

VÝSTAVBA KOGENERAČNÍHO BLOKU NA SPALOVÁNÍ BIOMASY

Tomáš Caha

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ BRNO

Fakulta Strojního inženýrství

Energetický ústav

1. Úvod

Cílem studie je na modelovém příkladu poukázat na základní technologická zařízení nutná k výstavbě zdroje tepla na spalování biomasy nedaleko městské zástavby s dodávkou tepla v horké vodě a jeho začlenění do stávající instalované technologie. Byly stanoveny investiční a provozní náklady, stavba byla hodnocena také z hlediska ochrany ovzduší a ochrany proti hluku. V práci jsou popsány aspekty důležité pro správný návrh tepelně-energetického zařízení se všemi provozně významnými kompletujícími soubory a je zde také kladen důraz na možná úskalí, která mohou při návrhu vzniknout. Výsledky mají sloužit jako podklad pro rozhodování o realizovatelnosti investičního záměru a shromáždění podkladů pro posouzení možnosti investice.

Základním technologickým zařízením byl zvolen žárotrubný parní štěpkový kotel s vodou chlazeným roštem o jmenovitém parním výkonu 10,3 t/h (cca 8 MW_t) a jednostupňová parní protitlaká turbína (točivá redukce) o výkonu na svorkách generátoru cca 600 kW_e. Z protitlaku bude napájena výměňiková stanice pára-voda vybavená spirálovými protiproudými výměníky, která bude dodávat horkou vodu do městské sítě.

Stanovení výkonu nového zdroje

Pro stanovení výkonu nového zdroje jsem zvažoval 3 varianty. Vycházel jsem přitom ze sestrojeného diagramu trvání výkonu, do kterého jsem zakreslil jednotlivé výkonové úrovně. Ty byly vyhodnoceny podle počtu provozních hodin na zdroji, neboť cílem projektanta i provozovatele při návrhu kogeneračního bloku je dosáhnout při dané dodávce co nejvyšší výroby elektrické energie. Jelikož se jedná o základní zdroj pracující v teplárenském provozu, bylo nutné jmenovitý potažmo minimální výkon zdroje koordinovat s nejnižší potřebou tepla v průběhu roku pro ohřev TUV pro maximalizaci dodávek tepla (a tím i výroby EE) do sítě.

Výroba maximálního množství vyrobené EE je možná např. dosažením co nejnižšího protitlaku, nebo zvýšením vnitřní termodynamické účinnosti turbíny. Dalším způsobem je zajištění co nejnižší teploty vratné vody do výměňikové stanice (max. 70°C). To lze zajistit vhodnou kvantitativní regulací (regulace hmotnostního průtoku ke spotřebičům). Jedním z cílů je také použití redukční stanice pouze v případě, kdy je odběr páry na takové úrovni, že provoz točivé redukce není hospodárný (letní provoz)

2. Základní návrh technického řešení

Základním technologickým zařízením nového zdroje je parní středotlaký kotel na spalování dřevní štěpky doplněný o parní protitlakou turbínu, která bude v kogeneračním bloku vyrábět elektrickou energii a z protitlaku dodávat teplo do stávající městské horkovodní sítě.

Hlavní investice vyvolané základním návrhem:

Výstavba nového energetického bloku sestává z těchto základních provozních souborů a stavebních objektů:

Provozní soubory:

PS01	Technologie palivového hospodářství
PS02	Parní středotlaká kotelná
PS03	Strojovna kotelny
PS04	Elektro, MaR, vyvedení výkonu
PS05	Rychloběžná protitlaká turbína
PS06	Kompletující zařízení
PS07	Odvod a čištění spalin

Stavební objekty:

SO01	Palivové hospodářství - krytý sklad paliva
SO02	Objekt parní kotelna
SO03	Objekt strojovna
SO04	Venkovní vychlazovací jímka a vnitřní kanalizace
SO05	Základ pro komín, čištění spalin
SO06	Protihlukový kryt kouřového ventilátoru
SO07	Komunikace a zpevněné plochy

3. Popis technologie kotle a zhodnocení vhodného výběru

Žárotrubné kotle

- Výhody
 - o Snadno opravitelný tlakový celek
 - o Velký vodní a parní prostor (akumulace tepla)
 - o Vysoká pružnost kotle a stabilita parametrů
 - o Nižší cena zařízení
- Nevýhody
 - o Nevhodný pro vysoké parametry páry

Vodotrubné kotle

- Výhody
 - o Možnost dosáhnout vyšších parametrů páry
 - o Dosažení vyšší el. účinnosti bloku
 - o Vhodná volba vysokých parametrů chrání turbínu – nižší vlhkost páry na výstupu z turbosoustrojí
- Nevýhody
 - o Menší regulační rozsah kotle,
 - o Vyšší požadavky na kvalitu kotlové vody (kondenzátu i doplňovací vody)
Kratší životnost exponovaných částí (přehříváku)
 - o Dražší konstrukce

Shrnutí výběru vhodné konstrukce kotle

Obecně mají žárotrubné kotle při tepelných výkonech kolem 8MW vůči kotlům vodo-trubným celou řadu provozních výhod:

- Snadnější výroba - nevyžadující membránové trubkové svazky a parní buben
- Lepší provozní vlastnosti (regulovatelnost a odolnost vůči změnám výkonu na straně spotřebičů)
- Nižší nároky na kvalitu upravené vody
- Větší korozní odolnost
- Vyšší trvanlivost
- Jednoduchá a velmi levná oprava

Konstrukce žárotrubných kotlů je odolná, nenáchylná na kolísání jakosti napájecí vody a výborně snáší nárazový odběr tepla a provoz při nízkých výkonech. Další výhodou a předpokladem dlouhé životnosti a generálkovatelnosti kotlů je snadno zaručená přístupnost tlakového celku kotle. Nevýhodou je omezení max. teploty přehřátí výstupní páry.

Návrh kritérií pro výběr výrobce kotle

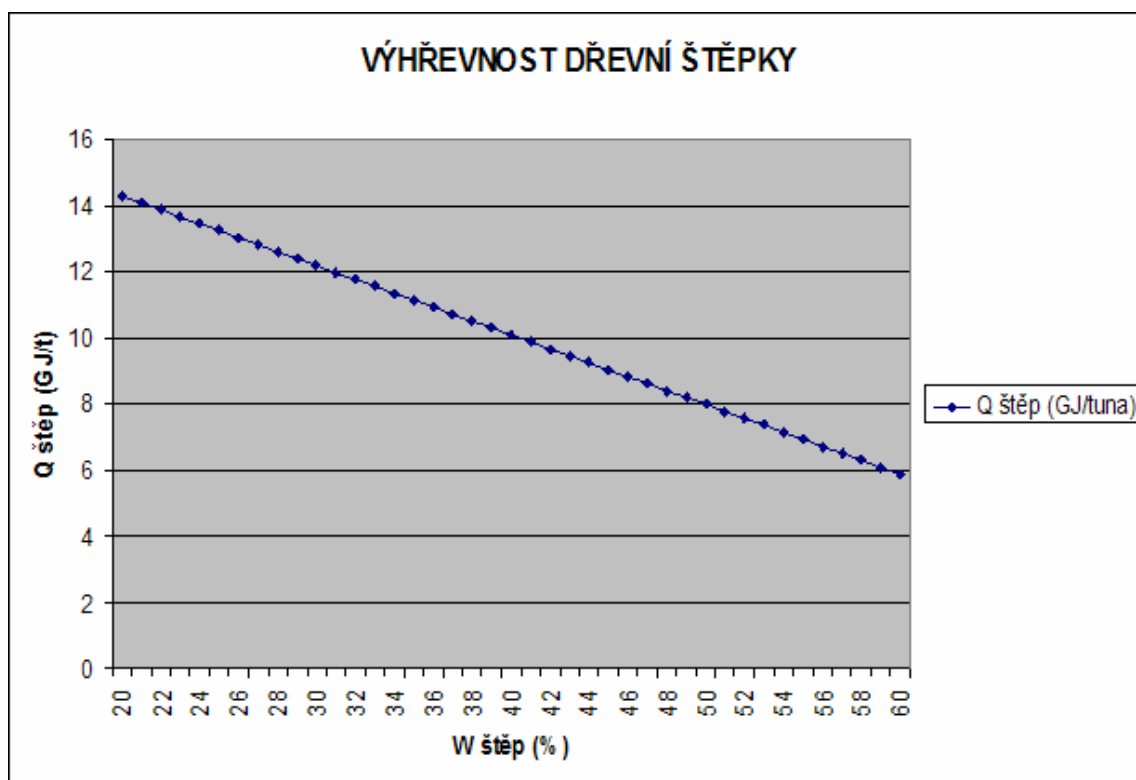
Výrobce by měl vedle běžných záruk a garancí garantovat (pro pásmo obvyklých vlhkostí paliva dřevní biomasy a s ní kolísající výhřevnosti paliva) výstupní parametry přehřáté páry, včetně přípustných tolerancí. Dále by měl garantovat takové změny výkonu, které jsou udržitelné v rozmezí předepsaných tolerancí kolísání přehřátí páry. V neposlední řadě je nutné uvést podmínky bezpečného provozu přehříváku při minimálních průtocích s ohledem na minimální výkon topeniště a požadované parametry v zadání. Doporučuji renomovaného zahraničního výrobce kotlů s parametry:

Kotel na spalování dřevní štěpky:

Jmenovitý parní výkon	10,3	t/h
Jmenovitý tepelný výkon	8	MWt
Jmenovitá provozní teplota	400	°C
Jmenovitý provozní tlak	2,5	MPa a
Minimální parní výkon	4,1	t/h
Účinnost kotle	85	%

Stanovení výhřevnosti referenčního paliva

Na základě průměrných údajů dodavatelů dřevní štěpky, společností České Lesy a Lesy České republiky, s.p. byla stanovena střední výhřevnost dodávaného paliva 10 MJ/kg. Výhřevnost paliva je funkcí vlhkosti a údaje ze vzorků dodavatele stanovují průměrnou (vážený průměr) vlhkost paliva 40,71 %. Funkční závislost výhřevnosti na vlhkosti je přehledně znázorněna v následujícím grafu:



Obr. 1: Závislost výhřevnosti dřevní štěpky na vlhkosti paliva

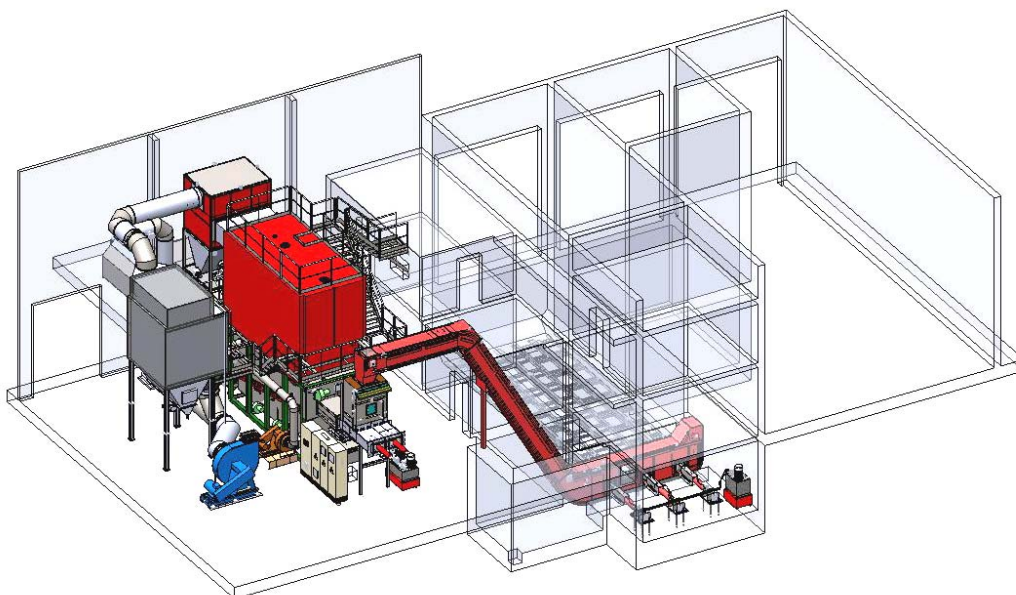
Palivem pro nový energetický zdroj bude dřevní štěpka (piliny, kůra) s těmito kvalitativními znaky.

Střední výhřevnost paliva	10,0	MJ/kg
Obsah popelovin (A^r)	max. 3	%
Obsah vody (W^r)	40	%
Velikost frakce	10 – 250	mm
Sypná hmotnost paliva	235	kg/m ³

4. Popis technologie kotle

Jako základní doporučená varianta je instalace žárotrubného kotle od renomovaného výrobce, Rakouské společnosti Kohlbach GmbH.

Kotel je vyvinutý pro nejrůznější druhy dřevního odpadu z dřevařského průmyslu. Kromě této ověřené schopnosti (velká spalovací komora ovlivňuje emise, účinnost a hlavně životnost kotle) je vybaven i unikátním systémem hydraulického podávání paliva do kotle bez jediného šnekového nebo pásového dopravníku a převodovky, což odstraňuje hlavní zdroje poruch, havárií a nutné údržby. V kompletní, částečně chlazené spalovací komoře, probíhá dokonalé spalování množství paliva odpovídajícího výkonu kotle. Komora má stabilní ocelovou konstrukci s trojvrstvou tepelnou izolací a žáruvzdornou vyzdívkou. Plnění komory palivem probíhá přes šikmo vzhůru vedený kanál, který je vyhříván teplou vodou a který kromě dávkovací a příkladací funkce obsahuje i další jištění proti zpětnému prohoření. Spalovací komora je mohutně dimenzována, což je nezbytný požadavek pro efektivní spalování.



Obr. 2: Izometrický pohled na kotlovou jednotku Kohlbach

Jako zapalovací hořákové zařízení použít monoblokový, nízkoemisní, plynový hořák značky Weishaupt, Oilon, Saacke, PBS, apod. Jedná se o ekologický, plně automatický kompaktní výrobek s integrovaným ventilátorem spalovacího vzduchu, vybavený zapalovacím zařízením, zařízením automatického hlídání plamene a kompletní bezpečnostní armaturou zabezpečovací plynové řady. Přívod plynu bude zajištěn ze stávající regulační stanice zemního plynu. Plynovod bude navržen v souladu s ČSN 070703 a ČSN 386420. Předpokládaná účinnost kotlové jednotky je minimálně $\eta=0,80$.

Vystrojení kotlové jednotky:

- Výstup páry HPŠ s pohonem, najíždění s pohonem
- Vstup napájecí hlava
- Odkal automatický, Odluh automatický
- Kompletní rozvod spal. vzduchu vč. vzd. ventilátorů, a přehřevu vzduchu
- Kompletní spalínové cesty - vč. spalínového ventilátoru
- Čištění spalín spalínovým filtrem podle specifikace výrobce kotle.
- Vnitřní doprava paliva do kotle
- Automatické odpopílkování z roštu do vzdálenosti 8m od kotle na meziskládku
- Kotel úplně vystrojený kompletovaný MaR a elektro-výzbrojí BOSB.
- Čištění spalínových ploch vzduchovými ofukovači
- Zapalování paliva zapalovacím hořákem na zemní plyn

5. Rychloběžná protitlaká turbína

Jedná se o jednostupňovou parní točivou redukci s integrovanou převodovkou. Vlastní turbínový stupeň je upevněn na převodovku s jedním rychloběžným pastorkem, na kterém je letmo upevněno oběžné kolo turbíny s axiálním lopatkováním s plně ostříknutým oběžným kolem. Skříň je uchycena na převodovku prostřednictvím radiálních per, která umožňují její dilatace a souosost s osou rotace pastorku.

Mazání ložisek převodovky je zabezpečeno z olejového systému soustrojí. Převodovka a generátor jsou spojeny spojkou. Výstup páry z turbíny bude přiveden na rozdělovač, ze kterého bude napojena parní tepelná síť a výměník předehřevu vody před tepelnou úpravnou napájecí vody a pára pro napájecí nádrž.

Regulace turbíny zajišťuje elektronický regulátor ovládající elektrohydraulický vysokotlakový agregát. Tlakovým olejem z agregátu je ovládán regulační-rychlouzavírací ventil. Ruční ovládání ventilu částečného ostříku turbíny.

Základní parametry točivé redukce

• Tlak vstupní páry na RZ ventilu	2,5	MPa abs
• Teplota vstupní páry	400	°C
• Protitlak na výstupní přírubě turbíny	0,5	MPa abs
• Hmotnostní průtok páry	10,3	t/hod
• Výkon na svorkách generátoru	600	kW
• Otáčky pomaluběžného hřídele	3000	min-1
• Ekvivalentní hladina akustického tlaku A	85	db(A)
• Hmotnost generátoru	3 150	kg
• Celková hmotnost turbosoustrojí	6 850	kg
• Požadovaná kvalita páry	dle ČSN 07 7401	
• Regulace – rychlostní, protitlaku		

Parametry generátoru

• Maximální výkon na svorkách generátoru	min. 600	kW
• Jmenovité napětí	400	V
• Jmenovitá frekvence	50	Hz
• Jmenovité otáčky	3000	min-1
• Stupeň krytí	IP23	

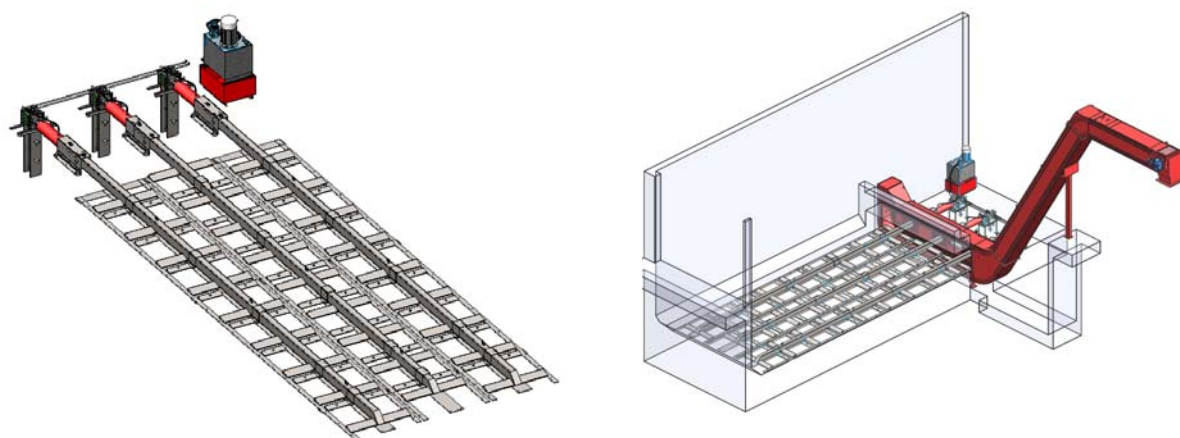
6. Technologie palivového hospodářství

Jedná se o krytou skládku paliva vybavenou elektropneumatickými dopravníky. Do teplárny je přivedena vlečka z přilehlého nádraží, což umožňuje dopravu paliva v železničních vagonech. Druhá varianta dopravy paliva je využití kamionů, jejichž množství bude úměrné výkonu kogeneračního bloku. Maximální počet kamionu nepřesáhne 10 denně.

Popis dopravní cesty paliva

Čelní výklopník dopraví palivo nad výsypku umístěnou pod vlečkou. Výsypka bude spojena se šnekovým dopravníkem, který přesune palivo na pásový dopravník umístěný ve výšce 5 m, jímž se palivo dopraví do zastřešené budovy na místo odběru mostovým jeřábem. Mostový jeřáb s rozponem 9 m bude do budovy osazen pro zajištění logistických operací po celém skladu a pro navážení paliva do provozního 12h mezizásobníku. Mezizásobník bude složen z pěti pohyblivých hrabic a soustavou pevných opěrných klínů. Jednotlivé hrabice jsou tuhý svařenec vyrobený z H profilu a profilovaných hrabic vetknutých do hlavního nosníku.

Pohon hrabic zajišťují přímočaré hydromotory, napájené tlakovým zdrojem a řízené dvěma samostatnými ovládacími hydraulickými bloky. Součástí provozního zásobníku bude snímač hladiny vrstvy paliva v mezizásobníku a na roštu.



Obr. 3: Izometrický pohled na hrabicové dopravníky paliva

Pohyblivý rošt je technologie na kvalitativně vyšší úrovni, než jsou srovnatelné kotle s podhrnovacím (šnekovým) podáváním paliva. U kamionové dopravy bude situace zavážení paliva obdobná, s rozdílem, že mostový jeřáb bude operovat v prostoru výsypky pro kamiony.

Základní technické údaje o zařízení

• Celková plocha skládky	421 m ²
• Celkový objem skládky	1704 m ³
• Maximální výška ložené vrstvy	4,5 m
• Maximální výška ložené vrstvy v mezizásobníku	2,6 m
• Celková skladovací kapacita na zdroji	400 t
• Skladovací kapacita pohotovostního zásobníku	340t (323 m ²)
• Skladovací kapacita mezizásobníku	60 t (98 m ²)
• Spotřeba biomasy při jmenovitém výkonu kotle	3,06 t/hod
• Denní doba provozu	24 hod/den
• Doba provozu při max. závozu skládky a jm. výkonu	3dny 16 hodin

7. Strojovna kotelny

Na výstupní potrubí páry z kotlové jednotky je napojena protitlaká turbína o výkonu na svorkách generátoru 600 kW_e. Ve výstupním potrubí z kotle budou osazeny základní armatury, zejména RZV ventil před turbínou a měření průtoku páry. Paralelně na turbínu je napojena redukční stanice páry, kterou je možno využít při odstavení turbíny, nebo při nedostatečném odběru soustavy a tak i při ne hospodárném provozu točivé redukce. Výstupní potrubí z turbíny bude vedeno do hlavního parního rozdělovače. Z rozdělovače je pára vedena jedním páteřním parním rozvodem do výměňkové stanice, kde bude transformována ve vertikálních protiproudých výměnících na horkou vodu o teplotě 130°C. Z VS bude horká voda vedena na hranici pozemku, kde bude spojena se stávajícími rozvody a dále vedena do městské sítě.

Druhý vývod páry z rozdělovače je přes redukční ventil veden do předehřívacího výměníku, který tvoří první stupeň ohřevu napájecí vody pro dosažení požadované teploty. Třetí vývod páry z rozdělovače je přes škrťací ventil veden do zařízení pro termické odplynění napájecí vody do kotle.

Vratný kondenzát z VS bude z kondenzátní nádrže čerpán dvěma paralelně řazenými kondenzátními čerpadly přes předehřívací výměník do napájecí nádrže, která bude mít minimální kapacitu jako vodní objem kotlové jednotky. Z předehřívacího výměníku bude kondenzát gravitačně odváděn přes regulační ventil do kondenzátní nádrže. Vratný kondenzát bude dle potřeby chemicky upravován v chemické úpravně vody a kondenzátu. Výkon kondenzátních čerpadel bude 2 x 100% jmenovitého výkonu, ta se budou v provozu pravidelně střídát.

Uvažoval jsem o zapojení výměníku odkalu a odluhu pro ohřev napájecí vody využívací odpadní páry z kotle, která by byla do výměníku vedena přes nově instalovaný expanzor. Využitím odpadního tepla z odkalu a odluhu by bylo dosaženo hospodárnějšího provozu celého kogeneračního bloku. Po zvážení přínosu s ohledem na nutnou investici a provozní náklady jsem se rozhodl zařízení neinstalovat. Důvodem je, že dodávky páry z kotle značně kolísají a hodnota 3% z jmenovitého množství páry uváděná literaturou [3] je dle provozovatelů značně předimenzovaná. Nižší skutečný výkon a nepravidelnost dodávek páry mají za následek vyšší nároky na řízení a nezdůvodnitelnou výši investice.

Trubní rozvody a armatury

Trubní rozvody páry budou provedeny z trubek ocelových bezešvých hladkých, j.m.11 353.1 (do 300°C), 12022.1 nebo P235GH (do 400°C), ohyby hladké R=3 DN. Rozvody pitné vody z trubek plastových, standardních, PN 16. Potrubí bude vyspádováno, v nejvyšších místech odvzdušněno a v nejnižších místech opatřeno vypouštěním.

Uzavírací armatury od DN 150 jsou opatřeny šnekovým převodem nebo servopohonem. Všechny armatury a potrubí na parním okruhu musí být v tlakové úrovni odpovídající tlakové třídě při dané teplotě páry.

Pro uložení potrubí budou rozvody uchyceny pružinovými závěsy ke stropu nebo ke konzolám k tomu určeným a do stěn kotveny pomocí typových sériově vyráběných upevňovacích prvků. Vzniklá teplotní dilatace bude kompenzována v kluzných podpěrách s osovým vedením, eventuelně v pevných bodech. Předpokládá se také kompenzace vhodným trasováním potrubí.

Při prostupech stěnami bude potrubí vedeno v chráničkách z ocelových trubek tak, aby byla zajištěna volná dilatace potrubí a nedošlo k poškození potrubí nebo stavebních konstrukcí vlivem pohybů potrubí. Prostupy rozvodů požárně dělicími konstrukcemi jsou utěsněny. Hmoty použité pro utěsnění smějí mít stupeň hořlavosti nejvýše C1 (podle ČSN 73 0862). Těsnící konstrukce musí vykazovat požární odolnost shodnou s požární odolností konstrukce, kterou rozvody prostupují, nepožaduje se však vyšší odolnost než 60 min. (podle ČSN 73 0851).

Tepelné izolace a nátěry

Veškeré potrubí a zařízení s povrchovou teplotou nad 50°C budou opatřena tepelnými izolacemi. Tloušťka izolace byla stanovena výpočtem v souladu s vyhláškou č. 193/2007 Sb. § 6, čl. 9. Tloušťka izolace je funkcí teploty pracovní látky a dimenze potrubí.

Vybrané dimenze potrubí	Tloušťka izolace pro t=351-400°C
DN 350	180 mm
DN 300	170 mm
DN 200	160 mm
DN 150	150 mm
DN 100	140 mm

Tab. 1: Vybrané tloušťky izolace dle Vyhl. č. 193/2007 Sb.

Snímatelná izolace armatur nad DN 50 v tloušťce stejné jako u potrubí. Potrubí napojení pojistného a expanzního zařízení nebude izolováno. Povrchová úprava izolací potrubí je hliníkovou folií, těles oplechováním Al plechem.

Potrubí a ocelové konstrukce jsou opatřeny dvojnásobným syntetickým základním nátěrem, neizolované části navíc 1x emailováním.

Označování potrubí podle provozní tekutiny

Podle provozní tekutiny jsou potrubí označena barevně dle ČSN 130072. Neizolovaná potrubí jsou označena barevným nátěrem po celé délce.

Čerpadla

Jako napájecí kotlová čerpadla byla zvolena elektronapájecí čerpadla (Grundfos, Wilo). Ta budou sloužit k cirkulaci napájecí vody kotlovým okruhem a každé bude dimenzováno na 100% jmenovitého výkonu. Budou instalována 2 kondenzátní čerpadla. Každé z čerpadel bude dimenzováno na 100% jmenovitého výkonu a v provozu se budou pravidelně střídát.

Zabezpečovací zařízení

Zabezpečení kotlové jednotky bude zajištěno vlastním řídicím systémem a bude reagovat na nestandardní provozní stavy omezením, popř. úplným odstavením kotle.

Na každém kotli bude v rámci provozního souboru strojovny instalován pojistný ventil. Výfuk ventilů bude vyveden do vnějšího prostředí.

Vyrovňovací a doplňovací zařízení bude zajišťovat kondenzátní a napájecí nádrž společně s chemickou úpravou vody. Budou instalovány uvolňovače odkalu a odluhu.

Chemická úprava vody

Stávající zařízení budou rozšířeny o zdvojenou stanici reversní osmózy. Zařízení je navrženo pro předpokládanou návratnost kondenzátu 87% s trvalým přetížením 50% a rázovým 100%. Dimenzování úpravy kondenzátu je uvažováno na cca 30% max. průtoku při dané kapacitě. Její využití je plánováno zejména při najíždění a po krátkodobých odstávkách, eventuálně při jednorázovém kolísání kvality kondenzátu. Při obvyklém provozu pracuje úprava se shora uvedeným průtokem a udržuje kondenzát v okruhu mezi nečistot zhoršujících jeho kvalitu.

Zařízení tepelné úpravy vody je tvořeno napájecí a kondenzační nádrží, čerpadly, uvolňovači tlaku odluhu a odkalu (expandéry), chladičem odluhu a uvolňovačem tlaku kondenzátu, výměníky předeřevu napájecí vody.

Na napájecí nádrži bude situován termický odplyňovač napájecí vody, který bude podtápěn redukovanou párou z rozdělovače pomocí barbotážních tyčí.

V kotelně budou situovány dávkovače korekčních chemikálií do napájecí a kotlové vody. Pro ochranu turbínového zařízení při krátkodobých odstávkách a udržení pH kondenzátu je předpokládáno rovněž dákování tekavých alkalizačních prostředků.

8. Elektro, MaR, vyvedení výkonu

Zařízení kotelný a strojovny bude kompletováno plně automatizovaným systémem měření a řízení (Simatic S7, Allen Bradley), nebo jiného srovnatelného systému, včetně nadřazeného řídicího počítačového systému. Řízení technologie bude prováděno z operativního stanoviště obsluhy umístěné v kotelně v místnosti velína. Bude provedeno v rozsahu potřebném pro bezpečný a bezporuchový provoz štěpkového kotle. Dodávka zařízení M + R funkčně kompletuje technologickou dodávku kotelný.

ASŘTP

Většina zařízení bude mít autonomní řídicí systémy komunikující s nadřazeným ŘS. Nadřazený řídicí systém sdružuje komunikace s ostatních autonomních řídicích automatů (mostový jeřáb, turbína, kotel a přídavná voda) a řídí další technologické okruhy. Snímá poruchové a provozní stavy a řídí součinnost jednotlivých technologických zařízení. Nadřazený řídicí systém je umístěn v samostatném rozvaděči, na který budou napojeny veškerá čidla, snímače a akční členy ovládaných regulačních okruhů.

Řízení okruhů MaR

- Řízení výstupních klapek parního kotle na požadovaný výstupní tlak páry pro turbínu, tento okruh stabilizuje tlak páry pro parní turbínu
- Řízení pohybu mostového jeřábu pro manipulaci s palivem
- Řízení redukčního ventilu tlaku páry pro rozdělovač na základě tlaku v rozdělovači a chodu turbíny
- Řízení ventilu vstupní páry pro turbínu na základě výstupního protitlaku z turbíny
- Řízení redukčního ventilu páry pro rozdělovač protitlaké páry na základě tlaku v rozdělovači
- Řízení oběhového čerpadla
- Řízení tlaku parního polštáře napájecí nádrže
- Řízení hladiny napájecí nádrže
- Řízení hladiny sběrače kondenzátu na požadovanou hladinu v nádrži
- Snímání spotřeb a výroby elektrické energie
- Snímání aktuálního výkonu dodávaného do sítě a optimalizace účinníku

Elektromotorická instalace

V rámci elektromotorické instalace bude zajištěno silové propojení všech elektromotorů zajištěných v rámci technologické části kotle a příslušenství. Přístroje pro elektromotorickou instalaci budou osazeny v nových skříňových rozvaděcích.

U každého pohonu bude místní ovládání, bude však zajištěno rovněž programové ovládání z nadřazeného systému vč. zpětných hlášení o stavu zařízení. Vyšší výkony budou podle požadavku zákazníka ovládány přepínačem Y-D. Technologická instalace bude provedena celo-plastovými kabely s měděnými vodiči.

Vyvedení elektrického výkonu

Předpokládá se rozšíření stávající rozvodny. Rozšíření spočívá v instalaci nového olejového transformátoru o výkonu cca. 750 kVA doplněného o dva nové rozvodné silnoprůdové bloky. Výstupní napětí generátoru je 400 V. Elektrický výkon bude z generátoru vyveden silnoprůdovým kabelem vedeným v zemi do nově instalovaných bloků stávající rozvodny. Transformace el. energie bude provedena v napěťové úrovni 400 V / 22 kV a napětí bude dále vedeno přes hlavní fakturační elektroměr do rozvodné sítě. Dále bude rozvodna osazena transformátorem určeným pro krytí vlastní spotřeby kogeneračního bloku.

Kompleťující zařízení turbínovny a strojovny

Vytápění, Vzduchotechnika

Prostory kotelny budou temperovány cirkulačními jednotkami SAHARA, napojenými samostatnou větví přes výměník pára/voda na TTV. Výkon topného systému je regulován dle prostorové teploty.

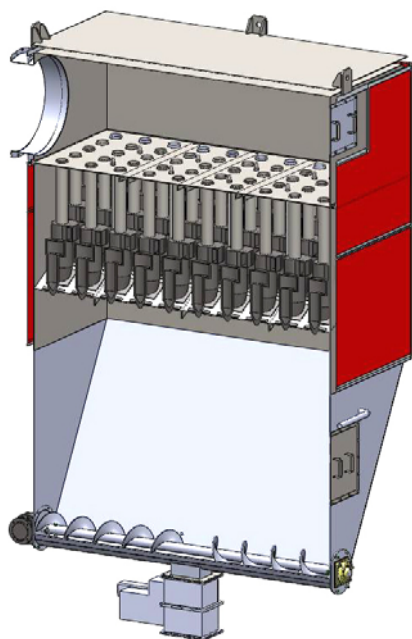
Hydraulický tlakový zdroj

Hydraulický agregát se dvěma samostatnými tlakovými výstupy pracující ve dvou tlakových režimech. Na tyto výstupy navazují dvě samostatně řízené tlakové větve ovládající pomocí hydraulických bloků dvě dvojice přímočarých hydromotorů (hydraulických válců).

9. Odvod a čištění spalin

Odvod spalin

Odvod spalin z kotle bude proveden kouřovody. K dopravě vzdušiny a překonání aerodynamických odporů bude použit spalinový ventilátor. Výkon spalinového ventilátoru bude řízen změnou otáček. Spaliny budou vyústěny do nově instalovaného ocelového komína výšky cca. 65 m. Přesnou výšku nového komína určí rozptylová studie.



Zvažovaná varianta společného odvodu spalin z nového kotle s kotli stávajícími je z mého pohledu nerealizovatelná. Odvod spalin nelze spojit do jediného komína. Spojení do jediného komínu bezpečnostní opatření leg.předpisů vylučují - např. podle ČSN 07 0703 se jedná o rozdílné tahové poměry kotlů, plynové kotle jsou vybaveny přetlakovým spalováním, kotel na biomasu má spalování podtlakové.

Nevýhoda ocelového komína spočívá ve zvýšené hlučnosti, která je v místě stavby problematická. Zabezpečení opatření proti hluku je uvedeno k kap. 6.2. Výhodou jsou nižší investiční nároky na výstavbu.

Obr. 4: Řez elektrostatickým odlučovačem

Čištění spalin

Čištění spalin bude dvoustupňové. Pro první stupeň čištění bude použit suchý mechanický odlučovač (multicyklon) pro odstranění tuhých zbytků ze spalování s frakční odlučivostí $\sim 2 \div 40 \mu\text{m}$. Nevýhodou cyklonů je nízká odlučivost pro jemné částice a nižší životnost při odlučování abrazivních prachů, proto bude nutné instalovat další zařízení pro čištění spalin – elektrostatický odlučovač. Elektrostatický odlučovač (ESP) se vyznačuje vysokou frakční odlučivostí ($\sim 1 \mu\text{m}$) Variantní zařazení tkaninového filtru nedoporučuji z důvodu nebezpečí zahoření.

10. Popelové hospodářství

Produkované popeloviny lze rozdělit na hrubou frakci (písek, škváru, kamení) a na popílek. Součástí kotlů je automatické odpopelování do výsypky popele napojené na šnekový dopravník do popelového zásobníku. Vyprazdňování cyklónového odlučovače bude do popelové svodky, která pomocí šnekového dopravníku dopraví popílek do zásobníku.

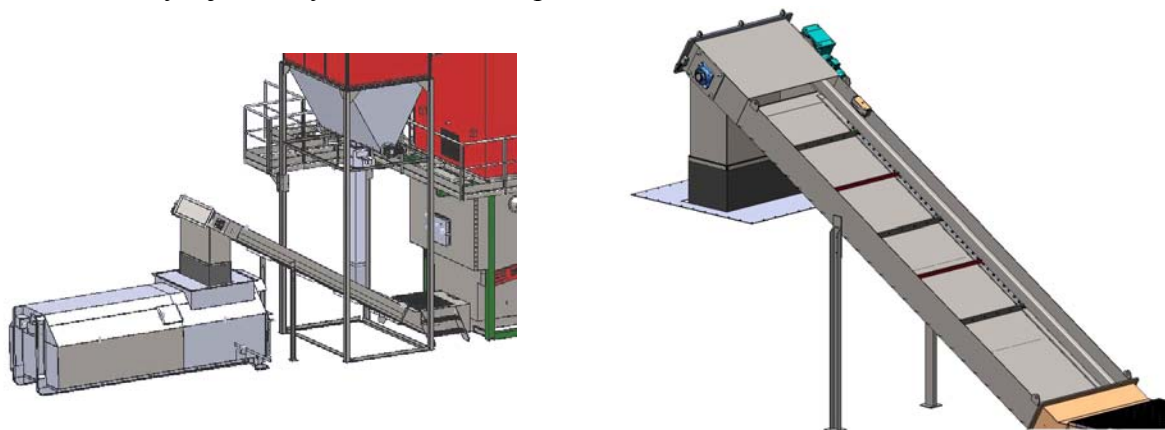
Maximální tvorba odpadních produktů:

Popel (roštový)	152 kg/hod	1000 t/rok
Popílek (úletový)	29 kg/hod	190 t/rok

Předpokládaná četnost odvozu popele:

Při maximálním výkonu obou kotlů bude max. týdenní tvorba popele $23 \text{ m}^3/\text{týden}$. Předpokládá se odvoz popele 2x týdně.

Dle Katalogu odpadů se jedná o odpad ostatní, katalogové číslo 10 01 03. Popílek ze spalování rašeliny a neošetřeného dřeva. Popel a popílek budou ukládány na skládku, pokud nebudou využity jako žádané hnojivo. Likvidaci popelovin zajišťuje provozovatel smluvně s firmou zabývající se využitím těchto odpadů.



Obr. 5: Izometrický pohled na výsypku popele

11. Ochrana ovzduší

Na základ požadavků státních orgánů ochrany životního prostředí musí být před vlastní realizací vypracována rozptylová studie a odborný posudek. Tyto dokumenty upřesní další podmínky technického řešení projektu. Emise znečišťujících látek podle metodiky uvedené v NV č.352/2002 Sb. a očekávané na zařízení nového energetického zdroje

Nový energetický zdroj o jmenovitém tepelném výkonu 8MW je dle zákona o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb. velkým spalovacím stacionárním zdrojem znečišťování ovzduší. Spaliny z nového zdroje budou odváděny samostatným novým komínem o výšce cca. 65 m. Přesnou výšku komína určí rozptylová studie.

Pro tyto zdroje na spalování biomasy jsou nařízením vlády č. 146/2007 Sb. příloha č. 4 stanoveny emisní limity:

Škodlivina	limit NV č. 146/2007Sb.	limit zpřísněný pro dodavatele
Tuhé znečišťující látky (mg/m ³)	250	150
Oxid siřičitý SO ₂ (mg/m ³)	2500	200
Oxid dusíku NO _x (mg/m ³)	650	500
Oxid uhelnatý CO (mg/m ³)	650	400
Organické látky ΣC (mg/m ³)	50	50

Tab. 2: Emisní limity dle NV 146/2007 Sb. pro velké stacionární zdroje

Hodnoty jsou uváděny pro **11% O₂** v suchých spalinách a při normálních (N) hodnotách tlaku a teploty. Limit zpřísněný pro dodavatele vychází z hodnot optimálně nejlépe dosažitelných, poskytnutých renomovaným dodavatelem jako nejnižší obvykle možné.

Posouzení ochrany ovzduší je možné provést z hlediska zákonů

- č. 86/2002 Sb. O ochraně ovzduší a související,
- Nařízení vlády č. 146/2007 Sb.,
- č. 101/2001 Sb. O posouzení vlivu na Životní prostředí,
- Integrované prevenci.

Podle zákona o ovzduší se jedná o stavbu nového zdroje znečištění o jmenovitém výkonu 8 MWt na biomasu. Podle zařazení do kategorií se tedy jedná o velký zdroj znečištění, pro nějž platí hodnoty zde uvedené.

12. Ochrana proti hluku

Hodnoty ekvivalentní hladiny hluku ve venkovním prostředí 2m od fasády chráněných staveb LA_{eq,T} jsou dány na základě vládního nařízení č. 502/2000Sb. v době

od 6-ti do 22-ti hod.50 dB

od 22-ti do 6-ti hod.40 dB

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina hluku LA_{eq} 8h pro osmihodinovou pracovní dobu ve vnitřním prostoru je 85 dB.

Základní hladina hluku LA_Z = 50dB(A),

Nejvyšší přípustná hladina hluku pro denní dobu LA_{eqp} = 50dB, noční LA_{eqp} = 40dB

Stavba bude zdrojem hluku. Je velmi pravděpodobné, že budou výše uvedené povolené limity akustického tlaku překročeny, proto je nutné uvažovat o vhodných opatřeních pro snížení hladiny hluku a zamezení šíření hluku do okolí – především do městské zástavby. Kotelna a strojovna turbogenerátoru má z hlediska šíření hluku nevýhodu v přílehlosti k chráněným budovám a lokalitám. Je předpoklad, že hladina hluku u těchto budov nebude dostatečně utlumená překážkami a rozptylem a vzdáleností průmyslové oblasti pod uvedené limity.

Zdroje hluku (hladiny akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m od zdroje):

• Kotlové těleso	85 dB(A)
• Protitlaká turbína, redukční stanice páry	85 dB(A)
• Spalinový ventilátor	90 dB(A)
• Doprava vlečkou – lokomotiva typ 742, motor K 243 DB	75 dB(A)
• Doprava kamiony – při 1400 rpm-1 (40 km/h)	78 dB(A)

Navržená opatření ke snížení hluku

Pro dodržení výše uvedených limitů předpokládáme nutnost instalovat tlumení hluku na spalinový ventilátor, kouřovody, redukční stanici páry a případně i na motory. Konkrétní způsoby tlumení hluku jednotlivých zařízení budou stanoveny v dalších stupních projektu na základě konkrétního výběru jednotlivých výrobců.

Celá provozní budova bude vyrobena z robustnější konstrukce, která bude hlukově izolována. Zamezení šíření hluku do okolí je možné např. výstavbou protihlukových stěn podél nového kogeneračního bloku, nebo vhodnou orientací šíření hluku ze zdrojů směrem od občanské zástavby. Stavba bude navržena tak, aby byly zajištěny normativní požadavky na průřezovost stavebních konstrukcí mezi místnostmi v budově a normativní požadavky na neprůřezovost obvodového pláště a jeho částí. Budou dodrženy veškeré městské vyhlášky upravující šíření hluku. Těžké konstrukce, jako jsou obvodové a vnitřní stěny, budou navrženy z pálených tvarovek umožňující vyšší absorpci hluku. Lehké obvodové pláště budou obsahovat minerální výplň a vzhledem k jejich nedostatečné neprůřezovosti budou doplněny předsazenými akustickými stěnami. Stropní konstrukce budou doplněny dle potřeby zavěšenými podhledy s minerální izolací.

13. Ukládání tuhých odpadů

- Odpady z provozu zařízení (odvoz zajišťuje externí firma)

10 01 01	- popel, struska, škvára ze spalovacích zařízení
10 01 03	- popílek za spalování biomasy
- hlavní skupina odpadů ze stavby tvoří odpady ukládané na skládky

17 07 01	- směsný stavební a demoliční odpad bude likvidován uložením do kontejneru nebo na určenou skládku
17 01 07	- stavební suť - uložení na skládce
17 05 04	- vytěžená zemina - uložení na skládce zemin

Likvidace uvedených odpadů je možná pouze v prostorech (objektech) a zařízeních k tomuto účelu určených - uložením na stanovené povolené skládky a plochy stanovené investorem.

- V malých množstvích se budou provádět dodavatelskou organizací likvidace odpadů:
 - 15 01 01 – sběrový papír – z obalového materiálu
 - 17 02 03 – plasty - z obalového materiálu, PE potrubí
 - 17 04 05 – železo
 - 17 04 05 – odpady kabelů
- Odpady likvidované oprávněnou firmou resp. spalovnou
 - 08 01 01 zbytky barev budou v minimálních množstvích

Nakládání s odpady musí být prováděno v souladu s platnou legislativou, zejména:

- Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech
- Vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb. kterou se stanoví Katalog odpadů
- Vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady
- Vyhláška MŽP č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů

Nepředpokládá se vznik nebezpečných odpadů v průběhu výstavby.

Odvoz odpadů z provozu (popílek, škvára) bude zajištěn specializovanou externí firmou.

14. Propočet investičních nákladů a návratnosti stavby

Vyvolané investiční náklady na výstavbu nového zdroje

Provozní soubory:

PS01	Technologie palivového hospodářství	7 700 000	Kč
PS02	Parní středotlaká kotelna	46 000 000	Kč
PS03	Strojovna kotelny	3 750 000	Kč
PS04	Elektro, MaR, vyvedení výkonu	11 700 000	Kč
PS05	Rychloběžná protitlaká turbína	10 700 000	Kč
PS06	Kompletující zařízení	1 200 000	Kč
PS07	Odvod a čištění spalin	27 600 000	Kč

Stavební objekty:

SO01	Palivové hospodářství - krytý sklad paliva	16 000 000	Kč
SO02	Objekt parní kotelna	10 300 000	Kč
SO03	Objekt strojovna	2 560 000	Kč
SO04	Venkovní vychl. jímka a vnitřní kanalizace	230 000	Kč
SO05	Základ pro komín, čištění spalin	360 000	Kč
SO06	Protihlukový kryt kouřového ventilátoru	460 000	Kč
SO07	Komunikace a zpevněné plochy	1 360 000	Kč

Ostatní náklady vyvolané stavbou:

Dokumentace DUR, DSP a RPD, VRN, ZS, rezerva, záruky	6 000 000	Kč
--	-----------	----

STAVBA CELKEM **146 000 000 Kč**

Cena za výše uvedené provozní soubory obsahuje zejména:

PS 01 – Zařízení palivového hospodářství

- Doprava paliva – posuvná podlaha
- Kompletní jeřábové zařízení pro logistické operace zásobování palivem
- Hrabicový dopravník do kotelny
- Dopravníky paliva hrabicové včetně svodek
- Podávání paliva do kotle
- Hlídání a regulace vrstvy v mezizásobníku a na roštu
- Mezizásobník paliva s ovládací klapkou a ovládací hydraulika

PS 02 – Parní kotelna

- Parní středotlaký kotel v plášti kompletně zaizolovaný
- Ekonomizér kotle s kompletní hrubou a jemnou výzbrojí
- Automatické pneumatické čištění zařízení
- Kotlový spalínovod s vyzdívkou s ocelovou nosnou konstrukcí
- Zařízení pro dodávku spalovacího vzduchu
- Dmychadla spalovacího vzduchu a potrubní rozvody
- Lávky, schody, žebříky pro obsluhu zařízení
- Regulace napájení kotle
- Automatický odkal a odluh kotle
- Uvolňovače odluhu, odkalu a tlakového kondenzátu
- Parní ofukovače k čištění výhřevných ploch

PS 03 – Strojovna kotelny

- Parní potrubí a armatury včetně izolace
- Pomocné konstrukce, závěsy a uložení
- Nové bloky reverzní osmózy v CHÚV
- Nouzový zdroj
- Napájecí čerpadla, kondenzátní čerpadla, pomocná čerpadla
- rozdělovače páry

PS 04 – MaR, elektroinstalace technologických zařízení, vyvedení výkonu

- Blokový olejový transformátor
- Transformátor vlastní spotřeby
- Vyvedení výkonu generátoru

- Rozvodna VN, NN
- Kompenzace účinníku $\cos\varphi$
- Baterie, záložní zdroje
- Kabelové rozvody, kabelové trasy
- Uzemnění, elektrické ochrany
- Venkovní a vnitřní osvětlení
- SKŘ – řídicí systém
- SKŘ – polní instrumentace
- EPS, EZS, telefony

PS 05 – Rychloběžná protitlaká turbína

- Vlastní turbosoustrojí a řídicí systém včetně dokumentace
- Kompletní soubor spojovacího potrubí vč. armatur a přístrojů
- Elektroinstalace turbíny
- Celkový obtok, pomocné redukční stanice
- Odvodňovací systémy
- Protihluková obálka
- Izolace, nátěry, závěsy, uložení

PS 06 – Kompletuující zařízení turbínovny a kotelny

- Hospodářství tlakového vzduchu
- Větrání, vytápění, temperance, klimatizace

PS 07 – Odvod a čištění spalin

- Suchý mechanický odlučovač (cyklon)
- Elektrostatický odlučovač TZL
- Spalinový ventilátor
- Kouřovody včetně tlumiče hluku
- Nový ocelový komín ($h = 65 \text{ m}$)

Cena za výše uvedené stavební soubory obsahuje zejména:

SO 01 – Venkovní palivové hospodářství – sklad paliva

- Železobetonový skelet s cihelným obvodovým zdívem
- Lehký ocelový střešní pás
- Železobetonové patky
- Jeřábová dráha pro mostový jeřáb

SO 02 – Objekt parní kotelna

- Ocelová konstrukce objektu
- Lehký obvodový plášť
- Zesílení zvukové izolace předstěrami

SO 03 – Objekt strojovna

- Zděná konstrukce s cihelných tvarovek
- Železobetonové základy a pasy
- Prefabrikované železobetonové stropní konstrukce

SO 04 – Vychlazovací jímka a venkovní kanalizace

- Železobetonová monolitická konstrukce
- Prefabrikované železobetonové dílce

SO 05 – Základ pro komín, čištění spalin, elektrofiltr

- Železobetonové piloty
- Piloty kotvené do pilotové hlavice
- Železobetonová základová deska s žebry

SO 06 – Přístřešek kouřového ventilátoru včetně protihlukového opatření

- Ocelové konstrukce
- Železobetonové patky a základové patky s žebry

SO 07 – Komunikace a zpevněné plochy

- Vnitrozávodní komunikace dlážděné
- Terénní úpravy

Ostatní náklady vyvolané stavbou

- Zpracování dokumentace pro Územní řízení
- Projekt pro stavební povolení
- Realizační projektová dokumentace
- Vedlejší rozpočtové náklady (VRN)
- Zařízení staveniště (ZS)
- Garanční a záruční fond (rozpuštěno v ceně díla)
- Zádržné
- Rezerva

Odhadované provozní náklady

Provozní náklady se obvykle určují nesnadno nebo bývají opomenuty zcela. Vlastní spotřeba kotelný při jmenovitém výkonu pro základní variantu vychází z instalovaného el. příkonu cca 145 kW, při jmen. výkonu se jedná o odebíranou současnost cca 110 kW.

V běžném roce

- Náklady na provozní náplně a mazadla 190 000 Kč/rok
- Náklady na servis, opravy a údržbu 100 000 Kč/rok
- Jiné provozní náklady (rychle-opotřebitelné části) 200 000 Kč/rok

V případě správného provozování je pouze třeba pravidelně měnit rychle-opotřebitelné díly, není třeba žádných velkých zásahů. Náklady na opravu je těžké odhadnout, záleží na způsobu provozování, jak se provozovatel chová k danému zařízení, ale i na kolísání kvality dodávek paliva. Je to stejný případ jako u jakéhokoli technického zařízení bloků.

Vstupní parametry pro sestavení ekonomického modelu:

Investiční náklady	146 000	tis. Kč
Provozní náklady (náplně, mazadla)	490	tis. Kč/rok
Cena paliva (110 Kč/GJ v tuně)	1 100	Kč/t
Spotřeba paliva	24 400	t/rok
Množství vyrobeného tepla	195	TJ
Spotřebované teplo pro výrobu EE	16,1	TJ
Teplo dodané do sítě	178,9	TJ
Množství EE dodané do sítě	2953	MWh
Výkupní cena EE vyrobené z biomasy	3,27	Kč/kWh
Prodejní cena tepla	280	Kč/GJ
Investice v roce 2010	73 000	tis. Kč
Investice v roce 2011	73 000	tis. Kč
Personální náklady	1 440	tis. Kč
Dotace	20	%
Nominální diskont	6	%
Daň	19	%
Inflace	2	%
Doba hodnocení investice	30	let

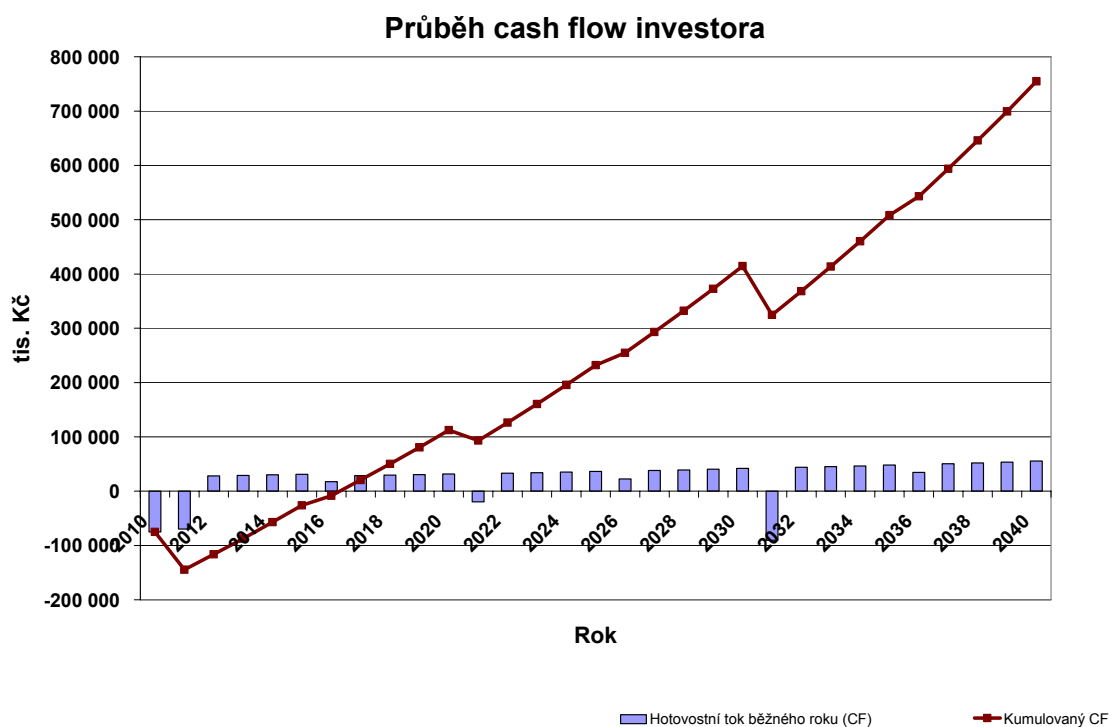
Datum zahájení výstavby je plánováno na březen 2010, zprovoznění na listopad 2011. Investice bude rozložena rovnoměrně do dvou let, kvůli nižšímu jednorázovému zatížení investora. Investice bude hrazena přímo investorem s využitím 20% dotací pomocí programů EU.

Zařazení zařízení do odpisových skupin:

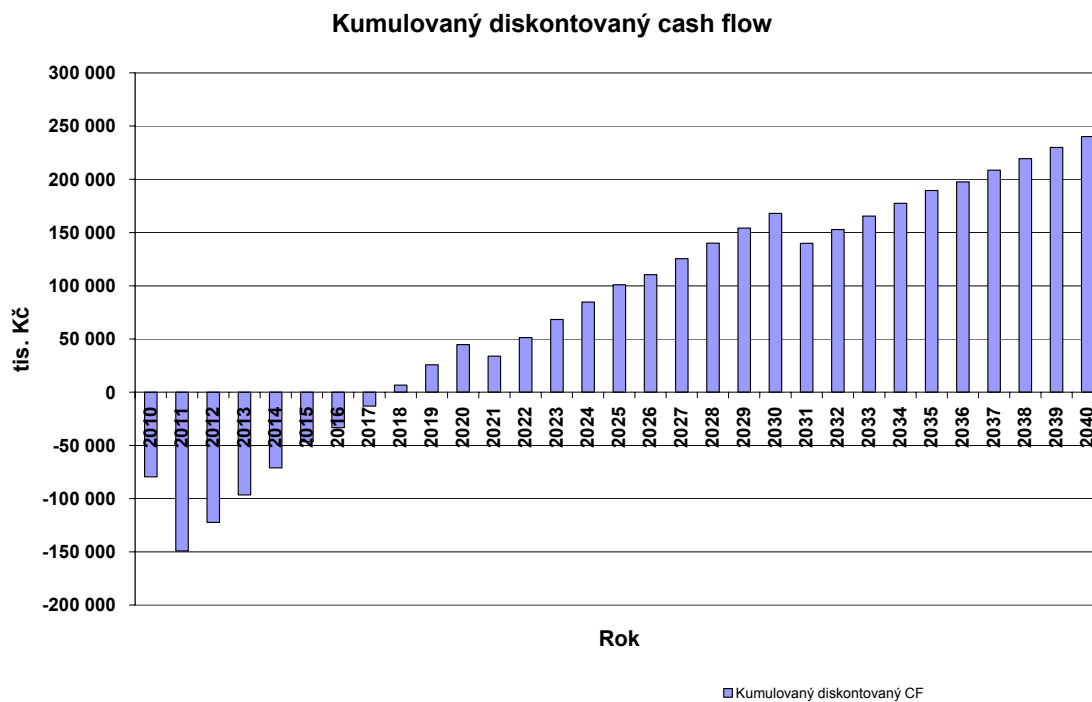
Odepisované zařízení (doba odpisu (rok))	Odpisová skupina	Odepisovaná hodnota
Projektová dokumentace, záruky, garanční fond (3)	1	6 050 000 Kč
Čerpadla, armatury, kompletující zařízení strojovny (5)	2	4 960 000 Kč
MaR, protitlaká turbína, palivové hospodářství (10)	3	30 120 000 Kč
Parní kotelná, odvod a čištění spalín, komín (20)	4	73 650 000 Kč
Kompletní stavební část (30)	5	31 300 000 Kč

Tab. 3: Zařazení zařízení do odpisových skupin

Průběh cash-flow investora:



Tab. 4: Hotovostní tok investora (CF)



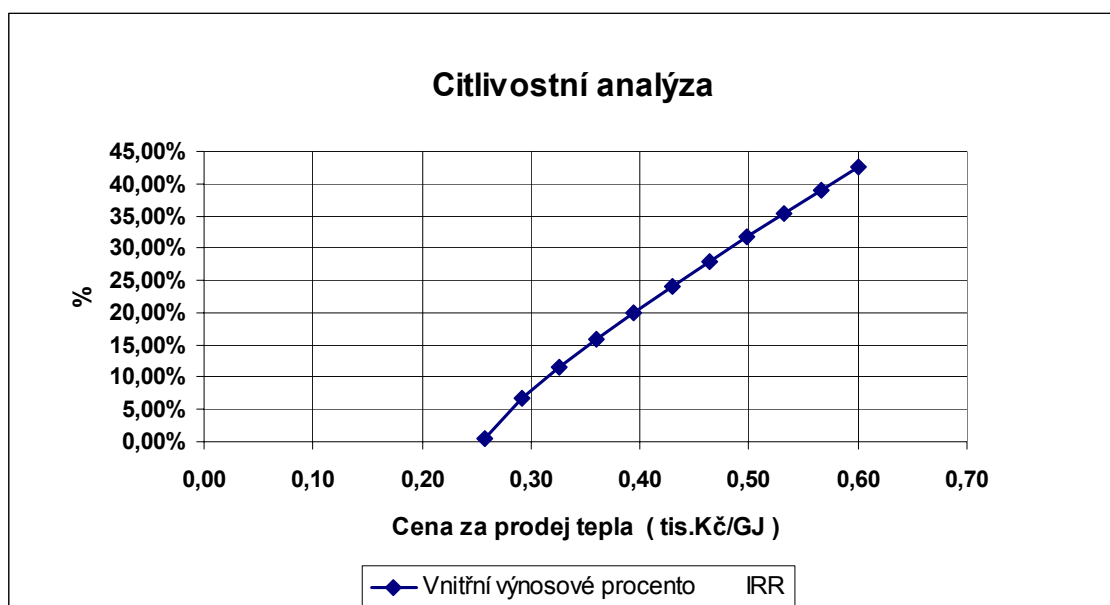
Tab. 5: Kumulovaný diskontovaný CF

Z výše uvedených průběhů cash-flow vyplývá, že tento projekt **JE návratný** a tím způsobilý k investici. Doba návratnosti je v největší míře závislá na nákupní ceně paliva a prodejní ceně tepla. Z ekonomického modelu je dále patrné, že zcela zásadní vliv na návratnost investice má prodejní cena tepla, jelikož se jedná o teplárenský provoz kde je rozhodující prodej tepla odběratelům a výroba EE z OZE pouze ekonomiku vylepšuje.

Hodnotící ukazatele investice:

Čistá současná hodnota (NPV)	192 160 tis. Kč
Vnitřní výnosové procento (IRR)	17,24 %
Doba splácení – prostá (T_s)	7 let
Doba splácená – diskontovaná (T_{sd})	8 let

Zajímavá je závislost vnitřního výnosového procenta na prodejní ceně tepla, kterou přehledně znázorňuje následující graf.



Tab. 6: Závislost vnitřního výnosového procenta na ceně tepla za GJ

Program EFEKT 3.0, ve kterém byly výpočty provedeny umožňuje stanovit minimální prodejní cenu za GJ tepla s ohledem na návratnost investice do 15 let. Takto stanovená cena je 210 Kč/GJ. Pokud by měla být prodejní cena nižší, není tento projekt návratný.

Přesné stanovení návratnosti ovšem vyžaduje hlubší analýzu, proto je zhodnocení pouze orientační a nelze ho v této formě rozpracovanosti považovat za konečné.

15. Závěr

Cílem práce bylo na modelovém příkladu poukázat na základní technologické zařízení nutné k výstavbě zdroje tepla na spalování biomasy nedaleko městské zástavby.

V této práci jsem navrhl zařízení nutné pro výstavbu energetického zdroje na spalování biomasy a vytipoval jsem problematická místa výstavby. Dále byly stanoveny investiční a provozní náklady a stavba byla také zhodnocena z hlediska ochrany ovzduší a ochrany proti hluku.

Problémy v technickém řešení vznikly v zadaných vstupních parametrech admisní páry, které jsou pro netypový kotel nestandardní. Žárotrubné kotle lze efektivně provozovat při stejném tlaku s nižší teplotou, naopak vodotrubné pracují s vyšším tlakem při stejné teplotě.

Zajištění ochrany ovzduší a ochrany proti hluku se jeví jako nejproblematictější v celém projektu, neboť doprava paliva do teplárny je možná pouze po vlečce nebo kamiony. Při dopravě a manipulaci s palivem se zvýší hluk a prašnost v okolí teplárny. V práci jsou navržena opatření vedoucí ke snížení šíření hluku do okolí, nicméně na přesné stanovení je nutno zajistit příslušné odborné posudky. Zásadní je také dopravní vzdálenost paliva od zdroje.

Stanovení investičních nákladů bylo důležité pro sestavení ekonomického modelu, neboť v současné době je návratnost investice tím nejdůležitějším parametrem každé energetické stavby. Ceny jsou čerpány z konkrétních nabídek výrobců, provozní náklady ze zkušeností z obdobných realizovaných projektů. Při investičních nákladech 146 mil. Kč je plánovaná návratnost přibližně 8 let.

Výstavba nového energetického zdroje ve městě bude mít příznivý vliv na vývoj ceny za GJ vyrobeného tepla u koncového zákazníka a povede ke snížení konkurenceschopnosti ostatních dodavatelů tepla ve městě a tak i k omezení plánované decentralizace městských zdrojů.

16. Seznam literatury

- [1] Ibler, Z.: Technický průvodce energetika. Praha, 2002
- [2] Ibler, Z.: Energetika v příkladech. Praha. 2003
- [3] Kadrnožka, J. Ochrana, L.: Teplárenství. 2001
- [4] Pastorek, Z.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie. 2004
- [5] Ochrana, L.: Kotle a výměníky tepla. 2004
- [6] Pavelek, M.: Termomechanika. 2003
- [7] Kadrnožka, J.: Tepelné turbíny a turbokompresory. 2004