

## Zamyšlení nad pojmem energie

BOHUMIL VYBÍRAL

Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové

### Pojem energie a jeho etymologie

Pojem energie má ve fyzice zásadní význam. Ve fyzikálním pojmosloví je energie definována jako jedna z nejvýznamnějších skalárních veličin, která zasahuje do všech oblastí fyziky. V technických aplikacích fyziky se pojem poté přenesl do všech technických oborů a jejich prostřednictvím do všech oblastí civilizované společnosti. Zajímavé je, že pojem energie v širším významu vstoupil do fyziky poměrně pozdě – až v polovině 19. století – kdy šlo o vztah mezi potenciální a kinetickou energií (veličin zavedených v mechanice již v 18. století) a nově poznávanými tepelnými ději. V mechanice je významový obsah pojmu energie spojen zejména se jmény L. EULERA a J. L. LAGRANGEA (viz Lagrangeovy pohybové rovnice, které jsou datovány rokem 1760). Poté teoretický fyzik W. R. HAMILTON roku 1834 formuloval obecné kanonické pohybové rovnice v mechanice využitím celkové mechanické energie – viz *hamiltonián*  $H$  (i když se pojem „energie“ tehdy ještě nepoužíval). Do fyzikálního poznání v průběhu první poloviny 19. století významně zasáhly poznatky o teplých dějích v plynech, které se ve fyzice rozpracovávaly v termodynamice. Významnou vazbu mezi energetickými ději v mechanice a termice přinesl až experiment, který roku 1845 provedl J. P. JOULE, jímž stanovil mechanický ekvivalent tepla. Tak nazrál čas pro formulaci *zákona zachování energie* ve fyzice. Nakonec to nebyl fyzik, nýbrž původem lékař JULIUS ROBERT VON MAYER (1814–1878), který roku 1842 podal první obecnou formulaci zákona zachování energie, i když jeho původní formulace byla z fyzikálního hlediska poněkud vágní.

Fyzikálně přesně zákon zachování energie pro uzavřenou (izolovanou) soustavu formuloval až roku 1847 fyzik HERMANN VON HELMHOLTZ (1821–1894). Primárně tehdy šlo o děje mechanické a tepelné, avšak logicky byla jeho platnost postupně rozšířena na všechny fyzikální děje. Otázkou bylo, co je energie. Skutečná molekulární podstata tepla (resp. tepelné výměny) v té době nebyla ještě známa. Převládala představa, že jde o jakýsi flogiston (při hoření) či jakési fluidum, které vstupuje do zúčastněných těles či z nich vystupuje při probíhajících tepelných, mechanických a později rovněž elektromagnetických a jaderných procesech.

Nyní k etymologii pojmu *energie*. Zavedli jej původně fyzici (jen) jako označení fyzikální veličiny v polovině 19. století. Základ slova je řecký a vychází ze slov „energeia“ (řecky má význam hybnost, činnost, uskutečnění) a odvozených řeckých slov „energo“ (působím, jsem činný), „energōs“ (býti v práci, zaneprázdněný). Pojmy *kinetická energie* a *potenciální energie* (již jako fyzikální veličiny) zavedl v letech 1852 a 1859 W. J. M. RANKINE.

Vývoj pojmů kolem mechanické energie je dlouhý. Pojem „potenciál“ zavedl do matematiky a fyziky již roku 1773 J. L. LAGRANGE [1]. S tím souvisí matematický pojem „potenciální funkce“ zavedený G. GREENEM roku 1828 a nezávisle roku 1839 C. F. GAUSSEM. O energii a o jejím fyzikálním obsahu se v české literatuře diskutuje např. v pracích [1, 2, 3, 4, 5].

## O užívání pojmu energie ve fyzice

Pojem energie byl do fyziky zaveden jako označení *fyzikální veličiny*, tedy veličiny, kterou principiálně lze měřit a případně vypočítat<sup>1</sup> (a její hodnotu uvádět ve zvolených jednotkách – joule, elektronvolt) a jejíž celková hodnota se při dějích v izolované soustavě zachovává. Ne vždy se takto s pojmem energie ve fyzice pracuje, neboť v některých případech užívání je zřejmě skryta původní flogistonová/fluidová představa o energii z první poloviny 19. století. Jde např. o dnes užívané pojmy „přenos energie“, „vyzařování energie“, „přeměna energie“. Tato dvojnáčnost pojmu energie, tj. fyzikální veličiny a energie jako forma existence pohybující se hmoty, má tedy historické kořeny. Zavádějící je také novější spojení „degenerace energie“, s nímž pracují autoři statí [6, 7] v souvislosti se vzrůstem entropie objektu.

---

<sup>1</sup>Dlužno poznamenat, že ne každou z energií lze přímo měřit a vypočítat, např. klidovou energii částice určujeme z klidové hmotnosti podle Einsteinova vztahu  $E_0 = m_0c^2$ , aniž by současná fyzika cele znala její podstatu.

*S pojmem energie se od konce 19. století až dosud museli nějak vyrovnat všichni autoři učebnic fyziky (pro základní až vysoké školy). E. MECHLOVÁ v monografii [8] podrobně analyzuje přístup různých autorů k vytváření pojmu energie. Autoři převážně k tomuto pojmu přistupovali jako „ke schopnosti konat práci“ a poté jej definují jako fyzikální veličinu a event. provádějí její výpočet. Střetávají se zde však dva obsahové významy téhož pojmu energie, jak bylo výše zmíněno. Autor této úvahy je přesvědčen, že by se problém terminologicky uspokojivě vyřešil, pokud by se oddělilo označení energie jako formy existence hmoty a energie jako fyzikální veličiny.*

Nad uvedenými problémy se autor přeložené úvahy delší dobu zamýšlel a hledal východisko, které by bylo přijatelné z hlediska čistoty fyzikální terminologie. V roce 2013 zavedl pojem „energetický stav objektu“ (tělesa, částice, soustavy těles nebo částic) a publikoval jej v monografii [9]. O problematice užívání pojmu energie vystoupil v květnu 2014 na konferenci s mezinárodní účastí (XXXII. kolokvium) na Univerzitě obrany v Brně [4] a v říjnu 2014 na konferenci DIDFYZ 2014 v Račkové dolině [10]. Problematika užívání pojmu energie je rovněž předmětem statě [5]. V tomto článku je možné řešení problému užívání pojmu energie ještě rozšířeno. Je třeba také upozornit na jednu terminologickou změnu. V uvedených autorových statích se pracuje s pojmem (přívlastkem) „energetický“. Ve druhém vydání *Fyziky* [11] z roku 2014 autoři českého překladu užívají terminologicky přijatelnější výraz „energiový“ (např. „energiová hladina“ namísto původního pojmu „hladina energie“). Nově zavedený výraz „energiový“ se jeví fyzikálně přijatelnější než autorem dosud užívaný přívlastek „energetický“, který je spíše vhodný pro energetiku a technologické procesy s ní spojené (překladaelé vhodnost novotvaru „energiový“ také konzultovali s Ústavem pro jazyk český AV ČR s pozitivním závěrem).

## **Energiový stav objektu**

Energie ( $E$ ) jako fyzikální veličina se obecně obtížně definuje. Např. [12] uvádí „energie je významná skalární fyzikální veličina, která charakterizuje formy pohybu hmoty.“ Toto vyjádření je však dosti vágní, málo vypovídající. Slůvko „charakterizuje“ je pro fyzikální veličinu příliš obecné, neboť každá fyzikální veličina má být principiálně měřitelná nebo určitelná výpočtem (a poté verifikována kvantitativním experimentem), v konkrétních případech má mít číselnou hodnotu a jednotku. Důsledkem takového přístupu k pojmu energie je, že se ve fyzice s tímto pojmem vždy nezachází

jako s veličinou, která je vztažena k nějakému objektu. Toto je první část problému, na který je předložený příspěvek zaměřen, s cílem navrhnout fyzikálně správnější používání pojmů ve spojitosti s energií.

Energii je ve fyzice nutné vztáhnout na určitý objekt (těleso, částici nebo soustavu těles či částic, či na pole). Energií lze konkrétněji definovat jako fyzikální veličinu, když pomocí ní budeme popisovat *energiový stav* objektu. Fyzikální objekt v uvažované inerciální vztažné soustavě se může nacházet v těchto energiových stavech [4, 5, 9, 10]:

- kinetický,
- potenciální,
- strukturální.

**Kinetický energiový stav** objektu souvisí s jeho pohybem v určité inerciální vztažné soustavě. Popisuje jej *kinetická (pohybová) energie* ( $E_k$ ). Kinetický energiový stav může být makroskopický, kdy se těleso (nebo soustava těles) pohybuje (obecně translačním, rotačním nebo vibračním pohybem) jako celek, přičemž u soustavy těles i vzájemným pohybem těles vůči sobě. Tento makroskopický pohybový stav popisuje mechanická kinetická energie. Mikroskopický kinetický energiový stav těles (pevných a tekutých) naopak souvisí s mikroskopickým pohybem jejich strukturálních částí, tj. s chaotickým translačním, rotačním a vibračním pohybem molekul a atomu (popř. iontů a elektronů) v klidové soustavě sprážen s tělesem či jejich makroskopickou soustavou.

Mikroskopický kinetický energiový stav těles popisuje podstatná část veličiny *vnitřní energie* ( $U$ ), s níž pracuje termika a termodynamika. Mikroskopický kinetický energiový stav elektricky vodivých těles je podstatou vzniku elektrického proudu, jako usměrněného pohybu nabitých částic, je-li vodič připojen ke zdroji o elektrickém napětí. Elektrický proud, jako zdroj magnetického pole, je dán kinetickým energiovým stavem nabitých částic. Magnetickou energii pole lze tak chápat jako složku kinetické energie nabitých částic, i když se společně s elektrickou (potenciální) energií vhodně vyčleňuje jako samostatná složka energie – *elektromagnetická energie* ( $E_{em}$ ).<sup>2</sup>

**Potenciální energiový stav** objektu (těles, částic a jejich soustav) souvisí s jejich polohou (konfigurací) v konzervativních silových polích, vytvořených jinými tělesy. Tento stav popisuje veličina *potenciální (polo-*

---

<sup>2</sup>V případě polí je vhodnější pracovat s hustotou energie pole, tedy v daném případě s hustotou energie elektromagnetického pole, tj. s energií vztaženou na jednotkový objem v daném místě pole.

*hová*) energie ( $E_p$ ), např. gravitační energie, elektrická (elektrostatická) energie. Tato energie je určena až na konstantu – při výpočtu (či měření) je nutné volit nulovou (resp. vztažnou) hladinu energie. Makroskopicky k potenciální energii patří také *tlaková* potenciální energie tekutin a potenciální energie *pružnosti* deformovaných pružných těles. Mikroskopicky se zde však jedná o komplexní změnu kinetického a potenciálního energetického stavu mikročástic (zejména u plynu je tlak a tlaková energie projevem změny kinetického energetického stavu molekul plynu při interakci molekul se stěnou nádoby). Mikroskopická potenciální energie pevných a tekutých těles se rovněž zahrnuje do vnitřní energie (viz dále).

**Strukturální energetický stav** objektu (těles, částic a jejich soustav) souvisí s vazbou složkových objektů do strukturálních soustav (mikroskopických i makroskopických). Tento strukturální stav popisuje *vazební energie* ( $E_v$ ). U atomů jde např. o jadernou energii (vazební energii nukleonů v jádře), ionizační energii (vazební energii jednotlivých elektronů v obale atomu) a vazební energii atomů v molekule či atomové mřížce u krystalů. Tyto jmenované případy se v širším slova smyslu rovněž zahrnují do vnitřní energie těles (viz např. [12]). Do kategorie energie strukturálních soustav makroskopických těles se zahrnuje např. gravitační vazební energie vesmírných těles – např. Země, Slunce, Galaxie (viz např. [5]).

Přísně vzato by energetický potenciální stav soustavy těles či částic bylo možné zahrnout do energetického strukturálního stavu, avšak vzhledem k tradici zavedené v klasické mechanice je tento stav popsán odděleně, jak je uvedeno. Jde o účelné oddělení, které je velmi výhodné v klasické mechanice i v teorii elektromagnetického pole a v kvantové fyzice.

**Vnitřní energie** tělesa (pevného či tekutého). K tomuto pojmu je třeba poznamenat, že v moderních učebnicích fyziky (např. [12]) se vnitřní energie chápe ve dvou významech. V širším komplexním významu zahrnuje:

- celkovou kinetickou energii  $U_k$  tepelného pohybu částic, které tvoří soustavu tělesa,
- celkovou potenciální energii  $U_p$  částic, jejich vzájemného silového působení,
- energii elektronů v elektronových obalech atomů a iontů,
- energii jader atomů.

Při zkoumání tepelných dějů, kterými se zabývá termika a zvláště termodynamika, se pojem vnitřní energie látky omezuje jen na první dvě uvedené formy, neboť složky podle dalších dvou bodů se při těchto dějích

nemění. Vnitřní energie v užším významu, s níž pracuje nauka o teple, tedy je  $U = U_k + U_p$ . Z hlediska popisovaných energiových stavů těles zahrnuje vnitřní energie v širším slova smyslu mikroskopicky všechny tři zde uváděné složky – energiové stavy (kinetický, potenciální i strukturální).

Energiový stav fyzikálních soustav se v důsledku určitých dějů v prostoru a čase mění – tj. jeden energiový stav částečně nebo úplně přechází do jiného stavu (anebo se jenom mění energiový stav určitého typu ve své vnitřní struktuře), avšak celková energie se při změnách v izolované soustavě zachovává – *zákon zachování energie* ( $E = E_k + E_p + E_v = \text{konst.}$ ). Je třeba podtrhnout, že tato formulace platí pro klasickou fyziku.

Energii je ve fyzice nutné vztáhnout na objekt, ke kterému se váže a jako každá veličina musí být principiálně měřitelná. Energii lze rovněž určit výpočtem jako (fyzikální) práci, která se musí vykonat na dosažení příslušného energiového stavu objektu. Lze také použít relativistický vztah  $\Delta E = \Delta mc^2$ . Tento výpočet je proveden nebo naznačen u řady případů v pracích [5, 9] (viz rovněž poznámku pod čarou 1).

## Energie a moderní fyzika

V moderní fyzice je dominantní postavení energie, jako fyzikální veličiny, poněkud oslabeno. Nejprve se zaměříme na **relativistickou fyziku**. Nechť se v inerciální vztázně soustavě nachází objekt, např. volná částice, o klidové hmotnosti  $m_0$ . Částice nechť se ve zvolené soustavě nachází v klidu. Má-li dojít ke změně tohoto energiového stavu, je nutné na částici působit silou  $\mathbf{F}$ , která bude konat práci. Uvažujme element dráhy  $d\mathbf{l}$ . Protože změna polohy se děje ze stavu klidu, mají oba vektory stejný směr a výpočet lze provést přímo skalárně. Postupně pro element práce  $dW$  a element přírůstku kinetické energie  $dE_k$  vychází

$$\begin{aligned} dW &= \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = F dl = \frac{dp}{dt} dl = v d(mv) = \\ &= v(vdm + m dv) = mv dv + v^2 dm = dE_k, \end{aligned} \quad (1)$$

Pro pokračování ve výpočtu má rozhodující význam veličina hmotnost  $m$ .

a) Klasická fyzika hmotnost chápe jako veličinu, která je mírou setrvačných a gravitačních účinků těles a také jako míru množství látky. Tedy  $m = \text{konst.}$  a  $dm = 0$ . Pak z (1) plyne

$$dW = mv dv = d\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = dE_k, \quad \text{neboli } E_k = \frac{1}{2}mv^2, \quad (2)$$

což je klasický výraz pro výpočet kinetické energie.

b) Relativistická fyzika je vázaná principem konstantní rychlosti světla ve vakuu  $c$ , která je současně mezní rychlostí všech materiálních objektů. Důsledkem je vzrůst hmotnosti s rychlostí  $v$  podle vztahu

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}. \quad (3)$$

Z toho plyne  $m^2(c^2 - v^2) = m_0^2 c^2 = \text{konst.}$ , protože  $m_0$  a  $c$  jsou konstantní. Odtud diferencováním je

$$mv \, dv + v^2 dm = c^2 dm.$$

Dosazením tohoto vztahu do (1) dostaneme pro element kinetické energie vztah

$$dE_k = c^2 dm, \quad (4)$$

neboli přírůstek kinetické energie částice ve vztažné soustavě se projeví jako přírůstek její hmotnosti. Pokud je částice urychlena z klidového stavu, kdy je  $v = 0$  a částice má klidovou hmotnost  $m_0$ , do obecného energiového stavu při rychlosti  $v$ , bude po integraci vztahu (4) platit

$$E_k = (m - m_0)c^2 = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right) m_0 c^2, \quad (5)$$

Neboli  $E = E_0 + E_k$ , kde

$$E = mc^2, \quad E_0 = m_0 c^2 \quad (6)$$

je *celková energie* a *klidová energie* částice (tělesa). Tyto poznatky relativistická fyzika zobecňuje pro energie ve všech výše popsaných energiových stavech objektů.

Vztahy (6) těsně váží dvě fyzikální veličiny, popisující nezákladnější vlastnosti hmoty – veličiny, jejichž souvislost klasická fyzika neznala. To mění i dva oddělené klasické zákony zachování – zákon zachování energie a zákon zachování látky. V relativistické fyzice se do celkové energiové bilance musí zahrnout i energie ekvivalentní klidové energii soustavy – formuluje se *zákon zachování hmotnosti–energie*. Pro soustavu částic se při ději celková hmotnost–energie soustavy zachovává:

$$\sum (m_0 c^2 + E_k + E_p + E_v) = \text{konst.} \quad (7)$$

Zákon zachování hmotnosti–energie v izolované fyzikální soustavě je charakteristikou stálosti celkové hmotnosti a energie jako fyzikální veličiny.

Na úvahy o energii z hlediska obecné relativity se také zaměřuje příspěvek J. NOVOTNÉHO [3], proto se odkazujeme na něj.

Nyní několik poznámek k energii z hlediska **kvantové fyziky**, která do fyziky nejprve přinesla jev kvantování energie. Jev byl roku 1900 nejprve teoreticky poznán M. PLANCKEM u infračerveného záření, poté u světla a dalších složek elektromagnetického vlnění/záření. Kvantum energie záření o úhlové frekvenci  $\omega$  je

$$\varepsilon = \hbar\omega, \quad \text{kde } \hbar = 1,054\,571\,800(13) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

Podle první Heisenbergovy *relace neurčitosti* je poloha částice (na ose  $x$ ) a složka její hybnosti  $p_x$  určitelná s nepřesností  $\Delta x$  a  $\Delta p_x$  podle vztahu  $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$ . Tato relace narušuje výše uvedený výpočet elementu práce podle vztahu (1) – v důsledku neurčitosti polohy a hybnosti (resp. rychlosti) vzniká také neurčitost v určení energie  $\Delta E$ . Tuto neurčitost formuluje druhá Heisenbergova relace neurčitosti:  $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$ . Podle ní je při měření v časovém intervalu  $\Delta t$  energie měřitelná s nepřesností  $\Delta E$ , neboli s nejmenší možnou chybou  $\Delta E = \hbar/2\Delta t$ .

Uvedené úvahy a výpočty sice z hlediska moderní fyziky otupují dominantu energie jako fyzikální veličin, avšak nesnižují její význam z hlediska fyziky jako takové a většiny jejích technických aplikací (s výjimkou např. jaderné energetiky a některých aplikací polovodičů).

## Energetika a pojem energie

Samotný pojem „energetika“ našemu pohledu na pojem energie nevádí, i když je od pojmu (fyzikální veličiny) energie odvozen. Z fyzikálního hlediska jsou však nepřístupná označení některých předmětu a činností energetiky, a to v širších souvislostech. Jako je „výroba energie“, „dodávka energie“, „spotřeba energie“, „úspora energie“, „zdroje energie“, „ložisko energie“, „uskladnění energie“ aj., neboť nevyjadřují fyzikální veličinu a jsou také v rozporu s formulací zákona zachování energie, formulovaným ve fyzice, jak již bylo zmíněno. Řešením je opis užitím přívlastku „energetický“ ([4, 5, 10]), případně „energiový“. Přípustné jsou tedy pojmy „energetická výroba“, „energetická spotřeba“, „energetický zdroj“, „energetické ložisko“ aj.

Popíšme nyní proces *energetické výroby a spotřeby* ze správného fyzikálního hlediska. Zvolme případ uhelné tepelné elektrárny. Při hoření uhlí



v kotli, neboli při exotermické reakci okysličování uhlíku, dochází ke změnám ve strukturálním energiovém stavu soustavy molekul uhlíku a kyslíku. Makroskopicky pak dochází k tepelné výměně mezi zahřátým ohništěm a vodou v trubkách kotle. Zvětšuje se vnitřní energie molekul vody, která přešla do skupenství páry. Na výstupu z kotle je pára o vysoké teplotě a tlaku, jde tedy o pracovní medium s makroskopicky výrazně změněným potenciálním energiovým stavem. V turbíně pára expanduje, zvětšuje se usměrněná rychlost jejich molekul, přičemž na lopatkách turbíny se mění směr proudění molekul páry – tím dochází ke změně toku vektoru hybnosti páry. Následkem je zvětšení kinetického energiového stavu makroskopické soustavy rotoru turbíny a připojeného rotoru generátoru (alternátoru) elektrického proudu.

Rotující elektromagnety na kotvě (rotoru) alternátoru indukují v cívkách jeho statoru elektrický proud, neboli vznikne usměrněný tok elektronů, jak ve vodičích cívek statoru alternátoru, tak v cívkách nezbytných transformátorů a následně ve vodičích přenosové soustavy na trase mezi elektrárnou a spotřebičem. U střídavého proudu jde o makroskopický tok elektronů oscilující ve směru elementů příslušných vodičů. Tak se mechanický kinetický energiový stav rotoru turbíny a alternátoru mění na elektrický kinetický stav elektronů ve vodičích energetické soustavy. Tento proces vedení proudu všemi zúčastněnými vodiči je také částečně spojen se zvětšováním vnitřní energie částic vodičů a poté i jejich okolí (vzniká energetická ztráta Joulovým teplem). Spotřebičem může být např. klasická žárovka, v jejímž wolframovém vlákne se zvětší vnitřní energie natolik, že dojde k excitaci elektronů (tedy ke strukturálním energiovým změnám v atomech/molekulách wolframu) a k následné emisi fotonů – ke světelnému záření.

V celém procesu popsané energetické výroby a spotřeby došlo k řetězci změn energiových stavů zúčastněných fyzikálních těles. K žádné výrobě ani ztrátě energie v uvažované soustavě samozřejmě nedochází, energie soustavy se zachovává, přičemž prostřednictvím změn energiových stavů v celém procesu této výroby se *mění kvalita energiových stavů*, popsaných příslušnými energiemi těchto stavů, za což spotřebitel musí zaplatit.

## Pojem energie a společnost

Pojem energie byl fyziky původně zaveden jako označení fyzikální veličiny. Rozvoj společnosti od konce 19. století (podmíněný technickými aplikacemi fyziky i rozvojem kultury) rozšířil užívání pojmu energie také

na případy, které s fyzikou souvisí jen okrajově – a s fyzikální veličinou již vůbec ne. Budeme-li např. pečlivě sledovat zprávy v masových sdělovacích prostředcích, zaslechneme úvahy o energii, její výrobě, rozvodu a spotřebě a úsporách, o ceně energií a o energii jako o jednom ze stěžejních bodů politiky našeho státu a Evropské unie, o energii jako předmětu bezpečnostní politiky státu, atd. K tomu je třeba připočítat četné užívání pojmu energie v technické literatuře, v níž mnohdy nemá význam fyzikální veličiny. Nakonec i ve fyzice se někdy slovo „energie“ neužívá jako fyzikální veličina (viz např. zmíněný „transport, resp. přenos, energie“ a „přeměna energie“).

Existuje ještě jedno časté nefyzikální užívání pojmu energie, které je literární nebo lidové a má spíše pocitový charakter, což samozřejmě nemá s fyzikální veličinou nic společného. Viz např. sdělení „Jdu do lesa načerpat energii.“ Zde by z fyzikálního hlediska bylo vhodnější slovo „energie“ nahradit slovem „vitalita“. Toto je sice z fyzikálního pohledu zcela okrajové, avšak vede to k pokřivení tohoto původně jen fyzikálního pojmu ve smyslu měřitelné veličiny.

### **Zavést nový pojem pro energiovou fyzikální veličinu – energita?**

Rozšíření nefyzikálního užívání pojmu energie je v současnosti poměrně značné. Dosažení pojmové čistoty u užívání pojmu energie nebude snadné. Boj proti tomuto „zneužívání“ pojmu, původně zavedeného fyziky pro fyzikální veličinu, je nesnadný (pokud by se vůbec mohl povést). V pracích [4, 5, 10] je navrženo řešení užívat ve fyzice a v navazujících technických oborech pojen energie jen v případech, kdy vyjadřuje principiálně měřitelná fyzikální veličinu. V jiných případech užít přívlastek – přídavné jméno „energetický“ případně „energiový“. O tom již byla výše zmínka. Bylo by tedy třeba i ve fyzice hovořit např. místo o „transportu energie“ správněji o „energiovém transportu“. Nejsme-li si jisti, zda je pojem „energie“ v určitém případě terminologicky použit správně, zkusme pojem nahradit obecným pojmem „fyzikální veličina“ a posudíme, zda spojení dává smysl (např. místo „transport energie“ „transport fyzikální veličiny“). Tento první návrh na řešení problému s pojmem energie se jeví (při dobré vůli jej vůbec řešit) snadno realizovatelný.

Naskytá se otázka, zda při řešení tohoto problému nejít radikálněji, podobnou cestou, jakou šla fyzika přibližně před padesáti lety, kdy se řešil spor s filozofy o pojem *hmota*. Tehdy fyzikové filozofům ustoupili a na návrh prof. Zdeňka Horáka zavedli fyzikální veličinu *hmotnost*. Autor tohoto

příspěvku navrhuje zvážít, zda i v případě energie rozlišovat dva svou podstatou související pojmy – vedle energie nový pojem *energita*. Šlo by o dva spolu související pojmy:

- *Energie* jako pojem, který obecně charakterizuje formy pohybu hmoty.
- *Energita* jako energiová fyzikální veličina, která popisuje energiový stav objektu (jako v principu měřitelná fyzikální veličina).

Problém by se tedy řešil zavedením nového jednoduchého pojem „energita“. Návrh na označení energiové veličiny autor této úvahy v květnu 2015 diskutoval s fyzikem Pavlem Voráčkem z Lundu (Švédsko). Za vhodný byl považován právě pojem energita. Je to slovo odvozené od slova energie tak, že koncová samohláska „e“ se nahradí slabikou „ta“. Jde sice o nové nezvyklé, avšak jednoduché slovo. Z jazykového hlediska má tento novotvar strukturu jiných slov, užívaných v obecném i odborném kontextu.<sup>3</sup> Bylo by jen otázkou času, kdy by si na ně lidé zvykli, podobně jak tomu bylo u slova hmotnost. Šlo by o využití pojmu ve všech případech, kde se dosud vyskytovalo slovo energie ve významu fyzikální veličiny, popisující energiový stav objektu. Tedy konkrétně:

- kinetická energita,
- potenciální energita,
- vazební energita,
- vnitřní energita,
- ionizační energita,
- jaderná energita (či vazební energita nukleonů v jádře),
- hustota energy elektromagnetického pole,
- relativistická energita,
- klidová energita objektu,
- zákon zachování energy pro izolovanou soustavu.

---

<sup>3</sup>V češtině není výskyt slov s cizím základem a příponou -ita nebo -ta malý. Uvedme 35 příkladů: ■ slova všeobecně užívaná: kvantita, kvalita, mobilita, vitalita, humanita, genialita, generalita, aktivita, pasivita, naivita, agresivita, banalita, kalamita, kriminalita, sanita, specialita, prosperita, bonita, exklusivita, efektivita, produktivita, kontinuita, imunita komunita, univerzita; ■ fyzikální obor: relativita; ■ fyzikální konstanty: permitivita, permeabilita, susceptibilita, konduktivita; ■ fyzikální veličiny: intenzita (pole), kapacita (kondenzátoru), (kinetická, dynamická) viskozita, hustota (hmotnosti) ■ fyzikálně-technické vlastnosti: elasticita, plasticita. Anglický ekvivalentem slova *energita* by byl výraz *energy* (v analogii např. k výrazu *intensity*).

Pojem „energie“ by mohl být tedy zachován ve všech ostatních případech, kdy má v podstatě neměřitelný abstraktní obsah. Jako je transport energie, přeměna energie aj. Také tak, jak se s tímto pojmem dosud setkáváme ve společenském styku, v masových sdělovacích prostředcích, v politice, jak bylo uvedeno. Také v řadě případů i v technice (s výjimkou uvedených případů, kdy by se užívala „energita“ jako fyzikální veličina).

Přípustné pojmy energie a pojmy s energií spojené (obecně vyjadřující abstraktní obecnou charakteristiku formy existence a pohybu hmoty) by nyní měly tento fyzikální význam:

- energie = energiový stav objektu,
- výroba energie = řízený růst (kvality) určitého energiového stavu objektů energetické soustavy (i když raději hovořit o výrobě elektrické energie, o výrobě páry aj.),
- dodání energie = vzrůst energiového stavu příslušného objektu soustavy,
- rozptyl energie = snížení energiového stavu objektu (zvýšení jeho entropie),
- zdroj energie = zařízení či objekt ke změně (růstu) energiového stavu,
- degradace energie = proces, kdy roste entropie objektu, čímž se snižuje kvalita jeho energiového stavu.

Provedení této terminologické změny by nebylo obsahově náročné. Nicméně by záviselo na vůli fyziků – nejen učitelů fyziky, nýbrž i odborných fyziků a techniků – zpřesnění přijmout a prosazovat. Podobně, jak tomu bylo u pojmu hmotnost. Začít by se muselo při přípravě učitelů a v nových učebnicích fyziky a učebnicích na odborných školách. I tak by trvalo minimálně jednu generaci ( $\sim 20$  let), než by se s pojmem energie konečně udělal terminologický pořádek.

## **Příklady jiných kolizních fyzikálních pojmů**

Při budování fyzikálního pojmosloví byla z obecného jazyka převzata řada slov, kterým byl dán fyzikální obsah. Často jde o fyzikální veličiny. Na některé problémy s tím spojené autor tohoto článku již upozorňoval [10]. Na rozdíl od pojmu energie, který je primárně fyzikálním pojmem, jde o slova obecná, kterým fyzika dává specifický obsah, což by se mělo i patřičně slovně vyjádřit. Uvedme několik důležitých příkladů

- **Síla** – v obecném jazyce toto slovo může mít roztodivný význam (např. síla osudu). Ve fyzice jde o významnou měřitelnou veličinu, která je mírou silového působení, resp. interakce, mezi fyzikálními objekty. Její význam ve fyzikálních aplikacích vyplývá z kontextu příslušného výkladu, avšak je vhodná bližší specifikace, vyjádřená např. symbolem ( $\mathbf{F}$ ) anebo označením *vektor síly*. Protože jde o fyzikální veličinu, není správné (přísně vzato) např. rčení: „že sílu někde nechat působit. . .“, protože by se zde zaměnil jev (tj. interakce) s veličinou, která je mírou tohoto jevu (tj. silou).
- **Práce** – je slovo, které má v obecném jazyce velkou frekvenci a mnoho nefyzikálních významů (např. duševní práce, instituce: úřad práce, ministerstvo práce, . . .). Fyzika je převzala k vyjádření míry dráhového účinku síly (přesněji interakce vyjádřené silou). Pojem práce by se měl ve fyzice (alespoň v základu) blíže specifikovat a veličinu označit *fyzikální práce*.
- **Hustota** – opět slovo z obecného jazyka s různým významem (např. hustota provozu, hustota obyvatelstva). Fyzikální využití pojmu k definici veličiny vyžaduje specifikaci (hustota *hmotnosti*, hustota *náboje*, hustota *energie pole*). Používání pojmu hustota bez vyznačené specifikace (u hmotnosti) je na zvážení.
- **Intenzita** – je obecně užívaný pojem (např. intenzita prožitku). Ve fyzice se k vyjádření veličiny (zde bez problémů) blíže specifikuje, např. intenzita *elektrického pole*, přičemž při opakovaném užití lze specifikaci vyjádřit symbolicky, např. intenzita  $\mathbf{E}$ .
- **Kapacita** – opět slovo převzaté z obecného jazyka (např. kapacita sálu). Ve fyzice vyžaduje specifikaci: kapacita *vodiče* nebo *kondenzátoru*, *tepelná kapacita*.
- **Náboj** – pojem převzatý z vojenství (např. náboj pistole) se k označení fyzikální veličiny specifikuje, např. elektrický náboj. Je třeba opět upozornit na nesprávnou manipulaci s tímto pojmem – např. při formulaci Coulombova zákona. Silově na sebe nepůsobí elektrické náboje  $q_1$ ,  $q_2$ , nýbrž částice o elektrických nábojích  $q_1$ ,  $q_2$ .

## Literatura

- [1] *Trkal, V.*: Mechanika hmotných bodů a tuhého tělesa. NČSAV, Praha, 1956.  
 [2] *Obdržálek, J.*: Potenciální energie, potenciál. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, roč. 42, č. 5 (1997), s. 234–238.

- [3] *Novotný, J.*: Otázky nad energií. In: *Nové trendy ve fyzice. Sborník příspěvků konference. Vysoké učení technické v Brně, FEI, 15.–16. 11. 2001*, s. 32–45.
- [4] *Vybíral, B.*: Is the term “energy” in physics (and outside it) used always correctly? Je pojem „energy“ užíván ve fyzice (a mimo ni) vždy správně? In: *32th International Colloquium on the Acquisition Process Management, May 22, 2014, Brno, University of Defence, Faculty of Economics and Management*, s. 245–250.
- [5] *Vybíral, B.*: O užívání pojmu energie ve fyzice i mimo ni. *Obzory matematiky, fyziky a informatiky*, roč. 44 (2015), č. 3, s. 39–44 (1. část), č. 4 (dokončení), s. 29–38.
- [6] *Schlichting, H. J. – Backhaus, U.*: From energy devaluation to exergy. In *Marx, G. (Ed.) Entropy in the School. Proceedings of the 6th Danube Seminar on Physics Education, vol. I, II, Budapest, 1983, Roland Eötvös Physical Society*, s. 228–240.
- [7] *Schlichting, H. J. – Backhaus, U.*: *Physikunterricht 5–10. Urban und Schwarzenberg, München, 1981.*
- [8] *Mechlová, E.*: Vytváření fyzikálních pojmů u žáků. *Projekt SVZZ. Ostravská univerzita, Ostrava, 2014*, s. 119–129.
- [9] *Zelenka, J., Vybíral, B., et al.*: *Kognice prostoru. Kap. 7: Fyzikální pohled na prostor. Gaudeamus, Hradec Králové, 2014*, s. 89–194.
- [10] *Vybíral, B.*: Problematika pojmu energie. In: *DIDFYZ 2014. Zborník abstraktov a príspevkov (na CD-ROM) z XVIII. medzinárodnej konferencie. Univerzita Konštantína Filozofa, Nitra, 2016 (v tisku).*
- [11] *Halliday, D. – Resnick, R. – Walker, J.*: *Fyzika. Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Překlad z anglického originálu za redakce B. Lencové, J. Obdržálka a P. Duba, 2. přepracované vydání, VUTIUM, Brno, 2014.*
- [12] *Svoboda E. et al.*: *Přehled středoškolské fyziky. Prometheus, Praha, 1996.*

## Poznámka redakce

Fyzikální terminologie se neustále vyvíjí. Připomeňme třeba již samotný název disciplíny, který se v roce 1958 změnil z fysiky na fyziku. Ale objevují se zcela nové termíny, označující zejména technické aplikace fyzikálních poznatků. Nejnověji je to např. elektroluminiscenční zdroj světla, jehož název vznikl překladem anglického termínu „LED bulb“ na „LED žárovka“. Je neuvěřitelné, jak rychle se tento, z fyzikálního hlediska nesmyslný název vžil a je otázka, zda ho vytlačí termín lumidka, navržený *J. Valentou* a *I. Pelantem* (<http://casopis.vesmir.cz/clanek/doba-ledova>).

Terminologickým vývojem však procházejí i klasické, historicky vzniklé pojmy, jejichž obsah se s vývojem fyziky obohacuje. Připomeňme již uvedený příklad dnes běžně užívaného pojmu hmotnost, jehož zavedení navrhl *prof. Z. Horák*. Významová různorodost charakterizuje rovněž pojem energie. Reakce MFI by přivítala, kdyby se čtenáři k diskutovanému pojmu a k terminologickým návrhům v příspěvku *B. Vybírala* vyjádřili.