

POSUZOVÁNÍ ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ Z HLEDISKA APLIKOVATELNOSTI KARBONÁTOVÉ SMYČKY

Marek Staf^a, Eva Krtková^b

^aÚstav plyných a pevných paliv a ochrany ovzduší,

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6

^bČeský hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 412-Komořany

e-mail: Marek.Staf@vscht.cz

Studie se zabývá vyhodnocením, zda jsou aktuálně provozované elektrárny a teplárny na území České republiky způsobilé k instalaci vysokoteplotního regenerativního zachytu oxidu uhličitého ze spalin chemisorpcí na kalcinátech přírodních vápenců a analogických materiálech. Na základě několika hodnotících kritérií, mezi něž patří druh spalovaného paliva, plánovaná životnost spalovacího zařízení aj., byla provedena selekce. Kritickému vyhodnocení všech posuzovaných parametrů vyhovělo 46 bloků tepelných elektráren a 32 tepláren. Uvedené zdroje ročně emitují více než 39,5 milionů tun oxidu uhličitého. Naproti tomu 27 % bloků tepelných elektráren a plyných 82 % tepláren v České republice kritériím nevyhovělo a instalace technologie karbonátové smyčky by pro ně tudíž nebyla přínosná.

Klíčová slova: elektrárna, teplárna, oxid uhličitý, spalování, vysokoteplotní sorpce.

Došlo 17. 8. 2016, přijato 12. 9. 2016

1. Úvod

Zde prezentovaná studie obsahově přímo navazuje na článek pojednávající o obecných perspektivách metody vysokoteplotní chemisorpce oxidu uhličitého pomocí přírodních vápenců v České republice [1].

Stále jsou na odborné i politické úrovni vedeny spory, do jaké míry antropogenní vlivy působí na globální klima. Díky významným mezinárodním projektům jsou nyní k dispozici relevantní údaje o vývoji koncentrací skleníkových plynů v atmosféře. Velmi komplexní soubor dat poskytují observatoře kontinuálně sledující atmosférické koncentrace GHG. Z nich nejstarší observatoř Mauna Loa, jež je součástí divize globálního monitoringu při NOAA-ESRL, stále aktualizuje databázi měření koncentrace CO₂, přičemž kompletní soubory dat jsou k dispozici od roku 1958 po současnost [2].

Změny teplot v nedávné geologické historii Země byly velmi přesně zmapovány díky projektu EPICA, jež v oblasti antarktické základny Concordia Station realizoval hloubkové vrty do intaktního ledovcového masivu. Analýzou získaných jádrových vrtů, vedoucích do hloubky 3270,2 m, tj. pouze 5 m nad skalním podloží, byly získány údaje o klimatických změnách za posledních zhruba 890 000 let. Hodnoty byly verifikovány srovnávacími měřeními, prováděnými v Grónsku [3]. Změny atmosférické koncentrace skleníkových plynů a rovněž změny globálních teplot od posledního glaciálu do současnosti jsou velmi dobře popsány a díky např. výše uvedené verifikaci jsou číselné hodnoty publikované různými zdroji značně uniformní.

Jiná situace je však v oblasti predikce vývoje do budoucna. Byla vypracována řada scénářů popisujících, jakým způsobem se stanovené koncentrace GHG promítnou do globálního klimatu. Problematikou

stanovování závislosti průměrné globální teploty na koncentraci skleníkových plynů se zabýval např. Stainforth a kol. Ve své studii zmiňuje obecně rozšířený statistický model, který na základě pozorování nedávných klimatických změn předpovídá při zdvojnásobení koncentrace CO₂ v atmosféře odezvu v podobě růstu průměrné globální teploty o více než 5 K. Uvádí však, že při použití komplexnějších simulací, užívajících obecný cirkulační model a zohledňujících regionální detaily, byly získány predikce odezvy průměrné globální teploty na zdvojnásobení koncentrace CO₂ v rozsahu od méně než 2 K až po hodnotu přesahující 11 K [4]. Přitom správný odhad reakce atmosféry na rostoucí koncentrace GHG je podmínkou pro vypracování odpovídajících mitigačních a adaptačních strategií. Ve světle aktuálních problémů mj. s migrační krizí se do popředí zájmu dostává i problém desertifikace, jež je uvažován jako jeden z klíčových faktorů, způsobujících uvedené závažné problémy sociopolitického rázu. Vztah mezi predikovanými klimatickými změnami, mitigačními a adaptačními strategiemi v různých takto postižených oblastech světa řešili např. Salinas a Mendieta pro oblast Chile [5], Armah a kol. v oblasti středozápadní Afriky [6] nebo Misra v Indii [7].

Kromě desertifikace se věnuje pozornost trendu zvyšování četnosti extrémních jevů v počasí. Dopadům výkyvů teploty, četnosti srážek, změn atmosférického tlaku atd. na lidské zdraví se věnuje např. studie, kterou publikoval Kirch a kol. [8]. Dopad extrémních jevů na produkci základních potravinářských komodit je rovněž velmi nebezpečný fenomén, který se nyní týká i Evropy. Kupříkladu problematika zvýšené fluktuační ve výnosech obilí v Nizozemí v souvislosti s těmito jevy

je diskutována ve výzkumu, který publikovali Powell a Reinhard [9].

V posledních letech počet extrémních jevů v počasí neoddiskutovatelně roste v celoplanetárním i lokálním měřítku. Velmi ilustrativní je příklad růstu četnosti extrémně vysokých teplot v oblasti Středního východu a severní Afriky spojených s poklesem ročních srážkových úhrnů ve stejné oblasti, jak uvádí Lelieveld. Autor ve své publikaci dále uvádí alarmující výstupy z navrženého klimatického modelu, jenž pro danou oblast extrapoluje pro časový horizont 21. století [10]. Z uvedeného příkladu lze odvodit, že rizika plynoucí z emisí oxidu uhličitého nelze ignorovat. Technická řešení omezování emisí uvedeného skleníkového plynu je nezbytné uvádět do praxe též v návaznosti na skutečnost, že Pařížskou dohodu, jež má v rámci UNFCCC od roku 2020 navázat na Kjótský protokol, do poloviny září 2016 ratifikovalo 27 států, emitujících 39,08 % celosvětových emisí GHG. Před průlomem v podobě připojení Spojených států a Číny představovala suma emisí z ostatních států, které do té doby dohodu ratifikovaly, pouze 1,08 % celosvětových emisí GHG [11]. Jsou vyvíjeny a testovány metody pro průmyslový záchyt oxidu uhličitého, uvolňovaného především v oblasti energetiky, případně v jiných výrobních procesech. Nasazení metody karbonátové smyčky, v níž jsou v roli sorbentu použitelné především přírodní vápence, je jednou z možností.

1.1. Cíl studie

Cílem této studie je poskytnout přehled o současně provozovaných elektrárnách a teplárnách v České republice, které splňují základní předpoklady pro implementaci technologie karbonátové smyčky pro záchyt produkovaného oxidu uhličitého. Vyhodnocení každého zdroje z hlediska použitelnosti karbonátové smyčky bylo provedeno pomocí kritického vyhodnocení několika technických kritérií, jejichž výčet je uveden níže v textu. Výstupem pak byly číselné údaje o počtu, stáří a konstrukčním provedení příslušných zařízení. Aby byla zajištěna maximální názornost, jsou prakticky veškeré datové údaje uváděny v grafické formě reprezentované převážně výšečovými grafy.

2. Vyhodnocované parametry

Ve výše citovaném článku, na nějž tato studie navazuje, bylo uvedeno, že pro zpracování databáze byly zjištěné zdroje emisí CO₂ rozděleny do osmi kategorií. V těchto kategoriích bylo statisticky podchyceno celkem 330 jednotlivých producentů předmětného skleníkového plynu, kteří dle nejaktuálnějších dat uvolňují 66 435 610 t CO₂.rok⁻¹ [1]. Zdroje z kategorií elektráren a tepláren byly následně podrobeny hodnocení na základě těchto technologických kritérií:

- typ procesu, který odpovídá za uvolňování CO₂,
- druh a forma paliva nebo jiného reaktantu, z něhož se CO₂ uvolňuje,

- teplotní podmínky spalovacího nebo chemického procesu,
- přítomnost zdroje vodní páry,
- stáří technologie,
- předpokládaná životnost technologie,
- další technická omezení a podmínky bránící aplikaci karbonátové smyčky.

Na základě provedených laboratorních zkoušek, které umožnily stanovit účinnost cyklicky prováděné vysokoteplotní sorpce na vápencích a další provozní parametry, lze extrapolovat tyto parametry pro jednotky průmyslového měřítka. Hlavní výsledky laboratorních testů byly rovněž publikovány [12]. Analýzou všech dostupných experimentálních dat bylo určeno, že limitní velikost zdroje emisí CO₂, pro který je za současného stavu poznání perspektivní aplikovat metodu karbonátové smyčky, je 50.10³ t CO₂ za kalendářní rok. To však neplatí v případě, že daný posuzovaný provoz je instalován jako dílčí technologický prvek většího průmyslového celku, který je rovněž zdrojem CO₂. V takovém případě lze uvažovat společné zpracování spalin v rámci jednoho sdruženého zařízení.

Dle citovaných laboratorních testů s cyklickým opakováním sorpce CO₂ na vápencích s následnou vysokoteplotní dekarbonací je v případě vhodně zvoleného vápence a teplotního režimu dlouhodobě udržitelná hodnota přenosové kapacity cca 11 t CO₂ na 100 t vsázky surového vápence. Při nasazení periodické parní regenerace po každém kalcinačním kroku byl pokles kapacity účinně potlačen. Rovnovážná i technicky využitelná (tj. přenosová) sorpční kapacita se v takovém případě zvýšila na hodnotu přes 20 t CO₂ na 100 t vsázky. Popsané zdvojnásobení hodnoty kapacity logicky vyústilo v doporučení použít nevýznamný podíl procesní páry z energetické technologie pro výše uvedenou periodickou regeneraci vápence [12].

2.1. Vyhodnocení elektráren

Elektrárnami je třeba se z pohledu řešení záchytu CO₂ intenzivně zabývat ze dvou důvodů. Dle státní energetické koncepce (SEK) nemá být ani po roce 2040 výroba elektřiny spalováním uhlí zcela zrušena. Dle stejného zdroje by do roku 2030 mělo být dosaženo snížení emisí CO₂ o 40 % ve srovnání s rokem 1990 tak, aby postupně došlo k dekarbonizaci ekonomiky do roku 2050 [13].

V hodnocené kategorii elektráren se jedná ve většině případů o zařízení spalující tuhá paliva reprezentovaná hnědým energetickým uhlím, případně uhlím černým. Pouze 4 z posuzovaných bloků byly konstruovány pro provoz na zemní plyn. Je třeba zmínit, že některé provozy, mající charakter elektrárny a pracující v režimu kogenerace nebo trigenerace, byly zařazeny nikoli mezi elektrárny, ale následně mezi teplárny. Důvodem pro toto zařazení byl stav, kdy nadpoloviční podíl tepelného příkonu bloku nebyl použit k výrobě elektrické energie, ale k výrobě distribuované horké vody a páry.

Posuzování technologických parametrů elektráren probíhalo na základě údajů z Integrovaného registru znečišťování životního prostředí (IRZ) [14], kombinovaných s informacemi o každém individuálním zdroji z příslušných rozhodnutí o integrovaném povolení dle zákona č. 76/2002 Sb., jež jsou vždy veřejně přístupná [15]. Statistické údaje byly dále porovnávány s údaji Národního inventarizačního systému (NIS) [16], a též z poslední platné Národní inventarizační zprávy (NIR) zahrnující kalendářní rok 2013 [17].

S použitím zvolených kritérií proběhlo vyhodnocení způsobilosti elektráren takto.

- Typ procesu, který odpovídá za uvolňování CO₂:

V případě tepelných elektráren je CO₂ produkováno v první řadě v důsledku spalování uhlíkatého paliva, druhotně pak při procesu odsíření mokrou vápencovou, suchou vápencovou nebo polosuchou vápennou metodou. Kromě zbytkových podílů popílku, oxidu siřičitého a oxidů dusíku o koncentraci nepřevyšující zákonem dané koncentrační limity neobsahují spaliny, opouštějící kotel, odlučovač tuhých částic i odsířovací jednotku, žádné komponenty, které by potenciálně mohly narušovat proces sorpce CO₂. Na základě prvního vyhodnocovacího kritéria tudíž nebyl žádný zdroj v kategorii elektráren vyřazen.

- Druh a forma paliva, nebo jiného reaktantu, z něhož se CO₂ uvolňuje:

Jak bylo uvedeno výše, vyhodnocované provozy spalují tři druhy paliv, a to hnědé uhlí, černé uhlí a zemní plyn. Graf na obr. 1 ukazuje poměr emisí CO₂ vznikajících v důsledku spalování jednotlivých zmíněných druhů fosilních paliv. Graf na obr. 2 pak demonstruje, kolik dílčích bloků v současné době využívá k produkci elektrické energie jednotlivé druhy paliv. Z pohledu aplikace karbonátové smyčky nepředstavuje žádné ze jmenovaných paliv překážku pro implementaci metody.

- Teplotní podmínky spalovacího nebo chemického procesu:

Teplotní podmínky procesu v případě tepelných elektráren nepředstavují diskvalifikující faktor. V současné době jsou převažujícím systémem kotle s granulární spalovací komorou spalující práškové uhlí. V rámci tohoto procesu dosahují maximální teploty cca 1400 °C. Z důvodu nutnosti snižování emisí oxidů dusíku jsou preferovanou alternativou kotle fluidní spalující tuhé palivo o větší granulometrii cca 20 mm a mající spalovací teplotu, která nepřevyšuje 900 °C. Při realizaci karbonátové smyčky je minimální kalcinační teplota na úrovni 850 °C, což u některých provozů vytváří nutnost spalování dodatečného paliva pro účely kalcinace. Nicméně u žádného z posuzovaných bloků nebyla uvedená skutečnost důvodem k jeho vyřazení z databáze.

- Přítomnost zdroje vodní páry:

V průběhu laboratorních testů regenerace sorbentu zaváděním vodní páry bylo ověřeno, že v teplotním rozmezí 100 – 300 °C a tomu odpovídajících tlacích

probíhal regenerační proces vždy uspokojivě [12]. Zdroj procesní páry, splňující takto široké meze, je přítomen ve všech posuzovaných elektrárenských blocích. Jediným limitujícím faktorem pro parní regeneraci je riziko překročení rozkladné teploty hydroxidu vápenatého, jež činí za normálního tlaku cca 510 °C, v důsledku reakční enthalpie tohoto exotermního děje a následného naakumulování tepla v reakčním prostoru. Pokud by uvedená situace při nevhodně nastavených parametrech reaktivačního procesu nastala předčasně, snížila by se významně účinnost reaktivace. Jak bylo experimentálně ověřeno, pro dosažení optimálního reaktivačního efektu je nezbytné, aby hydrataci došlo na povrchu sorbentu k vytvoření houbovitě struktury hydroxidu vápenatého. Teprve v dalším kroku je žádoucí, aby proběhla termická dekompozice hydroxidu, čímž se vytvoří porézní struktura umožňující snadnou difúzi CO₂ do částic sorbentu. S ohledem na teplotu páry opouštějící turbosoustrojí, jejíž použití je pro regeneraci předpokládáno, lze riziko překročení rozkladné teploty Ca(OH)₂ bez problému eliminovat. Z uvedeného vyplývá, že všechny posuzované elektrárenské bloky tomuto výběrovému kritériu vyhovují.

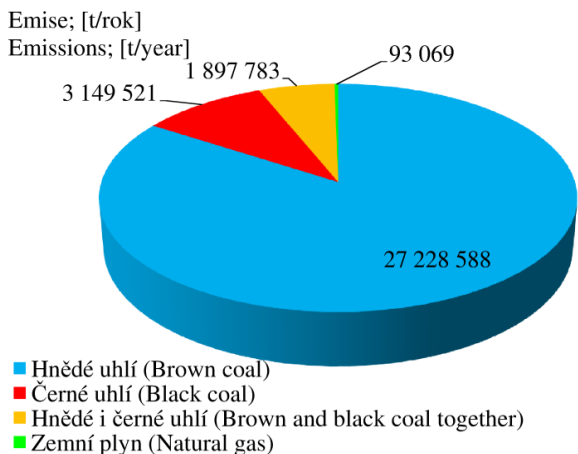
- Stáří technologie:

Vyšší stáří technologie samo o sobě v případě elektráren nevyklučuje rentabilitu instalace vysokoteplotní karbonátové smyčky. Podmínkou však je dobrá prognóza dalšího využívání bloku. Při posuzování jednotlivých elektrárenských bloků, jehož výstupy jsou graficky zpracovány níže, bylo rokem uvedení do provozu míněno buď zahájení činnosti zařízení po jeho výstavbě, pokud posuzovaný blok neprodělal výměnu podstatné části technologie (především kotle). Alternativně se rokem uvedení do provozu rozumí zahájení činnosti po realizaci výměny kotle. Rozdělení provozovaných bloků tepelných elektráren dle tohoto kritéria je znázorněno na obr. 3.

- Předpokládaná životnost technologie:

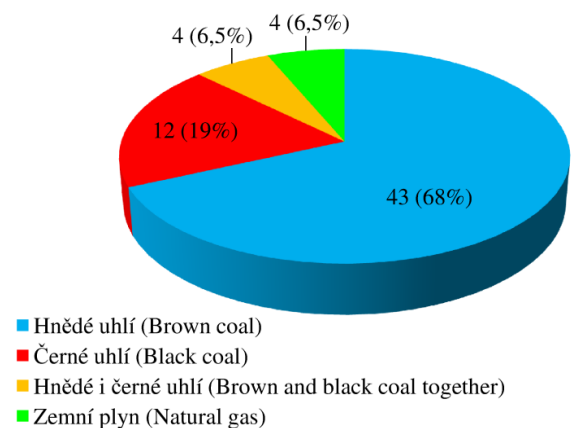
U uhelných elektráren je doba předpokládaného dalšího provozování posuzovaného bloku druhým klíčovým faktorem. Hlavní vylučovací faktor, jímž je úhrnná roční emise CO₂, již byl diskutován výše. Prognóza dalšího využívání uhelných elektráren je dána více podmínkami. Prvním činitelem je vývoj energetické politiky v dalším období, jak je shrnuto např. v SEK. Dalšími činiteli jsou rentabilita investice do modernizace daného bloku, a to zejména v oblasti emisí SO₂, NO_x a TZL a v neposlední řadě vyčerpání místního zdroje paliva, jež daný blok zpracovává. Z celkového počtu posuzovaných bloků (63) u pěti bloků není nynější prognóza další činnosti za horizontem roku 2020, u dvou bloků za horizontem roku 2025 a u sedmi bloků je problematický horizont 2030.

Kromě výše uvedených bodů nebyly u elektrárenských provozů zjištěny žádné další faktory, které by vedly k vyloučení některých z posuzovaných bloků z užšího výběru.



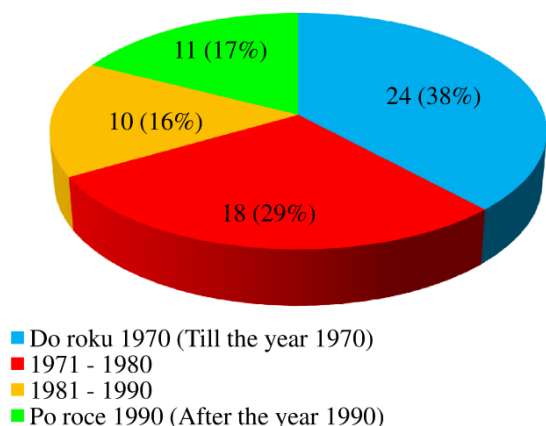
Obr. 1 Rozdělení ročních emisí CO₂ z monitorovaných elektráren dle spalovaného paliva

Fig. 1 Distribution of CO₂ emissions according to the fuel, combusted in the evaluated power plants



Obr. 2 Rozdělení jednotlivých monitorovaných elektrárenských bloků dle spalovaného paliva

Fig. 2 Distribution of evaluated blocks of power plants according to used fuel type



Obr. 3 Rozdělení jednotlivých monitorovaných elektrárenských bloků dle roku zprovoznění nebo renovace klíčových částí technologie

Fig. 3 Distribution of evaluated blocks of power plants according to year of commissioning or rebuilding of their key technologies

2.2. Vyhodnocení tepláren

Oproti vyhodnocování elektráren je zpracování databáze tepláren komplikovanější z toho důvodu, že jejich množina zahrnutá v primárním výběru obsahovala celkem 173 jednotlivých subjektů, z čehož 166 bylo aktivních (tj. reálně produkujících CO₂). Předvýběrové kritérium produkce CO₂ ve výši již zmíněných 50 000 t.rok⁻¹ splnilo v sektoru tepláren celkem 37 subjektů. Po prověření dalších technických parametrů byl do užšího výběru zařazen ještě jeden subjekt, jehož úhrnná roční emise CO₂ jen těsně podkročila nastavenou mez (konkrétně 49 619 t.rok⁻¹). Z pohledu emisí CO₂, které dosáhly v roce 2014 hodnotu 18 206 672 t.rok⁻¹ se po elektrárnách jedná o druhý nejvýznamnější industriální proces [16]. Celková suma emisí je však distribuována mezi velký počet zdrojů menšího výkonu. V porovnání s elektrárnami je rozptýl velikostí zdrojů velmi široký, neboť teplárny zahrnují jak provozovny výkonnostně srovnatelné s elektrárnami, tak i zdroje z hlediska bilance CO₂ zcela podružné. Zatímco u elektráren průměrná hodnota ročních emisí na jeden zdroj přesahuje 1,7·10⁶ t.rok⁻¹, u tepláren je to méně než 1,1·10⁵ t.rok⁻¹.

Z důvodů zajištění korektního vyhodnocení bylo v případě tepláren ustoupeno od definování bloků, ale byly zvláště posuzovány jednotlivé instalované kotle. Důvodem je skutečnost, že v teplárnách se nezdědka vyskytují vícepalivové až multipalivové systémy. Těmito termíny je míněno uspořádání, kdy v rámci jednoho zdroje je instalováno více kotlů konstruovaných pro spalování rozdílných druhů paliv. Stejně tak se jedná o vícepalivový systém v případě instalací, jež jsou v rámci jednoho kotle schopné spalovat 3 i více druhů paliv, jako např. zemní plyn + vysokopecní plyn + mazut + těžký topný olej. Uvedené skutečnosti poněkud komplikovaly vyhodnocení, a proto nebyla jiná možnost než uvedené posuzování jednotlivých kotlů. Paliva, která jsou v rámci České republiky používána v teplárenství, byla pro přehlednost uspořádána do tří kategorií a devíti podkategorií, pouze pro tento účel vytvořených. Seznam prověřovaných paliv je uveden v tab. 1.

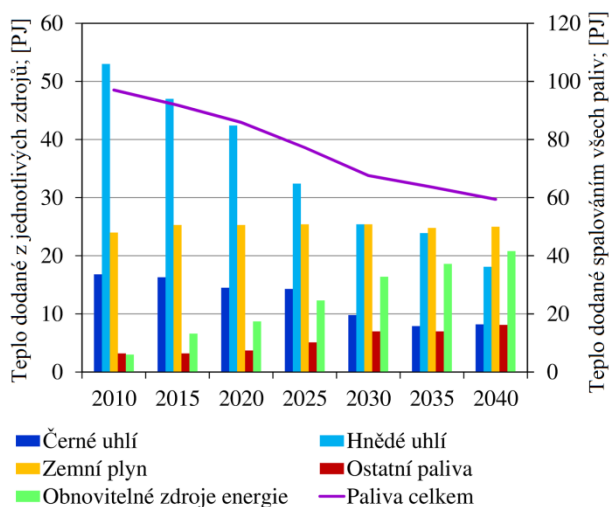
Jak bylo uvedeno výše, některé provozovny, mající charakter elektrárny a pracující v režimu kogenerace nebo trigenerace jsou zařazeny nikoli mezi elektrárny, ale mezi teplárny. Všechny zdroje byly posuzovány na základě stejných technologických kritérií, jako tomu bylo v případě elektráren. Při procesu posuzování tepláren byly oproti elektrárnám provedeny některé formální změny postupu. Soubor vyhodnocovaných parametrů byl, na rozdíl od elektráren, rozšířen o celkový tepelný příkon jednotlivých instalovaných kotlů. Tento parametr byl shledán výhodným pro svoji větší názornost při vzájemném porovnávání velikosti zdrojů emisí CO₂. Spolu s údaji o plánované životnosti kotle a palivovém mixu tvoří vynikající srovnávací platformu.

Tab. 1 Rozdělení paliv pro vzájemné porovnání a vyhodnocení tepláren**Tab. 1** Distribution of fuels for mutual comparison and evaluation of heating plants

Kategorie 1:	Tuhá paliva		
Podkategorie:	Tuhá fosilní paliva	Tuhá odpadní paliva	Tuhá biopaliva
Druhy:	černé uhlí hnědé uhlí koks lignit	ostatní pevná paliva odpadní plasty odpadní kaučuk	dřevo ostatní pevná biomasa
Kategorie 2:	Kapalná paliva		
Podkategorie:	Kapalná fosilní paliva	Kapalná odpadní paliva	Kapalná biopaliva
Druhy:	extra lehký topný olej lehký topný olej motorová nafta plynový olej těžký topný olej	odpadní oleje hnědouhelný generátorový dehet mourové kaly těžké dehtové kaly ostatní kapalná paliva	ostatní kapalná biomasa
Kategorie 3:	Plynná paliva		
Podkategorie:	Plynná fosilní paliva	Plynná paliva z prům. procesů	Plynná biopaliva
Druhy:	zemní plyn	energoplyn koksárenský plyn ostatní plynná paliva vysokopecní plyn	skládkový plyn plyn z ČOV bioplyn z bioplynových stanic

Odvětví teplárenství používá obdobná paliva, jako je tomu v případě elektráren. Je tudíž třeba jej posuzovat opět z pohledu predikce vývoje a národní strategie energetického a palivového mixu, dané státní energetickou koncepcí (SEK), schválenou vládou České republiky v roce 2015 [13]. Údaje ze SEK umožní spolu s informacemi o stáří každé spalovací technologie, používaných palivech a proběhlých rekonstrukcích vytvořit kvalifikovaný odhad budoucí perspektivy provozu každé jednotky.

SEK předkládá pravděpodobný scénář vývoje a struktury dodávek tepla ze soustav zásobování teplem. Scénář je extrapolován do roku 2040. Na obr. 4 je uveden příslušný sloupcový graf.

**Obr. 4** Vývoj a struktura dodávek tepla ze soustav zásobování teplem do roku 2040 [13]**Fig. 4** Prediction of heat production and distribution through the heat supply chain till 2040

Podobně jako v případě výroby elektrické energie je předpokládán výrazný pokles využívání uhlí a zejména hnědé. Z hodnot uvedených v SEK byla pro daný časový interval vyjádřena změna hodnoty vyrobeného tepla pro každý zařazený zdroj tepelné energie.

S ohledem na různé druhy energetických úspor je do roku 2040 předpokládán všeobecný pokles výroby tepla o necelých 20 % oproti roku 2010. Údaje převzaté ze SEK a upravené pro účely posuzování CCS technologií jsou shrnuté v tab. 2.

Z pohledu aplikace karbonátové smyčky je ale nutné tento výhled interpretovat poněkud jinak. Protože CO₂ je produkován spalováním libovolného paliva obsahujícího organicky vázaný uhlík, není konkrétní druh paliva z tohoto pohledu podstatný. Rozdíl mezi spalováním biomasy a spalováním fosilních paliv je pouze ten, že spalování fosilních paliv má obecně kladnou bilanci emisí CO₂, zatímco spalování biomasy má tuto bilanci teoreticky neutrální. Aplikováním metod CCS na biomasu se tak celková bilance uhlíku pouze posune k záporným hodnotám, což je z hlediska celkové atmosférické koncentrace tohoto plynu žádoucí. Položka „Ostatní paliva“, uvedená v tab. 2 a na obr. 4 představuje sumu koksárenského, vysokopecního a ostatních plynů, průmyslových odpadů, alternativních paliv, tuhého komunálního odpadu neobnovitelného a prvotního tepla. Pro posouzení perspektivnosti použití vysokoteplotního zachytu CO₂ je tedy možné graf na obr. 4 doplnit o úsečky znázorňující příspěvek všech paliv k celkové výrobě tepla. Z grafu je následně dobře patrné, že implementace metod CCS do výroby tepla je i z dlouhodobého hlediska důležitá. Údaje používané pro vyhodnocení byly opět získávány kombinací zdrojů IRZ, rozhodnutí o integrovaném povolení, NIS a NIR [14-17].

Tab. 2 Vývoj a struktura dodávek tepla ze soustav zásobování teplem do roku 2040 [13]**Tab. 2** Evolution and structure of heat supply from the heat distribution systems till the year 2040 [13]

Teplu předané do SZT; [PJ]	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	Změna 2010 - 2040
Černé uhlí	16,8	16,3	14,5	14,3	9,8	7,9	8,2	-51,2 %
Hnědé uhlí	53,0	47,0	42,4	32,4	25,4	23,9	18,1	-65,8 %
Zemní plyn	24,0	25,3	25,3	25,4	25,4	24,8	25,0	4,2 %
Ostatní paliva	3,2	3,2	3,7	5,1	7,0	7,0	8,1	153,1 %
Obnovitelné zdroje energie	3,0	6,6	8,7	12,3	16,4	18,6	20,8	593,3 %
Paliva celkem	97,0	91,8	85,9	77,2	67,6	63,6	59,4	-38,8 %
Celkem všechny zdroje	100,0	98,4	94,6	89,5	84,0	82,2	80,2	-19,8 %

Při potřebě získání doplňujících informací byly užívány též firemní stránky provozovatelů konkrétních tepláren. Na rozdíl od informací, obsažených v integrovaném povolení, byly v některých případech firemní internetové stránky doplněny o údaje, jež jsou nad rámec IP, ale z pohledu zde prováděného posuzování technologie jsou klíčové. Informací tohoto charakteru je např. uveřejnění blokového schématu nebo půdorysu celé technologie apod. S použitím uvedených zdrojů byly získány údaje o všech jednotlivých kotlích, instalovaných u všech subjektů v sektoru teplárenství, jejichž výše ročních emisí překročila stanovenou mez. Základní přehled počtu prověřovaných kotlů je včetně vybraných statistických údajů uveden v tab. 3.

Tab. 3 Základní statistické údaje o kotlích instalovaných ve zdrojích zvolených pomocí předvýběrového kritéria roční úhrnné emise CO₂ (38 zdrojů)**Tab. 3** Basic statistical data about boilers installed in the sources, chosen using pre-selection criterion of the overall annual CO₂ emission (38 sources)

Parametr	Hodnota
Počet jednotlivých hodnocených kotlů	163
Počet kotlů způsobilých spalovat tuhá paliva	109
Počet kotlů způsobilých spalovat kapalná paliva	32
Počet kotlů způsobilých spalovat plynná paliva	51
Průměrný počet kotlů na jeden zdroj (teplárnu)	4
Medián počtu kotlů na jeden zdroj (teplárnu)	4
Maximální počet kotlů na jeden zdroj (teplárnu)	11
Minimální počet kotlů na jeden zdroj (teplárnu)	2
Průměrné stáří kotle (od uvedení do provozu nebo rekonstrukce)	34 let
Nejvyšší zjištěné stáří kotle	86 let

V tabulce je celkový počet kotlů nižší než součet kotlů způsobilých spalovat jednotlivé druhy paliv. Důvodem je, že některé kotle umožňují spalovat více druhů paliv najednou, a proto figurují ve více kategoriích najednou. Vícepalivové systémy představují z pohledu CCS technologií jak výhodu, tak i nevýhodu. Nespornou výhodou je značná univerzálnost takovýchto instalací, což zvyšuje jejich dlouhodobou perspektivu. Zařízení dokáže operativně reagovat na situaci, kdy z důvodu změny legislativy, změny dostupnosti jednoho druhu paliva nebo změny cenových podmínek na trhu s palivy vznikne nutnost přejít z jednoho druhu paliva na jiný.

Z pohledu aplikace vysokoteplotního zachytu CO₂ však vícepalivový systém přináší i jistá rizika. Správná funkce karbonátové smyčky vyžaduje, aby minimální teplota v kalcinační sekci za žádných okolností neklesla pod 850 - 860 °C. Může dojít ke změně režimu provozování kotle tak, že nebude dosahováno uvedené minimální teploty v kalcinátoru. To povede buď ke snížení přenosové kapacity systému vůči CO₂ nebo bude nutné zahájit ohřev kalcinátoru spalováním dodatečného paliva. První situace by vedla ke snížení účinnosti sorpce, druhá pak ke zhoršení ekonomie provozu. Vícepalivové systémy jsou tudíž náročnější na systém řízení a regulace při provozování s karbonátovou smyčkou.

Z tabulky 3 je zřejmé, že v souboru teplárenských kotlů převažují zařízení uzpůsobená ke spalování tuhých paliv. V této souvislosti je třeba zmínit, že u některých typů uhelných práškových kotlů lze v rámci rekonstrukce nahradit proudové nebo vířivé hořáky sadou hořáků na plyn VPH 2P apod. [18]. Při zpracovávání technických parametrů v současné době provozovaných teplárenských kotlů byla tato přestavba u několika jednotek zaznamenána. Tato skutečnost byla při posuzování vhodnosti zařízení pro vysokoteplotní zachyt CO₂ zohledněna.

Zpracování dat o všech kotlích umožnilo získat přehled o průměrném stáří zařízení a jeho pravděpodobné perspektivě do budoucna. Z tab. 3 plyne, že zařízení provozovaná v teplárnách v ČR jsou relativně stará a lze u nich v blízké době zpravidla očekávat větší renovační zásahy. Protože však rozsah

a časový plán takovýchto rekonstrukcí a modernizací není u vysokého procenta zařízení znám, představují dané jednotky rizikové položky. V rámci korektního přístupu k vyhodnocení statistických údajů byly tyto jednotky z databáze vyřazeny v rámci selekce.

V následujících odstavcích jsou jednotlivá hodnotící kritéria aplikovaná na teplárny komentována obdobným způsobem, jako tomu bylo v případě elektráren.

Typ procesu, který odpovídá za uvolňování CO₂

V případě tepláren je stejně jako u elektráren CO₂ produkováno v první řadě v důsledku spalování uhlíkatého paliva, druhotně pak při procesu odsíření mokrou vápencovou, suchou vápencovou nebo

polosuchou vápennou metodou. Spaliny, které odchází z kotle, odlučovače tuhých částic i odsířovací jednotky, neobsahují žádné komponenty, které by potenciálně mohly narušovat proces sorpce CO₂ (kromě zbytkových podílů popílku, oxidu siřičitého a oxidů dusíku o koncentraci nepřevyšující zákonem dané koncentrační limity).

Druh a forma paliva nebo jiného reaktantu, z něhož se CO₂ uvolňuje

Na rozdíl od elektráren je škála paliv používaných v teplárnách podstatně širší. Pro zdroje, akceptované v rámci předvýběru na základě výše uvedené prahové hodnoty emisí, byla vypracována souhrnná tabulka 4, demonstrující podíl jednotlivých podkategorií paliv.

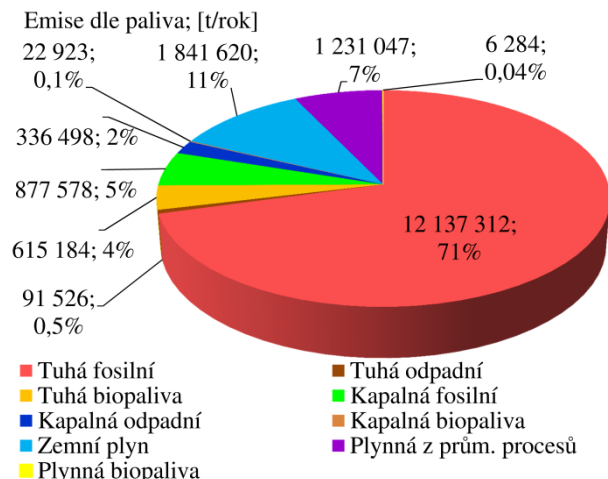
Tab. 4 Sumarizace příspěvků jednotlivých paliv na emisích CO₂ a na celkovém tepelném příkonu vyhodnocované skupiny tepláren

Tab. 4 Summary of contributions of individual fuel types on CO₂ emissions and on the overall heat input of the evaluated group of heating plants

Parametr	Emise; [t.rok ⁻¹]	Příkon; [MWt]
Tuhá fosilní paliva	12 137 312	9 467
Tuhá odpadní paliva	91 526	29
Tuhá biopaliva	615 184	703
Kapalná fosilní paliva	877 578	987
Kapalná odpadní paliva	336 498	203
Kapalná biopaliva	22 923	21
Zemní plyn	1 841 620	1 977
Plynná paliva z prům. procesů	1 231 047	656
Plynná biopaliva	6 284	7
Celková hodnota	17 159 972	14 050
Průměrná hodnota pro všechny zdroje ve výběru	450 384	370
Medián parametru pro všechny zdroje ve výběru	203 972	286
Maximální hodnota pro všechny zdroje ve výběru	4 098 901	1 270
Minimální hodnota pro všechny zdroje ve výběru	49 619	60
Průměrná hodnota emisí CO ₂ vztažená na tepelný příkon	967	
Medián hodnoty emisí vztažené na tepelný příkon	881	
Maximální hodnota emisí vztažená na tepelný příkon	3 279	[t.rok ⁻¹ .MWt ⁻¹]
Minimální hodnota emisí vztažená na tepelný příkon	213	

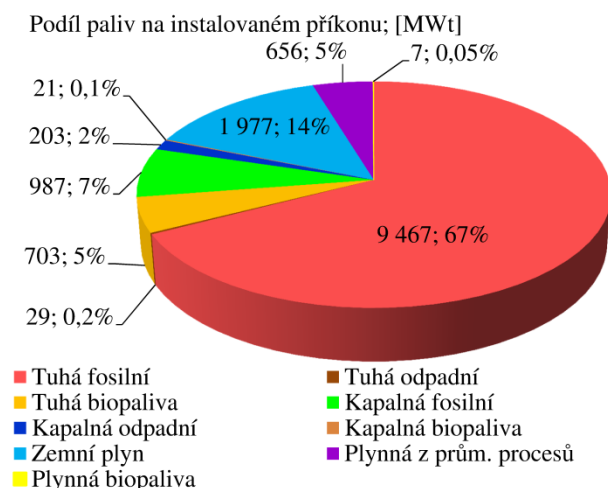
Na rozdíl od elektráren jsou kotle v teplárnách využívány v některých případech nerovnoměrně v průběhu kalendářního roku a relativně často bývají provozovány též na výrazně nižší výkon, než je jejich nominální. To se následně projeví na snížení poměru mezi reálně emitovaným oxidem uhličitým vůči jmenovitému tepelnému příkonu. Tato skutečnost, demonstrována v tab. 4, byla zařazena jako jedno z výběrových kritérií pro vyhodnocování tepláren. Dvě teplárny, pracující v nárazovém režimu s velkým počtem odstávek, a tudíž s malým poměrem emisí k instalovanému příkonu, bylo nutné vyloučit z výběru. Výstupy z tabulky byly graficky zpracovány a ve formě výšečových grafů jsou demonstrovány na obr. 5 a 6.

Ve shodě s údaji ze SEK v současné době v teplárenství převažuje spalování tuhých fosilních paliv, reprezentovaných hnědým a černým uhlím, koksem, proplásky a lignitem [13, 15]. Z pohledu zařazení vysokoteplotní chemisorpce CO₂ je tento druh paliv pro implementaci nejjednodušší. Hlavním důvodem je především používání vápence nebo vápenného hydrátu pro absorpci oxidu siřičitého. V těchto zařízeních je tudíž k dispozici již vápencové hospodářství, systém vykládky, skladování, místní přepravy atd. Z pohledu aplikace karbonátové smyčky nepředstavuje žádné ze jmenovaných paliv překážku, která by implementaci metody zcela vyloučila, nicméně spalování plyných paliv ve spojení s některými konstrukcemi spalovacího zařízení proces implementace znesnadňuje.



Obr. 5 Rozdělení ročních emisí CO₂ z monitorovaných tepláren (38 zdrojů) dle spalovaného paliva

Fig. 5 Distribution of annual CO₂ emissions from assessed heating plants (38 facilities) according to combusted fuels



Obr. 6 Příspěvky jednotlivých kategorií paliv na celkovém instalovaném příkonu tepláren, zařazených do výběru (38 zdrojů)

Fig. 6 Contribution of individual types of fuels to the overall installed input of assessed heating plants (38 facilities)

Teplotní podmínky spalovacího nebo chemického procesu

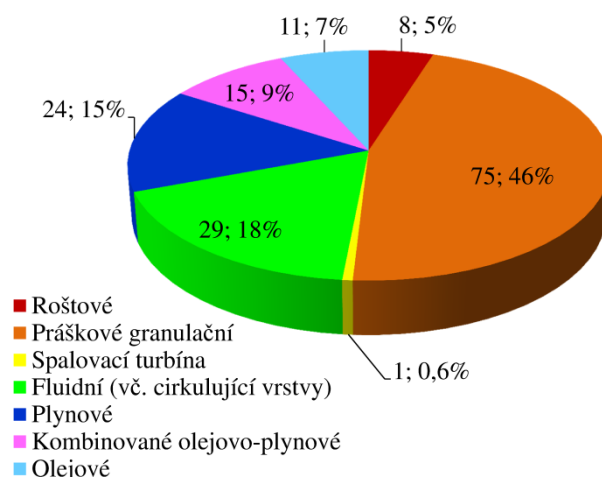
Teplotní podmínky procesu v případě tepláren nepředstavují diskvalifikující faktor. V současné době jsou převažujícím systémem kotle s granulární spalovací komorou spalující tuhá prášková paliva. Situace je tedy podobná jako v případě elektráren popsaných v kapitole 2.1. Při realizaci karbonátové smyčky je minimální kalcinační teplota na úrovni 850 °C, což zejm. u fluidních kotlů znamená riziko potřeby spalovat dodatečné palivo při dekarbonataci nasyceného sorbentu. Distribuce provozovaných kotlů z

hlediska použitého konstrukčního řešení je shrnuta v tab. 5 a graficky znázorněna na obr. 7 a 8.

Tab. 5 Rozdělení kotlů dle druhu konstrukce (hodnoty pouze pro 38 zdrojů akceptovaných předvýběrem)

Tab. 5 Distribution of boilers according to the construction type (values only for 38 sources accepted via pre-selection)

Druh kotle	Počet	Příkon; [MW _t]
Roštové	8	286
Práškové granulární	75	7 433
Spalovací turbína	1	197
Fluidní (vč. cirkulující vrstvy)	29	3 323
Plynné	24	1 302
Kombinované olejovo-plynné	15	1 057
Olejové	11	453
Celkem	163	14 050

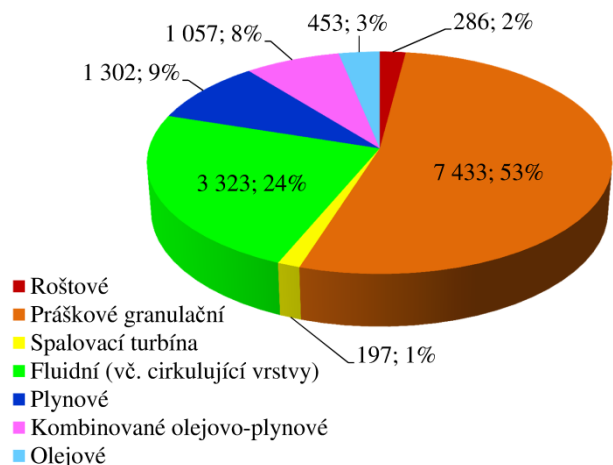


Obr. 7 Distribuce kotlů instalovaných v monitorovaných teplárnách (38 zdrojů překračujících zvolené kritérium ročních úhrnných emisí CO₂)

Fig. 7 Distribution of boilers installed in assessed heating plants (38 facilities surpassing the criterion of annual CO₂ emissions)

Přítomnost zdroje vodní páry

Zdroj nízkopotenciálové páry s teplotním rozmezím definovaným v kapitole 2.1 je k dispozici ve všech posuzovaných teplárnách. Opět existuje, stejně jako v případě elektráren, riziko zpětného rozkladu hydroxidu vápenatého vznikajícího při parní regeneraci kalcinátů. S ohledem na parametry páry, produkované v prověřovaných teplárnách, lze konstatovat, že ve všech případech vyhověla podmínkám hydratační regenerace kalcinátu v karbonátové smyčce. Z uvedeného vyplývá, že všechny posuzované teplárny tomuto výběrovému kritériu vyhovují.

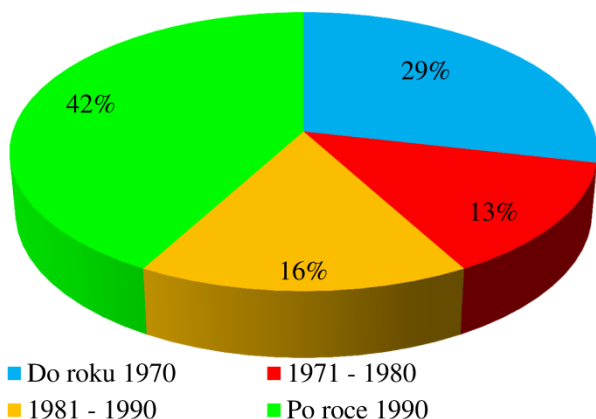


Obr. 8 Instalovaný příkon dle konstrukce kotlů instalovaných v monitorovaných teplárnách (38 zdrojů)

Fig. 8 Installed input according to boilers installed in assessed heating plants (38 facilities)

Stáří technologie

Podobně jako u elektráren vyšší stáří technologie samo osobě nevyklučuje rentabilitu instalace vysokoteplotní karbonátové smyčky. Podmínkou však je dobrá prognóza dalšího využívání kotlů po jejich rekonstrukci. Kritériem stáří technologie je přímo provázané s kritériem její další životnosti. Graf na obr. 9 poskytuje přehled o stáří jednotlivých posuzovaných teplárenských kotlů. Rokem uvedení do provozu se v tomto případě rozumí buď zahájení činnosti zařízení po jeho výstavbě, pokud posuzovaný kotel neprodělal výměnu podstatné části technologie. Nebo se rokem uvedení do provozu rozumí zahájení činnosti po realizaci výměny celého kotle.



Obr. 9 Klasifikace kotlů posuzovaných tepláren podle roku uvedení do provozu, resp. roku retrofitu podstatné části technologie

Fig. 9 Classification of heating plants boilers according to the commissioning year or retrofitting of significant part of technology

Předpokládaná životnost technologie

U tepláren je doba předpokládaného dalšího provozování instalovaných kotlů velmi důležitým faktorem. Hlavní vylučovací faktor, jímž je úhrnná roční emise CO_2 , již byl diskutován výše. Protože 67 % tepelného příkonu posuzovaných tepláren je kryto spalováním tuhých fosilních paliv, může u relativně vysokého počtu z nich dojít v časovém horizontu cca 15 až 20 let k přestavbě kotlů na zemní plyn nebo biomasu.

Na druhou stranu trvalé odstavení zdrojů centrálního zásobování teplem je nepravděpodobné z důvodu existence stávající sítě potrubních rozvodů a další infrastruktury.

Protože teplárny jsou z hlediska palivové základny více flexibilní než elektrárny, lze u zařízení, která jsou nyní závislá na existenci místního zdroje fosilního paliva, předpokládat přechod na palivo alternativní. V celkové bilanci byly z důvodu nedostatečné životnosti vyřazeny pouze tři teplárny, jejichž životnost významně nepřesahuje rok 2020.

U teplárenských provozů nebyly zjištěny žádné další faktory, které by vedly k vyloučení některých z posuzovaných bloků z užšího výběru.

3. Výsledky porovnání parametrů

3.1. Vhodné zdroje ze sektoru elektráren

V rámci vyhodnocování elektráren bylo posuzováno celkem 19 zdrojů (jednotlivých elektráren), z čehož 16 splnilo výběrové kritérium roční produkce CO_2 větší než $50\,000\text{ t.rok}^{-1}$. Uvedený počet elektráren zahrnoval 63 provozovaných bloků. Posouzení všech parametrů, vyjmenovaných a popsáných v kapitole 2.1, vyústilo ve vyloučení tří bloků, emitujících ročně $33\,659\text{ t CO}_2$, z technických důvodů. K vyloučení dalších čtrnácti bloků s ročními emisemi CO_2 ve výši $9\,112\,486\text{ t}$ došlo z důvodu nedostatečné časové perspektivy pro vybudování jednotky záchytu CO_2 . Ve zde posuzované kategorii tepelných elektráren zůstalo po selekci 46 bloků s celkovou roční emisí CO_2 ve výši $23\,222\,816\text{ tun}$.

Celkový podíl počtu nyní provozovaných bloků, pro které je perspektivní implementace vysokoteplotního post-combustion záchytu oxidu uhličitého ze spalin pomocí cyklicky provozované chemisorpce na vápencích, dosahuje 73 %. Při vyjádření tohoto poměru prostřednictvím emitovaného oxidu uhličitého činí poměr bloků perspektivních pro nasazení karbonátové smyčky 72 %.

3.2. Vhodné zdroje ze sektoru tepláren

Posouzení všech vyjmenovaných parametrů vyústilo ve vyloučení tří tepláren z důvodů životnosti velmi starých provozovaných kotlů, u nichž není v současné době znám plán jejich přestavby a modernizace. Dále byla vyřazena jedna plynová teplárna z toho důvodu, že jako zdroj energie používá plynovou turbínu a dvojici hořákových plynových kotlů, přičemž celkové uspořádání technologie významně

komplikuje případné zařazení sorpce CO₂. Dvě teplárny byly následně vyřazeny z důvodu přetržitého provozu, daného užíváním obou tepláren pouze jako špičkového zdroje. Vzhledem k malému poměru mezi reálnými emisemi CO₂ a instalovaným tepelným příkonem by řešení záchytu CO₂ bylo problematické.

Protože výkon jednotlivých teplárenských kotlů a z toho se odvíjející další parametry, jako roční emise CO₂, je relativně malý, bylo při selekci přistoupeno k vyloučení nikoli dílčích kotlů, ale vždy celých tepláren. Přehled o teplárnách ponechaných ve výběru pro nasazení karbonátové smyčky a tepláren vyřazených z výše uvedených příčin je uveden v tab. 6. Navzdory tomu, že celkový počet vyřazených tepláren dosahuje 82 %, nemá toto zásadní dopad na emise. Hlavním důvodem vyřazení byla totiž nedostatečná velikost zdroje a teplárny ve výběru ponechané pokrývají plných 90 % veškerých emisí CO₂ produkovaných tímto průmyslovým sektorem.

Tab. 6 Sumarizace výsledků selekce v sektoru tepláren

Tab. 6 Summary of results of selection within the heating plants sector

Vyřazovací kritérium	Emise; [t/rok]	Počet zdrojů
Nevyhovující - roční emise nižší než stanovený práh	1 092 095	135
Nevyhovující - ostatní technologické důvody	241 374	3
Nevyhovující - nedostatečná plánovaná životnost	554 280	3
Zařízení vyhovující kritériím	16 318 923	32
Celkem	18 206 672	173

4. Závěr

Tepelné elektrárny a teplárny provozované v České republice byly podrobeny kritickému hodnocení, zda jsou tyto zdroje perspektivní pro implementaci karbonátové smyčky, jakožto regenerativní metody záchytu oxidu uhličitého ze spalin. Metoda vysokoteplotní sorpce CO₂ na materiálech na bázi uhličitánu vápenatého vyžaduje instalaci relativně komplikovaného zařízení, sestávajícího z karbonátoru, v němž probíhá sorpce, a kalcinátoru pro opětovnou regeneraci vsázky [19, 20]. Z tohoto důvodu byl jako první vyřazovací kritérium zvolen roční úhrn emisí CO₂ z posuzovaného zařízení, a to ve výši 50.10³ t. Mezi další kritéria patřil především druh spalovaného paliva, plánovaná životnost spalovacího zařízení a přítomnost vodní páry, nezbytná pro provádění periodické reaktivace sorbentu.

Po vyhodnocení všech dostupných parametrů bylo pro implementaci uvedené metody záchytu oxidu uhličitého navrženo jako způsobilých 46 bloků elektráren a 32 tepláren. Celkem tyto zdroje ročně emitují přes 39,5 milionů tun oxidu uhličitého. Pokud se

výše uvedené údaje vyjádří relativně, pak je instalace karbonátové smyčky ze všech shrnutých důvodů realizovatelná u 73 % bloků tepelných elektráren a 18 % tepláren.

Seznam zkratk

CCS	Carbon (dioxide) Capture and Storage
EPICA	European Project for Ice Coring in Antarctica
ESRL	Earth System Research Laboratory
GHG	Greenhouse gas(es)
IP	Integrované povolení
IRZ	Integrovaný registr znečišťování životního prostředí
NIR	National Greenhouse Gas Inventory Report
NIS	Národní inventarizační systém
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SEK	Státní energetická koncepce
SZT	Soustava zásobování teplem
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

Poděkování

Výsledky prezentované v tomto článku byly získány v rámci řešení projektu “Výzkum vysokoteplotní sorpce CO₂ ze spalin s využitím karbonátové smyčky”. Financování výzkumu bylo podpořeno grantem z Norska (č. projektu: NF-CZ08-OV-1-005-2015).

Literatura

1. Staf, M.; Ciahotný, K.; Krtková, E. Perspektivy aplikace karbonátové smyčky v průmyslu a energetice České republiky. *Paliva* 2016, 8 (1), 7–15.
2. Mauna Loa Observatory, Hawaii. Scripps Institution of Oceanography US San Diego. <http://scrippsco2.ucsd.edu/data/mlo> (accessed Aug 01, 2016)
3. European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA). European Science Foundation. <http://www.esf.org/index.php?id=855> (accessed Aug 01, 2016).
4. Stainforth, D., A.; Aina, T.; Christensen, C.; Collins, M.; Faull, N.; Frame, D., J.; Kettleborough, J., A.; Knight, S.; Martin, A.; Murphy, J., M.; Piani, C.; Sexton, D.; Smith, L., A.; Spicer, R., A.; Thorpe, A., J.; Allen, M., R. Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature* 2005, 433, 403–406.
5. Salinas, C., X.; Mendieta, J. Numerical model to assess the impact of the strategies to mitigate desertification. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2013, 18 (5), 551–566.

6. Armah, F., A.; Odoi, J., O.; Yengoh, G., T.; Obiri, S.; Yawson, D., O.; Afrifa, E., K., A. Food security and climate change in drought-sensitive savanna zones of Ghana. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2011, 16 (3), 291–306.
7. Misra, A., K. Climate change impact, mitigation and adaptation strategies for agricultural and water resources, in Ganga Plain (India). *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2013, 18 (5), 673–689.
8. Kirch, W., Menne, B., Bertollini, R., Eds. *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, 1st ed.; Springer-Verlag: Heidelberg, 2005.
9. Powell, J. P.; Reinhard, S. Measuring the effects of extreme weather events on yields. *Weather and Climate Extremes* 2016, 12, 69–79.
10. Lelieveld, J.; Proestos, Y.; Hadjinicolaou, P.; Tanarhte, M.; Tyrllis, E.; Zittis, G. Strongly increasing heat extremes in the Middle East and North Africa (MENA) in the 21st century. *Climatic Change* 2016, 137 (1), 245–260.
11. Paris Agreement - status of ratification. United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int/2860.php> (accessed Aug 12, 2016).
12. Staf, M.; Vrbová, V.; Jilková, L.; Miklová, B. Regenerace sorpční kapacity vápenců pro záchyt CO₂ zaváděním vodní páry. *Paliva* 2016, 9 (2), 67 – 77.
13. Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky. Státní energetická koncepce České republiky; Praha, 2014.
14. Integrovaný registr znečišťování. Česká informační agentura životního prostředí. <http://portal.cenia.cz/irz/unikyPrenosy.jsp> (accessed Aug 05, 2016).
15. Ministerstvo životního prostředí. IPPC - Integrovaná prevence a omezování znečištění. <http://www.mzp.cz/ippc/ippc4.nsf/search.xsp> (accessed Aug 12, 2016).
16. Národní inventarizační systém. Czech Hydrometeorological Institute. http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/nis_gr_cz.html (accessed Aug 07, 2016).
17. National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic. Czech Hydrometeorological Institute. http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/NIR/CZE_NIR-2015-2013_final_UNFCCC_final.pdf (accessed Aug 07, 2016).
18. PBS Power Equipment. http://www.pbspe.cz/cze/index.php?action=reference_detail&id=107 (accessed Aug 03, 2016).
19. Ströhle, J.; Junk, M.; Kremer, J.; Galloy, A.; Epple, B. Carbonate looping experiments in a 1 MWth pilot plant and model validation. *Fuel* 2014, 127, 13–22.
20. Kremer, J.; Galloy, A.; Ströhle, J.; Epple, B. Continuous CO₂ Capture in a 1-MWth Carbonate Looping Pilot Plant. *Chemical Engineering & Technology* 2013, 36 (9), 1518–1524.

Summary

Marek Staf^a, Eva Krtková^b

^aUniversity of Chemistry and Technology, Prague
Technická 5, 166 28 Praha 6, marek.staf@vscht.cz

^bCzech Hydrometeorological Institute
Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 412-Komořany

Assessment of power industry facilities from the viewpoint of carbonate loop applicability

The study deals with assessment whether the power plants and heating plants, currently operated in the Czech Republic, are eligible for installation of high temperature regenerative capture of carbon dioxide from flue gases by chemisorption on calcined natural limestone or analogous materials.

Based on several evaluating criteria selection of the above defined sources was performed. Method of high-temperature CO₂ sorption onto limestones or calcium carbonate containing materials requires installation of relatively complicated system, consisting of a carbonator, in which sorption takes place, and a calciner for subsequent regeneration of the feedstock.

For this reason total annual CO₂ emission from each assessed facility, amounting to 5.10⁴ t, was proposed as the first elimination criterion. Other criteria included mainly the type of combusted fuel, the approximate planned life time of the combustion facility and the presence of steam, necessary for carrying out periodic reactivation of the sorbent.

The majority of technical parameters, like distribution of facilities according to the fuel type, distribution of facilities according to the design of combustors etc. were graphically expressed using pie charts.

After evaluating all available parameters 46 blocks of power plants and 32 heating plants were proposed as eligible for implementation of this method of carbon dioxide capture. In total, these sources emit over 39.5 million tons of carbon dioxide per year. If the above mentioned numbers are expressed in relative values installation of carbonate loop is feasible in 73% of the blocks of thermal power stations and 18% of heating plants due to hereby summarized reasons.