

Využití separačního parogenerátoru v čistých technologiích

Ing. Jan Koloničný, Ph.D., Ing. David Kupka

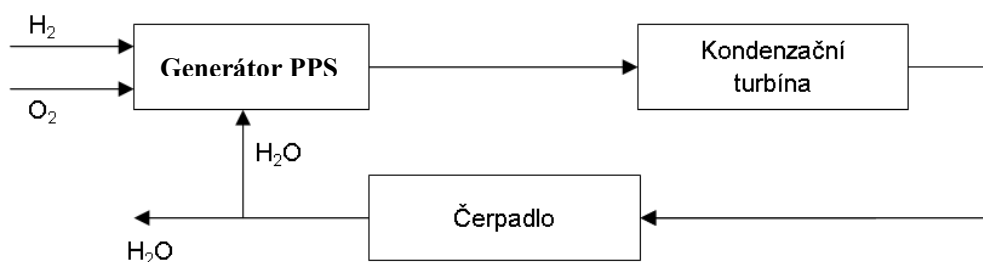
Abstrakt

Při spalování uhlovodíkových paliv v bezemisních parních cyklech, tzv. čistých technologiích, nevzniká pouze vodní pára, ale také oxid uhličitý. Ten do jisté míry komplikuje jednoduchost parního cyklu, kdy by při spalování čistého vodíku bylo možno použít pouze parní generátor, parní turbínu a kondenzátor. Tedy u uhlovodíkových paliv je nutno z oběhu odvádět vzniklý CO_2 . Vhodnou variantou pro odstranění CO_2 z paroplynové směsi je rozdělení parního okruhu na primární část s paroplynovou směsí a sekundární část s čistou párou zařazením separátoru paroplynové směsi za vysokotlakou část turbíny. V separátoru kondenzuje pára z paroplynové směsi a zároveň dochází k vytvoření páry pro sekundární nízkotlakou část.

Pro výzkum podmínek separace a návrh reálného separačního výměníku byla vybudována v prostorech zkušebny Výzkumného energetického centra v rámci projektu „Výzkum a vývoj separačního parogenerátoru“ Experimentální měřicí trať (EMT). V současnosti EMT sestává z vyvíječe páry, zásobníku CO_2 , přehřívačů, směšovače a z 3 m dlouhého trubkového kondenzátoru chlazeného vodou, do něhož je přiváděna homogenní směs vodní páry a oxidu uhličitého na mezi sytosti. Účinnost kondenzátoru je posuzována na základě rozsahu kondenzace parního podílu z PPS. Dosud byla na EMT provedena řada měření při přetlaku směsi 3 až 5 bar s různým podílem CO_2 v několika výkonových parametrech vyvíječe. Získané údaje budou v další fázi projektu využity pro konstrukci a vývoj prototypu separačního parogenerátoru v řádu jednotek MW.

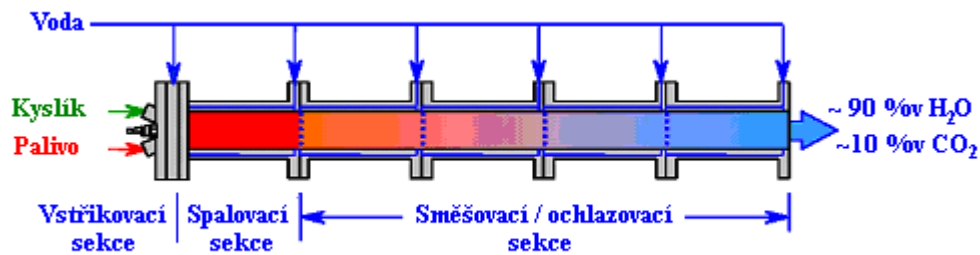
Popis koncepce bezemisního parního cyklu s vodíkem a separačním parogenerátorem

Prvotní koncepce systému vychází z použití parogenerátoru, v němž je spalován vodík s kyslíkem a výstupní parametry páry jsou řízeny vstříkáváním vody (kondenzátu), viz Obr. č. 1. Novou myšlenkou tohoto řešení je spojení systému spalování paliva se systémem výroby páry do jednoho reaktoru, přičemž se i produkty spalování stávají pracovní látkou.



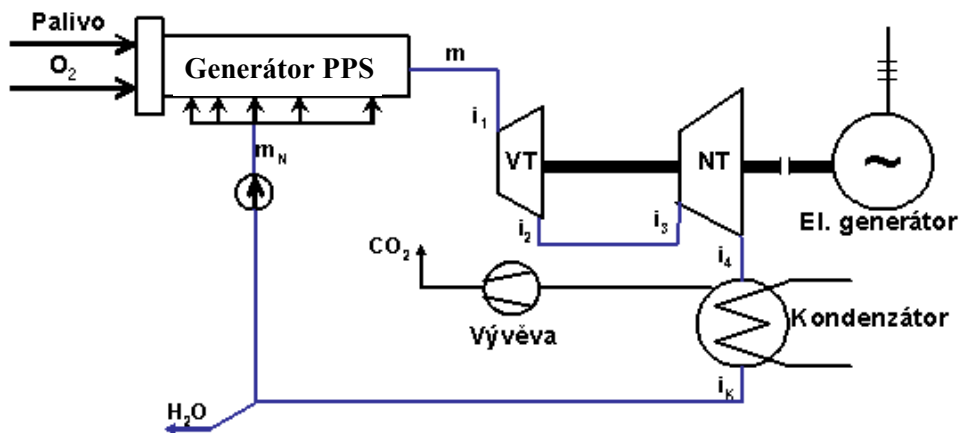
Obr. č. 1 Schéma parogenerátoru

V takovém reaktoru nebude problém dosáhnout nadkritických parametrů páry. Charakteristickým znakem tohoto procesu je trvalá produkce vody, přičemž místo vodíku bude využíván mnohem levnější zemní plyn. Příklad jednoduchého reaktoru (generátor paroplynové směsi) je uveden na Obr. č. 2. Palivo je spalováno s použitím kyslíku (není nutná 100% čistota) jako oxidantu a do horkých spalin je vstřikována voda k dosažení požadované výstupní teploty. Pracovní látkou je pak směs vodní páry a oxidu uhličitého. Tuto paroplynovou směs (PPS) lze použít v klasickém parním cyklu.



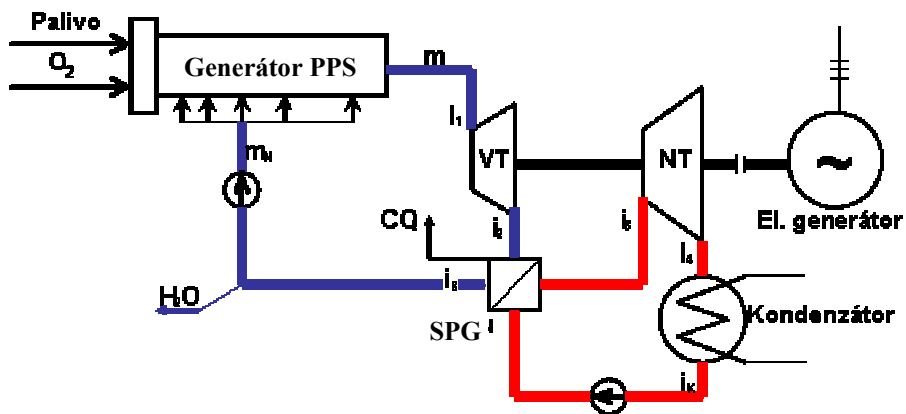
Obr. č. 2 Schéma generátoru PPS

Po expanzi v turbíně je nutné obě složky PPS oddělit. Nejjednodušším způsobem je separace oxidu uhličitého v kondenzátoru. Vodní pára v něm zkondenzuje a oxid uhličitý zůstane v plynném stavu a je možné jej z kondenzátoru odsávat, viz. Obr. č. 3.



Obr. č. 3 Parní cyklus bez separátoru plynu (CO_2 se odvádí z kondenzátoru)

Vhodnějším a dosud technicky nerealizovaným řešením je oddělení vysokotlaké a nízkotlaké části turbíny separačním parogenerátorem (SPG), viz. Obr. č. 4. SPG je vlastně výměník, ve kterém paroplynová směs zkondenzuje a předá své teplo nízkotlakému parnímu okruhu. Oxid uhličitý lze pak snadno odebrat při odpovídajícím tlaku (cca 3 – 4 bary). Použití separačního parogenerátoru snižuje energetickou náročnost (není nutné odsávat oxid uhličitý z vakua kondenzátoru) a rozdělení oběhu na vysokotlakou a nízkotlakou část eliminuje potíže s kyselostí paroplynové směsi v nízkotlaké turbíně, která pak pracuje jen s čistou vodní párou.



Obr. č. 4 Parní cyklus se separačním parogenerátorem

Bezemisní parní cyklus se zařazeným separačním parogenerátorem umožňuje dosáhnout vyšší termické účinnosti a to minimálně na úrovni paroplynových cyklů. Je to dáno využíváním spalného tepla paliva, snadným dosažením dostatečně vysokých parametrů paroplynové směsi a ekonomickou nenáročností separace vody a oxidu uhličitého. Zatím není známo, že by některý z běžících projektů na vývoj čistých technologií měl v sobě SPG zahrnut.

Aktuální stav vývoje čistých technologií

Jedna z prvních kompletních demonstračních jednotek využívajících čistých technologií byla uvedena do provozu v srpnu roku 2008. Byla postavena za 70 mil. EUR vedle elektrárny Schwarze Pumpe na severu Německa a disponuje výkonem 12 MWe a 30MWt. Ročně by měla zachytit 100 tisíc tun CO₂, který bude ukládán 3000 metrů pod zemský povrch do 200 km vzdáleného vytěženého ložiska plynu v Almarku. Tento pilotní projekt je založen na principu oxy-fuel. Uhlí je spalováno čistým kyslíkem, takže spaliny jsou v podstatě tvořeny pouze oxidem uhličitým. Doba chodu projektu je zatím plánována na 3 roky. Dodavatelem technologie je firma Alstom, která ve spolupráci s ropnou společností Total připravuje další realizaci podobně velké demonstrační jednotky v Lacq na jihu Francie.

Podstatně ambicióznější projekt probíhá ve Spojených státech, kde by v průběhu roku 2009 mělo být otestováno zařízení založené na principu post-combustion, jež by během následujících několika málo let mělo být schopno zachycovat 1,5 mil. tun CO₂ z oklahomské uhelné elektrárny a ukládat jej do nedalekého ropného naleziště. Podobné zařízení, avšak v menším měřítku, plánuje postavit i současný majitel Schwarze Pumpe, firma Vatenfall. Její snahou je do roku 2013 uvést do provozu 120MW demonstrační jednotku v Janswalde v Německu.

Vláda ve Velké Británii oznámila finanční podporu projektu 400 MW zdroje s tím, že zachycený CO₂ se bude ukládat pod Severním mořem. Počátek realizace stavby se ovšem odhaduje až na rok 2014.

V blízkosti německého města Ketzin je Výzkumným geologickým centrem v Postupimi realizován projekt nazvaný CO2SINK. Od zahájení projektu na jaře 2008 je v plánu během dvou následujících let napumpovat do tamního podzemí 60 tisíc tun CO₂. Je to množství, které za stejné období vyprodukuje 150 tisíc obyvatel Postupimi. Ročně se však v elektrárnách po celém světě vyprodukuje přes 10 mld. tun tohoto skleníkového plynu a podle předpovědí Mezinárodní energetické agentury se vypouštěný objem bude rapidně zvyšovat. Odhaduje se, že nárůst produkce energie v příštích 20 letech bude z 85 % pokryt fosilními palivy. Tento trend je patrný už nyní, například Čína jen v roce 2006 uvedla do provozu 174 500MW uhelných elektráren. Projekt CO2SINK může odpovědět na řadu otázek ohledně ukládání CO₂. Cílem měření prováděných v Ketzinu je potvrdit teorii, že porézní hornina je schopna vázat plyn po tisíce let. Studie ukazují, že CO₂ zůstává v podzemí po extrémně dlouhou dobu. Zde se totiž rozpustí ve slané vodě a usadí v porézním povrchu pískovce. V průběhu několika tisíc let se pak vysráží v podobě vápence. A právě v okolí Ketzinu se nacházejí pískovcová podloží nasycená slanou vodou. Pokud se teorie potvrdí, pak pouze v samotném Německu je možné do podzemních prostor uložit až 30 mld. tun CO₂, což by při současné produkci všech německých uhelných elektráren čítající 350 mil. tun vystačilo na 85 let.

Dalším s aktuálních programů podporujících výrobu el. energie s využitím technologií pro zachycování a skladování CO₂ je program CLIMIT, který je řízen Norskou vědeckou radou společně s Centrem technologií pro využití zemního plynu. Cílem programu je podpora všech fází výzkumu, vývoje a předvádění čistých technologií. Jedním z hlavních cílů je vyvinutí ziskové technologie výroby el. energie ze zemního plynu s následným zpracováním CO₂.

Nelze taky nezmínit projekt FutureGen podporovaný U.S. Department of Energy, jehož jedním z cílů je vybudovat prototyp bezemisní uhlé elektrárny ve státě Illinois o výkonu 275 MWe. Tato elektrárna bude založena na nejnovějších známých technologiích a její spuštění je plánováno na rok 2011.

Výzkum a vývoj separačního parogenerátoru

Pro výzkum podmínek separace a návrh reálného separačního výměníku byla vybudována v prostorech zkušebny Výzkumného energetického centra Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu „Výzkum a vývoj separačního parogenerátoru“ Experimentální měřicí trať (EMT), viz. Obr. č. 5. Uvedený projekt č. FI-IM4/188 je z části podporován Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR a na jeho řešení se podílí další dva řešitelé a to Vítkovice Power Engineering, a.s., který zároveň projekt spolufinancuje, a Vysoké učení technické v Brně. Projekt bude ukončen na jaře roku 2010.

Samotnou konstrukci a výstavbu EMT zajišťuje Vítkovice Power Engineering, a.s. V současnosti EMT sestává z vyvíječe páry, zásobníku CO₂, přehřívачů, směšovače a z 3 m dlouhého trubkového kondenzátoru chlazeného vodou, do něhož je přiváděna homogenní směs vodní

páry a oxidu uhličitého na mezi sytosti. Účinnost trubkového kondenzátoru a vlivy rozdílné konstrukce na účinnost jsou posuzovány na základě rozsahu kondenzace parního podílu z PPS. V druhé fázi zkoušek, kdy bude vyvíjen samotný SPG, bude EMT doplněna o další měřicí a regulační prvky.



Obr. č. 5 Experimentální měřicí trať

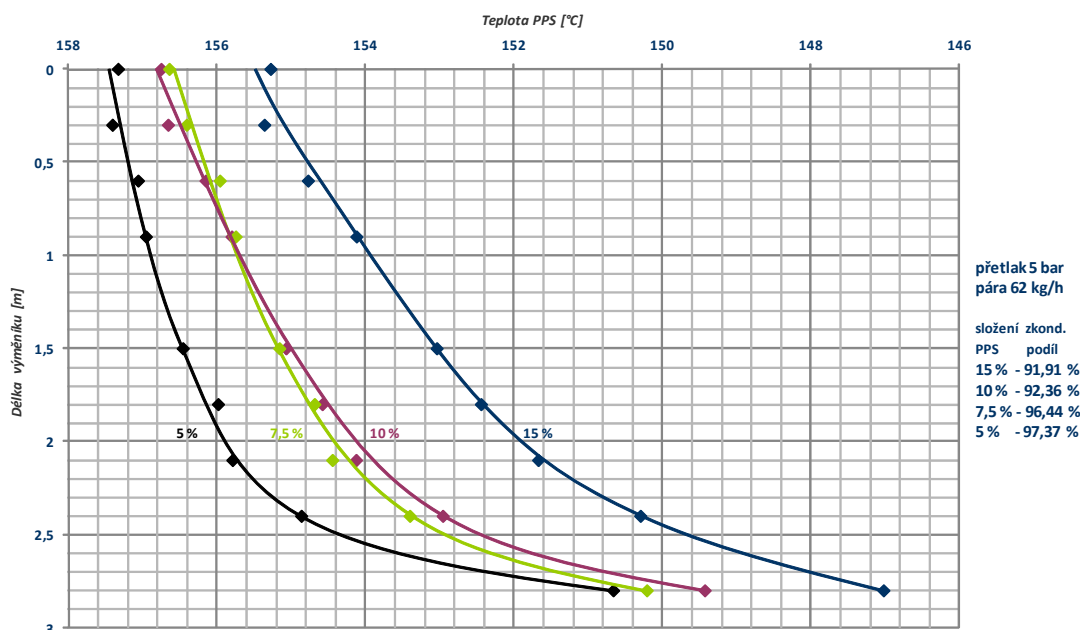
Dosud byla na EMT provedena řada měření při přetlaku směsi 3 až 5 bar s různým podílem CO_2 v několika výkonových parametrech vyvíječe. Hmotnostní podíl CO_2 ve vzniklé paroplynové směsi představuje jeden ze základních parametrů udávající stav vyšetřovaného média. Pro určení hustoty a následně hmotnostního průtoku páry a oxidu uhličitého jsou měřeny další parametry jako dílčí teploty a tlaky a také celkový tlak v soustavě a hmotnostní průtok směsi kondenzačním výměníkem.

Téměř veškeré měřené veličiny jsou systémem sběru dat vedeny do PC, kde jsou zpracovány programem Labview a kontinuálně ukládány. Jedinou veličinou, kterou je nutné vyhodnocovat manuálně, je množství kondenzátu, který je po dobu zkoušky sbírán v zachycovací nádrži a na konci zkoušky odečítán na ocejchovaném stavoznaku.

Mezi jednu z nejvýznamnějších veličin patří teplota kondenzující paroplynové směsi. S pomocí 16 termočlánků typu T, umístěných v různých vzdálenostech od začátku výměníku, je monitorován průběh teploty směsi po délce výměníku. Vstupní teplota směsi, odpovídající přibližně stavu sytosti páry ve směsi obsažené, je měřena odporovým teploměrem, podobně jako teplota na výstupu směsi.

Výkon kondenzačního výměníku je počítán z průtoku chladicího média a teplotního spádu mezi vstupem a výstupem média v chladicím okruhu výměníku. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo při nejvyšším možném parciálním tlaku páry ve směsi a tomu odpovídající nejvyšší teplotou na mezi sytosti. Průběh teplot a složení PPS u jednoho z měřených režimů je uveden v Grafu č. 1.

Graf č.1 Průběh teplot



V grafu uvedený zkondenzovaný podíl PPS představuje účinnost - podíl vodní páry, který se podařilo za dobu zkoušky ze směsi separovat.

Závěr

Čisté technologie pro výrobu elektrické energie na bázi uhlovodíkových paliv jsou zatím ve fázi výstavby pilotních zařízení, které se připravují na dlouhodobější provoz a následně komercializaci. V žádném ze známých plánovaných pilotních zařízení/technologií, přičemž některé počítají s využitím zemního plynu, není využit separační parogenerátor, jehož výhody jsou zřejmé. Ze zatím získaných výsledků měření jednotlivých provozních režimů kondenzace paroplynové směsi se ukazuje, že lze reálně dosáhnout (v podmínkách blízkých skutečnému uvažovanému nasazení) poměrně značného stupně kondenzace paroplynové směsi a tím separace CO₂ a vodní páry ve směsi obsažené. Další práce budou zaměřeny na vývoj a optimalizaci skutečného separačního výměníku.