



## Konec uhlí v teplárenství – využití multipalivových kotlů pro tolerovaná paliva (biomasa, RDF, TAP apod.)

Ing. Dominik Matouš, Ing. Zdeněk Vlček, Ing. Vilém Hanzal  
ÚJV ŘEŽ, a.s. – Divize ENERGOPROJEKT PRAHA

Rostoucí ceny emisních povolenek a zpřísnující se požadavky na emisní limity dle BAT nutí provozovatele/vlastníky energetických zařízení zajistit výrobu elektřiny a/nebo tepla jiným palivem, než je uhlí, které je stále v mnoha výrobních dominantním zdrojem primární energie. Jedním z nabízejících se řešení je spalování ekologicky, ekonomicky a rovněž i politicky tolerovaných alternativních paliv, jako jsou například biomasa a tuhá alternativní paliva (TAP nebo SRF – Solid Recovered Fuels nebo též RDF - Refuse Derived Fuels).

V rámci strategie odklonu od spalování uhlí byla Divize ENERGOPROJEKT PRAHA společnosti ÚJV Řež, a.s. oslovena Investorem pro zpracování studie náhrady jednoho trvale odstaveného roštového kotle za kotel nový, umožňující spalování řady palivových mixů založených na směsi biomasy (průměrná výhřevnost 10,5 MJ/kg), TAP z průmyslových odpadů (26,5 MJ/kg), TAP ze separovaného sběru komunálního odpadu (21 MJ/kg) a TAP ze směsného komunálního odpadu (10 MJ/kg). Jako najížděcí, stabilizační a případně doplňkové palivo (do 5 %) je k dispozici zemní plyn.

Hlavními cíli studie bylo pro Investorem definovanou palivovou základnu:

- ověřit dostupnou technologii pro výrobu páry,
- ověřit dispoziční umístění nového kotle v uvažovaném prostoru,
- ověřit dosažitelnost požadovaných parametrů kotle při současném plnění emisních limitů vypouštěných znečišťujících látek do ovzduší,
- definovat kapacitu zásobníků a výkonů dopravních cest,
- řešit logistiku dopravy paliva a dalších hmot souvisejících s provozem nového kotle ve výrobním areálu,
- stanovit předpokládané investiční náklady záměru,
- navrhnout orientační HMG realizace záměru,
- definovat případné kritické problémy uvažovaného záměru a navrhnout jejich řešení.

Dle zadání Investor uvažuje provozovat nový kotel ve dvou fázích, které se liší parním výkonem kotle odvozeným od předpokládané směsi spalovaného paliva. V první fázi (od roku 2025 do 2030) bude hlavním palivem biomasa v kombinaci s TAP z PO (max. 15 %) a kotel bude provozován na snížený parní výkon 60 t/h. Od roku 2030 bude kotel již provozován na jmenovitém výkonu (100 t/h) bez spalování biomasy (z důvodu její nízké výhřevnosti). Palivová základna bude založena na vysoko výhřevném TAP z PO (do 50 %), z SSKO (do 50 %) a z SKO (do 10 %).



Pro takto koncipovaný záměr byl Investor upozorněn na rozdíl v kvalitě a vlastnostech paliva pro 1. a 2. fázi, který tak může postavit Investora do velmi nevýhodné pozice. Pokud je uvažováno, že do r. 2030 bude spalován palivový mix s velmi nízkým obsahem chloru, problémy s korozí a zanášením kotle by se v podstatě neměly projevit. Až po cca 5 letech provozu by kotel přešel na spalování samotného TAP, kdy by se uvedené problémy mohly projevit naplno, v té době bude již kotel po záruční lhůtě a řešení případných problémů bude plně v režii Investora.

## Volba palivové základny a její problematika

Ze strany zpracovatele studie je doporučeno palivové základně věnovat velkou pozornost, neboť se jedná o základní vstupní údaj pro budoucí výběrové řízení dodavatele kotle, a úzce souvisí s plněním garancí díla. Dalším významným efektem palivové základny je její vliv na velikost kotle, na manipulaci a skladování paliva, na technologie čištění spalin a v neposlední řadě na celkovou cenu díla. Pro zvládnutí spalování širokého rozpětí palivové základny je třeba očekávat robustní a investičně náročné řešení nejen samotného kotle ale i partie za kotlem, kde je zpravidla instalována technologie pro čištění spalin.

Širší praktické zkušenosti s provozem kotlů jsou k dispozici pouze pro spalování malého množství TAP s dřevní štěpkou, kterou lze dnes považovat za standardně používané palivo. Vliv jejího spalování na korozi kotle v oblasti tlakového celku je slabý, neboť obsah síry a chloru, které jsou hlavními iniciátory jak vysokoteplotní, tak i nízkoteplotní koroze, je v dřevní hmotě nízký. Problém tak může představovat pouze tvorba nánosů velmi jemného úletu na konvekčních výhřevných plochách, které jsou převážně nestmelené až sypké a lze je odstraňovat ofukováním.

Poněkud odlišná je situace se spalováním samotného TAP. Zde jsou konkrétní praktické zkušenosti z reálných aplikací vázané převážně na spoluspalování těchto paliv s uhlím v práškových nebo fluidních kotlích. Nejistotu do přenositelnosti těchto zkušeností vnáší jednak neurčitost a možná variabilita složení těchto paliv, dále pak i uvažovaná kombinace více paliv, kdy může docházet k neočekávaným reakcím mezi složkami popela a vznikajících spalin, k nimž by při samostatném spalování těchto paliv nedocházelo. Toto je třeba vnímat jako potenciální a velmi těžko predikovatelná rizika.

Jedním ze základních vstupů studie bylo pro jednotlivé druhy paliv (biomasa, TAP z PO, atd.) jejich složení a výhřevnost v předpokládaných mezích (min, max). V některých případech bylo palivo definováno pouze výhřevností. Z hlediska spalování je třeba palivo popsat úplným složením a výhřevností. Tyto základní parametry by spolu měly vzájemně korespondovat. Při respektování zadaných rozpětí jednotlivých složek základních paliv by vzniklo nepřeberné množství kombinací uvažovaných mixů paliv a ve většině případů by vzniklé složení paliva bylo pouze teoretické, velmi vzdálené od reality. Z tohoto důvodu byl proveden detailní rozbor složení jednotlivých druhů TAP a bylo odvozeno jejich střední složení a výhřevnost. K problematickým složkám, jako např. síra, chlor, alkálie, bylo uvažováno i jejich rozpětí. Pro takto zafixované složení uvažovaných druhů TAP byly stanoveny parametry jednotlivých mixů (celkem uvažováno 5 směsí), které vycházely z poměrů zadaných Investorem. Tímto krokem bylo sestaveno jednoznačné zadání pro návrh kotle, bez kterého by nebylo možno splnit definované cíle studie.





Z hlediska obsahu rizikových složek se jako nejkritičtější jevil palivový mix 3, který byl tvořen 40 % TAP z PO, 50 % TAP z SSKO a 10 % TAP z SKO, kde se mohly vyskytnout nejvyšší obsahy všech uvažovaných problematických složek. Pro toto palivo byly zpracovány další analýzy týkající se problematiky spalování uvažovaných směsí – koroze a zanášení kotle.

## Vliv spalování uvažovaných směsí paliv na korozi a zanášení kotle

Na základě provedené literární rešerše lze konstatovat, že koroze výhřevných ploch kotle na spalování odpadů ve formě TAP je vážným problémem, který může velmi významně limitovat jejich životnost. Popsána je celá řada korozních mechanismů, do nichž se zapojuje zejména chlor ve formě chloridů alkalických kovů (K, Na, Ca), ale též těžké kovy, jako je Cu, Zn a Pb, jejichž zastoupení v odpadech je vyšší než v jiných palivech. Ty mohou v úsadách na povrchu výhřevných ploch vzájemně reagovat a vytvářet nízkotavitelná eutektika, která jsou v tekutém stavu korozně velmi agresivní. Do těchto procesů se zapojuje též síra, která je ve spalinách přítomna v oxidované plynné formě ( $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$ ), a která může s výše zmíněnými látkami reagovat za vzniku stabilních síranů. Pokud k reakcím dochází v plynném prostředí, je tímto způsobem rychlost koroze redukována. Pokud však k reakcím dochází až ve vrstvě usazenin na povrchu výhřevných ploch, mohou se sírany zapojit do korozních mechanismů a jejich intenzita se tím naopak zvyšuje. Na základě těchto zjištění lze i v souladu se závěry dalších autorů konstatovat, že predikce vzniku a rychlosti průběhu koroze výhřevných ploch kotlů na spalování TAP je velmi obtížná, neboť korozní mechanismy jsou složité a závislé na mnoha okrajových podmínkách, jejichž stanovení a kvantifikace vlivu na průběh koroze je v reálných případech v podstatě nemožná. Jako jeden z významných faktorů je uváděna např. i variabilita složení spalovaného odpadu, která může tyto podmínky výrazně ovlivňovat a průběh koroze měnit.

S využitím empirických zkušeností, které byly převedeny do tzv. korozních diagramů, lze konstatovat, že uvažované směsné palivo 3 s podíly 40 % TAP z PO, 50 % TAP z SSKO a 10 % TAP z SKO z hlediska obsahu chloru již spadá do oblasti s vysokým rizikem vzniku koroze, která by se týkala obou přehřívákových páry, ani u dalších ploch ji však nelze bezpečně vyloučit. Opatření, která by mohla působení koroze omezit, lze rozdělit do tří kategorií:

- projekční – jedná se o umístění přehřívákových páry do oblasti s nižší teplotou spalin, což vyžaduje zařadit za spalovací komoru alespoň jeden volný tah, nebo přehřívákový páry umístit do materiálu fluidního lože, což bylo u cirkofluidních kotlů aplikováno jako nové řešení.
- konstrukční – jde o výběr vhodného materiálu, který by méně trpěl korozním napadením. Zde je jako ideální doporučován Inconel 625, jehož cena je však velmi vysoká. Zvýšená korozní odolnost byla prokázána i u některých austenitických ocelí s vyšším podílem chromu. Jednoznačné doporučení však neexistuje a spíše by bylo dáno zkušeností dodavatele kotle.
- provozní – popisovány jsou možnosti omezení koroze použitím různých aditiv převážně na bázi síranů nebo fosforečnanů, které dokážou nežádoucí látky se spalin vázat a tím je vyloučit z korozních mechanismů. Konkrétní praktické zkušenosti se však nepodařilo zjistit.





## Volba fluidního kotle s cirkulující fluidní vrstvou a jeho výhody

Pro výběr typu multipalivového kotle byla stěžejním požadavkem vysoká flexibilita paliva, dodržení přísných emisních limitů současně s omezeným prostorem pro umístění technologií čištění spalin za kotlem, a v neposlední řadě dostupné typy kotlů umožňující minimalizovat negativní jevy při provozu kotle, kterými jsou například již zmíněná koroze a zanášení výhřevných ploch. Respektováním všech těchto požadavků bylo doporučeno realizovat fluidní kotel s cirkulující fluidní vrstvou. Jedno z možných řešení je vyobrazeno na obrázku níže.

Hlavní výhody fluidního kotle:

- Flexibilní provoz nezávislý na jednom druhu paliva, více druhů paliv je možné spalovat prakticky v libovolném poměru.
- Spalování více druhů materiálů umožňuje použití paliv, které se v největší míře v dané oblasti nacházejí nebo jsou nejdostupnější => nezávislost na způsobu dopravy a dodavateli paliva.
- Nenáročnost kotle na homogenitu paliva. Jednotlivé druhy paliva mohou mít různou granulometrii (např. TAP ve formě cupaniny nebo pelet).
- Nízká spalovací teplota (850 – 900 °C) má pozitivní vliv na tvorbu emisí NO<sub>x</sub> ve spalovací komoře, tzn. jsou nižší nároky na sekundární opatření emisí NO<sub>x</sub>.
- Dávkuje-li se do fluidní vrstvy v poměrně malém množství vápenec, omezí se tvorba SO<sub>2</sub>, tzn. jsou nižší nároky desulfurizaci spalin za kotlem.
- Možnost dosažení minimálních hodnot emisí chloru Cl a fluoru F, které se vážou na popelovinu a vápník.
- Velký rozsah regulace výkonů (obvykle 30 – 110 %).
- Menší nároky na dočištění spalin za kotlem vzhledem k možnosti snižování řady polutantů v procesu spalování.

Nevýhody cirko-fluidních kotlů:

- Složitá technologie s prvky kotle pracující ve vysoce abrazivním prostředí při vysokých teplotách 800 – 900 °C.
- Velká spotřeba měrné elektrické energie v důsledku velké spotřeby stlačeného a fluidizačního vzduchu, která je vyšší než u klasických kotlů.
- Složitější údržba a delší doba najeť na plný výkon ze studeného stavu.

## Zvolená koncepce kotle a palivového hospodářství

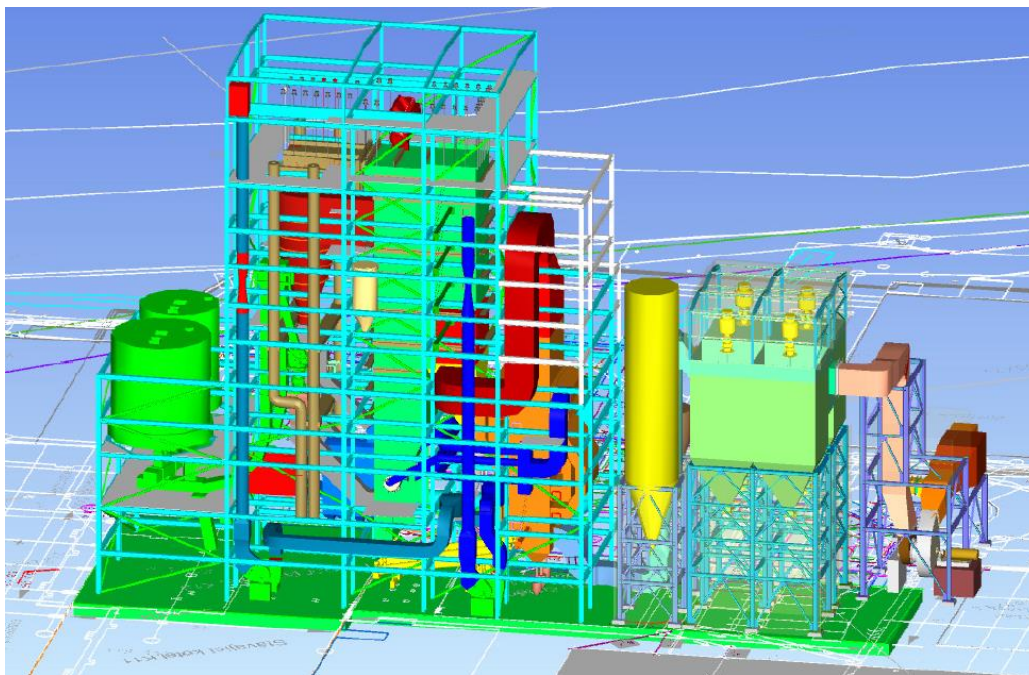
Multipalivový kotel bude koncipován jako parní kotel s přirozenou cirkulací v provedení s membránovou stěnou a fluidním spalováním. Rozsah výkonu kotle bude od 40 – 105 % bez požadavku na stabilizační palivo. Kotel je vybaven dvěma denními zásobníky určenými pro biomasu a TAP z KO, každý o objemu 183 m<sup>3</sup>. Na základě požadavku zákazníka byl doplněn třetí zásobník o objemu 113 m<sup>3</sup> pro vysoko výhřevný TAP z PO. Řešení čištění spalin v partii za kotlem se skládá z tzv. circoclean reaktoru, látkového filtru, systému dávkování sorbentů (aktivní uhlí, hydroxid vápenatý), recirkulace spalin a systému procesní vody umožňující vstřik sorbentů.





### Hlavní technické parametry kotle:

- Parní výkon jmenovitý 60 t/h (fáze I), 100 t/h (fáze II)
- Parametry páry 9,3 MPa / 535 °C
- Teplota NV 150 °C
- Účinnost min. 91 %



Obr. 1 – Předběžný návrh řešení multipalivového kotle včetně čištění spalin

Pro umístění nového (výkonově většího) kotle do stávajících prostor původní kotelny bude nutno provést stavební úpravy – zvýšit úroveň zastřešení objektu o cca 10 m na celkovou výšku objektu +44,0 m a posunout zadní stěnu o 17 m tak, aby bylo možno umístit nosnou konstrukci nového kotle o půdorysných rozměrech 15,7 x 29 m do vymezeného prostoru.

Za účelem zachytu  $SO_x$  ve spalinách se dávkuje do reaktoru hydroxid vápenatý  $Ca(OH)_2$ . Snížení koncentrace dalších polutantů ve spalinách probíhá rovněž v reaktoru za pomoci dávkování aktivního uhlí, které na sebe váže těžké kovy a další nebezpečné látky (dioxiny a furany). Reaktor je v podstatě prázdný prostor s venturiho dýzou na spodní straně pro zajištění fluidního lože tvořeného směsí vápence, aktivního uhlí, recirkulovaných produktů po odsíření spalin a popílku. Tyto částice jsou distribuovány v celém objemu reaktoru pro zvýšení účinnosti čištění spalin. Pro kontrolu teploty v reaktoru je vstřikovávána voda přímo do reaktoru. Tato voda také slouží k intenzifikaci chemické precipitace oxidů síry (tedy tvorbě vápenného mléka). Požadované snížení  $NO_x$  ve spalinách je zajištěno technologií SNCR, pro snížení TZL je uvažován látkový filtr.

Při spalování TAP lze ve VEP očekávat zvýšený obsah těžkých kovů, jako jsou Zn, Cd, Sb, Hg atd. V případě nadlimitních koncentrací sledovaných nežádoucích prvků budou muset být popeloviny v externích popelových silech skladovány odděleně od popelovin ze stávajících kotlů.





ÚJV Řež, a. s.

Divize  ENERGOPROJEKT PRAHA

Doprava paliva do areálu bude řešena kamionovou dopravou, kdy vykládka paliva bude zavedena do jednoho ze tří přijímacích míst. Přijímací místo pro biomasu bude vybaveno magnetickým separátorem kovů, diskovým třídičem, drtičem štěpky. Další dvě přijímací místa určená pro TAP budou vybavena pouze magnetickým separátorem kovů, tzv. overbelt. TAP, resp. biomasa, budou skladovány ve dvou kruhových silech, každé o kapacitě 3200 m<sup>3</sup>. Ze sil bude palivo dopravováno do kotelny pomocí pasového trubkového dopravníku. Palivové hospodářství je koncipováno i s možností přímé trasy z vykládky (přijímacích míst) do kotelny.

V rámci studie byla provedena i detailní analýza budoucího stavu dopravy nákladních vozů (NV) ve stávajícím areálu. S uvažovaným záměrem dojde k navýšení průměrného denního počtu NV z 13 na 42, maximální denní počet NV se zvýší z 22 na 55. Doprava a příjem paliva se uvažuje pouze v rámci denních směn pracovních dnů.

Zpracovaná studie potvrdila, že multipalivový kotel o daném výkonu lze umístit do vymezeného prostoru. Složení palivové základny je z pohledu výrobců standartní nevymykající se provozní praxi, kdy je zároveň zaručeno dodržení veškerých emisních limitů dle BAT. Pro požadované parametry páry je z důvodu zajištění ochrany proti vysokoteplotní korozi část teplosměnných ploch navržena z materiálu Inconel. Celková výše investice záměru výstavby multipalivového kotle byla z větší části podpořena reálnými nabídkami za technologii a představuje první indikativní částku pro další rozhodování Investora. Doba realizace záměru od zpracování EIA a další povolovací dokumentace do předání díla byla odhadnuta na cca 5 let.

