



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF ENERGY

REKONSTRUKCE KOTELNY PBS VELKÁ BÍTEŠ
RECONSTRUCTION THE BOILER ROOM PBS VELKA BITES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

NATÁLIE FILOUŠOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MAREK BALÁŠ, PH.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Natálie Filoušová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a životní prostředí (3904R032)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Rekonstrukce kotelny PBS Velká Bíteš

v anglickém jazyce:

Reconstruction the boiler room PBS Velka Bites

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V areálu závodu PBS dosud sloužily 4 parní kotle na hnědé uhlí o celkovém výkonu 11,46 MW. Vlivem současného stavu kotlů a změny požadavků na dodávané teplo se kotelna přebudovává na horkovodní kotle na zemní plyn o celkovém výkonu 8 MW. Zhodnoťte ekonomickou efektivitu plánované rekonstrukce kotelny. Zvažte i variantu náhrady kotlů kogenerační jednotkou se spalovacím motorem.

Cíle bakalářské práce:

- 1/ popis stávajícího stavu
- 2/ popis stavu nové kotelny s kotli na zemní plyn
- 3/ popis stavu nové kotelny s kogenerační jednotkou
- 4/ ekonomické posouzení variant rekonstrukce a zhodnocení

Seznam odborné literatury:

KRBK, Jaroslav, POLESNÝ, Bohumil, FIEDLER, Jan. Strojní zařízení tepelných centrál-Návrh a výpočet, 1999. 1. vydání. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., ISBN 80-214-1334-4.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Baláš, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o celkové rekonstrukci kotelny společnosti První brněnská strojírna Velká Bíteš a zahrnuje ekonomické posouzení výhodnosti této rekonstrukce. Zprvu je shrnut původní zastaralý stav kotelny a ekologická situace při nedostačujícím čištění spalin. Krátký úsek se také věnuje české legislativě v oblasti emisí a emisních limitů. Následně práce rozebírá možné varianty rekonstrukce a také instalaci kogenerační jednotky. Závěr tvoří ekonomické posouzení varianty s plynovými kotli a s plynovými kotli a kogenerací.

KLÍČOVÁ SLOVA

rekonstrukce, kotelna, emisní limity, plynové kotle, kogenerační jednotka, ekonomické posouzení, cash-flow

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with aggregate reconstruction the boiler room PBS Velká Bíteš and includes economic assessment of this reconstruction. The first part completes the earlier and old condition of the boiler room and ecological situation with insufficient cleaning of the combustion products. The short section is about czech legislation in area of emissions and emissions limits. Afterwards are analysed variations of the reconstruction and instalation of cogeneration unit too. Conclusion is comprised by economic evaluation of the variation of natural gas boilers and of natural gas boilers with cogeneration.

KEYWORDS

reconstruction, boiler room, emissions limits, natural gal boilers, cogeneration unit, economic assessment, cash-flow

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FILOUŠOVÁ, Natálie. *Rekonstrukce kotelny PBS Velká Bíteš*:Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Energetický ústav, 2015. 63 s. Vedoucí práce: Ing. Marek Baláš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Rekonstrukce kotelny PBS Velká Bíteš vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
v Brně, dne

.....
Natálie Filoušová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Karlu Vařílkovi za PBS Velká Bíteš za ochotu, vstřícnost a poskytnuté informace a podklady. A také chci poděkovat své rodině za všestrannou podporu během psaní bakalářské práce a studia.

.....
v Brně, dne

.....
Natálie Filoušová

OBSAH

ABSTRAKT	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	7
PROHLÁŠENÍ	9
PODĚKOVÁNÍ	11
OBSAH	13
1 Úvod	15
2 Profil společnosti PBS Velká Bíteš a úvod do problematiky	16
3 Stav kotelny před rekonstrukcí	18
3.1 Čtyři parní kotle SIGMA SLATINA Brno typu S 2500 U	20
3.1.1 Příslušenství	22
3.1.2 Palivové hospodářství	22
3.2 Kotel na zemní plyn BK6 Strojírny Kolín	22
3.3 Emisní limity a nová vyhláška	22
3.3.1 Charakteristiky znečišťujících látek	24
3.3.2 Postup při měření emisí	26
3.3.3 Specifické emisní limity dané vyhláškou 415/2012 Sb.	27
4 Nová kotelna - varianty rekonstrukce a jejich zhodnocení	28
4.1 Nová hnědouhelná kotelna	28
4.2 Decentralizovaná kotelna	29
4.3 Centrální kotelna s plynovými kotli	32
4.4 Plynová kotelna se dvěma kotli o celkovém výkonu 8 MW	37
5 Nová kotelna s kogenerační jednotkou	41
5.1 Obecné pojednání - kogenerační jednotky	41
5.2 Kogenerační jednotky dle průzkumu trhu	41
6 Ekonomické posouzení variant rekonstrukce a zhodnocení	46
7 Závěr	53
Seznam použité literatury	55
Seznam obrázků	58
Seznam tabulek	59
Seznam použitých zkratk a symbolů	60

Vysoké učení technické v Brně
FSI, Energetický ústav
Natálie Filoušová

1 Úvod

V současné době je trend rekonstrukcí kotelen na vzestupu. Jejich účelem je zvýšení efektivity spalování a ušetření provozních nákladů. Jedná se jak o velké celky, tak i o domácnosti. Vede je k tomu jednak možnost šetřit finanční zdroje a jednak potřeba společnosti zajistit do budoucna udržitelné životní prostředí. Tím je myšleno snižování emisí, které jsou tvořeny spalováním paliv. Především spalování hnědého a černého uhlí tvoří velké množství nežádoucích látek.

Projekt rekonstrukce je složitá záležitost, která vyžaduje odborné technické a ekonomické analýzy. Pro každý subjekt, ať už domácnost či korporaci, je důležité zvážit jaký typ rekonstrukce je pro něj výhodný. Z pohledu ekologie je kladen důraz na nízkou produkci znečišťujících látek. V České republice jsou časté právě kotle na pevná paliva, jako je uhlí, vzhledem k našim nerostným zásobám a jeho ceně. V tomto ohledu se zvažuje zařazení čištění spalin nebo přechod na ekologičtější palivo, jako je zemní plyn. Zde jsou kladeny větší nároky z hlediska legislativy právě na korporace. Obecně jsou zařízení na čištění spalin jako odstraňování prachu, odsiřování a redukce oxidů dusíku, nákladná. Na druhé straně velká rekonstrukce a přechod na jiný typ spalování je taktéž složitá záležitost. Pro obě skupiny jsou však neméně důležité tepelné ztráty, které jim nový zdroj ušetří. Izolace na potrubní rozvody, optimální spalování, efektivní výměna tepla mezi spalinami a médiem a v neposlední řadě zateplení objektů a výměna oken pro snížení prostupu tepla. Tohle všechno šetří provozní náklady na vytápění. Tedy ekonomika projektu. Doba návratnosti vložené investice a následné úspory jsou předmětem ekonomických posouzení.

Příkladem je nedávná rekonstrukce brněnské spalovny SAKO Brno z roku 2008. Hlavním cílem této rekonstrukce bylo zefektivnění spalování na vratisuvném roštu typu Martin a zavedení kogenerace. Veškerá očekávání rekonstrukce splnila a nyní se jedná o jednu z nejmodernějších spaloven v Evropě. Z Fondu soudržnosti Evropské unie obdržel projekt dosud nejvyšší dotaci od EU pro Českou republiku ve výši 47,5 milionů eur. Celkové náklady pak činily 92,8 mil. eur. [37]

Ze stejných důvodů se rozhodla pro rekonstrukci své kotelny i firma První brněnská strojírna Velká Bíteš. Přestavba uhelné kotelny na plynovou probíhá od listopadu 2014 a její dokončení je naplánováno na květen 2015. Jelikož se jedná především o ekologizaci kotelny, také tento projekt má obdržet dotaci od Evropské unie, a to ve výši 20 mil. Kč.

2 Profil společnosti PBS Velká Bíteš a úvod do problematiky

První brněnská strojírna Velká Bíteš je společnost zabývající se přesným strojírenstvím. Hlavním pilířem podniku je orientace na turbínové vysokootáčkové stroje pro letecký průmysl, dopravu a energetiku. Její činnost je rozdělena do čtyř divizí. Jedná se o divizi letecké techniky, divizi přesného lití, divizi industry a divizi centrum a galvanovna. Speciální skupinu pak tvoří PBS Enegro jako samostatná společnost pod korporací PBS Group, přičemž PBS Group sestává z PBS Velká Bíteš, PBS Energo a PBS Brno. Další samostatnou jednotkou je PBS Turbo, s.r.o., společnost která se zabývá výrobou plnicích turbodmychadel a krom PBS Velká Bíteš ji tvoří MAN B & W Diesel A. G. Společnost První brněnská strojírna Velká Bíteš vznikla v roce 1950. Nicméně navazuje na tradici firmy První brněnská strojírna, která byla založena v roce 1814. [5]

Jako konkurenceschopný podnik si PBS Velká Bíteš našla zákazníky především v Rusku, Číně, Německu a Švýcarsku. Konkrétněji se orientuje na výrobu a montáž turbínových motorů, pomocných energetických jednotek a klimatizačních systémů do letadel, dodává přesné odlitky turbínových kol pro automobilovou a lodní dopravu. Dále vyrábí přesné odlitky lopatek turbín, turbíny a kotle pro energetiku. Krom těchto odvětví se firma zabývá také výrobou dekantačních odstředivek, které oddělují pevné a suspendované částice z kapaliny. Využití si najdou především v čištění odpadních vod. V neposlední řadě se PBS Velká Bíteš zabývá také přesným obráběním. [1]

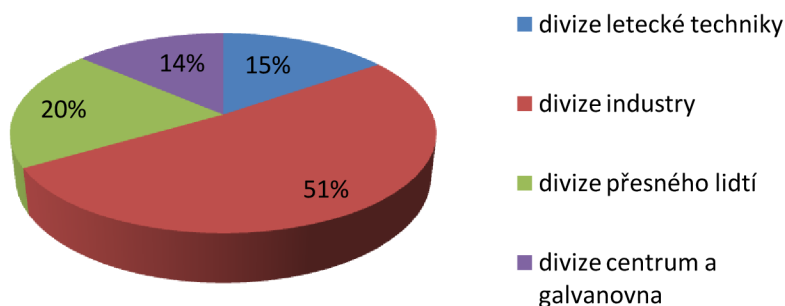


Obrázek 1 Pohled na areál společnosti PBS Velká Bíteš [fotodokumentace PBS VB]

Takto velká společnost vyžaduje své vlastní zázemí. K němu patří také kotelna zajišťující teplo pro všechny divize firmy a externí společnosti. Původní kotelna je v areálu od roku 1986 a je vybavena čtyřmi kotli na hnědé uhlí a jedním kotlem na zemní plyn, jež byl přestavěn z původního mazutového kotle z roku 1979. Tato kotelna byla navržena pro potřeby společnosti právě v roce výstavby, tedy 1986. Od této doby však budovy prošly řadou rekonstrukcí jako například zateplení,

výměna oken apod., proto již stávající kotelna nevyhovuje. Vzhledem k redukovaným tepelným ztrátám je kotelna naddimenzována, a firma zbytečně plýtvá finančními prostředky na její provoz. Kotle jsou již také na pokraji své životnosti a vzhledem ke snižujícím se emisním limitům by v následujících letech nevyhovovaly nové vyhlášce. Proto se otázka vybudování nové kotelny stala velmi aktuální.

Spotřeba tepelné energie v jednotlivých divizích [2]



1

Společnost má nyní několik možností, jak efektivně kotelnu zrekonstruovat. Nejeftivnější z nich je však centrální kotelna s kotli na zemní plyn, anebo dnes velmi výhodná přestavba kotelny s kogenerační jednotkou se spalovacím motorem, přičemž společnost může využít státní dotace na KVET (Kombinovaná výroba elektřiny a tepla). Je potřeba oba návrhy dostatečně zvážit. A to jak z pohledu technického, tak z pohledu ekonomického. Nově vzniklá kotelna také musí brát v úvahu nové přísnější emisní limity, které jsou dány předpisem Evropské unie.

Celá rekonstrukce je velmi náročná záležitost vzhledem k jejímu rozsahu. Kromě úplného přebudování kotelny zahrnuje také přestavbu z parovodů na teplovody, novou úpravnu vody, instalaci nových nádrží na náhradní palivo apod.

Zásadním problémem zůstává, která z variant rekonstrukce je pro firmu nejvýhodnější.

¹ Bilance za rok 2014

3 Stav kotelny před rekonstrukcí

Kotelna zajišťující vytápění pro celý provoz společnosti PBS Velká Bíteš sestávala ze čtyř parních kotlů na hnědé uhlí Sigma Slatina typu S2500 U a jednoho kotle na zemní plyn BK6 Strojírny Kolín. Ten byl přestavěn z původního mazutového kotle. Kotelna byla vybudována v roce 1986 a dosud dodávala potřebnou tepelnou energii pro výrobní divizi letecké techniky, přesného lití, industry a divizi centrum a galvanovna, která má specifické nároky na zásobování teplem. Pro technologii galvanovny je potřeba celoročně dodávat teplou vodu o parametrech 105/95 °C kvůli ohřevu van. Toto bylo zajištěno parními registry a elektrickými topnými registry přímo v budově galvanovny. [6] [13]

Tepelná energie je určena jak pro technologie provozů, tak pro administrativní budovy. Potřebný výkon kotelny byl stanoven z instalovaného výkonu spotřebičů v době výstavby kotelny. Byl tedy zbytečně naddimenzován.

Budova kotelny se nachází v areálu přibližně uprostřed. Jedná se o samostatnou budovu s místností s kotli o rozměrech 26,6 x 10 m s přílehlými odlučovači. Kotelna byla rozdělena na dvě části, část s uhelnými kotli a část se záložním kotlem na zemní plyn. Vedle kotelny stojí společný zděný komín vysoký 76 metrů. [3]



Obrázek 2 Umístění kotelny v areálu PBS VB [4]

Jako teplotonosné médium pro vytápění byla užitá pára. Ta zajišťovala vytápění hal teplotovzdušnými jednotkami (tzv. sahary), vzduchotechniku a celoročně ohřev teplé užitkové vody (TUV), technologií galvanovny a technologií přesného lití.

Po areálu byla pára o tlaku 0,5 MPa a teplotě 160 °C rozváděna parovody a vracela se zpět ve formě kondenzátu.

V objektech jednotlivých divizí se nacházelo celkem 11 předávacích stanic, ve kterých byl tlak páry redukován a ve výměnících typu pára-voda docházelo k ohřevu vody pro administrativní budovy a sociální a provozní části budov (90/70 °C). Dále zde byly výměníky pro ohřev TUV. Vytápění kancelářských prostor bylo zajištěno litinovými článkovými radiátory, konvektory a ocelovými deskovými radiátory. Pro vytápění hal byla pára vedena do výměníků pro vzduchotechniku a dále byla rozváděna do prostor výroby pomocí nástěnných vytápěcích jednotek a trubkových otopných těles. Ty byly tvořeny parními registry z hladkých nebo žebrovaných trubek. [7]

Parní rozvody tvořilo středotlaké ocelové izolované potrubí, které taktéž zajišťovalo odvod kondenzátu. Bylo vedeno v zemi i nad zemí, celková délka činila 1926 m. Vlivem postupného zateplování nebyla tloušťka izolace konstantní a v zimním období vznikala ztráta tepelné energie až 1 MW. [3] [4]



Obrázek 3 Situování objektů v areálu PBS VB a umístění kotelny v areálu se znázorněnými rozvody [výkresová dokumentace PBS VB]

Součástí původní kotelny byly navazující technologie jako úpravna vody, kondenzační nádrž a napájecí nádrž s odplyňovákem. Byly instalovány společně s původní kotelnou. Nebyly v dobrém technickém stavu, ten odpovídal době jejich provozu. [5]

3.1 Čtyři parní kotle SIGMA SLATINA Brno typu S 2500 U

Hlavní tepelný výkon byl dodáván čtyřmi středotlakými parními kotli spalujícími hnědé uhlí. Produkovaly 90 % tepelné výroby pro areál. Kotle byly vyrobeny v roce 1986 firmou Sigma Slatina Brno, dnes zvanou Roučka Slatina Brno. Jednalo se o vodotrubné kotle o celkovém tepelném výkonu 11,64 MW (18 t/h). [4]

Parametry:

Výkon kotle	2910 kW
Tlak generované páry	0,95 MPa
Teplota generované páry	192,45°C
Teoretická účinnost spalování	0,87
Maximální vodní objem kotle	4,6 m ³
Rošt	posuvný, pásový
Teplota napájecí vody	105 °C
Průměr účinností kotlů	75,65 %
Celková účinnost výroby tepla	68,65 %
Průměrný roční provoz	1 861 hodin

Kotel	reálná účinnost
K1	75,5 %
K2	76,5 %
K3	73,6 %
K4	77,0 %

Jak již bylo uvedeno, tyto kotle byly naddimenzovány a dávaly zbytečný tepelný výkon. V době, kdy byla kotelna realizována, se nepředpokládala úspora tepla dána redukcí prostupu tepla zdí a úniku skrz netěsnící okenní výplně. Zbytečný tepelný výkon vychází především z pozdějších úprav a zateplování objektů v areálu. Došlo k výměně oken, zateplení střech, opravám světlíků. Dále byl zredukován počet zaměstnanců, snížily se tedy nároky na množství teplé vody. Byly instalovány úsporné baterie a sprchy. Tato opatření měla za následek významně nižší provozní náklady. Následující porovnání ukazují významné snížení tepelných výkonů jednotlivých vytápěcích jednotek. [13]

Výkony spotřebičů před zateplením: [4]

- parní vytápění (tělesa, registry, sahary)	5 756 kW
- parní vzduchotechnické jednotky	1 109 kW
- teplovodní vytápění (topná tělesa, teplovodní vzduchotechnika)	2 000 kW
- ohřev teplé vody	639 kW
- technologické ohřevy a kontaktní spotřeba	374 kW
Instalovaný tepelný výkon spotřebičů v objektech	10 348 kW

Výkony spotřebičů po zateplení: [4]

- parní vytápění (tělesa, registry, sahy)	3 453 kW
- parní vzduchotechnické jednotky	887 kW
- teplovodní vytápění (topná tělesa, teplovodní vzduchotechnika)	1 200 kW
- ohřev teplé vody	447 kW
- <u>technologické ohřevy a kontaktní spotřeba</u>	<u>374 kW</u>
Redukovaný tepelný výkon spotřebičů v objektech	6 361 kW



Obrázek 4 Fotodokumentace původní kotelny s příslušenstvím [4]

Celoročně byl z kotelny odebírán konstantní tepelný výkon $1,6 \div 1,9$ MW na ohřev TUV a na pokrytí technologií, což zaujímá zhruba 300 kW. Maximální tepelný výkon v zimním období dosahuje 6,87 MW, z něhož na vytápění připadá 5,27 MW. Zbytek je užít na ohřev TUV a na technologický ohřev. [4]

3.1.1 Příslušenství

Vzhledem k nečistotám, které vznikají spalováním hnědého uhlí, musí být součástí kotelny zařízení na snižování emisí. To bylo tvořeno čtyřmi mechanickými odlučovači pevných částic s tangenciálními vstupy typu SVA 16.000.2 instalovanými spolu s kotlí v roce 1986. V roce 1996 proběhla jejich úprava, aby byly schopné plnit současné emisní limity tuhých znečišťujících látek. V kotelně nebylo instalováno žádné jiné zařízení na snížení ostatních emisních látek, jako je oxid siřičitý, oxidy dusíku nebo oxid uhelnatý. Jejich emise byly regulovány pouze optimalizací spalovacího procesu a to nastavením správného poměru paliva a přebytku vzduchu. [4]

Za odlučovači pokračovaly čtyři spalinové ventilátory typu RVZ 1000 taktéž instalovány s kotelnou v roce 1986. Rekonstrukce proběhly v letech 1995 a 1996, a proto byly v dobrém stavu. Vyčištěné spaliny byly poté vedeny kouřovody do společného komína. [4]

3.1.2 Palivové hospodářství

Ke spalování bylo používáno tříděné hnědé uhlí typu ořech II, jemuž odpovídá zrnitost $10 \div 25$ mm, o výhřevnosti 17,6 MJ/kg. Jeho průměrná roční spotřeba se pohybovala kolem 4 000 tun. Ke kotelně přiléhá ze severní strany nekrytá skládka paliva o kapacitě 900 tun. Uhlí bylo do kotlů dopravováno automaticky zauhlovacím dopravníkem vyrobeným v roce 1986. V roce 1995 proběhla jeho oprava. Dále se uhlí suší a odhořívá na posuvném pásovém roštu. [4]

3.2 Kotel na zemní plyn BK6 Strojírny Kolín

Vedle kotlů na hnědé uhlí byl v kotelně záložní plynový zdroj. Tento původní mazutový kotel z roku 1979 byl v roce 1996 přestavěn na kotel na zemní plyn. Byl zde instalován nový přetlakový plynový hořák. Celkový tepelný výkon kotle činil 4950 kW. Spalován byl zemní plyn o výhřevnosti 34,05 MJ/m³. Jeho průměrná roční spotřeba byla 272 724 m³. [4]

Parametry:

Tlak generované páry	0,85 MPa
Teplota generované páry	192,45°C
Teoretická účinnost spalování	0,91
Hořák	M 5001 Dreizler
Účinnost kotle	91,9 %

3.3 Emisní limity a nová vyhláška

Největším problémem původní kotelny byla její neschopnost dodržet nové emisní limity, které vejdou v platnost v roce 2018. Kotle staré více než 25 let jsou sice plně funkční, taktéž i odlučovače, nicméně jejich emise by byly do budoucna nevyhovující. Podle vyhlášky Ministerstva životního prostředí 415/2012 Sb. k zákonu o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. by stávající kotle ve většině případů

převyšovaly dovolené limity tuhých znečišťujících látek (TZL), oxidu siřičitého i oxidů dusíku, tzv. NO_x. Vzhledem k této vyhlášce k 1. 1. 2018 je nutné provést změny a rozhodnout, jaké řešení bude pro firmu nejpříjatelnější.

Celkový tepelný příkon [MW] ²	SO ₂	NO _x	CO	TZL
	[mg/m _N ³]	[mg/m _N ³]	[mg/m _N ³]	[mg/m _N ³]
Limity dané Novou vyhláškou (platnost od 1.1.2018)				
5-50	1000	400	300	30
Naměřená data				
měření za rok 2011				
K1	1954	460	85	131,9
K2	1936	269	194	120,4
K3	1969	541	51	133,8
K4	1794	409	120	126,2

Tabulka 1 Naměřené emisní látky na HU kotlích za rok 2011 [4]

Z naměřených hodnot vyplývá, že emise oxidu siřičitého jsou překročeny významně, přičemž jejich koncentrace je u kotlů K1, K2 a K3 téměř dvojnásobná. Také emise TZL jsou zcela neuspokojivé a neslučují se s novou vyhláškou. Tyto látky jsou obzvláště nebezpečné pro živé organismy. Jelikož jde o částice menší než 10 μm, proniknou skrze buněčnou stěnu a usazují se v tělech živočichů. Protože se většinou jedná o toxické látky navázané na těchto částicích, jejich hromadění je nežádoucí. Tělo tyto drobné částičky nedokáže samo vyloučit. Jejich kontrola je tudíž na místě a zprísnění limitů má přispět ke zdravějšímu prostředí.

Jediný uspokojivý činitel jsou emise oxidu uhelnatého. To by však pro zachování původní kotelny zcela nestačilo.

Přesto, že dosud kotle plnily emisní limity, jsou zákonem stanoveny sazby za jednu tunu určitých emisí ročně. Sazby jsou stanoveny za produkci SO₂, NO_x, CO a TZL. Kotle jsou původci také těkavých organických látek, tzv. VOC (volatile organic compound) jejichž produkce činí 5,5 tun ročně. Nicméně za tyto polutanty není žádná sazba státem stanovena.

polutant	emise (dohromady za K1, K2, K3, K4)	sazba	poplatek (zaokrouhleno)
	t/rok	Kč/t	Kč
TZL	3,8	3000	11400
SO ₂	61,7	1000	61700
NO _x	13,2	800	10600
CO	2,8	600	1700
VOC	5,5	-	0
Celkem			85400

Tabulka 2 Sazby za produkci jednotlivých polutantů za rok 2012 [4]

² Typ spalovacího stacionárního zdroje daný vyhláškou č. 415/2012

Za rok 2012 tedy společnost PBS Velká Bíteš zaplatila za provoz svých čtyř uhelných kotlů více než 85 tisíc korun. Tyto sazby se samozřejmě také týkají provozu záložního plynového kotle na zemní plyn. Ten produkuje ve významnějším množství pouze emise NO_x. Ostatní položky jsou zanedbatelné. V roce 2012 činilo znečištění NO_x 0,128 tun.

Sazba plynoucí z tohoto množství byla pouze 100 Kč. Z tohoto pohledu můžeme poznamenat, že spalování zemního plynu je z hlediska emisí a následných sankcí výhodnější. [4]

3.3.1 Charakteristiky znečišťujících látek

Oxid siřičitý SO₂

Jedná se o anorganickou sloučeninu síry a kyslíku vznikající podle **Rovnice 1** při spalování.

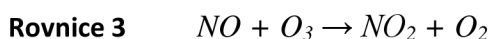


Největší riziko představuje, dojde-li k jeho reakci s další molekulou kyslíky. Takto vzniká oxid sírový, který při kontaktu s molekulou vody snadno vytvoří kyselinu sírovou ($SO_2 + 1/2O_2 \rightarrow SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$). K tomu může dojít uvnitř vodních kapiček rozptýlených v ovzduší nebo přímo ve spalinovodu při nízkoteplotní korozi. Při ní vodní pára obsažená ve spalinách kondenzuje a s přítomným oxidem sírovým vytvoří onu kyselinu sírovou. Po vypuštění do ovzduší způsobuje obrovské škody na vegetaci při tzv. kyselých deštích. Nicméně i samotný oxid siřičitý dráždí dýchací cesty a je toxický. Krom kyselých dešťů způsobuje také smog londýnského typu, který tvoří kyselé ovzduší.

Oxid siřičitý je bezbarvý plyn těžší než vzduch. Při jeho výskytu se tedy drží při povrchu země, což je pro nás negativní. Štiplavě zapáchá a snadno se rozpouští ve vodě. Hlavním opatřením proti jeho šíření je čištění spalin. [8]

Oxidy dusíku NO_x

Jako oxidy dusíku se označuje směs plynů, jejichž většinové zastoupení tvoří oxid dusnatý NO (89 %), oxid dusičitý NO₂ (10 %), oxid dusný N₂O a další, jejichž zastoupení je minoritní. Přestože oxid dusnatý NO představuje největší podíl, v atmosféře obsahující kyslík či ozon oxiduje na oxid dusičitý NO₂.



Oxid dusičitý podobně jako oxid sírový při reakci s vodou vytváří slabou kyselinu. Kyselina dusičná HNO₃ se pak také podílí na tvorbě kyselých dešťů. Obecně oxidy dusíky narušují ozonovou vrstvu a jako tříatomové molekuly přispívají k antropogennímu skleníkovému efektu (krom oxidu dusnatého NO, což je

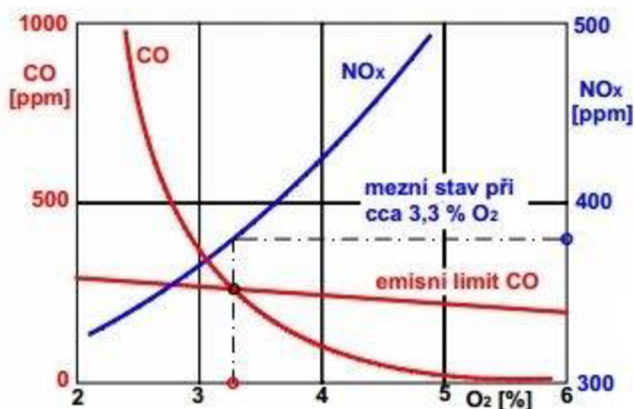
průteplivý³ dvouatomový plyn). Nejvýznamnější z hlediska dopadu na lidské zdravé je oxid dusičitý. Je to červenohnědý dráždivý plyn, prudce toxický. Při vdechnutí je štiplavý. Způsobuje dýchací problémy, pálení očí a sliznic a dušnost. Při vysokých koncentracích může být i smrtelný. Krom energetiky nese vysoký podíl tvorby oxidů dusíku doprava. Jako protiopatření se používají filtry. [8] [5]

Oxid uhelnatý CO

Tento oxid uhlíku vzniká nedokonalým spalováním paliva za přítomnosti nízkého množství kyslíku.

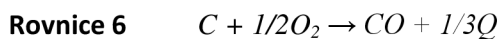
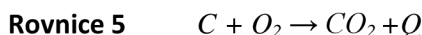


Proto je potřeba spalovat s optimálním množstvím přebytku vzduchu. Čím vyšší je však přebytek vzduchu, tím intenzivněji vznikají ostatní nechtěné oxidy síry a dusíku. Je proto třeba stanovit ono optimum, při kterém budou emise těchto látek nej přijatelnější.



Obrázek 5 Tvorba CO a NO_x v závislosti na množství kyslíku [9]

Z energetického hlediska je nežádoucí, jelikož se při jeho vzniku při spalování uhlíku uvolní pouze třetina chtěného tepla, než při vzniku oxidu uhličitého. Ten vzniká dokonalým spalováním.



Důsledkem jsou pak tepelné ztráty.

Jedná se o toxický bezbarvý plyn. Nevyznačuje se žádnou chutí ani zápachem, stává se tudíž hůř rozpoznatelný a tak jeho toxicita představuje větší riziko.

Má vyšší afinitu na krevní barvivo hemoglobin než kyslík. Ten se pak nedostává k buňkám a člověk umírá udušením. Proto je oxid uhelnatý nebezpečný hlavně v malých uzavřených prostorách s omezeným větráním. Smrt udušením nastává při koncentraci 250 mg/m³ vzduchu. Otrava se projevuje především závratěmi, nevolností, ospalostí, křečemi až bezvědomím. Vzhledem k jeho nízké produkci z větších spalovacích zařízení, kde je nastaveno optimální množství spalovacího

³ Nezadržuje tepelné záření

vzduchu, jím však není dle Světové zdravotnické organizace WHO člověk ohrožen. Hlavním opatřením proti jeho vzniku je spalování s optimálním přebytkem vzduchu a jeho optimální zavádění do spalovací komory. [10] [8] [5]

3.3.2 Postup při měření emisí

Měřením emisí se zjišťuje úroveň znečišťování ovzduší daným zdrojem. Tuto problematiku upravuje zákon č. 201/2012 Sb. spolu s vyhláškou č.415/2012 Sb., která stanovuje emisní limity. Dle naší legislativy je měření emisí popsáno v několika bodech.

1. Provozovatel zdroje o celkovém tepelném příkonu větším než 50 MW zajišťuje kontinuální měření emisí. Správnost tohoto měření ověří autorizovaná osoba, kterou si zajistí provozovatel. Provozovatel dále provádí také jednorázové měření emisí. Tuto skutečnost musí provozovatel oznámit České inspekci životního prostředí předem.
2. Česká inspekce životního prostředí provádí měření emisí za účelem ověření plnění emisních limitů. Výsledek zasílá na krajský úřad. Správnost výsledku není potřeba ověřovat.
3. Měření se provádí v místě, kde již nedochází ke změně složení spalin nebo v místě, kde je přesně stanoven referenční obsah kyslíku.
4. V případě, že dostupné technické prostředky neumožňují zjistit emise měřením nebo se jedná o záložní energetický zdroj, můžou se stanovit výpočtem. V takovém případě na žádost provozovatele rozhoduje krajský úřad.

Jednorázové měření

- Provádí se po prvním uvedení stacionárního zdroje do provozu.
- Provádí se po jakémkoliv zásahu do konstrukce nebo vybavení stacionárního zdroje.
- Provádí se buď jednou za kalendářní rok, dvakrát za kalendářní rok nebo jednou za tři kalendářní roky v závislosti na typu stacionárního zdroje a na produkci určitých znečišťujících látek stanovených v druhé části vyhlášky č. 415/2012 Sb.
- V rámci jednorázového měření se požaduje odběr jednotlivých vzorků a jejich vyhodnocení. Opět v závislosti na typu stacionárního zdroje a produkci určitých znečišťujících látek se provádí přesně stanovený počet odběrů daných vyhláškou č. 415/2012 Sb. Ty mohou být provedeny buď manuálními metodami, nebo přístroji pro kontinuální měření emisí.
- Emisní limit je splněn, je-li průměr z jednotlivých hodnot koncentrací menší nebo roven tomuto limitu. Přitom každá z jednotlivých koncentrací nesmí přesáhnout 120 % emisního limitu.

Kontinuální měření

- Měřené hodnoty znečišťujících látek se při kontinuálním měření udávají v hmotnostních koncentracích.
- Denní výsledky kontinuálního měření se uchovávají a jsou z nich stanoveny souhrnné výsledky za každý kalendářní rok.
- Vyhodnocení zdali je emisní limit splněn, je stanoveno podle typů stacionárních zdrojů a přesně popsáno ve vyhlášce 415/2012 Sb. Určují se průměrné hodnoty v daných časových intervalech, které určitým procentem nesmí přesáhnout daný emisní limit. [11] [12]

3.3.3 Specifické emisní limity dané vyhláškou 415/2012 Sb.

Specifické emisní limity se vztahují ke spalovacím stacionárním zdrojům o celkovém tepelném příkonu vyšším než 5 MW a nižším než 50 MW. Do této kategorie spadají právě stávající kotle Sigma Slatina Brno typu S 2500 U. Limity jsou vztaženy na normální podmínky 101,325 kPa a 273,15 K a na suchý plyn při referenčním obsahu kyslíku ve spalinách 6 %. [11]

Druh paliva	Specifické emisní limity [mg/m ³]			
	5 - 50 MW			
	SO ₂	NO _x	TZL	CO
Pevné palivo obecně	2500	650	150	400
	1500 ⁴	500 ⁴	100 ⁴	300 ⁴
		1100 ⁵	250 ⁶	650 ⁶
Kapalné palivo	1700	450	100	175
Plynné palivo a zkapalněný plyn	900 ⁷	200 300 ⁸	50 ⁷	100

Tabulka 3 Specifické emisní limity platné do 31. prosince 2017 [11]

Z **Tabulky 1** a z **Tabulky 3** je patrné, že kotle dosud platné emisní limity splňují.

⁴ Pro spalovací stacionární zdroje s fluidním ložem

⁵ Pro spalování pevných paliv ve výtavném ohništi

⁶ Pro spalování biomasy ve stacionárních zdrojích

⁷ Pro spalování paliv mimo veřejné distribuční sítě

⁸ Pro spalování propan-butanu

4 Nová kotelna - varianty rekonstrukce a jejich zhodnocení

Návrh rekonstrukce zahrnoval několik možností, o nichž pojednávají následující podkapitoly.

4.1 Nová hnědouhelná kotelna

Prvním krokem k realizaci nové kotelny bylo potřeba učinit rozhodnutí o typu spalovaného paliva. Společnost se napřed zabývala možností zachování hnědouhelné kotelny. Nová hnědouhelná kotelna by zahrnoval pouze nahrazení původních HU kotlů. Veškeré zastaralé příslušenství jako zauhlovací a odpovídávací zařízení, parní rozvody aj. by zůstalo zachováno. V budoucnu by tedy i tato zařízení potřebovala rekonstrukci. Z důvodu stáří a technického stavu parních rozvodů by bylo přistoupeno k jejich celkové rekonstrukci a přechodu na teplovodní rozvody. Dále by bylo potřeba vyřešit hlavní problém, a tím jsou emisní limity. Nově zbudované zařízení na čištění spalin by bylo velmi nákladné.

Investice: uhelná kotelna, technologie čištění spalin cca 48 890 000,- Kč
[16]

Parametry:

3 ks nových HU kotlů	Výkon [MW]
	2x 2,9
	1x 1,5

Přestože je již v areálu zbudována skládka hnědého uhlí a jeho cena činí 100,7 Kč za GJ vyrobeného tepla oproti 314,5 Kč za GJ tepla vyrobeného ze zemního plynu (částky jsou uvedeny bez DPH a jedná se pouze o výpočet z paliva - nejsou zahrnuty mzdy a jiné provozní náklady) rozhodla se společnost kotelnu zcela plynofikovat. Hlavním důvodem byly vysoké investiční náklady na odsiřovací zařízení a vysoké provozní náklady zastaralých technologií. Prostor, který vznikne zrušením skládky hnědého uhlí, by mohl být v budoucnu využit na výstavbu nové výrobní nebo skladovací haly. [4]

I když je zemní plyn jako palivo dražší, jeho potřebné množství je daleko menší než u hnědého uhlí především vlivem vyšší účinnosti plynových zdrojů a snížením tepelných ztrát rozvodů.

V souladu s plynofikací byly vytvořeny dva hlavní návrhy zahrnující plynové kotle a jejich obměny. Decentralizovaná kotelna s devíti kotelkami nebo s pěti kotelkami v příznačných lokalitách a centrální kotelna s dvěma kotli nebo se třemi kotli.

4.2 Decentralizovaná kotelna

a) 9 kotelen

Kotelny z projektu decentralizace mají být rozmístěny po areálu do význačných energetických uzlů stávající topné soustavy, jak je naznačeno na **Obrázku 6**. Bylo by nutné přebudovat stávající parní rozvody na teplovodní, přitom vzduchotechnika s teplovodními registry by byly připojeny beze změny. Parametry topné vody jsou výpočtem stanoveny na 95/70 °C kromě kotelny v objektu galvanovna, kde by byly parametry topné vody nastaveny na 105/80 °C kvůli ohřevu technologických van.

Předpokládalo by se zrušení centrální kotelny a rozvodů na ni napojených. Nákladné, avšak pro decentralizaci nezbytné, by bylo vybudování nových průmyslových plynovodů ke všem kotelnám. Jednalo by se o venkovní středtlaký plynovod STL o tlaku zemního plynu 300 kPa a vnitřní nízkotlaké plynovody NTL.

Každá kotelna by musela mít vlastní příslušenství, měření a regulaci, komín (třívrstvý nerezový), úpravnu a odplynění napájecí vody, čerpadla a havarijní prvky. [17] [18]

Deklarovaná účinnost kotlů výrobcem je 93 %. U kotlů těchto výkonů by nebylo ekonomicky výhodné použít kondenzační spalínové výměníky na přehřev napájecí vody, tudíž nelze účinnost kotlů nijak navyšovat. Uvažovaná výpočetní průměrná roční účinnost je 91 %. [4]

Parametry:

Pořadí	Kotelna	Instalovaný výkon (kW)
1	K2	600
2	K3	1000
3	K9-vyvíječ páry	174
4	K6	400
5	K7	24
6	K8	600
7	K1	2000
8	K4	1500
9	K5	1000
Celkem		7298

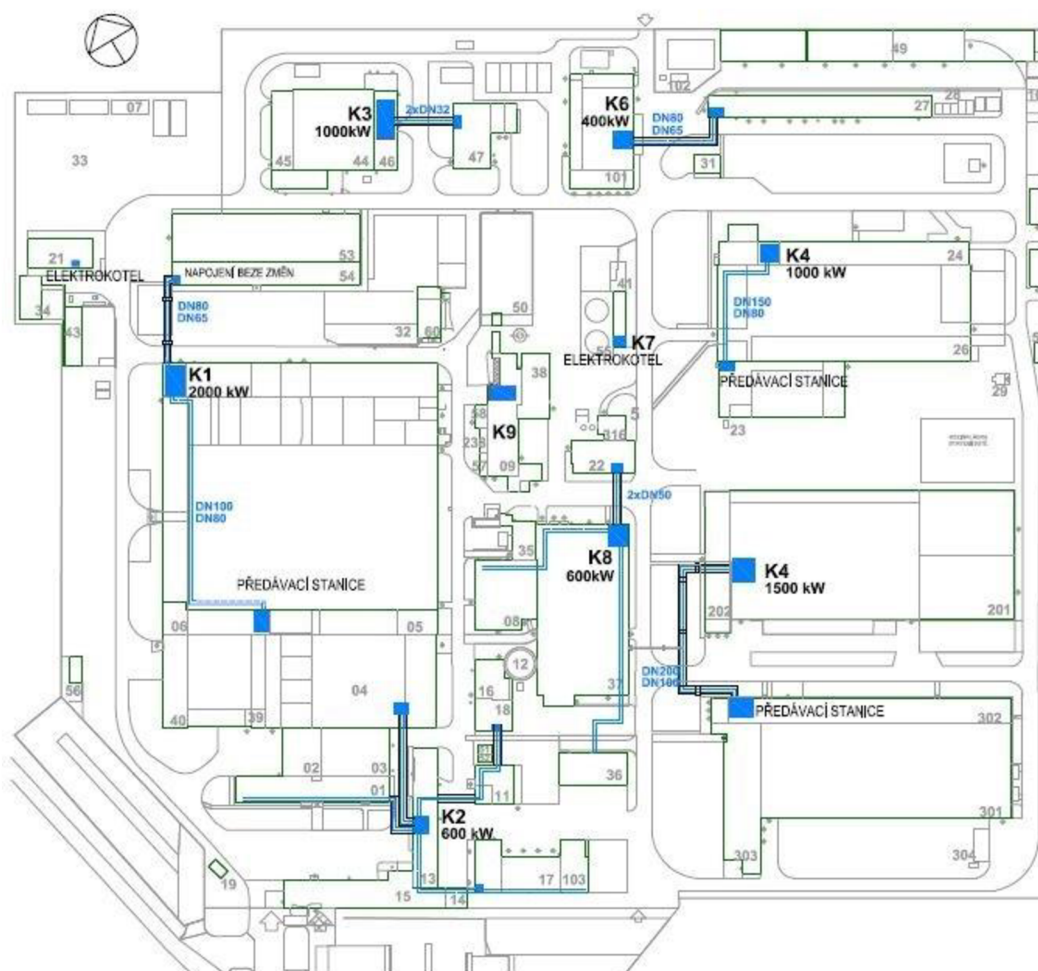
Tabulka 4 Instalované výkony jednotlivých kotelen decentralizace [4]

Investice: 9 decentralizovaných kotelen, plynovody, rozvody cca 35 724 000,-Kč

Velmi uspokojivá je však bilance emisí. Hlavní cíl tedy tento typ rekonstrukce splňuje. Následující porovnání s původní kotelnou s hnědouhelnými kotli udává přesné koncentrace škodlivin.

ZL	Výchozí stav			Decentralizace			Rozdíl
	HU	ZP	Celkem	HU	ZP	Celkem	Celkem
	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok
TZL	3,8000	0,0042	3,8042	-	0,0301	0,0301	3,7741
SO ₂	61,7000	0,0020	61,7020	-	0,0144	0,0144	61,6876
NO _x	13,2000	0,2724	13,4724	-	1,9534	1,9534	11,5190
CO	2,8000	0,0567	2,8567	-	0,4063	0,4063	2,4504
CO ₂	7740,0000	396,4206	8136,4206	-	2842,7380	2842,7380	5293,6826

Tabulka 5 Snížení emisí v rámci decentralizace s plynovými kotli [4]



Obrázek 6 Rozmístění devíti kotelen a nových rozvodů v areálu [4]

b) 5 kotelen

Decentralizace zdrojů s pěti kotelnami vychází z návrhu decentralizace s devíti kotelnami. Požadavek byl však na snížení počtu kotelen a to z důvodu finančních úspor na počet kotlů. Stejně tak jako předchozí varianta by decentralizace pěti kotelen respektovala členění areálu na samostatné divize a kotelny by byly rozmístěny do význačných energetických uzlů. Opět by bylo nutné přebudovat parní rozvody na teplovodní, stejně tak vzduchotechnika s teplovodními registry

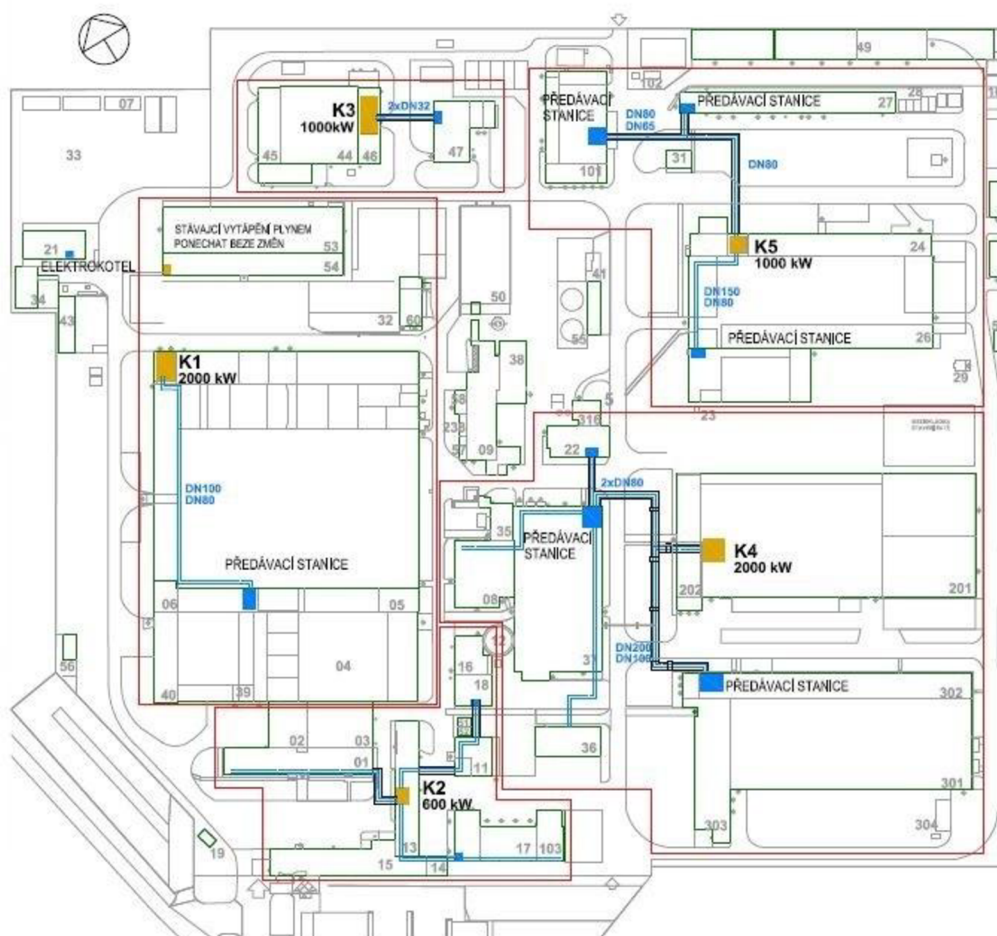
by byly připojeny beze změny. Parametry topné vody 95/70 °C, v objektu galvanovna 105/80 °C. Tento typ rekonstrukce by taktéž vyžadoval zbudování nových průmyslových plynovodů o stejných parametrech jako u decentralizace devíti kotlen. Každá kotelna by musela mít bez výjimky vlastní příslušenství. Zlepšení emisí polutantů obdobně jako u devíti kotlen.

Investice: 5 decentralizovaných kotlen, plynovody, rozvody cca 34 400 000,- Kč [14]

Parametry:

Objekt	Kotelna	Instalovaný výkon (kW)
06	K1	2000
13	K2	600
46	K3	1000
24	vyvíječ páry	174
202	K4	2000
24	K5	1000
Celkem		6774

Tabulka 6 Instalované výkony jednotlivých kotlen [17]



Obrázek 7 Rozmístění pěti kotlen a nových rozvodů [výkresová dokumentace PBS VB]

Zhodnocení decentralizace zdrojů tepla:

Výhody:

- možnost rozdělení investice do delšího období několika let
- možnost využití uvolněného prostor po centrální kotelně (například k pronájmu)

Nevýhody:

- vysoké nároky na obsluhu dány velkým počtem kotlů:
 - 18 kotlů - 5 kotelen
 - 26 ÷ 32 kotlů - 9 kotelen
- nutno zavést nové plynovody a k nim plynoměry
- je nevhodné instalovat kogenerační jednotku, instalace menších jednotek do objektů by byla ekonomicky nevýhodná
- nutnost realizace sběrné nádrže kondenzátu po dobu přechodu na teplovodní rozvody
- nelze využít odpadní teplo pro zásobování celého areálu
- nelze využít záložní palivo
- náklady na teplovodní rozvody [14] [15]

Přestože při decentralizaci vychází počáteční investice nejlépe, není nejvhodnější volbou. Má řadu nevýhod, krom toho její roční provozní náklady a náklady na GJ vyrobeného tepla vychází nejhůře. Viz **Tabulka 8 Srovnání variant**.

4.3 Centrální kotelna s plynovými kotli

a) Tři kotle o celkovém výkonu 6 MW

Výhodnou možností rekonstrukce se jevila právě centrální kotelna se třemi kotli na zemní plyn v místě původní centrální kotelny a jeden kotel o menším výkonu v objektu galvanovny na pokrytí její technologie. Prvotní návrh počítal s instalací tří nerezových kotlů, každý o výkonu 2 MW. Každý kotel by byl vybaven kondenzačním spalínovým výměníkem zvyšujícím účinnost zařízení - ekonomizérem a nízkoemisním hořákem. Na kotel by byl napojen deset metrů dlouhý kouřovod s nerezovou vložkou a tlumičem hluku. Plynový teplovodní kotel pro objekt galvanovna o výkonu 250 kW by byl taktéž osazen nízkoemisním hořákem a napojen na kouřovod, tentokrát však bez tlumiče. Požadavek na teplotu topné vody zůstává zachován, tedy 95/70 °C. V letním období by byla teplota snižována na 65/50 °C. [19] [17]

Původní záměr počítal s instalací duálního hořáku do jednoho z kotlů na spalování ZP a ELTO. Vedle areálu kotelny měla být přistavena nádrž o objemu 50 m³ s ELTO. Toto opatření mělo tvořit zálohu v případě výpadku dodávky ZP. Nicméně by celkovou investici navýšilo o 1 milion Kč. Z důvodu stability přísunu ZP do České republiky bylo tedy od záložního zdroje odstoupeno jako od zbytečné investice navíc. [17]

Obdobně jako u decentralizace by bylo potřeba zbudovat nové teplovodní rozvody ve shodném rozsahu. Nebylo by však nutné jakkoliv měnit přívod zemního plynu.

Pouze by bylo nutné vybudovat nové přípojky ke kotlům. Původní přípojka na kotel na zemní plyn by byla zaslepena.

Investice: centrální kotelna, teplovodní rozvody, ELTO cca 40 024 000,- Kč

Kotelna by zahrnovala vlastní příslušenství, měření a regulaci, úpravnu a odplynění napájecí vody, čerpadla a havarijní prvky. Ovšem pouze v jednom provedení. Velkou výhodou by byla nenáročnost obsluhy oproti uhelné kotelně. Vyžaduje kontrolu pouze jednou během 24 hodin.

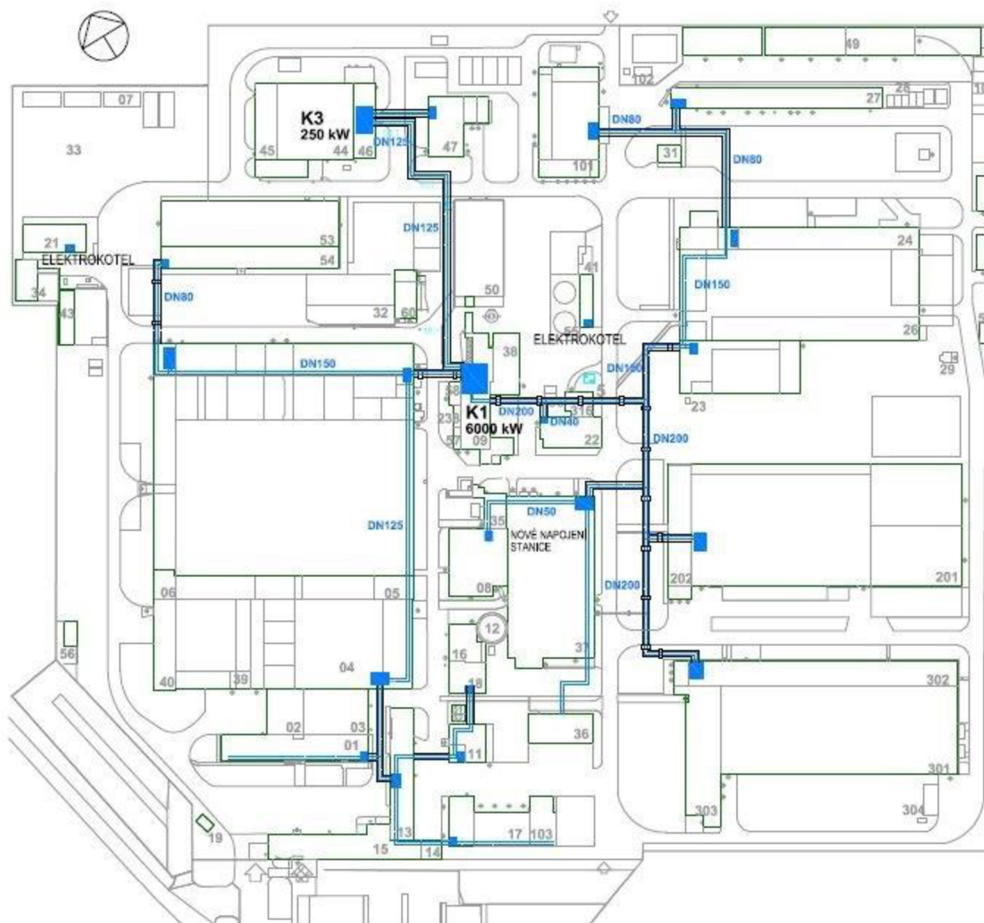
Další opatření, které přispívá centrální kotelně, by byla možnost využití odpadního tepla z výroby pro ohřev TUV pro celý areál. Tím by se prakticky zrušily náklady na palivo pro ohřev teplé vody. V tomto modelu by byly generovány vyšší úspory. Každopádně využití odpadního tepla není v nynější rekonstrukci zařazeno, jelikož by zhoršovalo návratnost projektu. Nicméně do budoucna o něm společnost uvažuje. [16]

Možnost využití odpadního tepla:

Druh tepla	Roční úspora
odtahy od pecí ve slévárně přesného lití	890 000,-Kč
teplo z kondenzátorů chladicího agregátu	nízké parametry výstupní vody - nedoporučuje se
odvod tepla z chladicí jednotky haly DLT	239 400,-Kč
teplo z chladičů oleje kompresorů	783 502,-Kč

Tabulka 7 Možná finanční úspora při využití odpadního tepla [18]

Odpadní teplo by bylo možno využít pouze v případě centrální kotelny. U decentralizace by to bylo ekonomicky nevýhodné a nemohlo by být využito v celém areálu.



Obrázek 8 Situace centrální plynové kotelny a nových rozvodů [výkresová dokumentace PBS VB]

b) Dva kotle o celkovém výkonu 8 MW

Jedním z páteřních návrhů přestavby je centralizovaná kotelna právě se dvěma kotli na zemní plyn o celkovém výkonu 8 MW.

Původní plynový kotel by zcela nahradily dva nové teplovodní nízkoteplotní plynové kotle s kondenzačními výměníky spaliny-voda - ekonomizéry. Plamencové kotle by byly v třítahovém provedení, oba se samostatnou regulací teploty kotlové vody pomocí trojcestného směšovacího ventilu a kotlového čerpadla.

Spaliny by byly odváděny těsnými kouřovody dále do dvou samostatných nerezových komínů umístěných v kotelně. Komíny by byly dlouhé 9 m, dva metry vyčnívající nad střechu kotelny, obsahují protihlukové zařízení.

Parametry:

Výkon kotle	3 750 kW
Výkon ekonomizéru ECO 250	250 kW
Celkový výkon zařízení	4 000 kW
Konstrukční přetlak	0,6 MPa
Účinnost kotle s ECO 250	97 %
Minimální teplota vratné vody	50 °C
Stupeň využití	97 %
Hořák	Riello RS 510/E TC BLU
Regulace hořáku	30-100 %
Garance emisí	80 mg/m ³ _N NO _x

Na kotle by navazovalo společné potrubí, které by bylo děleno sběračem a rozdělovačem na tři větve - západ, východ a sever areálu. Před sběračem a rozdělovačem by byla vyvedena větev sever pro objekt galvanovna, která by byla celoročně nastavena na teplotu topné vody 95/65 °C. Větev západ a východ by byly opatřeny ekvitermní regulací. Součástí kotelny by bylo automatické zařízení na dopouštění a odpouštění oběhové vody s plastovou nádrží o objemu 4 m³. Parametry topné vody by zůstaly zachovány na hodnotě 95/70 °C s možností snížení v letním období na 65/50 °C. [38]

Obdobně jako u předchozí centrální plynové kotelny by byly zbudovány dvě nové přípojky zemního plynu a stávající přípojka by byla zaslepena.

Rekonstrukce by předpokládala taktéž přestavbu teplovodních rozvodů a zbudování 14ti nových objektových předávacích stanic voda-voda v podobě deskových výměníků.

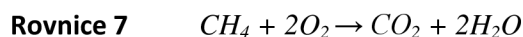
Investice: centrální kotelna, teplovodní vytápění cca 45 168 659,-Kč

Kotelna by měla opět vlastní příslušenství, měření a regulaci, úpravnu a odplynění napájecí vody, doplňování změkčovadla, čerpadla, havarijní prvky a přívodní a odtahový ventilátor pro zajištění větrání v letním období. [5] [4]

Tento typ kotelny by vyžadoval pouze tzv. pochůzkovou kontrolu minimálně jednou za 24 hodin.

Emisní limity

Plynový zdroj by nezahrnoval žádné opatření na snížení emisí. Zemní plyn je velmi ekologické palivo a regulace emisí znečišťujících látek je dána pouze optimálním přebytkem spalovacího vzduchu. Tento moderní zdroj maximálně snižuje dopad na životní prostředí. Také emisní příspěvek není na úrovni, aby ohrožoval prostředí a je daleko pod legislativními limity. [5]



Dle vyhlášky 415/2012 Sb. jsou pro stacionární spalovací zdroje na plynná paliva stanoveny emisní limity popsány v **Tabulce 8**. Specifické emisní limity jsou vztaženy k normálním podmínkám a suchému plynu s referenčním obsahem kyslíku 3 %.

Znečišťující látka	Emisní limity platné do 31.12.2017	Emisní limity platné od 1.1.2018
	[mg/m ³]	[mg/m ³]
SO ₂	900	-
NO _x	200	100
TZL	50	-
CO	100	50

Tabulka 8 Specifické emisní limity pro zdroje na zemní plyn (výkon 0,3 MW-50 MW) [11]

Porovnání s HU kotli ukazuje výrazné snížení distribuce emisí.

ZL	Výchozí stav			Centrální kotelna 2x4 MW			Rozdíl Celkem
	HU	ZP	Celkem	HU	ZP	Celkem	
	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok
TZL	3,8000	0,0042	3,8042	-	0,0290	0,0290	3,7752
SO ₂	61,7000	0,0020	61,7020	-	0,0139	0,0139	61,6881
NO _x	13,2000	0,2724	13,4724	-	1,8818	1,8818	11,5907
CO	2,8000	0,0567	2,8567	-	0,3914	0,3914	2,4653
CO ₂	7740,0000	396,4206	8136,4206	-	2738,4191	2738,4191	5398,0015

Tabulka 9 Snížení emisí v rámci centrální kotelny 2x4 MW [4]

Jak si můžeme všimnout na **Tabulce 5** a **Tabulce 9**, centrální kotelna by vykazovala vyšší snížení produkce emisních látek než decentralizované kotelny.

Zhodnocení centrálního zdroje:

Výhody:

- obsluha pouze dvou nebo tří kotlů
- lze využít odpadního tepla
- lze využít záložní palivo ELTO
- nižší instalovaný celkový výkon oproti decentralizaci
- není nutno rozšiřovat plynovod
- pouze jeden plynoměr
- snadnější údržba a servis - plně automatizovaný provoz
- možnost využití uvolněného prostoru po uhelných kotlích a zrušenou skládku paliva
- možnost napojení KGJ
- kondenzační výměník ECO 250 - navýšení účinnosti o 4 %

Nevýhody:

- vysoká počáteční investice

- nutnost realizace sběrné nádrže kondenzátu po dobu přechodu na teplovodní rozvody
- hrozba nečekané dlouhodobé odstávky ZP
- zvyšující se cena ZP
- náklady na teplovodní rozvody

[4] [14] [15] [16]

Porovnání variant:

	decentralizace 5 kotelen	decentralizace 9 kotelen	centralizace 6 MW	centralizace - využití odpadového tepla	centralizace 8 MW
plyn - voda					
Vyrobené teplo (GJ/rok)	42 000	42 000	42 000	36 444	42 000
Odpadní teplo do centrálního rozvodu (GJ/rok)				5 556	
PROVOZNÍ NÁKLADY (tis. Kč)					
Palivo (Suma tis. Kč)	15 941	15 941	15 290	13 118	15 290
Elektrická energie - kotelna	211	228	275	339	275
přídavná voda do systémů	92	92	92	92	92
mzdové náklady - obsluha	834	834	834	1 251	834
Ostatní režijní náklady (servis, revize)	240	280	280	400	280
Opravy rozvodů	0	0	0	0	0
Suma provozních ročních nákladů	17 318	17 375	16 771	15 200	16 771
Náklady na teplo (Kč/GJ)	412	414	399	362	399
INVESTIČNÍ NÁKLADY (tis. Kč)					
Provozní soubory - kotelny, rozvody	34 400	35 724	39 024	39 024	39 024
využití odpadního tepla				3 600	
záložní palivo - ELTO (ve variantě pára plyn není)			1 000	1 000	1 000
Suma investic	34 400	35 724	40 024	43 624	40 024
Možná dotace	6 508	6 508	6 508	6 508	6 508
Suma investic s odečtením dotace	27 892	29 216	33 516	37 116	33 516
Model odpisů investice (20 let)					
Model odpisů investice (20 let)	1 395	1 461	1 676	1 856	1 676
Přepočtené provozní náklady	18 713	18 836	18 447	17 056	18 447
Přepočtená cena Kč/GJ	446	448	439	406	439

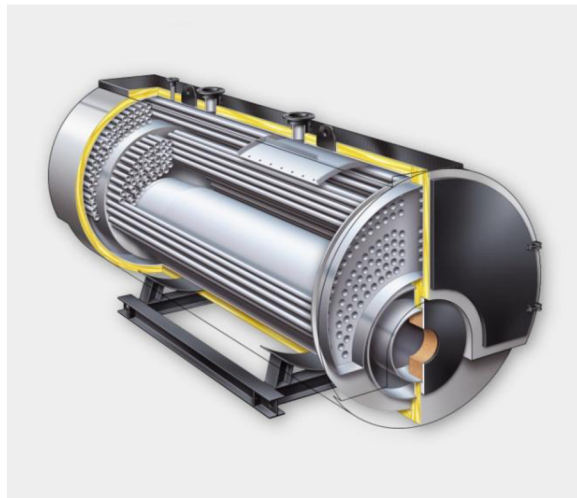
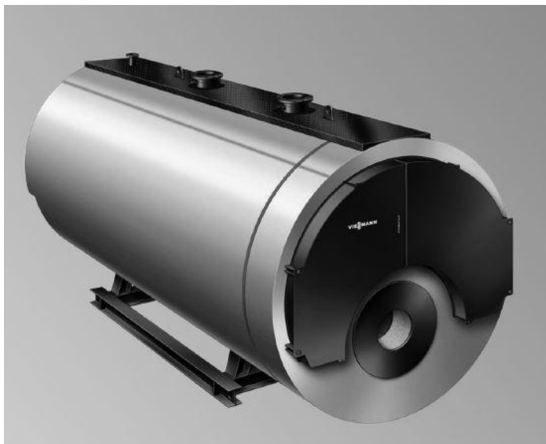
Tabulka 10 Srovnání základních provozních a investičních nákladů hlavních variant [15]

[4]

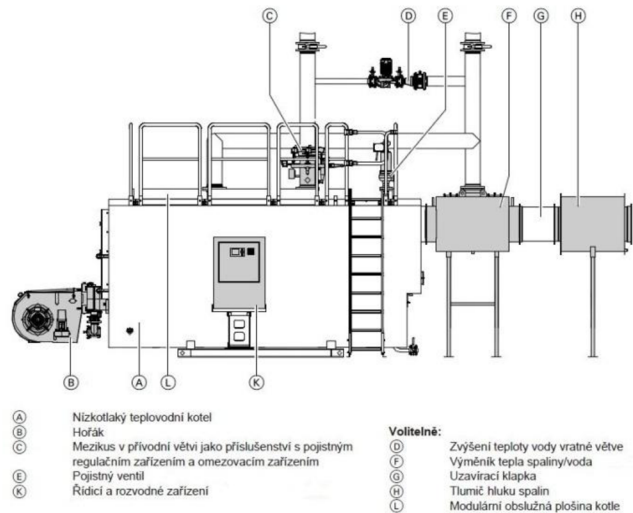
Ceny a GJ uvedené v **Tabulce 10** jsou orientační odhady.

4.4 Plynová kotelná se dvěma kotli o celkovém výkonu 8 MW

Uspořádání koncepce dvou kotlů lépe vyhovuje prostorům kotelný, proto se společnost rozhodla pro tuto variantu. V kotelně budou instalovány dva plynové plamencové kotle Vitomax 200-LW s ekonomizérem ECO 250, dodané od firmy Viessmann. Centrální topná soustava s dvěma kotli na ZP je technologicky jednoduchá a provozně spolehlivá s minimálními nároky na následnou údržbu a opravy.



Obrázek 9 Kotel Vitomax 200-LW [22]



Obrázek 10 Zapojení kotle [22]

Spalovací vzduch pro hoření plynu bude do kotelny přiváděn přirozeně pomocí neuzavíratelných otvorů ve fasádě a dále ventilátorem o výkonu 13200 m³/h. [20] [38]

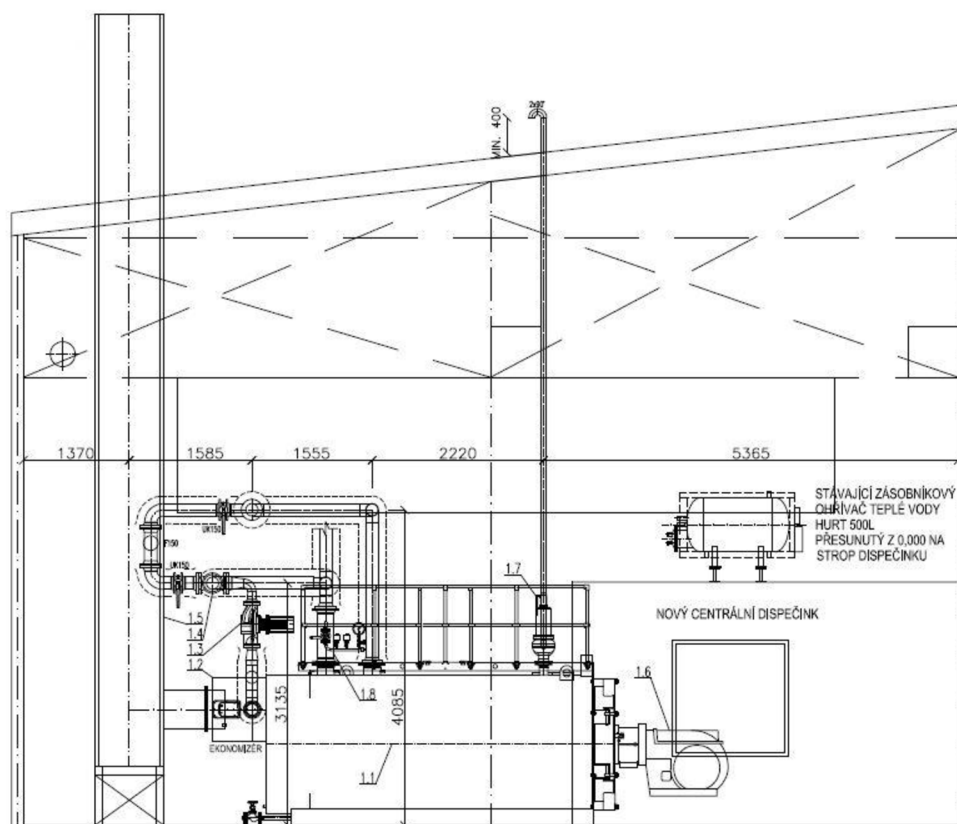
Zařízení	ks	spalovací vzduch [m ³ /h]	spalovací vzduch celkem [m ³ /h]	tepelná ztráta přívodem spalovacího vzduchu (t _e =-15°C; t _i =7°C) [kW]
teplovodní plynový kotel 4000 kW	2	5 000	10 000	2 x 33

Tabulka 11 Potřebné množství spalovacího vzduchu [20]

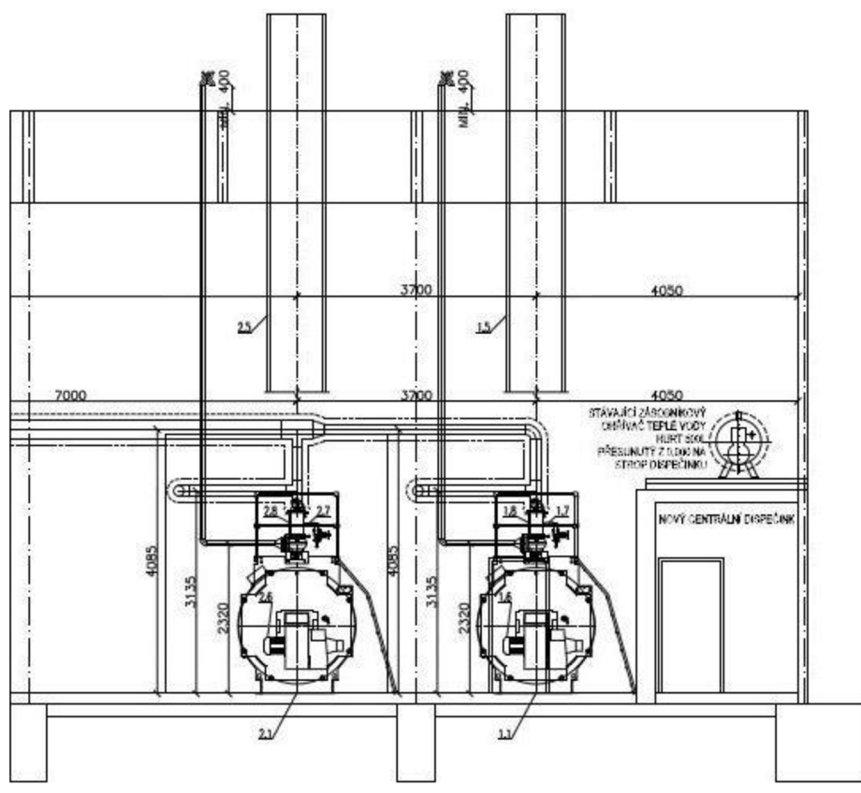
Nejsou zde specifické nároky na obsluhu jako u uhelného zdroje.

Nároky na obsluhu: [21]

- kontrola funkcí zařízení a jejich těsnost
- sledují se provozní parametry
- kontrola odkalu kotle
- doplňování soli pro regeneraci změkčovacích filtrů
- příprava chemikálií do napájecí vody



Obrázek 11 Boční pohled na kotelnu [výkresová dokumentace PBS VB]



Obrázek 12 Zadní pohled na kotle a přívodní potrubí [výkresová dokumentace PBS VB]

5 Nová kotelna s kogenerační jednotkou

Další velmi výhodou variantou rekonstrukce je zařazení kogenerační jednotky se spalovacím motorem. Toto řešení počítá s vyššími náklady, nicméně zařízení je podporováno zelenou dotací, jelikož zajišťuje úsporu primárních zdrojů a tím šetří životní prostředí.

5.1 Obecné pojednání - kogenerační jednotky

Pojem kogenerace označuje zařízení, které dodává současně tepelnou a elektrickou energii spalováním primárního paliva. Obvykle se jedná o kompaktní zařízení, jehož hlavní výhodou je zamezení ztrát na trase přenosu elektřiny a tepla ke konečnému spotřebiteli. Existuje několik typů kogeneračních jednotek:

- kogenerační jednotka se spalovacím motorem
- kogenerační jednotka se spalovací turbínou
- kogenerační jednotka s parní turbínou
- kogenerační jednotka se Stirlingovým motorem

Nejčastějším užívaným typem jsou KGJ se spalovací turbínou nebo se spalovacím motorem. Jednotky se spalovacím motorem obvykle pokrývají výkon $0,1 \div 10$ MW. Tento typ je tedy vhodné použít i při rekonstrukci kotelny PBS Velká Bíteš. [23]

Stanovení ceny tepla za vyrobený GJ z KGJ: [26]

$$C_T = \frac{C_{ZP}}{H_{ZP} * \eta} * P_E \text{ [Kč/GJ]} \quad (1)$$

C_T → cena tepla Kč/GJ bez DPH

C_{ZP} → průměrná cena ZP Kč/m³ v daném měsíci, odpovídající spalnému teplu a ceně ZP vstupujícímu do kotelny

H_{ZP} → výhřevnost ZP

η → průměrná roční účinnost zdroje tepla

P_E → koeficient změny příspěvku z KVET

5.2 Kogenerační jednotky dle průzkumu trhu

PBS Velká Bíteš se zaměřila na vybrané společnosti zabývající se dodávkou kogeneračních jednotek. Následující seznam nabízí jejich shrnutí.

- Amper Savings

Jedná se o společnost zabývající se obchodem s energiemi, distribucí energií, provozem lokálních distribučních soustav a realizací energeticky úsporných projektů. [25]

Nabídka předpokládá instalaci dvou kogeneračních jednotek s elektrickými výkony 600 kWe a 200 kWe (tepelné výkony 699 kWt a 263 kWt). Tato kombinace umožňuje optimální využití kogenerace po celý rok.

Parametry:

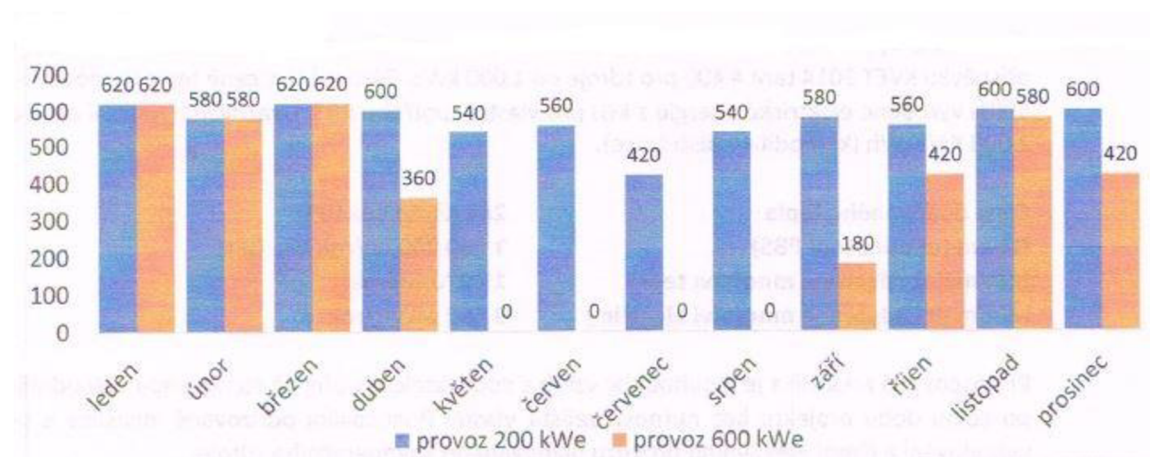
Celkový elektrický výkon	800 kWe
Celkový tepelný výkon	962 kWt
Palivo	ZP
Max. teplota výstupní vody	90°C
Max. teplota vratné vody	70°C
Předpokládaná cena vyrobeného tepla	284 Kč/GJ

Součástí zařízení je asynchronní generátor, akumulční nádrže a výměníky na odpadní teplo z chlazení bloku motoru a ze spalin. Vše kryto protihlukovou kapotou. Veškerá elektřina by byla napojena přes transformaci na distribuční síť E.ON Distribuce a.s. [26]

Instalace dvou jednotek poskytuje provozní variabilitu danou především rozdílnou spotřebou tepla v zimním a letním období. Způsob provozu plynových kotlů je upraven podle využití odpadního tepla z kogenerace.

Předpoklad:

KGJ 200 kWe 6820 h/rok
 KGJ 600 kWe..... 3780 h/rok



Obrázek 13 Roční hodinový provoz KGJ Amper Savings [26]

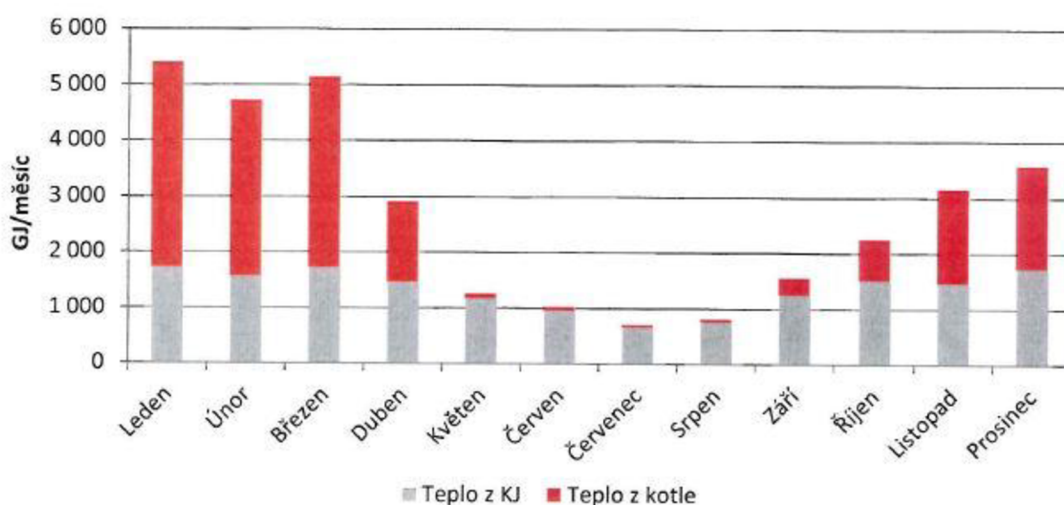
- E.ON Trend

Společnost, jako součást celku E.ON, má na starost výrobu energie ve vlastních výrobních jednotkách a dále rozvoj obnovitelných zdrojů energie, klasickou energetiku, teplárenství a energetické služby. [27]

Návrh zahrnuje instalaci jedné kogenerační jednotky o elektrickém výkonu 1000 kWe (1031 kWt) a akumulaci o objemu 150 m³. Palivem pro KGJ zůstává zemní plyn. Zařízení by mělo protihlukové opatření.

Je na rozhodnutí PBS VB zdali budou vyrobenou elektřinu prodávat do distribuční soustavy nebo ji zcela využijí pro pokrytí vlastní potřeby. Počítá se s výstavbou nové trafostanice.

Předpokládá se samostatný provoz kogenerace v letních měsících. Zde budou plynové kotle sloužit pouze jako záložní zdroj pro období, kdy bude kogenerace mimo provoz. [28]



Obrázek 14 Výroba tepla z KGJ E.ON Trend [28]

Parametry:

Celkový elektrický výkon	1000 kWe
Celkový tepelný výkon	1031 kWt
Palivo	ZP
Teplota výstupní vody - akumulace	90°C
Teplota vratné vody - akumulace	50°C
Předpokládaná cena vyrobeného tepla	285,3 Kč/GJ

- AB Energy International - GE Jenbacher

Společnost AB Group, pod kterou spadá i AB Energy International, se věnuje instalaci průmyslových kogeneračních jednotek na zemní plyn a bioplynových kogenerací především se zaměřením na farmy. [29]

Tento návrh popisuje kogenerační jednotku o elektrickém výkonu 1413 kWe (1451 kWt). Celá jednotka bude uzavřena v protihlukovém boxu se vstupními dvířky a odvodem spalin.

Parametry:

Celkový elektrický výkon	1413 kWe
Celkový tepelný výkon	1451 kWt
Palivo	ZP
Max. teplota výstupní vody	93°C
Teplota vstupní vody	70°C

Motor obsahuje 20 válců a je napojen na generátor (400 V/50 Hz). Kogenerace obsahuje výměníky na odpadní teplo z chlazení bloku motoru a ze spalin. [30]

- Tedom

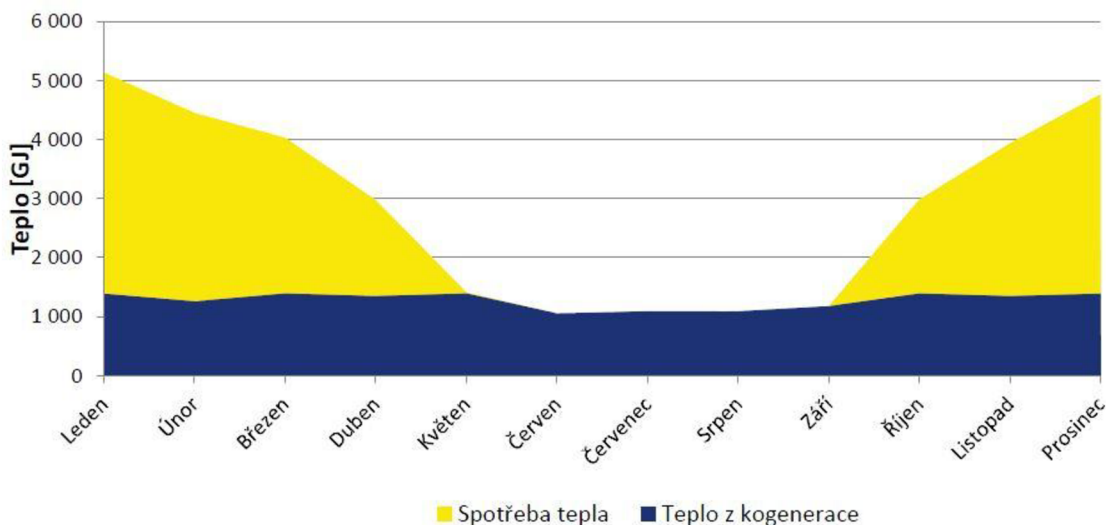
Hlavním cílem společnosti je efektivní a ekologické využití energetických palivových zdrojů. Zaměřují se na kombinovanou výrobu elektřiny a tepla a na technologie pro obnovitelné zdroje. [31]

Nabídka představuje kogenerační jednotku Tedom Quanto D1600 s protihlukovým krytem o elektrickém výkonu 1560 kWe (1576 kWt). Součástí zařízení je tlumič hluku a elektrické rozvaděče. Předpokládaný provoz KGJ je 2680 h/rok. [33] [34]

Většina vyrobené elektrické energie by byla použita pro potřeby areálu PBS Velká Bíteš. Pouze malá část by byla prodávána jako přebytek. Je instalován synchronní generátor. Zařízení obsahuje ekonomizér. [32]

Parametry:

Celkový elektrický výkon	1560 kWe
Celkový tepelný výkon-využitelný	1576 kWt
Palivo	ZP
Teplota výstupní vody	90°C
Teplota vratné vody	70°C
Předpokládaná cena vyrobeného tepla	263 Kč/GJ



Obrázek 15 Výroba tepla z KGJ Tedom [33]

- Ineco

Česká firma zabývající se návrhem, prodejem a instalací kogenerací a motorogenerátorů. Zaměřují se také na jejich záruční a pozáruční servis. [35]

Jednalo by se o instalaci dvou kogeneračních jednotek Inecon 600 o výkonu 600 kWe (654 kWt) a akumulace o objemu 100 m³. Obě budou v protitlukovém krytu. Pracují s motorem MWM TGC 2016 V12C. Zařízení je v kapotovém provedení. KGJ jsou doplněny synchronním generátorem 400 V/50 Hz s navazujícími rozvaděči. [36]

Parametry:

Celkový elektrický výkon	1200 kWe	
Celkový tepelný výkon	1308 kWt+78 kWt	využití tepla okruhu chlazení směsí
Palivo	ZP	
Teplota výstupní vody	90°C	
Max. teplota vratné vody	70°C	
Předpokládaná cena tepla	335,82 Kč/GJ	

Provoz jednotek předpokládá úplné nahrazení plynových kotlů v letních měsících. [36]

Porovnání variant:

Dodavatel kogenerace	Amper Savings	E.ON Trend	AB Energy International	Tedom	Ineco
Celkový elektrický výkon [kW]	800	1 000	1 413	1 560	1 200
Celkový tepelný výkon [kW]	962	1 031	1 451	1 576	1 386
Předpokládaná cena tepla [Kč/GJ]	284	285,3	-	263	335,82
Investor	investorem Amper Savings	investorem E.ON Trend	investorem PBS VB	investorem PBS VB	investorem PBS VB

Tabulka 12 Srovnání variant instalace kogenerační jednotky

Předpokládaná cena kogenerační jednotky a její dodávka činí cca 16,184 mil. Kč až 19,346 mil. Kč.

Pokud by se společnost PBS Velká Bíteš rozhodla pro instalaci kogenerační jednotky, volila by dodávku od firmy Tedom. Její nabídka nejlépe vyhovuje potřebám PBS VB, a to cenou a dostupným servisem.

6 Ekonomické posouzení variant rekonstrukce a zhodnocení

Následující ekonomické výpočty a posouzení ukazují tok financí v horizontu dvaceti let. Posouzení bylo provedeno pro realizovanou kotelnu se dvěma plynovými kotli Vitomax 200-LW a pro kotelnu s kotli Vitomax 200-LW a kogenerační jednotkou Tedom Quanto D1600.

Ekonomický výpočet plynového kotle Vitomax 200-LW [39]

Typ kotle	Vitomax 200-LW	
elektrický výkon	-	kW
tepelný výkon	2 x 4 000	kW
cena kotlů	7 339,824	tis. Kč
náklady na úpravu a připojení	38 637,519	tis. Kč
dotace	20 000	tis. Kč
palivo	ZP	
výhřevnost	34	MJ/m ³ _N
životnost	20	roků
měrná spotřeba paliva q _{pal}	30,325	m ³ _N /GJ
Provozní údaje		
roční doba využití instalovaného výkonu	2 972	hodin
provozní náklady mimo palivo	300,000	tis. Kč/r
Ekonomické údaje		
cena prodáváného tepla	263	Kč/GJ
cena elektrické energie	-	Kč/MWh
cena paliva	10	Kč/m ³ _N

Přípravné bilanční výpočty:

- roční výroba el. E: $E_r = P_{sv} \tau_r = 0 \text{ MWh/r}$
- roční výroba tepla: $Q_r = 3,6 P_{\max} \tau_r = 3,6 \cdot 8 \cdot 2972 = 85\,593,6 \text{ GJ/r}$

Roční tržby za:

- elektřinu $N_E = E_r c_E = 0 \text{ tis. Kč/r}$
 - teplo $N_Q = Q_r c_Q = 85593,6 \cdot 263 = 22\,511,117 \text{ tis. Kč/r}$
- Výnosy celkem $V = N_E + N_Q = \underline{22\,511,117 \text{ tis. Kč/r}}$

Roční výdaje za:

- palivo
- roční spotřeba paliva $M_{\text{pal}}^f = Q_r \cdot q_{\text{pal}} = 85593,6 \cdot 30,325 = 2\,595\,625,92 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{r}$
- roční náklady na palivo $N_{\text{pal}} = M_{\text{pal}}^f c_{\text{pal}} = 2595625,92 \cdot 10 = 25\,956,259 \text{ tis. Kč/r}$

- ostatní $N_{\text{ost}} = 300 \text{ tis. Kč/r}$
- Provozní náklady celkem: $N_p = N_{\text{pal}} + N_{\text{ost}} = 25734,098 + 300 = \underline{26\,256,259 \text{ tis. Kč/r}}$

Ekonomická analýza

Cash-Flow v každém roce provozu:

$$CF = V - N_p = 22511,117 - 26256,259 = \underline{-3\,745,142 \text{ tis.Kč}}$$

rok	N_i [tis. Kč]	CF [tis. Kč]	DCF [tis. Kč]	\sum DCF [tis. Kč]
0	25977,343	-25977,343	-25977,343	-25977,343
1		-3745,142	-3533,153	-29510,5
2		-3745,142	-3333,163	-32843,66
3		-3745,142	-3144,493	-35988,15
4		-3745,142	-2966,503	-38954,66
5		-3745,142	-2798,588	-41753,24
6		-3745,142	-2640,177	-44393,42
7		-3745,142	-2490,733	-46884,15
8		-3745,142	-2349,748	-49233,9
9		-3745,142	-2216,744	-51450,65
10		-3745,142	-2091,268	-53541,91
11		-3745,142	-1972,894	-55514,81
12		-3745,142	-1861,221	-57376,03
13		-3745,142	-1755,869	-59131,9
14		-3745,142	-1656,48	-60788,38
15		-3745,142	-1562,717	-62351,09
16		-3745,142	-1474,261	-63825,36
17		-3745,142	-1390,812	-65216,17
18		-3745,142	-1312,087	-66528,26
19		-3745,142	-1237,818	-67766,07
20		-3745,142	-1167,753	-68933,83

a) Diskontované Cash-Flow:

$$DCF = \frac{CF}{(1+d)^r} \quad (2)$$

$d \rightarrow$ diskontní sazba
 $d = 0,06$

b) Splatnost

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{25977,343}{-3745,142} \quad (3)$$

$T_0 = \text{nemá řešení}$

c) Doba splatnosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 d}}{\ln(1+d)} \quad (4)$$

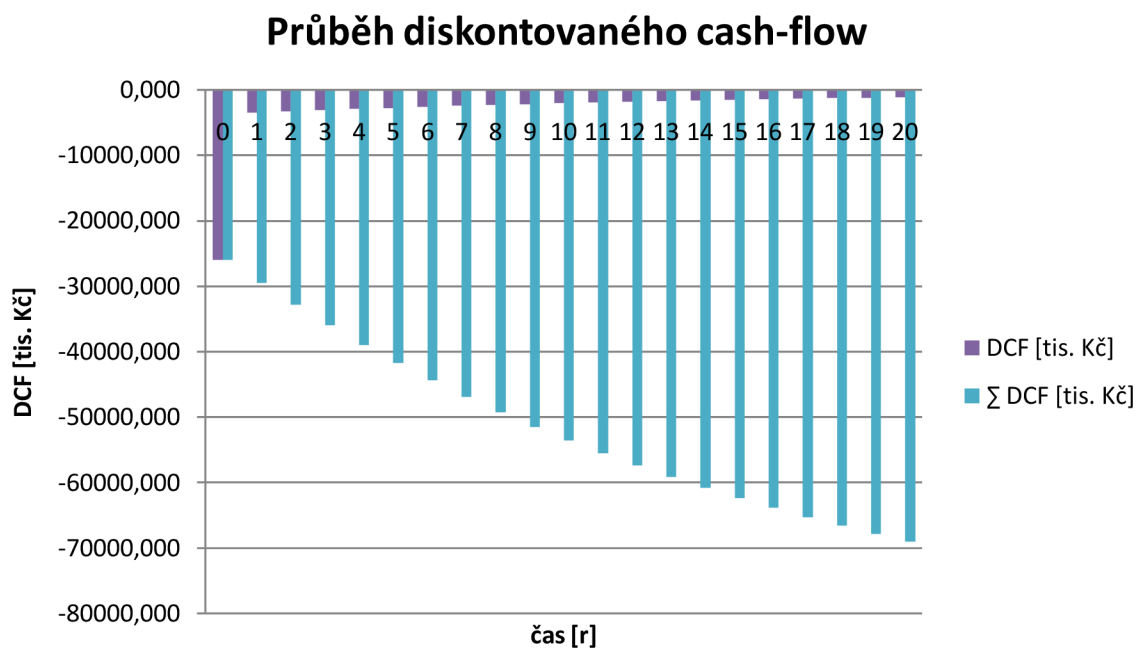
$T_s = \text{nemá řešení}$

Tabulka 13 Průběh cash-flow a diskontovaného cash-flow pro plynové kotle

d) Vnitřní výnosové procento IRR:

$$IRR = IRR_1 + \frac{\sum DCF_1}{\sum DCF_1 - \sum DCF_2} (IRR_2 - IRR_1) \quad (5)$$

Kvůli zápornému cash-flow nelze vnitřní výnosové procento vypočítat. V tomto případě IRR nemá řešení.



Graf 1 Průběh diskontovaného cash-flow pro plynové kotle

Provozní náklady mimo palivo se skládají z mezd zaměstnanců na obsluhu kotlů, servisu kotlů, měření a dalších režijních nákladů. Během dvaceti let provozu plynových kotlů se dle průběhu diskontovaného cash-flow investice navýší o více než 40 milionů Kč. Doba splatnosti a vnitřní výnosové procento nemají řešení.

Ekonomický výpočet plynového kotle Vitomax 200-LW a kogenační jednotky Tedom Quanto D1600 [39]

Typ motoru, KGJ	MWM Německo, Quanto D1600	
elektrický výkon	1560	kW
tepelný výkon	1576	kW
cena motorgenerátoru	16 184	tis. Kč
náklady na úpravu a připojení	12 947,2	tis. Kč
palivo	ZP	
výhřevnost	34	MJ/m ³ _N
životnost motoru	20	roků
měrná spotřeba paliva q ^E _{pal}	244,23	m ³ _N /MWh
Provozní údaje		
roční doba využití instalovaného výkonu	2680	hodin
provozní náklady mimo palivo	1 086,955	tis. Kč/r
Ekonomické údaje		
cena prodávaného tepla	263	Kč/GJ
cena el. energie	1297+(830+455)=2582	Kč/MWh
cena paliva	10	Kč/m ³ _N

Přípravné bilanční výpočty:

- roční výroba el. E: $E_r = P_{sv} \tau_r = 1,56 \cdot 2680 = 4\,180,8 \text{ MWh/r}$
- roční výroba tepla: $Q_r = 3,6 P_{max} \tau_r = 3,6 \cdot 1,576 \cdot 2680 = 15\,205,248 \text{ GJ/r}$

Roční tržby za:

- elektřinu $N_E = E_r c_E = 4180,8 \cdot 2582 = 10\,794,826 \text{ tis. Kč/r}$
 - teplo $N_Q = Q_r c_Q = 15205,248 \cdot 263 = 3\,998,980 \text{ tis. Kč/r}$
- Výnosy celkem $V = N_E + N_Q = \underline{14\,793,806 \text{ tis. Kč/r}}$

Roční výdaje za:

- palivo
 - roční spotřeba paliva $M_{pal}^r = E_r q_{pal}^E = 4180,8 \cdot 244,23 = 1\,021\,076,784 \text{ m}^3_{N/r}$
 - roční náklady na palivo $N_{pal}^r = M_{pal}^r c_{pal} = 1021076,784 \cdot 10 = 10\,021,077 \text{ tis. Kč/r}$
 - ostatní $N_{ost} = 1086,955 \text{ tis. Kč/r}$
- Provozní náklady celkem $N_p = N_{pal} + N_{ost} = 10021,077 + 1086,955 = \underline{11\,108,032 \text{ tis. Kč/r}}$

Cena elektrické energie 1297,- Kč je navýšena o dotaci na KVET o 1285,- Kč podle Věstníku Energetického regulačního úřadu pro rok 2015.

Ekonomická analýza

Cash-Flow v každém roce provozu:

$$CF = (V^{KOTEL} + V^{KGJ}) - (N^{KOTEL} + N^{KGJ}) = CF^{KOTEL} + CF^{KGJ}$$

$$CF = (22511,117 + 14793,806) - (26256,259 + 11108,032) = -59,368 \text{ tis. Kč}$$

rok	N_i [tis. Kč]	CF [tis. Kč]	DCF [tis. Kč]	\sum DCF [tis. Kč]
0	55108,543	-55108,543	-55108,543	-55108,543
1		-59,368	-56,00755	-55164,55
2		-59,368	-52,83731	-55217,39
3		-59,368	-49,84652	-55267,23
4		-59,368	-47,02502	-55314,26
5		-59,368	-44,36322	-55358,62
6		-59,368	-41,8521	-55400,47
7		-59,368	-39,48311	-55439,96
8		-59,368	-37,24822	-55477,21
9		-59,368	-35,13983	-55512,35
10		-59,368	-33,15078	-55545,5
11		-59,368	-31,27432	-55576,77
12		-59,368	-29,50408	-55606,28
13		-59,368	-27,83404	-55634,11
14		-59,368	-26,25852	-55660,37
15		-59,368	-24,77219	-55685,14
16		-59,368	-23,36999	-55708,51
17		-59,368	-22,04716	-55730,56
18		-59,368	-20,79921	-55751,36
19		-59,368	-19,6219	-55770,98
20		-59,368	-18,51122	-55789,49

a) Diskontované Cash-Flow:

$$DCF = \frac{CF}{(1+d)^r}$$

$d \rightarrow$ diskontní sazba

$$d = 0,06$$

b) Splatnost

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{55108,543}{-59,368}$$

$T_0 =$ nemá řešení

c) Doba splatnosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 d}}{\ln(1 + d)}$$

$T_s =$ nemá řešení

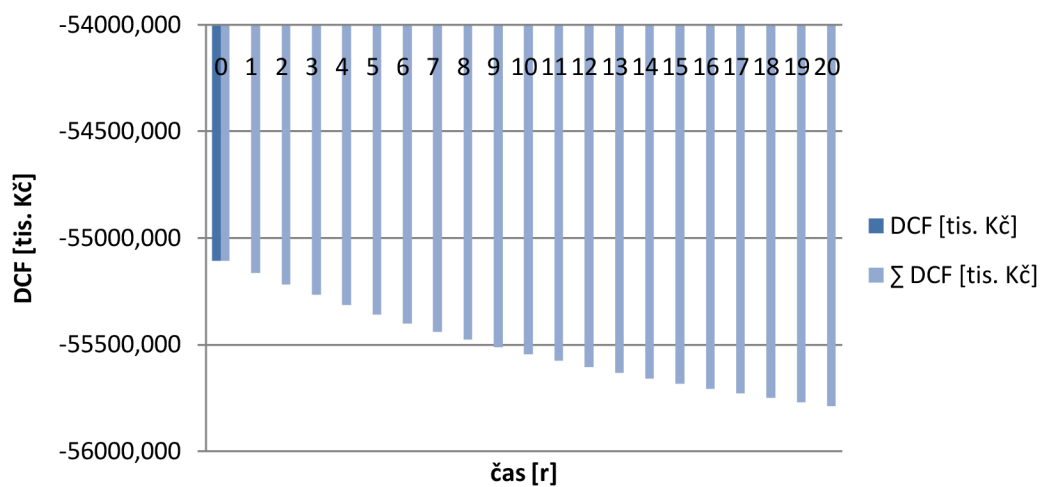
Tabulka 14 Průběh cash-flow a s diskontovaného cash-flow pro plynové kotle a kogeneraci

d) Vnitřní výnosové procento IRR:

$$IRR = IRR_1 + \frac{\sum DCF_1}{\sum DCF_1 - \sum DCF_2} (IRR_2 - IRR_1)$$

Také v tomto případě nemá IRR řešení, jelikož je záporné cash-flow.

Průběh diskontovaného cash-flow



Graf 2 Průběh diskontovaného cash-flow pro plynové kotle a kogeneraci

Průběh diskontovaného cash-flow pro kotelnu s plynovými kotli i kogenerací ukazuje, že během dvaceti let provozu se investice navýší o necelých 681 tis. Kč. Výnosy z kogenerace nejsou tak výrazné oproti nákladům a ani doba splatnosti, ani vnitřní výnosové procento v tomto případě nemá řešení. Stejně jako u instalace samostatných kotlů.

Vysoké učení technické v Brně
FSI, Energetický ústav
Natálie Filoušová

7 Závěr

Hlavním a rozhodujícím důvodem výměny stávajících funkčních hnědouhelných kotlů byly zpřísnující se emisní limity dané vyhláškou 415/2012 Sb. Limity platné od 1. 1. 2018 by staré kotle nebyly schopné plnit. Na toto zpřísnění musela firma PBS Velká Bíteš reagovat a to buď instalací nových HU kotlů a odsiřovacího zařízení nebo zvolením ekologičtějšího paliva. Právě k této možnosti se společnost nakonec přiklonila. Doplňkové čištění spalin by vycházelo finančně mnohem hůře.

Celková plynofikace kotelny včetně rekonstrukce rozvodů a přechodu z parovodů na teplovody přispěly k modernizaci a redukci tepelných ztrát celé sítě. Dodávku kotlů o celkovém výkonu 2 x 4 MW zajistila společnost Viessmann instalací dvou plynových kotlů Vitomax 200-LW. Tyto kotle jsou vybaveny nízkoemisním hořákem Riello RS 510/E TC BLU, který garantuje produkci emisí NO_x 80 mg/m³_N. Celkovou účinnost pak vylepšují kondenzační spalinové výměníky na přdehřev napájecí vody o 4 %. Koncepce dvou kotlů nejlépe vyhovovala prostorám stávající kotelny, proto byla zvolena právě tato varianta.

Při realizaci centrální kotelny se také uvažovalo o instalaci kogenerační jednotky jako o ekologickém a legislativně podporovaném zdroji tepelné i elektrické energie. Vypracováno bylo několik možných nabídek od firem, přičemž nejvíce by vyhovovala nabídka od firmy Tedom. Důvodem byla dostupná cena kogenerace Quanto D1600 a blízkost servisu. Efektivnost této varianty je zhodnocena v ekonomickém posudku.

Při instalaci samotných kotlů činí počáteční investice se započtením dotace 20 mil. Kč pouhých 25 977,343 tis. Kč. Během dvaceti let provozu se však tato investice navýší na částku 68 933,83 tis. Kč. Což je nárůst o 42 956,487 tis. Kč. Oproti tomu při instalaci kogenerace spolu s kotli je počáteční investice 55 108,534 tis. Kč. Během dvaceti let provozu sice výnosy z prodeje vyrobené elektrické energie nepřevýší náklady, nicméně navýšení investice je o pouhých 680,956 tis. Kč, tedy na 55 789,49 tis. Kč. Přestože je při instalaci kogenerace počáteční investice více než dvojnásobná oproti samostatným kotlům, ve výhledu dvaceti let se ukazuje jako velmi výhodná. Společnost touto cestou může ušetřit 13 144,34 tis. Kč. Z tohoto pohledu jednoznačně instalaci kogenerace doporučuji. Hlavní nevýhodou v tomto modelu jsou případné náklady na opravu poruchovější kogenerace, jako složitějšího zařízení. Spolehlivý a nenáročný provoz kotlů toto riziko nemá. Z toho důvodu a z důvodu možnosti čerpání dotace pouze pro výměnu HU kotlů za plynové se společnost rozhodla kogeneraci nezařazovat a nakoupila pouze plynové kotle.

Kogenerační jednotka může být v budoucnu kdykoliv doplněna. Stejně tak jako využití odpadního tepla z výroby, které zde není posuzováno. Rozhodně by se tím však snížili náklady na palivo. Pozitivní je, že vlivem změn v legislativě jsou společnosti nuceny snižovat dopad na životní prostředí a tím jej chránit. Velký důraz je však kladen na větší firmy a energetické celky. Přitom velké škody na znečišťování ovzduší páchají právě malé domácí kotle. Zpřísnování jejich limitů je taktéž na místě.

Vysoké učení technické v Brně
FSI, Energetický ústav
Natálie Filoušová

Seznam použité literatury

- [1] PBS Velká Bíteš. [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://www.pbsvb.cz/>
- [2] KATOLICKÁ, Iveta. PBS VELKÁ BÍTEŠ. *Tabulky energií 2014*. Velká Bíteš, 2015
- [3] ING. MIKITOVÁ, Hana. *Souhrnná technická zpráva*. Brno, 2011.
- [4] ING. KABEŠ, CSC., Stanislav. *Energetický audit: Plynofikace centrální uhelné kotelny areálu PBS*. Brno, 2014.
- [5] MGR. BUCEK, Jakub. BUCEK S.R.O. *Ekologizace a modernizace HU kotlů PBS Velká Bíteš, a.s.* Brno, 2014.
- [6] ING. VODEHNAL, Libor. AITEC S.R.O. *Technická zpráva*. Vilémovice, 2014.
- [7] ING. ZÁLEŠÁK, CSC., Martin. *Energetický audit: Upřesnění podle skutečného stavu*. Zlín, 2010.
- [8] ING. BALÁŠ, PHD., Marek. *Ochrana životního prostředí: Nečistoty ve spalínách*. Brno, 2015.
- [9] *Tvorba škodlivin při spalování* [online]. Ostrava [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/tvorba.pdf>. Elektronická přednáška. Technická univerzita Ostrava.
- [10] DOC. ING. HEMERKA, CSC. a PROF. ING. HRDLIČKA, CSC. Emise z kotelen a ochrana ovzduší (I). *TZB-info* [online]. 2004 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2294-emise-z-kotelen-a-ochrana-ovzdusi-i>
- [11] Česká republika. O přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: *415/2012 Sb.* 2012.
- [12] Česká republika. O ochraně ovzduší. In: *201/2012 Sb.* 2012.
- [13] *Projekt "Rekonstrukce tepelného hospodářství PBS Velká Bíteš"*. 2014.
- [14] BC. NAVRÁTIL, Pavel, Ing. Petr CUNDA, Ing. Zdeněk STEINER a Ing. Vladimír PŮČEK. *Posouzení "Studie proveditelnosti zásobování teplem areálu PBS V. Bíteš"*. Brno, 2013.
- [15] BC. WOLF, Pavel a Ing. Karel VAŘÍLEK. *Rekonstrukce kotelny: Zpráva pro představenstvo červen 2013*. Velká Bíteš, 2013.

- [16] BC. WOLF, Pavel a Ing. Karel VAŘÍLEK. *Rekonstrukce kotelny PBS Velká Bíteš, a.s.: Zpráva pro představenstvo duben 2013*. 2013, Velká Bíteš.
- [17] ING. ŠTĚBETÁK, Karel. *Tepelné zásobování areálu PBS Velká Bíteš a.s.* Dačice, 2013.
- [18] ING. ŠTĚBETÁK, Karel. *Tepelné zásobování areálu PBS Velká Bíteš a.s.: 1. Dodatek*. Dačice, 2013.
- [19] *Přepočet investičních nákladů - varianta 3: Teplovodní centrální plynová kotelna 3x2,0 MW, PBS Velká Bíteš*. Velká Bíteš, 2014.
- [20] ING. REITKNECHT, Jiří a Ing. Filip KUPKA. BRES SPOL. S.R.O. *Ekologizace a modernizace HU kotlů - PBS Velká Bíteš, a.s.: Souhrnná technická zpráva*. Brno, 2014.
- [21] ING. REITKNECHT, Jiří a Ing. Filip KUPKA. BRES SPOL. S.R.O. *Ekologizace a modernizace HU kotlů - PBS Velká Bíteš, a.s.: Plynová kotelna SO 01*. Brno, 2014.
- [22] Viessmann Vitomax 200-LW. *Menergo* [online]. 2014 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://www.menergo.cz/energeticke-stavby/kotle/velke-kotle/viessmann-vitomax-200-lw/>
- [23] BC. PTÁČEK, Martin. *Kogenerační jednotka*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
- [24] ING. ŠTĚBETÁK, Karel. *Využití odpadního tepla z technologických provozů v areálu PBS Velká Bíteš a.s.* Dačice, 2013.
- [25] O nás. *Amper Savings* [online]. 2015 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <http://www.ampersavings.cz/o-ampersavings>
- [26] ING. ALDORF, Leoš. AMPER SAVINGS. *Cenová nabídka na dodávku tepla z kogeneračních jednotek pro PBS Velká Bíteš, a.s.* Brno, 2014.
- [27] Profil společnosti. E.ON. *E.ON Trend* [online]. 2015 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.eon-trend.cz/cs/o-spolecnosti/profil-spolecnosti.shtml>
- [28] ING. SEKANINA, Martin. E.ON TREND. *Instalace kogenerační jednotky PBS Velká Bíteš, a.s.: Indikativní nabídka spolupráce*. České Budějovice, 2014
- [29] Spheres of action. AB GROUP. *AB* [online]. 2010 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: http://www.gruppoab.it/en/About_us/spheres_of_action.asp

- [30] *Technical Discription JGS 420 GS-N.L.* Mannheim, 2014.
- [31] Naše filozofie. *Tedom* [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/hp-o-nas.html>
- [32] NOVOTNÝ, Dalibor. TEDOM A.S. *Nabídka kogenerační jednotky Tedom č. M04514: Tedom Quanto D1600 SP PK.* Třebíč, 2014.
- [33] TEDOM A.S. *Navržená KJ Quanto D1600.* Třebíč, 2014.
- [34] *Tedom Quanto D1600: Technická specifikace.* Třebíč, 2014.
- [35] O nás. *Ineco* [online]. 2011 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.inecosro.cz/cs/2/o-nas>
- [36] BUKOVSKÝ, Igor. INECO S.R.O. *Kogenerační jednotka s motorem MWM na zemní plyn - PBS Velká Bíteš.* Praha, 2014
- [37] ŠŤASTNÁ, Jarmila. SAKO Brno: Jsme v poslední fázi projektu. *Odpady* [online]. 2011 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/sako-brno-jsme-v-posledni-fazi-projektu/>
- [38] ING. REITKNECHT, Jiří a Ing. Filip KUPKA. BRES SPOL. S .R O. *Ekologizace a modernizace HU kotlů - První brněnská strojírna Velká Bíteš, a.s.: Dokumentace skutečného provedení stavby.* Brno, 2014.
- [39] KRBEK, Jaroslav. *Strojní zařízení tepelných centrál: návrh a výpočet.* 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1999, 217 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1334-4.

Seznam obrázků

Obrázek 1 <i>Pohled na areál společnosti PBS Velká Bíteš</i> [fotodokumentace PBS VB].....	16
Obrázek 2 <i>Umístění kotelny v areálu PBS VB</i> [4].....	18
Obrázek 3 <i>Situování objektů v areálu PBS VB a umístění kotelny v areálu se znázorněnými rozvody</i> [výkresová dokumentace PBS VB].....	19
Obrázek 4 <i>Fotodokumentace původní kotelny s příslušenstvím</i> [4].....	21
Obrázek 5 <i>Tvorba CO a NOx v závislosti na množství kyslíku</i> [9].....	25
Obrázek 6 <i>Rozmístění devíti kotelen a nových rozvodů v areálu</i> [4].....	30
Obrázek 7 <i>Rozmístění pěti kotelen a nových rozvodů</i> [výkresová dokumentace PBS VB].....	31
Obrázek 8 <i>Situace centrální plynové kotelny a nových rozvodů</i> [výkresová dokumentace PBS].....	34
Obrázek 9 <i>Kotel Vitomax200-LW</i> [22].....	38
Obrázek 10 <i>Zapojení kotle</i> [22].....	38
Obrázek 11 <i>Boční pohled na kotelnu</i> [výkresová dokumentace PBS VB].....	39
Obrázek 12 <i>Zadní pohled na kotle a přívodní potrubí</i> [výkresová dokumentace PBS VB].....	40
Obrázek 13 <i>Roční hodinový provoz KGJ Amper Savings</i> [26].....	42
Obrázek 14 <i>Výroba tepla z KGJ E.ON Trend</i> [28].....	43
Obrázek 15 <i>Výroba tepla z KGJ Tedom</i> [33].....	44

Seznam tabulek

Tabulka 1 <i>Naměřené emisní látky na HU kotlích za rok 2011</i> [4].....	23
Tabulka 2 <i>Sazby za produkci jednotlivých polutantů za rok 2012</i> [4].....	23
Tabulka 3 <i>Specifické emisní limity platné do 31. prosince 2017</i> [11].....	27
Tabulka 4 <i>Instalované výkony jednotlivých kotelen decentralizace</i> [4].....	29
Tabulka 5 <i>Snížení emisí v rámci decentralizace s plynovými kotli</i> [4].....	30
Tabulka 6 <i>Instalované výkony jednotlivých kotelen</i> [17].....	31
Tabulka 7 <i>Možná finanční úspora při využití odpadního tepla</i> [18].....	33
Tabulka 8 <i>Specifické emisní limity pro zdroje na zemní plyn (výkon 0,3 MW-50 MW)</i> [11].....	36
Tabulka 9 <i>Snížení emisí v rámci centrální kotelny 2x4 MW</i> [4].....	36
Tabulka 10 <i>Srovnání základních provozních a investičních nákladů hlavních variant</i> [15] [4].....	37
Tabulka 11 <i>Potřebné množství spalovacího vzduchu</i> [20].....	39
Tabulka 12 <i>Srovnání variant instalace kogenerační jednotky</i>	45
Tabulka 13 <i>Průběh cash-flow a diskontovaného cash-flow pro plynové kotle</i>	47
Tabulka 14 <i>Průběh cash-flow a diskontovaného cash-flow pro plynové kotle a kogeneraci</i>	50

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Název
PBS VB	-	První brněnská strojírna Velká Bíteš
SAKO Brno	-	Spalovna a komunální odpady Brno
EU	-	Evropská unie
KVET	-	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
TUV	-	Teplá užitková voda
K	-	Kotel
TZL	-	Tuhé znečišťující látky
NO _x	-	Oxidy dusíku
SO ₂	-	Oxid siřičitý
CO	-	Oxid uhelnatý
CO ₂	-	Oxid uhličitý
CH ₄	-	Methan
HU	-	Hnědouhelný
VOC	-	Volatile organic compound
WHO	-	World Health Organization
STL	-	Středotlaký
NTL	-	Nízkotlaký
ZL	-	Znečišťující látky
ZP	-	Zemní plyn
ELTO	-	Extra lehký topný olej
DLT	-	Divize letecké techniky
KGJ	-	Kogenerační jednotka
t _e	[°C]	Venkovní teplota
t _i	[°C]	Vnitřní teplota
C _T	[Kč/GJ]	Cena tepla
C _{ZP}	[Kč/m ³]	Průměrná cena zemního plynu
H _{ZP}	[MJ/m ³]	Výhřevnost zemního plynu
η	[%]	Účinnost
P _E	-	Koeficient změny příspěvku z KVET
P _{sv}	[MW]	Svorkový výkon
τ _r	[h/r]	Roční doba využití instalovaného výkonu
P _{max}	[MW]	Maximální tepelný výkon
E _r	[MWh/r]	Roční výroba elektrické energie
Q _r	[GJ/r]	Roční výroba tepla
N _E	[Kč/r]	Roční tržby za elektřinu
N _Q	[Kč/GJ]	Roční tržby za teplo
c _E	[Kč/MWh]	Cena elektrické energie
c _Q	[Kč/GJ]	Cena prodáváného tepla
V	[Kč/r]	Výnosy za rok
M ^r _{pal}	[m ³ _N /r]	Roční spotřeba paliva
q ^E _{pal}	[m ³ _N /MWh]	Měrná spotřeba paliva
N _{pal}	[Kč/r]	Roční náklady na palivo
c _{pal}	[Kč/m ³ _N]	Cena paliva

Zkratka/Symbol	Jednotka	Název
N_{ost}	[Kč/r]	Provozní náklady mimo palivo
N_p	[Kč/r]	Provozní náklady celkem
CF	[Kč/r]	Cash-flow
DCF	[Kč/r]	Diskontované cash-flow
d	-	Diskontní sazba
N_i	[Kč]	Počáteční investice
T_0	-	Splatnost
T_s	[r]	Doba splatnosti
IRR	[%]	Vnitřní výnosové procento