



METODICKÝ POSTUP VÝPOČTU ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI PRODUKCE PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU

Ing. Miroslav Mareš
Doc. Ing. Roman Povýšil, CSc.
Doc. Ing. Milan Jäger, CSc.

autorizace

zpracoval:

Ing. Miroslav Mareš

Doc. Ing. Roman Povýšil, Csc.

Doc. Ing. Milan Jäger, CSc.

schválil:

Ing. Miroslav Mareš

| | Obsah | strana |
|----------|---|---------------|
| 1 | Úvod | 4 |
| 2 | Náročnost energie na prvotní energetické zdroje | 4 |
| 3 | Základní dělení náročnosti | 8 |
| 4 | Komplexní náročnost | 10 |
| 5 | Příklad výpočtového postupu komplexní energetické náročnosti | 12 |
| 6 | Prostá náročnost | 15 |
| 7 | Příklad výpočtového postupu prosté energetické náročnosti | 19 |
| 8 | Shrnutí | 23 |

1 Úvod

Každý výrobek je výsledkem řady výrobních fází, dopravy a skladování. Souhrn procesů je spojen s určitou spotřebou různých forem energie a ztrát, které lze členit na energetické ztráty v technologických procesech a na spotřebu energie. Určité množství energie vstupující do spotřebiče vyvolává nároky na prvotní zdroje energie spotřebičem. Množství prvotních energetických zdrojů, které je třeba získat na jednotku určité formy energie odebrané technologickým spotřebičem produkujícím určitý výrobek, nazýváme energetickou náročností.

Tyto ukazatele slouží k analýze výrobních procesů probíhajících v průmyslovém podniku a jejich znalost umožňuje hledat cesty snižování energetické náročnosti produkce a tudíž i k úsporám prvotních energetických zdrojů a tedy i k environmentálním efektům a zvyšování ekonomické konkurenceschopnosti.

Vypracovaný produkt si kladl za cíl vysvětlit podstatu problému, definování základních pojmů energetické náročnosti a stanovení postupových kroků při výpočtu energetické náročnosti průmyslové produkce.

2 Náročnost energie na prvotní energetické zdroje

Zabývejme se nejprve náročností energie na prvotní energetické zdroje.

Každý „energetický výrobek“ resp. forma energie určená ke konečné spotřebě (palivo, tepelná energie, elektrická energie, stlačený vzduch aj.) je výsledkem řady energetických procesů uskutečňovaných v energetických (technologických) zařízeních. Souhrn těchto procesů, tj. v obecném případě těžba paliv, jejich úprava a zušlechťování, přeměna energie, doprava energie a skladování energie, je spojen s určitou spotřebou různých forem energie včetně zkoumané formy a se vznikem ztrát.

Ztráty energie lze rozčlenit do dvou charakteristických skupin:

- 1) energetické ztráty v energetických (technologických) procesech, tzn. ztráty v procesech počínaje těžbou (získáváním) energie a dopravou zkoumané formy energie do spotřebiče konče;
 - 2) energetické ztráty vyjádřené spotřebou energie všech forem, které je třeba k uskutečnění
-

energetických procesů.

V zásadě vycházíme z toho, že určité množství energie, libovolné formy, vstupující do spotřebiče, vyvolá nárok na prvotní energetické zdroje, který je v každém případě větší než množství energie tímto spotřebičem spotřebované. Rozdíl mezi těmito množstvími je pak roven ztrátám v energetických procesech a spotřebě energie dodané k uskutečnění energetických procesů od těžby až po vstup do spotřebiče.

Náročností určité formy energie na prvotní energetické zdroje rozumíme množství prvotních energetických zdrojů, které je třeba k vyprodukování jednotky této formy energie odebrané spotřebičem.

Například pro elektrickou energii to bude „náročnost elektrické energie na prvotní energetické zdroje“ zkráceně „náročnost elektrické energie“ apod.

Náročnost je ukazatel, který obvykle vyjadřujeme v těchto jednotkách:

- velikost nároku na prvotní energetické zdroje v J a násobcích, převážně GJ;
- spotřeba zkoumané formy energie v příslušných jednotkách, např. GJ, MWh, 10^3 m^3 apod.

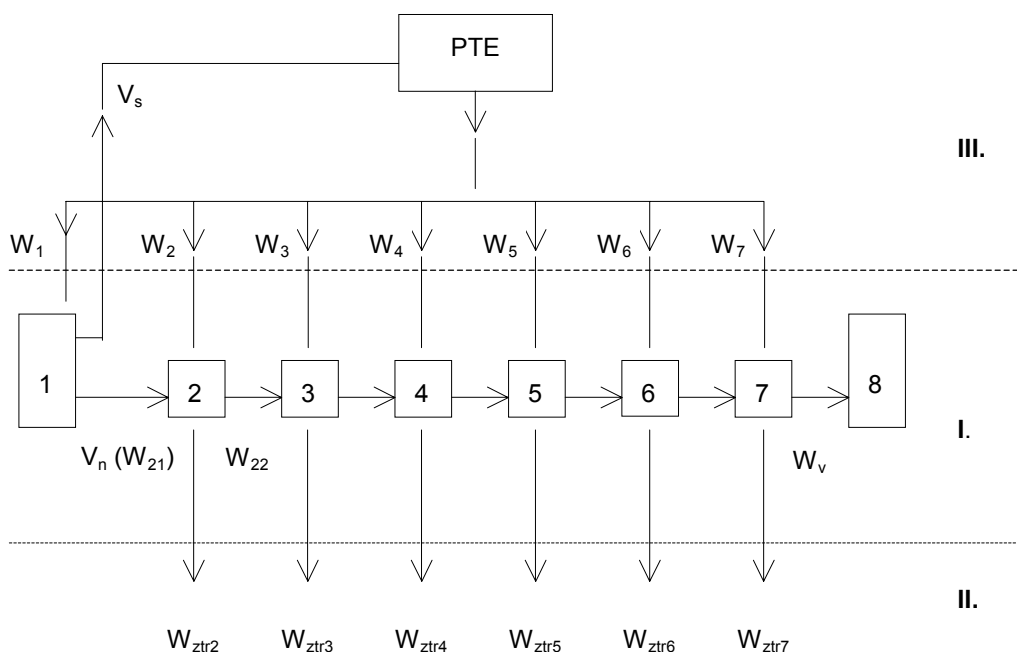
Na obr. 1 je znázorněno schéma, které ve zjednodušené formě popisuje základní výše zmíněné vazby. Vycházejí z uvedené obecné definice náročnosti a s přihlédnutím k tomuto schématu, můžeme zformulovat výsledný vztah tzv. prosté náročnosti pro libovolnou zkoumanou výslednou formu energie:

$$n = \frac{V_n + V_s}{W_v} \quad [\text{GJ/jednotka}] \quad (1)$$

kde:

- n - prostá náročnost zkoumané výsledné formy energie [GJ/jednotka];
- V_n - energie získaná v prvotních energetických zdrojích, vstupující do procesů, jejichž produktem je zkoumaná výsledná forma energie [GJ];
- V_s - energie získaná v prvotních energetických zdrojích, kterých je zapotřebí k vyprodukování forem energie, nutných k uskutečnění procesů [GJ];
- W_v - výsledná forma energie vstupující do spotřebiče [jednotka].

Obr.1 Schéma energetické náročnosti



kde

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1.....těžba (získávání) energie | 5.....přeměny energie |
| 2.....skladování energie u zdrojů | 6.....doprava energie |
| 3.....úprava energie | 7.....skladování energie u spotřebitelů |
| 4.....zušlechťování energie | 8.....spotřebič |

a

- I. Oblast energetických (technologických) procesů nutných k vyprodukování výsledné formy energie
- II. Oblast energetických ztrát vznikajících v energetických procesech
- III. Oblast transformací energie, zajišťující potřeby nezbytných forem energie nutných k uskutečnění jednotlivých energetických procesů

Z uvedeného obrázku je patrné, že náročnost zkoumáme v rámci tří oblastí.

Prvá oblast zahrnuje energetické (technologické) procesy, které jsou nutné k tomu, abychom získali zkoumanou formu energie vstupující do spotřebiče. Počet těchto procesů, které můžeme rovněž označit jako transformace energie, je určen charakterem zkoumané formy energie. Např. v případě tříděného uhlí jde o procesy těžby (získávání) uhlí, skladování uhlí na dole (není podmínkou), úpravu

uhlí, dopravu uhlí, skladování uhlí u spotřebitele až po jeho přivedení do spotřebiče. V případě elektrické energie jde v podstatě o téže procesy jako v předešlém případě, tj. procesy těžby (získávání), skladování, úpravy, dopravy a skladování (u spotřebitele) uhlí, a dále o procesy přeměny energie (tj. procesy výroby tepla a následně elektrické energie), dopravy elektřiny včetně jejích transformací až po její přivedení do spotřebiče.

K uvedeným schématům je nutno připomenout, že se někdy z ryze praktických důvodů spojují některé procesy v jeden proces, čímž se úloha zjednoduší a umožní se i její konkrétní řešení. Jde zejména o ty procesy dopravy energie, bez nichž nejsou ostatní procesy realizovatelné, avšak z hlediska energetických nároků jsou méně významné. V těchto případech předpokládáme, že doprava energie je zahrnuta do jednoho z nejbližších energetických procesů. Např. doprava energie mezi procesem těžby a úpravy uhlí je zahrnuta v úpravě uhlí atd. Dopravu energie zkoumáme samostatně pouze tehdy, kdy se lze na základě předběžné analýzy domnívat, že významným způsobem ovlivní náročnost, nebo je procesem, který je z hlediska našeho zkoumání důležitý.

V některých případech můžeme náročnost zkoumané formy energie členit na několik náročností podle jednotlivých forem energie, tak jak se v řetězci energetických procesů od získání energie až po spotřebič vyskytují. Např. náročnost elektrické energie můžeme rozdělit na náročnost uhlí a na náročnost transformací energie od vstupu do energetické výroby až po spotřebič elektrické energie. Výsledná náročnost pak bude součtem náročností dílčích technologických fází, na které byl řetězec uvažovaných energetických procesů vhodně rozdělen.

Druhá oblast zkoumání náročností je oblastí ztrát, vznikajících v jednotlivých energetických procesech. Přitom ztráty při těžbě (získávání) energie neuvažujeme. První potřebnou informací pro zkoumání energetické náročnosti je proto množství vytěženého paliva, tzn. že hrubou účinnost tohoto prvního energetického procesu považujeme za rovnu jedné.

Ztráty druhé oblasti zkoumání náročnosti jsou ve své podstatě fyzikálními ztrátami transformací energie v jednotlivých energetických procesech. Lze je formulovat takto:

$$W_{ztr i} = (W_{i1} + W_i) - W_{i2} \quad [GJ] \quad (2).$$

Třetí oblastí je oblast transformací energie, která zajišťuje potřeby daných forem energie pro uskutečnění jednotlivých transformací energie v příslušných energetických procesech. I když podle schématu je energie dodávána prakticky do všech procesů, nemusí tomu tak být vždy. Např. zahrneme-li energii potřebnou pro dopravu uhlí ze skládky na dole do spotřeby energie pro úpravě uhlí, nebude spotřeba W_2 uvažována. Obdobně tomu může být např. u přeměny energie (energetický proces č. 5), odebíráme-li energii W_5 přímo z vlastního procesu transformace jako vlastní spotřebu.

Energii, kterou dodáváme do všech procesů ve formě paliva (P), tepla (T) a elektrické energie, musíme

vyrobit. Pro tuto výrobu energie je třeba z energetického procesu č. 1 dodat odpovídající množství prvotních energetických zdrojů – V_s .

Z výše uvedeného je patrná snaha o co největší zjednodušení zkoumané problematiky, což je zvláště markantní právě ve třetí oblasti. Průběh toků energie bývá ve skutečnosti podstatně složitější; pro náš případ však je uvedené schéma postačující.

3 Základní dělení náročnosti

Náročnost můžeme členit podle následujících hlavních hledisek:

- a) *hledisko intervalové,*
- b) *hledisko plánovací,*
- c) *hledisko podrobnosti.*

ad a/

Náročnost vyčíslujeme převážně v relativně delších časových intervalech. Za optimální je možné považovat roční interval, neboli náročnost vyčíslenu jako roční průměrnou hodnotu zkoumané formy energie. Nedostatek informací, ale zejména však účel, jemuž mají náročnosti hlavně sloužit – sledování jejich vývoje v čase, vylučují možnost resp. nutnost tvorby okamžitých hodnot náročnosti.

ad b/

Z plánovacího hlediska můžeme členit náročnosti na výsledné a plánové. Výsledné náročnosti jsou konstatováním dosažených hodnot pro zkoumanou formu energie. Jsou sestavovány na základě hodnot uvedených ve výsledných energetických bilancích, jakož i pomocí dalších potřebných ukazatelů. Plánové náročnosti vycházejí z údajů dlouhodobějších prognóz. Jejich objektivní vyčíslení je závislé na celé řadě předpokladů, např. na reálném stanovení parametrů nově zaváděných nebo měnících se energetických procesů (technologií), na dodržování technologické kázně, splnění předpokládané doby uvedení nových agregátů do provozu, zvláště těch, které se svými parametry liší od agregátů stávajících atd.

ad c/

Podle hlediska podrobnosti rozeznáváme náročnosti průměrné a zvláštní. Průměrné náročnosti sestavujeme v těch případech, kdy nejsme schopni nalézt tzv. energetickou dvojici, tzn. že ku zkoumanému spotřebiči, nebo skupině spotřebičů určité formy energie, nelze přiřadit příslušného výrobce této formy energie. Tak je tomu např. u elektrické energie. Diskutovat je možné o nalezení energetické dvojice u spotřebičů instalovaných v závodech, majících vlastní závodní elektrárnu či teplárnu a v převážné většině doby roku neodebírají, ale naopak dodávají elektrickou energii do

veřejné sítě. V každém případě jsou tyto závodní zdroje napojeny na elektrizační soustavu a jí ve větší či menší míře ovlivňovány.

U tuhých a v některých případech i kapalných a plyných paliv je naopak znalost konkrétního dodavatele předpokladem uskutečnění dodávky. Spotřebitel je totiž nucen k zajištění optimálního provozu svých agregátů požadovat takový druh paliva, který by svými vlastnostmi a parametry co nejvíce odpovídal požadavkům technologického procesu.

Zvláštní náročnosti vyčíslujeme v případech, kdy jednoznačně určíme energetickou dvojici, např. jak bylo uvedeno u uhlí, kdy pro konkrétního odběratele a zkoumané uhlí známe konkrétního dodavatele, tj. důl.

V případě makroekonomických úvah, tj. na celostátní úrovni je ovšem nutné vycházet z průměrné náročnosti zkoumaného uhlí, která se stanoví pro celostátně průměrný spotřebič. Podobně by bylo možno postupovat v případě výpočtu náročnosti určitého druhu tuhých paliv, např. černého či hnědého uhlí.

Zahrneme-li do našeho zkoumání náročností ještě konečný článek řetězce energetických procesů resp. transformací, jímž je vlastní spotřebič a dále neenergetické výrobky, můžeme náročnost členit z hlediska úplnosti zkoumaných transformací energie na:

- ***náročnost prostou,***
- ***náročnost finální a***
- ***náročnost komplexní.***

Náročnost prostá charakterizuje procesy: těžby (získávání) energie, úpravy energie, zušlechťování energie, dopravy energie a skladování energie u spotřebitele. Nezahrnuje tedy vlastní spotřebič nebo soubor spotřebičů. Zkoumá konkrétní formu energie vstupující do spotřebiče nebo souboru spotřebičů.

Náročnost finální vychází z náročnosti prosté a dále zahrnuje proces transformace energie ve vlastním spotřebiči nebo souboru spotřebičů. Nárok na prvotní energetické zdroje se vztahuje k tzv. finální práci spotřebiče nebo souboru technologicky stejnorodých spotřebičů. Finální práci se rozumí užitečná energie potřebná ke zhotovení výrobku, nebo k provedení dané služby. Poměr finální práce ku energii přivedené do spotřebiče nám pak vyjadřuje průměrnou účinnost transformace energie zkoumaného spotřebiče.

Finální náročnost vyčíslujeme buď pro zkoumanou formu energie, nebo definovaný technologický proces a výrobek či službu. K tomu je třeba podotknout, že určení velikosti finální práce bývá někdy velmi obtížné a vyžaduje sestavení podrobné energetické bilance spotřebiče (množství mechanické práce na hřídeli motoru, množství vyzářené světelné energie, množství tepla předaného vytápěné místnosti atd.).

Náročnost komplexní vyčíslujeme pro neenergetické výrobky. Prvotním je v tomto případě zkoumání řetězce všech neenergetických technologických procesů od získání neenergetických surovin, výrobu materiálů, výrobu polotovarů až po zkoumaný výrobek. Pomocí měrných spotřeb použitých forem energie ve všech výrobních fázích nutných pro zhotovení zkoumaného výrobku a příslušných prostých náročností uvažovaných forem energie získáme komplexní energetickou náročnost zkoumaného výrobku nebo skupiny stejnorodých výrobků. Nejjednodušší je výpočet náročnosti pro jeden konečný výrobek, nejobtížnější pak v případě produkce více různorodých výrobků, jejichž jednotlivé výrobní fáze probíhají ve stejných technologických procesech resp. technologických zařízeních.

4 Komplexní náročnost

Jak bylo již uvedeno, náročnost prostá zkoumá tok energie od zdroje, tj. od prvotního energetického zdroje až po vstup dané formy energie do spotřebiče. Naproti tomu komplexní náročnost zkoumá ve své podstatě materiálový tok od získání surovin až po hotový výrobek.

Každý výrobek, pracovní prostředek nebo spotřební předmět, je výsledkem řady výrobních fází. Počátek je nutno spatřovat v dobývání pracovního předmětu v jeho prvotní formě, kterou je těžba surovin. Výsledky jednotlivých výrobních fází, které již nejsou surovinami, nazýváme polotovarem. V poslední výrobní fázi získáme výrobek. Při aplikaci uvedeného postupu na konkrétní výrobek bude zřejmě zkoumaná problematika mnohem složitější, protože jsme nuceni analyzovat řadu systémů s jejich vazbami.

Počátkem našeho zkoumání jsou tedy suroviny. Podle toho, jak se suroviny účastní tvorby hmotné podstaty výrobku, jakou mají funkci ve výrobě, můžeme je z hlediska našeho zkoumání rozdělit na:

- a) základní, tzn. takové, které tvorí hmotnou podstatu výrobku, jsou jeho základní (hlavní) substancí, např. železná ruda při výrobě surového železa;
- b) pomocné, které pouze v určité míře zhotovení výrobku napomáhají, např. paliva a ostatní formy energie, pomocné suroviny mohou být buď energetické (převážně), nebo i neenergetické.

K tomu, abychom mohli provádět rozbor energetického hospodářství organizace (podniku) a plánovat jeho další rozvoj, je nutno znát, jak se pomocné suroviny podílejí na základních surovinách. Tento vztah lze charakterizovat ukazatelem měrné spotřeby pomocné suroviny připadající na jednotku suroviny základní. Známe-li pak měrné spotřeby paliv, tepla a elektrické energie na základní suroviny, polotovary i neenergetické pomocné suroviny na straně jedné a prosté náročnosti použitých forem energie na straně druhé, můžeme vypočítat komplexní ukazatel pro zkoumaný výrobek resp. tzv. komplexní náročnost zkoumaného výrobku na prvotní energetické zdroje. např. komplexní náročnost dané ocelové konstrukce, kterou považujeme za zkoumaný výrobek, odvodíme tak, že celý výrobní proces rozdělíme na následující výrobní fáze: těžba železné rudy, výroba surového železa, výroba surové oceli, vývalek a zhotovení vlastní konstrukce, pomocnými surovinami energetickými jsou uhlí,

teplo, elektřina, vedle toho směsný plyn, vysokopecní plyn a koks (kromě energetického významu má i význam technologický); pomocnými surovinami neenergetickými je vápenec a zjednodušeně i šrot.

Komplexní náročnost může být pro uvedený příklad vyjádřena jako množství energie prvotních energetických zdrojů připadající na 1 t ocelové konstrukce.

Ve zjednodušené formě můžeme náročnost produktu určité výrobní fáze, čili náročnost polotovaru stanovit obecně podle následujícího vztahu:

$$n_X = \overline{n_{PX}} \cdot s_{PX} + n_T \cdot s_{TX} + n_E \cdot s_{EX} \quad [\text{GJ/jednotka}]$$

kde:

n_X - náročnost jednice polotovaru X na prvotní energetické zdroje [GJ/jednotka],

X - polotovar,

$\overline{n_{PX}}$ - průměrná náročnost paliva pro všechny potřebné druhy paliva při výrobě polotovaru X [GJ/GJ],

s_{PX} - měrná spotřeba všech druhů paliv při výrobě polotovaru X [GJ/jednotka],

s_{TX} - měrná spotřeba tepla při výrobě polotovaru X [GJ/jednotka],

s_{EX} - měrná spotřeba elektrické energie při výrobě polotovaru X [GJ/jednotka].

Jak bylo naznačeno, při výrobě polotovaru X nespotřebováváme ve většině případů jen jediný druh paliva, ale více druhů, např. různé druhy uhlí (resp. produktů z uhlí), kapalných paliv, nebo různých plynů.

Potom průměrná náročnost paliva použitého při výrobě polotovaru X bude průměrnou hodnotou, danou vztahem:

$$\overline{n_{PX}} = \sum_{i=1}^l g_{ix} \cdot n_i \quad [\text{GJ/GJ}]$$

kde:

g_{ix} - skladbový koeficient měrné spotřeby i -tého druhu paliva [-],

n_i - náročnost i -tého druhu paliva [GJ/GJ],

l - počet druhů paliv použitých při výrobě polotovaru X [-],

přičemž:

$$g_{ix} = \frac{s_{P_iX}}{s_{PX}}$$

kde:

s_{PX} - měrná spotřeba i-tého druhu paliva na jednici polotovaru X [GJ/jednotka].

Výpočet náročnosti jednice polotovaru X , tak jak je výše uveden, platí za předpokladu, že při výrobě tohoto polotovaru nebylo použito jiných pomocných surovin než energetických. Pokud tomu tak není, je nutné výpočet rozšířit o další položky, tzn. součiny náročností neenergetických pomocných surovin a jejich měrných spotřeb při výrobě polotovaru X .

K tomu je nutno uvést, že formulace náročnosti jednotlivých výrobních fází platí nejen pro výpočet náročnosti na prvotní energetické zdroje pro polotovar a pro zkoumaný výrobek, ale i pro výpočet náročnosti pomocných neenergetických surovin, používaných při výrobě.

Výpočet náročnosti pro zkoumaný výrobek, který již není polotovarem, předpokládá především znalost měrných spotřeb a náročností pro všechny polotovary a pomocné neenergetické suroviny, podílející se na zhotovení výrobku.

Nejvhodnějším a také i nejnázornějším způsobem zobrazení postupu výpočtu komplexní náročnosti výrobku v obecné formě je zápis do tzv. „šachovnicové tabulky“. V podstatě jde o aplikaci metody strukturální analýzy. Úplná šachovnicová tabulka obsahuje m^2 prvků, přičemž převážná část prvků není pro naši potřebu zajímavá a je možné je vynechat.

Abychom mohli náročnosti zapsat do šachovnicové tabulky, seřadíme je v následujícím pořadí:

$n_i \Rightarrow i = 1 \div k$ - pomocné suroviny, tj. paliva, teplo, elektrická energie a ostatní neenergetické suroviny;

$n_i \Rightarrow i = (k+1) \div m$ - polotovary, tj. produkty jednotlivých výrobních fází, seřazené v technologické následnosti.

V šachovnicové tabulce rozlišujeme čtyři kvadranty:

První kvadrant [$i = 1 \div k$; $j = 1 \div k$] jsou náročnosti pomocných surovin na náročnosti pomocných surovin.

Druhý kvadrant [$i = 1 \div k$; $j = (k+1) \div m$] jsou náročnosti pomocných surovin na náročnosti polotovarů.

Třetí kvadrant [$i = (k+1) \div m$; $j = (k+1) \div m$] jsou náročnosti polotovarů na náročnosti polotovarů.

Čtvrtý kvadrant [$i = (k+1) \div m$; $j = 1 \div k$] jsou náročnosti polotovarů na náročnosti pomocných surovin.

5 Příklad výpočtového postupu komplexní energetické náročnosti

Jako příklad komplexní náročnosti výrobku analyzujeme výrobek válcovny, tzn. válcovanou ocel. Pro odvození komplexní náročnosti válcované oceli si nejprve rozčleňme celý výrobní proces od těžby

surovin až po zkoumaný výrobek na následující fáze:

- 1) těžba železné rudy (předpokládáme, že zpracovávanou železnou rudu těžíme),
- 2) těžbu vápence,
- 3) výrobu surového železa,
- 4) výrobu oceli,
- 5) výrobu zkoumaného výrobku, tj. válcování oceli.

Pro jednotlivé polotovary a zkoumaný výrobek pak odvodíme příslušné náročnosti.

- 1) Náročnost železné rudy - n_R :

$$n_R = n_U \cdot s_{UR} + n_T \cdot s_{TR} + n_E \cdot s_{ER} \quad [\text{GJ/t}]$$

kde:

s_{UR} – měrná spotřeba uhlí na těžbu a dopravu rudy [GJ/t],

s_{TR}, s_{ER} – měrná spotřeba tepla, elektrické energie na těžbu rudy [GJ/t, Mwh/t],

n_U, n_T, n_E – prosté náročnosti uhlí, tepla a elektrické energie [GJ/t, GJ/GJ, GJ/MWh].

- 2) Náročnost vápence - n_V :

$$n_V = n_U \cdot s_{UV} + n_E \cdot s_{EV} \quad [\text{GJ/t}]$$

Význam symbolů je obdobný jako v případě ad 1).

- 3) Náročnost surového železa – n_Z :

$$n_Z = n_K \cdot s_{KZ} + n_R \cdot s_{RZ} + n_V \cdot s_{VZ} + n_T \cdot s_{TZ} + n_E \cdot s_{EZ} \quad [\text{GJ/t}]$$

kde: indexy měrných spotřeb (obdobně jako náročností) značí:

K – koks, rozměr měrné spotřeby [GJ/t],

R – ruda, rozměr měrné spotřeby [t/t],

V – vápenec, rozměr měrné spotřeby [t/t].

4) Náročnost oceli – n_O :

$$n_O = n_{\dot{z}} \cdot S_{\dot{z}O} + n_{\dot{s}} \cdot S_{\dot{s}O} + n_{Ps} \cdot S_{PsO} + n_E \cdot S_{EO} \quad [\text{GJ/t}]$$

kde: indexy měrných spotřeb (obdobně jako náročností) značí:

\dot{S} – šrot, rozměr měrné spotřeby [t/t],

P_s – směsný plyn pro vytápění (za předpokladu, že ocel vyrábíme v Siemens-Martinské peci) [GJ/t].

5) Náročnost válcované oceli – n_{VO} :

$$n_{VO} = n_O \cdot S_{OVO} + n_{Ps} \cdot S_{PsOV} + n_T \cdot S_{TVO} + n_E \cdot S_{EVO} \quad [\text{GJ/t}]$$

Rovnice ad 5) je výsledným vztahem náročnosti válcované oceli. Náročnost vyjadřuje, kolik GJ je třeba v prvotních energetických zdrojích vytěžit, abychom mohli vyrobit jednu tunu válcované oceli. Pokud bychom předpokládali, že výroba elektřiny a tepla se uskutečňuje na bázi uhlí, šlo by o GJ vytěžené v uhlí.

V následující tabulce je zachycena tzv. „šachovnicová tabulka“, resp. pouze její část, a to druhý a třetí kvadrant, ostatní kvadranty nemají pro naše zkoumání význam. Tabulka s transponovanými měrnými spotřebami energie - s_{ij} slouží pro obecnou formulaci náročnosti na válcovanou ocel. Obdobně je možné sestavit šachovnicovou tabulku pro odvození náročnosti různých forem energie.

Příklad sestavení náročnosti válcované oceli pomocí šachovnicové tabulky, zahrnující pouze III. a IV.kvadrant tj., nezahrnuje náročnost pomocných surovin a náročnost polotovarů .

Šachovnicovou tabulku pro diskutovaný případ sestavíme následovně:

1. Stanovení polotovarů , tj. výrobků jednotlivých fází technologického procesu a jejich následné seřazení dle technologické následnosti.
2. Kvantifikace pomocných surovin potřebných pro realizaci výroby zkoumaného finálního výrobku, tj. paliva , tepelná a elektrická energie a ostatní suroviny neenergetického charakteru.
3. Kvantifikace energetických náročností na použité polotovary a měrné spotřeby pomocných a základních surovin.

4. Řádky šachovnicové matice tvoří náročnosti jednotlivých technologických fází a sloupce ve třetím kvadrantu jsou tvořeny náročnostmi na pomocné suroviny. Ve čtvrtém kvadrantu jsou pak tvořeny náročnostmi polotovarů technologického procesu.

Šachovnicová tabulka

| | uhlí | teplo | elektřina | koks | směsný plyn | vysoko-pecní plyn | ruda | vápenec | železo | šrot | ocel | válcovaná ocel |
|----------|-------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|-------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| | n_u | n_T | n_E | n_K | n_{Ps} | n_{Pv} | n_R | n_V | n_Z | n_S | n_O | n_{VO} |
| n_R | $n_{u.SUR}$ | $n_{T.STR}$ | $n_{E.SER}$ | - | - | - | n_R | | | | | |
| n_V | $n_{u.SUV}$ | - | $n_{E.SEV}$ | - | - | - | | n_V | | | | |
| n_Z | - | $n_{T.STZ}$ | $n_{E.SEZ}$ | $n_{K.SKZ}$ | - | $n_{Pv.SPvZ}$ | $n_{R.SRZ}$ | $n_{V.SvZ}$ | n_Z | | | |
| n_S | - | - | $n_{E.SES}$ | - | - | - | | | | n_S | | |
| n_O | - | - | $n_{E.SEO}$ | - | $n_{Ps.SPso}$ | - | | | $n_Z.SZO$ | $n_S.SSo$ | n_O | |
| n_{VO} | - | $n_{T.STVO}$ | $n_{E.SEVO}$ | - | $n_{Ps.SPsoVO}$ | - | | | | | $n_{O.SOVO}$ | n_{VO} |

6 Prostá náročnost

Vysvětlíme si dále pojem „prosté náročnosti“ dané formy energie. Nejnázorněji je možno tento pojem aplikovat na uhlí, které je pro naši energetiku stále základním přírodním zdrojem energie a jehož určitá část přichází přímo bez zušlechťování nebo přeměny, ku spotřebitelům.

Předpokládejme, že veškeré vytěžené uhlí na dole přichází na skládku. Ze skládky je odebíráno

úpravou, kde se od vytěženého uhlí oddělí hlušina. Upravené uhlí je dopraveno převážně po železnici na skládku u spotřebitele. Ze skládky jde pak uhlí přímo ku spotřebičům. Celý proces, resp. cestu uhlí mezi dolem a spotřebičem můžeme tedy rozdělit do šesti procesů: těžbu uhlí, skladování uhlí na dole, úpravu uhlí, dopravu uhlí, skladování uhlí u spotřebitele a spotřebiče uhlí. V procesech mezi dolem a spotřebičem vznikají ztráty. Jako vstupní informaci volíme množství uhlí přicházející z dolu na skládku, tudíž ztráty vznikající při vlastní těžbě uhlí neuvažujeme. Taktéž neuvažujeme vznik ztrát mezi jednotlivými procesy. Celý výpočet vztahujeme ku množství uhlí, které vstupuje do spotřebiče, tzn. že ztráty ve spotřebiči jsou mimo rámec našeho zkoumání. Aby se spotřeba uhlí mohla uskutečnit, je nutné do některých procesů dodat energii. Pro některé procesy, např. skladování uhlí, není třeba energii dodávat a energii potřebnou pro dopravu uhlí na skládku je možno přičíst na vrub těžby. Obdobně, energie potřebná pro odebírání uhlí ze skládky jde na vrub úpravy. Stejný předpoklad lze učinit i pro skladování uhlí u spotřebitele, kde energie potřebná pro skladování a odebírání paliva se zahrnuje do vlastní spotřeby spotřebiče, přičemž s dodávkou energie do tohoto procesu se rovněž neuvažuje. Prakticky to znamená, že množství uhlí vystupující ze skládky na dole je rovno množství uhlí, vstupujícímu do úpravy. Podobně je tomu i mezi dalšími články řetězu transformací.

Potom množství vytěženého uhlí v závislosti na množství uhlí vstupujícího do spotřebiče je dáno vztahem:

$$G_{t1} = \frac{1+g_{ztrs}}{(1-g_{ztrt})(1-g_{ztru})(1-g_{ztrd})} \cdot G_{sP} \quad [GJ],$$

přičemž hrubou účinností procesů - η nazveme poměr:

$$\frac{G_{sP}}{G_{t1}} = \eta \Rightarrow G_{t1} = G_{sP} \frac{1}{\eta}$$

kde:

G_{t1} – množství vytěženého uhlí [GJ],

g_{ztrs} – měrné ztráty uhlí na spotřebitelské skládce (vyhoříváním, rozprachem) [GJ/GJ],

g_{ztrt} – měrné ztráty uhlí na skládce na dole [GJ/GJ],

g_{ztru} – měrné ztráty uhlí v úpravě uhlí [GJ/GJ],

g_{ztrd} – měrné ztráty uhlí v dopravě uhlí [GJ/GJ],

G_{sP} – množství uhlí vstupujícího do spotřebiče [GJ].

Hrubá účinnost procesů zahrnuje všechny ztráty uhlí v procesech mezi těžbou a spotřebou uhlí, nerespektuje však spotřeby energie (palivo, teplo a elektrická energie) dodané do procesů těžby, úpravy a dopravy uhlí. V podstatě je dána součinem dílčích účinností, které lze vyjádřit takto:

$$\eta_t = 1 - g_{ztrt}$$

$$\eta_u = 1 - g_{ztrl}$$

$$\eta_d = 1 - g_{ztrd}$$

$$\eta_s = \frac{1}{1 + g_{ztrs}}$$

kde:

η_t - účinnost skládky uhlí na dole,

η_u - účinnost úpravy uhlí,

η_d - účinnost dopravy uhlí,

η_s - účinnost spotřebitelské skládky uhlí.

Potom:

$$\eta = \eta_t + \eta_u + \eta_d + \eta_s$$

Z uvedených vztahů vyplývá: spotřebujeme-li 1 GJ uhlí, musíme vytěžit $\frac{1}{\eta}$ GJ uhlí a musíme dopravit

$\frac{1}{\eta_{d,s}}$ GJ uhlí za předpokladu, že uvažujeme pouze pokrytí ztrát uhlí, vznikajících v procesech.

Dosavadní úvahy se týkaly pouze ztrát v procesech. Aby se však těžba uhlí, úprava uhlí a doprava uhlí mohly uskutečnit, je třeba do těchto procesů dodat energii, a to palivo, teplo a elektrickou energii. Protože těžba uhlí na dole a měrné spotřeby uvedených forem energie na těžbu se v praxi neuvádějí v GJ, ale ve skutečných t uhlí, musíme znát velikost přepočítávacího koeficientu. Potom spotřeba paliva, tepla a elektrické energie např. na těžbu uhlí, vyvolanou spotřebou 1 GJ uhlí u spotřebiče bude:

$$S_{it} = s_{it} \cdot \frac{1}{\eta \cdot k_t} \quad [\text{GJ/GJ}],$$

kde:

$i = P, T, E,$

s_{it} – měrná spotřeba paliva, tepla a elektrické energie na těžbu uhlí vyvolanou spotřebou 1 GJ uhlí u spotřebiče [GJ/t; GJ/t; MWh/t] na 1 t vytěženého uhlí,

k_t – přepočítávací koeficient těženého uhlí.

Obdobně lze určit spotřebu energie na úpravu uhlí – S_{iu} a na dopravu produktu úpravy – S_{id} .

Do procesů těžby, úpravy dopravy uhlí musíme tedy dodat celkem paliva – $S_P = S_{Pt} + S_{Pu} + S_{Pd}$, podobně tepla – S_T a elektrické energie – S_E . Abychom pak mohli spotřeby paliva, tepla a elektrické energie sečíst, musíme teplo a elektrickou energii převést na palivo. K tomu lze využít měrnou spotřebu uhlí na výrobu jednotky tepla na prahu kotelny – s_{PT} [GJ/GJ], resp. průměrnou měrnou spotřebu uhlí na výrobu jednotky elektrické energie na svorkách generátorů – $\overline{s_{PE}}$ [GJ/MWh]. Potom spotřeba paliva na 1 GJ tepla spotřebovaného spotřebičem resp. spotřeba paliva na 1 MWh elektrické energie spotřebované spotřebičem

$$S'_{PT} = \frac{S_{PT}}{\tau} \quad [\text{GJ/GJ}] \quad \text{resp.} \quad S'_{PE} = \frac{\overline{S_{PE}}}{\varepsilon} \quad [\text{GJ/MWh}]$$

kde:

τ resp. ε - přepočítávací koeficient umožňující přepočítat hodnoty s_{PT} resp. $\overline{s_{PE}}$ na vstup do spotřebiče, v tomto případě na vstup do procesů těžby, úpravy a dopravy uhlí.

Potom celková spotřeba paliva na procesy těžby, úpravy a dopravy uhlí vyvolanou spotřebou 1 GJ uhlí u spotřebitele je rovna:

$$S'_P = S_P + S_T \cdot \frac{S_{PT}}{\tau} + S_E \cdot \frac{\overline{S_{PE}}}{\varepsilon} \quad [\text{GJ/GJ}].$$

Spotřeba paliva S'_P však není konečnou hodnotou. Toto spotřebované palivo musíme opět vytěžit, upravit a dopravit ke spotřebiči. Pomocí součtu geometrické konvergentní řady lze odvodit, že celková spotřeba paliva bude:

$$S''_P = \frac{S_P}{1 - S_P} \quad [\text{GJ/GJ}].$$

Při skladování na dole, úpravě, dopravě a skladování u spotřebiče tohoto množství uhlí S''_P vznikají opět ztráty. celková konečná spotřeba paliva dodaného do procesů se tedy bude rovnat:

$$S_P^{\text{celk}} = S''_P \cdot \frac{1}{\eta_e} \quad [\text{GJ/GJ}]$$

kde:

η_e - hrubá účinnost procesů pro uhlí dodávané do námi zkoumaných procesů, v tomto případě se jedná o tzv. uhlí energetické.

Výsledný vztah pro výpočet náročnosti uhlí pak bude mít tvar:

$$\eta_u = \frac{1}{\eta} + \frac{S_P}{1 - S_P} \cdot \frac{1}{\eta_e} \quad [\text{GJ/GJ}].$$

7 Příklad výpočtového postupu prosté energetické náročnosti

V této části uvedeme příklad výpočtového postupu pro ukazatel náročnosti tepla.

Při odvození náročnosti tepla bude nutné podobně jako v případě náročnosti uhlí přijmout určitá zjednodušení, i když tepelné soustavy nejsou ve většině případů složité. Odvození náročnosti tepla provedeme pro jeden zdroj tepla, který zásobuje jak vlastní závod, tak i prostřednictvím dálkového teplovodu dalšího spotřebitele (např. pobočný závod).

Zdroj tepla dodává celkové množství tepla Q_k . Z tohoto tepla se ke spotřebičům vlastního závodu a dalšího spotřebitele dostane jen určitá část tepla, čili:

$$Q_{sT} = Q_{s1} + Q_{s2} \quad [\text{GJ}]$$

kde:

Q_{sT} - spotřeba tepla všech spotřebičů [GJ],

Q_{s1}, Q_{s2} - spotřeba tepla spotřebičů vlastního závodu resp. dalšího spotřebitele [GJ].

Z dodávaného tepla jde do dálkového teplovodu pouze část tepla, kterou můžeme vyjádřit podílem z celkového dodávaného tepla:

$$q_r = \frac{Q_r}{Q_k}$$

kde:

Q_r - množství tepla dodávaného do dálkového teplovodu [GJ],

Q_k - množství tepla dodávaného ze zdroje tepla (kotelny) [GJ].

Pro určité zjednodušení výpočtu ztrát v místních rozvodech lze učinit předpoklad, že měrné ztráty tepla v rozvodu vlastního závodu budou totožné s měrnými ztrátami tepla v areálu dalšího spotřebitele. Ztráty v místních rozvodech obou spotřebitelů tedy budou:

$$Q_{ztr z} = q_{ztr z} \cdot Q_z \quad [GJ],$$

za předpokladu, že:

$$q_{ztr z1} = q_{ztr z2} = q_{ztr z},$$

kde:

$q_{ztr z1}, q_{ztr z2}$ - měrné ztráty v místním rozvodu vlastního závodu resp. dalšího spotřebitele [GJ/GJ].

Abychom tedy pokryli spotřebu tepla všech spotřebičů, musíme v tepelném zdroji vyrobit množství tepla:

$$Q_k = \frac{1}{(1 - q_{ztr z})(1 - q_{ztr r} q_r)} \cdot Q_{sT} \quad [GJ].$$

Celková spotřeba tepla v palivu na výrobu tepla v kotelně:

$$S_{PT} = S_{PT} \cdot Q_k \quad [GJ]$$

kde:

s_{PT} - měrná spotřeba tepla v palivu na výrobu tepla na prahu kotelny [GJ/GJ].

Potom:

$$S_{PT} = s_{PT} \cdot \frac{1}{(1 - q_{ztrz})(1 - q_{ztrr} \cdot q_r)} \cdot Q_{ST} \quad [GJ].$$

Spotřeba i GJ tepla spotřebičem tedy vyvolá měrnou spotřebu tepla v palivu v kotelně:

$$s'_{PT} = \frac{S_{PT}}{Q_{ST}} \quad [GJ/GJ],$$

neboli:

$$s'_{PT} = \frac{S_{PT}}{\tau} \quad [GJ/GJ]$$

kde:

τ - koeficient zahrnující účinnosti rozvodu tepla, lze jej vyjádřit vztahem:

$$\tau = (1 - q_{ztrz})(1 - q_{ztrr} \cdot q_r),$$

tzn., že je dán součinem účinností místního rozvodu a dálkového teplovodu.

Náročnost tepla se pak určí ze vzorce:

$$n_T = n_{Ue} \cdot \frac{S_{PT}}{\tau} \quad [GJ/GJ]$$

kde:

n_{Ue} - náročnost uhlí spotřebovaného ve zdroji tepla, neboli uhlí energetického [GJ/GJ].

Zúžíme-li celý problém na hranice závodu s tím, že uvažujeme pouze lokální energetický systém, tzn. energetické hospodářství daného závodu a prostou energetickou náročnost uhlí, tepla, elektrické energie aj. vztahujeme k energii přivedené na hranice závodu resp. do příslušného odběrného místa, kde také přivedenou energii měříme, celý problém se zásadním způsobem zjednoduší. Použijeme-li

pojmu náročnost na energii přivedenou, výše uvedené vztahy se podstatně zredukuje, neboť zahrnou pouze koncové procesy celého řetězce transformací mezi prvotním energetickým zdrojem a vstupem dané formy energie do spotřebiče. např. v případě výpočtu energetické náročnosti uhlí zůstane zachován pouze proces skladování uhlí u spotřebitele, charakterizovaný hrubou účinností spotřebitelské skládky uhlí - η_s , přičemž do procesu žádnou další energii nedodáváme. Rovněž se zjednoduší vztah pro výpočet náročnosti tepla, kde v posledním uvedeném vzorci použijeme takto zredukovanou náročnost uhlí, spotřebovaného ve zdroji tepla.

8 Shrnutí

Poměrně podrobný výklad způsobu určení komplexní a prosté energetické náročnosti měl za cíl ukázat na principiální východiska, která slouží za základ výpočtu uvedených náročností. Šlo rovněž o stručné vysvětlení pojmů, které bývají v praxi různě interpretovány.

Uvedené teoretické výpočetní postupy komplexní náročnosti výroby oceli a prosté náročnosti na uhlí resp. na teplo pak mají sloužit uživateli této pomůcky k lepší orientaci v této poměrně složité problematice.

Energetickou náročnost nelze pouze chápat jako fyzikální ukazatel, ale rovněž jako důležitý ekonomický ukazatel sloužící k ekonomickým rozborům v podobě nákladové analýzy. Výsledkem takovéto analýzy by měla být opatření vedoucí ke snížení nákladů např. vlivem odstranění zbytečných energetických ztrát resp. náhrada zastaralé technologie či technologického agregátu modernějším a hospodárnějším.

Na závěr uvádíme tabulku vývoje energetické náročnosti vybraných výrobků dle údajů ČSU.

| Ukazatel | Měr.jednotka | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Teplo z tepláren | GJ/GJ | 1,35 | 1,24 | 1,213 | 1,242 |
| Elektřina parou | GJ/MWh | 9,72 | 9,92 | 9,938 | 9,891 |
| Železo surové | GJ/t | 15,33 | 15,31 | 15,47 | 14,27 |
| Válcovaný mat. | GJ/t | 3,614 | 3,355 | 3,205 | 3,076 |
| Vápno | GJ/t | 3,856 | 2,403 | 2,452 | 3,735 |
| Papír a kartony | GJ/t | 13,74 | 14,64 | 169 | 10,14 |
| Trubky ocelové | GJ/t | 7,71 | 8,7 | 7,18 | 7,13 |
| Slinky cementové | GJ/t | 3,9 | 3,65 | 4,47 | 3,46 |
| Cukr rafinovaný | GJ/t | 9,365 | 8,8 | 10,47 | 9,613 |
| Lepenky | GJ/t | 5,961 | 7,783 | 12,64 | 6,067 |
| Pivo | GJ/tis.l | 2,391 | 2,542 | 2,32 | 2,266 |