
INFORMACE K PŘEDMĚTU TURBÍNY A TURBOKOMPRESORY (LT1)

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

Charakteristika předmětu	2.3
Výukové materiály	2.3
Pravidla pro získání zápočtu a hodnocení zkoušky	2.4
Osnova předmětu	2.5
Zadání zápočtových úloh	2.7
Otázky písemné části zkoušky	2.18
Přílohy (neveřejné)	2.23

Autor: ŠKORPÍK, Jiří, ORCID: 0000-0002-3034-1696

Datum vydání: Prosinec, 2023

Název: Informace k předmětu Turbíny a turbokompresory (LT1)
Copyright©Jiří Škorpík, 2023
All rights reserved.

Charakteristika předmětu

Tepelné turbíny I (LT1)
Tepelné turbíny II (LPA)
Parní turbíny (LPA)

Prapředchůdcem předmětu Turbíny a turbokompresory je předmět Tepelné turbíny I. Jak už název napovídá, dříve existoval na Energetickém ústavu i předmět Tepelné turbíny II. Oba předměty byly z 80 % zaměřeny na parní turbíny, a to zejména z toho důvodu, že absolventi těchto předmětů se z velké části stávali zaměstnanci První Brněnské strojírny v její divizi parních turbín. V 90. letech minulého století se situace na trhu práce začala měnit a proto se změnila i osnova. Nově předmět obsahoval kapitoly o turbokompresorech a spalovacích turbínách na úkor detailů z parních turbín. V novém tisíciletí se spektrum zaměření našich absolventů natolik změnilo, že bylo rozhodnuto o změně názvu předmětu Tepelné turbíny I na Tepelné turbíny a turbokompresory a předmětu Tepelné turbíny II na Parní turbíny.

Tepelné turbíny a turbokompresory (LT1)

Předmět tepelné turbíny a turbokompresory byl rozdělen tématicky na dynamiku tekutin a vnitřní termodynamiku tepelných turbín a turbokompresorů, přičemž dynamika tekutin se zabývala chováním stlačitelného proudění a rozvody tekutin.

Turbíny a turbokompresory (LT1)

Další změny v osnově předmětu Tepelné turbíny a turbokompresory byly provedeny na počátku 20. let, zejména po vypuknutí energetické krize kvůli válce na Ukrajině. V této době byly jednoznačně vytvořeny podmínky pro důvodné rozšíření osnovy o teorii a užití větrných turbín na úkor turbín parních, které mají navíc vlastní předmět. Proto se tento předmět od školního roku 2023/24 jmenuje Turbíny a turbokompresory.

V současné době je předmět Turbíny a turbokompresory přímým pokračováním předmětu Lopatkové stroje (LLS). Úvodní část předmětu je věnována dynamice tekutin, která doplňuje teorie lopatkových strojů tak, aby bylo možno komplexně a v kontextu vysvětlit návrh a provoz větrných i tepelných turbín a turbokompresorů.

Výukové materiály

Výukové materiály jsou dostupné on-line a v tištěné podobě jako skripta.

On-line přednášky

Veškeré přednášky budou v průběhu semestru dostupné on-line, viz níže odkaz u každé přednášky.

Skripta
Tepelné turbíny a
turbokompresory

Většina přednášek je uvedena i v tištěných skriptech "Tepelné turbíny a turbokompresory; Vlastnosti, návrh, provoz a vybrané statě z proudění plynů a par – ISBN 978-80-214-5847-5". Chybí v nich nově přidané přednášky o větrných turbínách (ty jsou nově vyučovány od školního roku 2022/2023), naopak skripta obsahují přednášky o parních turbínách. 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>.

Teorie lopatkových
strojů

V tomto předmětu budou detailněji probrány i některé statě ze skript k předmětu Lopatkové stroje – Teorie lopatkových strojů (ISBN 978-80-214-6102-4).

Pravidla pro získání zápočtu a hodnocení zkoušky

Při hodnocení studenta vycházím z toho, kolik získal celkem bodů ze zápočtové písemky, písemné a ústní části zkoušky. Přičemž maximální počet bodů je 10. Přepočtení bodů na známku je podle Tabulky 1.

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

Tabulka 1: Přepočtení bodů na známku

Zápočet

Zápočtová písemka je hodnocena maximálně 3 body. Přičemž k získání zápočtu stačí 1 bod.

Průběh zápočtu
Podmínky

Zápočtová písemka se skládá z řešení slovní úlohy. K jejímu vyřešení bude moci student použít kalkulačku – za kalkulačku nepovažuji přístroje s možností vzdálené komunikace (mobil, tablet apod.). Během řešení zápočtové úlohy lze nahlížet do skript Teorie lopatkových strojů (2. vydání, 2022) a skript Teorie lopatkových strojů (2023) a další podkladů, které budou k dispozici v učebně. Každá úloha má jiné povolené podklady, které jsou vypsány u zadání úlohy. Zápočtová písemka i s losováním trvá 2x50 min. V případě neuspokojivého hodnocení či nemoci může student absolvovat opravnou zápočtovou písemku.

Zadání záp. úloh

Připraveno je celkem 10 zadání, které jsou uvedeny v kapitole Zadání zápočtových úloh, s. 2.7.

Termíny zápočtu
Termíny zápočtu
Termíny zápočtové písemky budou včas vypsaný a obvykle korespondují s termíny zkoušek, přičemž prvním možným termínem je poslední (13) cvičení.

Zkouška
Zkouška se skládá z písemné a podmíněné ústní části hodnocených 5, respektive 2 body.

Písemná zkouška
Podmínky
V písemné části zkoušky student dostane 5 otázek, přičemž za každou správnou odpověď na otázku může získat 1 bod. Doba na písemnou odpověď na zadané otázky je 50 minut. Uvedených 5 otázek je náhodným výběrem z otázek, které jsou zveřejněny v kapitole Otázky písemné části zkoušky, s. 2.18.

Ústní zkouška
Podmínky
Po dokončení písemné části zkoušky mohou studenti, kteří v celkovém součtu za písemnou část a zápočtové písemky získali alespoň 7 bodů, absolvovat i nepovinnou 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.

Osnova předmětu

Předmět Lopatkové stroje je složen ze 13 tříhodinových přednášek a ze 13 dvouhodinových cvičení.

Přednášky
Samozřejmě na první přednášce začínáme zveřejněním podmínek pro získání zápočtu a zkoušky, viz kapitoly výše. Postupovat budeme podle témat uvedených v následující tabulce:

př.	název	web
Dynamika tekutin		
1.	Termodynamické údaje látek	-
1-2.	Machovo číslo a efekty při proudění vysokými rychlostmi	fluid-dynamics
2-3.	Proudění plynů a par tryskami	fluid-dynamics
3-4.	Proudění plynů a par difuzory	fluid-dynamics
4.	Škrčení plynů a par	fluid-dynamics
Turbíny a turbokompresory		
5.	Aerodynamika větrných turbín	turbomachinery
5-6.	Větrné elektrárny	turbomachinery
7.	Termodynamika turbokompresorů	turbomachinery
8.	Provedení turbokompresorů	turbomachinery
9.	Termodynamika turbín; Ztráty změnou meridánové rychlosti – teorie kuželového stupně	turbomachinery

př.	název	web
10-11.	Provedení parních turbín a jejich zapojení v technologických celcích	turbomachinery
12.	Provedení plynových turbín	turbomachinery
13.	Provedení turbodmychadel	turbomachinery

Cvičení

Obsahem cvičení je řešení úloh spojené s naukou probíranou na přednáškách a fyzikální a matematický aparát potřebný k jejich řešení. Seznam úloh a jejich krátký popis je uveden v následující tabulce:

cv.	úloha	web	popis
1.	Ú. 704 Ú.10, s. 2.13	- turbomachinery	aplikace konstrukce $h-s$ diagramu pomocí teorie porovnávací izobary při termodynamických výpočtech lopatkových strojů; rozbor spirální dráhy
2.	Ú.2, s. 5.19	turbomachinery	výpočet axiálního stupně se zkroucenými lopatkami při stlačitelném proudění a uvažování ztrát
3.	Ú.896 Ú.1007	fluid-dynamics	úlohy na parametry rázových vln
4.	Ú.109	fluid-dynamics	výpočet reálné expanze páry v Lavalově trysce a návrh jejího tvaru
4.	Úloha 441	fluid-dynamics	výpočet tvaru difuzoru s konstantním gradientem tlaku
5.	Úloha 92	fluid-dynamics	úloha na škrcení vodní páry
6.	Úloha 650	fluid-dynamics	výpočet ztráty přes labyrintovou ucpávku
6.-7.	Ú. 1, s. 10.8 Ú. 2, s. 10.8 Ú. 3, s. 10.10	turbomachinery	úlohy na výpočet tvaru lopatky větrné turbíny
7.	Úloha 592	turbomachinery	úloha na výpočet optimálního výkonu větrné turbíny
8.	Úloha 122	turbomachinery	výpočet přídatných ztrát víceúrovňové komprese
8.	Úloha 849	turbomachinery	výpočet vnitřní účinnosti povrchově chlazeného turbokompresoru
9.	Úloha 612	turbomachinery	výpočet vnitřní účinnosti kompresoru s mezichlazením
9.	Úloha 726	turbomachinery	základní termodynamický návrh stupně turbokompresoru
10.	Úloha 188	turbomachinery	základní výpočet přetlakového stupně parní turbíny
11.	-	turbomachinery	Stanovení průtoku pracovní tekutiny jednotlivými větvemi technologického celku
12.	-	turbomachinery	Průtok turbínou při změně hmotnostního toku
13.	-	-	zápočtové písemky

Zadání zápočtových úloh

Následuje 10 stran, na kterých jsou uvedena zadání ve formátu v jakém budou na zápočtové písemce.

Podklady

K vyřešení některých zápočtových úloh jsou potřeba podklady jako termodynamické tabulky apod. Tyto podklady budou k dispozici studentům v učebně včetně textů přednášek a v elektronické podobě jsou k dispozici v informačním systému fakulty v sekci učební texty u předmětu Turbíny a turbokompresory.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Úloha 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. [$\eta_i \approx 0,8757$; povolené podklady: přednášky, Data pro konstrukci porovnávací izobary různých plynů].

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Úloha 2:

V turboexpandéru expanduje plyn z teploty 650 °C do teploty 423 °C. Rychlost plynu na vstupu a výstupu turbíny je $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vnitřní práce turboexpandéru je $197 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Stanovte ventilační ztrátu, když víte, že do hmoty turbíny odchází polovina tepla z ventilačních ztrát (jiné sdílené teplo je nevýznamné) a také stanovte vnitřní účinnost k polytropickému ději, jestliže další ztrátou je profilová ztráta o velikosti $30 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Uvažujte, že pracovním plynem je ideální plyn, jehož měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku je $1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. [$w_r \approx 60 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$; $\eta_{\text{pol}} \approx 0,6864$; povolené podklady: přednášky]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Úloha 3:

Navrhněte délku lopatek, otáčky a obvodovou práci na kvadratickém poloměru lopatek stupně axiálního turbokompresoru pro případ proudění beze ztrát. Návrh proveďte 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. [$l \approx 78,1 \text{ mm}$; $N \approx 10\,418 \text{ min}^{-1}$; $V_2 \approx 112 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $w_E \approx 15\,492 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$; povolené podklady: skripta Teorie lopatkových strojů]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Úloha 4:

Na poloměru $r=8$ m větrné turbíny působí na lopatku síla $150 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ v obvodovém a $200 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ v axiálním směru při rychlosti větru $8,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a obvodové rychlosti na vyšetřovaném poloměru $51 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vypočítejte hodnoty axiálního a obvodového součinitele větrné turbíny na tomto poloměru. Prandtlův součinitel C_F na tomto poloměru je roven $0,6366$. Turbína má dvě lopatky a na vyšetřovaném poloměru je navržena tak, aby hodnota axiálního součinitele nepřekročila hodnotu $1/3$.

[$a=72,515\cdot 10^{-3}$; $a'=9,3843\cdot 10^{-3}$; povolené podklady: přednášky]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Úloha 5:

V difuzoru kruhového průřezu probíhá stlačení suchého vzduchu s konstantním gradientem tlaku v osovém směru. Jaký je poloměr difuzoru na 80 % jeho délky? Parametry na vstupu do difuzoru: $70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 126 kPa, 20 °C. Účinnost difuzoru je 88 %. Tlak v ústí difuzoru je 128 kPa. Požadovaný průtok difuzorem je $0,0788 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. [$r_{x=80\%} = 18,4 \text{ mm}$; povolené podklady: přednášky; data pro konstrukci porovnávací izobary suchého vzduchu]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Úloha 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 t·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 m³·h⁻¹. A aktuální naměřená tlaková ztráta ventilu je 150 kPa. [$\Delta P_K \approx 10$ %; povolené podklady: přednáška Proudění plynů a par tryskou, Rovnice regulačních ventilů, podklad pro vyřešení zap. Úloh 6. a 7, Termodynamická data H₂O – výběr pro vyřešení zápočtových úloh č. 6 a 7]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

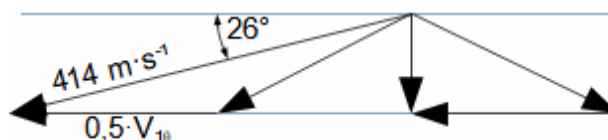
Úloha 7:

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 $295 \text{ }^\circ\text{C}$ (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. [$\Delta P \approx 33 \%$; povolené podklady: přednáška Proudění plynů a par tryskou, Rovnice regulačních ventilů, podklad pro vyřešení zap. Úloh 6. a 7., Termodynamická data H_2O – výběr pro vyřešení zápočtových úloh č. 6 a 7]

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Úloha 8:

Na obrázku je navržený rychlostní trojúhelník rovnotlakového stupně jednostupňové 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 $90,22 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. [tři parametry jsou zcela nevhodně navrženy; povolené podklady: skriptá Teorie lopatkových strojů, přednáška Termodynamika turbín]



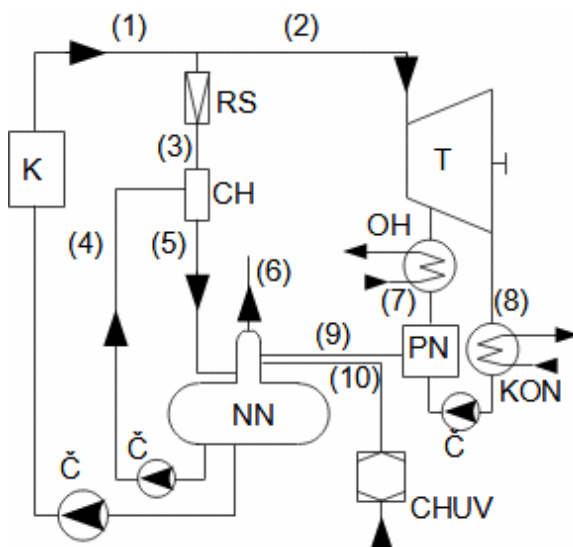
Obrázek není v měřítku.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ, DATUM:

Úloha 9:

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 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ na teplotu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ je 3 MW , tlak páry na vstupu do OH je $0,1\text{ MPa}$ při teplotě $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tepelný výkon kondenzátoru KON je 4 MW , tlak páry na vstupu do KON je $0,005\text{ MPa}$, přitom do kondenzátoru vstupuje sytá pára. Podchlazení kondenzátů v OH a KON navrhnete na $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota a tlak páry před turbínou jsou $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 5 MPa . Jediné ztráty v tomto okruhu uvažujte při termickém odplynění a činí 2% . Tlak v napájecí nádrži odpovídá varu vody při $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ a požadovaná teplota prohřívací páry NN je $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota vody z úpravy vody je $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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.

$[m_{(1)} \approx 3,1818\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}; m_{(2)} \approx 2,9337\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}; m_{(3)} \approx 0,2481\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}; m_{(4)} \approx 0,0701\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1};$
 $m_{(5)} \approx 0,3182\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}; m_{(6)} \approx 0,0636\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}; m_{(7)} \approx 1,2939\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}; m_{(8)} \approx 1,6398\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}]$



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

K-kotel; T-turbína; RS-redukční stanice; CH-chladicí 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:

Úloha 10:

Určete množství chladicí vody vstupující do redukčně-chladicí 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 $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Chladicí 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-chladicí stanici mohla nahradit. Při určení entalpie mokré páry pomocí termodynamických tabulek využijte vzorce známé z termomechaniky pro mokrou páru: $s_x = s' + x(s'' - s')$; $i_x = i' + x(i'' - i')$. [$m_v \approx 4,85 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$; $P_i \approx 3,43 \text{ M}\cdot\text{W}$; $\eta_i \approx 0,38$]

Otázky písemné části zkoušky

- Ot. 1: Jaký zjednodušující předpoklad zavádíme při konstrukci porovnávací izobary v T - s diagramu reálného plynu (ve vztahu k tepelné kapacitě plynu)?
- Ot. 2: Popište postup konstrukce izobar v T - s nebo h - s diagramu reálného plynu, jestliže znáte tvar porovnávací izobary.
- Ot. 3: Jak se bude měnit rychlost nadzvukového proudění: (a) ve zužující se trubici; (b) v rozšiřující se trubici?
- Ot. 4: Jaké jsou vlastnosti proudění při průchodu přímou rázovou vlnou (tlaky, rychlosti, entropie)?
- Ot. 5: Zakreslete v h - s diagramu ztrátu vzniklou při průchodu proudění rázovou vlnou.
- Ot. 6: Definujte normálové složky rychlosti plynu při průchodu šikmou rázovou vlnou. Jaké jsou jejich vlastnosti?
- Ot. 7: Nakreslete schéma průchodu proudění skrz expanzní vlny (děj popište).
- Ot. 8: Nakreslete a popište λ -rázovou vlnu. Kde lze očekávat vznik této vlny?
- Ot. 9: Zakreslete a popište průběh hmotnostního toku plynu zužující se tryskou na tlakovém poměru v diagramu m - ε_s (m je hmotnostní tok plynu tryskou, ε_s je tlakový poměr mezi vstupem a výstupem z trysky).
- Ot. 10: Bendmanova elipsa – co to je a k čemu ji používáme?
- Ot. 11: Jaké stavy proudění Lavalovou tryskou mohou nastat při nenávrhových stavech? Co je to podexpandovaná a přeexpandovaná tryska?
- Ot. 12: Popište expanzi v kanále ve tvaru Lavalovy trysky v h - s diagramu (proudění se ztrátami). Definujte účinnost trysky.
- Ot. 13: Za jakých předpokladů lze odvodit rovnice pro průtok skupinou stupňů turbín, které vychází z podobnosti proudění tryskami?
- Ot. 14: Popište vliv nadzvukovém proudění na výstupní úhel rychlosti z lopátkové mříže. (úhel zakreslete)
- Ot. 15: Proudění difuzorem se ztrátami v h - s diagramu. Vyznačte ztráty a definujte účinnost difuzoru.
- Ot. 16: Jaká znáte opatření ke snížení citlivosti na odtržení mezní vrstvy v difuzorech?

- Ot. 17: Co jsou to ejektory a injektory? Jak fungují? Nakreslete jejich obecné schéma.
- Ot. 18: Popište princip labyrintové ucpávky.
- Ot. 19: Popište funkci jednodsedlového ventilu, výhody/nevýhody.
- Ot. 20: Popište funkci jednodsedlového ventilu s difuzorem, výhody/nevýhody.
- Ot. 21: Popište funkci dvousedlového ventilu, výhody/nevýhody.
- Ot. 22: Popište princip využití průtokového součinitele armatury k určení průtoku ventilem.
- Ot. 23: Popište možnosti zapojení redukčního ventilu z pohledu regulované větve.
- Ot. 24: Definujte axiální a obvodový součinitel větrné turbíny.
- Ot. 25: Definujte výkonový a náporový součinitel větrné turbíny.
- Ot. 26: Popište princip aerodynamického návrhu lopatky větrné turbíny metodou BEM.
- Ot. 27: Nakreslete a popište bezrozměrovou charakteristiku větrné turbíny.
- Ot. 28: Popište ztráty větrné turbíny při transformaci kinetické energie větru na práci.
- Ot. 29: Nakreslete a popište výkonovou charakteristiku větrné elektrárny.
- Ot. 30: Popište aerodynamickou regulaci větrné turbíny.
- Ot. 31: Popište regulaci větrné turbíny natačením lopatek.
- Ot. 32: Popište regulaci větrné turbíny změnou otáček.
- Ot. 33: Popište regulaci větrné turbíny bočením.
- Ot. 34: Popište základní části konstrukce lopatky větrné turbíny.
- Ot. 35: Na čem závisí výkon větrné elektrárny v dané lokalitě?
- Ot. 36: Nakreslete závislost množství vyrobené elektřiny a výkonu větrné elektrárny na rychlosti větru. Vyznačte nejvýhodnější umístění optimálního výkonu větrné elektrárny.
- Ot. 37: Co je to roční využití instalovaného výkonu větrné elektrárny?
- Ot. 38: Jaké jsou výhody multirotorové větrné elektrárny?
-

- Ot. 39: Popište co lze dělat s větrnou elektrárnou na konci její projektované životnosti?
- Ot. 40: Popište polytropickou kompresi v h - s diagramu a T - s diagramu.
- Ot. 41: Popište v h - s diagramu celkovou energetickou bilanci stupně kompresoru (bilance musí obsahovat profilové ztráty, ventilační ztrátu, ostatní ztráty a vnitřní práci).
- Ot. 42: Popište h - s diagram vícestupňové komprese. Definujte součinitel přídavných ztrát.
- Ot. 43: Popište princip povrchového chlazení turbokompresoru (tzv. vnitřní).
- Ot. 44: Popište princip mezichlazení turbokompresoru (tzv. vnější). Zakreslete odvedené teplo v T - s diagramu.
- Ot. 45: Popište princip chlazení komprese vstřikováním kapaliny.
- Ot. 46: Na čem, z termodynamického hlediska, závisí hranice efektivnosti chlazení komprese?
- Ot. 47: Nakreslete očekávaný průběh Eulerovy práce po výšce lopatek axiálního stupně kompresoru.
- Ot. 48: Popište kompresi vlhkého vzduchu. Co se děje s komprimovaným vlhkým vzduchem, když chladne – čemu to může vadit?
- Ot. 49: Zakreslete schéma hlavních napojení turbokompresoru.
- Ot. 50: Popište absolutní charakteristiku turbokompresoru. Jaké jsou její nedostatky?
- Ot. 51: Popište univerzální charakteristiku turbokompresoru. Jaké jsou její výhody/nevýhody?
- Ot. 52: Popište charakteristiku turbokompresoru s redukovanými parametry. Proč ji používáme?
- Ot. 53: Způsoby regulace turbokompresorů. Výhody/nevýhody jednotlivých způsobů.
- Ot. 54: Jaké jsou nejčastější poruchy dmychadel? Co je způsobuje?
- Ot. 55: Popište polytropickou expanzi v h - s diagramu a T - s diagramu.
- Ot. 56: Popište v h - s diagramu celkovou energetickou bilanci stupně turbíny (bilance musí obsahovat profilové ztráty, ventilační ztrátu, ostatní ztráty a vnitřní práci).
-

- Ot. 57: Popište h - s diagram vícestupňové expanze. Definujte součinitel zpětného využití ztrát.
- Ot. 58: 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. 59: Popište základní princip návrhu kuželového stupně.
- Ot. 60: Nakreslete schéma hlavních napojení parní turbíny.
- Ot. 61: Popište princip regulace parní turbíny klouzavými parametry páry.
- Ot. 62: Popište princip regulace parní turbíny škrcením. Uveďte výhody/nevýhody a v jakých případech se používá. (nakreslete schéma zapojení a h - s diagram)
- Ot. 63: Popište princip skupinové regulace parních turbín. Na čem závisí pořadí otvírání regulačních ventilů? (nakreslete schéma zapojení a h - s diagram)
- Ot. 64: Proč se používá při skupinové regulaci parních turbín jako regulační stupeň rovnotlakový stupeň?
- Ot. 65: Nakreslete a popište spotřební charakteristiku parní turbíny s jedním regulovaným odběrem.
- Ot. 66: Jaký je zásadní rozdíl v požadavcích na zapojení parní turbíny v teplárně oproti elektrárně?
- Ot. 67: Popište princip zvyšování tepelné účinnosti parního oběhu pomocí regeneračního ohřevu napájecí vody. Nakreslete jednoduchý příklad zapojení a uveďte výhody a nevýhody.
- Ot. 68: Jaké znáte způsoby ochrany lopatek před vysokými teplotami?
- Ot. 69: Obecné schéma bloku se spalovací turbínou a jeho účinnost, včetně popisu funkce jednotlivých částí.
- Ot. 70: Pomocí T - s diagramu popište vliv tlaku za kompresorem na tepelnou účinnost spalovací turbíny. Výhody/nevýhody tohoto řešení.
- Ot. 71: Pomocí T - s diagramu popište vliv komprese s mezichlazením na tepelnou účinnost spalovací turbíny. Schéma zapojení kompresorové části. Výhody/nevýhody tohoto řešení.
-

- Ot. 72:** Pomocí T - s diagramu popište vliv teploty před turbínou na tepelnou účinnost spalovací turbíny. Výhody/nevýhody tohoto řešení.
- Ot. 73:** Popište princip regenerace tepla u spalovací turbíny. Definujte stupeň regenerace. (nakreslete schéma zařízení)
- Ot. 74:** 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.
- Ot. 75:** Nakreslete schéma zapojení turbodmyhadla v součinnosti se spalovacím motorem.
-