



©2013 Jiří Škorpiák

960 Transformace potenciální energie na kinetickou a vnitřní tepelnou energii

Koule o hmotnosti m [kg] visí nad vodní hladinou v nádobě ve výšce h_1 [m] a vůči hladině má potenciální energii E_{p1} [J]. Při volném pádu dosáhne těsně nad hladinou rychlosti c [$m \cdot s^{-1}$] a kinetické energie E_k [J]. Při nárazu na vodní hladinu se zbrzdí a pohyb ke dnu nádoby třením o vodu se zmaří i zbytek její kinetické a potenciální energie na vnitřní energii vody a hmoty koule (zahřejí se). Nárazem dojde k transformaci kinetické energie E_k koule na vnitřní energii vody, která se zvýší o ΔU [J]. Odpor prostředí při pádu (mimo vodu) a změna hladiny (zvýšení potenciální energie vody) při ponoření koule byly při popisu zanedbány.

Různé druhy energií se mohou transformovat nejen na vnitřní tepelnou energii ale i na jiné druhy energie, přičemž platí Zákon zachování energie, který byl objeven a formulován postupně v průběhu 19. století [12, s. 390]. Tento zákon konstatuje, že bude-li v izolovaném systému látka obsahovat různé druhy energie, tak jejich součet bude stálý, i pokud uvnitř látky proběhnou nějaké energetické transformace. V termodynamice se Zákon zachování energie nazývá První zákon termodynamiky.

• Entalpie

Měrnou entalpií je nazýván součet měrné vnitřní tepelné a tlakové energie tekutin ($i = u + p \cdot v$). Především u plynů je přívod/odvod tepla do/z pracovní látky často spojen se změnou jak vnitřní tak i tlakové energie, jestliže plyn mění svůj objem i tlak. Například při zahřívání vyšetřovaného objemu plynu v potrubí se plyn bude rozpínat a tím vytěsňovat okolní plyn za stálého tlaku – teplo je spotřebováno na ohřev i zvýšení tlakové energie. Podobná situace nastává u horkého vzduchu kolem topidla v domě – vzduch se zahřívá a zvyšuje svůj objem

za stálého tlaku. Proto se entalpii někdy říká, že představuje tepelný obsah látky.

Je-li definována veličina entalpie, je možné dále upravit *Rovnice 937*, s. 4 prvního zákona termodynamiky pro uzavřený systém do tzv. druhé formy prvního zákona termodynamiky pro uzavřený systém, viz *Rovnice 964*.

$$dq = di - v \cdot dp$$

964 Druhá forma zápisu I. zákona termodynamiky uzavřeného systému

i [$J \cdot kg^{-1}$] měrná entalpie pracovní tekutiny. Tato forma zápisu je oblíbená pro energetické bilance tepelných otevřených systémů, která je součástí většího uzavřeného systému. Například byla použita při odvození množství regenerovaného tepla v regenerátoru Stirlingova motoru (pracovní objem Stirlingova motoru je uzavřený mezi dvěma písty, regenerátor se nachází uvnitř této sestavy tj. vůči ostatním objemům motoru je otevřený). Odvození druhé formy rovnice I. zákona termodynamiky pro uzavřený systém je uvedeno v *Příloze 964*.

Entalpii ideálního plynu lze stanovit celkem snadno, protože měrná tlaková energie ideálního plynu je podle stavové rovnice funkcí pouze teploty, stejně jako měrná vnitřní tepelná energie, proto měrná entalpie musí být také funkcí pouze teploty viz *Rovnice 966*, s. 7.

Změna měrné entalpie kapalin je při stálém tlaku rovna změně měrné vnitřní tepelné energii $di \approx du$, protože změna

objemu v důsledku změny teploty je velmi malá $dv \approx 0$. V případě jiných termodynamických změn je nutné ještě připočítat změnu tlakové energie.

$$di = c_p dT; \quad c_p = c_v + r$$

966 Entalpie plynu

c_p [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] měrná tepelná kapacita plynu při stálém tlaku – Jedná se o veličinu, která je u reálných plynů proměnná, jelikož je funkcí druhu a stavu plynu. Při malých změnách teploty a tlaku (beze změny skupenství) je ovšem tato veličina velmi blízká konstantě (okolnosti se liší podle druhu a stavu látky). Pro každý druh látky je nutno c_p měřit pro určité stavy látky. Tyto naměřené hodnoty se uvádí v tabulkách termodynamických vlastností látek např. [4], [11]. Měrné tepelné kapacity při stálém tlaku suchého vzduchu a vody pro vybrané teploty jsou uvedeny v *Tabulce 1155*. Správné určení měrné tepelné kapacity je velmi důležité v technické praxi a proto podrobněji je tato problematika popsána v kapitole "Termodynamické vlastnosti látek" uvedené níže. Odvození rovnice entalpie je v *Příloze 966*.

Řekne-li se "entalpie látky je", pak bývá myšlen její rozdíl oproti stavu při $0 \text{ } ^\circ\text{C}$, tzn. při $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ je entalpie 0 J a při nižších teplotách je záporná.

Úloha 317

Stanovte měrné teplo potřebné pro ohřev vzduchu v místnosti, když víte, že tlak v místnosti se nemění. Uvažujte ohřev suchého vzduchu z teploty $12 \text{ } ^\circ\text{C}$ na teplotu $23 \text{ } ^\circ\text{C}$. Řešení úlohy je uvedeno v *Příloze 317*.

Úloha 308

Určete měrnou entalpii vody v mělké nádrži při teplotě $23 \text{ } ^\circ\text{C}$. Zvýšení tlakové energie od vodního sloupce zanedbejte. Řešení úlohy je uvedeno v *Příloze 308*.

• • •

Tepelný oběh a jeho realizace v objemovém stroji

Výše uvedený příklad pístu se závažím ukazuje jakým způsobem působí teplo na stav látky a jak prostřednictvím této látky lze vykonat práci. Principy transformace tepla v práci využívají tepelné stroje.

Prvním užitečným tepelným strojem bylo Saveryho parní čerpadlo (viz kapitola 1. Historie strojů na páru). Trvale pracující tepelné stroje se vyznačují cyklickým ohřevem a ochlazováním pracovní látky. Takové cyklické uzavřené změny jsou nazývány tepelnými oběhy.

Tepelný oběh představuje takovou sérii termodynamických změn pracovní látky na jejíž konci jsou stavové veličiny pracovní látky v původním stavu jako na začátku změn. Změna stavových veličin se projevuje například ochlazováním, ohříváním, stlačováním a rozpínáním pracovní látky. Realizace oběhu spočívá v tom, že pracovní látka je uzavřena uvnitř nějakého stroje. Mezi částmi tohoto stroje a pracovní látkou je silové působení, které se mění v závislosti na změně stavových veličin pracovní látky a právě působením těchto sil se práce koná.

Takovým strojem, ve kterém se může realizovat tepelný oběh může být válec s pístem, ve kterém je jako pracovní látka uzavřen plyn, *Obrázek 603, s. 8*. Potřebná změna stavových veličin plynu je provedena jeho řízeným ohříváním a chlazením, odtud vznikají proměnlivé síly působící na píst.

Tepelné oběhy lze uplatnit i pro opačný proces. V tomto případě by plyn spotřeboval práci pístu, přičemž z válce by se odvedlo více tepla než přivedlo (o dodanou práci). U takových obrácených tepelných oběhů má práce záporné znaménko a oběh zaznamenaný v diagramu p - V by měl opačný smysl (levotočivý).