
Informace k předmětu Tepelné turbíny a turbokompresory (LT1)

Autor: Jiří Škorpík, skorpik@fme.vutbr.cz

Charakteristika předmětu 2

Výukové materiály 2

On-line zdroje 2

Skripta 2

Pravidla pro získání zápočtu a hodnocení

zkoušky 2

Zápočet 2

Zkouška 3

Přepočet bodů na známku [T.1] 3

Osnova předmětu 3

Přednášky 3

Cvičení 4

Zadání zápočtových úloh 6

Otázky písemné části zkoušky 15

Odkazy 20

Přílohy – řešení zápočtových úloh (neveřejné) 21

Charakteristika předmětu

Předmět Tepelné turbíny a turbokompresory je úvodem nejen do vlastností, návrhu a provozu těchto strojů, ale obsahuje i vybrané statě z proudění plynů a par.

Tepelné turbíny a turbokompresory jsou přímým pokračováním předmětů Lopatkové stroje, v následujícím semestru na něj navazuje předmět Parní turbíny, který je zaměřen na výpočet a konstrukci vícestupňových parních turbín – návrh jako celku a realizace jejich zapojení do technologických celků.

Výukové materiály

On-line zdroje

transformacni-technologie.cz

Veškeré přednášky jsou k dispozici i v elektronické podobě na stránkách <https://www.transformacni-technologie.cz/lopatkove-stroje.html#menu> (viz také níže odkaz u každé přednášky).

Skripta

Tepelné turbíny a turbokompresory

Materiály z výše uvedeného on-line zdroje byly vydány i jako skripta "Tepelné turbíny a turbokompresory, Vlastnosti, návrh, provoz a vybrané statě z proudění plynů a par". Tzn. že texty jsou totožné, s tím rozdílem, že skripta obsahují i řešení úloh, které budeme probírat na cvičení.

Skripta si lze půjčit ve fakultní knihovně, zakoupit ve fakultní skriptárně nebo objednat v e-shopu vydavatele zde: <https://www.cerm.cz/skorpik-jiri-tepelne-turbiny-a-turbokompresory-vlastnosti-navrh-provoz-a-vybrane-state-z-proudeni-plynu-a-par>.

Pravidla pro získání zápočtu a hodnocení zkoušky

Zápočet

Zápočtová písemka

Zápočet lze získat po úspěšném absolvování zápočtové písemky. Zápočtová písemka je bodově hodnocena, přičemž lze získat maximálně dva body. K získání zápočtu stačí půl bodu.

Zápočtová písemka se skládá z řešení slovní úlohy. K jejímu vyřešení bude moci student použít kalkulačku – za kalkulačku nepovažují přístroje s možností vzdálené komunikace (mobil, tablet apod.). Během řešení zápočtové úlohy lze nahlížet do skript Tepelné turbíny a turbokompresory [Škorpík, 2020], Teorie lopatkových strojů [Škorpík, 2019], které budou k dispozici všem studentům (budou ležet na neobsazené lavici). Také zde budou k dispozici další podklady (tabulky atp.), které budou nutné k úspěšnému vyřešení úloh.

Připraveno je celkem 8 možných zadání, které jsou uvedeny v kapitole **Zadání zápočtových úloh, s. 6.**

Průběh zápočtové písemky je následující: Každý student si vylosuje zadání úlohy na listě formátu A4. Řešení bude psát přímo na list se zadáním úlohy, na který napíše i své jméno. Zápočtová písemka i s losováním trvá 2x50 min. V případě neuspokojivého hodnocení či nemoci může student absolvovat opravnou zápočtovou písemku.

Termíny zápočtové písemky

Termíny záp. písemky sdělím obvykle korespondující s termíny zkoušek a budou včas vypsány, přičemž prvním možným termínem je poslední (13) cvičení.

Zkouška

Zkouška se skládá z písemné a podmíněné ústní části.

Písemná část

V písemné části zkoušky student dostane 6 otázek, přičemž za každou správnou odpověď na otázku může získat 1 bod. Doba na písemnou odpověď na zadané otázky je 1 h. Uvedených 6 otázek je náhodným výběrem z otázek, které jsou zveřejněny v kapitole **Otázky písemné části zkoušky, s. 15.**

Ústní část

Po dokončení písemné části zkoušky mohou studenti, kteří v celkovém součtu za písemnou část a zápočtové písemky získali alespoň 7 bodů, absolvovat i ústní část zkoušky. V ústní části zkoušky budu klást doplňující otázky a zkoušet porozumění tématu. V ústní části zkoušky může student získat další 2 body.

Body

Výsledné hodnocení zkoušky závisí na celkovém součtu bodů získaných při zkoušce plus body přenesené ke zkoušce ze zápočtové písemky. To znamená, že lze získat celkem 10 bodů. Přepočtení bodů na známku ukazuje **Tabulka 1.**

Tab. 1: Přepočtení bodů na známku

body	známka	body	známka	body	známka
9-10	A	7-7,5	C	5-5,5	E
8-8,5	B	6-6,5	D	<5	F

Osnova předmětu

Přednášky

Předmět Tepelné turbíny a turbokompresory je složen ze 13 tříhodinových přednášek:

- Př. 1:** Seznámení s podmínkami pro získání zápočtu a zkoušky, viz také výše kapitola **Pravidla pro získání zápočtu a hodnocení zkoušky, s. 2.**

Úvod do parních turbín (otázky **41. až 48.**).

- Př. 2:** Úvod do turbokompresorů.
 Úvod do dmychadel a turbodmychadel (otázky **49. až 50.**).
 Úvod do spalovacích turbín (otázky **51. až 52.**).
- Př. 3:** Kombinace spalovací a parní turbíny v paroplynovém oběhu (otázky **53. až 54.**).
 Následují přednášky na téma termodynamika tepelných turbín a turbokompresorů.
- Př. 4:** Polytropická expanze v tepelné turbíně, Polytropická komprese v kompresoru (otázky **29. až 30.**).
 Celková energetická bilance stupně (otázka **31.**).
 Účinnost skupiny stupňů (otázka **32.**).
- Př. 5:** Návrh axiálních stupňů lopatkových strojů od kapitoly Stupně s přímými lopatkami (tj. co nebylo probráno v předmětu Lopatkové stroje) (otázky **35. až 40.**).
- Př. 6:** Škrčení plynů a par (bez kapitoly Vírové stroje) (otázky **3. až 11.**).
- Př. 7:** Machovo číslo a efekty při proudění vysokými rychlostmi (otázky **12. až 18.**).
 Osamocený profil ve stlačitelném prostředí (otázka **33.**).
 Aerodynamika lopatkových mříží ve stlačitelném prostředí (otázka **34.**).
- Př. 8:** Proudění plynů a par tryskami – po podkapitolu Průtok skupinou trysek, skupinou stupňů turbín a Stodolovo pravidlo (otázky **19. až 24.**).
- Př. 9:** Proudění plynů a par difuzory po podkapitolu Ejektory a injektory (otázky **25. až 28.**).
- Př. 10:** Materiály a teorie strojních částí lopatkových strojů – kapitoly: Materiály lopatkových strojů, Rotory, Ucpávky rotorů, Lopatky (otázky **55. až 58.**).
- Př. 11:** Parní turbína v technologickém celku (otázky **59. až 69.**).
- Př. 12:** Turbokompresor v technologickém celku (otázky **70. až 81.**).
- Př. 13:** Plynová turbína v technologickém celku (otázky **82. až 90.**).

Cvičení

Předmět zahrnuje 13 dvouhodinových cvičení. Obsahem cvičení je řešení úloh spojené s naukou probíranou na přednáškách a fyzikální a matematický aparát potřebný k jejich řešení:

- Cv. 1:** Speciální kapitola z termodynamiky Termodynamické vlastnosti látek (bez podkapitol Vlhký vzduch a relativní vlhkost vzduchu) (otázky **1. až 2.**).
Úloha 704: výpočet komprese reálného plynu.
- Cv. 2:** Úloha 653: výpočet možností parní turbíny v redukčně-chladicí stanici.
- Cv. 3:** Úloha 726: návrh rozměrů a parametrů radiálního stupně kompresoru.
- Cv. 4:** Úloha 849: výpočet polytropické účinnosti povrchově chlazeného kompresoru.
Úloha 122: výpočet přídavných ztrát vícestupňové komprese.
- Cv. 5:** Úloha 188: základní výpočet přetlakového stupně parní turbíny.
- Cv. 6:** Úloha 1035: základní výpočet zkroucené lopatky posledního stupně parní turbíny.
- Cv. 7:** Úloha 92: škrcení vodní páry.
Úloha 896: výpočet ztráty při průchodu proudění kolmou ráz. vlnou, Úloha 1007: výpočet parametrů šikmé ráz. vlny.
- Cv. 8:** Úloha 102: výpočet stavu plynu v trysce, Úloha 104: výpočet tvaru Lavalovy trysky,
Pokračování ve výpočtu Úlohy 104, Úloha 109: výpočet reálné expanze páry v Lavalově trysce.
Úloha 650: výpočet průtoku labyrintovou ucpávkou – výpočet ideální ucpávky lze provést až po seznámení s teorií trysek.
- Cv. 9:** Úloha 441: výpočet difuzoru s konstantním gradientem tlaku.
- Cv. 10:** Úloha 1000: výpočet spotřební charakteristiky parní turbíny.
- Cv. 11:** Úloha 151: výpočet jmenovitých stavů v potrubích teplárny.
- Cv. 12:** Rezerva.
- Cv. 13:** Zápočtové písemky.

Zde jsou úlohy, které pravděpodobně z časových důvodů nebudeme počítat, ale mohly by být pro studium užitečné: Úloha 456: výpočet gradientu tlaku v kuželovém difuzoru; Úloha 159: základní výpočet paroplynového oběhu; Úloha 435: návrh rozměrů jednostupňové parní turbíny. Úloha 612: výpočet polytropické účinnosti kompresoru s mezichlazením. Úloha 148: výpočet tepelné účinnosti bloku parní elektrárny,

Úloha 131: výpočet parametrů regeneračního ohříváku. Úlohy 141: výpočet Braytonova oběhu s regenerací tepla.

Zadání zápočtových úloh

Následuje 12 stran (v PDF verzi dokumentu), na kterých jsou uvedena zadání ve formátu v jakém budou na zápočtové písemce.

K vyřešení některých zápočtových úloh jsou potřeba termodynamické tabulky a tabulky rovnic regulačních ventilů. Tyto tabulky jsou k dispozici studentům v učebních textech předmětu Tepelné turbíny a turbokompresory (LT1).

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

- Ú. 1:** V turbíně expanduje směs plynů N_2 a CO_2 . Hmotnostní podíl N_2 ve směsi je 0,21. Rychlost na vstupu a výstupu turbíny je $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Měrná individuální plynová konstanta N_2 je $296,8 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, CO_2 je $188,92 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Teplota plynu na vstupu je $530 \text{ }^\circ\text{C}$, na výstupu $290 \text{ }^\circ\text{C}$. Tlak na vstupu je $0,9 \text{ MPa}$, tlak na výstupu $0,1 \text{ MPa}$. Spočítejte vnitřní účinnost turbíny. [$\eta_i \approx 0,8757$, obtížnost cca **Cv. 1**]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

- Ú. 2: V turboexpandéru expanduje plyn z teploty 650 °C a tlaku 0,4 MPa, do tlaku 0,1 MPa. Teplota na konci expanze je 450 °C. Rychlost plynu na vstupu a výstupu turbíny je 50 m·s⁻¹. Vnitřní měrná práce turboexpandéru je 197 kJ·kg⁻¹. Stanovte měrnou ventilační ztrátu, když víte, že do hmoty turbíny odchází polovina tepla z ventilačních ztrát (jiné sdílené teplo je nevýznamné) a také stanovte vnitřní účinnost. Uvažujte, že pracovním plynem je ideální plyn, jehož měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku je 1 kJ·kg⁻¹·K⁻¹ a jeho měrná individuální měrná plynová konstanta má hodnotu 288 J·kg⁻¹·K⁻¹. [$a_r \approx 6$ kJ·kg⁻¹; $\eta_i \approx 0,6483$, obtížnost cca **Př. 4**]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

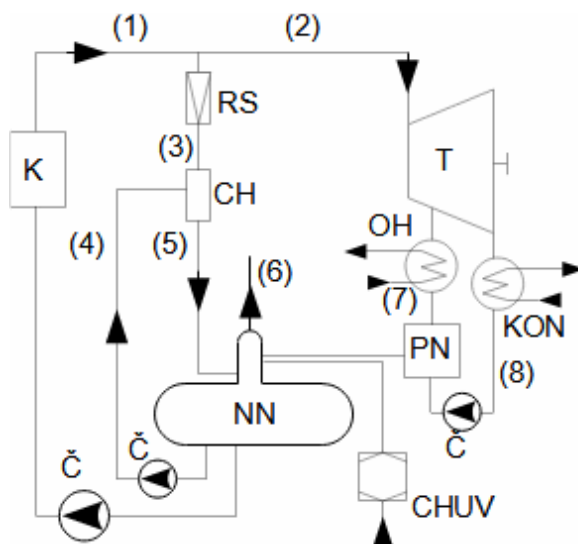
- Ú. 3:** Navrhněte délku lopatek, otáčky a obvodovou práci na kvadratickém poloměru lopatek stupně axiálního turbokompresoru pro případ proudění beze ztrát. Návrh proved'te s ohledem na prostorový charakter proudění. Patní poloměr stupně je 90 mm, průtok stupněm musí být $3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Ve stupni požadujeme zvýšení tlaku z 0,1 na 0,12 MPa. Na vstupu je teplota pracovního plynu $20 \text{ }^\circ\text{C}$ při rychlosti $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a měrném objemu $0,84427 \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$. Stupeň reakce na kvadratickém poloměru lopatky navrhněte na hodnotu 0,65. Uvažujte, že pracovním plynem je ideální plyn, jehož měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku je $1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a jeho Poissonova konstanta má hodnotu 1,4. Stupeň navrhněte pro konstantní obvodovou práci po výšce lopatky a konstantní měrný průtok. [$l \approx 78,1 \text{ mm}$; $n \approx 10\,418 \text{ min}^{-1}$; $c_2 \approx 112 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $l_E \approx 15\,492 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, obtížnost cca **Př. 5**]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

- Ú. 4:** Určete množství chladící vody vstupující do redukčně-chladící stanice. Požadavek na množství páry za stanicí je $70 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ o tlaku $0,1 \text{ MPa}$ a teplotě $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Tlak páry před stanicí je 1 MPa a teplota $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Chladící voda má teplotu $120 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlak $2,8 \text{ MPa}$. Určete také vnitřní výkon a případnou požadovanou vnitřní účinnost parní turbíny, která by tuto redukčně-chladící stanici mohla nahradit. Při určení entalpie mokré páry pomocí termodynamických tabulek využijte vzorce známé z termomechaniky pro mokrou páru: $s_x = s' + x(s'' - s')$; $i_x = i' + x(i'' - i')$. [$m_v \approx 4,85 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$; $P_i \approx 3,43 \text{ M}\cdot\text{W}$; $\eta_i \approx 0,38$, obtížnost cca **Př. 6**]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Ú. 5: Stanovte průtok v jednotlivých větvích teplárny se schématem zařízení uvedeným na obrázku – postačí sestavit soustavu rovnic pro řešení hmotnostních a energetických bilancí, vyčíslit parametry těchto rovnic a zapsat je do matice (matice nemusí být nutně pro 8 neznámých ale i pro menší počet, jestliže se vám ve zbylých větvích podaří vypočítat průtok triviálním způsobem). Tepelný výkon ohříváku OH, ve kterém se ohřívá voda z teploty 60 °C na teplotu 90 °C je 3 MW, tlak páry na vstupu do OH je 0,1 MPa při teplotě 120 °C. Tepelný výkon kondenzátoru KON je 4 MW, tlak páry na vstupu do KON je 0,005 MPa, přitom do kondenzátoru vstupuje sytá pára. Podchlazení kondenzátů v OH a KON navrhnete na 5 °C. Teplota a tlak páry před tubínou jsou 500 °C a 5 MPa. Jediné ztráty v tomto okruhu uvažujte při termickém odplynění a činí 2 %. Tlak v napájecí nádrži odpovídá varu vody při 105 °C a požadovaná teplota prohřívací páry NN je 150 °C. Teplota vody z úpravy vody je 20 °C. Při výpočtech zanedbejte zvýšení entalpie v čerpadlech a neuvažujte ztráty v potrubí. Můžete využít nápovědy v podobě entalpií pracovní látky ve vybraných větvích či zařízení uvedených na obrázku. [$m_{(1)} \approx 3,1818 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$; $m_{(2)} \approx 2,9337 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$; $m_{(3)} \approx 0,2481 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$; $m_{(4)} \approx 0,0701 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$; $m_{(5)} \approx 0,3182 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$; $m_{(6)} \approx 0,0636 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$; $m_{(7)} \approx 1,2939 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$; $m_{(8)} \approx 1,6398 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$, obtížnost cca **Př. 11**]



- $i_{(7)OH} = 2716,6 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $i_{OH(7)} = 398,101 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $i_{(8)KON} = 2560,7 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $i_{KON(8)} = 121,36 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $i_{(5)} = 2775,07 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $i_{K(1)} = 3434,6 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $i'_{NN} = 440,274 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $i''_{NN} = 2683,39 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- $i_{(8)NN} = 83,9214 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

K kotel; **T** turbína; **RS** redukční stanice; **CH** chladící stanice; **NN** napájecí nádrž s termickým odplyněním; **OH** ohřívák vody; **KON** kondenzátor; **Č** čerpadlo; **PN** pomocná nádrž kondenzátu; **CHUV** úprava vody.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

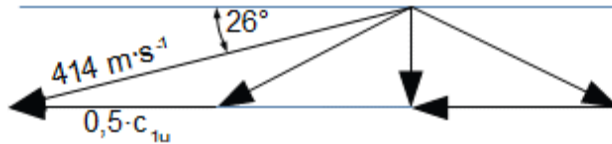
- Ú. 6:** O kolik procent klesl výkon parního kotle, jestliže došlo k zasunutí vřetena regulačního ventilu parní turbíny o 15 %. Parní kotel je nastaven na udržení konstantního tlaku a teploty. Tlak páry před ventilem 1,6 MPa při teplotě páry 295 °C. Jmenovitý průtok kotlem je $70,265 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$. Neuvažujte ztráty v kotli ani v potrubí. Ventil má lineární regulační charakteristiku s počátkem v nule (tj. při uzavření dokonale těsní). K_{v100} regulačního ventilu je $800 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. A aktuální naměřená tlaková ztráta ventilu je 150 kPa. [$\Delta P_K \approx 10 \%$, obtížnost cca **Př. 6**]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

- Ú. 7: O kolik procent klesne vnitřní výkon jednostupňové parní turbíny, jestliže se jeho regulační ventil přivře tak, že tlaková ztráta ve ventilu vzroste na 150 kPa a průtokový součinitel armatury poklesne na $680 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (odečet z charakteristiky ventilu)? Průtok páry při plně otevřeném ventilu je $70,265 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. Tlak páry před ventilem je 1,6 MPa při teplotě 295 °C (tyto parametry jsou ve všech režimech konstantní). Tlak za turbínou je konstantní 1,1 MPa. Postačí výpočet poklesu vnitřního izoentropického výkonu turbíny. Tlakovou ztrátu ventilu při jeho plném otevření neuvažujte. [$\Delta P_{\zeta} \approx 33 \%$, obtížnost cca **Př. 6**]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

- Ú. 8: Na obrázku je navržený rychlostní trojúhelník rovnotlakového stupně jednostupňové parní turbíny. Vypočítejte rychlostní poměr (vztažený k disponibilnímu entalpickému spádu) a stupeň reakce takto navrženého stupně. Které ze zobrazených a vámi vypočítaných parametrů se odlišují od běžně doporučovaných hodnot pro tento typ stupně? Zdůvodněte navrhované změny. Disponibilní entalpický spád stupně je $90,22 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, ventilační ztráta disku $2,3 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, polovina tepla produkovaného při ventilační ztrátě je odvedena do hmoty turbíny. [tři parametry jsou zcela nevhodně navrženy, obtížnost cca **Př. 5**]



Obrázek není v měřítku.

Otázky písemné části zkoušky

- Ot. 1: Jaký zjednodušující předpoklad zavádíme při konstrukci porovnávací izobary v T-s diagramu reálného plynu (ve vztahu k měrné tepelné kapacitě plynu)?
- Ot. 2: Popište postup konstrukce izobar v T-s nebo i-s diagramu reálného plynu, jestliže znáte tvar porovnávací izobary.
- Ot. 3: Popište princip labyrintové ucpávky.
- Ot. 4: Popište způsoby zapojení labyrintových ucpávek kondenzační parní turbíny. (nakreslete schémata zapojení)
- Ot. 5: Popište funkci jednodsedlového ventilu, výhody/nevýhody.
- Ot. 6: Popište funkci jednodsedlového ventilu s difuzorem, výhody/nevýhody.
- Ot. 7: Popište funkci dvousedlového ventilu, výhody/nevýhody.
- Ot. 8: Popište možnosti zapojení redukčního ventilu z pohledu regulované větve.
- Ot. 9: Popište funkci redukčního ventilu.
- Ot. 10: Popište princip redukčně–chladicí stanice.
- Ot. 11: Popište princip využití průtokového součinitele armatury k určení průtoku ventilem.
- Ot. 12: Definujte Machovo číslo a Machův úhel.
- Ot. 13: Jak se bude měnit rychlost nadzvukové proudění: (a) ve zužující se trubici; (b) v rozšiřující se trubici?
- Ot. 14: Jaké jsou obecné vlastnosti průchodu stlačitelného proudění rázovou vlnou (tlaky, rychlosti, entropie)?
- Ot. 15: Zakreslete v i–s diagramu ztrátu vzniklou při průchodu proudění rázovou vlnou.
- Ot. 16: Definujte normálové složky rychlosti plynu při průchodu šikmou rázovou vlnou. Jaké jsou jejich vlastnosti?
- Ot. 17: Nakreslete schéma průchodu proudění skrz expanzní vlny (děj popište).
- Ot. 18: Nakreslete a popište λ -rázovou vlnu. Kde lze očekávat vznik této vlny?

- Ot. 19: Zakreslete a popište průběh hmotnostního toku plynu zužující se tryskou na tlakovém poměru v diagramu $m-\varepsilon$ (m je hmotnostní tok plynu tryskou, ε je tlakový poměr mezi vstupem a výstupem z trysky).
- Ot. 20: Bendemanova elipsa – co to je a k čemu ji používáme?
- Ot. 21: Jaké stavy proudění Lavalovou tryskou mohou nastat při nenávrhových stavech? Co je to podexpandovaná a přeexpandovaná tryska?
- Ot. 22: Popište expanzi v kanále ve tvaru Lavalovy trysky v $i-s$ diagramu (proudění se ztrátami). Definujte účinnost trysky.
- Ot. 23: Za jakých předpokladů lze odvodit rovnice pro průtok skupinou stupňů turbín, které vychází z podobnosti proudění tryskami?
- Ot. 24: Popište vliv nadzvukovém proudění na výstupní úhel rychlosti z lopatkové mříže. (úhel zakreslete)
- Ot. 25: Nakreslete tvary difuzorů pro nadzvukové a podzvukové proudění. Proč se odlišují?
- Ot. 26: Proudění difuzorem se ztrátami v $i-s$ diagramu. Vyznačte ztráty a definujte účinnost difuzoru.
- Ot. 27: Jaká znáte opatření ke snížení citlivosti na odtržení mezní vrstvy v difuzorech?
- Ot. 28: Co jsou to ejektory a injektory? Jak fungují? Nakreslete jejich obecné schéma.
- Ot. 29: Popište polytropickou expanzi v $i-s$ diagramu a $T-s$ diagramu.
- Ot. 30: Popište polytropickou kompresi v $i-s$ diagramu a $T-s$ diagramu.
- Ot. 31: Popište v $i-s$ diagramu celkovou energetickou bilanci stupně turbíny nebo kompresoru (bilance musí obsahovat profilové ztráty, ventilační ztrátu, ostatní ztráty a vnitřní měrnou práci).
- Ot. 32: Popište $i-s$ diagram víceúhlové expanze nebo komprese. Definujte součinitel zpětného využití ztrát, respektive součinitel přídatných ztrát v případě komprese.
- Ot. 33: Jaký vliv má rostoucí Machovo číslo před profilem na aerodynamické parametry profilu? (Glauert-Prandtlovo pravidlo)
- Ot. 34: V jakých případech a proč je nutné ověřovat Machova čísla při návrhu stupně lopatkového stroje?

- Ot. 35:** Popište princip (nakreslit) a základní vlastnosti rovnotlakého axiálního stupně tepelné turbíny. Uveďte výhody a nevýhody této koncepce.
- Ot. 36:** Popište princip (nakreslit) a základní vlastnosti Curtisova stupně.
- Ot. 37:** Popište princip (nakreslit) a základní vlastnosti přetlakového axiálního stupně tepelné turbíny.
- Ot. 38:** Který ze stupňů (rovnotlakový, Curtisův dvouvěncový, přetlakový) dosahuje vyšší optimální hodnoty tepelného spádu na stupeň (předpokládejte stejnou obvodovou rychlost pro všechny stupně)? Seřadte je od nejvyššího zpracovaného spádu k nejmenšímu. Uveďte výhody/nevýhody jednotlivých typů stupňů.
- Ot. 39:** Jaké znáte základní návrhy průběhu obvodové práce na jednotlivých poloměrech stupně? (návrh stupně zohledňující prostorový charakter proudění)
- Ot. 40:** Jaké znáte základní návrhy průběhu axiální složky absolutní rychlosti na jednotlivých poloměrech stupně? (návrh stupně zohledňující prostorový charakter proudění)
- Ot. 41:** Vysvětlete pojmy: kondenzační parní turbína; parní turbína s potlačenou kondenzací; protitlaká parní turbína.
- Ot. 42:** Nakreslete schéma parní turbíny s regulovaným odběrem a parní turbíny s neregulovaným odběrem.
- Ot. 43:** Na jaký průtok se navrhují parní turbíny s regulovaným odběrem? Jak se změní průtok v takové turbíně při nulovém odběru?
- Ot. 44:** Popište princip regulace parní turbíny klouzavými parametry páry.
- Ot. 45:** Popište princip regulace parní turbíny škrcením. Uveďte výhody/nevýhody a v jakých případech se používá. (nakreslete schéma zapojení a i-s diagram)
- Ot. 46:** Popište princip skupinové regulace parních turbín. Na čem závisí pořadí otvírání regulačních ventilů? (nakreslete schéma zapojení a i-s diagram)
- Ot. 47:** Proč se používá při skupinové regulaci parních turbín jako regulační stupeň rovnotlakový stupeň?
- Ot. 48:** Uveďte důvody současně i nevýhody unifikace parních turbín.

- Ot. 49: Nakreslete schéma zapojení turbodmychadla v součinnosti se spalovacím motorem.
- Ot. 50: Popište základní zapojení turbodmychadla s regulací odklonem spalin. (nakreslit schéma)
- Ot. 51: Vyjmenujte hlavní přednosti a nedostatky spalovacích turbín.
- Ot. 52: Co je to aeroderivát? Nakreslete základní schéma.
- Ot. 53: Popište princip paroplynového oběhu (nakreslit T-s diagram a schéma zařízení pro realizaci oběhu).
- Ot. 54: Dvoutlaková parní turbína v paroplynovém bloku: T-s diagram a důvody použití.
- Ot. 55: Jaké znáte typy rotorů parních turbín – popište je.
- Ot. 56: Na jaké havarijní otáčky se obvykle navrhuje pevnost rotoru a proč?
- Ot. 57: Popište princip suchoběžné plynové ucpávky.
- Ot. 58: Jaké znáte způsoby ochrany lopatek před vysokými teplotami?
- Ot. 59: Nakreslete schéma hlavních napojení parní turbíny.
- Ot. 60: Pracovní režimy parní turbíny.
- Ot. 61: Popište obecnou spotřební charakteristiku parní turbíny.
- Ot. 62: Nakreslete a popište spotřební charakteristiku parní turbíny s jedním regulovaným odběrem.
- Ot. 63: Na jaké křivky se nejčastěji zjednodušuje spotřební charakteristika parních turbín?
- Ot. 64: Jaký je zásadní rozdíl v požadavcích na zapojení parní turbíny v teplárně oproti elektrárně?
- Ot. 65: Proč se používá separátor vlhkosti před přehříváním páry?
- Ot. 66: Popište vliv tlaku páry před parní turbínou na tepelnou účinnost parního oběhu.
- Ot. 67: Nakreslete a popište zapojení parní turbíny s přehříváním páry – popište výhody a nevýhody.
- Ot. 68: Popište princip zvyšování tepelné účinnosti parního oběhu pomocí snížení kondenzační teploty. Uveďte výhody, nevýhody a případné limity.

- Ot. 69: Popište princip zvyšování tepelné účinnosti parního oběhu pomocí regeneračního ohřevu napájecí vody. Nakreslete jednoduchý příklad zapojení a uveďte výhody a nevýhody.
- Ot. 70: Zakreslete schéma hlavních napojení turbokompresoru.
- Ot. 71: Popište princip povrchového chlazení turbokompresoru (tzv. vnitřní).
- Ot. 72: Popište princip mezichlazení turbokompresoru (tzv. vnější). Zakreslete odvedené teplo v T-s diagramu.
- Ot. 73: Popište princip chlazení komprese vstřikováním kapaliny.
- Ot. 74: Na čem, z termodynamického hlediska, závisí hranice efektivnosti chlazení komprese?
- Ot. 75: Způsoby pohonu turbokompresorů – výhody/nevýhody.
- Ot. 76: Popište absolutní charakteristiku turbokompresoru. Jaké jsou její nedostatky?
- Ot. 77: Popište univerzální charakteristiku turbokompresoru. Jaké jsou její výhody/nevýhody?
- Ot. 78: Popište charakteristiku turbokompresoru s redukovanými parametry. Proč ji používáme?
- Ot. 79: Způsoby regulace turbokompresorů. Výhody/nevýhody jednotlivých způsobů.
- Ot. 80: Jaké jsou nejčastější poruchy turbodmychadel? Co je způsobuje?
- Ot. 81: Popište kompresi vlhkého vzduchu. Co se děje s komprimovaným vlhkým vzduchem, když chladne – čemu to může vadit?
- Ot. 82: Obecné schéma bloku se spalovací turbínou a jeho účinnost, včetně popisu funkce jednotlivých částí.
- Ot. 83: Popište vliv tlakových ztrát v jednotlivých částech spalovací turbíny na oběh v T-s diagramu.
- Ot. 84: Popište způsoby startu spalovacích turbín.
- Ot. 85: Definujte střední teplotu přívodu tepla a odvodu tepla z Braytonova oběhu. Zakreslete je v T-s diagramu.
- Ot. 86: Pomocí T-s diagramu popište vliv tlaku za kompresorem na tepelnou účinnost spalovací turbíny. Výhody/nevýhody tohoto řešení.

- Ot. 87:** Pomocí T-s diagramu popište vliv komprese s mezichlazením na tepelnou účinnost spalovací turbíny. Schéma zapojení kompresorové části. Výhody/nevýhody tohoto řešení.
- Ot. 88:** Pomocí T-s diagramu popište vliv teploty před turbínou na tepelnou účinnost spalovací turbíny. Výhody/nevýhody tohoto řešení.
- Ot. 89:** Popište princip regenerace tepla u spalovací turbíny. Definujte stupeň regenerace. (nakreslete schéma zařízení)
- Ot. 90:** Popište způsoby regulace spalovacích turbín a jak ovlivňují charakteristiky spalovacích turbín. Jakou charakteristiku má spalovací turbína s konstantními otáčkami? Proveďte porovnání momentové charakteristiky jednohřídelové a dvouhřídelové spalovací turbíny.

Odkazy

ŠKORPÍK, Jiří, 2019, *Teorie lopatkových strojů*, CERM, s.r.o., Brno, ISBN 978-80-214-5783-6.

ŠKORPÍK, Jiří, 2020, *Tepelné turbíny a turbokompresory, Vlastnosti, návrh, provoz a vybrané statě z proudění plynů a par*, CERM, s.r.o., Brno, ISBN 978-80-214-5847-5.

Citace tohoto dokumentu

ŠKORPÍK, Jiří, 2009, [last updated 2022-01-04], Informace k předmětu Tepelné turbíny a turbokompresory (LT1), *Archiv autora*, Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/informace-k-predmetu-tepelne-turbiny-a-turbokompresory.html#menu>.