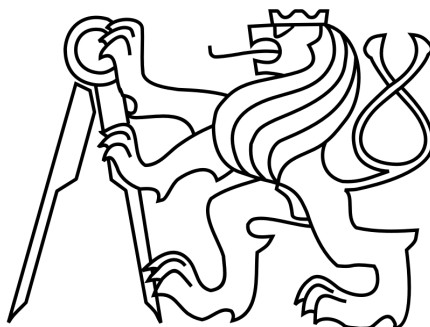


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
MASARYKŮV ÚSTAV VYŠŠÍCH STUDIÍ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Praha 2017**

**Ing. Bc. Radek Jirků**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Masarykův ústav vyšších studií**

## **Hodnocení investičního projektu**

### **Investment evaluation**

Diplomová práce

Studijní program: Podnikání a komerční inženýrství v průmyslu

Studijní obor: Podnikání a management v průmyslu

Vedoucí práce: doc. Ing. Vacík Emil, CSc.

**Ing. Bc. Radek Jirků**

---

**Praha 2017**

JIRKŮ, Radek. *Hodnocení investičního projektu*. Praha: ČVUT 2017. Diplomová práce.  
České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne:

podpis: .....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především mému vedoucímu diplomové práce doc. Emilu Vacíkovi za jeho věcné připomínky, dobré rady a perfektní komunikaci. Dále bych chtěl poděkovat partnerce, která měla strpení a dávala mi podporu během samotné tvorby.

## **Abstrakt**

Cílem této práce je komplexní vyhodnocení investičního projektu do energetického zdroje pro zásobování konkrétní lokality teplem.

V práci je částečně zpracovaná teorie zásobování teplem, dále je detailně rozebrána ekonomika možných variant a jejich financování. Na závěr je provedeno vyhodnocení a doporučení vhodné varianty investorovi.

## **Klíčová slova**

Investiční rozhodování, topení, financování projektu, multikriteriální rozhodování

## **Abstract**

The aim of the thesis is to evaluate investment project into energy source of central heating system.

In the thesis there is theoretical background for central heating systems. In the next steps there are economical evaluation of possible options and their financing. At the end of the thesis there is an overall evaluation and recommendation of appropriate option to the investor.

## **Key words**

Investment decision, heating systems, project financing, multi-criteria decision making

## Obsah

Úvod.....	1
Zásobování teplem .....	3
Potřeba tepla pro vytápění a větrání .....	3
Tepelná ztráta budovy .....	4
Potřeba tepla pro ohřev TV .....	4
Potřeba tepla pro technologické účely.....	4
Tepelné ztráty tepla v rozvodech CZT .....	5
Celková potřeba tepla .....	5
Vliv zateplení na spotřebu a dodávky tepla.....	6
Zdroje CZT .....	8
Výtopny .....	8
Teplárny.....	8
Rozdělení tepelných sítí CZT .....	11
Parní síť .....	11
Horkovodní a teplovodní síť .....	11
Cíl práce .....	12
Historie teplárny.....	13
Analýza současného stavu teplárny .....	14
Výrobní technologie teplárny.....	14
Analýza spotřeby tepla.....	15
Analýza odběratelů.....	15
Hodinová spotřeba tepla .....	16
Celková spotřeba tepla.....	19
Investiční projekt nového zdroje teplárny.....	20
Technické řešení .....	20
Optimální rozdělení tepelných výkonů.....	20
Emisní limity .....	21

Emisní limity platné do 31. 12. 2017 .....	22
Emisní limity platné od 1. 1. 2018 .....	23
Porovnání emisních limitů .....	23
Přehled tepláren, kterých se nové limity dotýkají .....	26
Popis variant a vymežujících parametrů řešení.....	27
Varianta 1 .....	28
Varianta 2 .....	29
Varianta 3 .....	30
Varianta 4 .....	30
CAPEX technických řešení.....	31
CAPEX Varianta 1 .....	31
CAPEX Varianta 2 .....	31
CAPEX Varianta 3 .....	31
CAPEX Varianta 4 .....	31
Ekonomické zhodnocení technických řešení .....	32
Výpočet ceny tepla.....	32
Bilance tepla .....	33
Zhodnocení výsledků ceny tepla a jednotlivých variant.....	38
Možnosti financování investičního projektu.....	41
Výpočet IRR projektu .....	48
Srovnání IRR a možností financování projektu .....	49
Vyhodnocení variant a doporučení pro výběr nejvhodnější varianty .....	50
Vícekriteriální hodnocení variant.....	50
Teoretická východiska.....	50
Nejdůležitější pojmy: .....	50
Volba vah – metoda pořadí .....	51
Bodové ohodnocení variant.....	51
Praktická část.....	53
Stanovení vah kritérií na základě metody pořadí .....	54

Bodové ohodnocení variant u jednotlivých kritérií.....	54
Výsledné vyhodnocení preferovaných variant .....	55
Detailní analýza nejlepších variant .....	56
Závěr .....	61
Zdroje .....	62
Přílohy.....	63
Seznam příloh:.....	63



## Seznam obrázků

Obr. 1 Diagram ročního trvání potřeby tepla. Zdroj [3]. .....	6
Obr. 2 Otopná soustava zatepleného panelového domu, zdroj [8] .....	7
Obr. 3 Definice teplotního součinitele. Zdroj [4].....	9
Obr. 4 Hodinová spotřeba tepla v lokalitě. Zdroj: data teplárny.....	15
Obr. 5 Hodinová spotřeba tepla v lokalitě. Zdroj: data teplárny.....	17
Obr. 6 Spotřeba významných zákazníků. Zdroj: data teplárny.....	19
Obr. 7 Porovnání limitů pro uhlí.....	24
Obr. 8 Porovnání limitů pro biomasu.....	24
Obr. 9 Porovnání limitů pro zemní plyn .....	25
Obr. 10 Mapa teplotních závodů nad 50 MWt [10].....	26
Obr. 11 Minimální doba odepisování majetku. Zdroj: ERÚ.....	32
Obr. 12 Financování vlastním kapitálem .....	42
Obr. 13 Financování cizím kapitálem – splátkový kalendář.....	43
Obr. 14 Financování cizím kapitálem – investiční úvěr .....	44
Obr. 15 Financování cizím kapitálem – postoupení pohledávky.....	44
Obr. 16 Financování cizím kapitálem – operativní leasing .....	45

## Seznam tabulek

Tab. 1 Optimální hodnoty teplotenského součinitele, Zdroj [4] .....	10
Tab. 2 Požadovaný tepelný výkon, zdroj: data teplárny .....	18
Tab. 3 Národní přechodný plán snižování emisí tepláren [9] .....	22
Tab. 4 Emisní limity platné do 31. 12. 2017 [10] .....	22
Tab. 5 Emisní limity platné od 1. 1. 2018 [10]. .....	23
Tab. 6 Souhrn informací jako vstup do výpočtu ceny tepla.....	33
Tab. 4 Náhled výstupu z výpočtu dodaného tepla zařízením - základní zatížení	34
Tab. 8 Bilance tepla .....	35
Tab. 9 Srovnání instalované kapacity a užitečné dodávky tepla.....	35
Tab. 10 Ceny a základní nákladové údaje zařízení .....	36
Tab. 11 Výrobní náklady zdrojů .....	37
Tab. 12 Celková cena tepla ze zdrojů .....	37
Tab. 13 Přehled možností financování projektu .....	47
Tab. 14 Cash Flow investic .....	48
Tab. 15 Vnitřní výnosové procento investic .....	48
Tab. 16 Vnitřní výnosové procento investic .....	49
Tab. 17 Stanovení vah kritérií.....	54
Tab. 18 Bodové ohodnocení kritérií .....	54
Tab. 19 Výsledné vyhodnocení vhodné varianty .....	55
Tab. 20 Analýza vstupních předpokladů.....	58
Tab. 21 QSPM matice .....	60

**Použité značení**

$b_i$		Bodové ohodnocení kritéria
$CAPEX$	Kč	Capital Expenditure – finanční výdaj
$CZT$		Centrální zásobování teplem
$CF$	Kč	Cash Flow – peněžní tok
$D$		Vytápěcí denostupně
$ERÚ$		Energetický regulační úřad
$i_p$	J	Entalpie páry
$i_v$	J	Entalpie vody
$IRR$	%	Internal Rate of Return
$IN$	Kč	Výše investice
$KVET$		Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
$K_i$		Kritérium pro rozhodování
$M_p$	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	Hmotnostní průtok páry
$M_v$	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	Hmotnostní průtok
$MWt$		Tepelné megawatty
$n$		Doba životnosti investice
$OPEX$	Kč	Operating expense – provozní náklady
$Pt$	MW	Průměrný tepelný výkon, který byl po dobu jedné hodiny dodáván do sítě
$q$	$^{\circ}\text{C}$	Změna entalpie vody
$q$	$\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$	Tepelná charakteristika objektu
$Q_{vyt}$	GJ	Potřeba tepla pro vytápění
$Q_C$	kW	Tepelná ztráta objektu
$Q_{proj}$	kW	Tepelná ztráta budovy
$Q_t$	MW	Tepelný výkon teplárny
$Q_{max}$	MW	Maximální požadovaný odběr tepla soustavou CZT
$Q$	kW	Tepelný výkon
$Q_{vyr}$	GJ	Množství tepla, které bylo dodané v téže hodině jako Pt do sítě
$t_{out}$	$^{\circ}\text{C}$	Vnější teplota
$t_{is}$	$^{\circ}\text{C}$	Průměrná vnitřní teplota objektu
$t_{es}$	$^{\circ}\text{C}$	Střední venkovní teplota

<i>TZL</i>		Tuhé znečišťující látky
<i>TV</i>		Teplá užitková voda
$v_i$		Váha daného kritéria
<i>V</i>	$m^{-3}$	Objem vzduchu v budově
$\alpha$		Teplárenský součinitel
$\varepsilon$		Opravný součinitel pro výpočet potřeby tepla pro vytápění
$\eta_o$		Opravný součinitel pro výpočet potřeby tepla pro vytápění
$\eta_r$		Opravný součinitel pro výpočet potřeby tepla pro vytápění

## Úvod

*„Investice nejsou pro vzdělaného investora rizikové.*

*Hlavním rizikem je nevzdělaný investor.“*

Robert Kiyosaki

Každý investor musí projít investičním rozhodováním s následným vyhodnocením zvolené investice, ať už se pohybuje na „divokém“ akciovém trhu, kde každý den je nejistý, nebo na relativně „poklidném“ poli energetiky, kdy investice mají sloužit obyvatelstvu po desítky let. V této diplomové práci se budu zabývat právě těmi poklidnějšími vodami, tedy dlouhodobou investicí v energetickém sektoru, konkrétněji do obnovy zastaralé technologie centrálního zásobování teplem (CZT).

Centrální zásobování teplem v sobě zahrnuje výrobu a rozvod tepelné energie ze zdroje tepla ke spotřebiči. Zdrojem tepla je všeobecně zařízení (nejčasněji výtopna nebo teplárna) určené k přeměně chemické energie vázané v palivu na tepelnou energii a její účinné předání do teplonosné látky rozvodné soustavy. V té pak koluje médium určené pro přenos tepla do míst spotřeby. Z ekonomických i ekologických důvodů a v neposlední řadě také fyzikálních vlastností se jako médium pro přenos používá téměř výlučně voda nebo vodní pára.

Samotný systém CZT má spoustu výhod i nevýhod. Je složený z jednotlivých komponent, které je třeba navrhovat, projektovat a optimalizovat přímo pro příslušnou lokalitu s daným či předpokládaným odběrem tepla o určitých parametrech a médiích. Pro jiné účely se používá jako zdroj teplárna s parní rozvodnou sítí a pro jiné účely je pouze výtopna s horkovodním rozvodem.

Na straně spotřebičů tepla je velmi často průmysl, kvůli kterému bývají budovány celé teplárenské celky. S rozvojem sídlišť se teplárny začaly budovat pro zásobování teplem bytové sféry. Dnes je teplem z CZT zásobováno 38,1 % [6] domácností, přičemž budoucnost CZT je nejistá právě z důvodu, že celý tento systém zásobování teplem je příliš složitý a výsledná cena tepla pro koncového uživatele často výrazně převyšuje oportunitní cenu lokálních zdrojů. Většina systémů CZT byla stavěna v období mohutné výstavby sídlišť a průmyslových areálů, proto jsou dnes na mnohých

lokalitách zastaralé nejen teplárny (případně výtopny), ale i rozvody a tepelné izolace. S tím je spojená nutnost častých oprav a vysokých investic. Ty pak zvyšují cenu tepla pro koncového zákazníka, který je na druhé straně přemlouván důmyslně promyšlenou marketingovou strategií k přechodu na jiné druhy vytápění založené na tzv. decentralizaci tepelných zdrojů.

Ve prospěch CZT ve velkém ukazuje celkový koncept řešení vytápění. Malé domovní zdroje při decentralizaci zdrojů jsou dle ekologických hnutí přínosné pro nižší popílkovatosť a celkové nižší znečištění ovzduší v krajině. Žádné prokazatelné studie ovšem neexistují a lokální zatížení smogem a vyšší koncentrací CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a dalších znečišťujících látek by v osídlených místech při větší decentralizaci jistě nebylo žádoucí.

Zachování koncepce CZT v České republice je tedy nezbytnou nutností pro základní chod státu, blaho jeho obyvatel a vyváženou environmentální politiku.

## Zásobování teplem

Zásobování teplem je v podstatě uspokojování potřeb pro vytápění, větrání, klimatizaci, ohřev teplé užitkové vody (TV), pro různé technologické procesy apod. V závislosti na portfoliu odběratelů tepla je maximální potřebná teplota předávky 400 °C.

Z hlediska zásobování teplem rozeznáváme zásobování bytově komunální sféru a zásobování teplem sféru průmyslovou. V porevolučním období však dochází k útlumu těžkého průmyslu a napojení průmyslových podniků na CZT. Mění se tak maximální požadovaná teplota dodávky, celková potřeba tepla dodávaného teplárnou a i ekonomie celého systému.

Zásobování teplem je složitá a náročná technickoekonomická úloha, zejména vzhledem k požadavkům maximální výnosnost investice a dosažení přísných ekologických požadavků. I v tomto odvětví platí zákon úspor z rozsahu a tedy větší tepelné zdroje jsou obvykle ekonomičtější v případě jejich plného využití. Toto tvrzení však neplatí obecně a je třeba provést důkladnou studii proveditelnosti, ekonomické studie a posouzení vlivu na životní prostředí u každého konkrétního projektu.

Celkové zásobování teplem určité oblasti se skládá z pokrytí tepelných nároků na vytápění a větrání budov, ohřev TUV, tepla pro technologické účely (je-li třeba) a pokrytí tepelných ztrát rozvodů CZT.

### Potřeba tepla pro vytápění a větrání

Základním teoretickým výpočtem roční potřeby tepla určité budovy je tzv. denostupňový výpočet potřeby tepla:

$$Q_{vyt} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon \cdot 24 \cdot Q_C \cdot D / (\eta_o \cdot \eta_r \cdot (t_{is} - t_{es})), \quad (1)$$

kde  $\varepsilon$ ,  $\eta_o$  a  $\eta_r$  jsou opravné součinitele,  $Q_C$  je celková tepelná ztráta,  $D$  jsou vytápěcí denostupně,  $t_{is}$  je průměrná vnitřní teplota a  $t_{es}$  je střední venkovní teplota. V tomto výpočtu se zohledňují nejen tepelné ztráty budovy, ale i nepravidelnost otopu. Problém této metody výpočtu potřeby tepla je především v tom, že do jeho výpočtu vstupuje hodnota tepelné ztráty objektu a také nepravidelnost zátopy, kdy je potřeba počítat s přírůzkou na zvýšenou spotřebu tepla vychladlých stěn při zátopy apod. Oba tyto údaje vstupující do výpočtu jsou tedy obyvatelé budovy schopni podstatně

ovlivnit. Podrobná metodika výpočtu je uvedena v normách jako např. ISO 13790. Tato práce však není zaměřena na techniku výpočtu potřeby tepla pro vytápění, nebudu se tím dále zabývat.

### **Tepelná ztráta budovy**

Výpočet tepelné ztráty budovy a jeho přesnost závisí hlavně na použité metodě výpočtu. Nejzákladnějším, nejjednodušším, ale také nejméně přesným výpočtem je vztah:

$$Q_{proj} = q \cdot V \cdot (t_{is} - t_{out}) \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

kde  $q$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$ ] je tepelná charakteristika objektu,  $V$  je objem vzduchu v budově a  $t_{out}$  je vnější teplota.

Určení teplot uvnitř a vně budovy je poměrně přesné, stejně i objem vzduchu v budově. Problém nastává s neznámou  $q$ , která je jakýsi průměr z jednotlivých koeficientů prostupu tepla skrz zdi, stropy, podlahy, podsklepení budovy, částečné či celkové zateplení venkovních stěn apod. Vzhledem k tomu, že každá tato část budovy má zcela jiné tepelné charakteristiky, i výsledná tepelná ztráta je pouze přibližná. Pro přesné stanovení tepelné ztráty budovy je nutné využít výpočtové programy.

### **Potřeba tepla pro ohřev TV**

Dříve platná norma ČSN 06 0320 Ohřívání vody platila pro projektování zařízení k ohřevu TV. Nyní se ve většině případů při projektování vychází z letitých zkušeností projektanta a tedy i dimenzování probíhá na základě zkušeností. Projektanti ve firmě Regulus udávají spotřebu 40 l/os.den TV, přičemž ohřev je prováděn z teploty 10 °C na 55 °C. I tak je toto množství TV z vlastních zkušeností předimenzované.

### **Potřeba tepla pro technologické účely**

Základní myšlenkou pro určení potřeby tepla pro technologii jsou měrné spotřeby tepla např. na jeden určitý výrobek a jeho hodinovou produkci. V praxi je ale potřeba tepla stanovena konkrétní technologií.

V této práci se budu zabývat potřebou tepla pro technologické účely z historických dat lokality, avšak vzhledem k úplnému útlumu spotřeby tepla pro



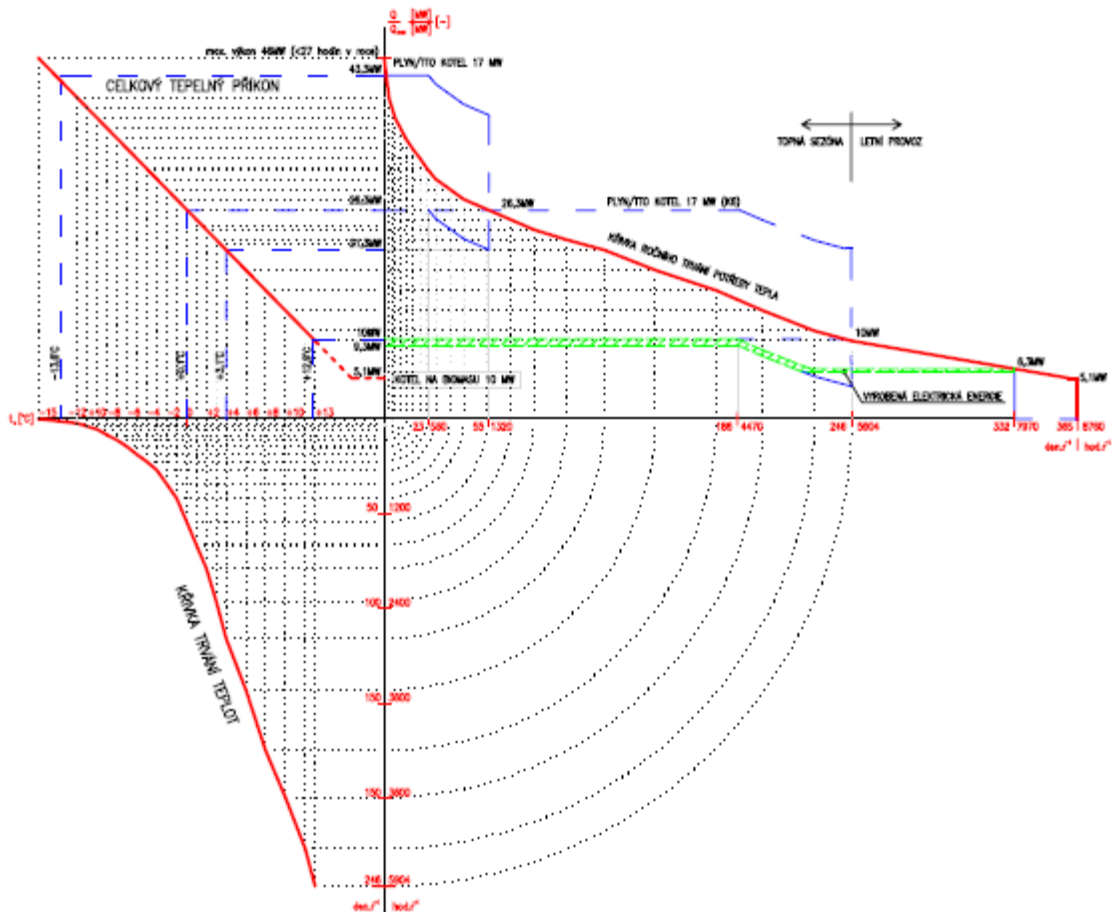
technologii v posledních letech nebude v investičních výpočtech tato hodnota vystupovat.

### **Tepelné ztráty tepla v rozvodech CZT**

Tepelné ztráty tepla v rozvodových sítích a předávacích stanicích jsou velice důležité pro celkovou spotřebu tepla daného zdroje a tím i celkovou ekonomiku provozu. Průměrné tepelné ztráty v rozvodech, jak uvedl Ing. Večeřa z ERÚ na teplotní konferenci 20. dubna 2012, dosahovaly v roce 2011 neuvěřitelných 17,5 % [6] veškeré dodávané tepelné energie. Tato situace byla částečně způsobena masivní podporou snížení tepelných ztrát budov na straně zákazníků (dotační programy jako např. Zelená úsporám a Panel), kdy absolutní hodnota ztrát v rozvodech zůstává stejná, ale spotřeba tepla v letech 2007 až 2011 poklesla o více než 10 % [6]. Vysoká hodnota ztrát je dále způsobena na dnešní dobu přežitým koncepčním řešením rozvodných sítí CZT, kdy většina sítí byla stavěna před více jak 30 lety a jsou to tedy převážně parní potrubní sítě s vysokými nároky na kvalitu vody a tepelnou izolaci. Dříve se nekladl takový důraz na ekonomii provozu a na celkovou spotřebu primárních zdrojů. Nyní je však situace jiná a tepelné ztráty tepla v rozvodech CZT nepříznivě zatěžují rozpočty teplotních podniků a jsou tedy naprosto nežádoucí.

### **Celková potřeba tepla**

Stanovujeme-li celkovou spotřebu tepla, musí se respektovat závislost dílčích potřeb tepla na teplotách okolí a také soudobost všech dílčích zařízení. Na obr. 1 je znázorněn diagram ročního trvání celkové potřeby tepla od společnosti Vytápění Mariánské lázně, převzato z [3].



Obr. 1 Diagram ročního trvání potřeby tepla. Zdroj [3].

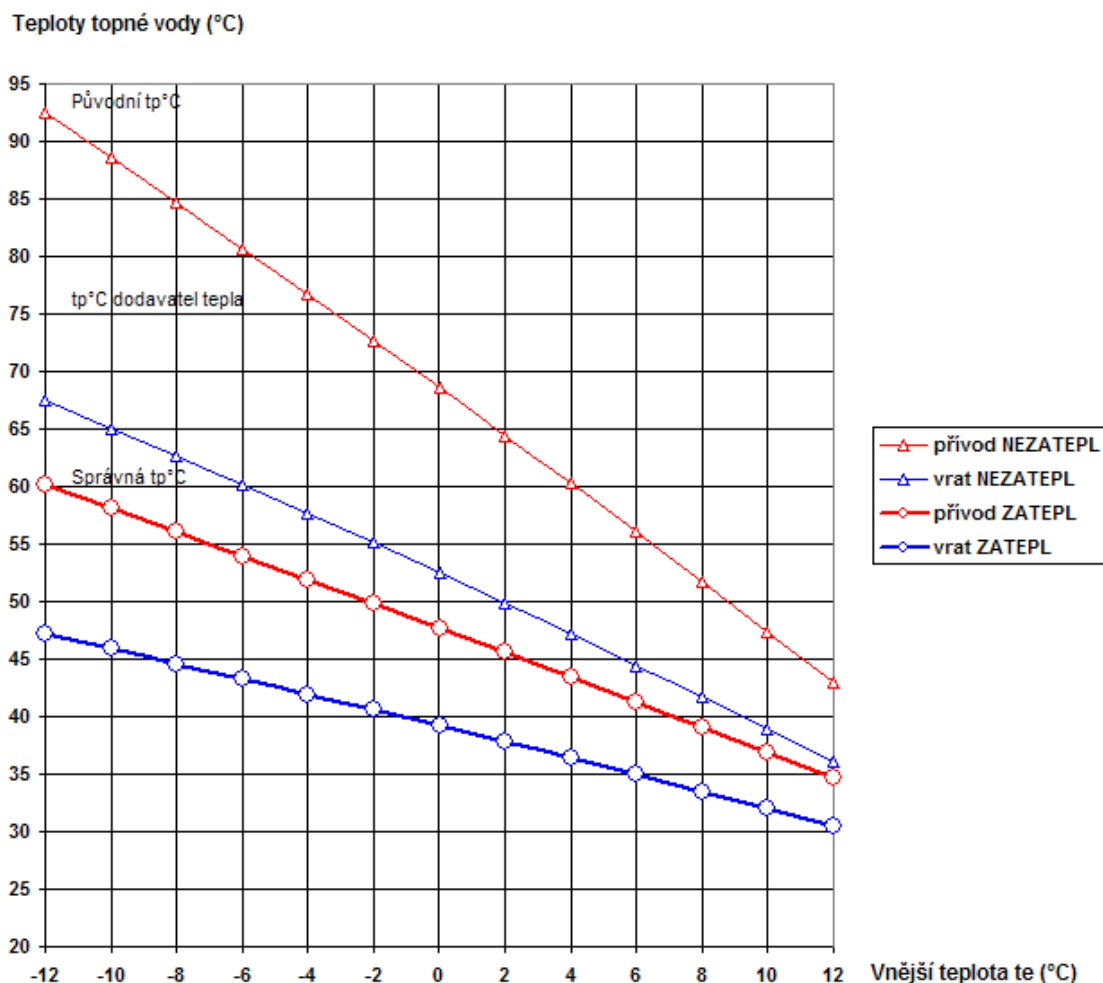
Zásobovat danou oblast teplem tedy znamená uspokojit spotřebu tepla v plném rozsahu, přičemž předpokládaný průběh odebíraných výkonů se shoduje s roční potřebou tepla uvedeném na obr. 1, I.kvadrant.

### Vliv zateplení na spotřebu a dodávky tepla

V posledních několika letech došlo většinou za státní podpory ke snížení potřeby tepla budov částečným nebo úplným zateplením obvodových konstrukcí a výměnou oken. Minimální požadovaná úspora spotřeby tepla pro splnění dotačních programů byla ve většině případů 20 %. Znamená to tedy, že při zachování současného systému vytápění budov a otopných soustav se stávají systémy předimenzované a není tedy již potřeba dosahovat tak vysokých teplot v otopných tělesech, jak tomu bývalo před zateplením. Pro teplárny a CZT to také znamená snížení dodávek tepla při konstantních tepelných ztrátách v rozvodech. Tato skutečnost se musí promítnout do zvýšení cen za jednotku dodávaného tepla. Výhoda teplárenských společností je často monopolní

postavení na dodávkách tepla pro určitou lokalitu. Problematicke snižování odběru tepla se věnují speciální semináře a zabývají se tím i bytová družstva.

Vliv zateplení budov na systém vytápění je veliký. Na obr. 3 jsou zobrazeny teploty vody v otopné soustavě v osmipodlažním panelovém domě před a po zateplení, termohydraulickém seřízení a termickém vyvážení. Budova tedy nebyla přetápěná, průměrná vnitřní teplota je 21,09 °C. Zdroj [8].



Obr. 2 Otopná soustava zatepleného panelového domu, zdroj [8]

Z obr. 2 je tedy vidět, jak je možné snížit teplotu vody v otopném systému tak, aniž by byl narušen komfort uvnitř budovy.

## Zdroje CZT

### Výtopny

Výtopny jsou pouze tepelné zdroje pro vytápění a přípravu TV. Základním technologickým zařízením jsou kotle s příslušenstvím. Dodávky tepla jsou buď v horké vodě, páře anebo obou médiích. Typickým znakem výtopen je jejich umístění blízko místa spotřeby, protože jejich provoz je tichý a emise nízké, protože nejčastějším palivem je zemní plyn.

Charakterem výtopny jsou i tzv. špičkové kotle, které mají za úkol pokrývat výkyvy v době zvýšeného odběru tepla nad možnosti dodávky určité teplárny.

### Teplárny

Teplárny jsou obecně zdroji tepla, které je určeno pro technologické účely, vytápění a ohřev TV a také pro výrobu a dodávku elektrické energie z protitlakých nebo kondenzačních turbín. Toto je princip tzv. kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET).

Výhoda tepláren tedy spočívá především ve výrobě elektřiny s daleko lepším využitím paliva oproti samostatné výrobě elektřiny v kondenzačních elektrárnách a samostatné výrobě tepla ve výtopnách. Využití paliva má ze všech zdrojů elektřiny nejlepší teplárna s protitlakou turbínou, kdy nevzniká tepelná ztráta v kondenzátoru. Nižší využití paliva má pak teplárna s kondenzační turbínou, avšak tento systém má naopak výhody jiného typu, a to především lepší regulovatelnost výroby elektřiny bez nutné závislosti na odběru tepla.

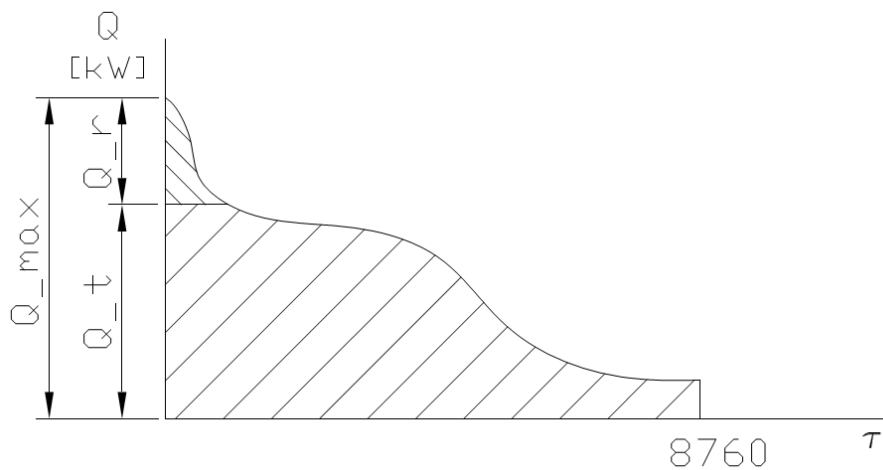
Oproti výtopnám mají ale teplárny řadu nevýhod. Jsou prostorově větší, investičně i provozně nákladnější a jejich provoz je spojen se spoustou problémů především v osídlených oblastech – zvýšená hladina hluku z turbín, zvýšené emise apod.

Z ekonomických důvodů je zapotřebí dimenzovat teplárnu pro dané portfolio odběratelů tak, aby byl odběr tepla celoročně co nejrovnoměrnější a nejstálější. Toho je možné dosáhnout u průmyslových tepláren, ale u městských tepláren je charakteristický sezónní výkyv odběru. Proto se městské teplárny dimenzují na nižší tepelný výkon, než je maximální odběr ze sítě a chybějící tepelný výkon se pak doplňuje špičkovými

kotly. K určení optimálního tepelného výkonu teplárny a špičkových kotlů slouží tzv. teplotní součinitel  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{Q_t}{Q_{max}}, \quad (3)$$

kde  $Q_t$  tepelný výkon teplárny a  $Q_{max}$  je maximální požadovaný odběr tepla soustavou.



Obr. 3 Definice teplotního součinitele. Zdroj [4]

Teplárenský součinitel vždy záleží na charakteru odběru tepla v průběhu roku. Čím je tento odběr vyrovnanější, tím je i součinitel vyšší. Nejvyšších hodnot dosahuje u průmyslových tepláren, kdy je odběr téměř nezávislý na sezónnosti. Optimální hodnota teplárenského součinitele je takovou hodnotou, při níž je využití paliva nejvyšší. Orientační hodnoty vhodnosti koncepce zdrojů tepla v CZT v závislosti na roční době využití maximálního tepelného výkonu  $\tau_{\max}$  je patrné z tab. 1. Pro městské teplárny je charakteristický teplárenský součinitel v hodnotě přibližně  $\alpha = 0,4 - 0,55$ .

Roční doba využití maxima tep. výkonu [h/rok]	$\alpha$
2 000	0,4-0,55
3 000	0,55-0,65
4 000	0,65-0,75
5 000	0,8-0,88
6 000	0,9-0,98
7 000	1

Tab. 1 Optimální hodnoty teplárenského součinitele, Zdroj [4]

## Rozdělení tepelných sítí CZT

### Parní sítě

Hlavní výhodou páry jako teponosného média je možnost využití pro technologické procesy, kdy k udržení přesně stanovené teploty procesu je využito skupenské teplo uvolněné parou při kondenzaci ve spotřebiči. Nezanedbatelnou výhodou jsou nízké statické tlaky u rozvodů s vysokým převýšením a pára se většinou dopravuje vlastním tlakem rychlostí 25 – 60 m.s<sup>-1</sup> [4]. Problémem jsou však vysoké nároky na úpravnu vody a investiční náklady na potrubí ve vratné větvi, které musí být z nerezavějících ocelí. Zároveň odběr páry je prováděn při poměrně vysoké teplotě a tak nelze využít značný energetický potenciál páry k výrobě elektřiny.

Schopnost přenosu tepla parou je dána vztahem:

$$Q = M_p \cdot q = M_p \cdot (i_p - i_v), \quad (4)$$

kde  $Q$  (kW) je celkový přenesený výkon,  $M_p$  (kg.s<sup>-1</sup>) je hmotnostní průtok páry,  $i_p$  je entalpie páry na vstupu do výměníku a  $i_v$  je entalpie vody na vratném potrubí.

### Horkovodní a teplovodní sítě

Voda má vysokou tepelnou kapacitu a při teplotách do 200 °C je chemicky stabilní. Proto je vhodné médium pro přenos tepla bez změny skupenství. Obvyklé rychlosti vody v horkovodních rozvodech se pohybují mezi 1 – 2 m.s<sup>-1</sup>, teploty v přívodním potrubí 130 – 180 °C a 60 – 80 °C ve vratném. V rozvodné síti mohou být vysoké statické tlaky od výškové členitosti, které mohou dosahovat až 2 MPa a zároveň dochází k většímu zatížení potrubních sítí od hmotnosti vody. Ta musí mít v síti dostatečný tlak, aby i v nejvyšším místě nenastalo její odpařování. Voda je vhodná pro rozvod tepla v městských sítích, tedy na otop budov a ohřev TV. V praxi se používá několika stupňový ohřev vody pro vyšší expanzi páry v turbíně, přičemž časté teplotní spády  $t_1/t_2$  jsou uváděny [4]: 120/70, 140/80, 150/80, 160/80, eventuálně i jiné poměry dle potřeb sítě a konstrukce zdroje a sítě.

Přenos tepla horkou (nad 130 °C) nebo teplou vodou je dána vztahem:

$$Q = M_v \cdot q = M_v \cdot c_v \cdot (t_1 - t_2), \quad (5)$$

kde  $M_v$  je hmotnostní průtok vody a  $q$  je změna entalpie vody.

## **Cíl práce**

Cílem práce je vyhodnotit na základě posouzení komplexních ukazatelů projekt nového tepelného zdroje k zastarávající teplárně v zásobované lokalitě v Moravskoslezském kraji, přičemž současná skladba odběratelů tepla a množství odebraného tepla jsou výrazně odlišné, než jaké byly v době budování tamní teplotárenské sítě v 50. letech 20. století.

Pro přesné zhodnocení investičního projektu by měly být uvedeny možné alternativy, jejich stručný technický popis a hlavní údaje pro stanovení ceny tepla pro zákazníky. Na základě ceny tepla pro zákazníky a předpokládané spotřeby tepla v lokalitě by mělo dojít ke zhodnocení investičního projektu volbou vhodné technické varianty.



## Historie teplárny

Historie teplárny sahá do počátku 20. století, kdy rostoucí přidružený průmysl potřeboval stále více dodávek energií – jak tepelné, tak elektrické. Stejně jako ve sledované lokalitě, i na několika dalších místech v tehdejší Rakousku-Uhersku vznikaly první teplárny. Po druhé světové válce došlo k jejich modernizaci spolu s rozkvětem těžkého průmyslu a s mohutnými investicemi do energetické samostatnosti nového Československa. Tou dobou byla v lokalitě postavena dodnes používané dvě parní turbíny ČKD o celkovém elektrickém výkonu 80 MW<sub>e</sub>. Páru pro ni vyráběly tři uhelné kotle o výkonech přibližně 130 MW<sub>t</sub> každý. Turbína je dvoudílná, kdy protitlaká část je využívána především jako redukce pro technologii vyžadující páru o tlaku 1,5 MPa a teplotě 320 °C. Kondenzační část bývala využívána pro vyšší podíl výroby elektrické energie. Kotle na rozdíl od parní turbíny byly postupně modernizovány, poslední z nich byl zrekonstruován (zbourán a znovu postaven) v devadesátých letech 20. století.

Od doby výstavby energetického zdroje, kdy byl navržen pro vysoké energetické nároky přidruženého průmyslu, se situace velmi změnila. Za posledních 30 let spotřeba tepla v lokalitě kontinuálně klesá. Velká rána do hospodaření teplárny přišla přibližně před pěti lety, kdy se odpojil poslední odběratel technologické páry. V ten moment se z energetického zdroje, který dodával technologickou páru po celý rok, stala horkovodní teplárna ekonomicky závislá na délce a tuhosti zimního období. Ziskovost teplárny každým rokem klesala. V kombinaci s poklesem ceny elektrické energie v roce 2015 se předimenzovaný zdroj stal velmi ztrátovým. Vzhledem k faktu, že průmyslová výroba ve zdejší lokalitě již nikdy nebude odebírat technologickou páru, je na místě ztrátový zdroj neprovozovat a nahradit ho ekonomicky vhodným řešením.

## Analýza současného stavu teplárny

V této části provedu analýzu současné výrobní technologie teplárny a režimy provozů. Dále provedu analýzu spotřeby tepla a odběratelů s ohledem na vývoj spotřeby v posledních 3 letech.

### Výrobní technologie teplárny

V současné době je v lokalitě používán jeden uhelný kotel, který napájí parou jednu parní turbínu. Parní turbína je provozována především v kondenzačním režimu z těchto důvodů:

- Nízká flexibilita zdroje nekoresponduje s denní vysokou proměnlivostí odběrů tepla. Je tedy nutné držet kotel „natopený“ na vyšších výkonech, než jaké jsou aktuálně požadované z tepelné sítě pro případ, že přijde požadavek na vyšší výkon.
- Výkon kotle při minimálním stabilizovaném provozu je výrazně nad aktuálním požadavkem tepla ze sítě. Pokud by byl výkon kotle snížen pod minimální stabilní výkon, musí být zapnuty hořáky zemního plynu, které by provoz kotle stabilizovaly. Náklady na zemní plyn jsou v tomto případě vyšší, než provoz na vyšší výkon při spalování uhlí.

Dále je potřeba poznamenat, že kondenzační provoz je ztrátový především z důvodu nízkých výkupních cen elektřiny v kombinaci s nízkou účinností starých technologií.

Tepelná síť byla postupně modernizována, takže ztrátovost sítě dosahuje i při snížených odběrech úrovně přibližně 7 – 8 %. Tato hodnota odpovídá standardním tepelným ztrátám v rozvodných sítích, takže investice do této technologie není v nejbližších letech nutná.

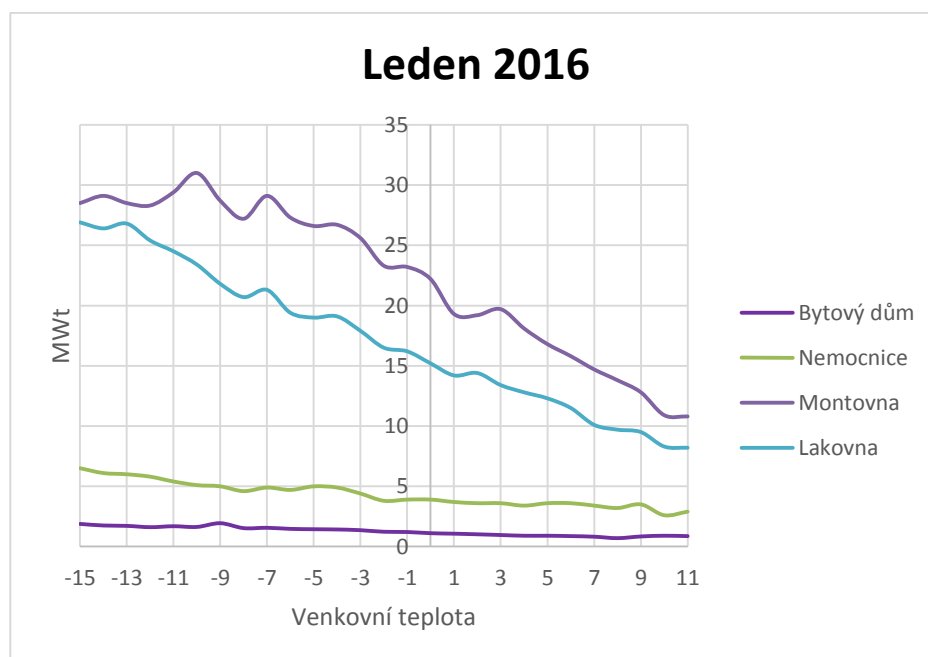
## Analýza spotřeby tepla

### Analýza odběratelů

Současné složení odběratelů je velmi různorodé a na většinu městských tepláren až nezvyklé – 79 % dodaného tepla je dodáno odběratelům, kteří vytápí staré průmyslové haly s vysokou citlivostí na venkovní teplotu z důvodu špatného technického stavu budovy a také z důvodu nevhodného užívání budov (otevřená vrata apod.). Zbývajících 21 % odběratelů tvoří kategorii „ostatní“ – tedy městské budovy, nemocnice a bytové domy.

Citlivost na vnější teplotě u různých odběratelů je různá, přičemž se potvrzuje, že komunální sféra má výraznější průběh odběru tepla, než staré průmyslové haly. Logicky by se dalo uvažovat, že vhodné pro lokalitu by bylo dosáhnout co možná nejmenší proměnlivosti odběru, což by znamenalo především zlepšit technický stav průmyslových hal. Tyto haly ovšem nejsou ve vlastnictví provozovatele teplárny a tedy není možné donutit odběratele k provozním opatřením. Výsledkem tedy bude, že teplárna bude dimenzována na maximální potřebný výkon, což se nepřímo projeví v ceně tepla v kategorii odpisů.

Na obr. 4 je znázorněna závislost mezi odebíraným množstvím tepla a venkovní teplotou u různých odběratelů.



Obr. 4 Hodinová spotřeba tepla v lokalitě. Zdroj: data teplárny

## **Hodinová spotřeba tepla**

Vzhledem k situaci, kdy dodávky tepla do distribuční sítě jsou vyvolávány na základě požadavku zákazníků plně korespondující s venkovní teplotou, je nutné zvolit referenční hodnoty spotřeby tepla buďto průměrem několika let, nebo jako jeden rok, který bude výchozí. Data, ze kterých budu vycházet, jsou hodinové spotřeby tepla za rok 2014. Zdroj hodinových spotřeb tepla obsahuje za každou hodinu daného roku množství dodaného tepla do distribuční soustavy a proto je velmi rozsáhlý. Jeho náhled uvádím v příloze č. 1 a celkový graf pak bude přiložen v elektronické verzi této práce. Graf spotřeby tepla za tento rok je znázorněn na obrázku č. 5. Graf je sestaven na základě dat hodinové spotřeby tepla a výkonu, který využiji také pro výpočet spotřeby paliva v kapitole „Výpočet ceny tepla“.



Obr. 5 Hodinová spotřeba tepla v lokalitě. Zdroj: data teplárny

Graf spotřeby tepla koresponduje s kapitolou „Potřeba tepla pro vytápění“ a „Potřeba tepla pro ohřev UV“ – přibližně polovina roku je ve znamení vyšších potřeb tepla vzhledem k chladnému počasí a tedy topné sezóně. Druhá polovina roku se vyznačuje nízkými odběry tepla, kdy veškeré teplo je dodáváno pouze do ohřevu UV, což představuje pouze zlomek celkové výkonové kapacity lokality.

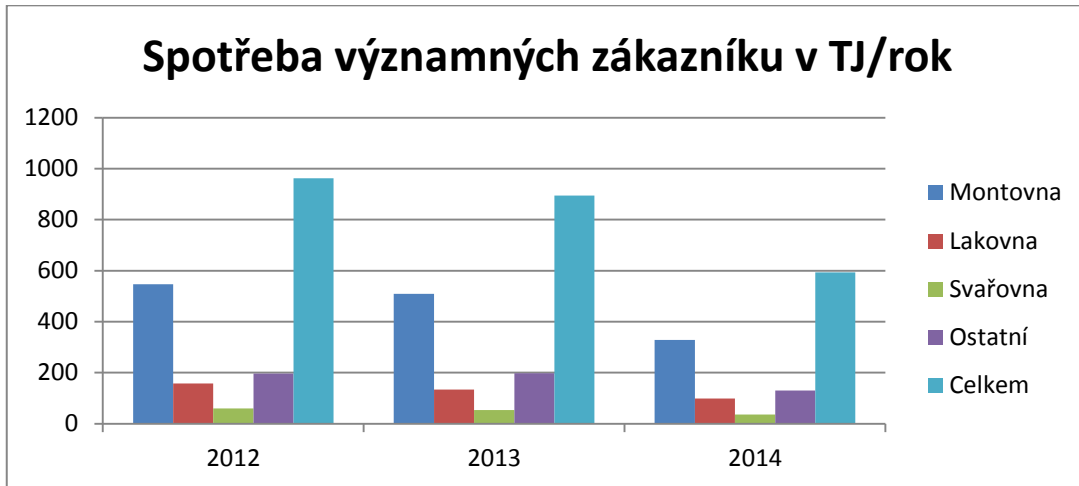
Číselně jsem potřebný výkon k uspokojení požadavků zákazníků a jeho časové užití v průběhu roku zaznamenal do tab. 2:

Požadovaný tep. výkon [MW]	Počet hodin v roce [hod]
> 90	25
80 – 90	77
70 – 80	121
60 – 70	104
50 – 60	376
40 – 50	791
30 – 40	1 173
20 – 30	824
10 – 20	1 181
0 – 10	4 088

Tab. 2 Požadovaný tepelný výkon, zdroj: data teplárny

## Celková spotřeba tepla

Celková spotřeba tepla kontinuálně klesá, přičemž částečně má do ceny vliv zimní počasí (teplejší zimy) a částečně také úsporná opatření na straně zákazníků. Názorné zobrazení vývoje spotřeby tepla v lokalitě je zobrazeno na obr. 6:



Obr. 6 Spotřeba významných zákazníků. Zdroj: data teplárny

Vzhledem ke stále se snižující spotřebě tepla, budu uvažovat rok 2014 jako referenční pro návrh nového zdroje.

V roce 2014 byla celková spotřeba tepla zákazníků 593 TJ. Pro správný výpočet zdroje tepla je ovšem zapotřebí zohlednit ztrátovost sítě, která je pro tento rok 7,1 %. Celkové dodané teplo v lokalitě včetně distribuce a tedy i celková spotřeba tepla lokalitou je 638 TJ. Toto je výchozí hodnota pro výpočty množství dodaného tepla.

## Investiční projekt nového zdroje teplárny

Na základě technické zastaralosti a nehospodárnosti rozhodl současný majitel o vyčlenění financí pro investiční projekt nového zdroje teplárny. Projekt má několik fází seřazených za sebe tak, aby navazovaly na sebe:

- 1) Specifikace logicky přípustných technických řešení a jejich technický popis
- 2) Investiční výdaje na jednotlivé varianty
- 3) Porovnání ceny tepla u jednotlivých variant
- 4) Volba vhodné technické varianty nového zdroje
- 5) Ekonomické vyhodnocení investičního projektu

### Technické řešení

Jako výchozí bod pro správné vyhodnocení technických řešení je nutné nejprve vhodně rozdělit tepelné výkony v jednotlivých kotlích, případně technologiích zdrojů tepla. Na základě tohoto rozdělení dojde k sestavení variant technického řešení.

### Optimální rozdělení tepelných výkonů

Dle grafu a tab. 3 dosadím do vzorce pro optimální hodnotu základního výkonu poskytovaného teplárnou, přičemž uvažuji maximální požadovaný výkon 90 MW:

$$Q_t = \alpha \cdot Q_{max} = 0,45 \cdot 90 = 40,5 \text{ MW}_t, \quad (4)$$

Hodnota  $Q_t$  tedy odpovídá optimálnímu instalovanému tepelnému výkonu zařízení pro základní zatížení. Tímto je potvrzeno, že současné zařízení je předimenzováno a je tedy neekonomický jeho provoz. Nový zdroj by tedy měl být navržen tak, aby výkon 40 MW<sub>t</sub> byl maximální výkon pro základní zatížení, které bude využito po většinu roku. Zpětně dopočítám, jaké by bylo roční využití takové kapacity. Dle tab. 2 vychází, že využití plného výkonu by bylo 1 494 hodin za rok. Tato hodnota je příliš nízká, jako optimální volím rozmezí mezi 2 000 – 3 000 hodin. Jednoduchým dopočtením dle tab. 2 tedy dopočítám, že při instalovaném výkonu 25 MW<sub>t</sub> bude plné využití 3 079 hodin za rok, při 30 MW<sub>t</sub> bude využití 2 667 hodin za rok a při instalovaném výkonu 35 MW<sub>t</sub> bude využití 2 080 hodin za rok. Pro přesné určení hodin využívám detailní hodinovou spotřebu v lokalitě dle Přílohy 1.



Tyto hodnoty budu kombinovat v závislosti na typu zdroje a zbývající potřeby výkon budu implicitně volit ve prospěch špičkových plynových kotlů. Volba výkonu pro kotel základního zatížení bude zakládat na logické úvaze, přičemž ze zkušenosti vím, že platí úvaha – čím vyšší investice, tím levnější palivo. Jinými slovy kotle spalující levná paliva mívají vyšší nároky na počáteční investici bez výrazné citlivosti na instalovanou jednotku výkonu, než kotle spalující dražší paliva, kde je zároveň výrazná citlivost na množství instalovaného výkonu. Nejdále v tomto zachází plynové kotle, kdy v určitých specifických případech je úměra naopak – domovní nástěnný kotel je levnější, než horkovodní průmyslový kotel s instalovaným výkonem několik MW<sub>t</sub>.

Vrátím-li se k předchozímu odstavci, kde uvádím optimální rozdělení výkonů mezi základní zatížení a špičkový zdroj, je pak potřeba ještě doplnit důležitou poznámku. Ne všechny zdroje je možné provozovat od nulového výkonu. Jinými slovy každý zdroj je dimenzován na určitý jmenovitý a také na určitý minimální výkon. Kotle spalující pevná paliva mívají tento minimální výkon na úrovni 40 % jmenovitého výkonu, zatímco plynové kotle se pohybují na stabilním provozu již od cca 10 % jmenovitého výkonu. Tato informace ovlivní výpočet dodaného tepla jednotlivými zdroji, protože v letních měsících budou v provozu špičkové zdroje v základním zatížení z důvodu velmi nízkého požadavku na odběr tepla.

### **Emisní limity**

Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím volbu zdroje z pohledu technického řešení jsou emisní limity. Aktuálně jsou v platnosti dva právní dokumenty.

Prvním je Rozhodnutí Evropské komise ze dne 10. 4. 2015 o oznámení předložené Českou republikou, které se týká přechodného národního plánu podle článku 32 směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích.

Tato rozhodnutí obsahují konkrétní limity pro jednotlivé látky, které vypouštějí tepelné závody, a přehled těchto závodů s vyšším instalovaným výkonem než 50 MW<sub>t</sub>. Limity jsou uvedeny v tabulce 3:

	2016	2017	2018	2019	1. - 30. 6. 2020
<b>SO<sub>2</sub> [t]</b>	114 551	97 692	75 017	46 559	24 095
<b>NO<sub>x</sub> [t]</b>	61 415	56 908	50 554	43 104	21 679
<b>TZL [t]</b>	4 333	3 967	3 426	2 531	1 471

Tab. 3 Národní přechodný plán snižování emisí tepláren o příkonu vyšším než 50 MWt [9]

Druhým dokumentem je Vyhláška 415/2012 Sb. ze dne 21. listopadu 2012 o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Tato vyhláška, která byla změněna vyhláškou 155/2014 Sb. ze dne 18. července 2014, popisuje limity jak pro současné provozní období, tak limity, které teplárny budou muset splňovat po 1. lednu 2018.

V následujících kapitolách budou uvedeny emisní limity pro oxid siřičitý (v tabulce uveden jako SO<sub>2</sub>), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), tuhé znečišťující látky (TZL) a pro oxid uhelnatý (CO).

### Emisní limity platné do 31. 12. 2017

Následující tabulka 4 zobrazuje limity platné v současnosti pro vypouštění emisí tak, jak je uvedeno ve vyhlášce zmiňované výše.

	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	TZL [mg/m <sup>3</sup> ]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Pevné palivo obecně</b>	2500	650	150	400
	1500 <sup>1)</sup>	500 <sup>1)</sup>	100 <sup>1)</sup>	300 <sup>1)</sup>
	-	1100 <sup>2)</sup>	250 <sup>5)</sup>	650 <sup>5)</sup>
<b>Kapalné palivo</b>	1700	450	100	175
<b>Plynné palivo, zkapalněný plyn</b>	900 <sup>4)</sup>	200	50 <sup>4)</sup>	100
	-	300 <sup>3)</sup>	-	-

Tab. 4 Emisní limity platné do 31. 12. 2017;

Vysvětlivky: 1) zdroje s fluidním ložem, 2) zdroje na pevná paliva s výtavným topeništěm, 3) spalování propan-butanu, 4) zdroje mimo veřejné distribuční sítě, 5) zdroje na biomasu [10]

### Emisní limity platné od 1. 1. 2018

Tabulka 5 zobrazuje emisní limity platné od 1. 1. 2018, které upravuje zmíněná vyhláška.

	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	TZL [mg/m <sup>3</sup> ]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Pevné palivo obecně</b>	1500 <sup>1)</sup> -	500 -	30 -	300 500 <sup>3)</sup>
<b>Kapalné palivo</b>	1500 -	130 450 <sup>4)</sup>	30 -	80 -
<b>Plynné palivo, zkapalněný plyn</b>	-	100 <sup>2)</sup>	-	50

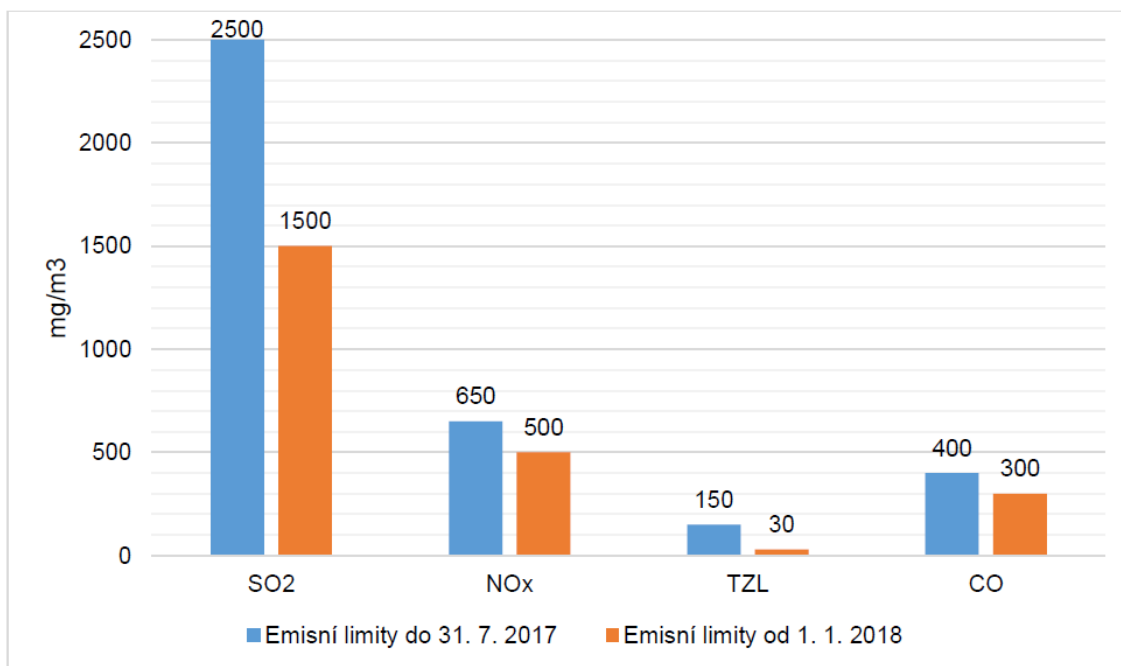
Tab. 5 Emisní limity platné od 1. 1. 2018;

Vysvětlivky: 1) zdroje na hnědé uhlí, které jsou v provozu maximálně 3200 hodin ročně, platí emisní limit 2000 mg/m<sup>3</sup>, 2) pokud technologii (nízkoemisní hořák) nelze dosáhnout, platí hodnota 200 mg/m<sup>3</sup>, 3) zdroje na biomasu s výjimkou spalování vylisků z takové biomasy, 4) zdroje na těžký topný olej a podobné [10].

### Porovnání emisních limitů

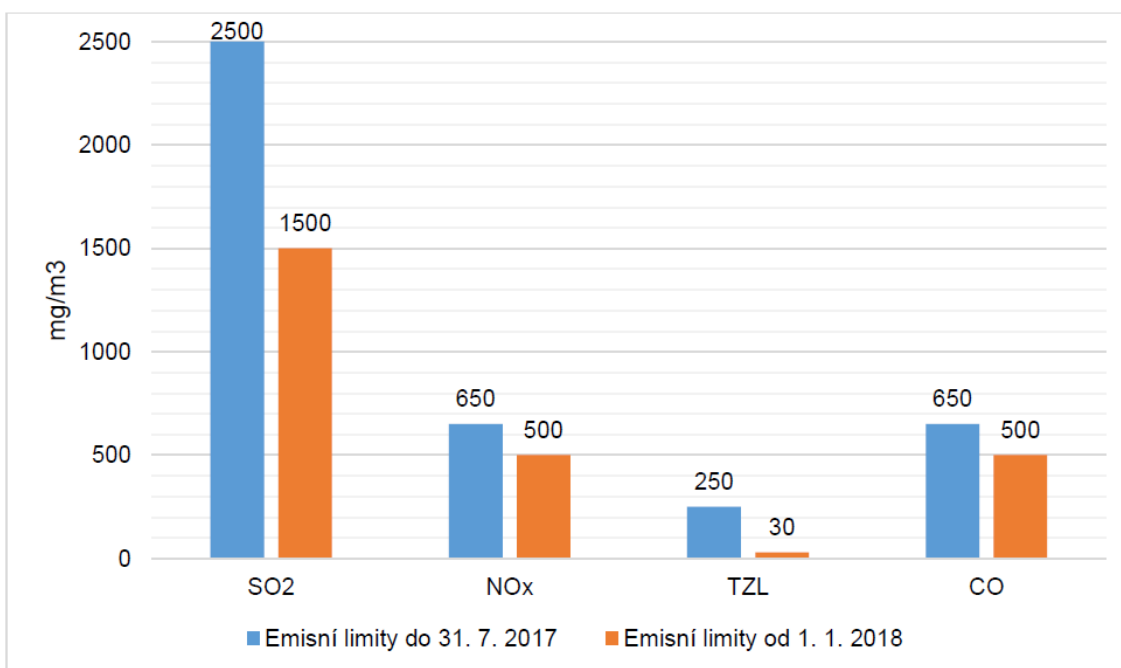
Při porovnání jednotlivých limitů ve vypouštění emisí budou brány v potaz především údaje, které přímo souvisí s daným projektem, tedy omezení pro uhlí, spalování biomasy a zemní plyn.

Na obrázcích níže (Obr. 7 – 9) je názorně zobrazena změna emisních limitů pro různé typy paliv.



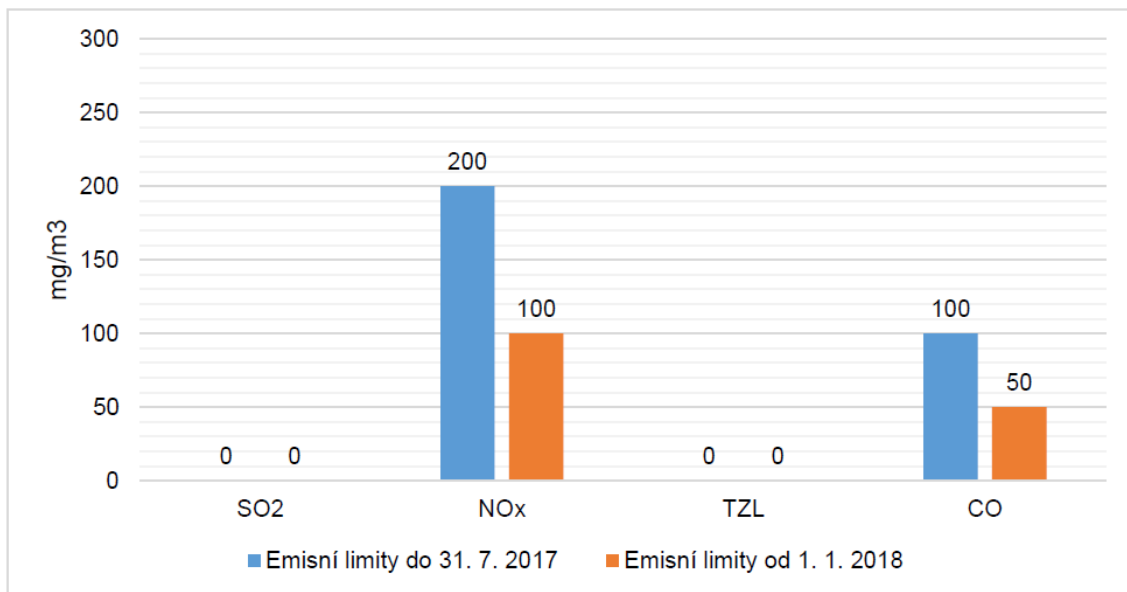
Obr. 7 Porovnání limitů pro uhlí.

Obrázek 7 ukazuje zpřísnění limitů pro vypouštění jednotlivých škodlivin do ovzduší pro tuhá paliva, konkrétně pro uhlí. Nejrazantnější pokles nastává u oxidu siřičitého (pokles o 40 %) a u tuhých znečišťujících látek (pokles o 80 %) [10].



Obr. 8 Porovnání limitů pro biomasu

Obrázek 8 také zobrazuje změnu emisních limitů pro tuhá paliva, tentokrát pro biomasu. Rozdílné oproti uhlí jsou změny týkající se TZL a oxidu uhelnatého. Jelikož pro biomasu byl emisní limit pro tuhé znečišťující látky platný do konce roku 2017 vyšší než pro uhlí (tj.  $250 \text{ mg/m}^3$ ) a pro rok 2018 se limit snížil na stejnou hodnotu, která je platná i pro uhlí ( $30 \text{ mg/m}^3$ ), změna dosahuje výše 88 %. Ve srovnání s uhlím je rozdílná výše limitů pro CO. V tomto případě u biomasy dosahuje snížení emisních limitů přibližně 23 % [10].



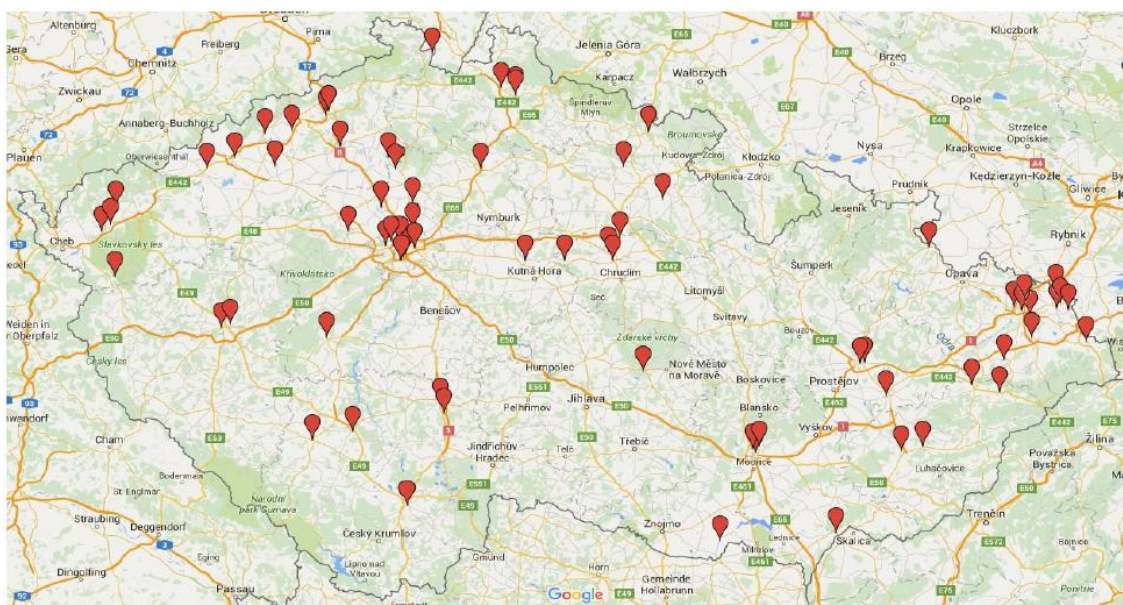
Obr. 9 Porovnání limitů pro zemní plyn

Poslední obrázek 9 znázorňuje změnu limitů vypouštěných škodlivých látek v případě spalování zemního plynu. Při tomto spalovacím procesu dochází pouze k vypouštění oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého. Nové limity požadují snížení emisí těchto látek na polovinu [10].

### Přehled tepláren, kterých se nové limity dotýkají

Tento přehled tepláren a výtopen je zaměřen na jednotlivé zdroje, které mají instalovaný tepelný příkon větší než 50 MWt.

Pro vytvoření tohoto seznamu bylo použito Rozhodnutí Evropské komise ze dne 10. 4. 2015 o oznámení předloženém Českou republikou týkajícího se přechodného národního plánu podle článku 32 směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích, jenž stanovuje přechodný národní plán ohledně výše emisí.



Obr. 10 Mapa teplárenských závodů nad 50 MWt [10]

## Popis variant a vymezujičích parametrů řešení

Jak již bylo nastíněno v kapitole „Spotřeba tepla a optimální rozdělení tepelných výkonů“, vhodná maximální instalovaná tepelná kapacita teplárny by se měla pohybovat na úrovni 90 MW<sub>t</sub>, přičemž 25 – 35 MW<sub>t</sub> instalovaného tepelného výkonu by dle teplotenského součinitele mělo být instalováno ve zdroji pro základní zatížení s nižší cenou paliva a zbylých 55 – 65 MW<sub>t</sub> tepelných v investičně levnějším zdroji, který nebude využíván tak často, přičemž cena paliva může být vyšší. Rekonstrukci stávajícího zařízení vzhledem ke stáří a předimenzování nebudu vůbec uvažovat. Dále je potřeba volit takové zdroje tepla, které budou schopné splnit požadavky navazující distribuční tepelné sítě – horkovodní systém 140/80 °C.

Modelově přidám další varianty 3 a 4, aby bylo potvrzeno nebo vyvráceno rozdělení výkonů u variant 1 a 2. Tím pádem se naskýtají celkově 4 varianty:

- 1) Varianta 1: Uhelny kotel pro základní zatížení o výkonu 35 MW<sub>t</sub>, špičkovací kotel/kotle o výkonu 55 MW<sub>t</sub>
- 2) Varianta 2: Biomasový kotel pro základní zatížení o výkonu 25 MW<sub>t</sub>, špičkovací kotel/kotle o výkonu 60 MW<sub>t</sub>
- 3) Varianta 3: 2x uhelný kotel pro zatížení 2x 35 MW<sub>t</sub> doplněných o 20 MW<sub>t</sub> ve špičkovacím plynovém kotli
- 4) Varianta 4: Kompletní plynofikace o celkovém výkonu 90 MW<sub>t</sub>

Vzhledem k tomu, že se nejedná o práci zaměřenou na technické provedení jednotlivých variant, budu se jimi zabývat pouze okrajově – zmíním hlavní přínosy a negativa a uvedu hlavní ekonomické údaje potřebné pro výpočet ceny tepla a celkovou ekonomiku projektu.

## Varianta 1

Varianta 1 skládající se z horkovodního uhelného kotle o tepelném výkonu 35 MWt pro základní zatížení má jednu nespornou výhodu, a tou je nízká cena vstupní komodity – uhlí. Jeho cena je odvozena od dlouhodobých kontraktů na dodávku uhlí, přičemž tyto kontrakty se obchodují na světových komoditních burzách nebo může být uzavřena s konkrétním dolem s cenou odvozenou od komoditní burzy. Zároveň jistota dodávek paliva je v tomto případě velmi vysoká, neboť jediné omezení je legislativní a technologie dobývání uhlí. Vzhledem k možnostem dodávat uhlí z místních dolů je mezinárodní politická situace irelevantní. Na druhou stranu získávání uhlí ať už z povrchových, nebo z hlubinných dolů poměrně značně zatěžuje lokální ekologii a může tedy docházet k vysokým externalitám. Cena uhlí se v teplotěnské praxi neuvádí v hmotnostních jednotkách, ale v jednotkách uvolněného tepla – tzn. v gigajoule (jednotka [GJ]).

Výše investice (tzv. CAPEX od anglického výrazu capital expenditure) této varianty je odvozený od technicko-ekonomické studie, kterou provedl výzkumný ústav Vysoké školy báňské – zdroj [1] v kombinaci s kompletní plynofikací – opět od shodného autora, zdroj [2]. U uhelných kotlů je ovšem poslední dobou vidět jev, kdy z důvodu stále se zpřísňujících emisních limitů pro uhelné elektrárny dochází k legislativnímu zpřísňování provozu a následně k navyšování nákladů na udržení takových zdrojů v provozu. Tento fakt zvyšuje podnikatelskou nejistotu do těchto zdrojů.

Jednoznačnou výhodou této varianty je technická životnost uhelného kotle. Tyto technologie jsou velmi dobře konstrukčně zvládnuté. Životnost uhelného kotle se může reálně pohybovat v desítkách let při vhodné údržbě. Generální opravy uhelných kotlů se provádí v periodách 15 – 20 let. Negativní stránkou ovšem je fakt, že v současné době nelze určit, jak se bude vyvíjet legislativa postihující provoz uhelných kotlů, proto budu v dalších výpočtech uvažovat odpisy pouze 15 let – tedy maximální hodnotu odpisů, jaké dovoluje ERÚ jako uznatelný náklad pro cenotvorbu ceny tepla.

Plynové kotle mívají životnost nižší, protože dochází k značnému namáhání v oblasti hořáku. Konstrukčně bývají kotle navrhovány na 20 – 25 let, ovšem generální opravy plynových kotlů je často potřeba zrealizovat dříve především z důvodu



přetěžování kotlů obsluhou. Proto budu uvažovat shodnou dobu odpisů jako u uhelného kotle – tedy 15 let.

## Varianta 2

Varianta 2 se skládá z biomasového kotle na slámu pro základní zatížení a k dorovnávání výkonu bude využívat plynové kotle. Tato varianta má za cíl podpořit využívání obnovitelného zdroje v takové velikosti, aby bylo reálné obstarat dostatek paliva v nejbližším okolí a tedy nezvyšovat náklady na dopravu ve spojení se zhoršením životního prostředí od dopravní zátěže. Zároveň nižší výkon zajistí vyšší využití daného zdroje, viz kapitola „*Hodinová spotřeba tepla a optimální rozdělení tepelných výkonů*“. Systém získávání slaměného paliva je možné přirovnat k „decentralizaci“ – tedy nejedná se o nákup paliva od jednoho zemědělce (analogie jeden důl), ale naopak tepelný zdroj o takových rozměrech musí mít zajištěno palivo od jednotlivých zemědělských družstev v takovém okolí, které dává ekonomický smysl pro dopravu (standardně okruh cca 100 km). Tímto způsobem dojde k eliminaci rizika navýšení ceny paliva a také zajištění stabilních dodávek po celý rok rozmístěním malých skladů k jednotlivým dodavatelům (ideálně na jejich náklady). Ekologické hledisko získávání paliva je diskutabilní především ve spojení s úrodnostní polností, ovšem jednoznačně se jedná o menší ekologické zatížení, než jaké je u dobývání uhlí. Budoucí legislativní omezování provozování lze předpokládat i u biomasových kotlů, ovšem osobně se myslím, že vzhledem k podporám obnovitelných zdrojů se nebude jednat o tak nákladná opatření, jako tomu bude u uhelných zdrojů.

CAPEX pro variantu 2 je součtem indikativní nabídky od největšího českého výrobce biomasových kotlů, společnost První brněnská strojírna a.s., zdroj [7] a technicko-ekonomické studie kompletní plynofikace, zdroj [2].

Technická životnost kotlů na slámu bývá nejnižší ze všech typů paliv. Důvodem je nízkoteplotní koroze způsobena vysokým obsahem chloru v palivu. Chlor se uvolňuje v průběhu hoření do spalin a aktivně působí při kontaktu se stěnou kotle. Projektová životnost kotlů na slámu bývá udávaná shodná jako je u uhlí, ovšem v reálných podmínkách dochází ke generálním opravám stěn kotlů v rozmezí 10 – 15 let od uvedení do provozu. V dalších výpočtech budu uvažovat optimistickou variantu provozování s dobou odpisů také 15 let.

### Varianta 3

Logika varianty 3 je založena na co možná největším využití nejlevnějšího paliva dostupného na trhu – uhlí. Aplikují tedy dva uhelné kotle o výkonu 35 MWt každý, přičemž optimální provozování bude tak, aby druhý kotel spínal až po využití plného výkonu prvního kotle a tak budou oba kotle provozovány na vyšších účinnostních parametrech. Maximální požadavky na dodávku tepla budou dorovnávány levnými plynovými kotli.

Pro výpočet CAPEXu budou použity shodné zdroje jako pro první variantu.

### Varianta 4

Poslední varianta předpokládá „nejjednodušší“ variantu z technického hlediska – kompletní plynifikace zdrojů je jednak poměrně ekologická ve srovnání s uhelným zdrojem, zároveň poskytuje dostatečnou flexibilitu dodávek tepla. Výstavba je pak jednoduchá ve smyslu nákupu hotových průmyslově vyráběných kotlů a jejich umístění do nově zbudované montované haly. Obsluha u takových kotlů bývá plně automatizovaná. Zcela odpadají nároky na obsluhu paliva a popele, takže celkový provoz se značně zlevňuje. Legislativní zpřísnění je u již u natolik čistého zdroje tepla poměrně nereálné. Naproti tomu jsou problémy jako např. závislost na jednom palivu, které je navíc poměrně drahé ve srovnání se slámou nebo uhlím. Zároveň u zemního plynu dochází k značným externím rizikům spojeným se zásobováním paliva – geopolitická situace na východní Ukrajině způsobila v některých částech Evropy značné problémy se zásobováním a pouze za pomoci dostatečné kapacity zásobníků ji bylo možné překonat. Pokud by ovšem ve stejný moment došlo k nějaké nečekané havárii na tranzitních plynovodech, mohlo by se jednat o poměrně komplikovanou situaci z pohledu obstarání paliva. S tím je také spojeno vyšší riziko růstu ceny paliva oproti ostatním zde uvažovaným druhům paliva.

Investiční výdaj CAPEX bude plně převzat z technicko-ekonomické studie, kterou provedl výzkumný ústav Vysoké školy báňské – zdroj [2].

## CAPEX technických řešení

Do výpočtu ceny tepla, kterému se budu věnovat v dalších kapitolách, vstupuje několik velmi významných faktorů, přičemž investiční výdaj CAPEX a následné odpisy jsou jednou z významných položek. Tyto údaje na závěr kapitoly shrnuji do přehledné tabulky.

### CAPEX Varianta 1

Uhelný kotel včetně zauhlování a síla na popeloviny, 35 MWt:	289 000 tis Kč
<u>Plynové kotle o výkonu, 55 MWt:</u>	<u>143 000 tis Kč</u>
Celkem:	432 000 tis Kč

### CAPEX Varianta 2

Biomasový kotel na slámu, 25 MWt:	66 700 tis Kč
<u>Plynové kotle o výkonu, 65 MWt:</u>	<u>176 400 tis Kč</u>
Celkem:	243 100 tis Kč

### CAPEX Varianta 3

2x uhelný kotel včetně zauhlování a síla na popeloviny, 2x 35 MWt:	578 000 tis Kč
<u>Plynové kotle o výkonu, 20 MWt:</u>	<u>54 000 tis Kč</u>
Celkem:	632 000 tis Kč

### CAPEX Varianta 4

<u>Plynové kotle o výkonu, 90 MWt:</u>	<u>228 000 tis Kč</u>
Celkem:	228 000 tis Kč

## Ekonomické zhodnocení technických řešení

Pro vhodné ekonomické zhodnocení variant je nutné nejprve určit správně náklady na palivo a provoz a následně prodejní cenu tepla dle platné vyhlášky Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Tomuto komplexnímu problému se budu věnovat v části „Výpočet ceny tepla“. Jakmile budu mít vypočtenou cenu tepla, budu schopný spočítat také příjmy z výroby tepla, získat cash-flow projektu a následně vyhodnotit vhodný projekt. Této části se však budu věnovat v dalších kapitolách.

### Výpočet ceny tepla

Cena tepla je založena na tzv. uznatelných nákladech, které jsou potřebné k zajištění dodávky tepla, a přiměřeném zisku, který dle Energetického regulačního úřadu (ERÚ) je do výše 8 % nebo neoficiálně také 50 Kč/GJ vyrobeného tepla. V praxi probíhá cenotvorba tak, že se sečnou všechny náklady potřebné na provoz včetně odpisů aktiv a správní režie, tyto náklady se navýší o povolený zisk 8 % (nebo 50 Kč/GJ) a takto se získá výsledná cena. Existuje ovšem nespočet případů, kdy se do nákladů na teplo dostávají některé náklady neoprávněně. Většinou se jedná o vyšší „rychlost“ odepisování majetku a to např. způsobem, kdy jsou aktiva zaplácena přes finanční leasing. Společnost tyto splátky promítá do ceny tepla v plné výši, i když je daný leasing „splácen“ rychleji, než povolené minimální doby odepisování majetku dle ERÚ. Přesné minimální doby odepisování uvádím na obr. 11:

#### 4. Minimální doba odpisování majetku uvedeného do užívání po 1. lednu 2011 používaného pro výkon činnosti č. 31 nebo 32 - výroba tepelné energie nebo rozvod tepelné energie

Majetek	Minimální doba odpisování (roky)
Budova pro energetiku	30
Teplovodní, horkovodní nebo parní kotel	15
Olejový nebo plynový hořák	12
Zásobníkový, protiproudý nebo deskový výměník	12
Čerpadlo	7
Měřicí zařízení tepelné energie a teplé vody	8
Parní nebo spalovací turbína	15
Kogenerační jednotka se spalovacím motorem	7
Vzduchový kompresor	12
Teplovodní, horkovodní nebo parní rozvod tepelné energie	25
Kondenzátní rozvod tepelné energie	10

Obr. 11 Minimální doba odepisování majetku. Zdroj: ERÚ

Pro potřeby mého výpočtu budu uvažovat všechny odpisy 15 let. Pořizovací ceny jednotlivých zdrojů jsem již uvedl v kapitole „CAPEX jednotlivých řešení“.

Všechny dosud uvedené informace vkládám do tab. 6 jako souhrn výchozích informací potřebných pro další výpočty:

Varianty projektu		předpokl. pro všechny	Uhli	Slama	Uhli	Plyn
označení varianty	charakteristika varianty		Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
	slovně		Uhli 35 MW	PBS 25	Uhli 2x35	Plyn
<b>Předpoklady instalovaných kapacit a CAPEX projektu</b>						
rezervovaný výkon z obnovitelných zdrojů	MWt		0	25	0	0
rezervovaný z vlast. uhelných kotlů	MWt		35	0	70	0
výkon vlastních plynových kotlů	MWt		55	65	20	90
instalovaný výkon celkem	MWt		90	90	90	90
potřebný výkon ve zdrojích	MWt	90	90	90	90	90
nadbytek (+)/nedostaek (-) instalovaného výkonu	MWt		0	0	0	0
přiměřenost inst. výkonu projektu k poptávce	slovně		bez rezerv	bez rezerv	bez rezerv	bez rezerv
CAPEX na kotle z obnovitelných zdrojů	mil. Kč		0	66,7	0	0
CAPEX uhelných kotlů kotle	mil. Kč		289	0	578	0
CAPEX vlastních plynových kotlů	mil. Kč		143	176	54	228
CAPEX celkem	mil. Kč		432	243	632	228

Tab. 6 Souhrn informací jako vstup do výpočtu ceny tepla

## Bilance tepla

V dalším kroku je nezbytné stanovit množství dodaného tepla jednotlivými zdroji, tzv. bilance tepla. Tato záležitost není až tak jednoduchá především z důvodu, který jsem popsal na konci kapitoly „Optimální rozdělení tepelných výkonů“. Výpočet dodaného tepla zařízením pro základní zatížení se zohledněním problematiky minimálního výkonu jsem zjistil následovně:

- Vycházím z hodinové spotřeby tepla v lokalitě. Náhled excelového souboru je možné vidět v Příloze 1.
- Sloupec Pt určuje průměrný tepelný výkon, který byl po dobu jedné hodiny dodáván do sítě.
- Sloupec Qvyr určuje množství tepla, které bylo dodané v téže hodině do sítě.
- Poslední tři sloupce ukazují různé varianty tepelného výkonu pro základní zatížení (bude vysvětleno dále). Tyto tepelné výkony korespondují s jednotlivými technickými variantami. V popisu dále se budu věnovat kotli pro základní zatížení o výkonu 70 MWt.
- Všechny řádky jsou seřazeny sestupně podle průměrného tepelného výkonu Pt.

- Začínám na posledním řádku, kde je tepelný výkon na hodnotě „0“ a postupně pokračuji nahoru, až dosáhnu tepelného výkonu 14 000 kWt. Tato hodnota je minimální stabilizovaný provoz pro uhelný kotel o výkonu 35 MWt. V excelovém souboru se jedná o řádek 4 135.
- Druhý hraniční bod pro určení dodaného tepla bude tepelný výkon 70 MWt. Jedná se o řádek 229.
- Mezi těmito dvěma hraničními body budu kopírovat hodnoty vyrobeného tepla do sloupce příslušnému zdroji pro základní zatížení o výkonu 70 MWt.
- Pro tepelné výkony nad 70 MWt (tzn. od řádku 229 výše) budu kopírovat shodnou hodnotu dodaného tepla, jako je pro řádek 229. To z toho důvodu, že právě v tyto hodiny již nedokáží kotle pro základní zatížení zásobovat vyšší dodávkou tepla, jejich výkon je maximální.
- Takto jsou ve sloupci pro 70 MWt kotel všechna dodaná tepla tímto kotlem. Při sečtení všech hodnot v tomto sloupci získávám hodnotu celkového dodaného tepla v daném roce k variantě 70 MWt v základním zatížení.
- Identicky budu pokračovat pro varianty 35 MWt a 25 MWt.
- Náhled výstupu ukazují v tab. 4:

Varianty základního zatížení		
70 MWt	35 MWt	25 MWt
<b>Qvyr (GJ)</b>		
543 134	444 809	372 384

Tab. 7 Náhled výstupu z výpočtu dodaného tepla zařízením pro základní zatížení

Celkovou bilanci tepla pro lepší orientaci znázorním v tabulce pro lepší přehlednost a také pro dopočtení jednoduchých výpočtu – procentuální podíly na dodávce tepla apod. Vše je zaznamenáno v tab. 8:

<b>Bilance tepla</b>						
<b>Varianty projektu</b>		předpokl.	Uhli	Slama	Uhli	Plyn
označení varianty		pro	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
charakteristika varianty	slovně	všechny	Uhli 35 MW	PBS 25	Uhli 2x35	Plyn
prodej tepla zákazníkům	TJprod/rok		593	593	593	593
ztrátovost sítě	%	7%	7%	7%	7%	7%
ztráta sítě	TJ/rok		45	45	45	45
Dodávka tepla ze zdrojů do distribuční sítě	TJdod/rok		638	638	638	638
pořízeno ze zdrojů (užitečná dodávka)	TJuž/rok		638	638	638	638
- z toho z OZ	TJuž/rok		0	372	0	0
dtto, podíl dodávky z OZ	%		0%	58%	0%	0%
- z toho z uhlénoho zdroje	TJuž/rok		445	0	543	0
dtto, podíl dodávky z uhlénoho zdroje	%		70%	0%	85%	0%
- z toho z plynových kotelen	TJuž/rok		193	266	95	638
dtto, podíl dodávky z plynu	%		30%	42%	15%	100%

Tab. 8 Bilance tepla

V tab. 5 jsou údaje zaznamenávány v tisících GJ, tedy v terrajoulech. Výchozí informace je, že dodávka tepla teplárnou do lokality (TJdod) je 638 TJ. Zpětně dopočítám přes znalost ztrátovosti sítě prodej tepla zákazníkům (TJprod), které potřebuji znát především pro následné zjištění tržeb za prodej tepla.

Identicky důležitou informací je rozdělení dodávek tepla dle jednotlivých typů zdrojů. Množství tepla dodaného jednotlivými zdroji pro základní zatížení jsem popsal v předchozích stranách. V tabulce 5 jsou pak dopočteny údaje o procentuálním podílu na celkové dodávce tepla a také dopočet, jaké množství tepla musí dodat špičkovací zdroje na zemní plyn. Velmi zajímavé jsou procentuální hodnoty užitečné dodávky tepla pro zdroje základního zatížení. Detailní srovnání těchto údajů uvádím v tab. 9:

<b>Srovnání instalované kapacity a užitečné dodávky tepla</b>				
	Uhli	Slama	Uhli	Plyn
	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
	Uhli 35 MW	PBS 25	Uhli 2x35	Plyn
Podíl na instalované kapacitě	39%	28%	78%	100%
Podíl na dodávce	70%	58%	85%	100%

Tab. 9 Srovnání instalované kapacity a užitečné dodávky tepla

Z této tabulky lze vyvodit velmi zajímavé poznání, a tím je rozdílnost mezi podílem na instalované kapacitě a relací k podílu na užitečné dodávce tepla z identického zdroje. Navýší-li se výkon mezi variantou 2 a variantou 3 o 11 procentních bodů, dojde k navýšení užitečné dodávky tepla o 12 procentních bodů. Srovnáme-li ovšem variantu 1 a variantu 3, kdy dojde k navýšení instalované kapacity o

39 procentních bodů, dojde k navýšení užitečné dodávky už jen pouze o 15 procentních bodů. Tento jev je zcela v souladu s hodinovou spotřebou tepla uvedenou na obr. 5.

Další důležité předpoklady výpočtu jsou nákladové vstupy a účinnosti. Tyto hodnoty uvádím v tab. 10, přičemž hodnoty v tabulce jsou buďto všeobecně známé a uznávané hodnoty (např. účinnosti kotlů) nebo jsou zjištěny na základě vystavené poptávky po komoditě odpovídající roční spotřebě tepla.

Ceny a základní nákladové údaje zařízení						
Varianty projektu		předpokl.	Uhli	Slama	Uhli	Plyn
označení varianty		pro	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
charakteristika varianty	slovně	všechny	Uhli 35 MW	PBS 25	Uhli 2x35	Plyn
cena tepla z OZ vc. Príspevku na biomasu 40 Kč/GJ	Kč/GJdod.	110	0	110	0	0
cena uhlí včetně dopravy a plynu pro stabilizaci	Kč/GJ pal	2	62	0	62	0
cena plynu včetně distribuce	Kč/GJuž		212	202	233	207
cena povolenky CO2	Kč/ks(t)		121	121	121	121
účinnost vlastních plynových kotlů	%		90%	90%	90%	90%
účinnost slámového zdroje	%		90%	90%	90%	90%
celková účinnost uhelného zdroje na výrobu tepla	%		87%	87%	87%	87%
počet pracovníků	osob		22	15	22	8

Tab. 10 Ceny a základní nákladové údaje zařízení

Počet pracovníků je stanovený na základě odborného odhadu. Počet zaměstnanců určím dle stupně automatizace daného typu zdroje, přičemž plynové kotle nevyžadují téměř žádnou obsluhu. Kotle na uhlí naopak vyžadují kontinuální péči několika lidí od přípravy paliva až po uložení popelovin.

Palivové náklady jsou náročnější na stanovení. Nejprve musím určit množství tepla dodaného jednotlivými zdroji pro každou variantu zvlášť. Přes přepočty pomocí účinnosti zdroje z tab. 7 získám množství tepla potřebného v palivu. Při jednotkové ceně za GJ u jednotlivých typů paliva pak dopočítám celkové náklady na palivo. Jednotlivé výsledky výpočtů a celkové náklady jsou uvedeny v tab. 11:



Výrobní náklady zdrojů						
Varianty projektu		předpokl.	Uhli	Slama	Uhli	Plyn
označení varianty		pro	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
charakteristika varianty	slovně	všechny	Uhli 35 MW	PBS 25	Uhli 2x35	Plyn
nákup slámy do slámového zdroje	mil. Kč/r		0	45	0	0
nákup zemního plynu vč. distribuce	mil. Kč/r		46	60	25	147
nákup uhlí vč. dopravy a plynu pro stabilizaci kotlů	mil. Kč/r		32	0	39	0
nákup povolenek CO2	mil. Kč/r		7	2	8	5
personální náklady (48 tis superhruba mzda)	mil. Kč/r		12	8	12	5
údržba (s proměnnou velikostí dle výroby tepla)	mil. Kč/r		7	3	12	2
režie	mil. Kč/r	9	9	9	9	9
odpisy	mil. Kč/r		28	16	42	15
průměrná doba odpisu	roky		15	15	15	15
celkem proměnné provozní náklady	mil. Kč/r		84	107	71	151
celkem provozní náklady na pořízení energií	mil. Kč/r		113	128	104	167
celkem fixní náklady včetně odpisů	mil. Kč/r		56	36	75	31
celkem náklady	mil. Kč/r		141	144	146	182

Tab. 11 Výrobní náklady zdrojů

Tímto byly stanoveny veškeré náklady na výrobu tepla z jednotlivých variant typů zdrojů. Dle ERÚ je povolený „přiměřený“ zisk, který se aplikuje přírážkovou metodou k celkovým nákladům na tepelnou energii. Za přiměřený zisk se považuje do 8 % nebo také přírážka do 50 Kč/GJ dodaného tepla do rozvodné sítě. Aplikováním fixní přírážky 50 Kč/GJ dopočítám výslednou cenu tepla ze zdroje se započtením zisku. Výsledek je uvedený v tab. 12:

Celková cena tepla ze zdrojů						
Varianty projektu		předpokl.	Uhli	Slama	Uhli	Plyn
označení varianty		pro	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
charakteristika varianty	slovně	všechny	Uhli 35 MW	PBS 25	Uhli 2x35	Plyn
kalkulovaný hrubý zisk při dané životnosti	mil. Kč/r	50	32	32	32	32
náklady + potřebný hrubý zisk výroby = potřebné tržby	mil. Kč/r		172	176	178	214
kalkulovaná cena tepla ze zdrojů	Kč/GJdod.		270	275	278	335

Tab. 12 Celková cena tepla ze zdrojů

## Zhodnocení výsledků ceny tepla a jednotlivých variant

Výsledek je jednoznačný ve prospěch zdrojů spalujících tuhá paliva. Čistá plynofikace lokality je evidentně z pohledu zákazníků nejméně přívětivou variantou z důvodu vysoké ceny tepla v porovnání s ostatními zdroji. Pro zákazníka ovšem toto nebude finální cena, neboť kalkulovaná cena tepla ze zdrojů je cena tzv. „na patě zdroje“. Pro získání finální ceny tepla by bylo nutné přičíst k prodejní ceně tepla ze zdroje ještě náklady a zisk za distribuci tepla. Ta se skládá především z personálních nákladů, odpisů, oprav a údržby a zisk z ceny distribuce tepla. Běžná hodnota za distribuci se pohybuje v rozmezí 70 – 150 Kč/GJ dodaného tepla. Protože se ovšem tato práce zabývá hodnocením investičního projektu do nového tepelného zdroje, nebudu se dále distribucí zabývat.

Vrátím-li se zpět k celkové ceně tepla, pak logicky by se nabízelo stanovit jako vhodnou variantu ten zdroj, který bude mít nejnižší cenu tepla a shodně tedy varianty s drahou produkcí tepla zavrhnout. Protože se ale jedná o dlouhodobou investici do energetického zdroje, je nutné vzít v úvahu další aspekty. Jedním z primárních aspektů je, že zákazníci se nemohou libovolně odpojit od soustavy centrálního zásobování teplem a zřídit si vlastní zdroj tepla. Důvodů je několik, nejzásadnější jsou limity emisního znečištění a s ním spojená územní koncepce zdrojů vytápění. Další limitující faktor odpojení může být nedostatečná distribuční soustava potenciálních paliv pro odpojovací se odběratele. Tím pádem není nutné být striktně svázán s nejnižší cenou paliva, ale lépe je dívat se na investici jako na celek.

Jeden z možných pohledů na celkovou situaci je stav, kdy na jedné straně jsou variabilní ceny paliva a rizika jeho dodávky, na druhé straně jsou ekologické limity pro velké energetické zdroje. Díváme-li se tedy na lokalitu dlouhodobě, je velmi spekulativní uvažování nad budoucím vývojem ceny zemního plynu a rizikovost jeho dodávky ze zemí bývalého Sovětského svazu. Na druhou stranu zemní plyn patří mezi nejčistší paliva a mezi fosilními zdroji je jednoznačně nejméně zatěžující životní prostředí. Obráceně pak zdroj na uhlí má velkou výhodu v možnosti uzavřít dlouhodobou smlouvu na dodávku paliva s nedalekými uhelnými doly za velmi příznivých podmínek a s nízkým rizikem nedodávky, avšak emisní znečištění od uhelného zdroje je i po provedení ekologických opatření typu DeNO<sub>x</sub> a DeSO<sub>x</sub> značnější než u zemního plynu.

U slaměného zdroje se zdá, že výše popsané problémy jednotlivých zdrojů tepla (zemní plyn a uhlí) jsou do značné míry eliminovány – palivo je vyráběno lokální produkcí bez většího vlivu na globální geopolitické problémy. Sláma je navíc obnovitelný zdroj, který lze shodně jako uhlí zajistit dlouhodobými smlouvami se zemědělskými družstvy. Ekologické zatížení od slámy dle legislativy je shodné jako od uhelného stroje, ovšem ke svému provozování není zapotřebí zvláštních technologických opatření nad rámec filtrů spalin, aby zdroj splnil emisní limity. Slaměné kotle mají jiné komplikace, přičemž bych nerad některou z nich předradil před jinou, proto je uvádím v odrážkách:

- Vysoké skladovací nároky na palivo, které musí být udržováno v dostatečné kvalitě ke spálení – balíky musí být baleny za specifických podmínek tak, aby nedošlo k uhnívání slámy uvnitř balíků. Sláma zároveň musí být udržována v suchém prostředí ze shodného důvodu.
- Přepravní nároky na zajištění dostatečného množství paliva mohou zvýšit dopravní zatížení. Zároveň nízká energetická hustota paliva vede k přepravě velkých objemů paliva, čímž se zvyšuje využívání fosilních paliv potřebných k dopravě paliva.
- Sláma má vyšší obsah prchavé složky v palivu oproti jiným tuhým palivům typu dřevní štěpka nebo uhlí. Hoření tohoto paliva je proto náročnější pro stabilizaci a kontrolu.
- Sláma po spálení vytváří tzv. strusku namísto popele. Tato struska koncentruje spoustu látek, které obsahovala sláma ve velkém objemu před spálením a které se dostaly z umělých hnojiv do stébla obilí. Nad rámec těchto látek z hnojiv sláma (obilí) „nasává“ ze země minerální látky, které je nutné do půdy vracet. Toto je ovšem komplikované, neboť naprostá většina strusky vyprodukované na území České republiky nesplňuje limity umožňující její opětovné zaorání právě z důvodu nadměrného užívání umělých hnojiv. Namísto zaorání je struska odvážena na skládku odpadu. Dochází tak ke zvýšenému vyčerpávání polí na rozdíl oproti zaorání slámy nebo strusky zpět do půdy. Dle ČZU je snížení úrodnosti pole bez zpětného zaorání slámy nebo strusky až o 40 % oproti poli, kde dojde k navrácení minerálů do půdy. Tento údaj nemám ověřený studií, která měla být na ČZU provedena.

- Nízká cena tepla je dosažena také za pomoci státní dotace 40 Kč/GJ vyrobeného tepla.

Jak je vidět výše, záležitost volby zdroje je velmi komplexní problematika, která by neměla být založena pouze na výsledné ceně tepla, ale měla by zohledňovat spoustu dalších aspektů. Proto volbu optimální varianty budu řešit v následujících podkapitolách v sekci „*Vyhodnocení*“, kde budou zohledněny nejen ekonomické výsledky, ale také další faktory ovlivňující volbu optimální varianty.

## Možnosti financování investičního projektu

V této kapitole se budu zabývat možnostmi financování investičního projektu. Nejprve určím strany, které se budou na projektu podílet:

**Zákazník** – Zákazníkem je současný vlastník teplárny, který uskutečňuje investiční rozhodnutí.

**Zhotovitel** – společnost, která vzejde z výběrového řízení a jejímž úkolem bude zhotovit požadované dílo v daném čase v odpovídající kvalitě. Výběrové řízení (výběr zhotovitele) bude proveden po vypracování zadávací dokumentace investorem. Předpokládám (dle současného zvyku většiny výrobců kotlů), že zhotovitel s sebou nenese financování, tedy zrealizuje projekt na základě platebních podmínek požadovaných ve výběrovém řízení. Proto je potřeba, aby zákazník volil vhodné financování už v době rozhodování o investici a toto financování bylo součástí výběrového řízení.

**Financující instituce/banka** – financující institucí může být sám investor, pokud má dostatečné množství volných finančních prostředků (vlastního kapitálu), nebo využije cizího subjektu poskytující finanční služby.

Pro další potřeby je potřeba rozdělit možnosti financování do tří podskupin, a to následovně:

- 1) Zákazník financuje z „CAPEXu“ – tzn. zákazník je vlastníkem díla (investice) a financuje z vlastního kapitálu bez využití úvěru (cizího kapitálu) nebo za využití korporátního financování, kdy holdingová skupina zapůjčí dceřiné společnosti kapitál za předem daných podmínek, viz obr. 12:



Obr. 12 Financování vlastním kapitálem

V tomto případě se jako náklady na kapitál promítá do výpočtu hodnota nákladů na vlastní kapitál.

Pokud bychom uvažovali, že investorem bude akciová společnost s emisí pouze kmenových akcií, pak náklady na vlastní kapitál se budou rovnat tzv. oportunitním nákladům akciového investora (neboli náklady ušlé příležitosti), kdy investorovi do akcií musí být zajištěn výnos shodný nebo vyšší, než jaký by dosáhl u jiné nevyužité investiční příležitosti. Dlouhodobě se na pražské akciové burze pohybuje takový výnos v rozmezí od 8 do 12 % při zanedbání bankovních titulů.

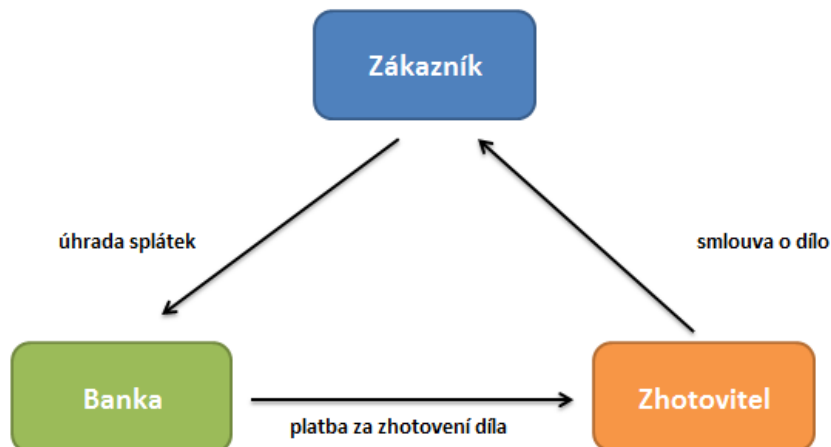
2) Zákazník financuje z „CAPEXu“ – tzn. zákazník je vlastníkem díla (investice) a financuje za pomoci cizího kapitálu. Tato možnost má 3 podvarianty:

- a. Splátky za využití splátkového kalendáře. V tomto modelu je platba za dílo rozprostřena v čase ideálně tak, aby se volné finanční prostředky z investice (free cash flow to the firm) rovnaly nebo převyšovaly splátky zhotoviteli. Vzhledem k faktu, že naprostá většina dodavatelů technologických zařízení není schopna na sebe navázat financování, nebudu tuto variantu dále rozvíjet. Názorně je však zobrazena na obr. 13:



Obr. 13 Financování cizím kapitálem – splátkový kalendář

- b. Splátky za využití investičního úvěru. Nejčastěji užívaný způsob investování v případě menších společností, které nepoužívají holdingové struktury, nebo např. poolingový systém řízení kapitálu. Principiálně se jedná o úvěr, který je vázaný na danou investici, pro zákazníka je nejlepší variantou ručit touto investicí a zároveň platby zhotoviteli probíhají na základě předem domluvených milníků mezi bankou, zákazníkem a zhotovitelem. Splátkový kalendář je plně v režii banky a zákazníka bez vlivu zhotovitele. Názorné zobrazení je uvedeno na obr. 14:



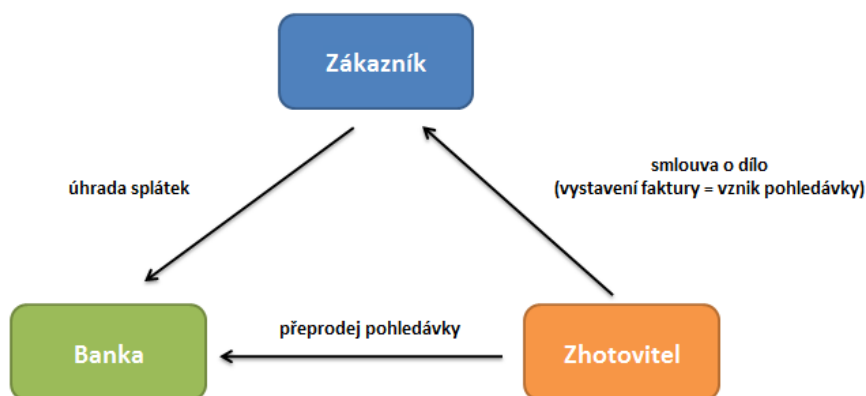
Obr. 14 Financování cizím kapitálem – investiční úvěr

- c. Splátky za využití postoupení pohledávky bance. Tento systém se mezinárodně nazývá „forfaiting“.

Jedná se o odkup jednotlivých zajištěných pohledávek. Banka jako forfaitér pohledávky odkupuje bez postihu vůči zákazníkovi. To znamená, že jako nový věřitel sama nese riziko jejich zaplacení. Při odkupu zhotoviteli ihned proplácí pohledávky s určitým poplatkem jako srážkou.

Cena forfaitingu závisí na kvalitě (bonitě) odběratele, charakteru a době splatnosti pohledávky. Odkupovaná pohledávka je vždy zajištěna jinou bankou, např. avalovanou směnkou, dokumentárním akreditivem nebo bankovní zárukou.

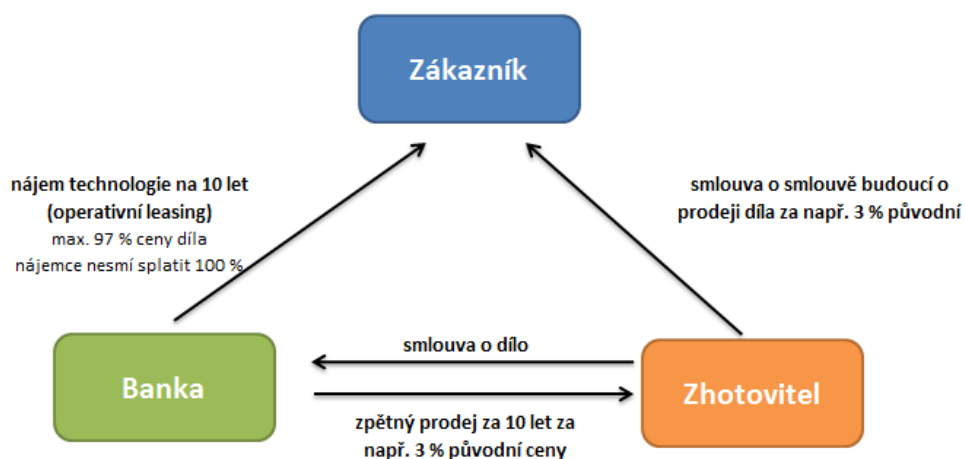
Model takového financování je uveden na obr. 15:



Obr. 15 Financování cizím kapitálem – postoupení pohledávky



- 3) Zákazník financuje z „OPEXu“ – tzn. zákazník není vlastníkem díla, ale splácí leasingové splátky bance, která je vlastníkem díla. Aby se mohlo jednat o operativní leasing, nesmí být majetek po ukončení leasingu prodán do majetku zákazníka, proto je již na začátku sjednaná varianta prodeje přes zhotovitele. Výhodou pro zákazníka je, že nepromítá leasing do bilance společnosti a opticky tak nevzniká zvýšené zadlužení společnosti. Podobně jako u operativního leasingu na automobily, tento způsob financování je velmi drahý a proto se jím nebudu dále ve výpočtech zabývat. Názorně je tento model uveden na obr. 16:



Obr. 16 Financování cizím kapitálem – operativní leasing

Přehledně jsou všechny uvedené možnosti uvedeny v tab. 13 níže. Uvedené hodnoty úrokové míry jsou orientační, neboť pro přesně stanovení této hodnoty by muselo dojít k detailnímu posouzení ratingu zákazníka a jeho rizikovosti z hlediska banky, aktuální výši PRIBOR na českém trhu, formě zajištění investice a mnoho dalších faktorů, které mohou danou úrokovou míru ovlivnit.

## Přehled možností financování projektu

Typ financování	Očekávání zákazníka	Vlastník majetku	Nositel kreditního rizika	Smluvní vztah (zjednodušeně)	Situace z pohledu zákazníka	Náklady na kapitál
<b>1</b>	<b>Vlastním dílo a platím ihned</b>	Zákazník	Zákazník	Smlouva o dílo (Zhotovitel → Zákazník)	CAPEX	<b>8 – 12 %</b>
<b>2</b>	<b>Vlastním dílo, ale chci ho na splátky (CAPEX)</b>	Zákazník	Zhotovitel	Smlouva o dílo se splátkovým kalendářem (Zhotovitel → Zákazník)	CAPEX.	----
<b>3</b>		Zákazník	Banka	Smlouva o dílo (Zhotovitel → Zákazník)  Smlouva o investičním úvěru (Zákazník → Banka)	CAPEX	<b>2 – 5 %</b>
<b>4</b>		Zákazník	Banka	Smlouva o dílo se splátkovým kalendářem (Zhotovitel → Zákazník)  Smlouva o postoupení pohledávky (Zhotovitel → Banka)	CAPEX	<b>3 – 8 %</b>

5	<b>Nechci vlastnit dílo, ale chci službu, splácím z provozních nákladů (OPEX)</b>	Banka, zhotovitel, zákazník	Banka	<p>Smlouva o dílo (Zhotovitel → Banka)</p> <p>Nájemní smlouva – operativní leasing (Banka → Zákazník)</p> <p>Smlouva o poskytování služby údržby a servisu (Zhotovitel → Zákazník)</p> <p>Kupní smlouva – odprodej na konci (Banka → Zhotovitel → Zákazník)</p>	OPEX	<b>3 – 8 %</b>
---	---	-----------------------------	-------	---	------	----------------

Tab. 13 Přehled možností financování projektu

## Výpočet IRR projektu

Pro porovnání výhodnosti jednotlivých variant a možností jejich financování vypočtu vnitřní výnosové procento (IRR – Internal Rate of Return), které pak porovnáme s možnostmi financování. Pokud bude IRR vyšší, než náklady na financování projektu, je daná varianta pro investora ekonomicky výhodná.

Pro výpočet vnitřního výnosového procenta (IRR – Internal Rate of Return) budu uvažovat standardní výpočtový vzorec:

$$IN = \sum \frac{CF}{(1+IRR)^n}, \quad (6)$$

kde  $IN$  je výše investice (CAPEX vynaložení na pořízení zdroje),  $CF$  je nediskontovaný finanční tok z investice,  $n$  je doba životnosti investice, v našem případě shodná s odpisovou dobou 15 let a  $IRR$  je hledané vnitřní výnosové procento.

V našem případě mohu vzorec výpočtu vnitřního výnosového procenta přepsat takto:

$$CAPEX_{Var} = \sum_{n=1}^{n=15} \frac{CF}{(1+IRR)^n}, \quad (7)$$

Vstupní hodnoty finančních toků vstupujících do výpočtu IRR uvádím v následující tab. 14:

CF Investice																
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cash Flow - Uhlí	-432	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Cash Flow - Sláma	-243	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Cash Flow - Uhlí 2x	-632	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Cash Flow - Plyn	-228	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

Tab. 14 Cash Flow investic

















Dopčet IRR provedu přes výpočtovou funkci v Excelu. Výsledky jsem zaznamenal v tab. 15:

Vnitřní výnosové procento					
Varianty projektu	předpokl. pro všechny	Uhlí	Sláma	Uhlí	Plyn
		Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
označení varianty		Uhlí 35 MW + plyn	PBS 25 MW	Uhlí 2x35 MW	Plyn
charakteristika varianty	Jednotka				
CAPEX varianty	mil Kč	-432	-243	-632	-228
IRR		1%	10%	-3%	11%

Tab. 15 Vnitřní výnosové procento investic

## Srovnání IRR a možností financování projektu

V následující tab. 16 uvádím srovnání, které je pro investora důležité z hlediska možností financování projektu. Logika srovnání je taková, že pro náklady na financování, které jsou nižší než vypočtené IRR, je značení zeleným obrazcem a v případech, kde je financování nepřijatelné, je značeno červeným.

Typ financování	Var 1 Uhlí 35 MW IRR = 1 %	Var 2 Sláma 25 MW IRR = 10 %	Var 3 Uhlí 2x35 MW IRR = - 3 %	Var 4 Plyn IRR = 11 %
1				
2	---	---	---	---
3				
4				
5				

Tab. 16 Vnitřní výnosové procento investic

Přijatelné varianty jsou tedy ekonomicky výhodné pro investora zrealizovat za podmínek financování dle tab. 13. Výsledky by se daly srovnat tak, že uhelné varianty mají nadměrné investiční zatížení v porovnání s výnosem, které by dosahovaly. Existují ovšem situace, kdy i tyto varianty by dávaly smysl jako např.:

- Investor by získal synergický efekt rozšířením hodnotového řetězce. Jako příklad lze uvést majitele uhelného dolu, který má současnou teplárnu jako jednoho z hlavních odběratelů a v případě přechodu na jiné palivo by došlo k utlumení těžby a ztráty dodatečného zisku realizovaného těžbou uhlí.
- Strategická investice z hlediska bezpečnosti bez výrazného tlaku na ekonomiku a návratnost řešení. Příkladem může být aktuální preference polské vlády, kdy jsou uhelné zdroje navzdory špatné kvalitě ovzduší preferovány oproti např. zdrojům na zemní plyn. Cílem pak je omezit závislost na dovozu zemního plynu, který se může stát velmi silnou vyjednávací silou států zemní plyn vyvážející. V České republice tento jev zatím nenastává, i když je často zmiňován ve spojení s výstavbou jaderných elektráren.

## Vyhodnocení variant a doporučení pro výběr nevhodnější varianty

Vyhodnocení doporučené varianty provedu postupně a to tak, že nejprve stanovím dvě nejlepší varianty pomocí metody tzv. vícekritériálního hodnocení variant a na tyto dvě varianty následně aplikuji metodu Kepner – Tregoe k případnému doplnění nutných otázek a odpovědí, které budou sloužit jako doporučení pro výběr nevhodnější varianty pro investiční rozhodnutí.

### Vícekritériální hodnocení variant

#### Teoretická východiska

Jak jsem již v předchozích kapitolách uvedl, vlivů na správné rozhodnutí a správnou volbu varianty je mnoho, přičemž některé z nich již byly vyjmenovány. Tento rozhodovací problém, kdy optimální rozhodnutí musí vyhovovat více než jednomu kritériu, se jmenuje vícekritériální rozhodovací problém. Tato kritéria mohou mít kvantitativní i kvalitativní charakter (při koupi automobilu je rozhodující jak jeho cena, tak i vzhled), mohou být minimalizační i maximalizační (požadujeme, aby zakoupený automobil byl co nejlacinější a dosahoval co největšího výkonu) a mohou být i navzájem konfliktní (nízká cena automobilu je většinou spojena s jeho horší kvalitou/vyšší poruchovostí).

Cílem vícekritériálního hodnocení je stanovit tzv. optimální/doporučenou variantu, která bude vyhodnocena na základě stanovených kritérií. V našem případě je cílem určit dvě nejlepší varianty, které budou podléhat dalšímu zkoumání v další kapitole.

#### Nejdůležitější pojmy:

- Varianty – konkrétní rozhodovací možnosti. Jejich značení odpovídá značení užitě v předchozích částech práce.
- Kritéria – hlediska, ze kterých jsou varianty posuzovány, standardně jsou označovány „ $K_i$ “, přičemž  $i = 1, 2, \dots, n$ .
- Váha – číselné vyjádření váhy daného kritéria

### Volba vah – metoda pořadí

Volba vah je subjektivní a většinou je prováděna za pomoci konzultace zadavatele/investora. V rámci této práce není konzultace s investorem možná, proto bude aplikována metoda pořadí. U této metody se seřadí kritéria od nejvýznamnějšího k nejméně významnému a takto uspořádaným kritériím se přiřadí váhy  $v_i$ .

Důležité pravidlo u volby vah je, aby součet přes všechna kritéria byl roven jedné. Pokud tedy váhy pro  $i$ -té kritérium označíme  $v_i$ , pak matematický zápis předchozího výroku je následující:

$$\sum_{i=1}^n v_i = 1$$

Dalším důležitým pravidlem je, že čím důležitější kritérium je, tím větší váhu musí mít přidělenou. K získání váhy u jednotlivých kritérií se používá mezi výpočet, a tím je bodové ohodnocení každého kritéria (označení „ $b_i$ “). Nejdůležitější kritérium  $K_i$  ohodnotím „plným počtem bodů“, tj.  $b_i = n$  bodů. Druhé nejdůležitější kritérium získá  $b_i = n-1$  bodů, až poslední (nejméně důležité) získá jeden bod. U shodně důležitých kritérií získávají obě kritéria jejich bodový průměr.

Váhu daného kritéria získáme jako poměr mezi přidělenými body konkrétnímu kritériu vydělený součtem všech bodů. Matematicky zapsáno pak váha daného kritéria vypadá následovně:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}$$

### Bodové ohodnocení variant

Druhé bodové ohodnocení tentokrát není napříč kritérii, ale naopak u každého kritéria musí dojít k přiřazení bodového ohodnocení dané varianty. Protože jsou 4 varianty, budou ke každému kritériu přiřazeny body 1 – 4, přičemž vyšší bodové ohodnocení značí lepší hodnotu.

Vynásobením bodového ohodnocení variant váhami jednotlivých kritérií získávám upravený údaj o váhové koeficienty stanovené v předchozím kroku. Součtem všech takto upravených bodových ohodnocení pro konkrétní variantu určím celkový

počet bodů, které daná varianta získá. Dvě varianty s nejvyšším počtem bodů budou určeny jako preferované a budou dále zkoumány v následující kapitole.



## Praktická část

První předurčení preferovaných variant již proběhlo v kapitole „*Srovnání IRR a možnosti financování*“. Zde byly z ekonomických hledisek doporučeny varianty 2 a 4 a zároveň obě uhelné varianty byly posouzeny jako ekonomicky nevýhodné. V rámci komplexního hodnocení budou posuzovány i tyto varianty pro potvrzení/vyvrácení předchozí ekonomické úvahy. Z tohoto důvodu aplikuji vícekriteriální hodnocení zohledňující i jiné než ekonomické aspekty, přičemž váhy jednotlivých kritérií určím pomocí již zmíněné „metody pořadí“. Kritéria seřadím do tabulky tak, jak mi subjektivně budou připadat důležitá. Tato část je zatížena chybou, neboť toto subjektivní hodnocení může mít každý investor jiné a tím pádem by došlo k přeskupení kritérií a jejich váhového ohodnocení. Mnou zvolena kritéria jsou:

- IRR – vyšší IRR značí vyšší výnos pro investora, je vnímáno pozitivně
- Cena tepla na patě zdroje (Cena – pata) – nižší cena tepla zajišťuje nižší pravděpodobnost odpojování zákazníků z důvodu vysokých nákladů na vytápění a přechodu k vlastnímu zdroji vytápění
- Ekologické hledisko získání paliva (Eko – palivo) – vyšší ekologické zatížení při získávání paliva se projevuje negativně v lokalitách jeho těžby
- Emisní znečištění lokality (Emise) – emise způsobené spalováním působí negativně na kvalitu života především v zimních měsících
- Riziko omezení zásobování palivem (Zásobování) – bezpečné dodávky paliva jsou základním předpokladem bezproblémového zajištění dodávek tepla odběratelům
- Riziko růstu ceny paliva (Růst ceny paliva) – vyšší riziko růstu ceny paliva může mít v budoucnu za následek odpojování odběratelů v případě naplnění negativního scénáře zvýšení ceny paliva
- Legislativní zpřísnění provozování (Legislativa) – možné vícenásobné na legislativní zpřísnění (např. nižší emisní limity) a tedy zhoršení ekonomiky provozu po dobu životnosti zdroje
- Počet zaměstnanců (riziko růstu nákladů na jednoho zaměstnance) (Zaměstnanci) – vyšší nároky na počet obsluhujících zaměstnanců mohou do budoucna znamenat vyšší personální náklady a tedy zhoršení ekonomiky investice.

### Stanovení vah kritérií na základě metody pořadí

Pro správné vyhodnocení vhodné varianty je nutné nejprve stanovit váhy jednotlivých kritérií. Postupné stanovení uvádím v tab. 17:

Kritérium $K_i$	$i$	pořadí	počet bodů $b_i$	Váha $v_i$
<b>IRR</b>	1	1	8	0,22
<b>Cena – pata</b>	2	6	3	0,08
<b>Eko – palivo</b>	3	8	1	0,03
<b>Emise</b>	4	5	4	0,11
<b>Zásobování</b>	5	2	7	0,19
<b>Růst ceny paliva</b>	6	7	2	0,06
<b>Legislativa</b>	7	3	6	0,17
<b>Zaměstnanci</b>	8	4	5	0,14
<b>Kontrolní součet bodů</b>	-	-	36	1,00

Tab. 17 Stanovení vah kritérií

Danou váhu jsem určil jako počet bodů vydělený součtem bodů – např. počet bodů pro IRR je tedy  $8/36 = 0,22$ . Stejný postup byl aplikován i na zbývající kritéria.

### Bodové ohodnocení variant u jednotlivých kritérií

V tab. 18 aplikuji seřazení jednotlivých variant ke každému hodnoticímu kritériu:

Kritérium	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
	Uhlí 35 MW	Sláma 25 MW	Uhlí 2x35 MW	Plyn
<b>IRR</b>	2	3	1	4
<b>Cena – pata</b>	4	3	2	1
<b>Eko – palivo</b>	2	3	1	4
<b>Emise</b>	2	3	1	4
<b>Zásobování</b>	2,5	4	2,5	1
<b>Růst ceny paliva</b>	3	2	4	1
<b>Legislativa</b>	2	3	1	4
<b>Zaměstnanci</b>	2,5	2,5	1	4

Tab. 18 Bodové ohodnocení kritérií

### Výsledné vyhodnocení preferovaných variant

Vynásobením bodového ohodnocení dle tab. 18 váhami každého kritéria získám celkový počet bodů každé varianty. Preferovaná varianta bude mít nejvyšší počet bodů. Výsledky jsem zaznamenal do tab. 19:

Kritérium	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
	Uhlí 35 MW	Sláma 25 MW	Uhlí 2x35 MW	Plyn
<b>IRR</b>	0,44	0,67	0,22	0,89
<b>Cena – pata</b>	0,33	0,25	0,17	0,08
<b>Eko – palivo</b>	0,06	0,08	0,03	0,11
<b>Emise</b>	0,22	0,33	0,11	0,44
<b>Zásobování</b>	0,49	0,78	0,49	0,19
<b>Růst ceny paliva</b>	0,17	0,11	0,22	0,06
<b>Legislativa</b>	0,33	0,50	0,17	0,67
<b>Zaměstnanci</b>	0,35	0,35	0,14	0,56
<b>Součet bodů</b>	<b>2,39</b>	<b>3,07</b>	<b>1,54</b>	<b>3,00</b>
<b>Preference řešení</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

Tab. 19 Výsledné vyhodnocení vhodné varianty

Na základě navržených kritérií a jejich preferencí je preferovanou variantou varianta č. 2 – základní zatížení pokryté kotlem spalující slámu a na špičkové výkony bude použit zemní plyn. Jako druhá nejlepší varianta je kompletní plynofikace. Obě uhelné varianty byly bodově ohodnoceny na pozice 3 a 4.

## Detailní analýza nejlepších variant

Pro plnohodnotné posouzení optimální varianty podrobím první dvě nejlepší varianty stanovené na základě závěrů z vícekritériálního hodnocení variant dodatečnou analýzou. Pro tuto analýzu použiji metodu Kepner-Tregoe, přičemž každou variantu budu analyzovat na základě následujících otázek:

- Kdyby došlo ke změnám základních vstupních předpokladů, byla by daná varianta ještě přijatelná?

Této otázce vystavím každé z uvažovaných kritérií a uvedu situace, kdy by došlo ke změně vstupních předpokladů a jaké by z toho vznikly důsledky. Těmito důsledky by totiž mohla být ovlivněna optimální varianta.

Posuzované kritérium	Změna vstupních parametrů pro dané kritérium
<b>IRR</b>	<p>Základním vstupním předpokladem je celkový CAPEX za nový zdroj. Přesné hodnoty CAPEX by byly známy až po vypsání výběrového řízení. Pokud by došlo k výrazné odchylce od očekávaných hodnot ještě před zahájením realizace, muselo by dojít k přepočtu celkové ekonomiky lokality a k novému posouzení, která varianta vychází nejlépe.</p> <p>V průběhu výstavby je jednoznačně vyšší riziko vícenákladů výstavby u slámového zdroje, protože plynové zdroje jsou většinou sériově vyráběny a komplikace při výstavbě lze minimalizovat právě díky sériovosti instalací. Na druhou stranu stejně tak je možné uspořít u podpisu kontraktu na výstavbu právě z důvodu zájmu výrobců o tuto technologii.</p>
<b>Cena tepla na patě zdroje</b>	<p>Cena tepla na patě zdroje je kombinací provozních (variabilních) nákladů, odpisů a ziskové přírážky. Zisková přírážka lze předpokládat jako konstantní, tedy její vliv není. Odpisy souvisí s výší investice (CAPEX). Značnou část ceny tepla tvoří provozní náklady – palivové a personální náklady, tedy cílem investora by mělo být snižovat tyto náklady na takovou míru, aby celková cena tepla byla</p>

	<p>konkurenceschopná vůči oportunitním zdrojům tepla jednotlivých odběratelů.</p> <p>Aktuálně jsou u srovnávaných variant vyšší zaměstnanost a nižší palivové náklady u varianty slaměného kotle vůči variantě plně plynové. Vzhledem k tomu, že vliv personálních nákladů je nižší než palivové náklady, vychází v tomto ohledu lépe zdroj na slámu.</p> <p>Reálné ponížení ceny zemního plynu v dohledné době již není moc pravděpodobné, neboť dominantní postavení některých vývozců zemního plynu a časová náročnost výstavby nových plynovodů dává těmto státům silnou pozici z hlediska vyjednávání o ceně komodity.</p>
<b>Ekologické hledisko získání paliva</b>	<p>Ekologické smýšlení většiny investorů je omezeno na vliv samotného zdroje, nicméně nebývá často zohledňováno, jakým způsobem je dané palivo získáno. Tento parametr je plně subjektivní a navíc jeho změna se odehrává v řádu desítek let (např. břidličné plyny vs. standardní těžba zemního plynu). Nepovažuji tedy vliv tohoto parametru za podstatný, který by měl zásadní vliv na volbu zdroje, ovšem v celkovém vyhodnocení by neměl být opomenut.</p>
<b>Emisní znečištění lokality</b>	<p>Emise produkované kotli na zemní plyn jsou jednoznačně nejnižší ze všech posuzovaných variant. Ke změně tohoto parametru u varianty slaměného kotle by muselo dojít buď k výraznému zlepšení technologie spalování, nebo dodatečným čištěním spalin, které ovšem zvyšuje nároky na CAPEX varianty se slámovým kotlem.</p>
<b>Riziko omezení zásobování palivem</b>	<p>Mezi nejbezpečnější způsob zajištění palivem je jeho vlastní produkce, nebo alespoň produkce v rámci jedné geopolitické oblasti. Pro upřednostnění zemního plynu by muselo dojít k zvýšení vlastní produkce na území ČR, nebo posílení nezávislosti na dodávkách ze zemí s nestabilní politickou situací jako např. země bývalého Sovětského svazu.</p>
<b>Riziko růstu ceny paliva</b>	<p>Riziko růstu ceny paliva je jednak spjato s bezpečností zásobování palivem, jednak s dalšími vlivy jako např. legislativa, transitní kapacita, spotřeba shodného paliva v dalších lokalitách (nárůst poptávky), množství producentů (nabídka) apod. Toto riziko je jednoznačně nižší u slámy, i když i tato komodita je velmi vázaná na</p>

	zemědělskou politiku státu.
<b>Legislativní zpřísnění provozování</b>	Ani u jedné z posuzovaných variant (plyn vs. sláma) není aktuálně předpokládáno další zpřísnění legislativy v oblasti emisí, než jaké je dosud známo (viz. kapitola Emisní limity)
<b>Počet zaměstnanců</b>	Vzhledem k nízké automatizaci kotle na slámu je zde potenciál pro snížení obsluhy kotle. U plynových kotlů je ovšem tento potenciál vyčerpaný na úroveň legislativních požadavků

Tab. 20 Analýza vstupních předpokladů

- Existuje nějaké legislativní omezení, které by limitovalo použití preferované alternativy?

Největším legislativním rizikem jsou emisní limity v lokalitě vysoce postižené emisním zatížením od nedalekých hutních závodů. Hrozí zde tedy situace, že bude požadovaná taková varianta, která bude mít nejnižší ekologické zatížení pro lokalitu a tou je kompletní plynofikace.

- Je preferovaná alternativa v souladu s názory a postoji akcionářů?

Je předpokládáno, že průměrný akcionář v oblasti energetiky má averzi k riziku a je tedy ochoten smířit se s nižším výnosem s předpokladem jeho dlouhodobosti. Nižším výnosem je myšleno výnos průměrného akciového titulu okolo 10 %.

- Koresponduje preferovaná alternativa s přijatou strategií, strategickými cíli, posláním či jinými zásadně vymezenými podmínkami (např. politické bariéry)?

Preferovaná alternativa je pouze doporučením, které je investorovi navrženo jako vhodná varianta pro realizaci nezohledňující strategické cíle investora, protože tyto cíle nejsou známy. Pokud by byly tyto cíle rozdílné oproti preferované variantě, bude tento podklad sloužit pouze pro přehled možných alternativ.

Pro finální zhodnocení navázu na předchozí zhodnocení maticí QSPM (Quantitative Strategic Planning Matrix) dle [5]. Jednotlivé vlivy jsou rozděleny na vnější (příležitosti a hrozby) a vnitřní faktory (silné a slabé stránky).

<b>FAKTORY EXTERNÍ A INTERNÍ ANALÝZY</b>	<b>VÁHA</b>	<b>VAR. 2 - SLÁMA</b>		<b>VAR. 4 - ZEMNÍ PLYN</b>	
<b>PŘÍLEŽITOSTI (O)</b>	<b>V</b>	<b>KD</b>	<b>CD</b>	<b>KD</b>	<b>CD</b>
Dosáhnutí vyššího IRR pokud bude dosaženo nižší ceny při realizaci projektu	<b>0,2</b>	<b>4</b>	<b>0,8</b>	<b>3</b>	<b>0,6</b>
Připojování nových odběratelů na základě výstavby nových průmyslových hal v nevyužívaném brownfieldu	<b>0,1</b>	<b>2</b>	<b>0,2</b>	<b>2</b>	<b>0,2</b>
PR investora v lokalitě	<b>0,03</b>	<b>4</b>	<b>0,12</b>	<b>2</b>	<b>0,06</b>
Jistoty dodávky tepla odběratelům v dlouhodobém horizontu	<b>0,07</b>	<b>3</b>	<b>0,21</b>	<b>2</b>	<b>0,14</b>
Nová technologie výroby tepla umožňující navázání nových obchodních partnerství s dodavateli	<b>0,05</b>	<b>2</b>	<b>0,1</b>	<b>1</b>	<b>0,05</b>
<b>HROZBY (T)</b>	<b>V</b>	<b>KD</b>	<b>CD</b>	<b>KD</b>	<b>CD</b>
Cena tepla na patě zdroje - růst provozních nákladů po zprovoznění nového zdroje	<b>0,1</b>	<b>2</b>	<b>0,2</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>
Riziko omezení zásobování palivem	<b>0,2</b>	<b>3</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>	<b>0,4</b>
Riziko růstu ceny paliva	<b>0,1</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>2</b>	<b>0,2</b>
Změna kurzu CZK/EUR a následný dopad do ceny paliva	<b>0,05</b>	<b>3</b>	<b>0,15</b>	<b>2</b>	<b>0,1</b>
Nesplnění závazků ze strany dodavatelů - termíny dodávky, garantované parametry	<b>0,05</b>	<b>1</b>	<b>0,05</b>	<b>2</b>	<b>0,1</b>
Legislativní zpřísnění provozování vyžadující dodatečné investice do zařízení	<b>0,1</b>	<b>2</b>	<b>0,2</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>
<b>SILNÉ STRÁNKY (S)</b>	<b>V</b>	<b>KD</b>	<b>CD</b>	<b>KD</b>	<b>CD</b>

Ekologické získávání paliva oproti současnému získávání paliva - uhlí	<b>0,15</b>	<b>2</b>	<b>0,3</b>	<b>1</b>	<b>0,15</b>
Snížení emisního zatížení lokality	<b>0,2</b>	<b>3</b>	<b>0,6</b>	<b>4</b>	<b>0,8</b>
Snížení počtu zaměstnanců oproti současnému stavu	<b>0,2</b>	<b>3</b>	<b>0,6</b>	<b>4</b>	<b>0,8</b>
<b>SLABÉ STRÁNKY (W)</b>	<b>V</b>	<b>KD</b>	<b>CD</b>	<b>KD</b>	<b>CD</b>
Možné zvýšení zadlužení investora	<b>0,45</b>	<b>4</b>	<b>1,8</b>	<b>4</b>	<b>1,8</b>
<b><math>\Sigma X_{\zeta}</math></b>			<b>6,23</b>		<b>6</b>

Tab. 21 QSPM matice

Pro současně nastavené parametry vyhodnocovacích kritérií byla potvrzena volba slaměného kotle (Varianta 2) jako optimální z hlediska investičního rozhodnutí.



## Závěr

Diplomovou práci na téma „Hodnocení investičního projektu“ jsem rozdělil do dvou částí. První část je převážně teoretická, kdy se zabývám teoretickými podklady pro lepší pochopení problematiky zásobování teplem a vytvářím tak povědomí pro druhou praktickou část, která je věnovaná konkrétnímu investičnímu projektu.

Cílem diplomové práce je vyhodnotit na základě posouzení komplexních ukazatelů projekt nového tepelného zdroje k zastarávající teplárně v zásobované lokalitě v Moravskoslezském kraji, přičemž současná skladba odběratelů tepla a množství odebraného tepla jsou výrazně odlišné, než jaké byly v době budování tamní teplotárenské sítě v 50. letech 20. století.

V praktické části jsem se nejdříve zaměřil na analýzu současného stavu a spotřeby tepla. Na tomto základě jsem stanovil optimální rozdělení výkonů jednotlivých kotlů mezi kotle pro základní zatížení a kotle špičkovací. Jednotlivými kombinacemi různých typů kotlů jsem získal celkem 4 přípustné varianty technického řešení pro danou lokalitu. Tyto řešení jsem následně rozpracoval do takového detailu, abych byl schopný určit IRR každé z variant. Ukazatel IRR jsem následně porovnal s možnostmi, jak tento investiční projekt financovat a tím jsem získal informaci, které z variant jsou ekonomicky přípustné – varianta 2 s použitím kotle na slámu a varianta 4 plná plynofikace lokality.

Vzhledem ke složitosti rozhodovacího problému a množství faktorů, které mají vliv na volbu varianty, byla aplikována metoda vícekritériálního hodnocení variant. Během této analýzy byly vyznačeny oblasti, které mají vliv na vhodnou volbu zdroje, byly stanoveny váhy těchto ovlivňujících oblastí a následně byly určeny dvě nejvhodnější varianty pro danou lokalitu – opět těmi variantami byl kotel na slámu a plná plynofikace, přičemž preferovaná varianta je kotel na slámu. Tato volba se následně potvrdila v analýze rizik, které byly analyzovány pomocí QSPM matice.

## Zdroje

- [1] BUKOVSKÝ, Lukáš. *Technicko–ekonomická studie Nový zdroj tepla – kotelna*. Ostrava, 2015.
- [2] BUKOVSKÝ, Lukáš. *Technicko–ekonomická studie Nový zdroj tepla – decentralizace*. Ostrava, 2016.
- [3] CAHA, Bc. Tomáš. *Studie výroby elektrické energie z biomasy*. Brno, 2009. Diplomová práce. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
- [4] DVOŘÁK, Ladislav. *Teplárenství a potrubní sítě*. první. Praha 6: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00946-7.
- [5] FOTR, J., - VACÍK, E a kol.: *Tvorba strategie a strategické plánování*. Praha: Grada Publishing, 2012, ISBN 978-80-247-3985-4.
- [6] MLADÁ FRONTA, Deník E15. *Budoucnost teplárenství v ČR: Odborný seminář vedený Teplárenským sdružením ČR*. Praha, 2014.
- [7] PAVEL, Zelenka, První brněnská strojírna a.s. *Nabídka na dodávku horkovodního kotle spalujícího biomasu, 25 MWt*. Brno, 2016.
- [8] Panelové domy 2 – nízkoenergetický standard. *Tzb-info - stavebnictví, úspory energií* [online]. Praha, 2012 [cit. 2016-10-09]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/uspory-vytapani/9107-panelove-domy-2-nizkoenergeticky-standard>
- [9] *ROZHODNUTÍ KOMISE: o oznámení předloženém Českou republikou týkajícím se přechodného národního plánu podle článku 32 směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích*. 2015.
- [10] *Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší*. In: . Praha: MŽP, 2012, ročník 2012, číslo 415.

## **Přílohy**

### **Seznam příloh:**

Příloha 1 – Hodinová spotřeba tepla lokality

## Příloha 1

<b>Hodinové průběhy tepelných výkonů - 2014</b>					
<b>Celkem</b>					
LÉTO ZIMA	Den týdne	Hodina dne	Den v roce	Qvyr (GJ)	Pt (kWh)
				638 282	177 300 464
Z	5	17:00	24.1.2014	385,36	107 045,5
Z	1	9:00	27.1.2014	382,28	106 189,6
Z	1	8:00	27.1.2014	354,12	98 366,9
Z	2	12:00	28.1.2014	350,82	97 449,5
Z	7	22:00	26.1.2014	341,72	94 921,8
Z	1	7:00	27.1.2014	340,23	94 509,0
Z	5	16:00	24.1.2014	338,29	93 970,0
Z	6	24:00:00	25.1.2014	336,01	93 337,3
Z	6	23:00	25.1.2014	335,23	93 118,1
Z	6	10:00	25.1.2014	333,26	92 572,7
Z	7	4:00	26.1.2014	333,16	92 545,6
Z	6	9:00	25.1.2014	332,89	92 469,9
Z	1	4:00	27.1.2014	332,25	92 290,3
Z	6	11:00	25.1.2014	331,68	92 132,8
Z	5	18:00	24.1.2014	331,38	92 049,0
Z	4	1:00	30.1.2014	331,31	92 029,7
Z	7	5:00	26.1.2014	330,33	91 758,3
Z	7	1:00	26.1.2014	328,10	91 139,4
Z	6	8:00	25.1.2014	327,04	90 843,9
Z	4	9:00	30.1.2014	326,74	90 760,0
Z	7	6:00	26.1.2014	326,15	90 597,7
Z	6	12:00	25.1.2014	326,09	90 581,5
Z	7	7:00	26.1.2014	324,77	90 213,5
Z	6	6:00	25.1.2014	324,46	90 129,1
Z	6	16:00	25.1.2014	324,37	90 102,0
Z	3	5:00	29.1.2014	323,28	89 801,0
Z	1	5:00	27.1.2014	322,79	89 662,9
Z	1	1:00	27.1.2014	322,42	89 560,2
Z	6	20:00	25.1.2014	321,89	89 413,7
Z	7	9:00	26.1.2014	320,89	89 135,0
Z	7	8:00	26.1.2014	320,75	89 098,1
Z	6	5:00	25.1.2014	320,64	89 067,3
Z	6	18:00	25.1.2014	320,42	89 005,7
Z	1	3:00	27.1.2014	320,38	88 995,3
Z	7	23:00	26.1.2014	320,31	88 974,7
Z	7	24:00:00	26.1.2014	320,23	88 952,1
Z	4	2:00	30.1.2014	319,89	88 859,1
Z	2	22:00	30.12.2014	319,75	88 819,1
Z	1	6:00	27.1.2014	317,35	88 153,1
Z	2	4:00	28.1.2014	317,17	88 103,9
Z	6	7:00	25.1.2014	317,10	88 084,5
Z	6	17:00	25.1.2014	316,97	88 047,9
Z	4	10:00	30.1.2014	316,61	87 948,3