

7. ORGANICKÁ PALIVA A JEJICH CYKLY

Jiří Škorpík, ORCID: 0000-0002-3034-1696, skorpik.jiri@email.cz

Úvod 1

- Fosilní paliva 1 • Syntetická paliva 1

Uhlí 1

- Rašelina 2 • Lignit a hnědé uhlí 3 • Příklad prvkového složení hnědého uhlí [T.1229] 3 • Černé uhlí a antracit 3 • Příklad prvkového složení černého uhlí [T.1118] 3 • výpočet potřebné plochy pro energetické zisky z biomasy a dopadajícího slunečního záření v případě, že by měly nahradit energetické zisky z uhlí [Ú.175] 3 • Ložiska a těžba uhlí v ČR 4 • Spalování uhlí v uhelných elektrárnách 5 • výpočet teploty nechlazeného plamene při hoření uhlí [Ú.689] 6 • Koks a svítiplyn 6

Ropa 7

- Složení ropy 7 • Těžba ropy 8 • Spotřeba ropy v ČR 8

Zemní plyn 9

- Parametry tranzitního plynu (zemní plyn v tranzitním plynovodu) [T.1126] 9 • výpočet složení spalín při hoření zemního plynu [Ú.694] 9 • Těžba zemního plynu 9 • Přeprava a distribuce zemního plynu 10 • Energie v zemním plynu 12 • výpočet spotřeby energie v zemním plynu z údajů na plynoměru [Ú.693] 12

Vodík jako palivo 13

- Výroba vodíku 13 • Skladování a doprava vodíku do místa spotřeby 14 • Využití vodíku jako paliva 16 • Vodík jako základ pro další syntetická paliva 17

Ekologické dopady spalování 17

- Vlivy oxidů síry 18 • Vliv oxidů dusíku 18 • Vznik CO a CO₂ a koloběh uhlíku 19 • CO₂ a skleníkový efekt 20 • Přibližné průměrné koncentrace CO₂ v atmosféře a zvýšení průměrné teploty [T.51] 21 • Ostatní škodliviny ve spalínách 21

Odkazy 22

Přílohy 25

- 175 Řešení úlohy 25 • 689 Řešení úlohy 25 • 693 Řešení úlohy 27 • 694 Řešení úlohy 27

Úvod

Název plyne z vysokého obsahu organických prvků

Slovo "organická" není označením původu paliva, ale jeho složení. Organická paliva jsou paliva s vysokým podílem uhlíku nebo vodíku. Tyto paliva mohou být původu fosilního a nebo syntetického, tedy umělého. V tomto článku se nebudeme zabývat "čerstvou" biomasou, která má svůj samostatný článek s názvem Biomasa jako palivo³.

Fosilní paliva

Prehistorická hmota s výbornou výhřevností

Fosilní paliva jsou zbytky prehistorické biomasy, vyskytují se v pevných, kapalných i plynných formách, obsahují velké množství uhlíku a vodíku, které nejsou chemicky vázány na jiné prvky, a proto mají poměrně velkou výhřevnost¹. Využívají se převážně jako zdroj energie uvolňované při hoření¹ ve spalovacích motorech⁶ a v kotlích¹ (před spalováním předchází úprava surového fosilního paliva). Jedná se také o významnou výchozí surovinu pro výrobu syntetických materiálů a chemických látek, například plastů, asfaltu a dokonce i léků.

Velmi levná paliva bez finančních nákladů na jejich vznik

Za jeden rok (2005) spotřebuje lidská civilizace takové množství fosilních paliv, jaké se tvořilo po dobu 2 *miliónů let*. Bez fosilních paliv by energie byla mnohem dražší a méně dostupná a dnešní svět by zcela jistě vypadal jinak, než jak jej známe dnes (především z pohledu ceny a množství úsilí vynakládané na získávání energie pro uspokojování lidských potřeb). Pokud by jen ČR chtěla nahradit fosilní paliva vodíkem vyráběný elektrolýzou v jaderných elektrárnách², potřebovali bychom cca 47 temelínských bloků (vztaženo k roku 2011).

Syntetická paliva

Zatím hlavně vodík, vysoké náklady na výrobu

Jako syntetické palivo v tomto článku vystupuje pouze vodík. Syntetická paliva vyráběná přetvořením fosilních paliv jsou popsána v podkapitolách příslušejícím fosilním palivům. Přesto existují i jiná syntetická paliva složená z organických prvků⁴⁷ a přímo nevyrobená z biomasy ani z fosilních paliv [24].

Uhlí

Přírodní katastrofy, horotvorná činnost a čas

Uhlí je tvořeno zuhelnatělými zbytky převážně suchozemských rostlin. Větší část uhlí pochází z období karbonu, kdy byly pro vznik uhlí velice příhodné podmínky, kterými jsou kombinace velkých přírodních katastrof a horotvorná činnost, viz *Obrázek 1117*, s. 2. K útlumu vzniku uhelných ložisek v následujících epochách Země došlo v důsledku úbytku přírodních katastrof vlivem stabilizace klimatu a ústupu horotvorné činnosti.

1117 Přírodní katastrofa v období karbonu

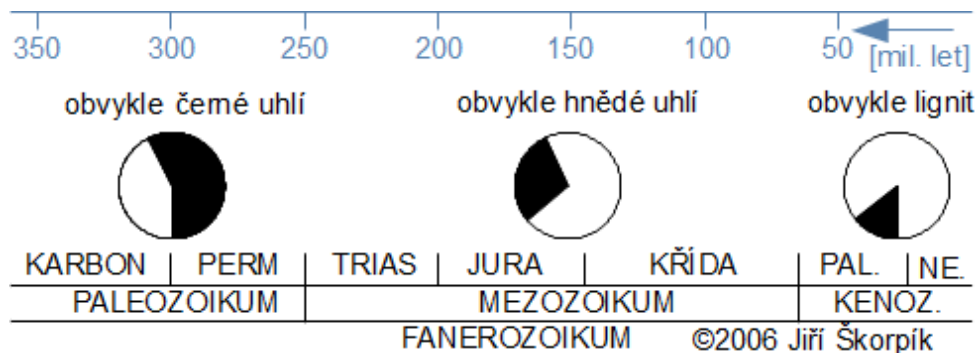


Obrázek: Zdeněk Burian 1967.

Průběh uhelňatění

Podstata tvorby fosilních paliv spočívá v odříznutí odumřelé biomasy od vzduchu (například zakrytí vrstvou bahna o tloušťce přibližně 50 cm). Nejdříve probíhá biologický rozklad biomasy pomocí bakterií. V další fázi vzniku uhlí je nutný termický rozklad při vysokém tlaku, který může být způsoben poklesem vznikajícího ložiska do větších hloubek způsobený horotvornou činností v dané lokalitě. Během uhelňatění biomasy vznikají různé plyny (CH_4 , CO_2) a voda, které v ložisku částečně zůstávají. Jednotlivé fázím uhelňatění odpovídá i struktura ložiska, kdy v první fázi hovoříme o rašelině, pak lignitu, hnědém a nakonec černém uhlí případně antracitu, viz *Obrázek 433*. Proto o kvalitě uhlí často rozhoduje jak je ložisko staré.

433 Výřez z časové osy Země zachycující období vzniku uhlí



PAL. Paleogén; **NE.** Neogén; **KENOZ.** Kenozoikum. Přibližně 56 % uhlí pochází z období Karbonu a Permu. 30 % z období Jury a Křídý. 14 % uhlí pochází z období Paleogénu a Neogénu.

Hloubka ložiska závisí většinou na jeho stáří

Současně platí, že čím starší ložisko, tím je i hlouběji uloženo, ale výsledná hloubka ložiska uhlí je závislá také na pokračující horotvorné činnosti v dané lokalitě (opětovný zdvih či pokles ložiska). Proto se například některá ložiska hnědého uhlí a lignitu mohou nacházet hlouběji, než některá ložiska černého uhlí, ale to jsou spíše výjimky.

Rašelina

Hlavní roli mají bakterie

Rašelina vzniká rozkladem biomasy pomocí aerobních bakterií, a po poklesu do hloubek několika metrů pomocí anaerobních bakterií. V této fázi unikne do okolí i většina prchavých látek

obsažených v biomase. Rašelina svou strukturou stále připomíná tvary původního materiálu, ale obsahuje výrazně méně vody.

Lignit a hnědé uhlí

Přibývali další vrstvy odumřelé biomasy a zvyšoval se tlak a teplota

Hnědé uhlí vzniká z ložiska rašeliny. Pro vznik hnědé uhlí je nutný významnější pokles ložiska (kombinací nahromaděných dalších vrstev biomasy nad původní a poklesu podloží ložiska do větší hloubky). Za takových podmínek se zvyšoval tlak původní usazené vrstvy biomasy a teplota přibližně na 150 až 200 °C. Oproti biomase se mírně zvyšuje podíl uhlíku, viz *Tabulka 1229*.

1229 *Příklad
prvkového složení
hnědé uhlí*

	C	H	O	N	S	A	W
σ	44,7	3,5	11,3	0,5	1	10	29

σ [%] hmotnostní podíl. **C** uhlík; **H** vodík; **O** kyslík; **N** dusík; **S** síra; **A** popelovina; **W** voda. Jedná se o typické složení hnědé Mosteckého uhlí o výhřevnosti 18,7 MJ·kg⁻¹ (na hnědé uhlí velmi dobrá výhřevnost, jinak obvykle 10 až 15 MJ·kg⁻¹). Zdroj dat [2].

Lignit

Přechodovou fází (nedokončenou transformací) mezi rašelinou a hnědým uhlím je lignit, který obsahuje ještě větší množství vody než čistě hnědé uhlí. Ložisko lignitu a hnědé uhlí mají již charakter měkké horniny, ale lze v nich rozeznat otisky tvarů původního materiálu.

Černé uhlí a antracit

*V hlavní roli vysoký
tlak a teplota, vznik
grafitu*

Pokud pokles ložiska hnědé uhlí postupoval dále do větších hloubek až se teplota ložiska pohybovala mezi 300 až 500 °C a tlak byl dostatečný na to, aby uhlí prouhelnatělo ještě více, vzniklo černé uhlí, viz *Tabulka 1118*. Jestliže podíl uhlíku v ložisku je větší jak 92 %, tak takové uhlí nazýváme antracitem. V extrémních případech vysokých tlaků po dlouhou dobu v některých ložiskách antracitu došlo k regionální metamorfóze, kdy se hmota přeskupila na grafit [18].

1118 *Příklad
prvkového složení
černého uhlí*

	C	H	O	N	S	A	W
σ	63,6	2,3	4,8	0,7	0,4	20,2	8

Jedná se o rozbor černého uhlí z dolu Dukla o výhřevnosti 27,3 MJ·kg⁻¹. Zdroj dat [2].

*Konzistence jako u
hornin*

Ložiska černého uhlí připomínají horninu a nelze v nich rozeznat stopy tvarů a otisky původního materiálu.

175 *Úloha*

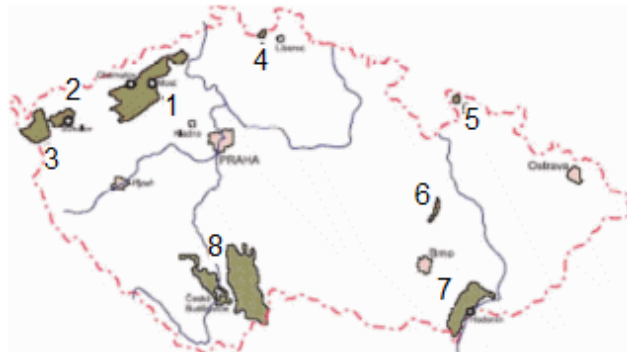
Z kolika km² se sklídí stejná energie obsažená v biomase (obilná sláma) a na jakou plochu dopadne za rok stejné množství sluneční energie, která byla obsažena ve veškerém uhlí vytěženém v ČR v roce 2005? Víme, že v roce 2005 se v ČR vytěžilo množství uhlí v energetickém objemu 790 883 709 GJ. Víme také, že energetický výnos biomasy určená z její výhřevnosti je 63 GJ·ha⁻¹ a průměrná sluneční energie dopadající na 1 m² plochy v našich geografických šířkách je 1000 kWh·rok⁻¹. Řešení úlohy je uvedeno v *Příloze 175*, s. 25.

Ložiska a těžba uhlí v ČR

Využitelných ložisek už mnoho nezbyvá

Výskyt hnědouhelných ložisek na území ČR je patrný z mapy zobrazené na *Obrázku 1119*. Černé uhlí se nachází v Hornoslezské pánvi, Kladenské pánvi, Oslavanské pánvi – poslední dvě jsou již vytěžené.

1119 *Geografické rozmístění hnědouhelných ložisek a ložisek lignitu v ČR [3]*



Hnědé uhlí: 1 severočeská hnědouhelná pánev; 2 sokolovská pánev; 3 chebská pánev; 4 žitavská pánev; 5 ložisko Uhelná; 6 výskyty křídového uhlí v okolí Moravské Třebové; 7 jihomoravská lignitová pánev; 8 jihočeské pánve.

Dlouhá tradice v těžbě

Uhlí jako palivo pro ohniště bylo člověkem využíváno pravděpodobně již před 3000 lety. V té době se ale účelově netěžilo a využívaly se uhelné pánve vycházející na povrch země (což byly i některé lokality severní Moravy).

Povrchové i hlubinné doly

Uhlí se v ČR těží, jak v povrchových dolech, tak v dolech hlubinných (i v kilometrových hloubkách ve formě hloubení tunelů). Hlubinná těžba uhlí u nás probíhá už jen na Ostravsku (2020) a většina uhlí u nás se těží v povrchových dolech, viz *Obrázek 1120*.

1120 *Těžba hnědého uhlí v mosteckém revíru [4]*



Rypadla pro povrchovou těžbu hnědého uhlí dosahují výkonů až $10\,000\text{ m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$ vytěžené hmoty.

Skrývkový poměr

Vytěžená hmota neobsahuje pouze uhlí, ale i příměsi, které byly s biomasou v pánvi nahromaděny, proto se vytěžená hmota musí před distribucí k odběratelům třídit. Například v severočeských povrchových dolech se musí vytěžit cca 4 až 7 m^3 hmoty na 1 t uhlí. Tomuto poměru se říká skrývkový poměr [$\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$].

Statistika těžby

Podle statistik se v roce 2019 v ČR vytěžilo celkem 2 769 tis. tun černého a 30 741 tis tun hnědého uhlí [5], přičemž každým

rokem toto množství klesá (například v roce 2005 vypadal těžba takto: 9 099 tis. tun černého a 45 235 tis. tun hnědého uhlí), dovoz činil 2 676 tis. tun černého a 202 tis. tun hnědého uhlí.

Spalování uhlí v uhelných elektrárnách

Časté koexistence uhelné elektrárny a dolu

Největším spotřebitelem uhlí je elektroenergetika a průmysl. Některé uhelné elektrárny (*Obrázek 684*) jsou postaveny přímo v bezprostřední blízkosti uhelného dolu, odkud se uhlí dopravuje na dopravních pásech přímo do areálu elektrárny. Na větší vzdálenosti se dopravuje vlakem, což vyžaduje obvykle posílenou železniční infrastrukturu v okolí elektrárny a speciální vykládkové zařízení schopné vyložit například i zamrzlé uhlí ve vagónech. Uhlí je dopravováno i říčními cestami (například takto probíhá zásobování elektrárny Mělník). Světový obchod s uhlím využívá i námořních cest.

Nutnost i vydatného zdroje vody

Uhelné elektrárny jsou většinou vázány nejen na blízkost uhelného dolu ale i většího zdroje vody (řeka nebo přehrada), protože mají větší spotřebu vody zejména pro chlazení.

684 Areál uhelné elektrárny



Elektrárna Dětmarovice – foto [1]. **1** skládka paliva a homogenizace paliva; **2** kotelny (granulační kotle s účinností 91 % [17]); **3** strojovny; **4** chladicí věže⁴³; $\eta_{e,pr}$ [-] čistá účinnost⁴³ bloku tepelné elektrárny (na prahu elektrárny) – definice [2, s. 517]; P_{pr} [W] elektrický výkon na prahu elektrárny; $\dot{m}_{pv}$ [kg·s⁻¹] spotřeba paliva v čase; Q [J kg⁻¹] výhřevnost paliva. Tato elektrárna obsahuje 4xelektrárnský blok 200 MW Škoda (čtyři nezávislé výrobní okruhy obsahující zařízení k realizaci parního oběhu), tj. jsou zde 4 parní kotle s granulační spalovací komorou [9, s. 84] a čtyři turbosoustroj s parními turbínami¹, zdroj [6].

Homogenizace uhlí jako základ stabilního hoření

Transformace tepla uvolněného při spalování uhlí na elektrickou energii se nejčastěji realizuje pomocí parního oběhu⁶, ve kterém je uhlí palivem pro parní kotle¹. Aby byl spalovací proces v kotli co nejstabilnější, musí se uhlí v areálu elektrárny nejdříve na skládce homogenizovat, to znamená, že se mísí jednotlivé dodávky mezi sebou, tak aby byla zajištěna stálé složení uhlí.

Rozdíly mezi kotlem na biomasu a uhlí

Kotle na uhlí se od kotlů na biomasu odlišují, to je především dáno spalovacím procesem, protože uhlí neobsahuje tolik vody jako biomasa a má nižší prchavý podíl (zvláště černé uhlí, které obsahuje velmi malý prchavý podíl). Na druhou stranu uhlí má

daleko větší obsah popelovin a škodlivých látek než biomasa, a tak kotle na uhlí bývají vybaveny odprášením spalín a odlučovači škodlivých emisí, které se při spalovacím nebo těsně po spalovacím procesu musí ze spalín odstranit. Výkony uhelných kotlů v elektrárnách jsou i větší jak 1000 MW a jsou vysoké i několik desítek metrů. Více o typech kotlů na spalování uhlí např. v [9], [7].

Výpočet spalování uhlí

Při stechiometrickém výpočtu hoření uhlí se postupuje stejně jako při výpočtu hoření biomasy³, pouze složení paliva se liší, viz. *Úloha 689*.

Statistika výroby el. v ČR z uhlí

V uhelných elektrárnách se v ČR vyrábí více jak 60% elektřiny, s čistou účinností bloků od 30% do 38% (existují ale i uhelné elektrárny s vyššími účinnostmi).

689 *Úloha*

Vypočítejte teplotu nechlazeného plamene při hoření černého uhlí s parametry uvedenými v *Tabulce 1118*, s. 3. Předpokládejte stechiometrické spalování suchého vzduchu (složení viz *Úloha 564*²). Počítejte s hořením síry. Řešení úlohy je uvedeno v *Príloze 689*, s. 25.

Koks a svítiplyn

Koks pro zpracování železné rudy

Černé uhlí je i základní surovinou pro výrobu koksu. Koks je černé uhlí zbavené prchavých podílů a další příměsí, tak aby obsahoval téměř jen uhlík, postup výroby viz [19]. Jen takto upraveným uhlím lze tavit železnou rudu ve vysokých pecích. V roce 2019 bylo vyrobeno v ČR 1981 tis. tun koksu a 168 tis. tun koksu bylo dovezeno.

Svítiplyn přechůdce zemního plynu

Svítiplynem se označuje plyn vyrobený zplyňováním především hnědého uhlí, více v [19]. Používá se od 19. století podobným způsobem jako dnes používáme zemní plyn, který svítiplyn v druhé polovině 20. století zcela nahradil. Na území ČR byla velká tradice výroby a používání svítiplynu, který se ve vrcholných dobách rozváděl především ve velkých městech a jeho okolí v plynovodech o tlaku až $2,5\text{ MPa}$ [28] a skladoval se v objemných nadzemních zásobnících.

Poslední závod na výrobu svítiplynu

Pozůstatkem tradice ve výrobě svítiplynu je kombinát Vřesová v západních Čechách, ve kterém se nachází poslední velká zplyňovací stanice hnědého uhlí (plánované odstavení červenec, 2020 [10]), viz *Obrázek 1230*. Tato stanice mimo jiné zásobuje

1230 *Areál kombinátu Vřesová*



Areál obsahuje zplyňovací část (v pozadí) i elektrárnu (v popředí). Původní projekt elektrárny Vřesová je například uveden v [25]. Obrázek [10].

paroplynovou teplárnu²³, ve které se vyrobený svítiplyn spaluje ve spalovacích turbínách¹. Instalovaný výkon této teplárny na svítiplyn je $2 \times 200 \text{ MW}$ při účinnosti 45 % (včetně zplyňování) [29]. Po odstavení zplyňovací části bude elektrárenská část pracovat na zemní plyn.

Ropa

Historie využívání této, zatím nenahraditelné, suroviny

Tekuté či polo-tekuté živičné usazeniny byly využívány jako stavební materiály, zdroje světla či farmaceutické produkty již od středověku a to především v jihovýchodní Asii. Ve větším měřítku se ropa a její produkty začaly používat v Americe v průběhu 19. století, díky zahájení hlubinné těžby ropy v roce 1859 [20, s. 180]. Po vytěžení se ropa dále zpracovávala (formou destilace) na různé frakce. Nejdříve se využívaly středně těžké frakce (petrolej) pro spalování a svícení, později lehčí (nafta, benzín) pro pohon motorů s vnitřním spalováním. Ropa, respektive produkty z ní se v průběhu 20. století stala významným palivem a zejména v dopravě nenacházíme zatím adekvátní alternativy.

Složení ropy

Hlavně uhlovodíky

Ropa je směs kapalných i plyných (rozpuštěných) uhlovodíků (sloučeniny typu C_xH_y) a jiných organických sloučenin. Jedná se o skupinu živičných látek, do které spadá zemní plyn (uhlovodíkový), asphalt a ozokerit (zemní vosk). Při těžbě se dostává do ropy také voda a minerální příměsi. Ropa v malém množství obsahuje i další sloučeniny obsahující kromě vodíku a kyslíku i dusík a síru [12]. Z pohledu stechiometrie složení ropy tvoří kolem 85 % uhlík, kolem 12 % vodík.

Krakování

Složení ropy kolísá podle naleziště. Některé druhy ropy obsahují převážně alkany (parafinické ropy), v jiných převládají cykloalkany (naftenické ropy) nebo aromatické uhlovodíky (aromatické ropy). Pro snadnější využití (skladování, spalování) se provádí krakování [20, s. 181], což je tepelné zpracování (450 až 900 °C) ropy, při kterém dochází k rozpadu – rozštěpení uhlíkatých řetězců na lehčí řetězce.

Výhřevnost

Výhřevnost surové ropy se pohybuje od 40 až 45 $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ [15].

Biologický i

nebiologický vznik ropy

Vznik ropy není tak jednoznačně popsitelný jako vznik uhlí. Většina ropy má pravděpodobně původ v rozkladu biomasy v blízkosti pobřeží, které později kleslo do větších hloubek. Některé teorie předpokládají i nebiologický vznik ropy na základě především geologických procesů, při kterých dochází k separaci organických sloučenin obsažených v neživé hornině.

Těžba ropy

*Na souši i v oceánech,
vytlačováním i
čerpáním*

Těžitelná ložiska ropy se nacházejí na souši i pod hladinou oceánů, viz *Obrázek 1124*. V prvních fázích otevření nového ložiska je tlak v ložisku obvykle tak vysoký (díky stlačenému zemnímu plynu, které takové ložisko obvykle sdílí), že ropa sama vyteče na povrchu. Doprava surové ropy na povrch po poklesu tlaku v ložisku se nejčastěji realizuje pomocí dvouventilových pístových pump a okrajově pomocí proudových čerpadel (ejektor⁴¹ umístěný při dně sacího koše – ejektorů může být zapojeno za sebou několik [22]). Někdy se tlak v ložisku ropy zvětšuje vtlačováním CO₂.

1124 Ropné pole
Gullfaks



Gullfaks se nachází 135 km od břehu Norska. Hloubka oceánu v tomto místě je od 100 do 130 m. Jedná se o tři ropné plošiny A, B a C na betonových nohách vysokých až 150 m. Vytěžená ropa je shromažďována v zásobnících blízko plošin odkud se přečerpává do tankerů. Na plošinách také probíhá čištění ropy (od vody a pod.). "This oil field reached peak production in 2001 at 180,000 barrels per day", což odpovídá přibližně 115 % roční spotřeby ČR (2006). Obrázek z [11].

Spotřeba ropy v ČR

*Málé těžitelné zásoby,
zásobování ropovody*

ČR nemá významné zásoby (naleziště) ropy, je nutné ji dovážet. Do ČR se dováží ropa především z Ruska ropovodem Družba. Menší přípojka je i z Německa (napojení na ropovod TAL, který začíná v přístavu Terst), viz *Obrázek 1125*.

1125 Ropovod Družba
se sítí ropovodů v ČR



Obrázek z [13]

Zásobníky ropy

ČR disponuje strategickými zásobníky ropy s devadesáti denní kapacitou (2007). Většina zásobníků je situována v lokalitě Nelahozeves [8]. Dále jsou v ČR v provozu i zásobníky na pohonné hmoty.

Velikost spotřeby ropy
ČR

Ropa kvůli vyšší ceně než ostatních fosilních paliv v energetice nehraje významnou roli (kotle na spalování oleje nebo jiných ropných produktů jsou pouze záložní), ale její spotřeba pro jiné části průmyslu a dopravu je obrovská. V roce 2016 bylo do ČR přivezeno 5324 tis. tun, ale toto číslo nezahrnuje dovoz již zpracovaných paliv z ropy (benzín, nafta apod), který je řádově podobný [30].

Zemní plyn

Složení a výskyt

Zemní plyn, z velké většiny tvořen pouze metanem CH_4 (viz *Tabulka 1126*), často doprovází ložiska předchozích dvou fosilních paliv především ropy. Zemní plyn se hromadí v ložisku uhlí i ropy při rozkladu biomasy v případě, že je mu znemožněno uniknout na povrch.

1126 Parametry
tranzitního plynu
(zemní plyn
v tranzitním
plynovodu)

	CH_4	C_xH_y	N_2	CO_2
ω	98,2	0,94	0,77	0,1

ω [%] objemový podíl za standardního tlaku a teploty, kdy má hustotu $0,69 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Zemní plyn obsahuje dále v 1 m^3 kolem $0,2 \text{ mg}$ síry, jeho výhřevnost je $34,08 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$, jeho spalné teplo¹ je $37,82 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$, zápalná teplota zemního plynu je 650°C a jeho adiabatická teplota plamene je 1957°C . Údaje z roku 2001. Zdroj [2].

Použití

Na spotřebě zemního plynu se nejvíce podílí průmysl (výroba tepla a jiné průmyslové využití), domácnosti, energetika (výroba tepla i elektřiny) a částečně i doprava, protože zemní plyn se stává i plnohodnotným palivem pro prostředky veřejné dopravy, stavebních strojů i osobních automobilů (v nádržích v těchto prostředcích se skladuje plyn pod vysokým tlakem tzv. CNG—Compressed Natural Gas).

694 Úloha

Vypočítejte objem a složení spalín při stechiometrickém spalování zemního plynu. Předpokládejte spalování suchého vzduchu (složení viz *Úloha 564*³, objem CO_2 ve vzduchu neuvažujte). Složení zemního plynu je uvedena v *Tabulce 1126*. Řešení úlohy je uvedeno v *Příloze 694*, s. 27.

Těžba zemního plynu

Rychlý pokles tlaku v
ložisku, vytlačení
tekutinami i pískem,
frakování

Tlak zemního plynu v ložisku dosahuje až 100 MPa , ale těžbou samozřejmě klesá, nakonec je ho nutné na povrch vytlačet kapalinou, pískem či inertními plyny. Nízký tlak v ložisku je typický pro tzv. břidlicový plyn, kterému je navíc nutné břidlicemi vytvořit cestu pomocí frakování (vytvoření puklin v břidlicích kapalinou s chemickými přísadami a pískem) a pak vytlačit pískem [31], to vše těžbu prodražuje a navíc zatěžuje životní prostředí (veškeré uvedené ingredience je nutné vyrobit/vytěžit a k vrtu dopravit). Nízký tlak v ložisku břidlicového plynu také znamená, že toto ložisko není příliš vydatné a první rok po otevření takového

vrtu se vytěží hned 60 % jeho kapacity, po druhém roce těžby už v něm zbývá jen 20 % zemního plynu atd. [32].

Těžba z vody

Další způsob těžby zemního plynu je jeho uvolňování z vody, ve které je rozpuštěn. V hlubokých jezerech se u dna při vysokém tlaku metan (a také značné množství CO_2) uvolňovaný při rozpadu biomasy ve vodě rozpouští (neuniká na povrch). Metan se z vody uvolní, když tuto vodu vyčerpáme k hladině, kde je nižší tlak, viz například projekt na jezeře Kivu ve Rwandě [33]. Tento způsob těžby je velmi citlivý na změny tlaku a teploty v těžební oblasti, a proto se musí odplynněná voda čerpat zpět pod vysokým tlakem ke dnu jezera, jinak by mohlo dojít k masivnímu uvolnění nasycené vody z vyšší hloubky k hladině, kde by se plyn náhle uvolnil a zamořil okolí jak se stalo v roce 1986 na jezeře Nyos v Kamerunu [34].

Přeprava a distribuce zemního plynu

Spotřeba v ČR

Díky masivní podpoře plynofikace v 90. letech 20. století se zvýšila spotřeba zemního plynu z cca 6 na 9,5 mld. m^3 . V současné době je spotřeba nižší a v roce 2019 činila 8,1823 mld. m^3 [14].

Nutnost dovozu, tranzitní plynovody

Podobně jako ropu tak i zemní plyn je nutné do ČR dovážet. Do ČR se dováží plyn z Ruska tranzitním plynovodem Tranzit (Obrázek 1127). Malé množství zemního plynu se dováží přes Německo z Norska. Část plynu přecházejícího přes ČR jde do Německa a Francie. Celá Evropa je protkána poměrně hustou sítí plynovodů, které jsou zásobovány z východu (Rusko), z jihu a ze severu (v severním moři se nachází významné zásoby zemního plynu).

1127 *Trasa tranzitního plynovodu Tranzit*



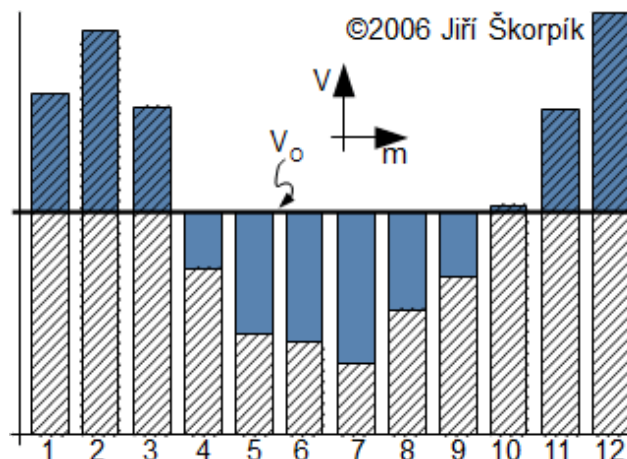
t [mil. m^3_n] objem spotřebovaného zemního plynu. Světlost plynovodu: $5x \text{ } \varnothing 1400 \text{ mm}$, průtok: $120 \text{ mil. m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ (z toho odběr ČR cca $30 \text{ mil. m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$), provozní tlak: 7,5 MPa. Tranzitní plynovod na našem území má tyto základní body: na státních hranicích jsou tzv. hraniční předávací stanice **HPS**, uvnitř státního území jsou pak vnitřní předávací stanice **VPS** do vnitrostátních plynovodů, plynovod je ukončen konečnou stanicí **KS**. Tranzitní plynovod také obsahuje tzv. kompresorové stanice, ve kterých se zvyšuje tlak plynu – dorovnání tlakové ztráty³⁸ v potrubí. Zdroj obrázku a dat [14] – zde naleznete i podrobnější mapu plynovodů.

Sezóní výkyvy ve spotřebě, sezóní skladování

Na Obrázku 1128 je znázorněna spotřeba ZP během roku a množství ZP, které si může ČR odebrat z tranzitního plynovodu. Vidíme, že odběr v zimě nedokáže pokrýt spotřebu, a naopak v létě

je odběr větší, než je spotřeba, proto se na území ČR provozují podzemní zásobníky plynu plněné v létě, ze kterých se kryje nedostatečný dovoz v zimním období.

1128 Spotřeba ZP a dovoz plynu pro ČR



V [m^3] spotřeba ZP; m [-] měsíc v roce; V_o [m^3] měsíční povolený odběr z tranzitního plynovodu; **šrafování** aktuální spotřeba ZP v daném měsíci; **modrá** přebytek/nedostatek odebíraného zemního plynu z tranzitního plynovodu. Odběry a spotřeba zemního plynu během roku musí být stanoveny s ohledem na konstantní průtok zemního plynu tranzitním plynovodem během roku. Na obrázku je vyznačeno množství odebíraného zemního plynu z plynovodu jako konstantní. Ve skutečnosti se během roku odběr mění a v létě může ČR odebírat z Tranzitu více zemního plynu než v zimě.

Nutnost velkoobjemových podzemních zásobníků

Na rozdíl od skladování svítiplynu, který se uskladoval v nadzemních zásobnících, je množství uskládovaného zemního plynu tak velké, že se ukládá do velkoobjemových podzemních prostor, viz *Obrázek 692, s. 11*. Pro podzemní zásobníky se využívají buďto prostory po vytěžené ropě či zemním plynu, dutiny vzniklé loužením solných ložisek nebo odčerpáním části nebo veškeré vody z podzemního jezera (aquifera) a nebo v jeskyni nějakého masivu. Hloubky takových skladových prostor jsou ve stovkách až tisících metrech, například v Hájích na Příbramsku je podzemní zásobník vybudovaný v žulovém masivu v hloubce 1000 m. Pokud je masiv pórovitý a uskladněný zemní plyn by unikl nebo by musel být skladován při nižším tlaku (to snižuje množství uskladněného plynu), pak se k zahlcení pórů používá např. tlaková voda. Na druhou stranu takové hydropneumatické

692 Podzemní zásobník plynu Dolní Dunajovice



1 cetrála zásobníku; 2 produkční kříž; 3 tlak plynu v zásobníku dosahuje několika MPa, zde 1,5 MPa.

dotěšňování samozřejmě zvyšuje nároky na infrastrukturu i řídicí prvky skladovacího prostoru.

LNG

Na větší vzdálenost (tam kde se nevyplatí vybudovat plynovod) se zemní plyn převáží ve zkapalněném stavu (tzv. LNG –Liquid Natural Gas) pomocí tankerů, které ve svých kulových nádržích mají průměrnou kapacitu $155\,000\text{ m}^3$ [36]. Například do Evropy se tímto způsobem přepravuje zemní plyn ze severní Afriky [21]. Komplexně o problematice LNG například v publikaci [35].

Energie v zemním plynu

Výpočet z dodaného objemu, referenčních podmínek a nadmořské výšky odběrného místa

Odběr plynu je měřen plynoměrem v m^3 . Výše platby ale odpovídá dodané energii za sledované období. Energie se vypočítá ze spalného tepla¹ dodávaného plynu. Spalné teplo plynu je vztaženo na 1 m^3 při referenčním tlaku a teplotě. Pokud je tedy plyn odebírán při jiné teplotě, musí se dodaný objem plynu přepočítat na objem plynu jaký by zaujímal při referenčním tlaku a teplotě. Tento přepočet se dělá pomocí stavových rovnic⁴³, viz *Vzorce 1129*. V České republice jsou referenční podmínky obvykle $t_{\text{ref}}=15\text{ }^\circ\text{C}$, $p_{\text{ref}}=101,325\text{ kPa}$:

1129 *Energie dodaná v zemním plynu*

$$Q_D = V_{\text{ref}} \cdot Q; \quad V_{\text{ref}} = V_p \cdot k \frac{1}{K}; \quad k = \frac{p_p \cdot T_{\text{ref}}}{T_p \cdot p_{\text{ref}}}; \quad p_p = p_b + p_{\text{pr}}; \quad p_b = 101,7 - 0,0125 \cdot h$$

Q_D [kWh] dodané teplo; V_{ref} [m^3] objem dodaného plynu při referenčních podmínkách; Q [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}$] spalné teplo dodaného plynu při referenčních podmínkách (měří se na odběrech v plynovodu několikrát za měsíc); V_p [m^3] objem dodaného plynu (údaj z plynoměru); k [-] přepočtový koeficient; K [-] stupeň kompresibility (přibližně 1,0001); p_p [kPa] tlak plynu v místě odběru; T_{ref} [K] referenční teplota odebraného plynu; T_p [K] teplota plynu v místě odběru; p_{ref} [kPa] referenční tlak plynu; p_b [kPa] atmosférický tlak v místě odběru; p_{pr} [kPa] přetlak plynu v místě odběru; h [m] nadmořská výška místa odběru plynu.

Nelze využít veškerou dodanou energii

Ze vzorců je zřejmé, že odebrané množství tepla odpovídá vychlazení spalin na referenční teplotu tedy $15\text{ }^\circ\text{C}$. Ve skutečnosti, pokud spotřebitel nedisponuje kotlem, který je schopen vychladit spaliny na co nejnižší teplotu (kondenzační kotel), bývá teplota spalin do komína cca $120\text{ }^\circ\text{C}$ a část energie, které spotřebitel zaplatí není schopen využít.

693 *Úloha*

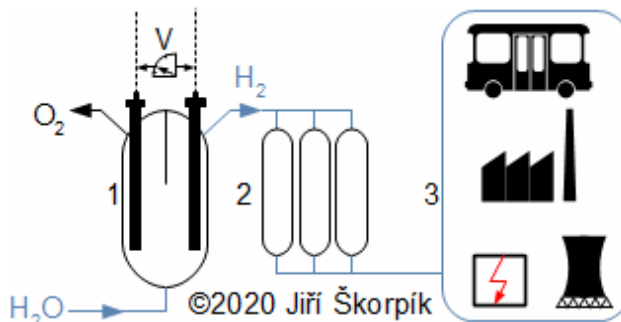
Vypočítejte množství dodané energie v zemním plynu pro dvě geograficky odlišná místa. Odběrnými místy jsou Brno (243 m n.m.) a (Třešť 545 m n.m.). Obě odběrová místa odebrala za rok stejné množství plynu 2500 m^3 (údaj z plynoměru). Průměrná teplota dodávaného plynu byla $9\text{ }^\circ\text{C}$. Průměrná hodnota přetlaku v plynu v místech odběrů 2 kPa. Střední spalné objemové teplo plynu ve sledovaný rok za referenčních podmínek bylo $Q=10,5261\text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$. Referenční podmínky: $p_{\text{ref}}=101,325\text{ kPa}$, $t_{\text{ref}}=15\text{ }^\circ\text{C}$. Výsledek uveďte v MWh. Řešení úlohy je uvedeno v Příloze 693, s. 27.

Vodík jako palivo

Jako akumulátor energie

Využívání vodíku je v ČR v současné době (2020) jen okrajovou záležitostí. Nicméně probíhají experimenty, které mají ČR přiblížit silícímu světovému trendu využívání vodíku jako nosiče "přebytečné" elektrické energie, viz *Obrázek 691*.

691 *Cyklus vodíku jako nosiče energie*



1 rozklad vody na vodík a kyslík, viz podkapitola *Výroba vodíku*, s. 10; **2** skladování a distribuce vodíku, viz podkapitola *Skladování a doprava vodíku do místa spotřeby*, s. 10. **3** využití vodíku v dopravě, v průmyslu a energetice, viz podkapitola *Využití vodíku jako paliva*, s. 12.

Jako palivo v dopravě

Vodík je i kandidátem na palivo budoucnosti pro dopravní prostředky. V této souvislosti plánuje ČR do roku 2030 vybudování takové vodíkové infrastruktury (výroba-distribuce-skladování-tankování), aby na našich silnicích v té době mohlo na vodík jezdit 50 tis. automobilů [37].

Výroba vodíku

Zákl. výrobní metody bez produkce CO₂

Základní metody výroby vodíku jsou: **1.** elektrolýza; **2.** vysokoteplotní rozklad vody; **3.** biologické metody. Cílem je, aby vodík byl z pohledu zvyšujících se emisí CO₂ neutrální, takže energie, kterou použijeme k výrobě vodíku, musí pocházet ze zdrojů, které primárně nezvyšují množství CO₂ v atmosféře (tj. obnovitelných zdroje a jaderné zdroje).

Elektrolýza vody

1/3. Máme-li k dispozici zdroj elektrické energie, pak lze vodík vyrábět pomocí elektrolýzy vody, kdy se voda rozkládá pomocí napětí na kyslík a vodík, viz *Obrázek 1123*, s. 14. Problém elektrolýzních zařízení je relativně malá účinnost cca 75 % (většinou ještě menší [39]), která se zhoršuje, pokud je výkon elektrolyzáru jiný než optimální.

Jak dosáhnout optimálních výkonů elektrolyzáru

Optimální výkon elektrolyzáru je zajišťován, například u systému, který využívá přebytečný výkon fotovoltaického systému², tak že se celý systém doplní ještě elektrickou baterií. Vodík se pak vyrábí, když je přebytek elektřiny vyrobený fotovoltaickým systémem a pokud je jí větší množství, než je optimální výkon elektrolyzáru, tak se nabíjejí i baterie a naopak se elektřina z baterií využívá ke krytí optimálního výkonu elektrolyzáru při nedostatečném výkonu fotovoltaického systému [38].

1123 Hala s
elektrolyzéry v
energieparku Mainz



V hale jsou instalovány membránové elektrolyzéry SILYZER 200 od společnosti Siemens typu PEM–proton exchange membrane. Celkový výkon $3 \times 1,3 \text{ MW}$ (špičkově až 2 MW), pracovní tlak $3,5 \text{ MPa}$. Zdroj obrázku a dat [41].

*Vysokoteplotní i
nízkoteplotní rozklad
páry*

2/3. Vysokoteplotní rozklad vody je možný při jejím plynném skupenství, kdy se molekuly páry H_2O při vysoké teplotě přirozeně rozkládají. Tento způsob je ale dost nereálný v průmyslovém měřítku, protože potřebné teploty jsou kolem 1600°C . Proto perspektivnější je tzv. termochemický způsob, kdy se vodík vyrábí z vody kombinací vysoké teploty a katalyzátoru, kterým je jod. Nejvyšší teplota, které potřebují potřebné reakce je 900°C při účinnosti využití tepelné energie kolem 50% (asi 60% nákladů při výrobě vodíku pomocí elektrolýzy elektrinou vyrobenou ze stejného tepla). Poněkud problém je, že během reakcí vzniká jako meziproduct i kyselina sírová H_2SO_4 , více v [15].

Umělá fotosyntéza

Probíhá i výzkum umělé fotosyntézy³, při které by se přímo pomocí dopadajícího slunečního záření štěpila voda na vodík a kyslík.

*Biologický způsob
pomocí bakterií*

3/3. Biologické způsoby výroby vodíku jsou předmětem zkoumání. Většinou se jedná o využití bakterií, které se živí glukózou, sacharózou, celulózą nebo podobným materiálem organického původu a přitom štěpí vodu na vodík a další plyny [15, s. 148].

*Výroba z fos. paliv, ale
s produkcí CO_2*

Vodík lze vyrábět i z jiných látek než vody (například z metanu, uhlí apod. viz [15, s. 147]), ale taková výroba je z pohledu emisí CO_2 neperspektivní (není CO_2 neutrální) a pouze substituuje současné nedostatky výroby vodíku z vody.

*Problém malé
objemové výhřevnosti a
zakl. způsoby
skladování*

Skladování a doprava vodíku do místa spotřeby

Vodík při standardním tlaku a teplotě má nižší výhřevnost vztaženou 1 m^3 než ostatní běžně používaná paliva. Konkrétně výhřevnost vodíku je $119,62 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, respektive $10,76 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ (benzín $32\,000 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$) [15]. Právě malá objemová výhřevnost plně charakterizuje odlišnosti ve skladování a dopravě vodíku. Vodík se skladuje alespoň experimentálně: **1.** za vysokých tlaků; **2.** v kapalném stavu za velmi nízkých teplot; **3.** navázáním do krystalických mřížek některých kovových slitin.

Skladování při tlaku 20 až 70 MPa

1/3. Skladování vodíku do tlakových lahví klade další energetické nároky, tentokrát na kompresi, protože skladovací tlaky mohou dosahovat až 70 MPa [38], ale přepravní tlaky v klasických tlakových láhvích na nákladním automobilu jsou do 20 MPa (energetická hustota $2360 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ [15]), viz *Obrázek 1231*. Náklady na kompresi lze snížit tím, že už elektrolyzátor bude pracovat při vyšším tlaku, protože zvýšení tlaku vody je přeci jenom méně náročné.

1231 *Přeprava vodíku v tlakových láhvích*



Přepravní tlak v jednotlivých láhvích na návěsu je 20 MPa, plnění těchto lahví v energieparku Mainz trvá cca 3 h, hmotnost veškerého vodíku, který je na návěsu přepravován je od 300 do 600 kg. Zdroj obrázku a dat [41].

1131 *Celkový pohled na technologickou část v energieparku Mainz*



Hala s elektrolyzéry je ta nejvíce v pozadí. Dvě válcové nádoby jsou zásobníky vyrobeného vodíku – $2 \times 82 \text{ m}^3$, skladovací tlak 2-8 MPa, při maximálním tlaku mohou tyto nádrže skladovat ve vodíku 26 MWh energie. Surový vodík z elektrolyzátorů je nejprve veden katalyzátorem, aby zbytkový kyslík zreagoval s vodíkem na vodní páru – ta je odlučována, voda zkondenzována a odváděna zpět do elektrolyzátoru. Surový vodík je stlačován v prvním stupni kompresoru a uskladně ve dvou tlakových láhvích (případně dodáván do plynovodu zemního plynu), nebo dále stlačován ve druhém stupni do tlakových lahví – malé (standardní) tlakové lahve na vodík převážené nákladním automobilem. Mezi tlakovými nádobami a strojovnou elektrolyzátorů jsou chladiče elektrolyzátorů (připomeňme jejich nízkou účinnost). Kontejnerová budova vlevo je strojovna kompresorů, která obsahuje pístový dvoustupňový kompresor na vodík vyvinutý společností Linde těsněný pomocí kapalných solí. Zdroj obrázku a dat [41].

Skladování v kapalném stavu při teplotách pod -253 °C

2/3. Další způsob skladování vodíku je jeho zkapalnění při teplotě alespoň -253 °C, tím vzroste jeho hustota a energetická hustota asi na $10\,080 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ [15], což už je alespoň řádově srovnatelné s energetickou hustotou benzínu, ale zkapalnění spotřebuje asi třetinu energie, kterou sám obsahuje [15, s. 149]. Se skladováním

zkapalněného vodíku se experimentuje především kvůli jeho možnému využití v dopravě.

Skladování plynu v kovech

3/3. Vodík, díky své malé molekule v plynném stavu je schopen za určitých podmínek velmi dobře vnikat do krystalických mřížek jiných látek. Tuto jeho vlastnost využívá několik společností pro jeho skladování (vodík se pak s krystalických mřížek uvolňuje při určité teplotě) [42]. Tyto technologie umožňují zvýšit energetickou hustotu skladování plynného vodíku na mírně větší hodnoty než kapalného vodíku [15, s. 150].

Dávkování do plynovodů z. plynu

Za jistou formu skladování můžeme považovat přidávání vyrobeného vodíku do plynovodů zemního plynu (podobně to dělají vodíkárny v Německu [40]), pokud v místě plnění nedosahuje zemní plyn povoleného limitu 2 % vodíku [39].

Využití vodíku jako paliva

Spalování, raketové motory, palivo v dopravě a energetice

Už jsme zmínili, že vodík lze do určité koncentrace přidávat do plynovodu zemního plynu, kde se ho užívá stejným způsobem jako samotný zemní plyn. Vodík ve zkapalněném stavu je ale i významným palivem raketových motorů⁴⁰ a především se stává prostředkem pro výrobu, respektive akumulaci elektrické energie a palivem v dopravě.

Účinnost a možnosti akumulace elektrické energie ve vodíku

Jestliže očekáváme, že vodík bude vyráběn z nadbytečné elektrické elektřiny, pak jeho využití k výrobě elektřiny lze chápat jako akumulace elektrické energie. Soustava uvedená na *Obrázku 691, s. 13* je schopná v současnosti dosahovat účinnosti akumulace elektřiny kolem 30 % [38], při použití palivového článku jakožto stroje, ve kterém se slučuje vodík s kyslíkem za tvorby elektrické energie a tepla (vodík je skladován v tlakových láhvích).

Spalovací turbíny velkých výkonů

V současné době jsou vyvíjeny i upravené typy spalovacích turbín, tak aby mohly spalovat i vodík. Turbinářské firmy (především Siemens, GE a Capstone) vidí příležitost v tom, že spalovací turbíny přeci jenom dosahují větších výkonů než palivové články a bylo by tak možné navýšit akumulační výkony.

Palivové články v automobilech

S palivovým článkem se počítá i v dopravě při pohonu prakticky všech druhů vozidel. S takovým pohonem experimentuje hned několik automobilek a dokonce osobní a další typy automobilů v malých sériích prodávají. Provozovat automobil na vodík lze už například v Německu, USA či Japonsku, kde už existuje a stále se rozšiřuje síť plnicích vodíkových stanic.

Jako palivo pro klasické spal. motory

Vodík lze také spalovat v klasických spalovacích motorech. Například automobilka BMW vyvinula spalovací motor schopný spalovat jak vodík, tak benzín, aby majitel nebyl odkázán jen na tankování vodíku. Německá automobilka s tímto motorem vyrobila stokusovou sérii osobního automobilu BMW Hydrogen 7, *Obrázek 1232*, kterou testuje v ostrém provozu [44].

1232 Tankovací body
automobilu BMW
hydrogen 7



Automobil má dva palivové vstupy – jeden na kapalný vodík a druhý na benzín, a také, že úložný prostor je menší o 170 l nádrž na vodík. Automobilka uvádí, že při testech činila spotřeba 13,9 l/100 km benzínu nebo 50 l/100 km vodíku (při spalování vodíku unikla z výfuku pouze vodní pára). Zbývá ještě dodat, že motor je 12-válcový s objemem 6 l. Zdroje obrázku [43].

Vodík jako základ pro další syntetická paliva

*Zatím jen náhradní
zemní plyn*

Vodík je základem i pro mnoho chemických reakcí užívaných v průmyslu a lze ho dokonce použít k výrobě syntetických paliv. Zatím se experimentálně ve větším měřítku z vodíku vyrábí tzv. náhradní zemní plyn nebo těž obnovitelný zemní plyn. Základem je reakce oxidu uhličitého CO_2 a vodíku H_2 s katalyzátory, při které vzniká voda H_2O a metan CH_4 [39]. Výsledkem je pak směs vodní páry vodíku a metanu. Po odstranění vody (kondenzací při ochlazení) zbude směs, kterou tvoří metan a z 20 % H_2 . Tento proces se nazývá metanizace vodíku, jestliže CO_2 pochází z nefosilního zdroje, pak hovoříme o obnovitelném zemním plynu kvůli jeho vysokému obsahu metanu. Metanizace má asi 80-85 % účinnost, ale problémem je efektivně získávat čistý CO_2 , jehož separace například ze spalin je energeticky i finančně náročná [24].

Ekologické dopady spalování

*Co mohou spaliny
způsobit v atmosféře*

Spaliny obsahují všechny prvky a sloučeniny jako vzduch na vstupu do spalovacího procesu včetně kyslíku, protože neexistuje technické zařízení, které by spálilo veškerý kyslík. Navíc jsou ve spalinách další látky, které byly obsaženy v palivu nebo vznikly při jeho spalování. Některé sloučeniny dokonce v atmosféře dále reagují a přetvářejí se a některé sloučeniny mají vysokou rozpustnost ve vodě a jsou zpětně ukládány spolu s kapkami vody na zemský povrch. Jiné druhy sloučeniny unikají až do stratosféry, kde vlivem slunečního záření může dojít k jejich rozkladu na jiné částice, které lépe reagují s okolím a opět vytváří další sloučeniny.

Škodlivá emise

Některé uvedené látky ze spalin jsou zdraví a přírodě škodlivé tzv. škodlivé emise. Pokud by tedy nedošlo k jejich odstranění nebo přetvoření, než jsou vypuštěny do atmosféry, mohly by uškodit člověku i přírodě nejen v bezprostředním okolí zdroje.

ppm jednotka obsahu

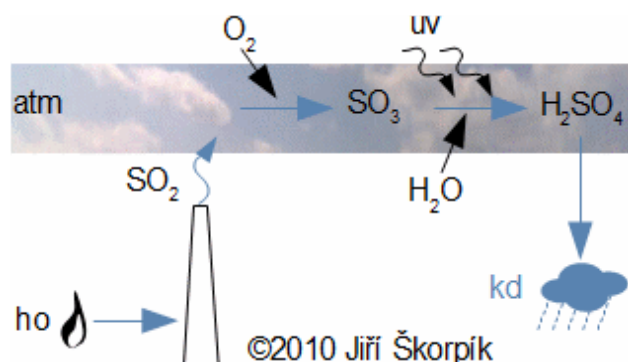
Množství jednotlivých emisí ve spalínách se stanovuje v jednotkách ppm. Jednotka ppm označuje počet částic sledované látky z 1 mil. částic spalín (podle 309/91 Sb. a vyhláškou 117) [2].

Vlivy oxidů síry

Od molekuly SO_2 přes SO_3 až k H_2SO_4 v atmosféře

Obsahuje-li palivo síru může při hoření vznikat SO_2 (oxid siřičitý), přičemž některý SO_2 (2 % až 3 %) reaguje ještě ve spalovacím zařízení na SO_3 (oxid sírový). Ale i SO_2 v atmosféře reaguje s kyslíkem na SO_3 a následně s vodní párou za vzniku kyseliny sírové H_2SO_4 , která se při dešťových srážkách (kyselý déšť) dostává do půdy, ve které zůstává i několik desítek let [45], *Obrázek 695*.

695 Schématické znázornění působení oxidů síry uniklého po spalování do atmosféry



ho hoření paliva s obsahem síry a vznik spalín obsahující síru; **atm** atmosféra; **uv** UV-záření⁴⁶; **kd** kyselý déšť a vsak do půdy. Podrobnější popis chemických reakcí síry v atmosféře je uveden v [2, s. 218].

Odsíření neboli desulfidace spalín

Odstraňování sloučenin síry ze spalín se nazývá odsíření neboli desulfidace. U fluidních ohnišť se síra obsažená v palivu odstraňuje částečně už ve fluidní vrstvě za pomoci vápna, což je výhoda fluidních ohnišť. U automobilové dopravy se síra neuvolňuje, protože automobilová paliva už síru neobsahují. Podrobnější popis [2, s. 444].

Vliv oxidů dusíku

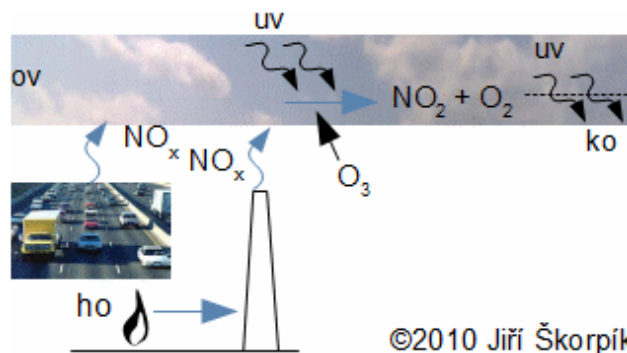
Vznik oxidů dusíku, čas a teplota

Hoření se účastní i dusík obsažený v palivu a ve spalovacím vzduchu. Tento dusík reaguje ve spalovacích zařízeních s kyslíkem přičemž vzniká NO (oxid dusnatý cca 95 % z celkového množství oxidů dusíku) a NO_2 (oxid dusičitý cca 5 % z celkového množství oxidů dusíku), které se souhrnně nazývají NO_x . Tvorba závisí především na koncentraci kyslíku, době pobytu a teplotě ve spalovacím prostoru, kde je přítomen kyslík.

Redukce ozónu, tvorba kyseliny dusičné

NO_x reaguje s ozónem O_3 za tvorby kyslíku O_2 , touto redukcí ozónu přispívá ke vzniku skleníkového efektu a podílí se na změně klimatu, viz *Obrázek 696*. Za jistých podmínek může v atmosféře vznikat za pomoci sloučenin dusíku i kyselina dusičná, která se s deštěm dostává do půdy [45]. Více v [2, s. 464].

696 Působení oxidů dusíku uniklého po spalování do atmosféry



©2010 Jiří Škorpík

ov ozónová vrstva; ko snížení koncentrace ozónu. Podrobnější popis chemických reakcí dusíku v atmosféře je uveden v [2, s. 219].

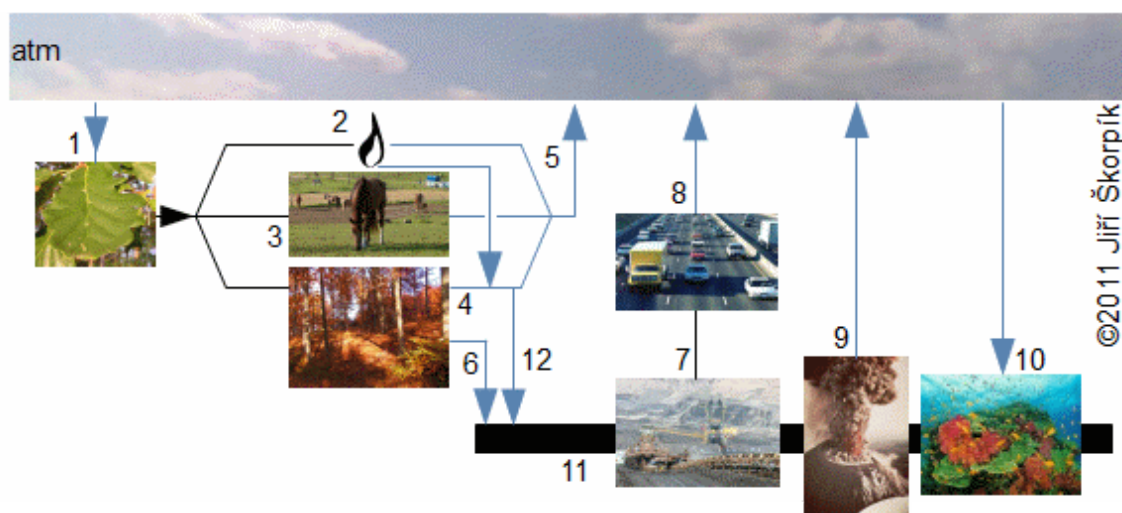
Vznik CO a CO_2 a koloběh uhlíku

CO_2 a CO jsou nejvíce zastoupenou složkou ve spalínách

Nejvíce zastoupenou složkou ve spalínách po spálení fosilního paliva je CO_2 (oxid uhličitý) případně CO, protože dominantním prvkem fosilních paliv je uhlík a velká většina spalného tepla je právě vázána na uhlík. CO (oxid uhelnatý) je produktem nedokonalého spalování, kdy vlivem nedostatku kyslíku nedochází k úplné oxidaci palivového uhlíku.

Uhlík je v biosféře nezastupitelný a jeho koloběh v přírodě musí být v rovnováze

Uhlík a oxidy uhlíku jsou nenahraditelnou součástí biosféry a slouží jako základní stavební kámen živých organismů a rostlin, a proto narušení koloběhu uhlíku může mít lokální i globální vliv na život. Z Obrázku 1132 je patrné, že koloběh uhlíku nemusí být v současnosti v rovnováze a do atmosféry je ho uvolňováno víc, než ho je z ní spotřebováváno. Zatímco tvorba CO_2 vlivem rozpadu či dalšího zpracování biomasy je kompenzováno přibližně stejnou spotřebou atmosférického CO_2 , tak vzniklé CO_2 při spalování



©2011 Jiří Škorpík

1132 Koloběh uhlíku

1 fotosyntéza a vznik glukózy; 2 spalování biomasy; 3 využití glukózy při dýchání; 4 rozklad biomasy; 6 fosilizace biomasy (rašelina); 7 těžba fosilních paliv; 8 spalování fos. paliv (energetika, doprava, průmysl atd.); 9 vulkanická činnost (únik uhlíku do atmosféry); 10 sedimentace uhlíku v oceánu a v mořské funě a flóře; 11 neplynná část Země; 12 uhlík v tuhých zbytcích (dřevěné uhlí). Sedimenty obsahující uhlík se ze dna oceánů dostávají do atmosféry vulkanickou činností. Mořská voda je schopna některé uhlíkaté sloučeniny jímat (rozpuštět) i do svého objemu (za cenu zvýšení kyselosti) a postupně ho u dna vyloučit ve formě uhličitánů.

fosilních paliv zůstává v atmosféře (v malé míře je pohlcován oceány). Při spalování fosilních paliv uniká do atmosféry uhlík, který byl po mnoho miliónu let vyjmut z uhlíkového cyklu, což přispívá k jeho zvyšující se koncentraci v atmosféře. S jistou rezervou lze tvrdit, že spalováním fosilních paliv se koncentrace CO_2 v atmosféře vrací v čase.

Rozložení zásob uhlíku

V současnosti jsou "zásoby" uhlíku rozloženy na zemském povrchu podle [15] asi takto: **1.** sedimenty na dně oceánů asi 40 000 Gt uhlíku; **2.** fosilní paliva 5 000 až 10 000 Gt uhlíku; **3.** odumřelá biomasa asi 2000 Gt uhlíku; **4.** ovzduší současnost 800 Gt uhlíku; dále je uhlík uložen ve formě uhličitánů a v živé biotě.

CO_2 a skleníkový efekt

Princip

Sluneční záření dopadající na povrch Země má vlnovou délku nejčastěji odpovídající viditelnému světlu⁴⁶. Část tohoto záření je odražena atmosférou nebo povrchem Země do vesmírného prostoru beze změny vlnové délky, jak je popsáno v podkapitole Intenzita slunečního záření². Větší část tohoto záření je pohlcena povrchem Země a přeměněna na její vnitřní tepelnou energii⁴³. Ohřátý povrch Země emituje záření o vlnové délce odpovídající jeho teplotě (tzv. tepelné záření⁴⁶ o vlnové délce 5 až 40 mm). Pro tepelné záření je mnohem těžší projít atmosférou než slunečnímu záření, protože je částečně absorbováno skleníkovými plyny v atmosféře. Skleníkové plyny se zahřívají a vyzařují tepelné záření, buď do vesmíru, nebo zpět k zemi. Tím se část záření vrací zpět k povrchu země a ještě více ho ohřívá, dokud vlnová délka záření není taková, aby v dostatečném objemu prošla atmosférou. Aby tedy nastala rovnováha mezi vyzařovaným a přijímaným teplem povrchu země, při rostoucí koncentraci skleníkových plynů, musí se teplota povrchu zvyšovat.

Skleníkové plyny, CO_2 má nejvyšší podíl na současném oteplování

Sálavé spektrum Země se sice dramaticky nemění ani při globálním oteplováním, ale skleníkových plynů je několik druhů a pokrývají svou absorpcí prakticky celé spektrum kromě spektra viditelného světla. Mezi vlivné skleníkové plyny v atmosféře patří například H_2O , CH_4 a CO_2 . Především zvyšování koncentrace v atmosféře posledně zmiňovaného plynu je připisován velký podíl na současné změně klimatu, respektive na globálním oteplování.

V historii Země bylo období, kdy atmosféra obsahovala jen minimální množství CO_2 . Bylo to období rané fáze vývoje Země. Poté co Země vychladla v období zvané proterozoikum (období těsně před vlivem života na klima), došlo pravděpodobně k úplnému zalednění povrchu planety [23. s. 156], protože koncentrace skleníkových plynů byla nízká. Ke zvyšování skleníkových plynů v atmosféře, a tím i ke zvýšení teploty došlo až po rozšíření života. Koncentrace CO_2 se měnila tak, jak vzkvétal

nebo uvadal život na naší planetě a s tím se střídala chladná a teplejší období, a za posledních několik set tisíc let, kdy došlo k vývoji člověka se koncentrace CO_2 pohybovala kolem hodnot 275 ppm až do doby počátku masivního spalování fosilních paliv, viz *Tabulka 51*, kdy začala koncentrace CO_2 prudce narůstat.

51 Přibližné průměrné koncentrace CO_2 v atmosféře a zvýšení průměrné teploty

		δ	Δt
1	1700	275	0
2	1950	310	0,15
3	1980	340	0,41
4	2000	370	0,73
5	2017	407	1

δ [ppm] průměrná koncentrace CO_2 v atmosféře v daném roce (během roku se tato koncentrace mění tak, jak se střídají roční období na jižní a severní polokouli, protože na severní polokouli je více porostu); Δt [°C] rozdíl průměrné globální teploty v daném roce s průměrnou teplotou před rokem 1700. Zdroj dat: [16], [46].

Legislativní strategie ke snižování produkce CO_2

Jednou z příčin zvyšování koncentrace CO_2 je spalování fosilních paliv, proto jsou v některých zemích legislativně i dotacemi podporovány technologie, které mají co nejnížší produkci CO_2 na množství získané energie. Například místo uhlí se podporuje spalování zemního plynu apod. Také se některé státy pokouší omezovat produkci CO_2 zpoplatněním jeho vypouštění do atmosféry (tzv. povolenky CO_2).

Uskladňování CO_2 ze spalin, zaorávání dřevěného uhlí

Možností jak snížit produkci CO_2 je uskladňování CO_2 ze spalin, například v dutinách po těžbě a pod. Jenže než CO_2 uskladníme musíme ho ze spalin, případně vzduchu separovat a to je finančně i energeticky nesmírně náročné. Energeticky nejméně náročná je pyrolýza biomasy³. Při pyrolýze vzniká dřevěné uhlí, což uhlík v grafitové formě, která za běžných teplot a tlaků nereaguje se vzduchem, takže tento uhlík je stažen z uhlíkového cyklu. Toto dřevěné uhlí lze snadno skladovat nebo zaorávat do půdy, čímž se zvýší její pórovitost a například i schopnost udržovat vlhkost. Problém je, že abychom tímto způsobem stáhly uhlík z uhlíkového cyklu v množství v jaké ho uvolníme do atmosféry při spalování, bychom museli ročně osázet biomasou plochu odpovídající mnohem větší ploše, než je povrch Země, viz řešení *Úlohy 175*, s. 3.

Ostatní škodliviny ve spalinách

Halogeny a stopové prvky

Mimo výše uvedených sloučenin mohou spaliny obsahovat v malé míře další sloučeniny a škodliviny, které vznikají v různých fázích hoření podle druhu zařízení. Mohou například vznikat halogeny (plynný chlorovodík HCL a fluorovodík HF) a stopové prvky organických sloučenin uvolněné do plynné fáze během spalování atd.

Tuhé částice, kovy a další prvky

Obsahem spalin bývají i emise tuhých částic (prach). Uhlí může obsahovat i malé množství radioaktivních⁴⁷ prvků a těžké kovy

(jedná se o materiál splavený při nahromadění biomasy během přírodních katastrof), které jsou vylučovány v tuhých částicích ve spalinách i v popelu.

Odkazy

- [1] *Oficiální web Michala Poláka*. Web: <http://www.empefoto.cz>, [cit. 2011].
- [2] IBLER, Zbyněk, KARTÁK, Jan, MERTLOVÁ, Jiřina, IBLER, Zbyněk ml. *Technický průvodce energetika-1. díl*, 2002. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, ISBN 80-7300-026-1.
- [3] OTČENÁŠEK, Petr. *Elektrická energie pro Českou republiku*, 2006. Vydal ČEZ, a.s., Dostupné z <http://www.cez.cz>, [cit. 2013].
- [4] *Czech Coal, a.s.*. Obchodní společnost s uhlím. Adresa: Evropská 2690/17, 160 00 Praha 6, Dejvice, web: <http://www.czechcoal.cz>, [cit. 2011].
- [5] *Český statistický úřad*. Web: <http://www.czso.cz>, [cit. 2011].
- [6] *Elekrárna Dětmárovice*, Web:<http://www.cez.cz>, [cit. 2011].
- [7] ČECH, Bohumír. *Diagnostické metody měření spalínových traktů a jejich aplikace u kotlů s fluidní vrstvou*, 1997. Disertační práce obhájená na Slezské polytechnice Gliwice katedře energetiky a životního prostředí v roce 1998. Práce obsahuje i katalog schématických řezů všech fluidních kotlů v ČR – stav konec roku 1997.
- [8] Autor neuveden. České zásoby ropy čekají v pískovně u Nelahozevsi, *iDnes.cz*, 2007. Dostupné z <http://ekonomika.idnes.cz>, [cit. 2012].
- [9] KRBK, Jaroslav, OCHRANA, Ladislav, POLESNÝ, Bohumil. *Průmyslová energetika*, 1996. 1. vydání. Brno: Fakulta strojní VUT v Brně, ISBN 80-214-0831-6.
- [10] Tisková zpráva. Provoz plynárenské části Vřesová. Vydalo Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s. v 2020-04-27. Adresa: Staré náměstí 69, 356 01 Sokolov. Web: <https://www.suas.cz/>, [cit. 2020-09-02].
- [11] *Statoil*, energetická společnost zaměřená na těžbu a zpracování ropy a zemního plynu. Web: <http://www.statoil.com>, [cit. 2011].
- [12] ZIMÁK, Jiří. *Ložiska nerostných surovin*, 2005. Olomouc: Katedra geologie PřF UP Olomouc. Dostupné z <http://www.geology.upol.cz>, [cit. 2011].
- [13] *MERO ČR, a. s.*, vlastník a provozovatel české části ropovodu Družba a ropovodu IKL. Adresa: Veltruská 748, 278 01 Kralupy nad Vltavou-Lobeček, web: <http://www.mero.cz>, [cit. 2011].
- [14] *Energetický regulační úřad*. Web: <http://www.eru.cz>, [cit. 2011].
- [15] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Energie a globální oteplování – Země v proměnách při opatřování energie*, 2006. 1. vydání. Brno: VUTIUM, ISBN 80-214-2919-4.
- [16] Web: <https://faktaoklimatu.cz/>, [cit. 2020-09-10].
- [17] JANČAR, Rostislav. Prozkoumali jsme jedinou černouhelnou elektrárnu v Česku, *iDnes.cz*, 2007. Dostupné z <http://technet.idnes.cz>, [cit. 2012].
- [18] KASÍK, Pavel. Neobyčejná historie obyčejné tužky, *iDnes.cz*, 2007. Dostupné z <http://technet.idnes.cz>, [cit. 2012].

- [19] ŠIMEK, Zdeněk. *Krása a velikost technické chemie*. Praha: Orbis, 1962. Vědění všem (Orbis).
- [20] PACÁK, Josef. *Úvod do studia organické chemie*, 1982. 1. vydání. Praha: SNTL.
- [21] HARANT, Václav. Plyn, nebo vodík?, *ihned.cz*, 2006. Dostupné z <http://ekonom.ihned.cz>, [cit. 2012].
- [22] HIBŠ, Miroslav. *Proudové přístroje*, 1981. 2. vydání-přepracované. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., DT 621.694.
- [23] CÍLEK, Václav. *Co se děje se světem?, kniha malých dobrodíní v časech velké proměny Země*, 2016. 1. vydání. Praha: Dokořán. ISBN 978-80-7363-761-3.
- [24] ZILVAR, Jiří. Syntetická paliva – power to gas, power to liquid: výroba a účinnost, *TZB-info*, 2020, 26. květen. Praha: Topinfo s.r.o., ISSN 1801-4399. Dostupné z <https://www.tzb-info.cz>, [cit. 2020-07-21].
- [25] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Tepelné elektrárny a teplárny*, 1984. Vydání první. Praha: SNTL.
- [26] RAŽNJEVIĆ, Kuzman. *Termodynamické tabulky*, 1984. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 2 sv. Edícia energetickej literatúry (Alfa).
- [27] DOLEŽAL, Richard a kol. *Kotle a spalovací zařízení*, 1965. 1. vydání. Praha: SNTL. 424 s. 04-225-65.
- [28] BEDNÁŘ, Jaroslav. Před 50 lety byl propojen český a moravský svítíplynový systém. *Plyn*, 2008-03. Praha: Český plynárenský svaz – redakce Plynu, ISSN 0032-1761.
- [29] Autor neuveden. Na návštěvě v elektrárně, kde elektřinu vyrábějí s "čistým" využitím uhlí, *Technický týdeník*, č. 1, ročník 2006. ISSN 0040-1064.
- [30] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Web: <https://www.mpo.cz/>, [cit. 2020-09-02].
- [31] Autor neuveden. USA: těžbu z břidlic komplikuje nedostatek písku, *Technický týdeník*, 2018-03-20. ISSN 0040-1064.
- [32] KOZDERKA, Jan. Proč je málo pravděpodobné, že by břidlicový plyn mohl vyřešit energetickou otázku, *TZB-info*, 2014-10-20. Praha: Topinfo s.r.o., ISSN 1801-4399. Dostupné z <https://www.tzb-info.cz>, [cit. 2020-09-03].
- [33] Autor neuveden. Kivu ve Rwandě – energetická naděje, ale i jisté riziko čerpání plynu, *Technický týdeník*, č. 15, ročník 2015. ISSN 0040-1064.
- [34] NÍDR, Tomáš. Kamerun: návrat k jezeru smrti, kde se vesnice proměnily v plynové komory. *iDnes.cz*, 2016. Dostupné z <http://technet.idnes.cz>, [Cit. 2020-09-04].
- [35] DUFEK, Zdeněk, Petr BENEŠ, Jiří POSPÍŠIL, Jiří ŠKORPÍK, Václav ŽIVEC a Milan MARTINKA. *Využití LNG v dopravě a energetice a jeho bezpečnost*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 978-80-7623-016-3.
- [36] Autor neuveden. Zkapalněný zemní plyn: pomůže Evropě?, *Technický týdeník*, č. 23, ročník 2014. ISSN 0040-1064.
- [37] SKALICKÝ, Matěj. Patří budoucnost vodíkovým autům? „Jedna z nejreálnějších energií,“ tvrdí šéf české Toyoty, *Český rozhlas*, dne 2020-08-30. Zveřejněno na https://www.irozhlas.cz/zivot...008301550__ban, [cit. 2020-09-04].

- [38] Autor neuveden. Energetická budoucnost: fotovoltaika ve spojení s vodíkovou baterií, *Technický týdeník*, č. 8, ročník 2015. ISSN 0040-1064.
- [39] ZIMČÍK, Jakub. Technologie power to gas dokáže využít přebytečnou elektřinu, *Pro-energy magazín*, č. 3, ročník 2016. ISSN 1802-4599.
- [40] Autor neuveden. Energie park Mainz: největší vodíkové uložště energie na světě, *Technický týdeník*, č. 19, ročník 2015. ISSN 0040-1064.
- [41] Web Energiepark Mainz. <https://www.energiepark-mainz.de/>, [cit. 2020-09-07].
- [42] Rozhovor v časopise. Dibenzyltoluen, res. technologie hydrogenious, dokáže absorbovat vodík v množství 2 MW na kubík. To už dává smysl. *All for power*, č. 04, 2016. Praha: AF POWER agency, a.s., ISSN – 1802 – 8535.
- [43] *Wikimedia Commons* – úložiště volného multimediálního obsahu. [on-line]. [2013]. Dostupné z <http://commons.wikimedia.org>.
- [44] Autor neuveden. Vodík jako palivo pro automobily, *Technický týdeník*, č. 7, ročník 2017. ISSN 0040-1064.
- [45] Autor neuveden. Proč české lesy strádají i po razantním snížení emisí sloučenin dusíku a síry, *Energetika*, č. 2, ročník 2007. ISSN 0375-8842.
- [46] Autor neuveden. *Global Climate Change*, 2011. Stanford SOLAR Center, dostupné z <http://solar-center.stanford.edu>, [cit. 2020-09-10].

Bibliografická citace článku

ŠKORPÍK, Jiří. Organická paliva a jejich cykly, *Transformační technologie*, 2011-04, [last updated 2020-11-10]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/07.html>.