Koncepce technologie flexibilního energetického systému FES jako decentralizovaného energetického zdroje pro výrobu elektřiny a tepla

Tento příspěvek informuje o pokračujících aktivitách v roce 2015 v rámci řešení grantového projektu TA04021687 (Výzkum a vývoj ohříváku parovzduchové směsi pro FES) spojených s návrhem základní koncepce nového energetického systému (FES) pro decentralizovanou výrobu elektřiny a tepla na bázi kombinovaného cyklu při spalování tuhých paliv (černé uhlí). V prvé řadě se zde jedná o volbu stěžejních parametrů, provedení základních kroků výpočetní optimalizace a teoretické řešení klíčových úseků technologie dominantně ovlivňujících efektivitu tohoto energetického zdroje.

Klíčová slova: decentralizovaný zdroj, FES, kombinovaný cyklus

PARAMETRY TEPLÁRENSKÉHO ZDROJE

V roce 2014 bylo zahájeno řešení grantového projektu s finanční podporou TAČR (TA04021687) s názvem Výzkum a vývoj ohříváku parovzduchové směsi (OPVS) pro Flexibilní energetický systém (FES). Podstatou řešení tohoto projektu v prvním roce bylo stanovení základní koncepce tohoto zařízení, stanovení základních parametrů provozních médií a hrubé nastínění zapojení celkové technologie.

V průběhu roku 2015 byly základní parametry (předběžně stanovené) podrobeny optimalizačním krokům, a to jak celkového systému, tak i dílčích prvků. V tabulce 1 jsou uvedeny parametry tohoto teplárenského zdroje po provedené sérii úvodních (návrhových) výpočtů a úvodních konzultacích s potenciálními dodavateli těchto jednotlivých částí.

Základní návrhové parametry technologie FES		
Výhřevnost použitého paliva (černé uhlí)	25	MJ/kg
Celkový příkon v palivu	120	MW

Tab. 1 – Základní parametry teplárenského zdroje (1. část)

Braytonův oběh - Hlavní oběh technologie FES		
Elektrický výkon	25,6	MW
Teplota spalin na vstupu do výměníku OPVS	1177	°C
Teplota parovzduchové směsi na vstupu do plynové turbíny	850	°C
Absolutní tlak parovzduchové směsi za turbokompresorem	12,37	bara
Hmotnostní koncentrace vodní páry v parovzduchové směsi	30,85	%
Hmotnostní tok vzduchu turbokompresorem	44,2	kg/s
Hmotnostní tok vodní páry pro výrobu parovzduchové směsi	19,72	kg/s
Hmotnostní tok parovzduchové směsi	63,92	kg/s
Rankinův oběh - kotel HRSG		
Elektrický výkon	7,4	MW
Teplota ostré páry před vstupem do parní turbíny	447,0	°C
Absolutní tlak páry před vstupem do parní turbíny	37	bara
Hmotnostní tok páry	7,3	kg/s

Tab. 1 – Základní parametry teplárenského zdroje (2. část)

POPIS KLÍČOVÝCH KOMPONENT TECHNOLOGIE

Tak jak bylo ustáleno základní provedení dané technologie z pohledu stanovení základních parametrů, došlo také adekvátně ke stabilizaci složení „jádra" tohoto zařízení a tedy specifikaci jednotlivých klíčových komponent, jejichž pozice v rámci tohoto elementárního konceptu je uvedena na následujícím obrázku obr. 1.

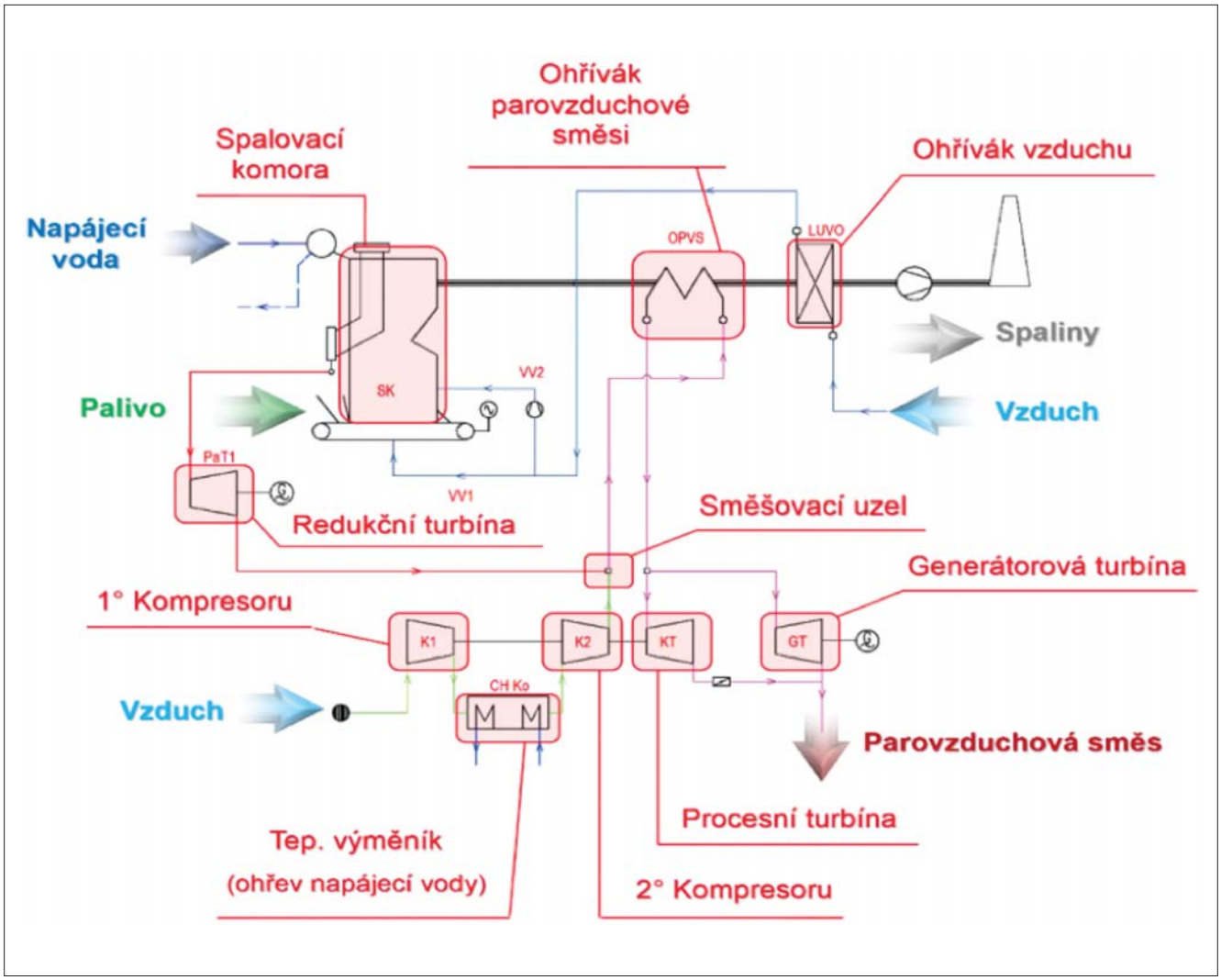
Popis funkce technologie FES

Základní princip funkce je následující. Prostřednictvím dvoustupňového vzduchového kompresoru je nasáván z okolního prostředí vzduch. Tento je komprimován na požadovaný tlak a následně směšován ve směšovacím uzlu s vodní párou, která je vyráběna v chlazené spalovací komoře. Palivem, které je spalováno v dané spalovací komoře a které zajišťuje požadovaný energetický příkon o hodnotě 120 MWt je černé uhlí o definovaném složení.

Tímto způsoben je tedy vyráběno pracovní médium, jímž je parovzduchová směs (pvs) a to o požadované koncentraci vodní páry, která je do jisté míry variabilní a kolísá dle aktuálně nastaveného výkonového režimu. Tato pvs je následně předehřívána v ohříváku parovzduchové směsi na požadovanou pracovní teplotu 850 °C před vstupem do soustavy plynových turbín, kde je jedna z nich čistě využita pro pohon dvoustupňového kompresoru a druhá slouží pro pohon elektrického generátoru a tvoří tedy klíčový prvek v tomto tepelném oběhu FES, který je určen pro produkci elektřiny. V tomto zařízení pvs expanduje a nakonec předává své zbytkové odpadní teplo v kotli HRSG. Případné nízkopotenciální odpadní teplo pvs po průchodu kotlem HRSG je zužitkováno pro předehřev pracovních médií. Na konci celkového procesu je pvs vedena do vzduchového kondenzátoru, kde dochází k odloučení přebytečné vlhkosti, která odchází ve formě kondenzátu k opětovnému použití a výsledný plně nasycený vzduch o teplotě cca 40 °C (dle okolních podmínek provozu) odchází vně technologii FES.

BILANČNÍ VÝPOČET- OPTIMALIZACE NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ

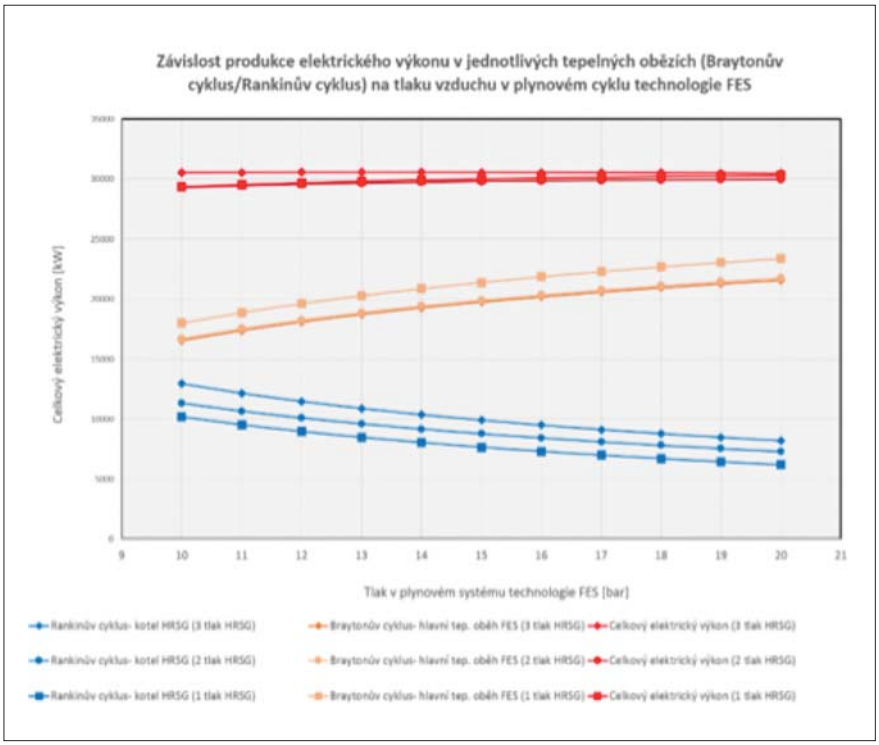
Jedním z klíčových úseků, které byly v roce 2015 řešeny, byla návrhová-výpočtová stránka, jejímž základním a dominantním úkolem bylo stanovení optimalizovaných návrhových parametrů v jednotlivých úsecích technologie a nastavení klíčových parametrů jejích dílčích komponent. Za tímto účelem byl zpracován bilanční matematický model, který byl sestaven na



Obr. 1 – Znázornění hlavních komponent technologie FES

základě aktuální informační náplně o dané technologii a který sloužil pro matematický popis chování statického stavu technologie v rámci variabilních vstupních (okrajových) parametrů.

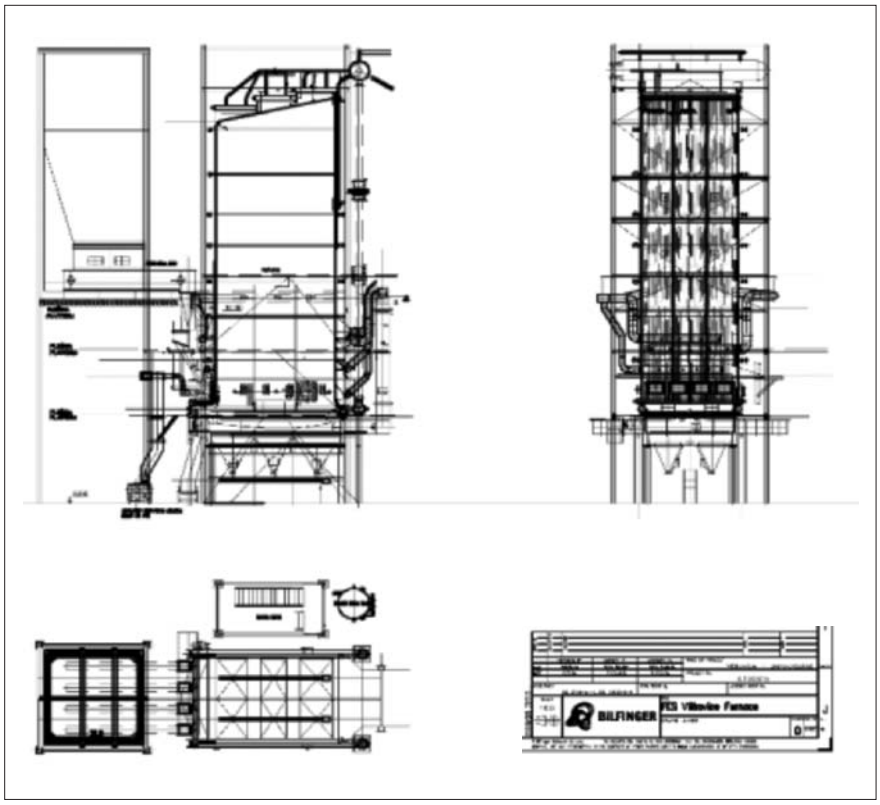
Základním účelem již vlastního optimalizačního procesu bylo dosažení optimalizovaných návrhových parametrů v celkovém komplexu dané technologie FES. Vzhledem ke znalosti základního zapojení této technologie bylo nutné tuto problematiku rozdělit na dvě podstatné kategorie a čili optimalizaci základního (klíčového) Braytonova oběhu (plynový oběh technologie FES) a optimalizaci technologie pro energetické využití odpadního tepla pvs po expanzi v plynové turbíně, tedy Rankinova cyklu (kotel HRSG). Na následujícím grafickém znázornění obr. 2 již je na tomto základě uvedena souhrnná závislost výroby elektřiny v celkovém komplexu technologie FES s dělením na výrobu elektřiny v (hlavním) plynovém cyklu a cyklu kotle HRSG.



Obr. 2 – Závislost výroby elektřiny v celkovém komplexu technologie FES s dělením na výrobu elektřiny v (hlavním) plynovém cyklu a cyklu kotle HRSG

Řešení klíčových komponent technologie FES

V rámci řešení celkového komplexu technologie FES v roce 2015 byla pozornost zaměřena také na řešení klíčových úseků, které svým dominantním postavením v rámci celkové



Obr. 3 – Náhled na nákres navržené koncepce spalovací komory

technologie výraznou měrou ovlivňují efektivitu provozu tohoto energetického zařízení. Jedním z takovýchto stěžejních komponent je spalovací komora parního kotle.

Tato spalovací komora je tedy podle původního předpokladu vybavena roštovým ohništěm, které je součástí kotle. Stěny spalovací komory jsou chlazeny vodou, jsou provedeny jako membránové stěny a zapojeny jako výparník s přirozenou cirkulací. Dle prvotně navržených stěžejních parametrů komplexního tepelného oběhu byl předběžně stanoven tlak v bubnu cca 50 bara a teplota spalin na výstupu ze spalovací komory 1 177°C.

Pro bližší specifikaci tohoto zařízení byla oslovena externí organizace, se kterou byla poté navázána spolupráce při řešení tohoto významného technologického uzlu. Tato spolupráce v konečném důsledku vyústila v provedení finálního návrhu spalovací komory, jejímž hlavním účelem je výroba páry v množství a požadovaných parametrech dle základních parametrů tepelného oběhu FES a produkce odpadních spalin o požadované teplotě a tepelném výkonu. Celková navržená koncepce spalovací komory je následně uvedena na níže uvedeném grafickém znázornění obr. 3. Další, návaznou problematikou, která se již blíže dotýká samotného provedení ohříváku OPVS a konkrétně reálně navržené koncepce jednotlivých dílů tohoto ohříváku je koncepce zařízení pro zajištění homogenních parametrů ohřívané parovzduchové směsi. Díly OPVS jsou provedeny jako svazkové nebo deskové plochy s výrazně větším počtem řad paralelních trubek než je obvyklé u parních kotlů i těch největších výkonů. Aby se zajistily pokud možná rovnoměrné parametry při proudění parovzduchové směsi přes jednotlivé díly OPVS jsou použity tzv. propojovací a směšovací komory, které by umožnily provést teplosměnné plochy s volitelným uspořádáním trubek.

Základním úkolem těchto komor je zrovnoměrnění teplotního, rychlostního a koncentračního pole před vstupem do následné sekce teplosměnných ploch. Tak aby bylo dosaženo požadovaných vlastností zajišťujících maximální efektivitu těchto technologických prvků, bylo dané konstrukční řešení podrobeno numerické analýze, na jejíž základě bylo možné vyhodnocovat výhodnost, či nevýhodnost daného tvarového provedení.

ZÁVĚR

Navazující řešení projektu Ohříváku parovzduchové směsi (OPVS) v roce 2015 se neslo v duchu rozšíření poznatků o základní koncepci této technologie formou určení elementárního sestavení jednotlivých prvků technologie a nastavení jejích návrhových parametrů, specifikace dílčích klíčových komponent, majících dominantní vliv na efektivitu provozu celkového komplexu enObr. 30 3-D vizualizace výsledků numerického mat. modelu (Objemové koncentrační pole) zařízení pro výrobu pvs pro minimální koncentraci páry v pvs na výstupu nízkoteplotní koncepce směšovací komoryObr. 30 3-D vizualizace výsledků numerického mat. modelu (Objemové koncentrační pole) zařízení pro výrobu pvs pro minimální koncentraci páry v pvs na výstupu nízkoteplotní koncepce směšovací komory

ergetického zařízení a provedení celkové výpočetní optimalizace daného systému.

Takto stanovené parametry následně poslouží jako odrazový můstek pro řešení navazujících otázek spojených s návrhem reálné koncepce daného zařízení a to vhledem ke zvoleným vstupním parametrům.

Literatura

[1] KONVIČKA, J; VILIMEC, L; MILČÁK, P; FIALA, L.: Průběžná zpráva řešení projektu TA04021687 Výzkum a vývoj ohříváku parovzduchové směsi pro FES, Publikace z řešení projektu ALFA 4, ev. č. TA04021687, 1. vyd. VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s., 2015, 57 s.

[2] ŠIMONEK, J; MÁCA, R.: Numerické modelování směšovacích komor technologie FES, Publikace z řešení projektu ALFA 4, ev. č. TA04021687, 1. vyd. CFD Support s.r.o., 2015, 32 s.

[3] ŠIMONEK, J; MÁCA, R.: Numerické modelování propojovacích komor technologie FES, Publikace z řešení projektu ALFA 4, ev. č. TA04021687, 1. vyd. CFD Support s.r.o., 2015, 15 s.

Příspěvek vznikl v souvislosti s řešením grantového projektu TA04021687.

Ing. Jaroslav Konvička,
Ing. Pavel Milčák,
VÍTKOVICE ÚAM, a. s.,
Doc. Ing. Ladislav Vilimec,
Ing. Otmar Masný,
VÍTKOVICE POWER ENGINEERING, a. s.

Concept technology of the flexible energy system FES as a decentralized source of energy for producing electricity and heat

This paper provides information about ongoing activities in 2015 as part of the grant project TA04021687 (Research and Development of a Steam-Air Mixture Heater for FES) associated with the design of a basic concept of a new energy system (FES) for the decentralized production of electricity and heat based on a combined cycle in the combustion of solid fuels (black coal). First and foremost it involves choosing key parameters, carrying out basic steps of computer optimization and theoretical solutions to key technology sectors dominating the efficiency of this energy source.