

# Informace k předmětu Lopatkové stroje

*Autor: Jiří Škorpík, [skorpik@fme.vutbr.cz](mailto:skorpik@fme.vutbr.cz)*

## **Charakteristika předmětu . . . . . 2**

- O čem je předmět Lopatkové stroje? . . . . . 2
- K čemu je předmět Lopatkové stroje užitečný v praxi? . . . . . 2

## **Výukové materiály . . . . . 3**

- On-line zdroje . . . . . 3
- Skripta . . . . . 3
- Další (nezávazné) tipy . . . . . 3

## **Pravidla pro získání zápočtu a hodnocení**

### **zkoušky . . . . . 3**

- Zápočet . . . . . 3
- Zkouška . . . . . 4
- Přepočet bodů na známku [T.1] . . . . . 4

### **Osnova předmětu . . . . . 4**

- Přednášky . . . . . 4
- Cvičení . . . . . 5

### **Zadání zápočtových úloh . . . . . 6**

### **Otázky písemné části zkoušky . . . . . 19**

### **Odkazy . . . . . 21**

### **Přílohy (neveřejné) . . . . . 23**

## Charakteristika předmětu

### • O čem je předmět Lopatkové stroje?

Předmět lopatkové stroje se zabývá základní naukou těchto strojů v celé šíři. Seznamuje studenty se základy konstrukce, návrhu i provozu. Přednášky obsahují dostatečné množství informací k základnímu návrhu lopatkového stroje nejen pro potřeby následného přesného výpočtu, ale i pro potřeby nabídky či posouzení vhodnosti lopatkového stroje pro danou aplikaci.

Na tento předmět obvykle navazuje, podle oboru studenta (Energetické inženýrství, Fluidní inženýrství, Technika prostředí), další předmět zaměřený na konkrétní typy lopatkových strojů (Tepelné turbíny a turbokompresory, Parní turbíny, Vodní turbíny I, II, Čerpadla I, II, Ventilátory).

Výklad tohoto předmětu předpokládá alespoň základní znalosti hydromechaniky, termomechaniky, energetických zdrojů a principy transformace energie.

### • K čemu je předmět Lopatkové stroje užitečný v praxi?

Pro vše spojené s čerpadly, ventilátory, větrnými turbínami, parními turbínami, turbokompresory atd. Tento předmět je určen především pro budoucí projektanty v energetice a podobných oborech a samozřejmě i pro budoucí konstruktéry lopatkových strojů a jejich provozovatele. Budete schopni odborně komunikovat na všech úrovních zakázky a realizace inženýrského díla obsahující lopatkové stroje:

#### Komunikace se zákazníkem

**1.** komunikace se zákazníkem (co si slibuje od technologického celku; jaké budou předpokládané parametry; vysvětlit co může zákazník od technologického celku očekávat; jaké budou pořizovací a provozní náklady a pod.);

#### Komunikace uvnitř týmu

**2.** komunikace uvnitř společnosti, ve které budete pracovat s ostatními členy realizačního týmu (klást ty správné otázky svým spolupracovníkům jaké požadavky a za jakých podmínek bude konkrétní stroj pracovat; hlídat si navazující technologie, tak aby lopatkové stroje v celku dobře fungovaly; rychlé výpočty pro nabídky či pro další potřeby projektu; přesné výpočty);

#### Komunikace s dodavatelem

**3.** komunikace s dodavatelem lopatkového stroje (odborná komunikace; připomínky, vydiskutování záručních podmínek a podmínek za jakých bude stroj možno provozovat; nutné stavební úpravy; přípojky ke stroji atd.).

## Výukové materiály

---

- **On-line zdroje**

transformacni-  
technologie.cz

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

- **Skripta**

Teorie lopatkových  
strojů

Materiály z výše uvedeného on-line zdroje byly vydány i jako skripta "Teorie lopatkových strojů". 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-j-teorie-lopatkovych-stroju>.

- **Další (nezávazné) tipy**

Odkazy  
Basic Concepts in  
Turbomachinery

Odkazy na další literaturu, která by vám mohla pomoci při vašem studiu naleznete vždy na konci jednotlivých článků ve skriptech i on-line zdroji, na které odkazují výše. Užitečným doplňkem při studiu může být pdf kniha [INGRAM, Grant. *Basic Concepts in Turbomachinery*, 2009. Grant Ingram & Ventus Publishing Aps, ISBN 978-87-7681-435-9] (volně ke stažení na <https://bookboon.com/en/key-concepts-in-turbo-machinery-ebook>), která je sice velmi stručná, ale obsahuje anglický slovník pojmů z oboru lopatkových strojů.

## 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 Teorie lopatkových strojů [Škorpík, 2019], které budou k dispozici všem studentům (budou ležet na neobsazené lavici).

Připraveno je celkem 12 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. Opravné termíny záp. písemky sdělím na posledním cvičení (obvykle korespondují s termíny zkoušek).

- **Zkouška**

Písemná část

Zkouška se skládá z písemné a podmíněné ústní části.

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. 19.

Ústní část

Po dokončení písemné části zkoušky mohou studenti, kteří v celkovém součtu za písemnou část a zápočtové písemky získali alespoň 7 bodů, abslovovat 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
9-10	A	6-6,5	D
8-8,5	B	5-5,5	E
7-7,5	C	<5	F

## Osнова předmětu

Předmět Lopatkové stroje je složen ze 13 dvouhodinových přednášek a ze 13 dvouhodinových cvičení. Časový plán jednotlivých přednášek a cvičení je přibližně následující:

- **Přednášky**

Př. 1:

Seznámení s podmínkami pro získání zápočtu a zkoušky, viz také výše kapitola Pravidla pro získání zápočtu a hodnocení zkoušky, s. 3.

Lopatkový stroj<sup>[11]</sup> do kapitoly Základní typy a aplikace lopatkových strojů (včetně).

- Př. 2: Pokračování v přednášce Lopatkový stroj<sup>[11.]</sup> do kapitoly Stupeň lopatkového stroje (včetně).
- Př. 3: Dokončení přednášky Lopatkový stroj<sup>[11.]</sup>.  
Základní rovnice lopatkových strojů<sup>[12.]</sup> do kapitoly Diskuze k Eulerově rovnici (včetně)..
- Př. 4: Základní rovnice lopatkových strojů<sup>[12.]</sup>.  
Energetické bilance lopatkových strojů<sup>[13.]</sup> přibližně do kapitoly Energetická bilance vodní turbíny<sup>[13.]</sup> (včetně).
- Př. 5: Energetické bilance lopatkových strojů<sup>[13.]</sup> přibližně do podkapitoly Adiabatická komprese v kompresoru<sup>[13.]</sup> (po i-s diagram včetně).
- Př. 6: Dokončení přednášky Energetické bilance lopatkových strojů<sup>[13.]</sup>.  
Vztah mezi obvodovou a vnitřní prací stupně lopatkového stroje<sup>[14.]</sup> (pouze úvod s definicí a kapitolu Ventilační ztráta).
- Př. 7: Geometrie a materiály lopatkových strojů<sup>[15.]</sup> po kapitolu: Tvary spirálních skříní<sup>[15.]</sup>.  
Základy aerodynamiky profilů lopatek a lopatkových mříží<sup>[16.]</sup>
- Př. 8: Dokončení přednášky Základy aerodynamiky profilů lopatek a lopatkových mříží<sup>[16.]</sup> po kapitolu: Hustota lopatkové mříže<sup>[16.]</sup>.  
Ztráty v lopatkových strojích<sup>[17.]</sup>.
- Př. 9: Ztráty v lopatkových strojích<sup>[17.]</sup>.  
Podobnosti lopatkových strojů<sup>[18.]</sup>.
- Př. 10: Návrh axiálních stupňů lopatkových strojů<sup>[19.]</sup> po kapitolu: Axiální stupně s přímými lopatkami<sup>[19.]</sup>.
- Př. 11: Návrh radiálních a diagonálních stupňů lopatkových strojů<sup>[20.]</sup> po kapitolu Radiální stupně turbín s přímými lopatkami plus kapitolu Diagonální stupně.
- Př. 12: Vodní turbíny a hydrodynamická čerpadla<sup>[21.]</sup>.
- Př. 13: Větrné turbíny a ventilátory<sup>[22.]</sup>.

• Cvičení

Obsahem cvičení je řešení úloh z oblasti lopatkových strojů. Následuje seznam úloh a jejich krátký popis.

- Cv. 1: Připomenutí některých pojmů z matematiky a jejich aplikace ve fyzice: Parciální derivace<sup>[42.]</sup>; Vektory<sup>[42.]</sup>.
- Cv. 2: Vektory<sup>[42.]</sup> – pokračování. Co je tenzor a Rotace vektoru, vírový a nevírový pohyb<sup>[42.]</sup>.

Úloha 545<sup>[11.]</sup>, Úloha 546<sup>[11.]</sup>: úlohy na základní energetické bilance lopatkových strojů.

Cv. 3: Úloha 546<sup>[11.]</sup> – dokončení.

Úloha 706<sup>[11.]</sup>, Úloha 878<sup>[11.]</sup>: úlohy na rychlostní trojúhelníky.

Cv. 4: Úloha 878<sup>[11.]</sup> – dokončení.

Úloha 583<sup>[12.]</sup>, Úloha 254<sup>[12.]</sup>: použití a procvičení Eulerovy rovnice pro sílu působící na tělesa od proudu tekutiny.

Cv. 5: Úloha 254<sup>[12.]</sup> – dokončení.

Úloha 264<sup>[12.]</sup>: výpočet spirální skříně.

Cv. 6: Úloha 407<sup>[12.]</sup>: výpočet bezlopatkového difuzoru.

Úloha 736<sup>[12.]</sup>, Úloha 725<sup>[12.]</sup>: výpočet předpokládaného rozložení energie v objemu pracovní tekutiny.

Cv. 7: Úloha 725<sup>[12.]</sup> – dokončení.

Úloha 597<sup>[13.]</sup>: stanovení energetické bilance vodní turbíny a výpočet délky savky.

Úloha 871<sup>[13.]</sup>: výpočet parametrů páry v turbíně.

Cv. 8: Úloha 923<sup>[14.]</sup>: energetická bilance stupně lopatkového stroje.

Úloha 755<sup>[15.]</sup>: výpočet geometrie lopatky radiálního ventilátoru.

Úloha 1036<sup>[17.]</sup>: výpočet ztráty ve stupni lop. stroje.

Cv. 9: Úloha 1036<sup>[17.]</sup> – dokončení.

Úloha 721<sup>[18.]</sup>: výpočet provozní charakteristiky navrhovaného ventilátoru.

Úloha 179<sup>[18.]</sup>: určení stupně reakce ze zadaného rychlostního trojúhelníku stupně parní turbíny.

Cv. 10: Úloha 613<sup>[18.]</sup>: výběr nejvhodnějšího typu vodní turbíny pro zadanou lokalitu pomocí teorie podobnosti lopatkových strojů.

Úloha 262<sup>[20.]</sup>: základní návrh rozměrů oběžného kola radiálního ventilátoru pomocí teorie podobnosti a optimalizace podobnostních součinitelů.

Úloha 738<sup>[21.]</sup>: záměna čerpadla v potrubní trase za jiné.

Cv. 11: Rezerva.

Cv. 12: Rezerva.

Cv. 13: Zápočtové písemky.

## **Zadání zápočtových úloh**

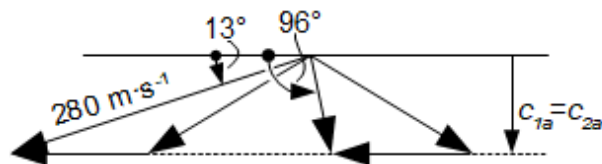
---

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

Jméno a příjmení, datum:

---

- Ú. 1: Vypočítejte absolutní, relativní a obvodové rychlosti rychlostního trojúhelníku, který je na obrázku, když víte, že měrná obvodová práce stupně je  $61,5 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . [výsledek by měl být  $w_2 \approx 235 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , obtížnost cca Př. 4]



Obrázek není v měřítku.

Jméno a příjmení, datum:

- Ú. 2: Bezloptakovém mezikruhovém difuzoru radiálního kompresoru dochází ke zvýšení tlaku plynu. O jaký rozdíl se tlak zvýší, jestliže znáte výstupní rychlostní trojúhelník z oběžného kola a radiální složku výstupní rychlosti z difuzoru, která je  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ? Hustota pracovního plynu je  $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Předpokládejte proudění beze ztrát a zanedbejte vliv gravitačního zrychlení. [výsledek by měl být  $\Delta p \approx 395 \text{ Pa}$ , obtížnost cca Př. 4]



Obrázek není v měřítku.



Jméno a příjmení, datum:

---

- Ú. 3:** Vypočítejte výstupní průtočnou plochu spirální skříně radiálního ventilátoru. Spirální skříň má tvar obdelníku o stejné šířce jako je šířka oběžného kola, která je 70 mm. Vstupní průměr spirální skříně je 120 mm, vstupní rychlost do spirální skříně je  $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a úhel, který svírá s obvodovým směrem je  $26^\circ$ . Objemový průtok ventilátorem je  $150 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Současně spočítejte rozdíl tlaků mezi tlakem na obvodu oběžného kola a tlakem na výstupním poloměru spirální skříně při hustotě pracovního plynu  $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Předpokládejte potenciální proudění. [výsledek by měl být  $A \approx 5617 \text{ mm}^2$ ,  $\Delta p \approx 82,841 \text{ Pa}$ , obtížnost cca Př. 4]

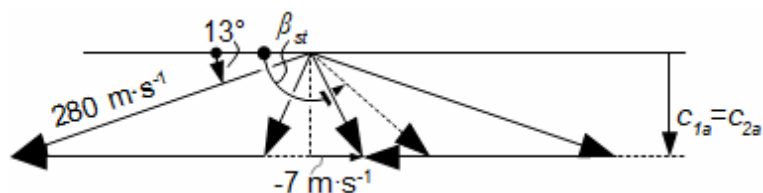
Jméno a příjmení, datum:

---

- Ú. 4: Vypočítejte měrnou vnitřní práci a hydraulickou účinnost napájecího čerpadla. Požadovaný tlak v kotli je 6 MPa, tlak v napájecí nádrži 300 kPa, tlakové ztráty potrubního systému na sání jsou 60 kPa na výtlaku jsou 360 kPa. Ztráty v čerpadle jsou  $700 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Za hustotu dosazujte  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ . Změnu potenciální energie neuvažujte. [výsledek by měl být  $\eta_i \approx 0,9$ , obtížnost cca Př. 6]

Jméno a příjmení, datum:

- Ú. 5: Provedte výpočet síly působící na lopatku rovinné lopatkové mříže jejíž rychlostní trojúhelník znáte, viz obrázek. Hmotnostní průtok mříží je  $5 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$  a úhel střední aerodynamické rychlosti  $\beta_{st}=107,76^\circ$ . Náповěda: Využijte vztahu mezi střední aerodynamickou rychlostí a silou působící na lopatku a neuvažujte profilové ztráty. Vypočítejte také přetlak působící na lopatkovou mříž, jestliže rozteč lopatkové mříže je 40 mm a výška lopatek 60 mm. [výsledek by měl být  $F\approx 1469 \text{ N}$ ,  $\Delta p\approx 186 \text{ kPa}$ , obtížnost cca Př. 7]

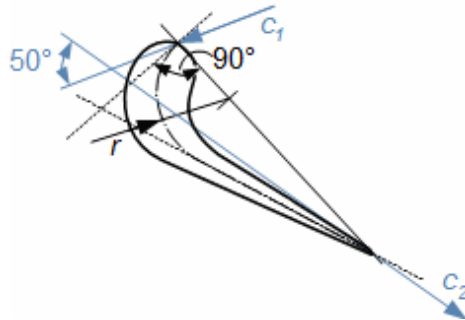


Obrázek není v měřítku.

Jméno a příjmení, datum:

---

- Ú. 6: Na obrázku je profil lopatky pro konfuzorovou lopatkovou mříž; jeho střední čára profilu je tvořena kruhovým obloukem a přímkou. Navrhnete maximální prohnutí střední čáry profilu, když víte, že úhel zakřivení proudu je  $130^\circ$ , délka tětivy střední čáry profilu je 48 mm. Další parametry jsou patrné z obrázku. [výsledek by měl být  $m \approx 18,8$  mm pro  $i = \delta = 0^\circ$ , obtížnost cca Př. 7]



Obrázek není v měřítku.

Jméno a příjmení, datum:

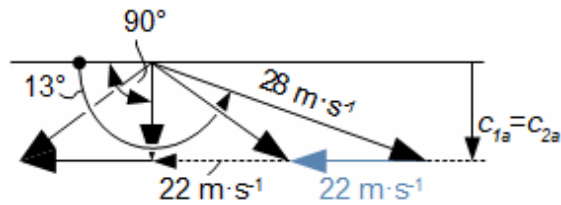
---

- Ú. 7: Vypočítejte odporovou sílu konfuzorové lopatkové mříže. Víte, že axiální síla působící na mříž je 569,15 N, obvodová síla působící na mříž je 1399,12 N. Úhel střední aerodynamické rychlosti v mříži je  $107,76^\circ$ . [výsledek by měl být  $F_x \approx 115$  N, obtížnost cca Př. 8]

Jméno a příjmení, datum:

---

- Ú. 8: Jaká je přibližná profilová ztráta rotoru axiálního stupně hydraulického stroje jehož rychlostní trojúhelník znáte? Tlakový součinitel stupně je 5, hustota pracovní tekutiny je  $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Neuvažujte vliv ventilační ztráty a změny potenciální energie. [výsledek by měl být  $z_p \approx 60,5 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ , obtížnost cca Př. 9]

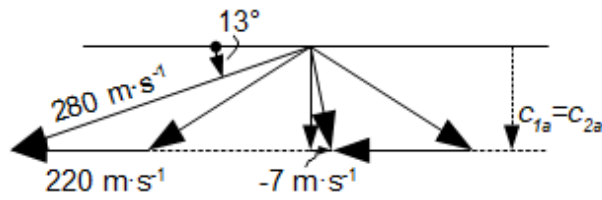


Obrázek není v měřítku.

Jméno a příjmení, datum:

---

- Ú. 9: Proved'te výpočet stupně reakce axiálního stupně, jehož rychlostní trojúhelník znáte. [výsledek by měl být  $\rho \approx 0,4$ , obtížnost cca Př. 9]



Obrázek není v měřítku.

Jméno a příjmení, datum:

---

- Ú. 10:** Vypočítejte stupeň reakce stupně radiálního ventilátoru. Zvýšení tlaku v oběžném kole je 922,5 Pa. Relativní rychlost na vstupu do oběžného kola je  $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Absolutní rychlost na výstupu z oběžného kola je  $29,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , která se ve statorové části stupně sníží na polovinu s měrnou ztrátou  $42 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Obvodová rychlost na vnitřní poloměru kola je  $31,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tlak na vstupu do kola je 100 kPa. Hustota pracovního plynu je  $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . [výsledek by měl být  $\rho \approx 0,9$ , obtížnost cca Př. 9]



Jméno a příjmení, datum:

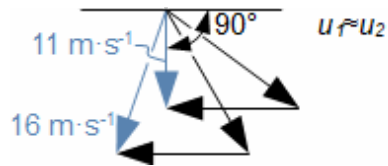
---

- Ú. 11:** Jaký přetlak působí na oběžné kolo radiálního ventilátoru s dozadu zahnutými lopatkami? Otáčky kola jsou  $1360 \text{ min}^{-1}$ . Vnější průměr kola je 630 mm, a poměr vnitřního průměru kola ku vnějšímu průměru kola je 0,7. Relativní rychlost na vstupu do oběžného kola je  $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a na výstupu z kola  $33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Hustota pracovního plynu je  $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . [výsledek by měl být  $\Delta p_R \approx 922 \text{ Pa}$ , obtížnost cca Př. 11]

Jméno a příjmení, datum:

---

- Ú. 12:** Vypočítejte měrné vnitřní ztráty oběžného kola rovnotlakového axiálního ventilátoru, když znáte jeho rychlostní trojúhelník (viz obrázek) a příkon, který je 60 W. Průtok ventilátorem je  $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Hustota pracovního plynu je  $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Jaké je zvýšení celkového tlaku? Neuvažujte ztráty v mechanismech stroje. [výsledek by měl být  $\approx 52,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\Delta p_c \approx 81 \text{ Pa}$ , obtížnost cca Př. 13]



Obrázek není v měřítku.

## Otázky písemné části zkoušky

---

- Ot. 1:** Rovnice pro výpočet síly působící na lopatky od proudu tekutiny (Eulerova rovnice).
- Ot. 2:** Jaký je vztah mezi vstupním a výstupním průřezem lopatkového kanálu rotoru, jestliže: (a) jedná se o stupeň přetlakový; (b) jedná se o stupeň rovnotlaký.
- Ot. 3:** Jaký směr má výslednice vnějších tlakových sil působící na kontrolní objem lopatek čistě axiálního stupně přetlakové turbíny (např. Kaplanovy)? Nakreslete schéma a sílu zakreslete.
- Ot. 4:** Proveďte rozklad síly působící na lopatku radiálního ventilátoru.
- Ot. 5:** Definujte střední aerodynamickou rychlost v lopatkovém mříži.
- Ot. 6:** Jaký úhel svírá síla působící na lopatku od proudu tekutiny v lopatkovém kanále se střední aerodynamickou rychlostí při proudění beze ztrát?
- Ot. 7:** Jaký je kroutící moment přenesený na rotor od proudu tekutiny dm protékající stupněm lop. stroje (zobecněná Eulerova rovnice)?
- Ot. 8:** Napište rovnici pro měrnou obvodovou práci tekutiny ve stupni lopatkového stroje.
- Ot. 9:** Co je to gradient tlaku a kde v lopatkových strojích vzniká? (uved'te – nakreslete aspoň 2 případy)
- Ot. 10:** Napište rovnice pro výpočet měrné vnitřní práce vodní turbíny a změny měrné celkové energie vody v turbíně.
- Ot. 11:** Definujte hydraulickou účinnost vodní turbíny.
- Ot. 12:** Jaké výhody má přetlakový stupeň vodní turbíny (Kaplanova, Francisova...) z pohledu ztrát závislých na rychlosti proudění?
- Ot. 13:** Napište rovnice pro výpočet měrné vnitřní práce čerpadla a zvýšení měrné celkové energie kapaliny v čerpadle.
- Ot. 14:** Definujte hydraulickou účinnost čerpadla.
- Ot. 15:** Zakreslete v i-s diagramu měrnou vnitřní práci a ztráty tepelné turbíny, znáte-li vstupní a výstupní parametry plynu (entalpie, tlak, rychlost).
- Ot. 16:** Definujte vnitřní izentropickou účinnost tepelné turbíny.
- Ot. 17:** Zakreslete v i-s diagramu měrnou vnitřní práci a ztráty turbokompresoru, znáte-li vstupní a výstupní parametry plynu (entalpie, tlak, rychlost).
- Ot. 18:** Definujte vnitřní (izoentropickou) účinnost turbokompresoru.
- Ot. 19:** Měrná vnitřní práce ventilátoru a jeho vnitřní účinnost.
- Ot. 20:** Uved'te rovnici měrné práce větrné turbíny (horizontálně axiální bez uvažování ztrát).
- Ot. 21:** Jaká je optimální rychlost vzduchu na výstupu z kontrolního objemu větrné turbíny (axiální rotor)?
- Ot. 22:** Definujte tah vrtule a její účinnost.
- Ot. 23:** Jaký je rozdíl mezi měrnou obvodovou prací stupně a měrnou vnitřní prací stupně? Jakou roli při porovnání hraje ztráta ventilací rotoru? Jak vzniká ztráta ventilací rotoru?
- Ot. 24:** Popište hlavní kótované úhly a rozměry profilu lopatky (střední čára profilu, prohnutí..).

- Ot. 25:** Definujte hustotu lopatkové mříže.
- Ot. 26:** Popište (zakreslete) základní aerodynamické charakteristiky lopatkové mříže (úhel náběhu, úhel deviační, zakřivení proudu).
- Ot. 27:** Jaké maximální hodnoty může dosahovat tlakový součinitel profilu, na jakém místě profilu a proč?
- Ot. 28:** Profilová ztráta v konfuzeorové a difuzorové mříži. Zakreslete v  $i$ - $s$  diagramu proudění uvedenými mřížemi.
- Ot. 29:** Jak se změní síla působící na profil lopatky elementární délky pro případ proudění se ztrátami oproti izoentropickému proudění (nakreslit pro případ turbínové nebo difuzorové mříže).
- Ot. 30:** Jaké znáte profilové ztráty v lopatkové mříži?
- Ot. 31:** Citlivější na odtržení mezní vrstvy v difuzoru je proudění turbulentní, nebo laminární?
- Ot. 32:** Definujte rychlostní součinitel v lopatkovém kanále.
- Ot. 33:** Ostatní ztráty stupně lopatkového stroje - uveďte alespoň tři příklady.
- Ot. 34:** K čemu slouží vstupní a výstupní hrdla lopatkových strojů, respektive jaké požadujeme jejich vlastnosti?
- Ot. 35:** K čemu je vztažena poměrná ztráta v hrdle lopatkového stroje?
- Ot. 36:** K čemu slouží kritéria podobnosti stupňů lop. strojů? Uveďte význam (definici) alespoň jednoho.
- Ot. 37:** Nakreslete bezrozměrovou ideální charakteristiku  $\psi$ - $\varphi$  turbíny, nebo pracovního stroje (pro  $n$ =konst.).
- Ot. 38:** Uveďte příklad skutečné bezrozměrové charakteristiky  $\psi$ - $\varphi$  turbíny nebo pracovního stroje (pro  $n$ =konst., zakreslete ztráty).
- Ot. 39:** Podle jakého kritéria podobnosti byste stanovili nejvhodnější typ lop. stroje (například vodní turbíny, čerpadla, ventilátoru, turbokompresoru), jestliže byste znali pracovní parametry dané požadavkem zadání (průtok, otáčky a spády...)?
- Ot. 40:** Jaké zjednodušující předpoklady obsahuje definice normálního axiálního stupně?
- Ot. 41:** Definujte střední poloměr lopatek a kvadratický poloměr lopatek.
- Ot. 42:** Jaké jsou obecné zásady při návrhu rychlostních trojúhelníků axiálních stupňů? Uveďte zvlášť pro stupně turbín a pro stupně pracovních strojů.
- Ot. 43:** Protiběžný vír v lopatkovém kanále stupně radiálního pracovního stroje - co způsobuje? Definujte součinitel skluzu.
- Ot. 44:** Protiběžný vír v lopatkovém kanále stupně radiální turbíny - co způsobuje? Definujte součinitel skluzu.
- Ot. 45:** Popište základní atributy diagonálních stupňů (tvar proudových ploch, upevnění lopatek, směr proudění).
- Ot. 46:** Nakreslete rychlostní trojúhelník Peltonovy turbíny.
- Ot. 47:** Nakreslete a popište rychlostní trojúhelník Francisovy turbíny.
- Ot. 48:** Při regulaci Kaplanovy turbíny natáčením lopatek oběžného kola se snažíme dosáhnout určitého směru výstupní rychlosti  $c_2$ . Jaký je tento optimální směr?

- Ot. 49:** Proč mají Peltonova a Kaplanova turbína plošší křivky hydraulické účinnosti při změně průtoku než ostatní typy vodních turbín?
- Ot. 50:** Jaký vliv má změna viskozity pracovní tekutiny na skutečnou charakteristiku pracovního stroje a proč?
- Ot. 51:** Jaký typ hydrodynamického čerpadla se spouští s uzavřeným výtlakem?
- Ot. 52:** Zakreslete pracovní bod hydrodynamického pracovního stroje, znáte-li charakteristiku potrubního systému, ve kterém pracuje.
- Ot. 53:** Jak sestrojíte charakteristiku dvou stejných čerpadel pracujících paralelně?
- Ot. 54:** Co označuje veličina NPSH u čerpadel?
- Ot. 55:** Popište princip návrhu lopatky axiálního stupně větrné turbíny.
- Ot. 56:** Optimální počet lopatek větrné turbíny s rostoucím koeficientem rychloběžnosti klesá, nebo roste?
- Ot. 57:** Ax. ventilátor bez předřazených lopatek – přetlakové lopatkování: nakreslete rychlostní trojúhelník pro případ jmenovitých parametrů průtoku a pro snížený průtok. Jaký vliv má snížení průtoku na náběžný úhel?
- Ot. 58:** Obvyklé měrné otáčky radiálních ventilátorů jsou nižší, nebo vyšší než axiálních ventilátorů?
- Ot. 59:** Jaký vliv má změna hustoty pracovní tekutiny na charakteristiku ventilátoru?
- Ot. 60:** Jaké jsou způsoby regulace průtoku ventilátorem?

## Odkazy

---

- [11.] ŠKORPÍK, Jiří. Lopatkový stroj, *Transformační technologie*, 2009-08, [last updated 2018-09-26]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/11.html>. English version: Turbomachine. Web: [https://www.transformacni-technologie.cz/en\\_11.html](https://www.transformacni-technologie.cz/en_11.html).
- [12.] ŠKORPÍK, Jiří. Základní rovnice lopatkových strojů, *Transformační technologie*, 2009-09, [last updated 2019-01-02]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/12.html>. English version: Essential equations of turbomachines. Web: [https://www.transformacni-technologie.cz/en\\_12.html](https://www.transformacni-technologie.cz/en_12.html).
- [13.] ŠKORPÍK, Jiří. Energetické bilance lopatkových strojů, *Transformační technologie*, 2009-10, [last updated 2018-11-16]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/13.html>. English version: Energy balances of turbomachines. Web: [http://www.transformacni-technologie.cz/en\\_13.html](http://www.transformacni-technologie.cz/en_13.html).
- [14.] ŠKORPÍK, Jiří. Vztah mezi obvodovou a vnitřní prací stupně lopatkového stroje, *Transformační technologie*, 2009-10, [last updated 2018-02-26]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/14.html>. English version: Relation between shaft work and internal work of turbomachine stage. Web: [https://www.transformacni-technologie.cz/en\\_14.html](https://www.transformacni-technologie.cz/en_14.html).
- [15.] ŠKORPÍK, Jiří. Geometrie lopatkových strojů, *Transformační technologie*, 2009-10, [last updated 2018-11-19]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/15.html>. English version: Shapes of parts of turbomachines. Web: [https://www.transformacni-technologie.cz/en\\_15.html](https://www.transformacni-technologie.cz/en_15.html).

- [16.] ŠKORPÍK, Jiří. Základy aerodynamiky profilů lopatek a lopatkových mříží, *Transformační technologie*, 2009-10, [last updated 2019-01-10]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/16.html>.
- [17.] ŠKORPÍK, Jiří. Ztráty v lopatkových strojích, *Transformační technologie*, 2009-11, [last updated 2018-10-27]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/17.html>.
- [18.] ŠKORPÍK, Jiří. Podobnosti lopatkových strojů, *Transformační technologie*, 2009-11, [last updated 2019-07-08]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/18.html>.
- [19.] ŠKORPÍK, Jiří. Návrh axiálních stupňů lopatkových strojů, *Transformační technologie*, 2011-03, [last updated 2019-10-14]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/19.html>.
- [20.] ŠKORPÍK, Jiří. Návrh radiálních a diagonálních stupňů lopatkových strojů, *Transformační technologie*, 2011-03, [last updated 2019-01-10]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/20.html>.
- [21.] ŠKORPÍK, Jiří. Vodní turbíny a hydrodynamická čerpadla, *Transformační technologie*, 2011-06, [last updated 2018-12-12]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/21.html>.
- [22.] ŠKORPÍK, Jiří. Větrné turbíny a ventilátory, *Transformační technologie*, 2011-06, [last updated 2019-07-08]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/22.html>.
- [42.] ŠKORPÍK, Jiří. Technická matematika, *Transformační technologie*, 2009-03, [last updated 2021-06-04]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/42.html>.

## Citace tohoto dokumentu

---

ŠKORPÍK, Jiří. Informace k předmětu Lopatkové stroje (LLS), *Archiv autora*, 2009. [last updated 2021-09-13]. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/informace-k-predmetu-lopatkove-stroje.html>