
- PT je nezávislá na zdroji tepla (kotli a typu paliva)

Nevýhody

- výroba elektřiny je závislá na dodávce tepla
- pomalé najíždění TG a jejich omezený počet
 - studený start v řádech jednotek hodin
 - teplý start v řádech desítek minut
 - horký start v řádech minut
- nutnost nepřetržitého provozu v řádech měsíců

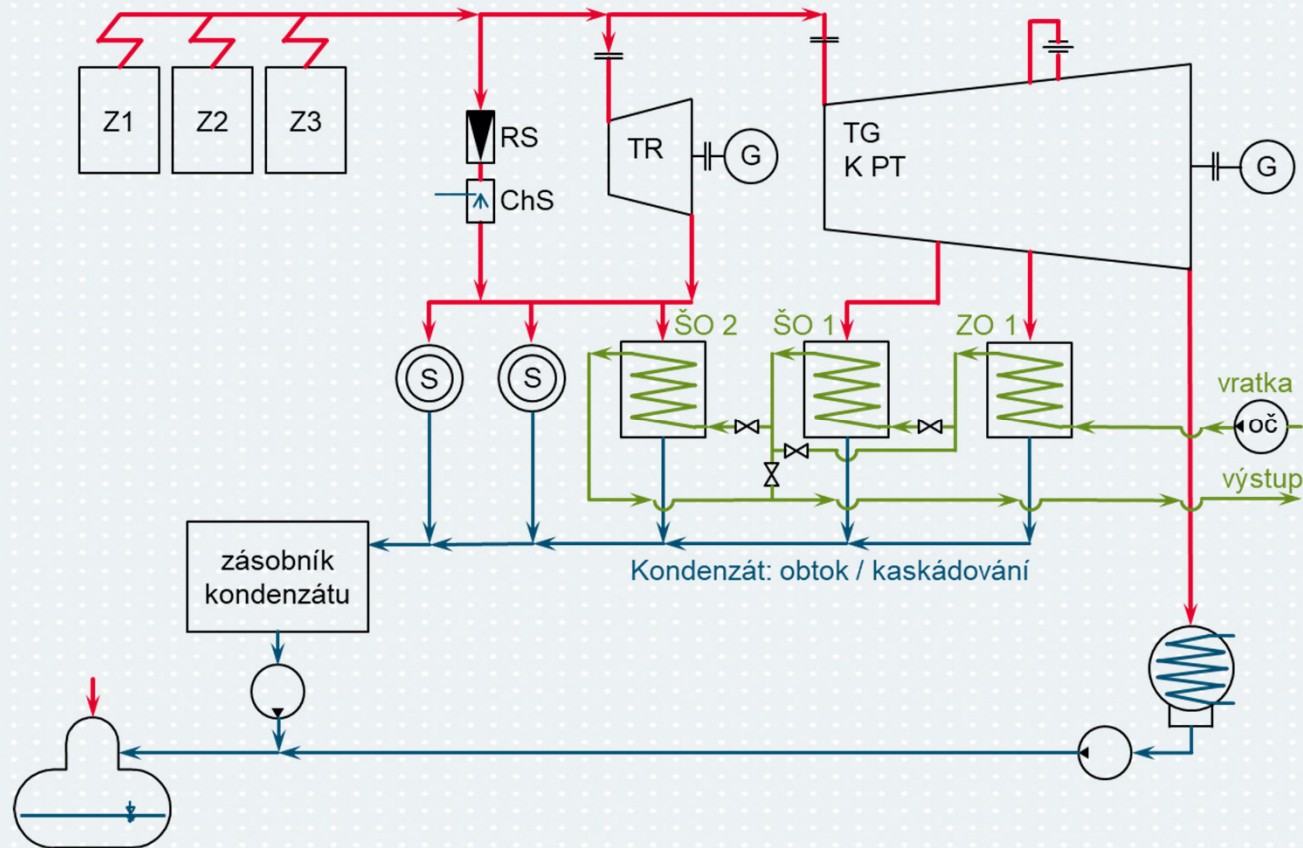
(3) provoz s kondenzační odběrovou PT

Dodávka v páře nebo vodě – základní schéma



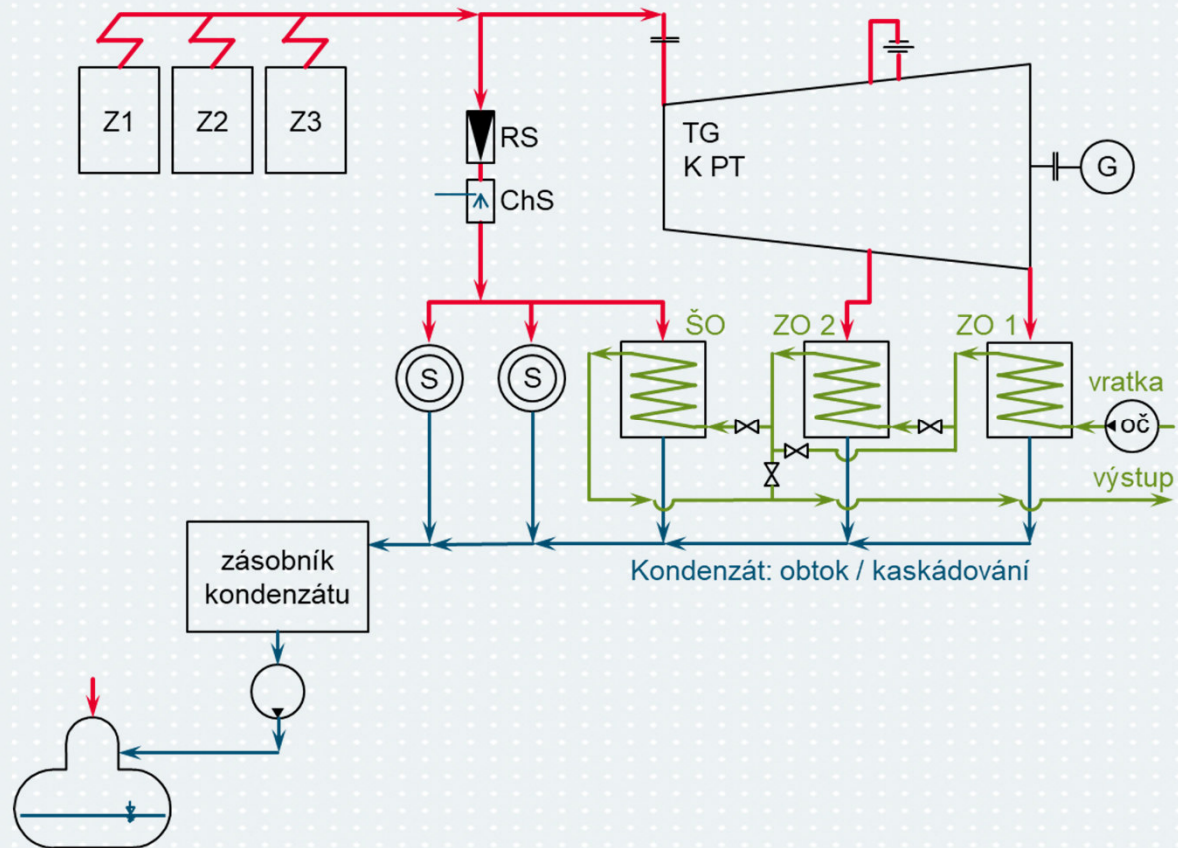
(3) provoz s kondenzační odběrovou PT

Dodávka v páře nebo vodě – 3° ohřev vody



(3) provoz s kondenzační odběrovou PT

Dodávka v páře nebo vodě – TG s potlačeným vakuem



Shrnutí (3) – provoz s kondenz. odběr. PT

Výhody

- výroba elektřiny je nezávislá na dodávce tepla, což umožňuje pokrýt potřebu elektřiny
- PT má dlouhou životnost
 - rotor má životnost 100 až 150 tisíc provozních hodin
 - stator má životnost 250 až 300 (a více) provozních hodin
- je možné dodávat horkou vodu i páru (nezávisí na turbíně, ale omezením je dimenzování odběrů)
- PT je nezávislá na zdroji tepla (kotli a typu paliva)

Nevýhody

- nižší celková energetická účinnost, která je závislá na poměru výroby elektřiny a dodávkám tepla
- musí být odvod zbytkového tepla (kondenzátor)
- pomalé najíždění TG a jejich omezený počet
 - studený start v řádech jednotek hodin
 - teplý start v řádech desítek minut
 - horký start v řádech minut
- nutnost nepřetržitého provozu v řádech měsíců

Shrnutí (3) – provoz s kondenz. odběr. PT

PT kondenzační odběrová (s RO případně NERO)

- je využívána ve velkých elektrárnách a teplárnách s velkou potřebou elektřiny nebo je částečné využití v systémových službách
- výroba elektřiny je 7 000 až 8 500 *provozních hodin*
- v rámci dodávek tepla je používána jako základní zdroj

PT kondenzační bez regulovaných odběrů

- může mít neregulované odběry pro regeneraci a odplynění
- je využívána v teplárnách jako doplňkový zdroj například v letním období při malých odběrech tepla a potřebě vyrábět elektřinu

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ**



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ



FAKULTA
CHEMICKÁ



FAKULTA
STAVEBNÍ



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Projektování energetických centrál

10. Dispoziční řešení strojovny a P&ID

Fakulta strojního inženýrství

Ing. Petr Kracík, Ph.D.

2024



Vysoké učení technické v Brně



Dispoziční řešení strojovny

Na dokumentacích vybraných provozů bude komentováno dispoziční řešení a PID

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NPO_VUT_MSMT-16609_2022



1

 **Financováno**
Evropskou unií
NextGenerationEU

 **NÁRODNÍ**
PLÁN
OBNOVY

 **MSMT**
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

 **FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologií

 **FAKULTA**
CHEMICKÁ

 **FAKULTA**
STAVEBNÍ

 **FAKULTA**
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Přednáška magisterského studijního programu JADERNÁ ENERGETIKA

Projektování energetických centrál

Ekonomika v energetice a hodnocení projektů

Fakulta Strojního inženýrství

Marek Baláš

 **Vysoké učení technické v Brně** 

2

Proč ekonomika v energetice

- Cíl ekonomiky – růst hodnoty podniku
- Ekonomika ve smyslu optimálního využití dostupných prostředků tak, aby bylo dosaženo minimálních nákladů a současně maximálního zisku

- Motivace
 - pochopení základních myšlenek a principů
 - využití při řešení zadání závěrečných prací

3



3

Náklady

- souhrn financí vynaložených na výrobu
- rozeznáváme
 - investiční náklady [Kč]
 - jednorázově investovaná částka na počátku projektu na pořízení výroby a jejího vybavení
 - (další náklady za provozu při pořízení drahého vybavení či opravy s navýšením hodnoty technologie)
 - výrobní (provozní) náklady [Kč/rok]
 - náklady **přímo** související s výrobou energie – vynaložím je pouze, když vyrábím
 - náklady **nepřímé** – nesouvisí s přímou výrobou

4



4

Investiční náklady

- základní investice – fixní investiční náklady
 - pozemky,
 - budovy a jejich úpravy
 - investice do občanské vybavenosti
 - technologie pro výrobu
- předvýrobní náklady
 - studie
 - projekty
 - příprava výroby
- provozní kapitál
 - zásoby materiálů před zahájením výroby

5



5

Výrobní náklady

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Přímé<ul style="list-style-type: none">– náklady na nákup paliv a energií– náklady na ostatní materiál<ul style="list-style-type: none">• mazací hmoty, chemikálie pro úpravnu vody, atp.– technické služby<ul style="list-style-type: none">• platby za znečišťování ovzduší, likvidace odpadů atp.– mzdové náklady<ul style="list-style-type: none">• hrubá mzda zaměstnanců• sociální a zdravotní pojištění zaměstnanců• případné další sociální náklady (FKSP, stravné atp.)– náklady na běžnou údržbu zařízení– náklady na větší či generální opravy– nezařazené - výrobní režie | <ul style="list-style-type: none">• Nepřímé<ul style="list-style-type: none">– mzdové náklady– fixní služby– nepřímé náklady na prodej energií– přímé náklady na prodej– odpisy– úroky z úvěrů– leasing |
|--|--|

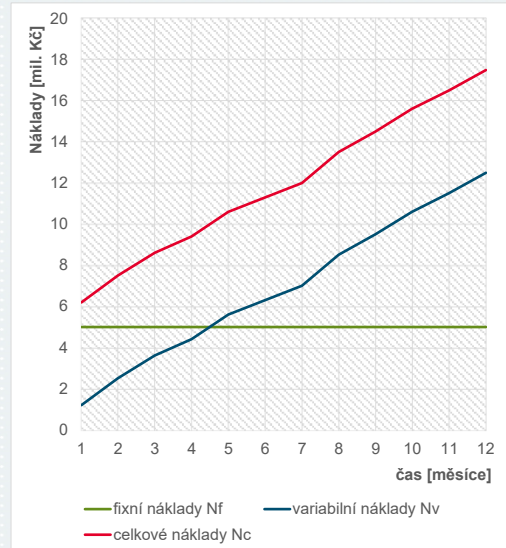
6



6

Náklady

- N_f - fixní (stálé) náklady – výše nákladů vzniklá nezávisle na výrobě [Kč]
 - odpisy
 - úroky
 - údržba a opravy
 - mzdy
 - režie
 - splátky
 - náklady na výzkum a vývoj
- N_v - variabilní (proměnné) náklady – náklady úzce spjaté s výrobou [Kč/GJ]
 - palivo
 - elektrická energie
 - jiné provozní hmoty
 - mzdy spojené s přímou výrobou



7



7

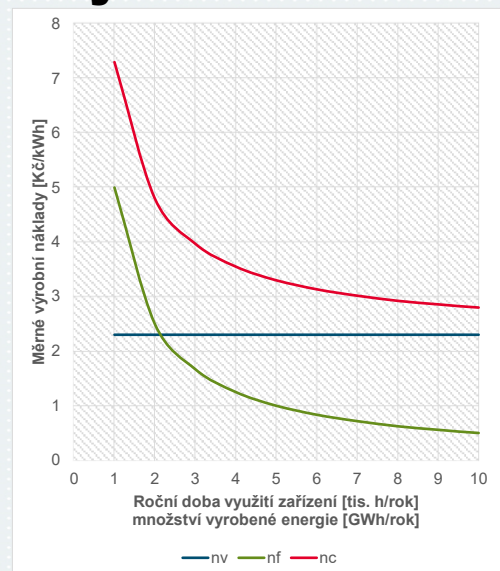
Měrné náklady

- náklady na vyrobenou jednotku

$$n_c = n_f + n_v [Kč/kWh]$$
 kde $n_f = \frac{N_f}{P_{jm}} [Kč/kWh]$
- celkové náklady pak jsou

$$N_c = N_f + N_v = n_f \cdot P_{jm} + n_v \cdot E^n [Kč/rok]$$
- měrné výrobní náklady

$$n_c = n_f \cdot \frac{P_{jm}}{E} + n_v [Kč/kWh]$$



8



8

Výnosy

- výnosy (příjmy, tržby) jsou souhrnem peněžních prostředků, které firma získá ze všech svých činností za určité období
- výnosy se dělí na:
 - provozní výnosy - získané z provozně-ekonomické činnosti (tržby za prodej)
 - finanční výnosy - získané z finanční investic, cenných papírů, vkladů atp.
 - mimořádné výnosy - získané mimořádně, například prodejem odepsaného výrobního zařízení
- výnosy spolu s náklady tvoří hospodářský výsledek – zisk /ztrátu

9



9

Kalkulace ceny vyrobené jednotky

přímé náklady na jednotku - n_v

- přímý materiál
- přímé služby
- přímé mzdy
- ostatní přímé náklady

+ podíl nepřímých nákladů - n_f/E

+ zisk

cena bez DPH

+ DPH

koncová cena jednotky

• snaha o maximalizaci zisku naráží na

- konkurenci
- regulaci

10

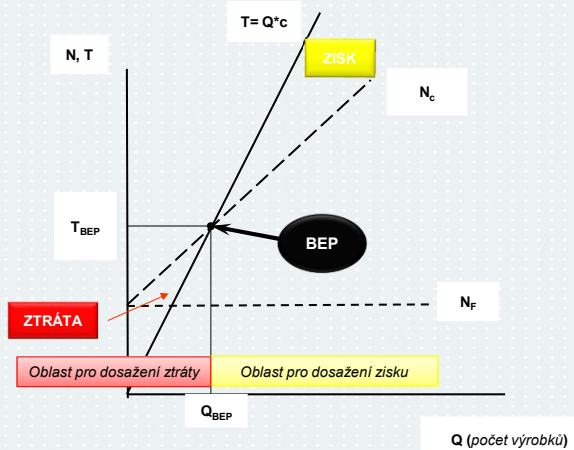


10

Bod zvratu (Break-Even Point)

- určuje, takový objem produkce výrobků, při kterém se výše zisku rovná nule
- s tímto souvisí kritické využití výrobní kapacity, což je objem výroby v procentech v bodu zvratu

$$BEP = \frac{(N_F + Z_{\min})}{p - n_v} [kS]$$

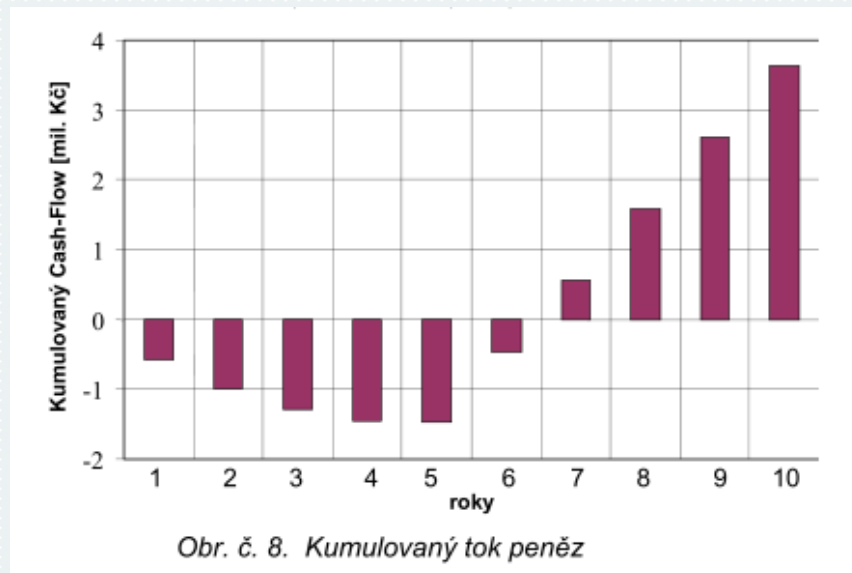


11



11

Cash flow



Obr. č. 8. Kumulovaný tok peněz

12



12

Cash flow

- Cash flow

- výkaz o peněžních tocích
- označuje rozdíl mezi peněžními příjmy a peněžními výdaji za sledované období
- na rozdíl od výsledovky se zabývá příjmy a výdaji, nikoliv výnosy a náklady.

$$CF = \text{příjmy} - \text{výdaje}$$

+ tržby
 - provozní výdaje
 - úroky z úvěru
 - investiční výdaje
 - odpisy
 (+ dotace)
 (+ úvěr)
 (- úmor)

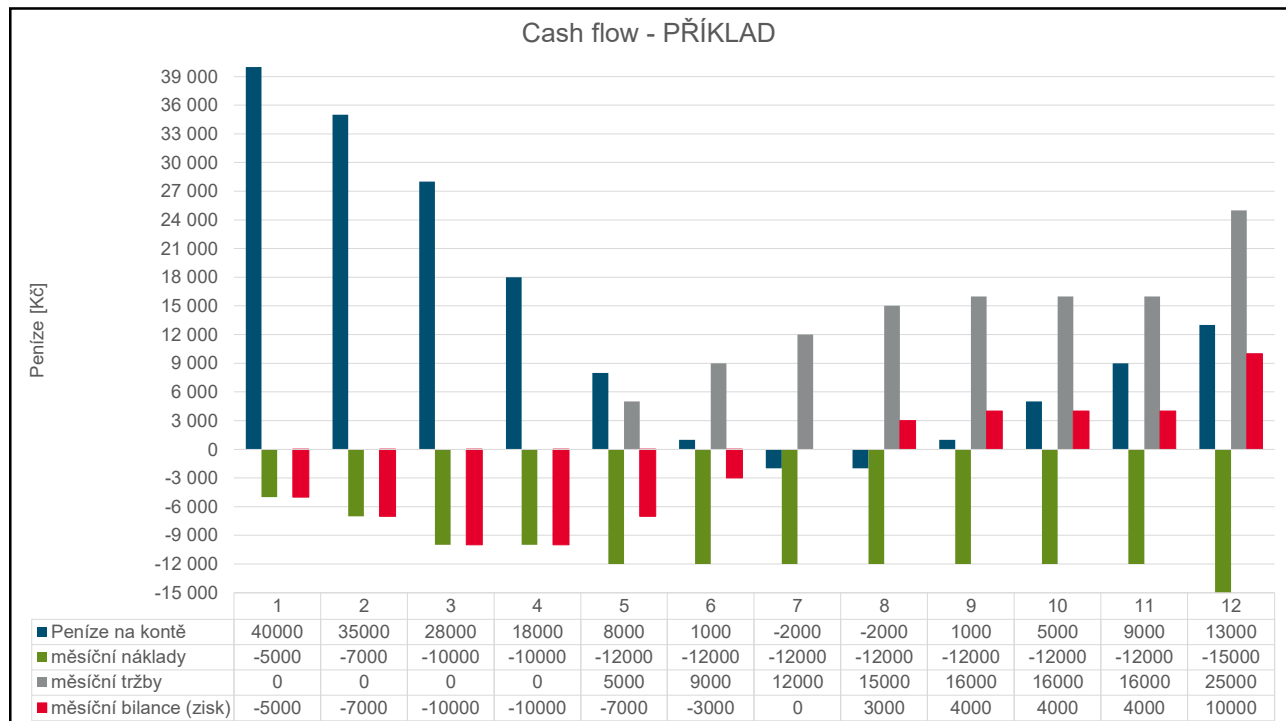
příjmy před zdaněním

- daně

čistý zisk

+ odpisy

cash flow



Specifika energetiky

- pro energetická zařízení je typická
 - vysoká vybavenost základními prostředky
 - vysoká investiční náročnost
 - dlouhá doba výstavby
 - vysoká náročnost na primární zdroje
 - dlouhá doba životnosti
 - dlouhá doba návratnosti
- Optimalizace projektu
 - technicko-ekonomické
 - vyžaduje znalost navrhované procesní technologie
 - vyžaduje znalost budoucího provozního režimu zařízení
 - vyžaduje znalost metodiky ekonomického posuzování investičních projektů

15



15

Investiční strategie

- předmětem investiční strategie je stanovení cílů, prostředků, postupů a časového sledu dosažení cíle
- Investiční motivy
 - snížení rizika
 - finanční stabilita podniku
 - podíl na trhu
 - výnosnost investic
 - snížení nákladů
 - zvýšení tržeb
 - zvýšení obrátu
 - pomocí inovací
 - zajištění legislativních požadavků (např. ochrana ŽP)
 - zlepšení pracovních, zdravotních, sociálních podmínek ve firmě

16



16

Investiční strategie – vlivy

- vnější faktory
 - daňová a monetární politika státu (úrokové sazby, zdanění příjmů),
 - očekávání investorů a tržních partnerů,
 - dynamika HDP,
 - import a export,
 - konkurence
- vnitřní faktory
 - stav majetku podniku,
 - pozice na trhu a v odvětví,
 - úroveň organizace a řízení,
 - zkušenosti,
 - informace,
 - tvůrčí podmínky,
 - finanční situace

17



17

Investice

- dělíme na:
 - hmotné
 - nemovitosti, technologie, výrobní kapacity, cenný majetek
 - nehmotné
 - licence, software, know-how, práva, výzkum atp.
 - finanční
 - cenné papíry, dlouhodobé půjčky, vklady atp.
- investiční strategie
 - očekávaný výnos investice
 - očekávané riziko investice
 - očekávaný výsledek na likviditu firmy

18



18

Projekt

- *vize – technologická – ekonomická, záměr*
- předinvestiční fáze – studie
- *rozhodnutí*
- investiční fáze – výroba
- trvalý provoz
- *hodnocení*

- Vyjádření cílů projektu
 - věcné vyjádření – kvantitativní, kvalitativní
 - ekonomické – náklady, zisk, návratnost, rentabilita
 - časové – zahájení užívání, trvalé užívání, BEP, životnost

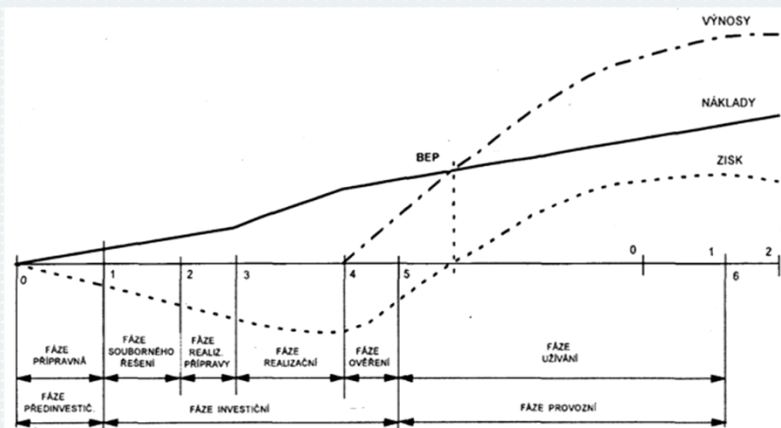
19



19

Cash flow projektu

- Plán průběhu cash flow (příjmů a výdajů)
 - průběh příjmů a výdajů v **investiční** etapě
 - průběh příjmů a výdajů v **provozní** etapě
 - souvisí s průběhem nákladů a výnosů v jednotlivých letech



20



20

Zdroje financování

- vlastní finanční zdroje
 - odpisy – obnova stávajícího investičního majetku
 - nerozdělený zisk – po zdanění
 - výnosy získané prodejem podnikového majetku
- cizí finanční zdroje
 - střednědobé a dlouhodobé bankovní úvěry
 - střednědobé a dlouhodobé podnikatelské úvěry
 - obligace – emitované cenné papíry (pevně stanovený úrok)
 - akcie
 - dotace – místní rozpočty, státní rozpočet, fondy EU
- zvláštní forma financování
 - finanční leasing majetku
- další vklady do projektu
 - know-how, stávající kapacity, licence atp.

21



21

Inflace

- inflace vyjadřuje procentní změnu cenové hladiny
- míra inflace

$$\frac{1 + i}{1 + i_i}$$

- reálná úroková míra i_r – úroková míra očištěná o inflaci, příp. o nesražené daně

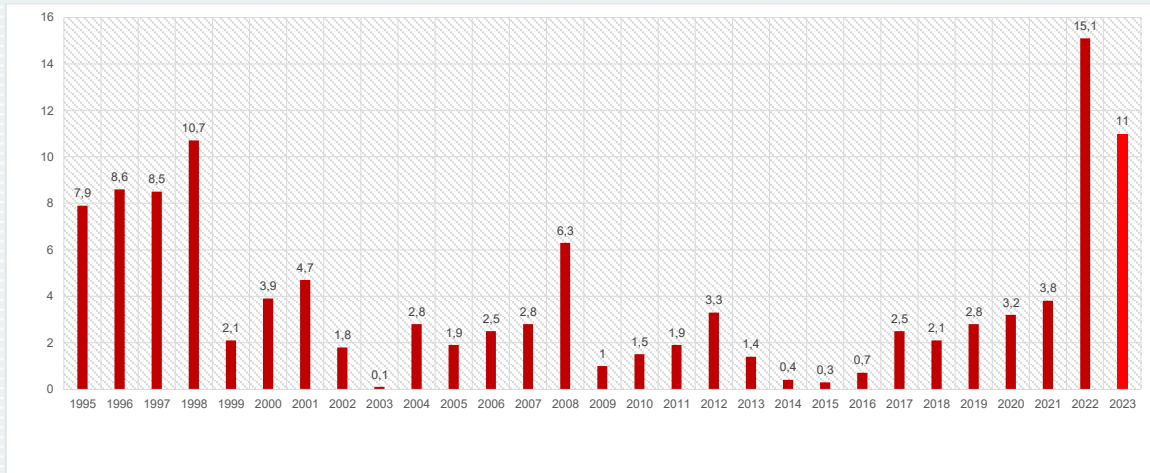
$$i_r = \frac{1 + (1 - daň) \cdot i_e}{1 + i_i}$$

22



22

Inflace



23



Vysoké učení technické v Brně



23

Diskontování – diskontní míra

- v případě diskontu známe budoucí hodnotu ceny peněz – splatnou částku
- jednoduchý diskont

$$N_i = K \cdot (1 - t \cdot d)$$

- složený diskont

$$N_i = K \cdot (1 - d)^t$$

$$N_i = K \cdot \left(1 - \frac{d}{m}\right)^{t \cdot m}$$

- diskontování je způsob ohodnocení budoucí ceny peněz
 - diskontní míra vlastního kapitálu $d_e = d_f + \beta \cdot (d_m - d_f)$
 - diskontní míra cizího kapitálu $d = (1 + d_r) \cdot (1 + a) - 1$
- pokud investujeme a máme alternativní příležitost, jak peníze zhodnotit, tak nám diskontování odpoví na otázku, zda-li se daná investice vyplatí.

$$PV = \frac{R}{(1 + d)^t}$$

24



Vysoké učení technické v Brně



24

Diskontní míra

- diskontní míra vlastního kapitálu
 - $d_e = d_f + \beta \cdot (d_m - d_f)$
 - d_f - bezriziková úroková míra, (sazby dlouhodobých státních dluhopisů)
 - β - systematické (tržní) riziko zachycující odchylky akcie dané firmy oproti celkovému tržnímu vývoji
 - $(d_m - d_f)$ - riziková přirážka
- diskontní míra cizího kapitálu
 - $d = (1 + d_r) \cdot (1 + a) - 1$
 - d_r - nominální diskontní sazba
 - a - inflační koeficient (většinou roční míra inflace)

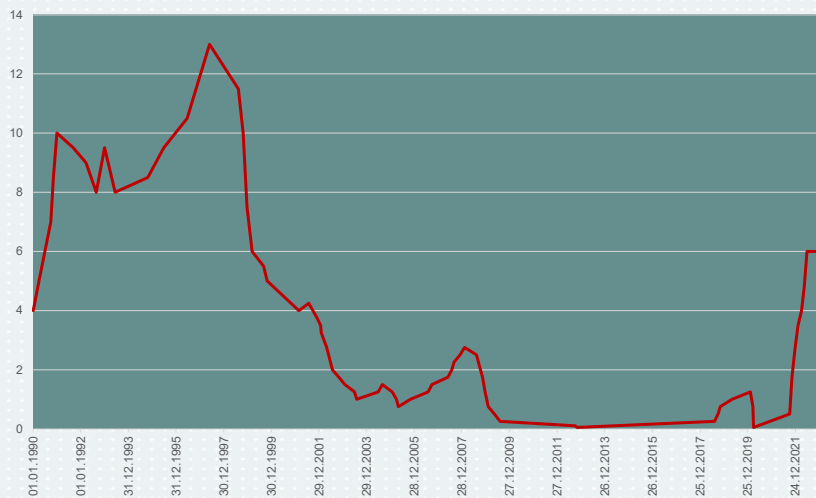
25



Vysoké učení technické v Brně



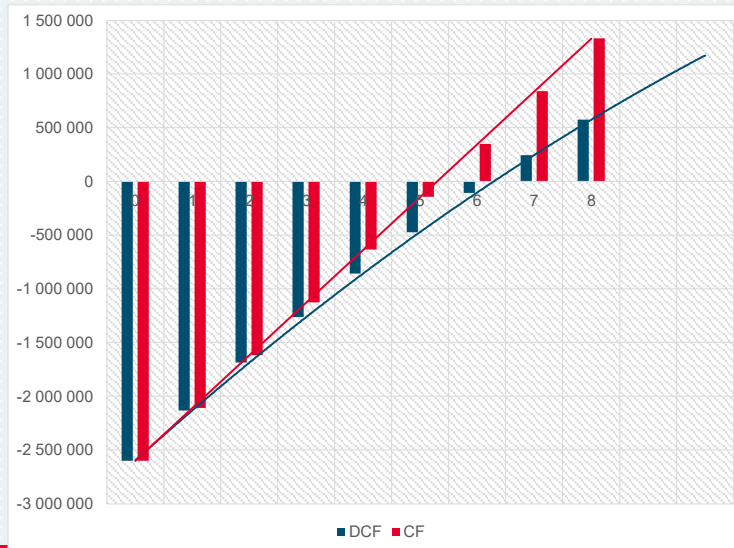
25



Vysoké učení technické v Brně



26



Diskontované Cash flow

- pokud chceme zohlednit budoucí cenu peněz, použijeme tzv. diskontovaný cash flow

$$DCF = \frac{CF}{(1 + d)^t}$$

Ekonomické hodnocení projektu

- cíle ekonomického hodnocení
 - rozhodnout, která varianta investice je nejlepší
 - určení rizik a nejistot variant projektu
 - definovat očekávané náklady a přínosy
- hodnocení je třeba dělat pro jeden čas
 - je nutno na jeden čas přepočítat současnou nebo hodnotu peněz – diskontování
 - základ je dobrý odhad úrokové sazby
- rozdělení podle posuzovacích kritérií
 - nákladové kritérium
 - cílem projektu je úspora investičních i provozních nákladů
 - ziskové kritérium
 - kritériem hodnocení je zisk
 - kritérium čistého peněžního toku
 - projekt je hodnocen na základě CF

29



29

Techniky hodnocení investic

- **statické metody**
 - jsou zaměřeny především na sledování **peněžních přínosů** či poměřování s počátečními výdaji
 - nezahrnují **faktor rizika**, čas berou v úvahu pouze v omezené míře:
 - Průměrný roční výnos
 - Průměrná doba návratnosti
 - Průměrná procentní výnosnost
 - Doba návratnosti
- **dynamické metody**
 - zohledňují **faktor času a riziko**, základem je **diskontování** vstupních parametrů
 - Čistá současná hodnota (NPV)
 - Vnitřní výnosové procento (IRR)
 - Index ziskovosti (IR)
 - Doba návratnosti (PP)
 - Průměrný výnos z účetní hodnoty

30



30

Hodnocení investic

- Výnosnost investice
- kolik procent investovaného kapitálu se ročně průměrně vrátí
- odvíjí se od objemu produkce i od hodnoty investičních nákladů
- umožňuje srovnávat projekty s různou dobou životnosti

$$ROI = \frac{Z_r}{N_i}$$

- Prostá doba návratnosti

• PP - Payback Period

- metoda udává, za jakou dobu by mělo dojít ke splacení počáteční investice (při rovnoměrné realizaci hotovostních toků).

$$T_o = \frac{N_i}{Z_r}$$

- Z_r průměrný čistý roční zisk z investice [Kč]
- N_i náklady na investici [Kč]

31



31

Hodnocení investic

Průměrný roční výnos

- Metoda **průměrný roční výnos**, je poměr všech cash flow spojených s investicí a počtem let životnosti investice

$$\phi CF = \frac{\sum_{i=1}^n CF_i}{T_z}$$

- ϕCF ... průměrný roční výnos
- CF_i ... cash flow spojená s investicí
- T_z ...doba životnosti projektu

Návratnost investice

- počet roků provozu, za které se úspory na výrobních nákladech proti současnému stavu rovnají vynaloženým investičním nákladům

$$T_r = \frac{N_i}{N_{v1} - N_{v2}}$$

- N_{v1} a N_{v2} ...původní a nové roční provozní náklady [Kč/rok]

$$T_r = \frac{N_{i2} - N_{i1}}{N_{v1} - N_{v2}}$$

32

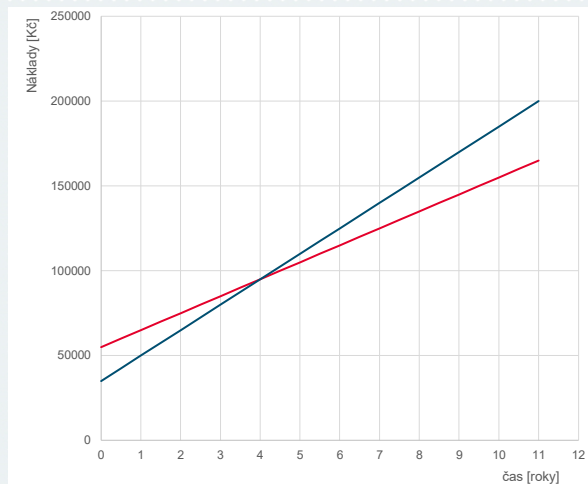


32

Porovnání dvou nových variant

| | | Ni | 55000 | 35000 |
|----------|-------|----|--------|--------|
| N_{i1} | 55000 | 1 | 65000 | 50000 |
| n_{v1} | 10000 | 2 | 75000 | 65000 |
| N_{i2} | 35000 | 3 | 85000 | 80000 |
| n_{v2} | 15000 | 4 | 95000 | 95000 |
| T_r | 4 | 5 | 105000 | 110000 |
| | | 6 | 115000 | 125000 |
| | | 7 | 125000 | 140000 |
| | | 8 | 135000 | 155000 |
| | | 9 | 145000 | 170000 |
| | | 10 | 155000 | 185000 |
| | | 11 | 165000 | 200000 |

$$T_r = \frac{N_{i2} - N_{i1}}{N_{v1} - N_{v2}}$$



33

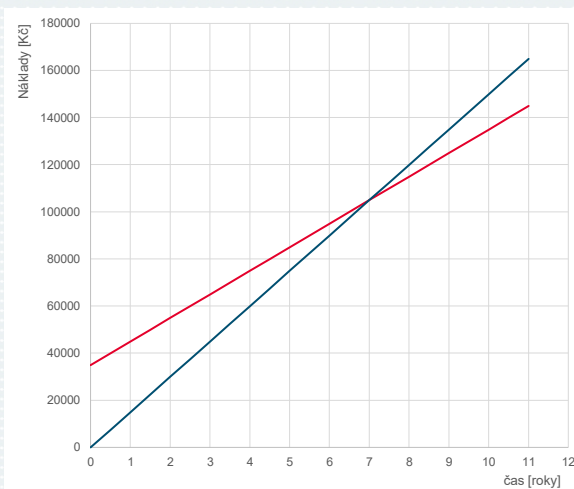


33

Porovnání stávajícího stavu a nové varianty

| | | Ni | 35000 | 0 |
|----------|-------|----|--------|--------|
| N_{i1} | 35000 | 1 | 50000 | 20000 |
| n_{v1} | 15000 | 2 | 60000 | 35000 |
| N_{i2} | 0 | 3 | 70000 | 50000 |
| n_{v2} | 20000 | 4 | 80000 | 65000 |
| T_r | 7 | 5 | 90000 | 80000 |
| | | 6 | 100000 | 95000 |
| | | 7 | 110000 | 110000 |
| | | 8 | 120000 | 125000 |
| | | 9 | 130000 | 140000 |
| | | 10 | 140000 | 155000 |
| | | 11 | 150000 | 170000 |

$$T_r = \frac{N_i}{N_{v1} - N_{v2}}$$



34



34

Diskontovaná doba návratnosti (DPP – Discounted Payback Period)

- udává počet let, po který se investice bude vracet
- pokud je výsledná hodnota menší než doba životnosti projektu, náklady na něj vynaložené se v době jeho provozu vrátí
- dobu návratnosti můžeme použít jako:
 - statickou metodu, která nezohledňuje faktor času
 - dynamickou metodu, kdy zohledníme faktor času tím, že doplníme dobu návratnosti o **diskontování** hotovostních toků

$$T_s = \frac{\ln \frac{K}{N_i}}{\ln(1+d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_o \cdot d}}{\ln(1+d)} [\text{roky}]$$

$$T_s = \frac{N_i}{\frac{\sum_{t=1}^{T_z} CF_t}{T_z}} [\text{roky}]$$

35



35

Čistá současná hodnota (investice) (NPV - Net Present Value)

- jedno z nejvhodnějších a nejpoužívanějších finančních kritérií
- v metodě je zahrnuta celá doba životnosti projektu, i možnost investování do jiného stejně rizikového projektu.
- bere v úvahu časovou hodnotu peněz, závisí pouze na předvídaných hotovostních tocích a alternativních **nákladech kapitálu**

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+d)^t} - N_i$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+d)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{N_i}{(1+d)^t}$$

- **NPV - $N_i < 0$ – nerentabilní projekt**
- **NPV - $N_i = 0$ - indiferentní**
- **NPV - $N_i > 0$ – projekt zvyšuje hodnotu firmy**

36



36

Vnitřní výnosové procento (IRR – internal rate of return)

- trvalý roční výnos investice
- jedná se o diskont, při němž je NPV investice rovno nule
- udává relativní výnos (rentabilitu), kterou projekt během svého životního cyklu poskytuje

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF}{(1 + IRR)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{CF}{(1 + IRR)^t} - N_i = 0$$

- číselně je rovna diskontní sazbě, při které je NPV rovna nule

$$IRR = i_n + \frac{NPV_n}{NPV_n + NPV_v} \cdot (i_v - i_n)$$

37



37

Rizika

- z pohledu ekonomiky je hlavním rizikem nedosažení předpokládaného zisku
- rizika jsou třeba zohlednit ve studiích
- přímé promítání rizika – vyjádření pomocí statistických metod
 - směrodatná odchylka – vyjádření odchýlení skutečných toků peněz od předpokládaných

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

- rozptyl – vyjádření odchylky jednotlivých peněžních toků od průměrného CF

$$\sigma^2 = \sum_{j=1}^n (CF_j - \overline{CF})^2 \cdot p_j$$

- variační koeficient – pro velmi odlišné CF

$$V = \frac{\sigma}{CF}$$

- nepřímé promítání rizika
 - přizpůsobení výnosového procenta riziku

38



38

Citlivostní analýza

- analyzuje, nakolik je projekt náchylný k neúspěchu v případě neočekávaného výkyvu CF
- zkoumá důsledek změn vstupů na výstupech (zisku) projektu
- cílem analýzy je
 - určit hlavní proměnné, které ovlivňují náklady a výnosy
 - analyzovat výsledky těchto proměnných
 - stanovit nejvíce a nejméně citlivý faktor
 - doporučit aktivity, které mohou negativní dopady eliminovat
- zjišťuje se závislost NPV (a IRR) na
 - diskontu
 - velikosti investic
 - prodejní ceně vyrobené energie
 - změně provozních nákladů
 - cena vstupních surovin (palivo)
 - mzdy
 - nájem
 - další náklady (PHM, daně, cla, ekologické poplatky (odpad, emise, voda atp.))
 - době využití instalovaného výkonu

$$\Delta\%X = \frac{X_{po_zmeně} - X_{pred_zmenou}}{X_{pred_zmenou}}$$

39



39

Zadání

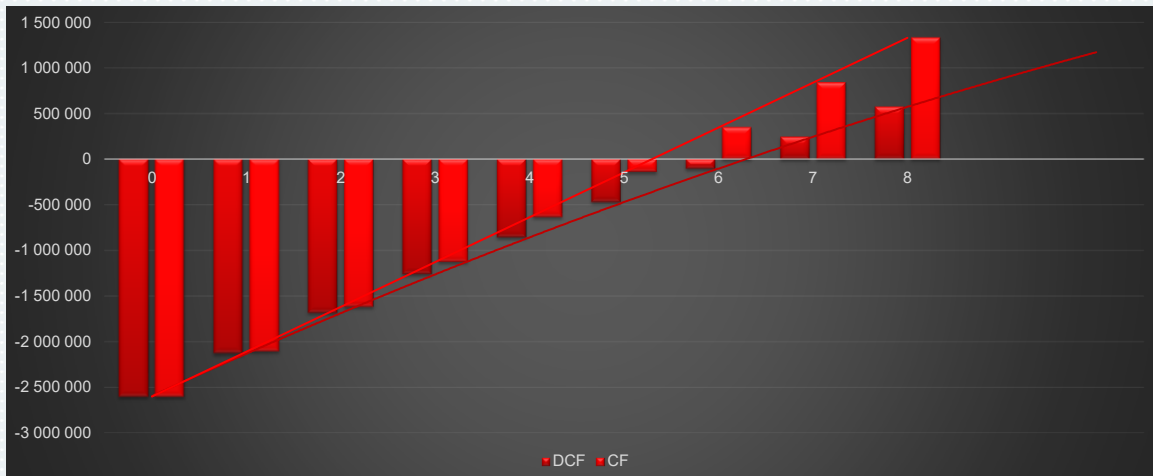
| | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| • elektrický výkon | 130 kW | • diskontní míra | 7 % |
| • tepelný výkon | 220 kW | • úroková sazba | 9 % |
| • cena generátoru | 2,1 mil. Kč | • odvozy ze zisku | 19 % |
| • náklady na úpravy | 0,5 mil. Kč | • doba splatnosti úvěru | 3 roky |
| • palivo zemní plyn | | • výše získaných prostředků | 40 % |
| – výhřevnost | 33 MJ/m ³ | | |
| • životnost motoru | 8 let | • cena tepla | 450 Kč/GJ |
| • měrná spotřeba paliva | 363 m ³ /MWh | • cena elektřiny | 1635 Kč/MWh |
| | | • cena paliva | 9,5 Kč/m ³ |
| • roční doba využití | 4 400 hodin | | |
| • provozní náklady mimo palivo | 50 tis. Kč/rok | | |

40



40

Porovnání ΣCF a ΣDCF



41



Vysoké učení technické v Brně



41

Magisterský studijní program JADERNÁ ENERGETIKA vznikl za přispění



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN
OBNOVY



NPO_VUT_MSMT-16609_2022



Vysoké učení technické v Brně



42