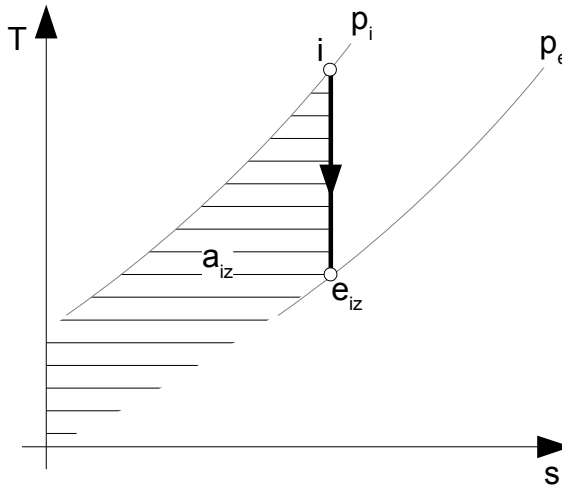


Tato Příloha 307 je součástí článku [13. Energetické bilance lopatkových strojů](http://www.transformacni-technologie.cz/13.html), [http://www.transformacni-technologie.cz/13.html](http://www.transformacni-technologie.cz/en_13.html). [13. Energy balances of turbomachines](http://www.transformacni-technologie.cz/en_13.html), http://www.transformacni-technologie.cz/en_13.html.

Měrná vnitřní práce tepelné turbíny při adiabatické expanzi v T-s diagramu

Odvození je provedeno pro ideální plyn $c_p = konst.$, (nikoliv směs ideálních plynů), $q = 0$.

Expanze ideálního plynu z tlaku p_i do p_e bez přívodu tepla a beze ztrát je izoentropická a_{iz} . Práce této expanze je ohraničená příslušnými izobarami a expanzní křivkou:



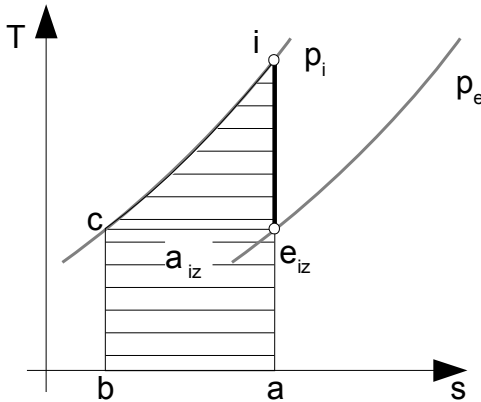
1. Křivka izoentropické expanze v tepelné turbíně z tlaku p_i do tlaku p_e a izoentropická práce a_{iz} vykonané při této změně.

Pro izoentropický děj lze psát:

$$a_{iz} = - \int_i^{e,iz} v dp = - \int_i^{e,iz} di = c_p (T_i - T_{e,iz}) \quad [43. id288]$$

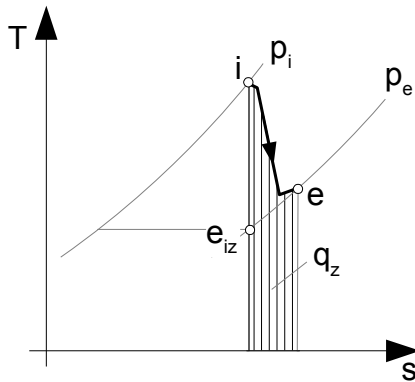
V T-s diagramu jsou izobary stejné pouze vzájemně posunuté viz. [43. id310].

V takovém případě bude vzdálenost a stejná jako b . Vzhledem k této skutečnosti lze, podle Cavalieriho principu pro ekvivalentní plochy a tělesa [2, s. 10], znázornit izoentropickou práci tzv. náhradní plochou (a - b - c - i - a). Plocha a - b - c - i - a je náhradní plocha k ploše izoentropické práce z *Obrázku 1*:



2. Náhradní plocha měrné izoentropické práce v T-s diagramu při $c_p = \text{konst.}$

Při expanzi plynu (pohybu) vlivem jeho vazkosti, třením a vířením (dále zkráceně jen třením) se část kinetické energie přeměňuje na teplo a (teplo q_z), kterým je ohříván okolní plyn. To znamená, že při expanzi se vlivem ztrát vykoná menší práce, ale teplota na konci expanze bude vyšší:



3. Skutečná adiabatická expanze v tepelné turbíně se ztrátami a vyjádření tepla vygenerovaného ztrátami při proudění turbínou.
Teplu q_z se vyjádří z rovnice II. zákona termodynamiky.

Vznik ztrát při expanzi v tepelné turbíně způsobí pokles vykonané práce proto musí pro expanzi se ztrátami platit $a_i < a_{iz}$:

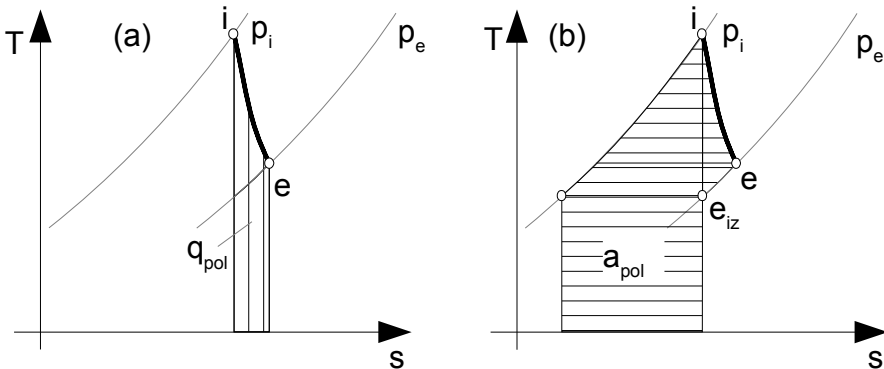
$$a_i = i_i - i_e \quad [11. id544]$$

Jaká plocha v T-s diagramu vyjadřuje skutečnou technickou práci? Ekvivalentní plocha v T-s diagramu ke skutečné technické práci bude menší než odpovídá ploše v T-s diagramu vyjadřující technickou práci při izoentropické expanzi. Nabízí se odečíst ztrátové teplo q_z od práce vykonané při izoentropické expanzi a_{iz} . To ale nevede ke správnému výsledku protože plyn v turbíně expanduje a koná práci postupně při průchodu turbínou. Rozdělíme-li turbínu respektive expanzi v turbíně na několik částí bude v každé části probíhat expanze s vnitřními ztrátami, tím se v této části vykoná méně práce než při izoentropické expanzi, ale do další části turbíny

vstupuje plyn o vyšší teplotě než by vstupoval v případě izoentropické expanze. To znamená, že část ztrátového tepla vzniklého v předchozí části turbíny se využije ke konání práce v následující části turbíny. To znamená, že od izoentropické práce a_{iz} se neodečítá, pro získání skutečné práce, celé teplo vzniklé při vnitřních ztrátách q_z ale jen určitá část z , protože část ztrátového tepla se v jiné části turbíny využije ke konání práce. Tato část ztrátového tepla se nazývá teplo znovu využití Δ :

$$q_z = \Delta + z$$

Ztráta z , teplo znovu využitelné Δ lze v T-s diagramu vyjádřit porovnáním adiabatické expanze se ztrátami v turbíně s ideální polytropickou expanzí v této turbíně. Ideální polytropická expanze se od izoentropické liší tím, že během expanze je z vnějšku přiváděno expandujícímu plynu teplo, přičemž se tím zvýší práce expanze v turbíně:



4. Porovnávací vratný polytropický děj k ději adiabatickému se ztrátami.

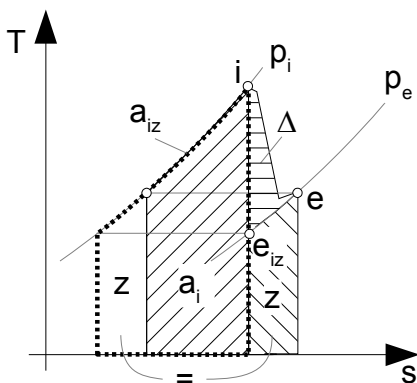
(a) teplo přivedené pracovnímu plynu při ideální polytropické expanzi, (b) práce ideálního polytropické expanze.

Z tepla přivedeného během expanze při polytropickém ději se pouze část odpovídající ploše $i-e-e_{iz}-i$ přeměnila v práci zbylé teplo zvýšilo vnitřní energii plynu na konci expanze.

$$a_{\text{pol}} = - \int_1^2 v dp = \frac{r}{n-1} (T_1 - T_2) \quad [1, \text{s. } 98].$$

Ztrátové teplo q_z u adiabatické expanze se ovlivňuje expanzi stejným způsobem jako by toto teplo bylo přivedenou zvenčí a část tohoto tepla se přemění v práci a část zvýší vnitřní energii pracovního plynu na konci expanze. To znamená, že práce plynu se nesníží o celé teplo q_z ale pouze o část z , která tvoří rozdíl mezi prací vykonanou při izoentropické expanzi a adiabatické se ztrátami:

$$a_i = a_{iz} - z = a_{iz} - q_z + \Delta$$



5. Práce adiabatické expanze se ztrátami.

Odtud je tedy zřejmé, že třecí teplo způsobuje zvýšení entropie a lze konstatovat, že rozdíl entalpie $i_e - i_{eiz}$

představující ztrátu z na izobare p_e je ekvivalentní ploše mezi izobarou p_e touto izobarou a izotermou $T=0$ a stavy e a e_{iz} :

$$ds = \frac{dq_z}{T}.$$

Odkazy

1. KALČÍK, Josef, SÝKORA, Karel. *Technická termomechanika*, 1973. 1. vydání, Praha: Academia.
2. POLSTER, Burkard. *Q.E.D. Krása matematického důkazu*, 2014. Praha: Dokořán, s.r.o. ISBN 978-80-7363-532-9.