

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ENERGETIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Model pro parametrický návrh decentrálního
zdroje tepla na biomasu v podmínkách ČR**

Bc. Jaroslava Panáková

2021

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jakub Maščuch, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Panáková** Jméno: **Jaroslava** Osobní číslo: **46552**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Energetika a procesní inženýrství**
Specializace: **Energetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Model pro parametrický návrh decentralního zdroje tepla na biomasu v podmínkách ČR

Název diplomové práce anglicky:

Model for a Parametric Design of Decentralized Biomass Heat Source for the Czech Republic Conditions

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je vytvoření nástroje/modelu pro hodnocení využití lokálních biomasových zdrojů pro vytápění a kogeneraci pro obce a malé podniky v rozmezí potřeby tepla přibližně 1 500 až 15 000 GJ.

Práce bude obsahovat:

- 1) Rešerši přístupů k navrhování energetických zdrojů a přehled vlastností vybraných technologií. Dílčím cílem je popis okrajových podmínek nalezení a vhodných okolností pro uplatnění kogenerační jednotky na biomasu Wave 120 vyvinuté na ČVUT.
- 2) Popis postupu tvorby výpočetního nástroje pro parametrický návrh zdroje tepla, který bude navržen pro hledání minimálních provozních nákladů celého řešení. Uvažovanými technologiemi jsou kotle na dřevní pelety, kotle na dřevní štěpky a jednotky Wave 120 na dřevní štěpku. Klíčová je možnost upravit diagram trvání potřeby tepla.
- 3) Praktickou/výpočtovou část spočívající v demonstrování nástroje pro tři zadané případy, citlivostní analýzu a jejich porovnání.

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího DP. K práci budou přednostně využity informace z recenzovaných tištěných a internetových článků, knih a dalších publikací.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jakub Maščuch, Ph.D., ústav energetiky FS

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **23.04.2021** Termín odevzdání diplomové práce: **04.06.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2022**

Ing. Jakub Maščuch, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci s názvem *Model pro parametrický návrh decentralního zdroje tepla na biomasu v podmínkách ČR* vypracovala samostatně pod vedením vedoucího práce a že veškeré použité literární i další zdroje jsem uvedla v seznamu literatury a v práci citovala v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 3. 6. 2021

.....

ANOTAČNÍ LIST

- Název práce:** Model pro parametrický návrh decentrálního zdroje tepla na biomasu v podmínkách ČR
- Klíčová slova:** zdroj tepla, centrální zásobování teplem, dřevní biomasa, kogenerační jednotka, parametrický návrh
- Anotace:** Práce se zabývá parametrickým návrhem zdroje tepla na dřevní biomasu pro projekty s roční potřebou tepla v rozmezí 1 500 až 15 000 GJ. Je provedena rešerše způsobů návrhu zdroje tepla a na jejím základě je navržena metodika návrhu a vytvořen výpočetní nástroj v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. Zadávanými parametry pro model jsou celková roční potřeba tepla, poměr potřeby tepla pro vytápění, ohřev teplé užitkové vody a pro technologickou potřebu a další doplňující parametry. Model pracuje se čtyřmi variantami skladby zdroje, které jsou kombinacemi kogeneračních jednotek Wave 120, kotlů na štěpku a peletových kotlů. Po vypočtení provozních údajů jsou stanoveny provozní a investiční náklady a je porovnána hodnota NPV (čistá současná hodnota) pro jednotlivé varianty skladby zdroje tepla.

ANNOTATION

Thesis title: Model for a Parametric Design of Decentralized Biomass Heat Source for the Czech Republic Conditions

Keywords: heat source, central heat supply, wood biomass, cogeneration unit, parametric design

Abstract: The thesis focuses on parametric design of a wood biomass heat source for projects with annual heat demand in the range from 1 500 to 15 000 GJ. A research on methodologies used for a heat source design is undertaken. Based on the research own methodology is proposed and a design tool is created using spreadsheet Microsoft Excel. Parameters supplied to the model are the annual requirement of heat, the ratio between heat demand for space heating, water heating and technology and some other additional parameters. The model considers four variants of the heat source composition which are combinations of cogeneration units Wave 120, woodchip boilers and pellet boilers. After a calculation of operational data operational and investment costs are determined and the net present values are calculated and compared for each variant of composition of the heat source.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych velmi poděkovat vedoucímu práce Ing. Jakobovi Maščuchovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a nadstandardní podporu při tvorbě práce. Děkuji své rodině a blízkým přátelům za konstantní podporu a trpělivé sdílení mých radostí i starostí spojených s psaním práce i s celým studiem. Děkuji také Bohu, o kterého jsem se mohla vždy opřít a nikdy mě nezklamal.

OBSAH

Úvod	10
1 Přístupy při návrhu zdroje tepla	12
1.1 Stanovení potřeby tepla	12
1.1.1 Potřeba tepla pro vytápění.....	12
1.1.2 Potřeba tepla pro ohřev TUV.....	14
1.1.3 Technologická potřeba tepla	16
1.2 Návrh velikosti instalovaného výkonu	18
1.2.1 Denní a roční diagramy potřeby výkonu	18
1.2.2 Volba instalovaného výkonu	21
1.3 Návrh jednotkové skladby zdroje tepla	22
1.3.1 Volba počtu jednotek podle výkonu nebo doby využití zdroje	22
1.3.2 Volba počtu jednotek z hlediska zabezpečení dodávky v případě výpadku jednotky	24
1.4 Zvolený rámcový postup návrhu zdroje tepla.....	24
2 Charakteristika uvažovaných zdrojů tepla	26
2.1 Kotle na dřevní pelety.....	26
2.2 Kotle na dřevní štěpku.....	27
2.3 Kogenerační jednotka Wave 120.....	28
2.4 Palivové hospodářství pro biomasu	30
2.4.1 Dodávky paliva.....	30
2.4.2 Velikost skladu.....	31
2.4.3 Vybavení skladu biomasy	32
2.4.4 Údržba a provoz	33
2.5 Zařízení palivového hospodářství.....	33
2.5.1 Zařízení automatizovaného skladu dřevní štěpky	34
2.5.2 Zařízení automatizovaného skladu dřevních pelet.....	40
2.6 Příklady realizovaných projektů.....	43
2.6.1 Výtopna Hostětín	44
2.6.2 Zemědělský podnik (výroba krmiv) Dibaq, a. s.....	45
2.6.3 Teplárna Trhové Sviny.....	46

2.6.4	Výtopna Valašská Bystřice	47
2.6.5	Teplárna Mydlovary.....	49
3	Postup návrhu výpočetního nástroje.....	51
3.1	Rámcový postup návrhu	51
3.2	Volba softwaru.....	52
3.2.1	Poznámka k různým verzím softwaru.....	52
3.2.2	Vnitřní členění výpočetního nástroje.....	52
3.3	Vstupní hodnoty.....	56
3.3.1	Vstupní hodnoty pro technický výpočet	56
3.3.2	Ekonomické parametry	58
3.4	Měsíční potřeby tepla.....	60
3.4.1	Měsíční potřeba tepla na vytápění	60
3.4.2	Měsíční potřeba tepla pro ohřev TUV.....	64
3.4.3	Měsíční potřeba tepla pro technologie	65
3.5	Průběh potřeb výkonu.....	65
3.5.1	Denní diagramy potřeby výkonu	65
3.5.2	Celkové měsíční potřeby výkonu.....	68
3.5.3	Roční diagram trvání potřeby výkonu.....	69
3.5.4	Souběhy potřeb výkonu.....	70
3.5.5	„Zajištěný“ výkon	71
3.6	Stanovení provozních parametrů.....	72
3.6.1	Parametry kogenerační jednotky Wave 120.....	72
3.6.2	Volba kotlů a jejich parametry.....	73
3.6.3	Provozní účinnost jednotek	74
3.6.4	Spotřeba elektrické energie.....	75
3.7	Návrh zdroje tepla: varianty s kogenerační jednotkou.....	77
3.7.1	Rozdělení dodávky tepla mezi kogenerační jednotky a kotle	77
3.7.2	Výpočet některých provozních parametrů	80
3.7.3	Návrh jednotkové skladby.....	81
3.8	Návrh zdroje tepla: varianty pouze s kotli.....	83
3.8.1	Výpočet některých provozních parametrů	83
3.8.2	Návrh jednotkové skladby.....	84
3.9	Ekonomické zhodnocení a volba nejlepší varianty	85
3.9.1	Způsob ekonomického hodnocení.....	85
3.9.2	Diskontní míra vs. růst cen.....	86
3.9.3	Ceny elektřiny a paliv	87

3.9.4	Investiční náklady.....	89
3.9.5	Volba nejlepší varianty	90
4	Demonstrace výpočetního nástroje.....	92
4.1	Zadání.....	92
4.2	Výsledky pro jednotlivá zadání	94
4.2.1	Zadání 1 – výrobní podnik.....	94
4.2.2	Zadání 2 – výrobní podnik + obytná lokalita.....	95
4.2.3	Zadání 3 – obytná lokalita.....	96
4.2.4	Porovnání výsledků.....	97
4.3	Citlivostní analýza	97
4.4	Závěry pro uplatnění kogenerační jednotky Wave 120	101
	Závěr.....	102
	Použitá literatura	103
	Použité zkratky	112
	Přílohy	113
	Příloha 1: Model pro parametrický návrh zdroje tepla na biomasu (<i>elektronická příloha</i>)	113
	Příloha 2: Model pro parametrický návrh zdroje tepla na biomasu_9W (<i>elektronická příloha</i>).....	113

ÚVOD

Ústředním tématem této práce je návrh zdroje tepla na biomasu pro menší obce nebo podniky. Konkrétně je vyhodnocováno několik kombinací následujících typů jednotek pro výrobu tepla: kotle na dřevní pelety, kotle na dřevní štěpku a kogenerační jednotka na dřevní štěpku Wave 120 vyvinutá na ČVUT UCEEB. Návrh jednotlivých variant a jejich optimalizace budou provedeny s využitím výpočtového modelu, který provede parametrický návrh na základě několika základních vstupních hodnot a s využitím přiměřených zobecnění a zjednodušení. Je třeba zmínit, že cílem není nahradit plnohodnotnou studii proveditelnosti potřebnou k finálnímu rozhodnutí o realizaci konkrétního projektu. Navržený nástroj má sloužit k vytvoření úvodní představy o nárocích na zdroj tepla pro řešenou lokalitu a porovnat jednotlivé varianty použitých typů jednotek.

Nástroje s podobnou funkcí mohou v současnosti i blízké budoucnosti najít hojně využití, protože biomasové zdroje energie mají v kontextu současné politiky dobrý potenciál pro rozvoj. Jakožto člen EU má Česká republika (ČR) povinnost konkrétními způsoby realizovat zvyšování efektivity využití zdrojů energie a nárůst podílu obnovitelných zdrojů energie (OZE) na produkci energií. Tyto strategie a jejich potenciální efekty jsou promítnuty například v aktualizované Státní energetické koncepci z roku 2015 (ASEK) [1] a Vnitrostátním plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu z roku 2019 (VPČR) [2]. Vzhledem k omezenému potenciálu využití ostatních OZE se ČR orientuje na biomasové zdroje energie. Dle VPČR se předpokládá nárůst spotřeby OZE v sektoru vytápění a chlazení mezi lety 2016 a 2030 o 40 %. 57 % z rozvoje celkového využití OZE pro vytápění a chlazení připadá na využití biomasy, přičemž tento podíl odpovídá nárůstu spotřeby biomasy o 27 tisíc TJ od roku 2016 do roku 2030 (z celkové spotřeby 102 tis. TJ v roce 2016). Také instalovaný elektrický výkon v biomasových zdrojích by měl ve stejném časovém období narůst o 78 MW_e (o 21 %). Vzhledem k zaměření energetické politiky ČR lze očekávat rozvoj sektoru biomasových zdrojů tepla a elektřiny, který bude finančně podporován ze strany státu. [2]

Cílem diplomové práce je tvorba metodiky a nástroje pro vyhodnocení použití biomasových zdrojů pro vytápění a kogeneraci na úrovni obcí a malých podniků. Obsah práce bude rozdělen do tří hlavních oddílů. První oddíl obsahuje rešerše vztahující se k cíli práce. Nejprve je žádoucí určit vhodný postup při návrhu zdroje tepla. Znalosti z této problematiky získané při studiu budou tedy doplněny a podepřeny závěry z odborné literatury. Návrhový model bude porovnávat jednotlivé varianty z hlediska zjednodušených investičních a provozních nákladů. Jako doplnění bude uvedena charakteristika uvažovaných technologií z hlediska jejich předností a slabých stránek, vhodných oblastí pro uplatnění a nároků spojených s jejich provozem. Tak bude možné alespoň částečně nastínit komplexnost problematiky volby vhodného zdroje tepla.

Další část práce je zaměřena na vytvářený model. Tato kapitola bude obsahovat popis postupu při návrhu variant a při jejich vyhodnocování a porovnávání. Současně zde bude představen samotný výpočtový nástroj.

V závěrečném oddílu bude navržený model použit pro vyřešení tří konkrétních zadání, přičemž výsledky jsou porovnány a analyzovány.

1 PŘÍSTUPY PŘI NÁVRHU ZDROJE TEPLA

V této kapitole jsou zhodnoceny některé používané přístupy pro návrh zdroje tepla. Pro větší přehlednost je návrh rozdělen na do tří podkapitol: stanovení potřeby tepla, návrh velikosti instalovaného výkonu a návrh jednotkové skladby zdroje tepla. Na závěr je uvedeno, jaké postupy budou použity pro tvorbu výpočtového nástroje.

1.1 Stanovení potřeby tepla

První nutnou fází návrhu zdroje tepla je určení (nejčastěji) roční potřeby tepla. Mezi základní druhy potřeby tepla patří potřeba tepla pro vytápění, potřeba tepla pro ohřev teplé užitkové vody (TUV) a potřeba tepla pro technologické nebo výrobní účely. Tyto potřeby jsou svým charakterem poměrně odlišné a stanovují se pomocí různých metod.

Podle [3] lze potřeby tepla obecně dělit na závislé na venkovní teplotě, kam patří vytápění, větrání a klimatizace, a na prakticky nezávislé na teplotě ovzduší, kam patří příprava TUV, příprava pokrmů a výrobní účely.

V ideálním případě jsou k dispozici dlouhodobě měřené údaje o spotřebě tepla pro jednotlivé odběry, které poskytují poměrně přesnou představu. Užitečným zdrojem mohou být také faktury o platbách za dodávané teplo. Často ovšem nejsou k dispozici podobné údaje, anebo když existují, tak nerozlišují odběr tepla pro jednotlivé potřeby tepla.

Dále budou nastíněny možné postupy při stanovování velikosti potřeby tepla pro základní typy odběrů.

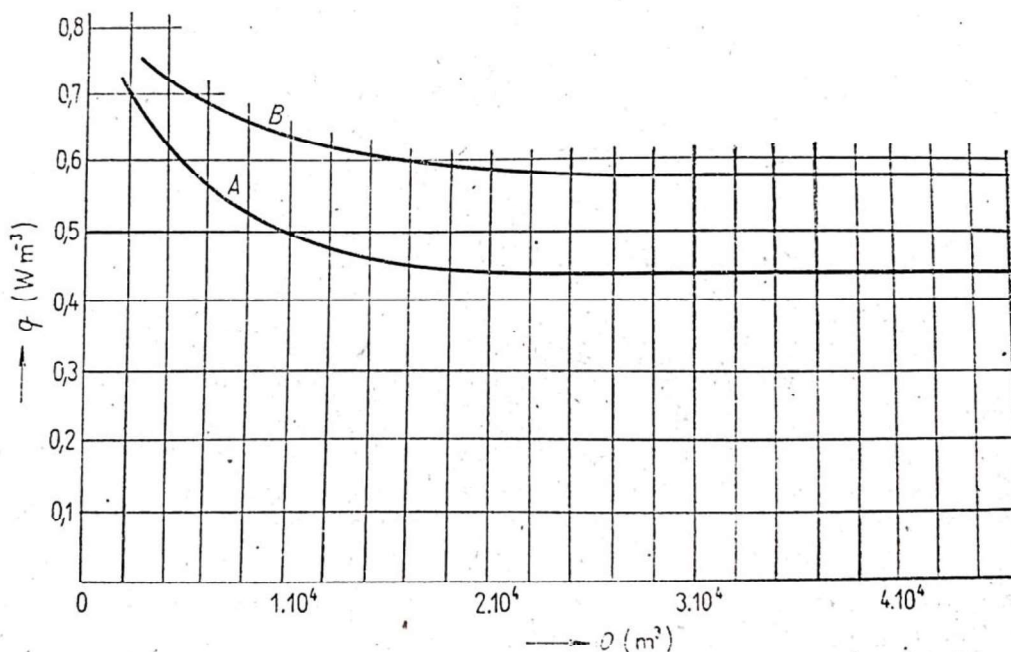
1.1.1 Potřeba tepla pro vytápění

Potřeba tepla pro vytápění je výrazná pro obytné oblasti a má silnou závislost na klimatických podmínkách v dané lokalitě. Obecně tuto potřebu tepla ovlivňuje také technický stav vytápěných objektů a požadované dosahované vnitřní teploty.

Výpočet tepelných ztrát objektu

Přesný výpočet potřeby tepla pro vytápění se provádí výpočtem tepelných ztrát jednotlivých vytápěných objektů. Postup výpočtů udávají například dnes již neplatné normy ČSN 06 0210 [4] a ČSN EN ISO 13790 [5] nebo platná norma ČSN EN ISO 52016 [6]. Jedná se o náročný postup vyžadující podrobné znalosti stavebních

dispozic a konstrukcí jednotlivých budov, a proto není vždy proveditelný pro předběžné návrhy. V takových situacích je možné použít přibližné měrné tepelné ztráty q [$W \cdot m^{-3}$]. Příklad těchto tepelných charakteristik uvádí např. [7] (viz Obrázek 1) nebo pro různé typy a stáří staveb [8] [9].



Obrázek 1: Tepelná charakteristika obytných a občanských budov v závislosti na obestaveném prostoru – křivka A platí pro cihelné stavby, křivka B pro lehké panelové stavby [7]

Tento princip stanovení potřeby tepla lze představit na následujícím vztahu (1.1), kde \dot{Q}_z [W] představuje maximální příkon odpovídající největší tepelné ztrátě objektů, n počet vytápěných objektů, q_{K_j} [$W \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$] tepelnou charakteristiku j -tého objektu, V_j [m^3] obestavený prostor j -tého objektu, t_i [$^{\circ}C$] průměrnou teplotu uvnitř objektu a t_e [$^{\circ}C$] oblastní teplotu ovzduší. [3]

$$\dot{Q}_z = \sum_{j=1}^n q_{K_j} \cdot V_j \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (1.1)$$

Denostupňová metoda

Při znalosti výpočtové tepelné ztráty objektů je v dalším kroku použita denostupňová metoda, která do návrhu integruje proměnlivost klimatických

podmínek. Denostupňová metoda je jedním z postupů, které mohou sloužit pro návrh, vyhodnocování a porovnávání zdrojů a spotřebičů tepla pomocí spotřeby energie. Základem je znalost průběhu venkovních teplot z meteorologických dat pro vyhodnocované období, kterým je nejčastěji jeden rok. Počet denostupňů příslušících jednomu dni je vypočten podle rovnice (1.2), kde $D^{\circ}(t_{is}) [d \cdot K]$ představuje počet denostupňů pro průměrnou vnitřní teplotu pro sledované období $t_{is} [^{\circ}C]$, $d [dny]$ udává počet dnů v období a $t_{es} [^{\circ}C]$ průměrnou venkovní teplotu ve sledovaném období.

$$D^{\circ}(t_{is}) = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [d \cdot K] \quad (1.2)$$

Samotná potřeba tepla pro vytápění se poté stanoví podle rovnice (1.3), kde $Q_v [J]$ je velikost potřeby tepla na vytápění, $\dot{Q}_v [W]$ je teplená ztráta objektu vypočtená pro výpočtovou vnitřní teplotu $t_i [^{\circ}C]$ a venkovní výpočtovou teplotu $t_e [^{\circ}C]$, d je počet dnů otopného období, $D^{\circ}(t_{is}) [d \cdot K]$ představuje počet denostupňů pro průměrnou vnitřní teplotu pro sledované období $t_{is} [^{\circ}C]$ a $\varepsilon [-]$ je opravný součinitel reflektující způsob provozu otopné soustavy. Obecně existuje velké množství součinitelů, které je možné použít a které odrážejí nejrůznější specifikta topného systému a způsobu vytápění. [3] [7] [10] [11]

$$Q_v = 24 \cdot 3\,600 \cdot \dot{Q}_v \cdot \frac{D^{\circ}(t_{is})}{t_i - t_e} \cdot \varepsilon \quad [J] \quad (1.3)$$

1.1.2 Potřeba tepla pro ohřev TUV

Jak již bylo uvedeno, potřeba tepla pro ohřev teplé užitkové vody v zásadě nezávisí na proměnlivosti venkovní teploty. Naopak je velikost potřeby poměrně významně závislá na chování spotřebitelů, které může být velmi různorodé. [3]

Měrné potřeby tepla pro ohřev vody

Hodnoty potřeby tepla pro ohřívání užitkové vody pro obytné a další druhy budov udává například norma ČSN 06 0320 [12]. Podle celkové potřeby tepla se poté určuje potřebný výkon zdroje. Hodnoty spotřeb teplé vody v domácnostech a pro některé další účely uvádí také [7] (viz Obrázek 2).

Druh budovy	Účel	Spotřeba vody (dm ³)	Teplota vody (°C)												
obytné budovy	na 1 mytí rukou	1 až 5	35 až 40												
	na 1 sprechování	50	35 až 40												
	na 1 lázeň ve vaně bez sprchy	150	40												
	na 1 lázeň ve vaně se sprchou	150 až 200	40												
	na 1 koupel v sedací vaně	50	40												
	celková denní spotřeba teplé užitkové vody v domácnosti (podle počtu členů rodiny)	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td rowspan="4" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>2členná</td> <td>120 až 160</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>3členná</td> <td>180 až 240</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>4členná</td> <td>220 až 300</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>5členná</td> <td>250 až 350</td> <td>60</td> </tr> </table>	}	2členná	120 až 160	60	3členná	180 až 240	60	4členná	220 až 300	60	5členná	250 až 350	60
}	2členná	120 až 160		60											
	3členná	180 až 240		60											
	4členná	220 až 300		60											
	5členná	250 až 350	60												
restaurace a jídelny	na 1 oběd	4 až 5	65 až 75												
nemocnice a sanatoria	na 1 pacienta a 1 osobu personálu za den	100 až 120	60												
školy	na 1 žáka za den	30	60												
jesle	na 1 kojence nebo dítě do 1 roku — za den	20	60												
	na 1 dítě od 1 do 3 roků — za den	25	60												
lázně	vana bez sprchy	500	40												
	vana se sprchou	600	40												
	sprcha	500	40												

Obrázek 2: Spotřeba užitkové vody pro různé účely [7]

Výpočet potřeby tepla na ohřev teplé vody

Výpočet potřeby tepla pro ohřev vody pro jednotlivé objekty uvádí [13]. Nejdříve je proveden výpočet denní potřeby tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} [J \cdot d^{-1}]$ dle vztahu (1.4), kde z [1] je koeficient energetických ztrát systému, $\rho [kg \cdot m^{-3}]$ je průměrná hustota ohřívající vody, $c_p [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ je měrná tepelná kapacita vody při konstantním tlaku, $V_p [m^3 \cdot den^{-1}]$ je celková potřeba teplé vody za jeden den, $t_1 [°C]$ je teplota studené vody a $t_2 [°C]$ teplota ohřáté vody.

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \rho \cdot c_p \cdot V_p \cdot (t_2 - t_1) [J \cdot d^{-1}] \quad (1.4)$$

V dalším kroku je pak vypočtena roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,r} [J \cdot rok^{-1}]$ vzhledem k délce otopného období a k rozdílu teploty studené vody v létě a v zimě podle rovnice (1.5). d je počet dnů otopného období, $t_{sv,l} [°C]$ je teplota studené vody v létě, $t_{sv,z} [°C]$ je teplota studené vody v zimě a N je počet pracovních dní soustavy v roce.

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{sv,l}}{t_2 - t_{sv,z}} \cdot (N - d) \quad [J \cdot rok^{-1}] \quad (1.5)$$

1.1.3 Technologická potřeba tepla

Pro stanovení potřeby tepla pro technologie už z podstaty neexistuje univerzální metodika, protože taková potřeba může představovat širokou škálu odběrů. V zásadě se jedná o průmyslové podniky, které mají různé druhy zatížení a způsobu provozu spotřebičů. Obecně opět platí, že výše těchto odběrů tepla v zásadě nezávisí na venkovní teplotě a ročních obdobích, nicméně u některých typů provozu to nemusí platit.

Při určování potřeby tepla výrobního podniku je jednou z možností použít měrné spotřeby tepla na jednotku výrobku a vynásobit je množstvím vyráběných výrobků za časový úsek, pokud jsou tyto hodnoty známy. Tento jednoduchý výpočet bude vypovídající za předpokladu, že výrobní proces probíhá ve zvolené časové jednotce rovnoměrně a že tedy i potřeba tepla během tohoto časového úseku roste rovnoměrně. Měrné spotřeby tepla u některých průmyslových výrobků jsou uvedeny níže (viz Obrázek 3).

Výrobek	Jednotka výroby	q_f (MW h/jedn. vyr.)
Kyselina sírová	t	1,2
Methanol	t	42
Ethanol	t	60
Ethylen	t	45
Emulzní PVC	t	22
Suspenzní PVC	t	9,5
Polystyren a kopolymery	t	132
Močovina	t	12,5
Butadien — styrenový kaučuk a latex	t	80
Zamíchané směsi pro gumárenský průmysl	t	44
Viskózní hedvábní kordové	t	380
Viskózní stříž	t	92
Polyamidové hedvábní	t	103
Dřevovláknité desky	m ³	30
Dřevotřískové a dřevopilinové desky	m ³	7
Buničina sulfátová — nebělená	t	28
Buničina — sulfátová	t	30
Buničina bělená	t	18,5
Papíry a kretony	t	32,5
Lepenky	t	28,5
Balvárná příze	t	9 až 13
Bavlnářské tkaniny	tis. m	36 až 52
Plošné usně	tis. dm ²	2,1
Stavební dílce	m ³	2,7 až 3,2
Pórobeton	m ³	1,8 až 2,4
Pálené zdicí materiály	tis. cihelných jednotek	5,7 až 6,2
Krytina pálená	tis. m ²	160 až 180
Keramické stavební dílce	m ³	2,3 až 3,7
Cukr rafinovaný	t	50
Surové rostlinné oleje	t	13,3
Surový líh	hl	6,7
Masné výrobky	t	14 až 14,2
Mlékárenské výrobky	tis. l.	1,8 až 2,0
Svítiplyn z tlakových plynáren	tis. m ³	18,3
Kapalná paliva z ropy	t	1,2 až 2,3

Obrázek 3: Měrná spotřeba tepla u některých průmyslových výrobců [3]

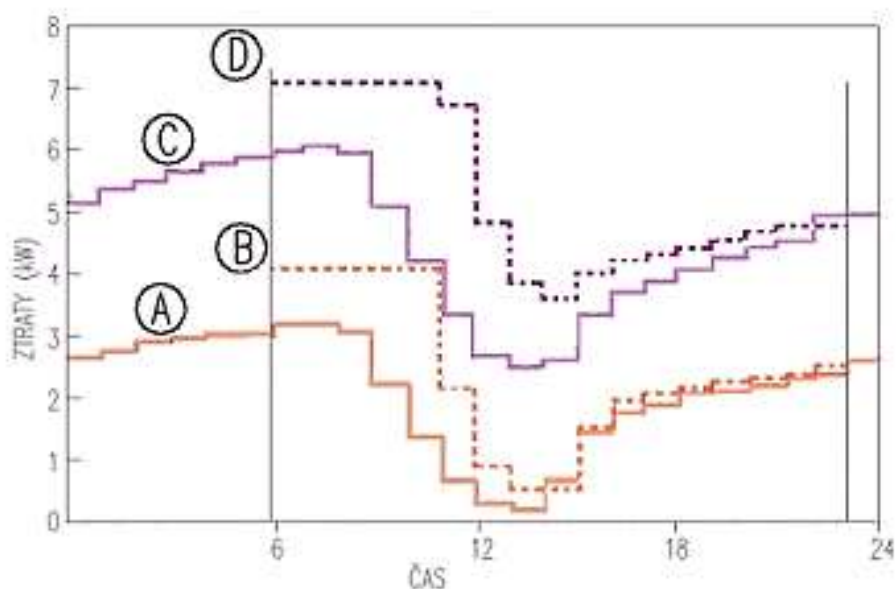
Také může být možné vycházet ze jmenovitého tepelného příkonu jednotlivých technologických spotřebičů. V tomto případě je třeba dbát na soudobost jednotlivých odběrů tepla. [3]

1.2 Návrh velikosti instalovaného výkonu

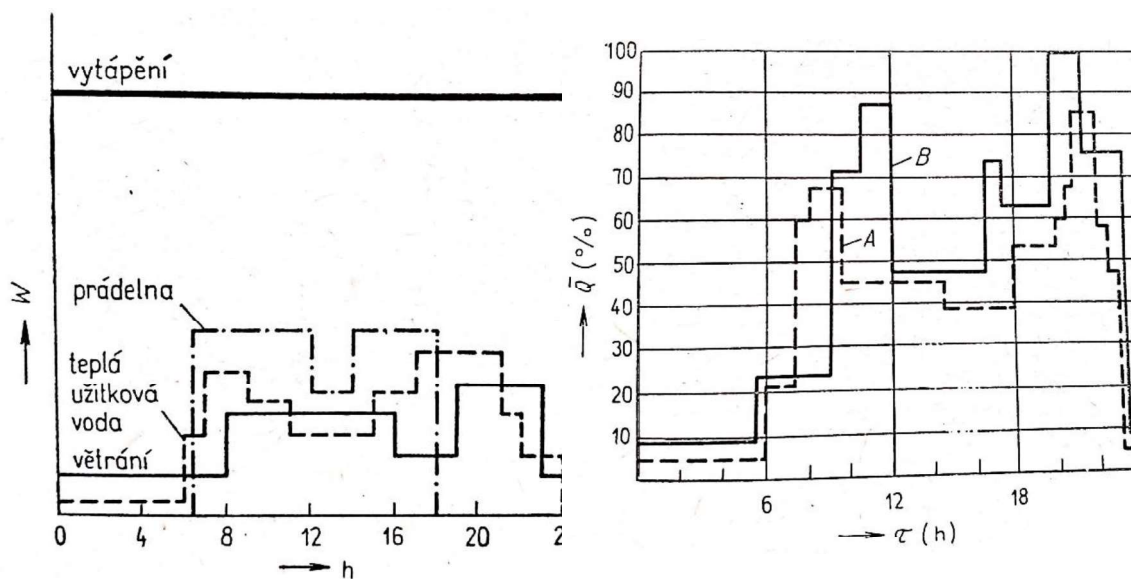
Samotná informace o požadovaném množství tepla neumožňuje spolehlivě stanovit vhodný instalovaný výkon zdroje tepla. Na tepelný zdroj jsou i při stejné roční dodávce tepla kladeny podstatně odlišné nároky, pokud slouží například pro vytápění obytného objektu s velkými příkonovými špičkami v několika zimních dnech a nízkým odběrem v letních a přechodových měsících, nebo pokud naopak zásobuje výrobní areál s celoročním rovnoměrným provozem.

1.2.1 Denní a roční diagramy potřeby výkonu

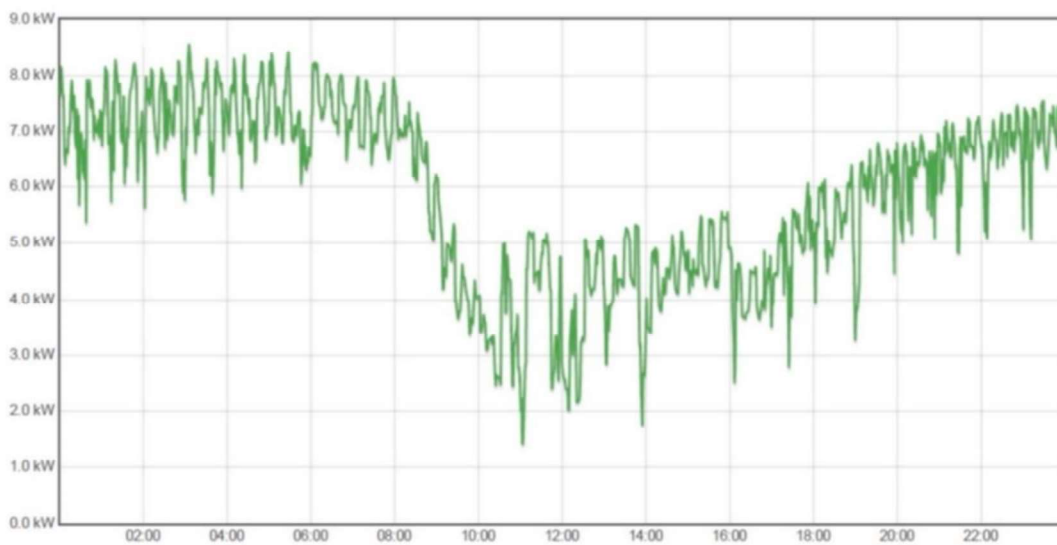
Toto různorodé chování odběrů tepla umožňují v návrhu zohlednit diagramy průběhu zatížení pro jednotlivé odběry nejčastěji konstruovány pro dobu jednoho dne. Na vodorovné ose je vynesena čas a na svislé ose je standardně uveden požadovaný příkon pro jednotlivé časové souřadnice, ale někdy také přímo potřeba tepla pro daný časový úsek. Příklady různých denních diagramů jsou na obrázcích níže (Obrázek 4, Obrázek 5, Obrázek 6, Obrázek 7). Tyto diagramy je nutné sestavit především pro ty druhy potřeb tepla, které nejsou vyžadovány nepřetržitě. Navíc pokud je potřeba tepla určována sezónními vlivy (např. venkovní teplota u potřeby pro vytápění), je třeba sestavit více denních diagramů charakteristických pro každé období. Denní diagramy už dávají potřebnou informaci o potřebě maximálního výkonu, který je potřeba zdrojem pokrýt.



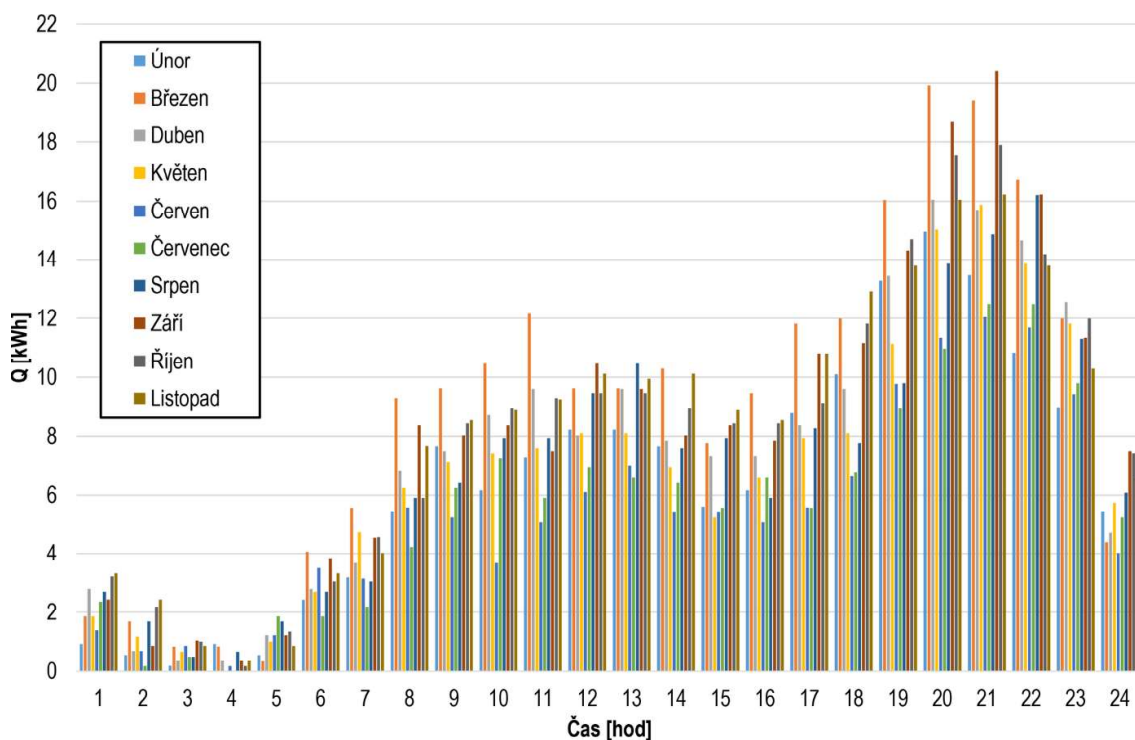
Obrázek 4: Denní průběhy odběrů tepla z otopné soustavy - A) nepřerušované vytápění nízkoenergetického domu, B) přerušované vytápění nízkoenergetického domu, C) nepřerušované vytápění stávajících domů, D) přerušované vytápění stávajících domů [14]



Obrázek 5: Vlevo: denní diagram potřeby tepla pro různé odběry; vpravo: denní průběh poměrné potřeby tepla pro přípravu TUV v obytných domech – A) v pracovní dny, B) ve volné dny [7]



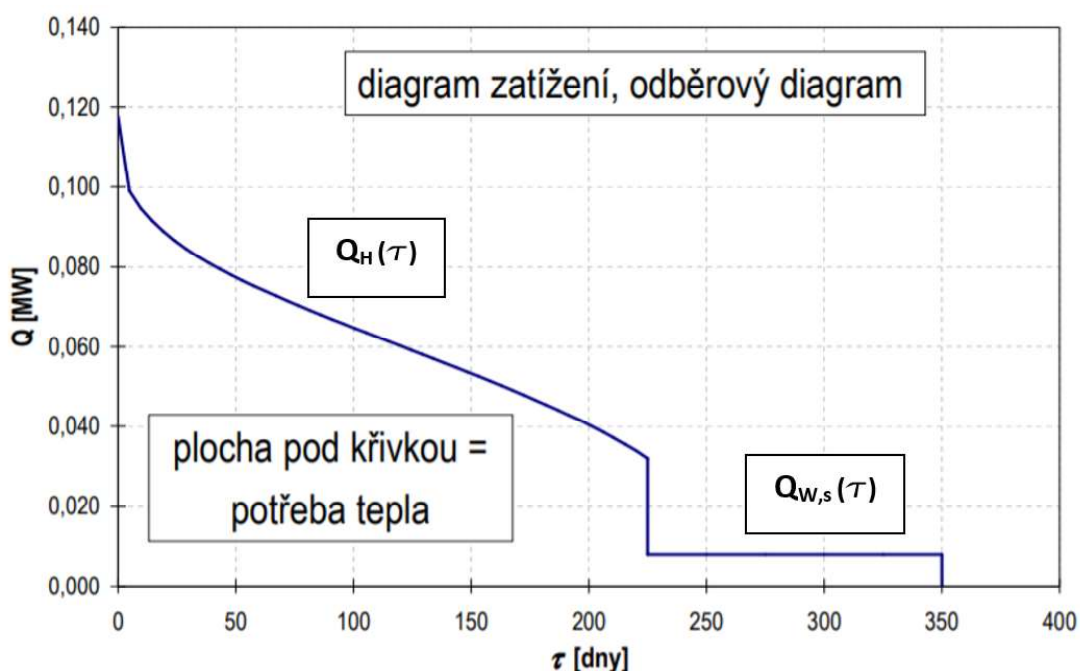
Obrázek 6: Spotřeba energie na vytápění naměřená pro rodinný dům se sálavým topným systémem (leden 2017) [15]



Obrázek 7: Naměřená spotřeba tepla na ohřev TUV v bytovém domě (rok 2015) [16]

Pouhým sečtením maxim získaných z denních diagramů pro jednotlivé potřeby se stále nedosahuje správných výsledků, protože se neuvažuje jejich soudobost (viz např. Obrázek 5 vlevo) a docházelo by k předimenzování zdroje tepla a jeho nevhodnému provozu při sníženém zatížení. Sestavením příslušných diagramů pod sebe a jejich sečtením se sestaví celkový denní diagram. Jak uvádí [3], znalost časového průběhu potřeby tepla je pro správné řešení soustavy většinou ještě důležitější než její absolutní velikost. [17] a [18] kladou důraz na maximální využití práce se soudobostí jednotlivých odběrů pro stanovení odpovídajícího výkonu zdroje tepla, který nebude investičně zbytečně zatěžující kvůli předimenzovanosti.

Denní diagramy jsou poté podkladem pro sestavení ročního diagramu trvání potřeby výkonu. Na svislé ose je podobně jako u denních diagramů zobrazena velikost výkonu. Na vodorovné ose není uveden chronologický průběh času v roce, ale jsou zde seřazeny jednotlivé časové úseky, s jednotkovou délkou podle zvoleného rozlišení, podle velikosti potřebného výkonu. Při vytvoření svislice z bodu na křivce pro zvolený výkon získáme jejím průnikem s vodorovnou osou počet dní v roce, kdy bude potřeba tento nebo vyšší výkon. Integrál funkce křivky diagramu udávající velikost plochy pod křivkou pak odpovídá celkové roční potřebě tepla. Zároveň je zde vidět hodnota maximálního potřebného výkonu, který musí být zdroj tepla schopný dodat. Typický průběh ročního diagramu při dodávce tepla pro vytápění a ohřev TUV je ukázán na obrázku níže (Obrázek 8). [3] [7] [17]



Obrázek 8: Roční diagram trvání potřeby výkonu - Q_H označuje úsek diagramu, kdy převažuje potřeba pro vytápění, a $Q_{W,s}$ označuje střední potřebu tepla na vytápění, která vyniká v období, kdy není potřeba pro vytápění [19]

1.2.2 Volba instalovaného výkonu

Podle [3] a [7] se tepelný výkon kotlů centrálního zásobování teplem (CZT) musí rovnat maximální potřebě tepla vytápěného objektu, kterou je možné zjistit z ročního diagramu trvání potřeby příkonu, zvětšené o tepelné ztráty v rozvodech teplosné látky. U rozvodů dodávajících teplo je účinnost dodávky energie poměrně vysoká i díky tomu, že velká část tepelných ztrát vnitřních rozvodů také slouží k ohřevu budovy. Oproti tomu rozvody TUV mají o něco vyšší ztráty vlivem kolísání odběru. I toto kolísání se ale vyhlazuje, pokud je zásobováno větší množství odběratelů.

Pro výtopy [3] doporučuje mít k dispozici asi 10 % rezervy výkonu na zhoršení provozních poměrů kotlů a pro případné rozšíření odběru tepla.

Autor [19] uvádí, že při návrhu výkonu \dot{Q}_{inst} [W] zdroje tepla pro CZT je vhodné postupovat podle vztahu (1.6), kde \dot{Q}_z [W] představuje tepelný výkon pro krytí výpočtové tepelné ztráty při vytápění a $\dot{Q}_{W,s}$ [W] je střední hodnota tepelného výkonu pro ohřev TUV. Jde tedy o návrh bez zpracování soudobosti odběrů, což je vyváжено určitým snížením maximálních hodnot potřebných výkonů.

$$\dot{Q}_{inst} = 0,8 \cdot \dot{Q}_z + \dot{Q}_{w,s} \quad [W] \quad (1.6)$$

1.3 Návrh jednotkové skladby zdroje tepla

Zatímco v předchozích dvou fázích stanovení potřeby tepla a potřebného výkonu návrhu se autoři v přístupech principiálně nelišili, při volbě konkrétního počtu jednotek zdroje a rozdělení celkového instalovaného výkonu mezi ně jsou uváděny v podstatě dva postupy, které se ale nemusí nutně navzájem vylučovat. Několik zdrojů navrhuje volbu počtu jednotek podle velikosti instalovaného výkonu nebo roční doby využití výkonu. Dalším přístupem je poté volba skladby zdroje s ohledem na možnost výpadku některé jednotky zdroje.

1.3.1 Volba počtu jednotek podle výkonu nebo doby využití zdroje

Dle Vlacha [3] platí, že pro systémy CZT jsou s rostoucím příkonem příznivější podmínky pro použití většího počtu jednotek. To umožňuje zjednodušení a tím pádem i zlevnění některých úseků tepelných sítí. Jako nejčastější důvod volby většího počtu zdrojů ale uvádí sezónní charakter potřeby tepla, kdy vznikají špičky zatížení, které trvají jen krátce. Špičkovou část zatížení je poté vhodné krýt levnými špičkovými zdroji, takže je možné dosahovat dobré provozní účinnosti. Na druhou stranu, ale většinou platí, že menší zdroje mají vyšší měrné investiční náklady, takže z tohoto hlediska je žádoucí volit malý počet zdrojů s vyššími výkony. Pro teplárny uvádí doporučené množství počtu základních jednotek (bez špičkových) v závislosti na době využití výkonu (viz Tabulka 1).

Tabulka 1: Volba počtu kotlů dle Vlacha [3]

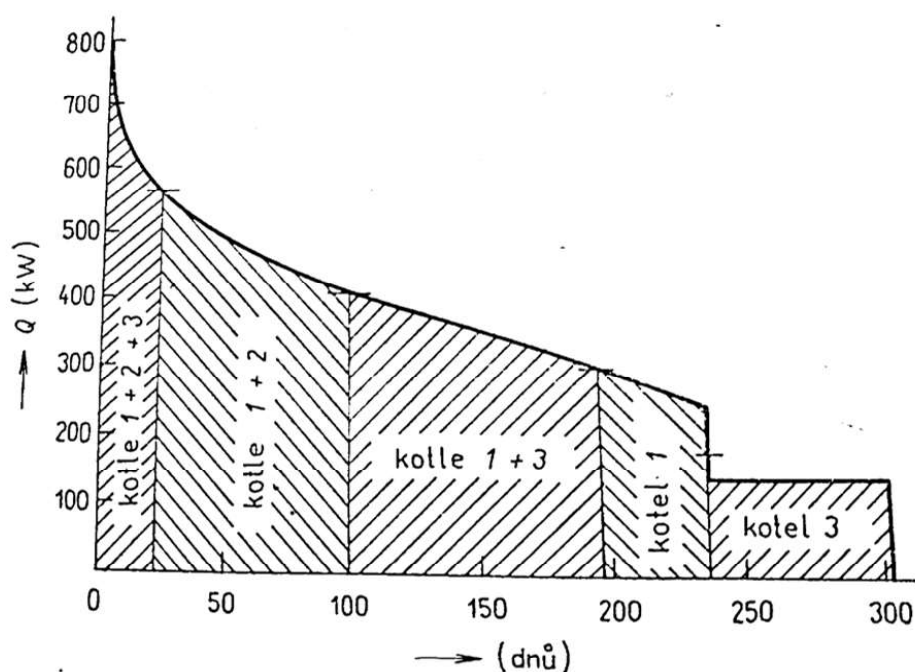
Doba využití výkonu	Doporučený počet kotlů
2 000 až 3 000 h/r	3
3 001 až 5 000 h/r	4
5 001 až 7 000 h/r	5

Cihelka [7], který se zabývá dodávkou tepla pro vytápění a ohřev TUV, uvádí, že je nutné volit větší počet jednotek zdroje, protože kdyby měl jeden kotel pracovat v celém rozmezí potřebného výkonu během roku, nemohl by dosahovat dostatečné účinnosti. Počty kotlů proto doporučuje volit s ohledem na maximum požadovaného výkonu (viz Tabulka 2). Celkový výkon se poté mezi kotle rozdělí tak, aby potřeba tepla v kterémkoli ročním období byla kryta při hospodárném provozu jednotlivých

kotlů i kotelný jako celku. Příklad vhodného rozdělení kotlů zobrazuje do ročního diagramu trvání potřeby tepla (viz Obrázek 9).

Tabulka 2: Volba počtu kotlů podle Cihelky [7]

Celkový výkon kotelný	Doporučený počet kotlů
do 120 kW	1
do 450 kW	minimálně 2
nad 450 kW	3 až 6



Obrázek 9: Roční průběh potřeby tepla krytý dodávkou ze tří kotlů – kotle 1 a 2 mají výkon 300 kW, kotel 3 má výkon 175 kW [7]

Podobný postup předkládá také Giurca a kol. ve své studii [18]. Citovány jsou doporučení rumunské a belgické normy (viz Tabulka 3). Dále uvádí, že s rostoucím počtem jednotek roste bezpečnost provozu, klesá spotřeba paliva a rostou investiční náklady.

Tabulka 3: Volba počtu kotlů dle Giurca a kol. [18]

	Celkový výkon kotelny	Doporučený počet kotlů
Dle rumunské normy	do 300 kW	1
	300 až 2 000 kW	2
	nad 2 000 kW	minimálně 3
Dle belgické normy	do 200 kW	1
	200 až 600 kW	2
	nad 600 kW	3

1.3.2 Volba počtu jednotek z hlediska zabezpečení dodávky v případě výpadku jednotky

Přestože Vlach [3] předkládá doporučené počty jednotek podle doby využití výkonu, jak bylo uvedeno dříve, zároveň uvádí, že je zásadní zajistit, aby při výpadku největšího kotle z provozu ostatní jednotky při svém jmenovitém výkonu byly schopné pokrýt:

- 1) plnou potřebu výkonu pro technologické účely,
- 2) průměrnou potřebu pro ohřev TUV a
- 3) potřebu výkonu pro vytápění odpovídající průměrné denní teplotě ovzduší v nejchladnějším měsíci.

Ve městských oblastech, kde je rozhodující složkou potřeby vytápění, vede tato podmínka k tomu, že zbývající kotle musí zajistit asi 65-70 % z maximální potřeby tepla.

Také dle (již neplatné) normy ČSN 06 0310 [20] se má složení zdroje nebo případná velikost záloh volit tak, aby při výpadku výkonově největší jednotky bylo zbývajícími zdroji dosaženo minimálně 60 % maximálního provozního výkonu zařízení. Opět zde platí, že zatímco výkon pro přípravu TUV lze dočasně omezit, výkon pro technologickou potřebu by měl být zajištěn vždy.

1.4 Zvolený rámcový postup návrhu zdroje tepla

Na základě provedeného studia odborné literatury vztahující se k návrhu zdroje tepla je zvolen následující rámcový postup pro tvorbu výpočetního nástroje. Potřebné roční množství tepla pro jednotlivé odběry (vytápění, ohřev TUV, technologická potřeba) bude zadávaným vstupem, který tedy nebude potřeba určit. Pro přepočtení roční potřeby tepla na měsíční hodnoty bude využito denostupňové metody. Následně pro stanovení potřebného výkonu budou pro jednotlivé typy

potřeb tepla navrženy typové denní diagramy potřeby výkonu na základě vícera dostupných teoretických i reálně naměřených diagramů. S jejich využitím bude sestaven roční diagram trvání potřeby výkonu a určen potřebný instalovaný výkon.

Návrh jednotkové skladby zdroje se bude řídit několika kritérii. Prvním je volba dostatečně malé jednotky pro dodávku tepla v období minimálního příkonu. Poté bude volen co nejmenší počet jednotek tak, aby zároveň nebyla překročena maximální dovolená velikost jednotky vyplývající z podmínek pro zajištění bezpečnosti provozu i při výpadku největší instalované jednotky, jak bylo popsáno v podkapitole 1.3.2 dle [3].

2 CHARAKTERISTIKA UVAŽOVANÝCH ZDROJŮ TEPLA

2.1 Kotle na dřevní pelety

Peletové kotle jsou plně automatizovaná zařízení s vysokou účinností výroby tepla (okolo 90 %) a nízkou produkcí nežádoucích emisí. Vyrábí se jednotky s výkony přibližně už od deseti kW_t do několika málo stovek kW_t.

Mezi hlavní přednosti peletových kotlů patří jejich plně automatický provoz, přičemž výkon je řízen plynule regulovaným přívodem paliva a vzduchu. Výhodou je také samotné palivo, které má zpravidla garantované vlastnosti (certifikát ENplus), což umožňuje dosahovat i při nízkých výkonech kvalitního splovení s nízkými emisemi. V současnosti v ČR existuje velké množství specializovaných dodavatelů pelet.

Hlavními nevýhodami peletových kotlů je především vysoká cena paliva a poměrně vysoké investiční náklady. Také je potřeba mít k dispozici dostatečně velký skladovací prostor.

Peletové kotle jsou velmi vhodné pro vytápění rodinných domů, protože se vyrábí už od malých výkonů kolem 10 kW. Dobře se uplatní také při vytápění různých živnostenských objektů (kanceláří, dílen), domovů, restaurací i při centrálním vytápění většího počtu domů. Nevhodné jsou peletové kotle tam, kde není vhodný prostor pro vybudování skladu paliva. Smysluplné není použití peletových kotlů tam, kde je dostupné jiné levnější dřevní palivo (např. štěpka, piliny), tedy například v blízkosti zemědělských, lesnických nebo dřevozpracujících podniků. [21] [22]



Obrázek 10: Peletový kotel českého výrobce Atmos o výkonu 15 kW [23]

2.2 Kotle na dřevní štěpku

Kotle spalující štěpku jsou nejčastěji uplatňovány v průmyslu ve výtopnách, teplárnách a biomasových elektrárnách. Na trhu ovšem existuje také řada automatických kotlů na štěpku s výkony začínajícími na několika málo desítkách kW_t.

Nejvýznamnější předností kotlů na štěpku proti peletovým kotlům jsou podstatně nižší náklady na palivo, zvláště pokud je štěpka dostupná z vlastních zdrojů například jako vedlejší produkt výroby nebo údržbových činností. Podobně jako peletové kotle umožňují kotel na štěpku automatický provoz včetně podávání paliva a odstraňování popela z ohniště.

Nevýhody jsou spojené s nižší kvalitou štěpky jako paliva spojenou s kolísáním jejích parametrů podle místa původu, ale i podle aktuálních povětrnostních podmínek. To se promítá i do vyšších nákladů na hořák a topeniště a závislosti dosahované účinnosti výroby tepla na kvalitě štěpky. Kvůli malé sypné hmotnosti štěpky jsou potřeba prostornější sklady, na které jsou navíc kladeny další nároky na vybavení a dosahované podmínky vnitřního prostředí kvůli většímu obsahu vody ve štěpce a sklonu k plesnivění.

Kotle na dřevní štěpku jsou velmi vhodné pro dřezpracující a zemědělské podniky a případně další vlastníky lesa. Štěpková výtopna nebo teplárna může být vhodná pro komunální systémy CZT zvláště tehdy, je-li dostupné levné palivo například z místního dřezpracujícího podniku. Pro jednotlivé domy a městské budovy tento systém většinou není vhodný, pokud majitelé nejsou sami producenti dostatečného množství dřevní štěpky a pokud není k dispozici dostatečně velký prostor pro skladové hospodářství. Při tepelných výkonech od několika desítek kW může být provoz hospodárnější než u peletových systémů. [21] [24]



Obrázek 11: Kotel na štěpku s posuvným roštem od rakouského výrobce ETA s výkonem 350 kW [25]

2.3 Kogenerační jednotka Wave 120

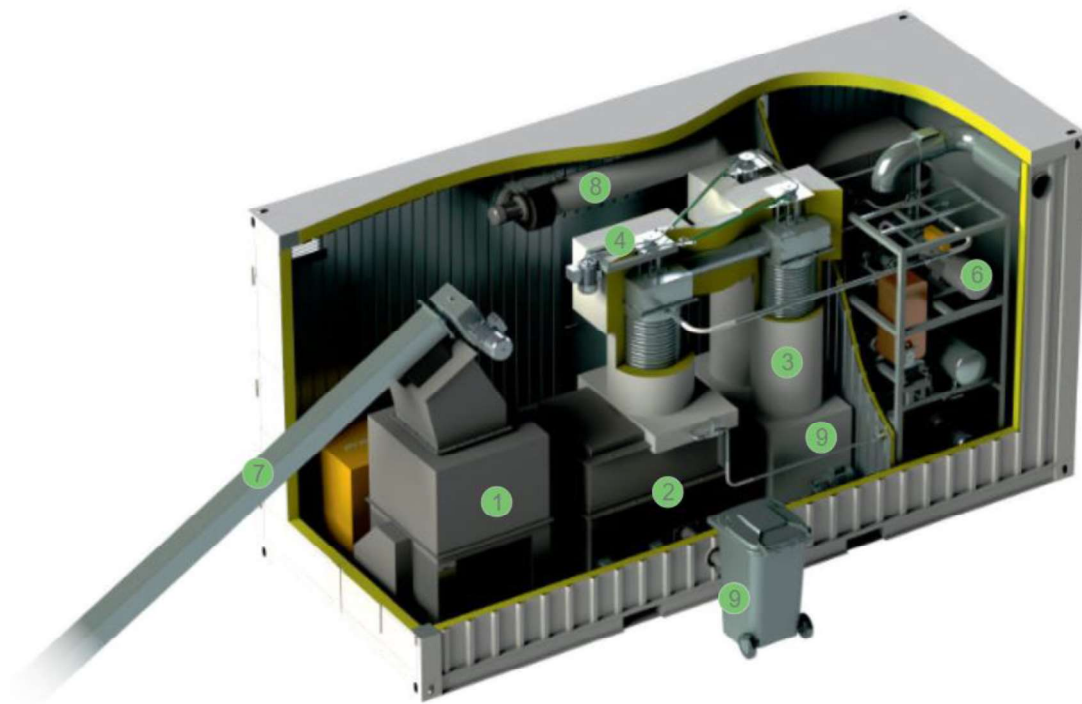
Kogenerační jednotka Wave 120 pochází z laboratoře Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze a slouží pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla z energie uvolněné při spalování dřevní biomasy, k čemuž využívá organický Rankinův cyklus (ORC). Použit je lamelový expandér vyvinutý speciálně pro toto zařízení. Jmenovitý tepelný výkon jednotky je 120 kW_t a čistý elektrický výkon 6 kW_e .

Wave 120 není pro svůj poměrně nízký elektrický výkon určený pro plnohodnotné zásobování elektrickou energií, ale při vhodném provozu může poskytovat významnou úsporu nákladů na nákup elektřiny pro provozovatele. Produkci elektrické energie se kompenzuje výrazně nižší účinností výroby tepla proti kotlům, která je principiálně daná současnou výrobou dvou druhů energie. V současné době je několik různě velkých jednotek Wave instalováno v reálném provozu a další instalace jsou v přípravě. Také průběžně dál dochází k vylepšování účinnosti a snižování investičních nákladů.

Hlavní výhodou jednotky Wave 120 je současná produkce elektřiny při výrobě tepla. To poskytuje majiteli příležitost pro úsporu nákladů na vlastním nákupu elektřiny, ale také možnost nouzové dodávky při výpadku sítě. Kontejnerové provedení jednotky umožňuje instalaci bez výstavby kotelny. Funguje také v plně automatickém provozu včetně čištění spalinových výměníků

Nevýhodou je závislost účinnosti produkce elektřiny na tepelném výkonu. Zároveň se jedná o soubor složitějších a sofistikovanějších technologií, takže vyžaduje specializovaný servis. Kvůli přidružené výrobě elektřiny je také prostorově náročnější než štěpkový kotel o stejném tepelném výkonu.

Vhodné uplatnění najde kogenerační jednotka Wave 120 tam, kde je poměrně rovnoměrná poptávka po teple v průběhu celého roku, protože tehdy je účinná produkce elektrické energie, a tam, kde je dobrá dostupnost dřevní štěpky. S výhodou může uplatněna i v provozech, kde je žádoucí mít určitý nouzový zdroj elektřiny. Obecně se hodí spíše pro průmyslové podniky a větší objekty služeb s celoroční poptávkou po teple, jako jsou wellness centra, hotely apod. [26] [27]



Obrázek 12: Schéma jednotky Wave 120 – 1: přesyp paliva, 2: spalovací komora, 3: spalinový tepelný výměník, 4: automatické čištění spalinového výměníku, 6: lamelový expandér, 7: šnekový dopravník štěpky, 8: kouřovod s nuceným odtahem spalin, 9: odvody popela (výše odvod popílku z výměníků, níže odvod popela ze spalovací komory) [27]

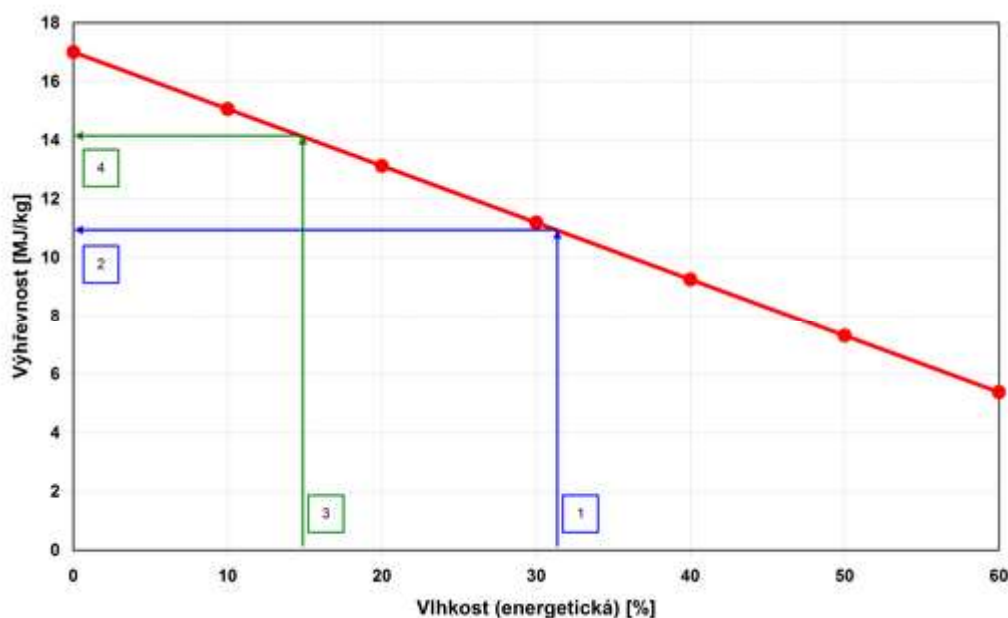


Obrázek 13: Kontejner s jednotkou Wave 120 a zásobník paliva vytápějící hlavní budovu UCEEB [26]

2.4 Palivové hospodářství pro biomasu

2.4.1 Dodávky paliva

Přestože dřevní paliva jsou získávána převážně lokálně, jejich dostupnost, dodávka ale ani cena nemusí být stálé a předvídatelné. Dostupnost palivové dřevní biomasy je závislá například i na roční době, kdy v zimním období je náročnější udržet dostatečný přísun paliva. To je dáno zejména zvýšenou poptávkou kvůli potřebě vytápět, a navíc obecně klesá výhřevnost dřevního paliva, protože vzhledem k povětrnostním podmínkám roste obsah vody v palivu (viz Obrázek 14).



Obrázek 14: Závislost výhřevnosti dřeva na obsahu vody [28]

Jednou z variant je mít s dodavatelem smluvně dojednané pravidelné dodávky paliva, opačným přístupem je nakupovat palivo průběžně dle dostupné nabídky. Možná je samozřejmě i kombinace, kdy je část potřeby paliva zajištěna pevně danými dodávkami a část se získává z dalších různých zdrojů. Tento přístup může být zvláště výhodný pro větší výtopny nebo teplárny.

Je velmi vhodné dbát na kvalitu dodávané štěpky z hlediska obsahu nežádoucích nedřevních příměsí, které jsou jedním z nejčastějších důvodů případných poruch a odstávek zařízení. [29] [30]

Dodávka pelet se zpravidla realizuje prostřednictvím uzpůsobených cisteren, které pelety podtlakově nafoukají do skladového prostoru. Celý systém dodávky paliva je

tedy téměř bezobslužný a čistý. Také je možné nakupovat pelety v textilních vacích označovaných *big-bag*, které pojmu přibližně jednu tunu pelet. [31] [32] [33]

2.4.2 Velikost skladu

Prostorové nároky skladu se odvíjí od potřebné skladovací kapacity. Ta může být obecně různá vzhledem k plánované frekvenci a objemu dodávek, ale i charakteru potřeby tepla. Pevná biopaliva mají relativně nízkou výhřevnost a sypanou hustotu v porovnání s fosilními palivy. Ve srovnání s černým uhlím je proto pro štěpku potřeba skladovacího prostoru téměř osmkrát větší pro stejný energetický obsah. Z hlediska investičních nákladů je tedy vhodné stavět relativně malé sklady s kapacitou na 3 až 7 dní. [34] Dle publikace z projektu CER²¹ by kapacita skladu měla zajišťovat zásobování palivem na minimálně 3 až 5 dní. [35]

Následující tabulka porovnává některá biomasová paliva a uhlí z hlediska měrné hmotnosti a potřeby prostoru na uskladnění paliva o jednotkovém energetickém obsahu 1 GJ (Tabulka 4).

Tabulka 4: Porovnání paliv z hlediska měrné hmotnosti a potřeby prostoru na uskladnění paliva o jednotkovém energetickém obsahu [34]

Palivo	Měrná hmotnost (kg/m³)	Skladovací prostor (m³/GJ)
Palivové dřevo – polena	320-450	0,19
Palivové dřevo – odřezky	210-300	0,29
Štěpka	180-410	0,36
Sláma – balíky	80-150	0,17
Dřevěné brikety, pelety	600-1100	0,08
Hnědé uhlí	650-780	0,11
Černé uhlí	770-880	0,05

Díky malým výkonům peletových systémů a vhodným vlastnostem pelet je možné naskladnit potřebné množství paliva na celou topnou sezónu. [36] Nákup pelet mimo topnou sezónu může být ekonomicky velmi výhodný, protože během topné sezóny cena paliva zákonitě narůstá.

¹ Středoevropská regionální síť pro získávání energie z obnovitelných zdrojů (CER²) označuje projekt trvající v letech 2003 až 2006 a sdružující 14 partnerů ze 7 zemí střední a západní Evropy, který vznikl za účelem spolupráce v oblasti obnovitelných zdrojů energie. [91]

Pro prvotní odhad potřebné velikosti skladu dřevní štěpky lze použít hodnoty uvedené v odborném článku z internetového magazínu Biom [34]. Uvedené hodnoty předpokládají 100% účinnost kotle, a proto budou převedeny na hodnotu 80 %, která lépe odpovídá reálnému provozu. Hodnoty měrných spotřeb a potřebných zásob paliva jsou vztaženy na 1 instalovaný kW výkonu (Tabulka 5). Tyto hodnoty dobře odpovídají reálným systémům [37].

Tabulka 5: Stanovení měrné spotřeby a potřebné zásoby paliva na 1 kW instalovaného výkonu [34]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Palivo	štěpka-směs	
Vlhkost	15	%
Sypná hmotnost	200	kg/m ³
Výhřevnost	13,8	MJ/kg
Obsah energie v m ³	2,76	GJ/m ³
Měrná spotřeba paliva (úč. 100 %)	0,26	kg/h/inst.kW
Měrná spotřeba paliva (úč. 80 %)	0,325	kg/h/inst.kW
Zásoba paliva pro 3 dny provozu (úč. 80 %)	0,117	m ³ /inst.kW
Zásoba paliva pro 5 dní provozu (úč. 80 %)	0,195	m ³ /inst.kW
Zásoba paliva pro 7 dní provozu (úč. 80 %)	0,273	m ³ /inst.kW

2.4.3 Vybavení skladu biomasy

Mezi základní vybavení skladového hospodářství pro dřevní palivo patří zařízení pro provzdušňování a odvětrávání (zejména pro dřevní štěpku), zařízení pro měření (především hmotnosti, vlhkosti a teploty paliva) a v neposlední řadě manipulační a dopravní zařízení pro navážku a vynášení paliva. V závislosti na dostupném palivu mohou být navíc v některých případech přidány systémy pro úpravu paliva jako jsou sušárny, drtiče štěpky a další. Samozřejmostí jsou také prvky požární ochrany. Základem je zábrana proti zpětnému prohoření paliva z kotle do skladu. Ta se může být tvořena teplotním čidlem, jehož funkce nezávisí na elektrickém proudu, umístěným na palivovém dopravníku mezi kotlem a skladem paliva, které při požáru spustí postřikovač v dopravníku. [35]

Z některých provozních zkušeností vyplývá potřeba osadit dopravník dřevní štěpky účinnou magnetickou separací kovových předmětů, které se často vyskytují v dřevní štěpce. Tyto předměty jsou příčinou zaseknutí a poškození dopravníků nebo kotlového lože. [29]

Nároky na přítomnost obsluhy je možné snížit instalací zařízení pro signalizaci poruchy na dálku. Například v obecní biomasové výtopně v Hartmanicích o výkonu 2,63 MW je díky tomuto systému zajištěna přítomnost obsluhy v pracovní dny pouze od 7 do 22 hodin a o víkendech po dobu 8 hodin. Celkem je zde zaměstnáno 2,5 úvazku. [30]

2.4.4 Údržba a provoz

Protože palivové dopravníky v případě štěpky manipulují se značně nehomogenním palivem, které navíc často obsahuje cizí příměsi jako jsou kameny nebo kovové předměty, je důležité nepodcenit jejich návrh. Vhodné je zvolit dostatečně robustní konstrukci a materiály s vysokou odolností proti otěru. U větších provozů je nutné provádět jejich čištění i každý den. Také je velmi vhodné dbát na kvalitu dodávané štěpky z hlediska obsahu nežádoucích nedřevních příměsí, které jsou jedním z nejčastějších důvodů případných poruch a odstávek zařízení.

V Teplárně Mydlovary s instalovaným tepelným výkonem 9 MWt, kde jako palivo slouží dřevní štěpka, jsou opakovanými příčinami odstávky zaškvárování kotle, zablokování šneků odpopelnění železem, kameny apod., zablokování řetězového dopravníku štěpky, porucha jeřábu a netěsnost pohonů hydraulické podlahy. Zabezpečení konstrukčních a materiálových nároků na skladovou a dopravní techniku biomasové teplárny spolu s kvalitou paliva jsou tedy zásadní pro plynulost a nákladnost provozu. [29] [30]

2.5 Zařízení palivového hospodářství

Výrobci a dodavatelé nabízejí různé varianty zařízení pro automatické dávkování biomasového paliva do kotle. Hlavními hledisky pro volbu jsou prostorové dispozice skladu, vzdálenost skladu od spalovacích jednotek, použití vlastního mezizásobníku u kotlů, požadovaný příkon v palivu a v neposlední řadě vlastnosti konkrétního použitého paliva. Odlišná řešení se volí pro výtopny a teplárny o výkonech několika jednotek až desítek MWt oproti lokálním s výkony několik stovek kWt. V porovnání se štěpkou jsou nároky na skladové hospodářství pelet méně náročné, protože se jedná o poměrně homogenní densifikované palivo se sníženou vlhkostí.

Dále jsou uvedena zařízení automatizovaných skladů biomasového paliva, přičemž jsou odlišeny sklady pro dřevní štěpku a pro pelety. Uvedené technologie se týkají skladů pro nejmenší kotelny s výkony na úrovni desítek kWt po větší kotelny a teplárny s výkony do 10 MWt.

2.5.1 Zařízení automatizovaného skladu dřevní štěpky

Pro různé velikosti skladu nemusí být nutně voleny zásadně jiné technologie, ale hlavní odlišnost spočívá spíše v počtu použitých mezistupňů při přepravě paliva z hlavního skladu do spalovací komory. Například pro malé sklady pro kotle o relativně nízkých výkonech, které jsou navíc v blízkosti kotle lze s výhodou použít šnekový dopravník přímo spojující sklad a kotlovou jednotku. Oproti tomu dopravní trasa paliva kotlů s výkony na úrovni několika MWt může zahrnovat například jeřáb s drapákem v hlavním skladu, který překládá palivo do denního skladu, odkud je palivo přemísťováno hydraulickou posuvnou podlahou ke šnekovému nebo řetězovému dopravníku, který už vede přímo ke kotli. [29]

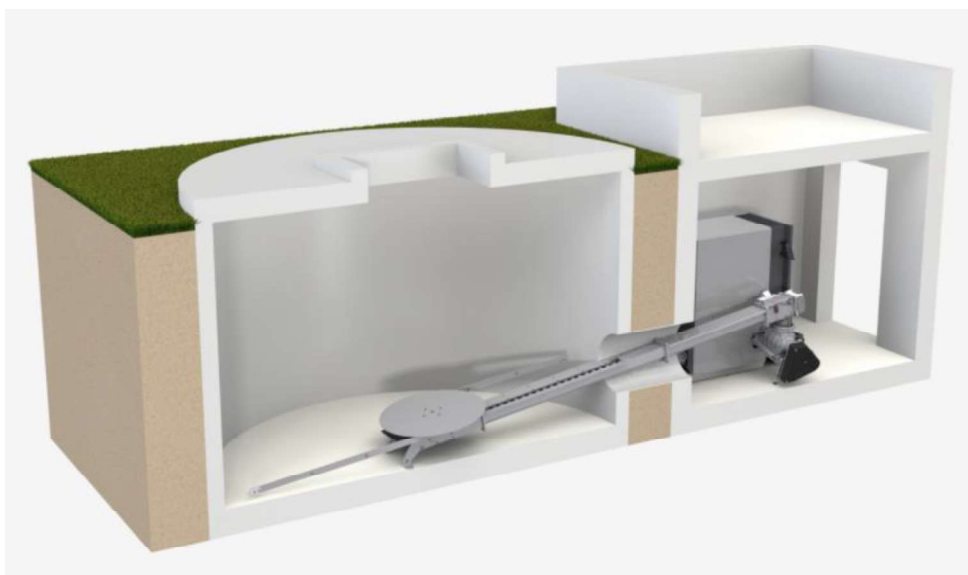
Šnekový dopravník s míchadlem

Nejčastěji používaným systémem pro malé objemy paliva je použití šnekového dopravníku, který vynáší palivo do kotle přímo ze skladu paliva. Na druhém konci šnekového dopravníku je při podlaze skladu instalováno míchadlo s dvěma otáčejícími se rameny (Obrázek 15), která slouží k zabezpečení rovnoměrného vyprazdňování skladu a prevenci nežádoucího klenbování. Ramena jsou držena pružinami. Maximální průměr, a tedy i dosah, míchadla se pohybuje od 5 do 5,5 m dle výrobce. Délka dopravníku může dosahovat až 12 m. [38] [39] [40]



Obrázek 15: Míchadlo ve skladu štěpky [41]

Výrobci nabízí řadu variant systému pro plnění vnitřního uzavřeného skladu paliva vzhledem k poloze skladu vůči kotelně a prostorovým nárokům. Palivo je od dodavatele vyloženo ústím ve stropu skladu nebo do venkovní násypky, ze které je do skladu přemístěno vertikálním nebo horizontálním robustním šnekovým dopravníkem. Některé možnosti uspořádání systému jsou zobrazeny na následujících obrázcích (Obrázek 16, Obrázek 17, Obrázek 18, Obrázek 19). [41] [42]



Obrázek 16: Sklad štěpky plněný ústím ve stropu [41]



Obrázek 17: Sklad štěpky plněný venkovní násypkou [41]



Obrázek 18: Vysoký sklad s vertikálním šnekem [41]



Obrázek 19: Nakloněné dno skladu štěpky pro možnost vynesení veškerého paliva [12]

Silo

Další možností skladování štěpky nebo pilin je válcové silo umístěné na podstavné ocelové konstrukci (Obrázek 20). Pro plnění se nejčastěji používá pneumatická doprava s filtračním zařízením nebo cyklónovým odlučovačem u stropu. Silo je dále vybaveno systémem šnekového vyhrabování materiálu (Obrázek 21). Velikosti sil se pohybují od 19 do 130,5 m³ využitelného objemu. Výhodné může být použití sila tam, kde není k dispozici dostatečná plocha pro výstavbu klasického skladu. [40] [43] [25]



Obrázek 20: Válcové silo GG 40-105 s užitným objemem 130,5 m³ [43]



Obrázek 21: Šnekový vyprazdňovací systém síla pro piliny a štěpku [43]

Hydraulicky posuvná podlaha

Podlahu takového skladu tvoří posuvné kovové lamely nebo hrabla nainstalovaná na betonové desce nebo ocelových profilech, které jsou poháněny hydraulicky pomocí táhel a zajišťují podávání paliva ze skladu do násypky např. redlerového dopravníku nebo šnekového dopravníku kotle. Provoz může být plně automatický. Palivo se do skladového prostoru naváží kolovým nakladačem. [40] [44] [45] [46]

Pro větší skladové systémy pro výtopny zhruba nad 1 MWt bývá hydraulická posuvná podlaha nainstalována v denních zásobnících, které jsou plněny pomocí jeřábu. [29] [45]



Obrázek 22: Vyhrnovací podavač plnicí dopravník [46]



Obrázek 23: Sklad štěpky vybavený posuvnou podlahou [25]

Mostový jeřáb s drapákem

Pro velké sklady štěpky se využívají mostové jeřáby s drapákovým nakladačem, které slouží k překládání štěpky do denních zásobníků a k homogenizaci štěpky.

Z denních zásobníků je poté štěpka automaticky dle potřeby dopravována ke kotli šnekovými dopravníky, dopravními pásy, hydraulickou posuvnou podlahou, hradlovým podavačem nebo dalšími mechanismy. Množství štěpky ve skladu může být měřeno například pomocí laseru. Jedná se o systémy s tepelným výkonem větším než 1 MWt. [29] [30] [37] [45] [47]



Obrázek 24: Automatický jeřáb s drapákem pro přepravu štěpky [47]

2.5.2 Zařízení automatizovaného skladu dřevních pelet

Dřevní pelety se používají především pro malé tepelné výkony do úrovně kolem 100 kWt. Jedná se o standardizované homogenní palivo, s dobrými mechanickými vlastnostmi, a proto je jeho doprava velmi dobře automatizována.

Zásobování přímo ze skladu

Při vhodném prostorovém uspořádání a možnosti použití dostatečně dlouhého dopravníku je možné kotel zásobovat přímo ze skladu paliva s kapacitou až pro celou topnou sezónu.

V situacích, kdy skladový prostor nesousedí s místem instalace kotle, se používá pro přísun pelet do kotle podtlakový sací systém. Pokud se sklad nachází přímo u kotelny, pelety se do kotle dopravují pomocí šneku.

Pro uskladnění pelet se místnost skladu vykládá skloněnými stěnami do tvaru „V“. Úhel stěn je přibližně 45°. Výhoda tohoto provedení skladu spočívá v možnosti úplného vyprázdnění skladu. Nevýhodou je výskyt nevyužitelné části prostoru pod šikmými stěnami. [38] [36] [48]



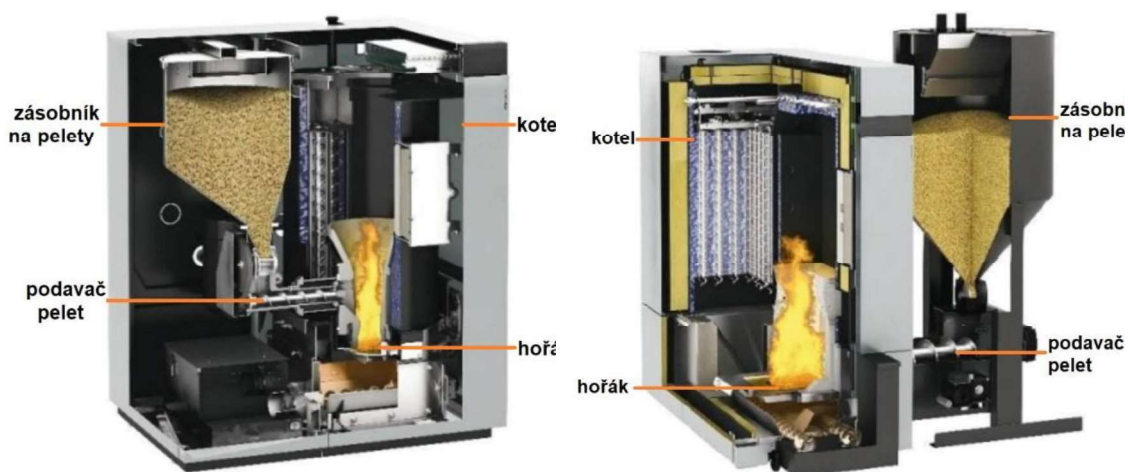
Obrázek 25: Sklad pelet se šnekovým dopravníkem [41]



Obrázek 26: Sklad pelet s podtlakovým sacím systémem [31]

Kotlový zásobník

Palivo může být skladováno v zásobníku v blízkosti kotle, jehož kapacita vystačí na několik dnů. Umístěný může být buď v rámci jednoho tělesa s kotlem nebo zvlášť vedle kotle (Obrázek 27). Násypku je možné doplňovat buď manuálně nebo také automaticky ze vzdálenějšího hlavního skladu pomocí dopravníku nebo pneumaticky. [48] [49] [50]



Obrázek 27: Zásobník na pelety a kotel jako jeden celek (vlevo) a zásobník na pelety a kotel jako dva samostatné celky (vpravo) [50]

Tkaninové silo

Textilní sila umožňují uchovat pelety suché i v poměrně vlhkých místnostech nebo ve venkovním prostředí. V situacích, kdy silo nesousedí s místem instalace kotle, se používá pro přísun pelet do kotle podtlakový sací systém. Pokud se sklad nachází v blízkosti kotelny, pelety se do kotle dopravují pomocí šneku. [31] [48] [50]



Obrázek 28: Textilní silo s pneumatickou dopravou pelet do kotle [31]

2.6 Příklady realizovaných projektů

V ČR se nachází několik desítek obecních výtopen na biomasu s instalovanými výkony od několika málo stovek kWt po jednotky MWt [51] [52]. Dále budou stručně představeny některé z nich z hlediska typu použité technologie, ale i z hlediska ekonomické stránky projektu. Řazeny jsou vzestupně podle roku uvedení do provozu.

2.6.1 Výtopna Hostětín

Tabulka 6: Výtopna Hostětín – charakteristika [53] [54] [55]

Název projektu	Výtopna Hostětín
Typ projektu	obecní výtopna na BM
Rok zprovoznění	2000
Instalovaný tepelný výkon	0,73 MWt
Roční výroba tepla	3,5 tis. GJ
Palivo	dřevní štěpka
Palivové hospodářství	sklad; silo s posuvným dnem plněné jednou za 3-7 dní nakladačem nebo přímo z nákladního auta; šnekové podavače do kotle
Investiční náklady	36,4 mil. Kč
Forma podpory	SFŽP (54 %), nizozemská vláda (31 %), ČEA (9 %), občané za přípojky (6 %)
Cena vyrobeného tepla	
Dostupnost paliva	místní dřevozpracující závody, okolní lesy

Zkratky: *BM* = biomasa; *SFŽP* = Státní fond životního prostředí ČR; *ČEA* = Česká energetická agentura

Koncepce využívání biomasy pro produkci tepla vznikla kolem poloviny 90. let 20. století. Motivací pro výstavbu biomasové výtopny byla mimo jiné skutečnost, že obec leží mimo trasu plynovodu. Výtopna vznikla díky nizozemsko-českému partnerství pomocí nástroje AIJ². Díky zajištění vysoké investiční podpory nemusela obec zatížit svůj rozpočet úvěrem. Občané zaplatili za vybudování přípojky k domu 30 tis. Kč. Na rozvod tepla je napojeno 80 % domácností. V roce 2010 prošla výtopna modernizací, díky které došlo ke snížení spotřeby elektřiny o třetinu a zvýšení spolehlivosti provozu dopravy paliva. [53] [54] [55]

² Activities Implemented Jointly (AIJ) je nástroj ustanovený dle Rámcové dohody OSN o změně klimatu z roku 1992. Cílem tohoto nástroje bylo snižovat světové emise CO₂ ve spolupráci zemí, kde je často snižování emisí nákladnější, se zeměmi střední a východní Evropy. [53]

2.6.2 Zemědělský podnik (výroba krmiv) Dabaq, a. s.

Tabulka 7: Zdroj tepla pro zemědělský podnik Dabaq – charakteristika [56]

Název projektu	Zdroj tepla pro zemědělský podnik Dabaq
Typ projektu	výstavba nového zdroje tepla
Rok zprovoznění	2004
Instalovaný tepelný výkon	1,5 MWt
Roční výroba tepla	25 tis. GJ
Palivo	dřevní štěpka, piliny, sláma, energetická fytomasa
Palivové hospodářství	každé 3 dny naplnění zásobníku obsluhou
Investiční náklady	12 mil. Kč (technologie 8 mil. Kč, nová budova kotelny 4 mil. Kč)
Cena vyrobeného tepla	95 Kč/GJ
Dostupnost paliva	vlastní zdroje

V podniku Dabaq je s výhodou využito palivo z vlastních zdrojů zemědělské výroby, což umožňuje produkci tepla při velmi nízkých nákladech. Jako hlavní palivo slouží dřevní štěpka. Navíc provozovatel má zkušenosti s nakládáním s biomasou, které se hodí při obsluze biomasového kotle. Kromě potřeby jednou za tři dny naplnit zásobník kotle palivem, je provoz kotelny automatizovaný a bezobslužný. Provozovatel je s biomasovou kotelnou velmi spokojený. [56]

2.6.3 Teplárna Trhové Sviny

Tabulka 8: Teplárna Trhové Sviny – charakteristika [57] [58] [59]

Název projektu	Teplárna Trhové Sviny
Typ projektu	CZT; náhrada kotlů na ZP ORC jednotkou s kotlem na biomasu
Rok zprovoznění	2005
Instalovaný tepelný výkon	2,5 MWt (původní kotel na BM) + 2,8 MWt (ORC jednotka)
Instalovaný elektrický výkon	0,6 MWt (ORC jednotka)
Roční výroba tepla	45 tis. GJ
Roční výroba elektřiny	5,2 tis. MWh
Palivo	dřevní štěpka
Palivové hospodářství	z denního zásobníku do kotle přesuvným hydraulickým dopravníkem
Investiční náklady	103,6 mil. Kč
Forma podpory	SFŽP ČR

Zkratky: CZT = centrální zásobování teplem; ZP = zemní plyn; ORC = organický Rankinův cyklus; SFŽP = Státní fond životního prostředí ČR

Jedná se o první dokončenou a předanou stavbu s ORC jednotkou v ČR. ORC jednotka od italského výrobce Turboden je s biomasovým kotlem o výkonu 3,5 MWt firmy Kohlbach propojena termoolejovým okruhem. Teplárna původně disponovala biomasovým kotlem, který sloužil jako hlavní zdroj, a třemi kotli na zemní plyn. Vzhledem k vysoké ceně zemního plynu a ekologickým dopadům bylo rozhodnuto o úplném přechodu na spalování biomasy. [57]



Obrázek 29: Instalace ORC modulu – Teplárna Trhové Sviny, 0,6 MWe, 2,8 MWt [59]

2.6.4 Výtopna Valašská Bystřice

Tabulka 9: Výtopna Valašská Bystřice – charakteristika [36] [60]

Název projektu	Výtopna Valašská Bystřice
Typ projektu	CZT pro střed obce z BM namísto lokálních uhelných kotlů
Rok zprovoznění	2005
Instalovaný tepelný výkon	0,9 + 0,6 MWt
Roční výroba tepla	8,5 tis. GJ (2008)
Palivo	piliny
Palivové hospodářství	pohotovostní sklad u kotelny
Investiční náklady	37,5 mil. Kč
Forma podpory	dotace 80 % (udělena výjimečná podpora ministrem ŽP)
Cena vyrobeného tepla	329 Kč/GJ (2009; vč. DPH)
Dostupnost paliva	místní dřevařský závod

Zkratky: CZT = centrální zásobování teplem; BM = biomasa; ŽP = životní prostředí

Ve Valašské Bystřici byl vybudován nový systém CZT pro střed obce. Vzhledem k dobré dostupnosti dřevních zbytků z lokálních podniků bylo zvoleno jako palivo biomasa. CZT mělo nahradit využívání především hnědého uhlí v lokálních zdrojích, jehož spalování na vrcholu topné sezóny způsobovalo problémy s kvalitou ovzduší. V rámci projektu bylo nutné vybudovat rozvody v celkové délce více než 30 km spolu s 65 domovními přípojkami s předávacími stanicemi, z čehož 15 přípojek patří k objektům občanské vybavenosti. [36] [60]



Obrázek 30: Kotel – Výtopna Valašská Bystřice, 0,6+0,9 MWt [60]

2.6.5 Teplárna Mydlovary

Tabulka 10: Teplárna Mydlovary – charakteristika [29]

Název projektu	Teplárna Mydlovary
Typ projektu	CZT, kogenerace
Rok zprovoznění	2014
Instalovaný tepelný výkon	1,27 MWt (kog. na ZP) + 9,07 MWt (kotel na BM + kondenzační turbína) + 5,6 MWt (kotel na ZP)
Instalovaný elektrický výkon	1,2 MWt (kog. na ZP) + 2,66 MWe (kotel na BM + kondenzační turbína)
Roční výroba tepla	60 tis. GJ
Roční výroba elektřiny	21 tis. MWh
Palivo	dřevní štěpka, zemní plyn
Palivové hospodářství	krytá hala na štěpku; automatický jeřáb, hydraulická podlaha, řetězový dopravník, turniket, šnekové dopravníky; kapacita 10 dní
Dostupnost paliva	smluvně 4 dodavatelé pevné množství (cca 20 %), 8 dodavatelů proměnné množství

Zkratky: CZT = centrální zásobování teplem; kog. = kogenerace; ZP = zemní plyn; BM = biomasa



Obrázek 31: Posuvná podlaha na štěpku – Teplárna Mydlovary, 9 MWt [29]



Obrázek 32: Opatřebený šnek odpopelnění – Teplárna Mydlovary, 9 MWt [29]

3 POSTUP NÁVRHU VÝPOČETNÍHO NÁSTROJE

3.1 Rámcový postup návrhu

Postup návrhu zdroje tepla vychází ze závěrů řešerše metodik návrhu zdroje tepla v kapitole 1.4. Zadávaným vstupem je potřebné roční množství tepla pro jednotlivé odběry (vytápění, ohřev TUV, technologická potřeba). Protože cílovou skupinou jsou především obce a drobné a malé podniky, je rozmezí celkové roční potřeby tepla zadáno od 1 500 GJ/r do 15 000 GJ/r. Uvažuje se nezávislost potřeby tepla pro ohřev TUV a technologickou potřebu na roční době. Pro přepočtení roční potřeby tepla pro vytápění na měsíční hodnoty bude využito denostupňové metody. Pro určení potřebného tepelného výkonu budou pro jednotlivé potřeby tepla navrženy typové denní diagramy potřeby výkonu. Jejich sečtením bude sestaven celkový denní diagram potřeby výkonu pro každý měsíc v roce a následně bude možné sestavit roční diagram trvání potřeby výkonu.

Zvoleny jsou čtyři varianty, které budou porovnávány:

- A. kogenerační jednotky Wave 120 s peletovými kotli,
- B. jednotky Wave 120 s kotli na štěpku
- C. pouze peletové kotle a
- D. pouze štěpkové kotle.

Pro varianty s kogeneračními jednotkami platí, že bude navíc ještě vyhodnocován nejvhodnější počet jednotek tím, že se v rámci varianty navíc ještě porovná deset případů podle použitého počtu jednotek Wave od jedné do deseti.³ Kotle budou výkonově doplňovat kogenerační jednotky.

Přestože pro každou uvažovanou možnost složení zdroje bude navržena i konkrétní jednotková skladba kogeneračních jednotek a kotlů dle kritérií uvedených v kapitole 1.4, výpočty provozních parametrů budou vypracovány až na úroveň jednotky pouze u kogeneračních jednotek a na kotle bude nahlíženo jako na jeden blok. Detailní výpočet například doby provozu a produkce tepla jednotlivě u všech navržených kotlů by návrh podstatně zkomplikoval, přičemž takové rozlišení není pro potřebné dosažení cíle práce. Návrh navíc nepočítá striktně s konkrétními kotlovými jednotkami. Na základě několika katalogů od výrobců biomasových kotlů je sestavena používaná výkonová řada kotlů a případně převzaty další parametry

³ Pro soubor upravený pro verzi Excelu z roku 2003 (viz podkapitola 3.2) nejsou dostupné některé funkce, které umožňují zároveň vyhodnocovat větší počet podmínek. Toto omezení se v návrhu projeví snížením uvažovaného počtu jednotek Wave 120 na devět namísto deseti. Návrh ve všech ostatních ohledech probíhá identicky s výchozí verzí. Tento soubor je proto v názvu označen zkratkou 9W.

kotlů. Návrh počtu a velikosti jednotlivých kotlů je tedy proveden především pro poskytnutí určité představy, jak by mohla vypadat konkrétní skladba zdroje.

3.2 Volba softwaru

Zvoleným softwarem pro tvorbu výpočetního nástroje je tabulkový procesor Microsoft Excel (ME). Tento software poskytuje možnost opakovaného automatického provedení řetězce výpočtů pro měněné zadávané vstupní hodnoty a v případě potřeby prostřednictvím „maker“ propojení programovacího jazyka Visual Basic pro složitější sledy operací a iterační cykly. Další klíčovou výhodou je rozšířenost tohoto softwaru mezi široké spektrum uživatelů, což dává předpoklad pro případné nenáročné a efektivní nasazení výpočetního nástroje v praxi.

Zároveň se jedná o uživatelsky poměrně jednoduchý software, který na rozdíl od jiných softwarů, jejichž použití se více blíží psaní zdrojového kódu, nevyžaduje pro použití žádné znalosti z programování. Díky tomu je také transparentnější postup výpočtů. Vzhledem k tomu, že při základním návrhu zdroje tepla není v praxi nutné aplikovat složité matematické aparáty, je Microsoft Excel naprosto dostačující i po této stránce.

Výpočetním nástrojem se dále rozumí soubor ve formátu *.xls*, tedy „List Microsoft Excelu s podporou maker“, který po zadání vstupních hodnot zobrazí konkrétní jednotkovou skladbu biomasového zdroje tepla. Konkrétní forma a obsah zadávaných vstupních hodnot a stejně tak i výstupů bude definovaná dále.

3.2.1 Poznámka k různým verzím softwaru

Primárně je pro tvorbu výpočetního nástroje používána verze Excelu Office 365. Tato verze obsahuje některé funkce, které nejsou dostupné ve starších verzích softwaru. Proto byl vytvořen funkčně shodný soubor ve formátu *.xls*, který použitelný pro verze od roku 2003.

Obě verze souboru jsou přiloženy jako elektronické přílohy na disku CD přiloženém k výtisku práce.

3.2.2 Vnitřní členění výpočetního nástroje

ME umožňuje v rámci jednoho souboru členění na více tabulkových listů, čehož bude využito pro lepší přehlednost a snazší použití výpočetního nástroje. Veškerá interakce uživatele s modelem je řešena prostřednictvím tlačítek a příslušných zadávacích oken a odehrává se v rámci prvních tří listů.

První list s názvem „VSTUPY“ (Obrázek 33) bude vyhrazený čistě pro zadání vstupních hodnot. Po kliknutí na tlačítko „Nové zadání“ se otevře okno formuláře pro zadání požadovaných vstupů (Obrázek 34). Kromě hodnoty celkové roční potřeby tepla jsou hodnoty vybírány z rolovacího menu. Pro usnadnění zadávání jsou kromě hodnoty roční potřeby tepla a lokality rovnou vybrány předvolené hodnoty. Po odkliknutí tlačítka „Použít“ se automaticky provede návrh a zobrazí se list s výsledky. Stejným způsobem je možné volit i parametry pro ekonomické vyhodnocení (podrobněji viz kapitola 3.9).

VSTUPY							
Nové zadání		Změna ekonomických parametrů					
ROČNÍ POTŘEBA TEPLA (dostupný rozsah od 1 500 GJ/r do 15 000 GJ/r)				EKONOMICKÉ PARAMETRY			
Celková roční potřeba tepla:	10 000	GJ/r	Doba hodnocení	20	let		
POMĚR POTŘEB				Diskontní míra			
Podíl potřeby tepla na vytápění:	50	%	Růst ceny elektřiny	-	%/r (včetně inflace)		
Podíl potřeby tepla na ohřev TUV:	15	%	Růst ceny štěpky	-	%/r (včetně inflace)		
Podíl potřeby tepla na technologii:	35	%	Růst ceny pelet	-	%/r (včetně inflace)		
Potřeba tepla na vytápění:	5 000	GJ/r	Inv. náklady: WAVE 120	3 672 600	Kč/jednotka		
Potřeba tepla na ohřev TUV:	1 500	GJ/r	Inv. náklady: kotel na štěpku	19 800	Kč/kW_inst		
Potřeba tepla na technologii:	3 500	GJ/r	Inv. náklady: kotel na pelety	17 100	Kč/kW_inst		
DALŠÍ PARAMETRY				Cena elektřiny			
Vnitřní teplota objektů:	20	°C	Cena štěpky	135	Kč bez DPH/GJ		
Lokalita:	Praha a Středočeský		Cena pelet	245	Kč bez DPH/GJ		
Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou:	5	%					
Doba denního provozu technologií:	12	h/den					

Obrázek 33: List pro zadávání vstupních hodnot

VSTUPY

Nové zadání

ROČNÍ POTŘEBA TEPLA (dostupný rozsah od 1 500 GJ/r do 15 000 GJ/r)

Celková roční potřeba tepla:	10 000 GJ/r
POMĚR POTŘEB	
Podíl potřeby tepla na vytápění:	50 %
Podíl potřeby tepla na ohřev TUV:	15 %
Podíl potřeby tepla na technologii:	35 %
Potřeba tepla na vytápění:	5 000 GJ/r
Potřeba tepla na ohřev TUV:	1 500 GJ/r
Potřeba tepla na technologii:	3 500 GJ/r
DALŠÍ PARAMETRY	
Vnitřní teplota objektů:	20 °C
Lokalita:	Praha a Středočeský
Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou:	5 %
Doba denního provozu technologií:	12 h/den

Vstupní hodnoty

Celková roční potřeba tepla [GJ/rok] (1 500 - 15 000):

Lokalita:

Podíl potřeby tepla na technologii [%]:

Podíl potřeby tepla na ohřev TUV [%]:

Doba denního provozu technologie [h/den]:

Vnitřní teplota vytápěných objektů [°C]:

Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou [%]:

Použit Zavřít

Obrázek 34: Formulář pro zadání vstupních hodnot

Pro maximální zamezení vzniku chybného zadání je v kódu pro uložení zvolených hodnot zaneseno, že pokud nejsou zvoleny nebo vepsány hodnoty v požadovaném rozmezí nebo formátu, formulář nedovolí uložení těchto hodnot a chybovou hláškou zadávajícího upozorní (Obrázek 35).

VSTUPY

Nové zadání

ROČNÍ POTŘEBA TEPLA (dostupný rozsah od 1 500 GJ/r do 15 000 GJ/r)

Celková roční potřeba tepla:	10 000 GJ/r
POMĚR POTŘEB	
Podíl potřeby tepla na vytápění:	50 %
Podíl potřeby tepla na ohřev TUV:	15 %
Podíl potřeby tepla na technologii:	35 %
Potřeba tepla na vytápění:	5 000 GJ/r
Potřeba tepla na ohřev TUV:	1 500 GJ/r
Potřeba tepla na technologii:	3 500 GJ/r
DALŠÍ PARAMETRY	
Vnitřní teplota objektů:	20 °C
Lokalita:	Praha a Středočeský
Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou:	5 %
Doba denního provozu technologií:	12 h/den

Vstupní hodnoty

Celková roční potřeba tepla [GJ/rok] (1 500 - 15 000):

Lokalita:

Podíl potřeby tepla na technologii [%]:

Podíl potřeby tepla na ohřev TUV [%]:

Doba denního provozu technologie [h/den]:

Vnitřní teplota vytápěných objektů [°C]:

Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou [%]:

Použit Zavřít

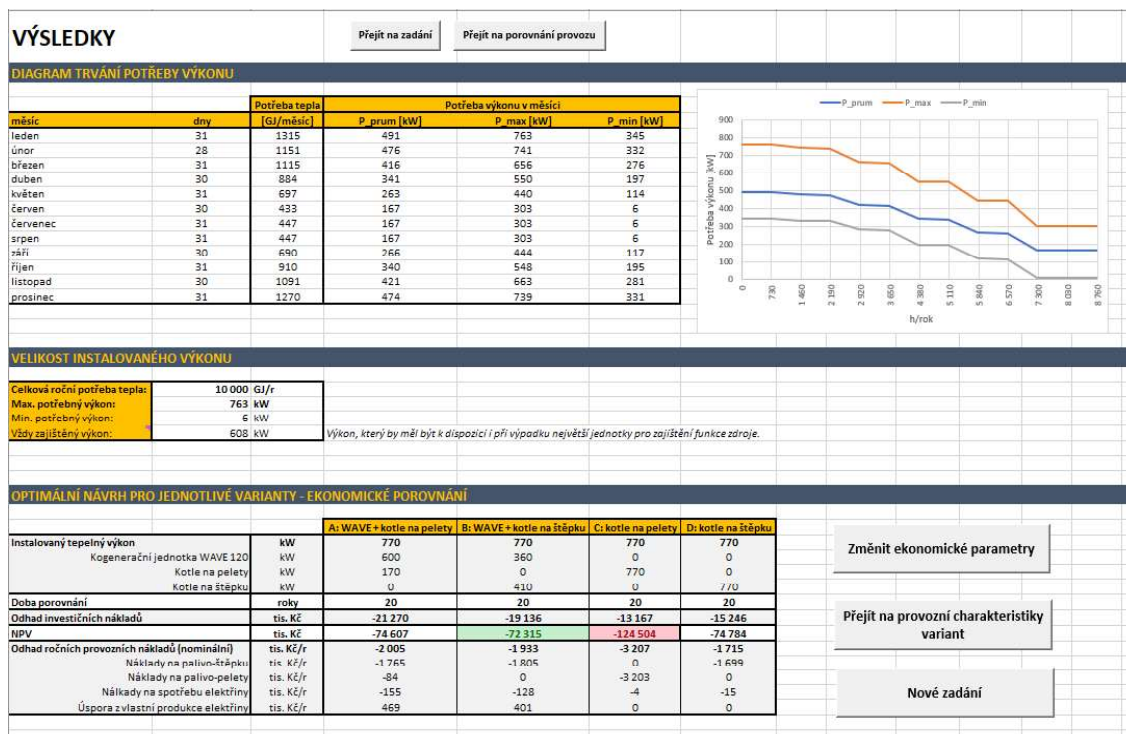
Microsoft Excel

Roční potřeba tepla musí být 1 500 GJ nebo větší.

OK

Obrázek 35: Příklad varovné hlášky při chybném zadání

Druhý list s názvem „VÝSLDEKY“ bude zobrazovat měsíční hodnoty celkové potřeby tepla, údaje o potřebách výkonu, diagram trvání potřeby výkonu a ekonomické porovnání uvažovaných variant (Obrázek 36).



Obrázek 36: Příklad listu zobrazujícího výsledky

Třetí list s názvem „VÝSTUPY_provoz“ obsahuje detailnější popis provozních parametrů pro jednotlivé varianty v měsíčním rozlišení. Část listu zobrazující výstupy pro jednu z návrhových variant je na obrázku níže (Obrázek 37). V dalších listech se už nachází výpočty a tabulky s daty, které nejsou určeny pro uživatele.

VÝSLEDKY - PROVOZNÍ PARAMETRY		Přejít na zadání		Zpět na souhrn výsledků													
VARIANTA A: KOGENERAČNÍ JEDNOTKY WAVE 120 + KOTLE NA PELETY																	
		WAVY CELKEM	1. WAVE	2. WAVE	3. WAVE	4. WAVE	5. WAVE	6. WAVE	7. WAVE	8. WAVE	9. WAVE	10. WAVE					
Jmenovitý tepelný výkon	kW	600	120	120	120	120	120	0	0	0	0	0					
Minimální tepelný výkon	kW	72	72	72	72	72	72	0	0	0	0	0					
Čistý elektrický výkon	kW	30	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0					
Roční produkce tepla	GJ/r	10 183	2 393	2 730	2 440	1 436	583	0	0	0	0	0					
Doba v provozu	h/r	8 024	7 351	6 527	3 752	1 450	0	0	0	0	0	0					
Využití instalovaného výkonu	%	4 714	6 929	6 320	5 649	3 325	1 349	0	0	0	0	0					
Odhad investičních nákladů	tis. Kč	538	79,1	72,1	64,5	38,0	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Odhad provozních nákladů (nom.hodn.)	tis. Kč/r	-18 363	-3 673	-3 673	-3 673	-3 673	-3 673	0	0	0	0	0					
			-427	-390	-348	-204	-82	0	0	0	0	0					
		KOTLE CELKEM	1. kotlel	2. kotlel	3. kotlel	4. kotlel	5. kotlel	6. kotlel	7. kotlel	8. kotlel	9. kotlel	10. kotlel	11. kotlel	12. kotlel	13. kotlel	14. kotlel	15. kotlel
Jmenovitý tepelný výkon	kW	170	20	70	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minimální tepelný výkon	kW	6	6	21	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roční produkce tepla	GJ/r	275															
Využití instalovaného výkonu	h/r	459															
	%	5,1															
Odhad investičních nákladů	tis. Kč	-2 907															
Odhad provozních nákladů (nom.hodn.)	tis. Kč/r	-84,74															
Produkce tepla		LEDEN	ÚNOR	BŘEZEN	DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN	ČERVENEC	SRPEN	ZÁŘÍ	RÍJEN	LISTOPAD	PROSINEC				
WAVY celkem	GJ/měsíc	1 253	1 104	1 099	885	702	409	422	685	910	1 073	1 219					
Kotle celkem	GJ/měsíc	62	47	16	0	3	24	25	25	4	0	18	51				
CELKEM	GJ/měsíc	1 315	1 151	1 115	885	705	433	447	447	690	910	1 090	1 270				10 458 GJ/rok
Využití instalovaného výkonu		LEDEN	ÚNOR	BŘEZEN	DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN	ČERVENEC	SRPEN	ZÁŘÍ	RÍJEN	LISTOPAD	PROSINEC				
WAVY celkem	h/měsíc	580	511	509	410	325	189	195	195	318	421	497	564				
Kotle celkem	h/měsíc	102	77	26	0	5	39	40	40	7	0	29	84				
	%	14	11	3	0	1	5	5	5	1	0	4	11				

Obrázek 37: Ukázka z listu zobrazujícího provozní parametry návrhových variant

3.3 Vstupní hodnoty

3.3.1 Vstupní hodnoty pro technický výpočet

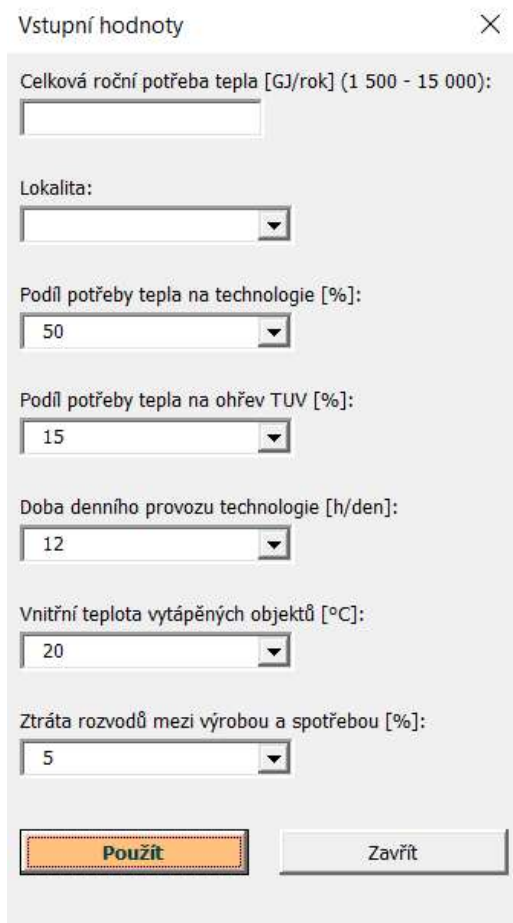
Základním zadávaným údajem je známá nebo odhadovaná roční potřeba tepla. Dalšími klíčovými vstupními parametry jsou podíly potřeby tepla pro technologie a potřeby pro ohřev TUV na celkové potřebě tepla. Z těchto hodnot lze snadno dopočítat velikosti roční potřeby tepla pro jednotlivé potřeby, na kterých je postaven následný návrh.

Zadávání podílu potřeby tepla pro technologie je zvoleno z toho důvodu, že lze předpokládat, že je známá nebo měřená velikost této potřeby. Podíl potřeby tepla pro ohřev TUV je zadáván, protože jej je možné přibližně určit ze spotřeby tepla obytných objektů v letních měsících, kdy není potřeba pro vytápění, protože většinou není prováděno zvlášť měření tepla pro vytápění a pro ohřev TUV, ale sleduje se celková spotřeba tepla.

Pro možnost provedení návrhu je potřebné také zvolit požadovanou lokalitu na úrovni kraje, (průměrnou) vnitřní teplotu vytápěných objektů a dobu provozu technologií s potřebou tepla. Všudypřítomnou položkou spotřeby tepla jsou teplené ztráty v rozvodech, výměnících atd. Její odhadovanou velikost je do návrhu možné zahrnout jako ztrátu rozvodů mezi výrobou a spotřebou a je vyjádřena v procentech jako podíl z vyrobeného množství, který se bez užítku odvede do okolí.

Na následujícím obrázku (Obrázek 38) je ukázka okna tabulky pro zadání vstupních hodnot pro technický výpočet a některé automaticky volené hodnoty. Dále je také

uvedeno rozmezí hodnot, které jsou k dispozici pro volbu v rolovací nabídce zadávacích oken formuláře (Tabulka 11).



Vstupní hodnoty

Celková roční potřeba tepla [GJ/rok] (1 500 - 15 000):

Lokalita:

Podíl potřeby tepla na technologie [%]:

Podíl potřeby tepla na ohřev TUV [%]:

Doba denního provozu technologie [h/den]:

Vnitřní teplota vytápěných objektů [°C]:

Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou [%]:

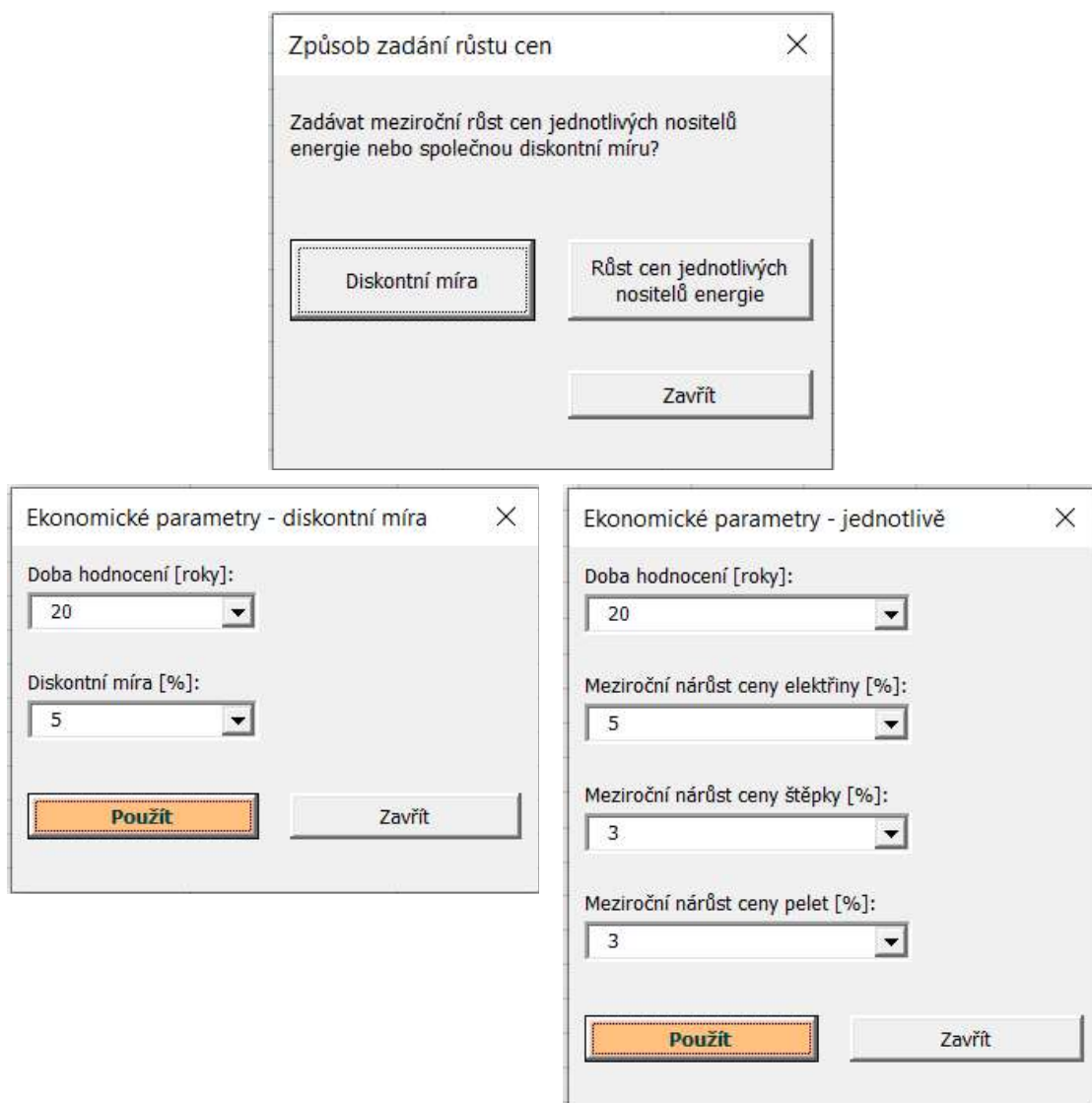
Obrázek 38: Zadávací formulář pro vyplnění vstupních hodnot

Tabulka 11: Rozmezí volených hodnot v zadávacím formuláři

Parametr	Jednotka	Min.	Max.	Krok	Předvolená hodnota
Podíl potřeby tepla na technologie	%	0	100	5	35
Podíl potřeby tepla na ohřev TUV	%	0	100	5	15
Doba denního provozu technologie	h/den	8/12/16/24			12
Vnitřní teplota vytápěných objektů	°C	16	28	1	20
Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou	%	0	20	1	5

3.3.2 Ekonomické parametry

Za davanými ekonomickými parametry jsou doba hodnocení a diskontní míra nebo růst ceny paliv a elektřiny. Je umožněno zvolit, jestli se použije výpočet pomocí diskontní míry nebo pomocí růstu cen. Příslušná zadávací okna jsou uvedena na níže (Obrázek 53). Veškeré ekonomické parametry jsou předvoleny automaticky, kdy se upřednostňuje použití diskontní míry. V následující tabulce je uvedeno rozmezí hodnot, které jsou k dispozici pro volbu v rolovacích nabídkách zadávacích oken formuláře (Tabulka 12).



Obrázek 39: Strom zadávacích oken pro ekonomické parametry – nejprve se v horním uvedeném okně zvolí jeden z nabízených postupů a podle toho se otevře buď okno vlevo dole nebo okno vpravo dole

Tabulka 12: Rozmezí volených hodnot v zadávacím formuláři – ekonomické parametry

Parametr	Jednotka	Min.	Max.	Krok	Předvolená hodnota
Doba hodnocení	roky	5	25	5	20
Diskontní míra	%	0	20	1	5
Meziroční nárůst ceny elektřiny	%	0	20	1	5
Meziroční nárůst ceny štěpky	%	0	20	1	3
Meziroční nárůst ceny pele	%	0	20	1	3

3.4 Měsíční potřeby tepla

3.4.1 Měsíční potřeba tepla na vytápění

Použitá meteorologická data

Stanovení měsíční potřeby tepla na vytápění vychází ze zadané lokality na úrovni kraje. Toto rozdělení je zvoleno, protože na úrovni krajů je možné získat dlouhodobý normál teploty vzduchu. Použit je teplotní normál z let 1981 až 2010 zveřejněný Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) [61].

Délka otopného období, venkovní výpočtová teplota a průměrná venkovní teplota za otopné období jsou převzaty z portálu Tzb-info [62]. Protože zde jsou hodnoty uváděny pro jednotlivá okresní města, jsou hodnoty na úrovni krajů získány jako průměr hodnot pro okresní města náležející do daného kraje. Tímto způsobem je možné alespoň částečně reflektovat různorodost klimatických podmínek v rámci jednoho kraje.

Vzhledem k tomu, že pro stanovení měsíční potřeby tepla pro vytápění jsou použity průměrné hodnoty pro oblasti celých krajů, je zjevné, že výpočet je pouze orientační. Výměnou za jednoduchost a rychlost návrhu dochází k určité ztrátě na přesnosti. Použité parametry otopného období pro jednotlivé kraje jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 13).

Tabulka 13: Použité parametry otopných období jednotlivých krajů [62]

	Venkovní výpočtová teplota⁴	Délka otopného období	Průměrná teplota otopného období
	°C	dny	°C
Praha a Středočeský	-13	272	5,4
Jihočeský	-16	290	5,0
Plzeňský	-14	284	5,0
Karlovarský	-15	299	5,2
Ústecký	-12	262	5,2
Liberecký	-17	295	5,0
Královéhradecký	-15	286	5,0
Pardubický	-14	279	5,2
Vysočina	-15	303	4,8
Jihomoravský	-15	258	5,1
Olomoucký	-14	265	5,1
Zlínský	-13	263	5,0
Moravskoslezský	-16	278	5,1

Stanovení tepelné náročnosti vytápěných objektů

Vzhledem k tomu, že celková roční potřeba tepla na vytápění už je zadaná, je potřeba tuto hodnotu „rozdělit“ mezi jednotlivé měsíce tak, aby výsledek co nejlépe odpovídal reálným měsíčním potřebám tepla.

Jako první je pomocí denostupňové metody ze známých údajů stanovena tepelná náročnost vytápěných objektů jako výpočtová tepelná ztráta. Vychází se ze vzorce (3.1), který váže počet denostupňů a velikost potřeby tepla na vytápění Q_v [J], kde P_z [W] je tepelná ztráta objektu vypočtená pro výpočtovou vnitřní teplotu t_i [°C] a venkovní výpočtovou teplotu t_e [°C], d je počet dnů otopného období, t_{is} je vnitřní průměrná teplota objektů, t_{es} je venkovní průměrná teplota a ε [-] je opravný součinitel reflektující způsob provozu otopné soustavy. [11]

⁴ Protože jsou hodnoty pro kraje tvořeny jako průměr různých hodnot pro jednotlivá okresní města, hodnoty venkovních výpočtových teplot se pohybují mimo běžně používanou řadu -12, -15, -18 °C.

$$Q_v = 24 \cdot 3\,600 \cdot P_z \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{t_i - t_e} \cdot \varepsilon \quad [J] \quad (3.1)$$

Z rovnice (3.1) můžeme vyjádřit součin $P_z \cdot \varepsilon$, který bude sloužit jako ukazatel tepelné náročnosti vytápěných objektů pro výpočet měsíčních potřeb tepla (3.2). Uvažuje se, že tento součin představující výpočtovou ztrátu objektu, zůstává konstantní v průběhu roku, protože principiálně vychází z výpočtových hodnot venkovní a vnitřní teploty, které nezávisí na reálných hodnotách těchto teplot.

$$P_z \cdot \varepsilon = \frac{Q}{24 \cdot 3\,600 \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{t_i - t_e}} \quad [W] \quad (3.2)$$

Stanovení měsíční potřeby tepla

Opětovným použitím rovnice (3.1) tentokrát pro měsíční hodnoty průměrných venkovních teplot při známém součinu $P_z \cdot \varepsilon$ lze dopočítat měsíční potřeby tepla. Výpočtové venkovní a vnitřní teploty zůstávají stejné pro roční i měsíční potřeby tepla. Počet dnů vytápění d jednotlivých měsíců je stanoven z celkové délky otopného období tak, že pro měsíce říjen až duben se počítá s vytápěním po celý měsíc a zbývající dny jsou rozděleny napůl mezi měsíce září a květen (v případě lichého počtu zbývajících dnů, je den navíc přiřazen měsíci květen).

V této fázi se u některých krajů připouští poměrně „do očí bijící“ nepřesnost, kdy délka otopného období přesahuje až do dalších měsíců. Pokud se tedy zbývající dny rozdělí mezi září a květen, u těchto měsíců vychází počet dnů vyšší než třicet, resp. třicet jedna. Protože se ale v průběhu celého návrhu uvažuje měsíční rozlišení, bylo by problematické přesouvat pouhých několik přebývajících dní do dalších měsíců, takže by v těchto měsících trvala potřeba pro vytápění jen malou část měsíce, což by nešlo dále zohledňovat. Tato nepřesnost bude tedy ponechána s tím, že jejím důsledkem, jak lze odvodit z rovnice (3.1), bude nadhodnocení potřeby tepla pro vytápění v měsících září a květen a podhodnocení potřeby tepla pro vytápění v měsících srpen a červen. Podobně se vnáší určitá nepřesnost, pokud naopak pro září a květen vychází počet dnů s vytápěním menší než 30, resp. třicet jedna. Příslušná potřeba tepla se poté uvažuje pro celý měsíc září, resp. květen bez ohledu na to, že netrvala po celý měsíc. Tato zjednodušení umožní pokračovat v návrhu s měsíčním rozlišením a neovlivní celoroční tepelnou bilanci, ale projeví se při určování potřeby výkonu v těchto měsících. Vzhledem k tomu, že se jedná o měsíce v přechodném období, kdy nenastávají roční maxima ani minima potřeby výkonu, nepřesnost neovlivní velikost instalovaného výkonu ani nároky na minimální dodávaný výkon.

Takto byly získány měsíční potřeby dodaného tepla pro vytápění na straně spotřeby. Po započítání ztráty v rozvodech mezi výrobou a spotřebou se dostaneme na měsíční potřeby vyrobeného tepla na straně výroby, které jsou dále používány pro návrh zdroje tepla.

Je třeba vzít v úvahu, že součin $P_z \cdot \varepsilon$ byl stanoven s využitím průměrné venkovní teploty za celé otopné období podle serveru Tzb-info, který vychází z norem ČSN 38 3350 (platná od 1. 6. 1989) a ČSN 06 0210 (platná do 1. 9. 2008)⁵, zatímco měsíční potřeby tepla byly poté dopočítány s využitím průměrných venkovních teplot dle dlouhodobého normálu ČHMÚ. Protože jsou zde využity pro jednu veličinu hodnoty z různých zdrojů, které se z principu liší, dochází k určité odchylce, která se projevuje tím, že součet měsíčních potřeb tepla pro vytápění neodpovídá zadané roční potřebě tepla. Jedná se však o relativně malý rozdíl na úrovni několika málo jednotek procent v závislosti na zvoleném kraji. Rozdíl bude dále zanedbán a v dalším výpočtu budou použity výpočtové měsíční hodnoty, jejichž součet se lehce liší od vstupní zadané hodnoty. V následující tabulce jsou uvedeny rozdíly výpočtové roční potřeby tepla proti zadané roční potřebě tepla (Tabulka 14).

⁵ Některé používané hodnoty sice pochází z již neplatné normy ČSN 06 0210, nicméně zde se jedná o přibližný návrh vycházející z metodiky odkazující se na tuto normu, kdy účelem není provedení postupu dle konkrétní normy, ale využití určitého postupu návrhu. Norma sama o sobě, a tedy i její platnost, není klíčová.

Tabulka 14: Odchytky výpočtové roční potřeby tepla od zadané způsobené použitím dat z různých zdrojů při stanovení měsíční potřeby tepla

Kraj	Odchylka [%]
Praha a Středočeský	-1,5
Jihočeský	0,5
Plzeňský	0,3
Karlovarský	4,3
Ústecký	2,2
Liberecký	-0,2
Královéhradecký	-0,7
Pardubický	0,8
Vysočina	-2,2
Jihomoravský	-1,3
Olomoucký	4,1
Zlínský	1,3
Moravskoslezský	2,0

Denní potřeba tepla pro vytápění

Protože je zde prováděn přibližný zjednodušený výpočet, je předpokládáno, že potřeby tepla během jednotlivých dnů v určitém měsíci jsou stejné. Denní potřebu tepla tedy získáme vydělením měsíční potřeby tepla počtem dnů vytápění v daném měsíci.

3.4.2 Měsíční potřeba tepla pro ohřev TUV

Uvažuje se, že spotřeba tepla pro ohřev TUV nezávisí na roční době, a je proto rovnoměrně rozložena během roku. Konkrétní velikost potřeby pro jednotlivé měsíce získáme vydělením roční potřeby počtem dnů v roce a následným vynásobením počtem dnů příslušného měsíce. Poté se připočtením poměrné ztráty tepla mezi výrobou a spotřebou dostaneme z potřeby dodávky tepla na straně spotřeby pro ohřev TUV na potřebu výroby tepla ve zdroji.

3.4.3 Měsíční potřeba tepla pro technologie

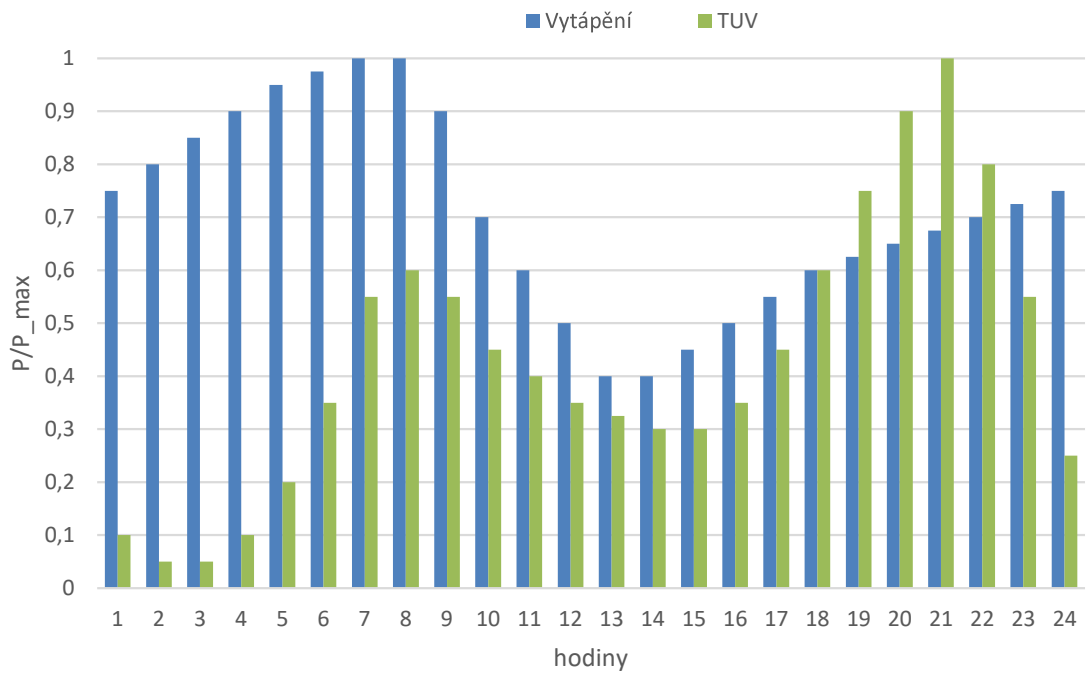
Potřeba tepla pro technologické účely dle předpokladu stejně jako potřeba tepla pro ohřev TUV nezávisí na roční době, a je proto stanovena stejným postupem. Konkrétní velikost potřeby pro jednotlivé měsíce získáme vydělením roční potřeby počtem dnů v roce a následným vynásobením počtem dnů příslušného měsíce. Poté se připočtením poměrné ztráty tepla mezi výrobou a spotřebou dostaneme z potřeby dodávky tepla na straně technologické spotřeby na potřebu výroby tepla ve zdroji.

3.5 Průběh potřeb výkonu

3.5.1 Denní diagramy potřeby výkonu

V předešlých podkapitolách byly stanoveny měsíční, a nakonec i denní velikosti potřeby tepla. Pro návrh velikosti zdroje tepla je ale rozhodující maximální potřebný výkon, který se odráží v denním diagramu potřeby výkonu. Ten je zde sestaven jako závislost velikosti podílu okamžitého výkonu ku maximálnímu dennímu výkonu na čase v průběhu dne. Použití relativních hodnot umožňuje aplikovat „tvar“ diagramu na různé celkové denní potřeby tepla poměrově. Je tak činěno za zjednodušujícího předpokladu, že průběh podílu okamžitého výkonu vůči dennímu maximu během dne je stejný během celé otopné sezóny a mění se pouze absolutní hodnoty okamžitého a maximálního výkonu v závislosti na denní celkové potřebě tepla stanovené dříve.

Protože ze zadání nejsou známy žádné hodnoty nebo závislosti, které by určovaly, jak bude tento diagram vypadat pro vytápění, ohřev TUV nebo technologickou potřebu, jsou do výpočtu přímo integrovány předdefinované denní diagramy těchto typů spotřeb. Pro vytápění a ohřev TUV jsou použity „typické“ průběhy denního diagramu pro obytné objekty přibližně sestavené dle odborných zdrojů (vytápění: [14] [15] [63], ohřev TUV: [7] [16] [63] [64]). Oba diagramy jsou zobrazeny na následující obrázku (Obrázek 40). Tvar denního diagramu pro technologickou potřebu výkonu vychází z předpokladu, že tato potřeba tepla trvá během dne po dobu odpovídající zvolené délce směn v hodinách za den, přičemž má stále konstantní velikost. Hodnoty hodinových poměrů jsou následně vypsány v tabulce (Tabulka 15).



Obrázek 40: Použité denní diagramy pro potřebu výkonu pro vytápění a ohřev TUV

Tabulka 15: Použité denní diagramy pro potřebu výkonu pro vytápění, ohřev TUV a technologií - hodinové hodnoty

Čas	Vytápění	Ohřev TUV	Technologie			
			8 h/den	12 h/den	16 h/den	24 h/den
hodina	P/P_max	P/P_max	P/P_max	P/P_max	P/P_max	P/P_max
1	0,75	0,1	0	0	0	1
2	0,75	0,05	0	0	0	1
3	0,8	0,05	0	0	0	1
4	0,85	0,1	0	0	0	1
5	0,9	0,2	0	0	0	1
6	0,95	0,35	1	1	1	1
7	0,975	0,55	1	1	1	1
8	1	0,6	1	1	1	1
9	1	0,55	1	1	1	1
10	0,9	0,45	1	1	1	1
11	0,7	0,4	1	1	1	1
12	0,6	0,35	1	1	1	1
13	0,5	0,325	1	1	1	1
14	0,4	0,3	0	1	1	1
15	0,4	0,3	0	1	1	1
16	0,45	0,35	0	1	1	1
17	0,5	0,45	0	1	1	1
18	0,55	0,6	0	0	1	1
19	0,6	0,75	0	0	1	1
20	0,625	0,9	0	0	1	1
21	0,65	1	0	0	1	1
22	0,675	0,8	0	0	0	1
23	0,7	0,55	0	0	0	1
24	0,725	0,25	0	0	0	1

3.5.2 Celkové měsíční potřeby výkonu

V dalším kroku jsou z měsíční potřeby tepla a denního diagramu potřeby výkonu s relativním vyjádřením stanoveny průměrné, maximální a minimální měsíční potřeby výkonu.

Z denního diagramu trvání potřeby výkonu je nejprve vyjádřen podíl maximální denní potřeby výkonu ku průměrné potřebě výkonu jako převrácená hodnota průměru hodinových poměrů dle rovnice (3.3). Také je vyjádřen poměr minimální a průměrné denní potřeby výkonu dle vztahu (3.4). Konkrétní hodnoty pro použité denní diagramy potřeby výkonu jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 16).

$$\frac{P_{max}}{P_{prum}} = \frac{24}{\sum_{h=1}^{24} \left(\frac{P}{P_{max}}\right)_h} \quad (3.3)$$

$$\frac{P_{min}}{P_{prum}} = \frac{\min \left[\left(\frac{P}{P_{max}}\right)_h \right]}{\frac{\sum_{h=1}^{24} \left(\frac{P}{P_{max}}\right)_h}{24}} \quad (3.4)$$

Tabulka 16: Hodnoty charakterizující použité denní diagramy potřeby výkonu pro vytápění a technologie

	Vytápění	Ohřev TUV	Technologie			
			8 h/den	12 h/den	16 h/den	24 h/den
$\frac{P_{max}}{P_{prum}}$	1,42	2,23	3	2	1,5	1
$\frac{P_{min}}{P_{prum}}$	0,57	0,12	0	0	0	1

Protože je v návrhu používáno měsíční rozlišení, platí, že hodnota průměrné denní potřeby výkonu je stejná během všech dnů jednoho měsíce, takže se rovná měsíční průměrné potřebě výkonu. Tu lze stanovit jako podíl měsíční potřeby tepla a počtu dnů v měsíci. Vzhledem k tomu, že v některých měsících je vytápěno jen po určité době nebo vůbec, jsou průměrné potřeby tepla stanoveny zvlášť pro potřebu pro vytápění a potřeby pro technologii a ohřev TUV, které se uvažují konstantní v průběhu celého roku.

Po získání hodnoty průměrné denní potřeby výkonu lze ze vztahu (3.3) dopočítat hodnotu maximální denní potřeby výkonu, a poté s jejím použitím lze dopočítat hodnotu minimální denní potřeby výkonu dle vztahu (3.4). Tyto absolutní hodnoty jsou klíčové pro návrh nejen velikosti, ale i skladby zdroje tepla.

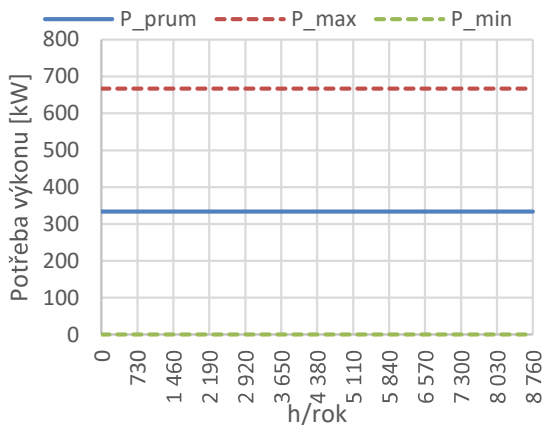
V této fázi návrhu jsou pro každý měsíc známé hodnoty měsíční potřeby tepla zvlášť pro vytápění, ohřev TUV a technologie a hodnoty měsíční průměrné, maximální a minimální potřeby výkonu zvlášť pro vytápění, ohřev TUV a technologickou spotřebu.

3.5.3 Roční diagram trvání potřeby výkonu

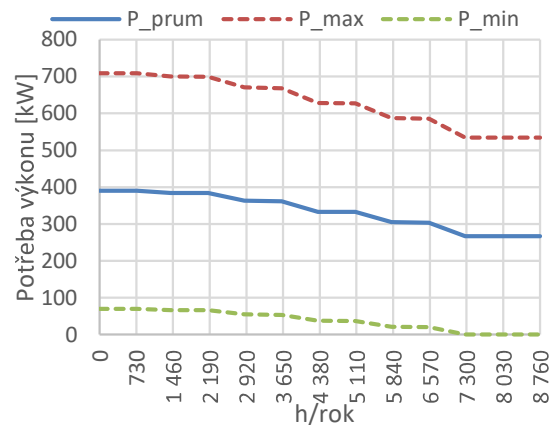
Pro návrh skladby zdroje tepla slouží jako jeden ze základních nástrojů diagram trvání potřeby výkonu během roku, kde na vodorovné ose je zobrazen průběh času v roce (nejčastěji vyjádřen hodinově) a na svislé ose velikost výkonu. Smyslem tohoto diagramu je vyjádření, jak často se vyskytne potřeba výkonu o určité hodnotě. Také velmi dobře zobrazuje poměr mezi minimální a maximální potřebou výkonu a jejich významnost ve vztahu k celému roku.

Diagram trvání potřeby výkonu je zde sestaven sestupným seřazením měsíců podle velikosti potřeby výkonu. Do diagramu je vykreslena nejen průměrná potřeba výkonu, ale také minimální a maximální, které jsou významné pro návrh instalovaného výkonu a jednotkové skladby zdroje.

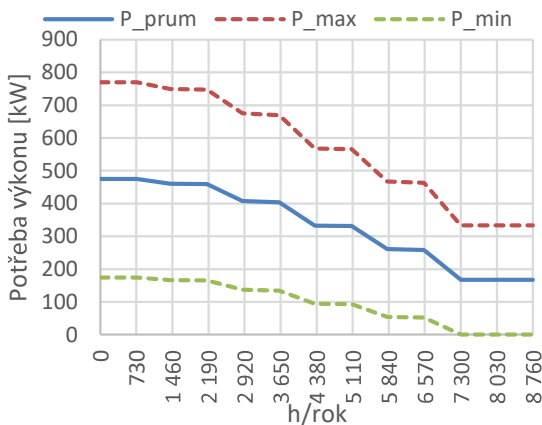
Na následujících diagramech (Obrázek 41) je znázorněn vliv podílu spotřeby tepla pro vytápění. Pro všechny zobrazené případy je zvolena celková roční potřeba tepla 10 000 GJ/r, podíl potřeby tepla na ohřev TUV 0 %, provoz technologií 12 hodin denně, jedna vnitřní teplota vytápěných objektů 20 °C, tepelná ztráta mezi výrobou a spotřebou 5 % a jako lokalita Středočeský kraj a Praha. Liší se pouze v zadaném poměru spotřeby tepla pro vytápění a pro technologické využití. Na první pohled je zřejmé, že čím je větší podíl vytápění, tím je větší nerovnoměrnost potřeby výkonu během roku. Z toho vyplývá i vyšší maximální potřebný výkon, a tedy potřeba vyššího instalovaného výkonu.



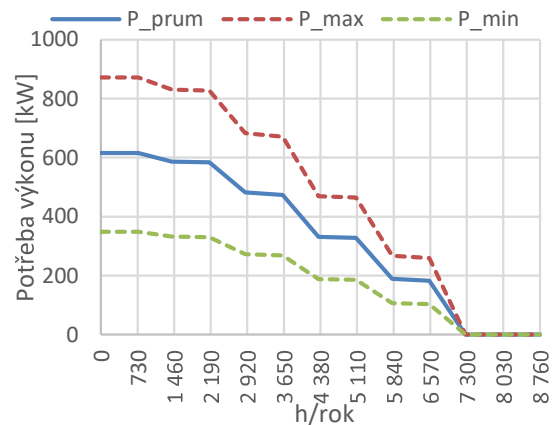
a) 0 % vytápění, 100 % technologie



b) 20 % vytápění, 80 % technologie



c) 50 % vytápění, 50 % technologie



d) 100 % vytápění, 0 % technologie

Obrázek 41: Digramy trvání celkové potřeby výkonu pro různé velikosti podílu vytápění na celkové spotřebě (bez ohřevu TUV): a) 0 %, b) 20 %, c) 50 %, d) 100 %

3.5.4 Souběhy potřeb výkonu

Pro lepší popis a návrh jednotlivých variant zdroje tepla je potřeba vytvořit absolutní denní diagramy pro každý měsíc. Vzhledem k tomu, že už jsou známé hodnoty maximální i průměrného výkonu pro každý měsíc, je možné diagramy sestavit s pomocí typových poměrných diagramů vytvořených podle kapitoly 3.5.1. Takto získáme denní diagram potřeby výkonu s denním rozlišením pro každý měsíc v roce – zvláště pro vytápění, ohřev TUV a technologickou potřebu. Sečtením těchto tří diagramů vznikne opět pro každý měsíc celkový denní diagram potřeby výkonu. V této fázi je nalezeno maximum a minimum potřeby výkonu pro celý rok a také průměrná roční potřeba výkonu. Ukázka absolutních měsíčních denních diagramů z nástroje je na obrázku níže (Obrázek 42).

Px_max [kW]	LEDEN				ÚNOR				BŘEZEN			
	vytápění 459	technologie 234	TUV 116		vytápění 437	technologie 234	TUV 116		vytápění 353	technologie 234	TUV 116	
hodina	vytápění [kW]	tech. [kW]	TUV [kW]	CELKEM [kW]	vytápění [kW]	tech. [kW]	TUV [kW]	CELKEM [kW]	vytápění [kW]	tech. [kW]	TUV [kW]	CELKEM [kW]
0	344	0	29	373	328	0	29	357	265	0	29	294
1	344	0	12	356	328	0	12	340	265	0	12	276
2	367	0	6	373	350	0	6	356	282	0	6	288
3	390	0	6	396	372	0	6	378	300	0	6	306
4	413	0	12	425	394	0	12	405	318	0	12	329
5	436	0	23	459	416	0	23	439	335	0	23	359
6	448	234	41	722	426	234	41	701	344	234	41	618
7	459	234	64	757	437	234	64	735	353	234	64	651
8	459	234	70	763	437	234	70	741	353	234	70	656
9	413	234	64	711	394	234	64	691	318	234	64	615
10	321	234	52	607	306	234	52	592	247	234	52	533
11	275	234	47	556	262	234	47	543	212	234	47	492
12	230	234	41	504	219	234	41	493	176	234	41	451
13	184	234	38	455	175	234	38	446	141	234	38	413
14	184	234	35	452	175	234	35	444	141	234	35	410
15	207	234	35	475	197	234	35	465	159	234	35	427
16	230	234	41	504	219	234	41	493	176	234	41	451
17	252	234	52	538	241	234	52	527	194	234	52	480
18	275	0	70	345	262	0	70	332	212	0	70	282
19	287	0	87	374	273	0	87	361	221	0	87	308
20	298	0	105	403	284	0	105	389	229	0	105	334
21	310	0	116	426	295	0	116	412	238	0	116	355
22	321	0	93	414	306	0	93	399	247	0	93	340
23	333	0	64	397	317	0	64	381	256	0	64	320
24	344	0	29	373	328	0	29	357	265	0	29	294
			MAXIMUM	763				741				656
			MINIMUM	345				332				276
			PRŮMĚR	486				471				411
				31				28				31
CELÝ ROK												
MAXIMUM	763 kW											
MINIMUM	6 kW											
PRŮMĚR	327 kW											

Obrázek 42: Ukázka absolutních denních diagramů ve výpočetním nástroji

3.5.5 „Zajištěný“ výkon

Jak již bylo uvedeno v kapitolách 1.3.2 a 1.4, maximální velikost jedné jednotky zdroje bude omezena podmínkou pro zajištění určité úrovně výkonu i při výpadku výkonově největší jednotky. Pro stanovení velikosti tohoto „zajištěného“ výkonu je využito doporučení z [3], kde autor uvádí, že při výpadku největšího kotle z provozu musí být ostatní jednotky při svém jmenovitém výkonu schopné pokrýt:

- 1) plnou potřebu výkonu pro technologické účely,
- 2) průměrnou potřebu pro ohřev TUV a
- 3) potřebu výkonu pro vytápění odpovídající průměrné denní teplotě ovzduší v nejchladnějším měsíci.

Vzhledem k tomu, že při určování výkonů 1) a 2) se v uvedených podmínkách uvažuje rovnoměrná potřeba výkonu pro ohřev TUV a technologické účely během roku shodně jako v prováděném návrhu, tyto hodnoty jsou již dostupné z předchozího postupu (kapitola 3.5.2). Pro určení „zajištěného“ výkonu pro vytápění je potřeba nejdříve určit nejchladnější měsíc, kterým je pro všechny kraje měsíc leden. Výkon 3) tedy odpovídá průměrné potřebě výkonu pro vytápění v měsíci leden. Součtem výkonů 1), 2) a 3) je výkon, který musí být k dispozici i při výpadku největší jednotky. Maximální možný výkon jednotky volený při návrhu zdroje tepla je tedy rozdílem hodnot celkového instalovaného výkonu a tohoto „zajištěného“ výkonu.

3.6 Stanovení provozních parametrů

V této části je popsána volba některých provozních parametrů jednotek, které budou využity při následném návrhu a popisu jednotlivých variant. Všechny řešené parametry se vztahují k časovému období jednoho roku. Čtyři uvažované varianty kombinací typů jednotek jsou:

- E. kogenerační jednotky Wave 120 s peletovými kotli,
- F. jednotky Wave 120 s kotli na štěpku
- G. pouze peletové kotle a
- H. pouze štěpkové kotle.

První dvě, resp. poslední dvě varianty jsou v celém postupu návrhu shodné a v důsledku se liší až v investičních nákladech a ceně paliva. V následující fázi bude proto postup návrhu zdroje tepla rozdělen na dvě části: první pro dvě varianty s kogeneračními jednotkami, druhou pro varianty pouze s kotli.

3.6.1 Parametry kogenerační jednotky Wave 120

Parametry používané pro jednotku Wave 120 byly převzaty z veřejně dostupného prezentovaného katalogu [27]. Příslušný výňatek je na následujícím obrázku (Obrázek 43).

Parametry WAVE 120			
příkon zařízení v palivu	160 kW	celková účinnost	78,1 %
přivedené teplo	130 kW	palivo	dřevní štěpka o max. vlhkosti 40 %
tepelné ztráty kotle	30 kW	doporučené rozměry paliva	5 x 3 x 1 cm
tepelný výkon	120 kW	orientační spotřeba paliva	0,25 m ³ /h
elektrický výkon svorkový	8,2 kW	teplotní spád otopné vody	60/80 °C
čistý elektrický výkon	6,0 kW	hmotnost technologie	6,5 t
vlastní spotřeba zařízení	2,2 kW	Elektrické připojení	3 x 400 V
účinnost kotle	82,5 %	Rozměry technologie	2,5 x 3,1 x 6 m

Obrázek 43: Parametry kogenerační jednotky Wave 120 [27]

Pro další výpočty bude potřeba znát účinnost výroby tepla η_t [1] a svorkovou účinnost výroby elektřiny η_e [1], které zde nejsou přímo uvedeny. Budou proto

dopočteny pomocí příkonu zařízení v palivu \dot{Q}_{pal} [kW] a jmenovitého tepelného výkonu \dot{Q}_{jm} [kW] podle vztahu (3.5), resp. svorkového jmenovitého elektrického výkonu P_s [kW] podle vztahu (3.6).

$$\eta_t = \frac{\dot{Q}_{jm}}{\dot{Q}_{pal}} = \frac{120}{160} = 0,75 \quad [1] \quad (3.5)$$

$$\eta_e = \frac{P_s}{\dot{Q}_{pal}} = \frac{8,2}{160} = 0,051 \quad [1] \quad (3.6)$$

Minimální tepelný výkon zde také není uveden, proto bylo vedoucím práce na základě zkušeností z provozu jednotky Wave 120 doporučeno zvolit minimální výkon na úrovni 60 % jmenovitého výkonu, tedy 72 kW_t.

3.6.2 Volba kotlů a jejich parametry

Prováděný návrh se nezaměřuje na konkrétní kotlové jednotky, protože výrobců poměrně velké množství. S ohledem na údaje z katalogů výrobců Fröling a ETA ([25], [41], [65], [66]) jsou navrženy výkonové řady zvláště pro kotle na pelety a na štěpku, které jsou uvedeny následující tabulce (

Tabulka 17). Uváděný minimální výkon je u všech kotlů na úrovni 30 % z hodnoty jmenovitého, takže stejným poměrem jsou určeny také minimální výkony pro kotle v navržených výkonových řadách. Uvažuje se, že uváděný jmenovitý výkon je maximálním výkonem kotle.

Tabulka 17: Výkonové řady kotlů

Kotle na pelety		Kotle na štěpku	
Jmenovitý výkon [kW]	Minimální výkon [kW]	Jmenovitý výkon [kW]	Minimální výkon [kW]
10	3		
15	5		
20	6	20	6
30	9	30	9
40	12	40	12
50	15	50	15
60	18	60	18
70	21	70	21
80	24	80	24
90	27	90	27
100	30	100	30
120	36	120	36
140	42	140	42
160	48	160	48
180	54	180	54
200	60	200	60
250	75	250	75
300	90	300	90
350	105	350	105

3.6.3 Provozní účinnost jednotek

Roční provozní účinnost představuje účinnost výroby tepla při provozu jednotky v průběhu roku. Je tedy zpravidla menší než jmenovitá účinnost, která platí pro jmenovité zatížení. To je způsobeno závislostí aktuální účinnosti výroby tepla na aktuálním tepleném výkonu kotle, jak uvádí například [3], [7] a [67]. Celoročně by kotel mohl dosahovat jmenovité účinnosti při konstantním provozu při jmenovitém zatížení, což není většinou možné.

V případě kogeneračních jednotek byl učiněn předpoklad, že tepelný výkon jednotky Wave 120 při provozu neklesne pod úroveň 60 % jejího nominálního výkonu, tedy pod 72 kW_t. I roční provozní účinnost výroby tepla tedy nebude příliš snižena proti jmenovité účinnosti. Provozní účinnost výroby tepla kogeneračními jednotkami je tedy stanovena na 70 % proti jmenovité účinnosti 75 %. Podobně závisí na zatížení také provozní účinnost výroby elektřiny, která je odhadnuta na 4,8 % proti jmenovité účinnosti 5,2 %.

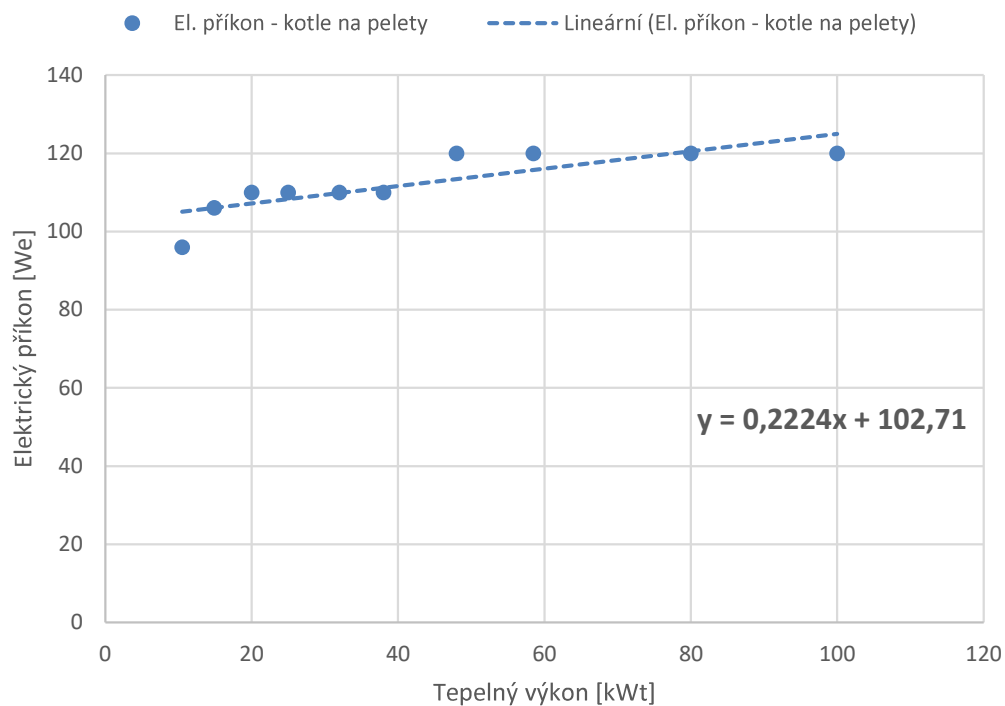
Účinnost kotlů při jmenovitém zatížení uváděná výrobcem se pohybuje kolem 93 %. Odhad roční provozní účinnosti kotlů, které budou obecně pracovat v celém svém výkonovém rozpětí, tedy už od 30 % svého jmenovitého výkonu je učiněn s přihlédnutím na požadavky na ekodesign [68]. Konkrétně je použito nařízení komise EU 2015/1189 pro kotle na tuhá paliva, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES. To určuje, že sezónní energetická účinnost vytápění vnitřních prostor u kotlů se jmenovitým tepelným výkonem větším než 20 kW nesmí být menší než 77 %. Tato sezónní účinnost je určovaná pomocí výpočtu, který zahrnuje různé energetické ztráty a příspěvky, a definičně není shodná s provozní účinností, která odpovídá reálnému provozu konkrétní jednotky. Nicméně zde při vytváření návrhu je dostačující jako orientační hodnota. Roční provozní účinnost výroby tepla kotlů je tedy zvolena 77 %.

Hodnoty ročních provozních účinností budou používány jako průměrné hodnoty účinností platné po celý rok.

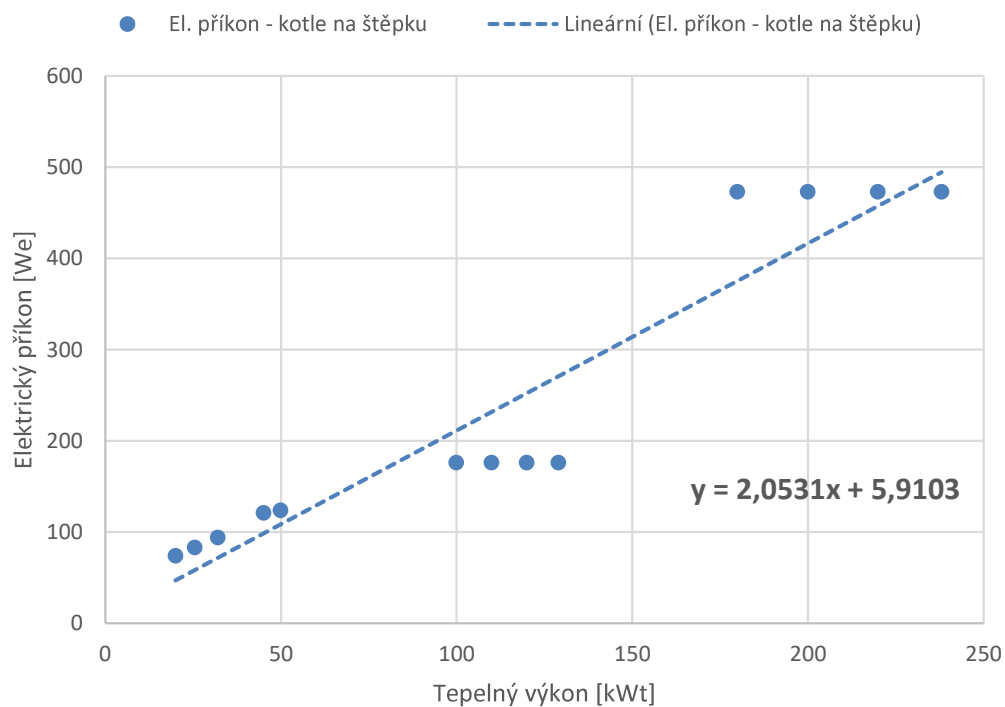
3.6.4 Spotřeba elektrické energie

Pro jednotku Wave 120 je uvedena vlastní spotřeba elektřiny pro jmenovité zatížení 2,2 kW_e [27]. Protože se jedná o zařízení s komplexním řízením a regulací, takže lze očekávat, že podstatná část potřeby elektřiny je stálá a nezávisí na momentálním výkonu zařízení, a při provozu navíc nebude zatížení příliš klesat, bude se dále předpokládat, že tento příkon bude přibližně konstantní po celou dobu provozu jednotky.

Při určování elektrického příkonu kotlů se využijí informace uvedené výrobcem kotlů. Zde naopak bude předpokládáno, že elektrický příkon závisí na výkonu zařízení. To potvrzují i výrobci uváděním dvou hodnot příkonu pro jmenovité a částečné zatížení. Pro výrobce uváděné hodnoty elektrického příkonu při určitém výkonu zařízení ([25], [41], [65], [66]) bude provedena lineární regrese, protože závislost vykazuje přibližně lineární průběh. Funkce výsledné přímky bude dále používána pro stanovení elektrického příkonu v závislosti na výkonovém zatížení kotle. V následujících grafech (Obrázek 44 a Obrázek 45) jsou zobrazeny provedené regrese i výsledné rovnice regresních přímek zvlášť pro peletové kotle a kotle na štěpku.



Obrázek 44: Závislost elektrického příkonu na tepelném výkonu – kotle na pelety



Obrázek 45: Závislost elektrického příkonu na tepelném výkonu – kotle na štěpku

3.7 Návrh zdroje tepla: varianty s kogenerační jednotkou

Primárním cílem této fáze návrhu je pro každou variantu získat takové údaje o jejím provozu a jednotkovém složení, aby bylo možné provést jejich ekonomické vyhodnocení porovnáním investičních a provozních nákladů. Jde tedy především o spotřebu paliva a spotřebu a produkci elektřiny. Ekonomické zhodnocení bude popsáno v další podkapitole (3.9).

V této fázi návrhu se již částečně liší postup pro varianty obsahující kogenerační jednotky Wave 120 a varianty čistě kotlové. Důvodem je potřeba u kombinovaných variant rozlišit, kterou část dodávky budou vyrábět kogenerační jednotky a kterou kotle. Jedině tak je možné později určit investiční a provozní náklady.

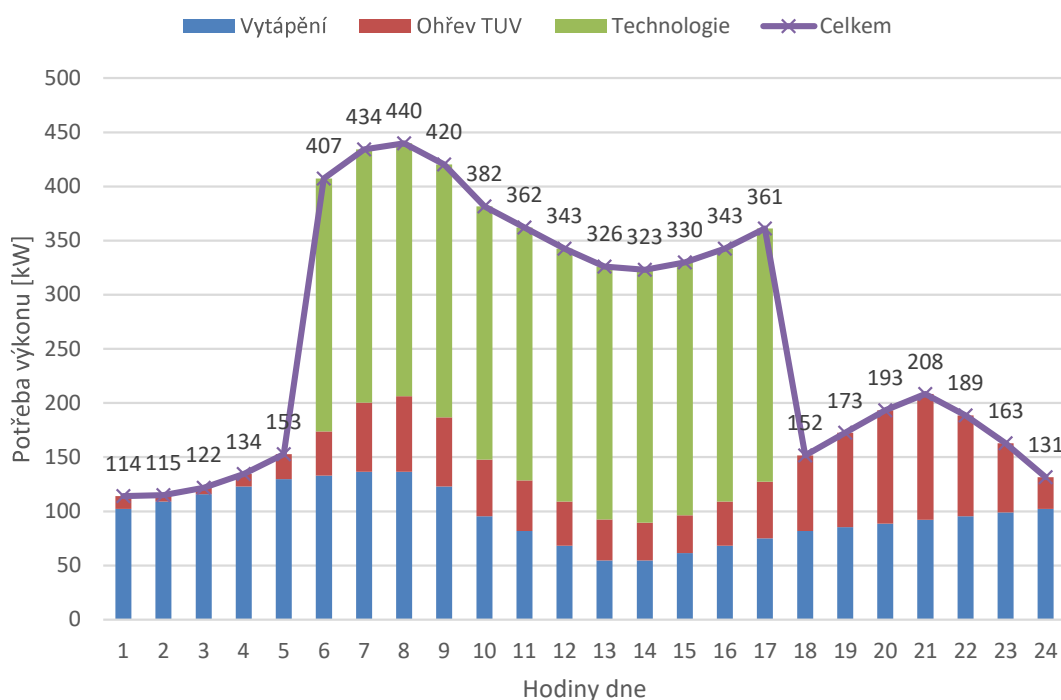
3.7.1 Rozdělení dodávky tepla mezi kogenerační jednotky a kotle

Protože v rámci kombinovaných variant je možnost volit počet jednotek Wave 120 od jedné do deseti, vyhodnocení provozu každé z variant (A a B) je vytvořeno pro deset případů podle počtu jednotek. Kogenerační jednotky jsou nastaveny jako základní zdroj pro jejich maximální využití. Kotle (peletové pro variantu A a štěpkové pro variantu B) je doplňují ve dvou polohách: pro nízké potřebné výkony pod minimálním tepelným výkonem jednotky Wave 120 a naopak jako doplnění nad výkon instalovaný v jednotkách Wave 120 pro uspokojení maximální potřeby výkonu.

Pro každý denní diagram se určí počet hodin, které bude v provozu jedna jednotka Wave 120, dvě jednotky, tři jednotky atd., kolik hodin kotle pro příkony pod minimálním výkonem jednotky Wave 120 a kolik hodin kotle doplňující do maxima potřeby. Pro každé toto období se určí také příslušná výroba tepla a poté lze dopočítat průměrný výkon a denní hodnoty přepočítat na měsíční pro daný měsíc.

Ilustrační příklad

Pro lepší názornost bude tento proces ukázán pro případ použití tří kogeneračních jednotek doplněných kotli pro měsíc květen. Zadání je zvoleno následující: celková roční potřeba tepla 10 000 GJ/r, podíl potřeby tepla na ohřev TUV 15 %, podíl potřeby tepla pro technologie 35 %, provoz technologií 12 hodin denně, vnitřní teplota vytápěných objektů 20 °C, tepelná ztráta mezi výrobou a spotřebou 5 % a jako lokalita Středočeský kraj a Praha. Na následujícím obrázku je příslušný denní diagram pro měsíc květen (Obrázek 46). Plocha pod křivkou představuje potřebu tepla pro celý den (kWh).



Obrázek 46: Ilustrační denní diagram potřeby výkonu pro měsíc květen

Nejprve se podle denního diagramu (Obrázek 46) určí, kolik hodin budou v provozu kotle v situaci, kdy minimální výkon kogenerační jednotky bude příliš vysoký. Minimální výkon, kdy jednotka Wave 120 pracuje s dobrou účinností je 60 % jejího nominálního výkonu, tedy 72 kW_t . Z diagramu je patrné, že v květnu neklesne potřebný výkon pod 114 kW_t . Nicméně existuje výkonové okno mezi maximálním výkonem jedné kogenerační jednotky 120 kW_t a součtem minimálních výkonů dvou jednotek 144 kW_t . Z diagramu vyplývá, že tato situace nastane 3., 4. a 24. hodinu. Takto získáváme dobu běhu 3 h/den, resp. 93 h/měsíc. Po odečtení výkonu prvního Wavu 120 z příslušné potřeby výkonu lze dopočítat také potřebnou dodávku tepla kotli (27 kWh/den) a příslušné výkony (průměrný výkon 9 kW_t).

Následně se určí stejné parametry pro dobu, kdy poběží jedna jednotka Wave 120, tedy pro dobu, kdy bude potřeba výkonu v rozmezí 72 kW_t až 120 kW_t . To je 5 h/den, resp. 155 h/měsíc s dodávkou tepla 589 kWh/den a průměrným výkonem 188 kW_t . Podobným způsobem se určí tyto hodnoty pro situaci, kdy poběží tři jednotky Wave 120, a na závěr pro situaci, kdy nebudou stačit ani tři kogenerační jednotky a zbytek dodávky doplní další kotle. Stejným způsobem se provede výpočet pro všechny měsíce v roce vždy pro určitý celkový počet instalovaných jednotek Wave 120 (od jedné po maximálně deset jednotek). Správnost postupu je ověřena porovnáním výsledného součtu vyrobených tepel jednotlivými jednotkami ve všech měsících s výchozí roční hodnotou potřebné produkce tepla, kdy se musí navzájem

rovnat. Ukázka příslušné výpočtové tabulky z navrhovaného modelu je přiložena níže (Obrázek 47).

WAVE:		3 x													
		LEDEN	ÚNOR	BŘEZEN	DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN	ČERVENEC	SRPEN	ZÁŘÍ	ŘÍJEN	LISTOPAD	PROSINEC		
kotle pod WAVE	71	-	-	-	-	27	222	222	222	38	-	-	-	kWh/den	
	0	-	-	-	-	3	8	8	8	3	-	-	-	doba behu [h/d]	
		-	-	-	-	93	240	248	248	90	-	-	-	doba behu [h/m]	
		-	-	-	-	9	28	28	28	13	-	-	-	prum vykon [kW]	
	-	-	-	-	837	6 660	6 882	6 882	1 140	-	-	-	kWh/mesic	22401 kWh/r	
1x WAVE	120	-	-	-	-	589	401	401	401	595	-	-	-	kWh/den	
	72	-	-	-	-	5	4	4	4	5	-	-	-	doba behu [h/d]	
		-	-	-	-	155	120	124	124	150	-	-	-	doba behu [h/m]	
		-	-	-	-	118	100	100	100	119	-	-	-	prum vykon [kW]	
	-	-	-	-	18 259	12 030	12 431	12 431	17 850	-	-	-	kWh/mesic	73001 kWh/r	
2x WAVE	240	-	-	-	1 282	1 231	-	-	-	1 251	1 513	-	-	kWh/den	
	144	-	-	-	6	7	-	-	-	7	7	-	-	doba behu [h/d]	
		-	-	-	180	217	-	-	-	210	217	-	-	doba behu [h/m]	
		-	-	-	214	176	-	-	-	179	216	-	-	prum vykon [kW]	
	-	-	-	38 460	38 161	-	-	-	37 530	46 903	-	-	kWh/mesic	161054 kWh/r	
3x WAVE	360	8 621	8 585	8 111	5 877	4 185	3 382	3 382	3 382	4 195	5 627	8 163	8 578	kWh/den	
	241	24	24	24	18	12	12	12	12	12	17	24	24	doba behu [h/d]	
		744	672	744	540	372	360	372	372	360	527	720	744	doba behu [h/m]	
		359	358	338	327	349	282	282	282	350	331	340	357	prum vykon [kW]	
	267 251	240 380	251 441	176 310	129 735	101 460	104 842	104 842	125 850	174 437	244 890	265 918	kWh/mesic	2 187 356 kWh/r	
kotle nad WAVE	361	3 164	2 835	1 877	1 031	286	-	-	-	311	1 014	1 934	2 806	kWh/den	
	361	22	20	12	12	7	-	-	-	7	12	13	19	doba behu [h/d]	
		682	560	372	360	217	-	-	-	210	372	390	589	doba behu [h/m]	
		144	142	156	86	41	-	-	-	44	85	149	148	prum vykon [kW]	
	98 084	79 380	58 187	30 930	8 866	-	-	-	9 330	31 434	58 020	86 986	kWh/mesic	461 217 kWh/r	
													CELKEM:	2 905 029 kWh/r	

Obrázek 47: Ukázka výpočtu provozních parametrů

Tyto získané hodnoty se poté ještě přepočítají pro jednotlivé jednotky, kdy se pro každou určí množství vyrobeného tepla, počet hodin, po které byla v provozu, a následně průměrný výkon. Ukázka pro uváděný příklad je na následujícím obrázku (Obrázek 48).

		LEDEN	ÚNOR	BŘEZEN	DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN	ČERVENEC	SRPEN	ZÁŘÍ	ŘÍJEN	LISTOPAD	PROSINEC		
kotle pod WAVE	vyroba tepla [kWh/m]	-	-	-	-	837	6 660	6 882	6 882	1 140	-	-	-	CELKEM ZA ROK	81 GJ/r
	doba behu [h/m]	-	-	-	-	93	240	248	248	90	-	-	-	919 h/r	
	prum. vykon [kW]	-	-	-	-	9	28	28	28	13	-	-	-	24 kW	
1. WAVE	vyroba tepla [kWh/m]	89 084	80 127	83 814	78 000	80 585	45 850	47 378	47 378	78 565	81 597	81 630	88 639	CELKEM ZA ROK	3 178 GJ/r
	doba behu [h/m]	744	672	744	720	744	480	496	496	720	744	720	744	8 024 h/r	
	prum. vykon [kW]	120	119	113	108	108	96	96	96	109	110	113	119	110 kW	
3x WAVE	vyroba tepla [kWh/m]	89 084	80 127	83 814	78 000	62 326	33 820	34 947	34 947	60 715	81 597	81 630	88 639	CELKEM ZA ROK	2 915 GJ/r
	doba behu [h/m]	744	672	744	720	589	360	372	372	570	744	720	744	7 351 h/r	
	prum. vykon [kW]	120	119	113	108	106	94	94	94	107	110	113	119	110 kW	
3. WAVE	vyroba tepla [kWh/m]	89 084	80 127	83 814	58 770	43 245	33 820	34 947	34 947	41 950	58 146	81 630	88 639	CELKEM ZA ROK	2 625 GJ/r
	doba behu [h/m]	744	672	744	540	372	360	372	372	360	527	720	744	6 527 h/r	
	prum. vykon [kW]	120	119	113	109	116	94	94	94	117	110	113	119	112 kW	
kotle nad WAVE	vyroba tepla [kWh/m]	98 084	79 380	58 187	30 930	8 866	-	-	-	9 330	31 434	58 020	86 986	CELKEM ZA ROK	1 660 GJ/r
	doba behu [h/m]	682	560	372	360	217	-	-	-	210	372	390	589	3 752 h/r	
	prum. vykon [kW]	144	142	156	86	41	-	-	-	44	85	149	148	123 kW	
													CELKEM ZA ROK	10 458 GJ/r	

Obrázek 48: Ukázka výpočtu provozních parametrů – přepočet pro jednotlivé jednotky

Poznámka k postupu

V reálném provozu nelze očekávat popsané střídání jednotlivých jednotek třeba i z hodiny na hodinu. Takový způsob provozu by byl velmi neefektivní, kvůli

vysokému počtu najíždění jednotek za den, což by vedlo také ke snížení životnosti technologií. Navíc u kogenerační jednotky není technicky možné provést vypnutí a opětovné najetí v rámci jedné hodiny. U reálné instalace bude hrát roli například tepelná setrvačnost na straně spotřebičů, takže denní diagram potřeby výkonu bude „vyhlazenější“ bez ostrých přechodů. Detailní a přesný odhad provozního chování celého systému je nad rámec této práce. Uvedený postup se používá s předpokladem, že v celoroční bilanci se model přiblíží charakteru reálného provozu.

3.7.2 Výpočet některých provozních parametrů

Pro každou ze dvou variant s kogeneračními jednotkami bude výpočet proveden celkem desetkrát podle počtu jednotek Wave 120. Co se týče provozních parametrů kotlů, budou řešeny jako dva bloky, kdy první slouží k pokrytí nízkých výkonů pod minimálním tepelným výkonem jednotky Wave 120 a druhý jako doplnění potřebného instalovaného výkonu nad součet jmenovitých výkonů kogeneračních jednotek.

Pro každou jednotku a kotlový blok se vypočítá nejdříve doba využití výkonu τ [h/r] podle vztahu (3.7), kde Q [GJ/r] je teplo vyrobené jednotkou, resp. blokem a \dot{Q}_{jm} [kW] je jmenovitý výkon jednotky, resp. bloku.

$$\tau = \frac{Q}{\dot{Q}_{jm}} \cdot \frac{3,6}{1\,000} \quad [\text{h/r}] \quad (3.7)$$

Jako další je určena spotřeba energie v palivu Q_{pal} [GJ/r] s využitím roční provozní účinnosti výroby tepla (volba byla popsána v podkapitole 3.6.3) podle vztahu (3.8), kde η_t [1] je roční provozní účinnost výroby tepla jednotky Wave 120 nebo kotlů a Q [GJ/r] je teplo vyrobené jednotkou nebo blokem kotlů za rok.

$$Q_{pal} = \frac{Q}{\eta_t} \quad [\text{GJ/r}] \quad (3.8)$$

Spotřeba elektrické energie se určí s využitím elektrického příkonu P_{el} [kW], jehož stanovení pro kotle a pro jednotku Wave 120 bylo popsáno v podkapitole 3.6.4. U jednotek Wave 120 se počítá s konstantním elektrickým příkonem a u kotlů je úměrný průměrnému ročnímu tepelnému výkonu. Spotřeba elektřiny W [MWh/r] závisí kromě na příkonu také na době provozu jednotky nebo bloku kotlů d [h/r] a určí se ze vztahu (3.9).

$$W_{spotř} = \frac{P_{el}}{1\,000} \cdot d \quad [MWh/r] \quad (3.9)$$

Produkce elektřiny $W_{prod} [kW]$ v kogenerační jednotce se stanoví ze známé hodnoty spotřeby tepla v palivu $Q_{pal} [GJ/r]$ a provozní elektrické účinnosti jednotky (viz podkapitola 3.6.3) podle vztahu (3.10).

$$W_{prod} = Q_{pal} \cdot \frac{1\,000}{3,6} \cdot \eta_e \quad [MWh/r] \quad (3.10)$$

Tabulka s výsledky pro tři jednotky Wave 120 pro příklad použitý v předchozí části 3.7.1 je pro ilustraci uvedena níže (Obrázek 49).

WAVE: 3 x				
WAVY				
vykon WAVŮ [kW]	360			
	CELK./PRUM.	1. WAVE	2. WAVE	3. WAVE
jmen. výkon [kW]	360	120	120	120
min. výkon [kW]	72	72	72	72
doba provozu [h/r]	7 301	8 024	7 351	6 527
prům. výkon při provozu [kW]	111	110	110	112
produkce tepla [GJ/r]	8 717	3 178	2 915	2 625
roční využití výkonu [h/r]	6 726	7 355	6 747	6 076
úč. výroby tepla [%]	75	75	75	75
spotřeba v palivu [GJ/r]	11 623	4 237	3 886	3 500
úč. výroby elektřiny [%]	5,1	5,1	5,1	5,1
produkce elektřiny [MWh/r]	165	60,3	55,3	49,8
prům el. výkon [W]	7 559	7 517	7 526	7 633
el. příkon [W]	6 600	2 200	2 200	2 200
spotřeba elektřiny [MWh/r]	48,2	17,7	16,2	14,4

Obrázek 49: Ukázka vypočtených provozních hodnot pro kogenerační jednotky

3.7.3 Návrh jednotkové skladby

V této fázi výpočtů je mimo jiné již stanovený potřebný instalovaný výkon (kapitola 3.5.4) a maximální přípustná velikost jedné jednotky (kapitola 3.5.5). Pokud by maximální přípustný výkon jednotky byl menší než 120 kW_t, tedy výkon jednotky Wave 120, znamenalo by to, že je nelze použít. Protože je ale žádoucí vždy předložit i varianty s kogenerační jednotkou, tato situace bude řešena navýšením celkového instalovaného výkonu tak, aby použití jednotky Wave 120 bylo přípustné, a i při jejím výpadku by zbývající výkon byl dostačující.

Jak bylo uvedeno, pro každou ze dvou variant s kogeneračními jednotkami bude vyhodnoceno použití postupně jedné až deseti jednotek Wave 120. Jednotkové

3.8 Návrh zdroje tepla: varianty pouze s kotli

Návrh variant bez kogeneračních jednotek, kdy bude zdroj složen buď pouze z peletových kotlů nebo kotlů na štěpku, je podstatně jednodušší než návrh variant s kombinací různých zdrojů. Provozní parametry kotlů se zde opět určují pro celý blok, a ne pro jednotlivé kotle. Základním východiskem je tedy měsíční potřeba tepla, hodnota minimálního potřebného výkonu, požadovaný celkový instalovaný výkon a maximální dovolená velikost jednoho kotle.

3.8.1 Výpočet některých provozních parametrů

Postup je prakticky shodný s variantami s kogenerační jednotkou. Pro kotlový blok se vypočítá nejdříve doba využití výkonu τ [h/r] podle vztahu (3.11)(3.7), kde Q [GJ/r] je teplo vyrobené kotli a \dot{Q}_{jm} [kW] je jmenovitý výkon bloku kotlů.

$$\tau = \frac{Q}{\dot{Q}_{jm}} \cdot \frac{3,6}{1\,000} \quad [\text{h/r}] \quad (3.11)$$

Jako další je určena spotřeba energie v palivu Q_{pal} [GJ/r] s využitím roční provozní účinnosti výroby tepla (volba byla popsána v podkapitole 3.6.3) podle vztahu (3.12), kde η_t [1] je roční provozní účinnost výroby tepla kotlů a Q [GJ/r] je teplo vyrobené blokem kotlů za rok.

$$Q_{pal} = \frac{Q}{\eta_t} \quad [\text{GJ/r}] \quad (3.12)$$

Protože nebyl rozpracován provoz jednotlivých kotlů, aby bylo možné stanovit průměrný výkon a dobu provozu, využije se předpoklad, že výkon kotlů bude kopírovat potřebu výkonu. Její průměrná roční hodnota je k dispozici na základě celkových denních diagramů pro jednotlivé měsíce (viz kapitola 3.5.4). Ta se použije jako průměrný výkon kotlů. Tím pádem je potřeba jako dobu běhu zvolit celý rok, protože průměrná potřeba výkonu je vztažena k celému roku. Spotřeba elektrické energie W [MWh · r⁻¹] se tak určí ze vztahu (3.13) s využitím elektrického příkonu P_{el} [kW], který byl stanoven pro předpokládaný průměrný tepelný výkon kotlů podle podkapitoly 3.6.4.

$$W_{spotř} = \frac{P_{el}}{1\,000} \cdot 8\,760 \quad [\text{MWh} \cdot \text{r}^{-1}] \quad (3.13)$$

Tabulka s výsledky pro tři jednotky Wave 120 pro příklad použitý v předchozí části 3.7.1 je pro ilustraci uvedena níže (Obrázek 51: Ukázka vypočtených provozních hodnot pro kotle).

KOTLE NA PELETY									
SKLADBA A ROČNÍ PROVOZNÍ PARAMETRY									
potřebný výkon kotlu [kW]	763	kotel na min. výkon			zbývající kotle - na co nejmenší počet				
	CELKEM	1. kotel	2. kotel	3. kotel	4. kotel	5. kotel	6. kotel	7. kotel	8. kotel
jmen. výkon [kW]	770	20	140	140	140	140	140	50	-
min. výkon [kW]	6	6	42	42	42	42	42	15	-
průměrný výkon [kW]	327								
produkce tepla [GJ/r]	10 458								
účinnost výroby tepla [%]	77								
spotřeba v palivu [GJ/r]	13 582								
využití výkonu [h/r]	3 773								
prům. el. příkon [W]	175								
spotřeba elektřiny [MWh/r]	1,5								

Obrázek 51: Ukázka vypočtených provozních hodnot pro kotle

3.8.2 Návrh jednotkové skladby

Volba konkrétních jednotek vychází ze stejného přístupu, jaký byl zvolen u variant s kogeneračními jednotkami. I u druhých dvou variant se jako první navrhne jednotka pro pokrytí minimálního potřebného výkonu. Model vybere z řady kotlů jednotku s největším menším nebo rovným minimálním výkonem. Pokud je potřebný minimální výkon menší než minimální výkon nejmenšího kotle, zvolí se tento nejmenší kotel.

V následujících krocích se vždy porovnává součet výkonů zatím zvolených kotlů s požadovaným instalovaným výkonem. Dokud výkon chybí, přidávají se další kotle v závislosti na tom, jestli je hodnota chybějícího výkonu větší nebo menší než maximální dovolená velikost jednotky (viz kapitola 3.5.5). Pokud je menší, nástroj vybere z řady kotlů jednotku s nejmenším větším jmenovitým výkonem, než je výkon chybějící, přičemž zároveň kontroluje, aby nebyla zvolena jednotka s příliš velkým výkonem. Pokud je chybějící výkon větší, než je maximální dovolená velikost jednotky, z řady kotlů se vybere zařízení s největším menším výkonem, než je maximální dovolený. Pokud je již výkon zvolených jednotek dostatečný, další se nepřidávají. Ilustrační volba jednotkové skladby zdroje byla uvedena v tabulce na předchozím obrázku (Obrázek 51).

3.9 Ekonomické zhodnocení a volba nejlepší varianty

3.9.1 Způsob ekonomického hodnocení

Prováděné ekonomické hodnocení slouží především k porovnání jednotlivých variant a vytvoření prvotní rámcové představy o finanční náročnosti instalace biomasového zdroje. Oproti reálnému hodnocení projektu je použit podstatně zjednodušený postup a každý konkrétní případ je potřeba vždy řešit nakonec individuálně.

Jedním z hlavních cílů práce je tvorba nástroje, který bude hledat zdroj s minimálními provozními náklady. Důraz na provozní vlastnosti projektu je kladen na základě předpokladu výrazné státní investiční podpory, jak bylo nastíněno v úvodu práce. Pro ekonomické zhodnocení variant budou však k provozním nákladům přidány ještě investiční náklady. Tento krok je potřebný, protože z provozního hlediska by vždy vycházel jako nejvýnosnější co největší počet kogeneračních jednotek díky produkci elektrické energie, což není ve skutečnosti realistické.

Pro ekonomické porovnání bude použita tzv. čistá současná hodnota, což je ekonomický parametr, pro který se i v české literatuře používá běžně anglická zkratka NPV (net present value). Tento ukazatel udává současnou hodnotu budoucích finančních toků, takže umožňuje porovnání investic v čase. Dovoluje do porovnání zahrnout libovolnou dobu životnosti a zvolenou diskontní sazbu, která zohledňuje vývoj hodnoty peněz v hodnoceném čase. Většinou se pomocí NPV vyhodnocují budoucí přínosy projektu ve vztahu k současné hodnotě peněz. Zde bude tento parametr použit pro porovnání variant, které budou z principu ztrátové, protože negenerují zisky. Ani u jednotek Wave 120 neplatí, že by úspora z výroby hodnotné elektrické energie převýšila náklady na palivo a spotřebu elektřiny. Porovnáním NPV pro jednotlivé varianty bude možné určit, která varianta je „nejméně ztrátová“ za zvolených podmínek.

Vzorec pro výpočet NPV [*tis. Kč/r*] je uveden níže (3.14). Předpokládá se, že v roce 0 proběhla investice a provoz začíná od roku 1. Dobu porovnání T_p [*r*], která může odpovídat předpokládané době životnosti, je možné volit od 5 do 25 let. CF_t [*tis. Kč/r*] představuje tok hotovosti pro jednotlivé roky t . Zvolená velikost diskontní sazby r [1] obecně umožňuje do hodnocení zahrnout například míru inflace, rizikovost projektu nebo postavení proti alternativním investičním variantám. [69]

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p-1} CF_t \cdot (1+r)^{-t} \quad [tis. Kč/r] \quad (3.14)$$

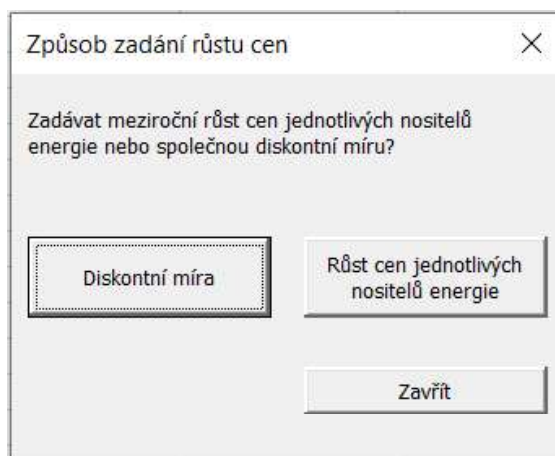
Roční tok hotovosti CF_t je zde stanoven jako součet provozních nákladů pro jednotlivé varianty. Hodnoty spotřeb paliv a elektřiny a případné vlastní produkce elektřiny byly již stanoveny v předchozích kapitolách (3.7.2 a 3.8.1) a představují veškeré uvažované provozní náklady nebo úspory. Jejich finanční hodnoty budou určeny pomocí měrných cen $Kč/MWh$ pro elektrickou energii a $Kč/GJ$ pro energii obsaženou v palivu. Stanovení měrných cen bude popsáno následně v podkapitole 3.9.3.

Jak bylo uvedeno, CF_0 pro rok 0 budou představovat investiční náklady. Jejich určení bude popsáno v podkapitole 3.9.4.

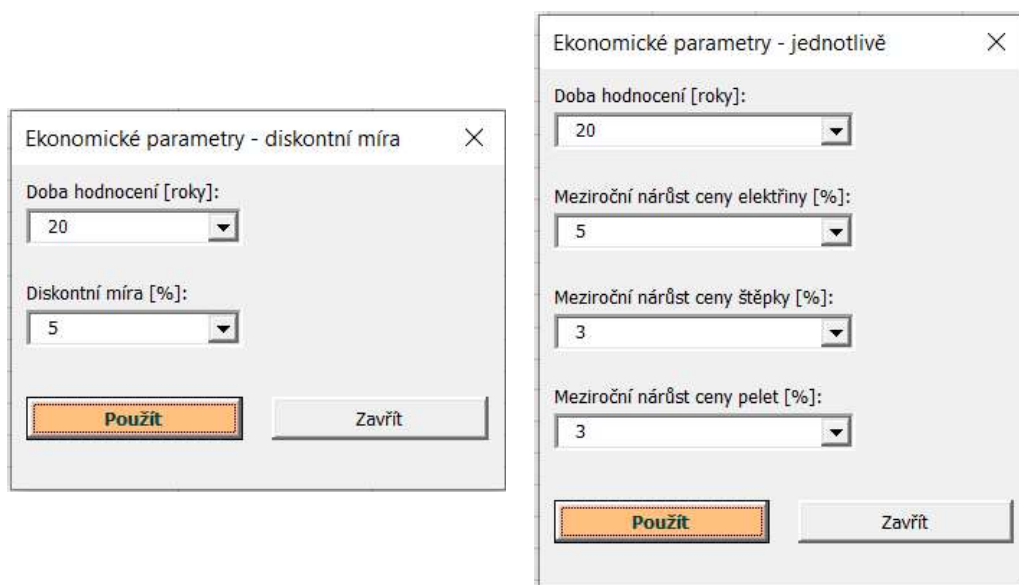
3.9.2 Diskontní míra vs. růst cen

Pokud investor bude v úvodní fázi hodnocení preferovat použití pouze růstu ceny jednotlivých paliv a elektřiny, je možné namísto diskontní míry volit meziroční nárůst ceny zvlášť pro štepku, pelety a elektřinu. Tak je možné provést porovnání pro rozdílnou míru inflace cen elektřiny a paliv, ale není provedena aktualizace v čase. Při zvolení výpočtu přes diskontní míru tento parametr inflaci zahrnuje. V tomto případě se diskontní míra automaticky nastaví na hodnotu 0 a zároveň se pro každý rok z doby porovnání dopočítají zvlášť náklady na jednotlivé energie.

V nástroji se při kliknutí na tlačítko pro změnu ekonomických parametrů (viz Obrázek 33) otevře okno, nabízející volbu jednoho z dvou uvedených postupů (Obrázek 52). Po kliknutí na jednu z možností se zobrazí buď první nebo druhé okno z následujícího obrázku (Obrázek 53).



Obrázek 52: Okno pro volbu postupu ekonomického výpočtu



Obrázek 53: Dvě různé možnosti pro zadání ekonomických parametrů

3.9.3 Ceny elektřiny a paliv⁶

Dřevní pelety

Pro získání co nejrealnějších hodnot byla provedena rešerše cen nabízených dodavateli pelet. Konkrétně jsou voleny volně ložené pelety kvality A1 dle certifikátu ENplus⁷. Jednotlivé ceny i s uváděnými výhřevnostmi jsou zaznamenány v následující tabulce (Tabulka 18).

⁶ Pokud není přímo uvedeno jinak, všechny ceny jsou bez DPH.

⁷ Certifikace ENplus garantuje vysokou kvalitu výroby, přepravy i skladování dřevních pelet. Hodnoceními parametry u pelet jsou výhřevnost, obsah vody, podíl jemných částic a popela a také teplota tání popela. A1 označuje třídu nejvyšší kvality. Většina pelet vyráběných v ČR má certifikaci ENplus. [90]

Tabulka 18: Nabízené ceny a výhřevnosti dřevních pelet (kvalita A1, volně ložené)

Cena pelet [Kč s DPH/kg]	Výhřevnost pelet [MJ/kg]	Zdroj
5,9	17,5	[70]
5,6	18,8	[71], [72]
5,4	17,0	[73]
5,0	17,3	[74]
Průměr: 5,5 Kč s DPH/kg	Průměr: 17,6 MJ/kg	

Ze získané průměrné ceny za kilogram pelet a průměrné výhřevnosti nabízených pelet lze už přímo dopočítat cenu za energii v palivu v Kč/GJ. Výsledná měrná cena energie v peletách je 310 Kč s DPH/GJ. Po odečtení základní sazby DPH 21 % získáváme cenu **245 Kč/GJ**.

Dřevní štěpka

Podobným způsobem je určena také cena štěpky. Cenu štěpky není snadné najít u konkrétních dodavatelů, proto byly využity jiné zdroje informací než přímo nabídky dodavatelů. Je použita hodnota výhřevnosti 10,1 MJ/kg, která platí pro dřevní štěpku s obsahem vody 40 % podle [75]. Nabízené ceny i s výslednou průměrnou hodnotou jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 19).

Tabulka 19: Nalezené ceny dřevní štěpky

Cena štěpky [Kč/kg]	Zdroj
1,4	[30]
1,4	[34]
1,3	[76]
Průměr: 1,4 Kč/kg	

Podíl průměrné ceny za kilogram a výhřevnosti dává měrnou cenu energie obsaženou v dřevní štěpce **135 Kč /GJ**.

Elektrina

Cena elektriny, která bude použita pro výpočty, je vytvořena jako průměr z cen různých tarifů pro různé podíly spotřeby v nízkém nebo vysokém tarifu nabízených pro podnikatele společností ČEZ [77]. Vychází tak hodnota **2 600 Kč/MWh**.

3.9.4 Investiční náklady⁸

Investiční náklady na stavbu zdroje tepla se mohou pohybovat ve velmi širokém rozpětí v závislosti na velikosti systému, na použitých technologiích a způsobu provedení. V neposlední řadě závisí výše počáteční investice také na tom, zda se staví nový zdroj „na zelené louce“ nebo je možné využít stávající prostory a infrastrukturu. Jedná se například o budovu kotelny, sklad paliva a rozvody tepla. Obzvláště výstavba nových tepelných rozvodů může investiční náklady výrazně zvýšit. [78] Výši investičních nákladů vynakládaných investorem může výrazně snížit získání finanční podpory státem.

Pro kogenerační jednotku Wave 120 byla vedoucím práce poskytnuta struktura a výše investičních nákladů pro jednu jednotku (viz Tabulka 20).

Tabulka 20: Struktura investičních nákladů instalace kogenerační jednotky Wave 120

Položka investice	tis. Kč
Kotlový modul včetně odloučení TZL	994,9
Modul výroby elektřiny	882,1
Vodní okruh včetně oběhového čerpadla	54,0
Doprava, umístění, uvedení do provozu	50,0
Kontejner pro venkovní umístění, základy	590,8
Rozvody tepla 1)	190,9
Měření a regulace 2)	180,0
Projektová příprava 3)	130,0
Stavební dozor, technický dozor investora	50,0
CELKEM	3 122,6 tis. Kč

Pro kotle je předpokládána shodná struktura investičních nákladů, přičemž rozdílná bude cena samotné technologie, tedy všechny položky kromě prvních dvou. Po odečtení ceny kotlového modulu a modulu výroby elektřiny, jsou zbylé investiční náklady 1 245,6 tis. Kč. Pokud tuto hodnotu vydělíme výkonem jednotky Wave 120, získáme měrné vedlejší investiční náklady na instalaci technologií 10 400 Kč/kW_t. K této hodnotě bude následně připočtena měrná cena pro peletové a štěpkové kotle.

Z internetové rešerše byly získány ceny pro kotle různých výrobců v různém v širokém výkonovém rozmezí. Průměrná cena za instalovanou kilowattu peletových kotlů je určena z cen kotlů s výkony v rozmezí od 19 do 140 kW od

⁸ Pokud není přímo uvedeno jinak, všechny ceny jsou bez DPH.

výrobců Opop, Tekla, Atmos, Enbra a Klimozs (viz [79], [80], [81], [82], [83]) a má hodnotu 2 100 Kč/kW_t. Připočtením měrných nákladů na instalaci jsou celkové měrné investiční náklady pro peletový kotel 12 500 Kč/kW_t. U kotlů na štěpku byly využity ceny jednotek s výkony v rozmezí od 17 do 350 kW od výrobců Kovarson, Greń, Strebel a Fröling (viz [84], [85], [86], [87], [88], [89]). Průměrná měrná cena kotlů na štěpku je 5 300 Kč/kW_t. Při připočtení měrných nákladů na instalaci jsou celkové měrné investiční náklady kotle na štěpku 15 700 Kč/kW_t.

Výsledně získáváme následující investiční náklady (Tabulka 21).

Tabulka 21: Shrnutí měrných investičních nákladů na instalovanou kilowattu tepelného výkonu pro jednotlivé zdroje

Wave 120	26 000	Kč/kW _t
Kotel na pelety	12 500	Kč/kW _t
Kotel na štěpku	15 700	Kč/kW _t

Ve skutečnosti nejsou investiční náklady takto lineárně úměrné instalovanému výkonu. S rostoucím výkonem zdroje se mění jak měrná hodnota vedlejších investičních nákladů (zde používaná hodnota odpovídá nejlépe pro zdroje o výkonech v rozmezí instalovaného výkonu od 100 do 150 kW_t), tak měrná cena kotlů. Protože je zde prováděn pouze prvotní orientační návrh, budou přesto použity měrné investiční náklady získané uvedeným postupem.

3.9.5 Volba nejlepší varianty

Pro každou variantu, i pro každý počet jednotek Wave 120, byly vypočteny roční spotřeba paliva a elektřiny a pro kogenerační jednotky také roční produkce elektřiny. Také byly navrženy instalované výkony zvlášť pro kotel a pro kogenerační jednotky. Pomocí měrných cen paliv a elektřiny a měrných investičních nákladů je stanoven roční tok hotovosti a dopočteno NPV.

V rámci variant A a B s kogenerační jednotkou je nejprve vybrán počet jednotek Wave 120, pro který vychází nejvyšší hodnota NPV. Následně je ve výstupech zobrazeno výsledné NPV pro čtyři varianty složení zdroje, přičemž nejvyšší hodnota je zvýrazněna zelenou barvou a nejnižší hodnota naopak červenou pro rychlejší orientaci. Příklad výstupní tabulky je na následující obrázku (Obrázek 54).

OPTIMÁLNÍ NÁVRH PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY - EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ						
			A: WAVE + kotle na pelety	B: WAVE + kotle na štěpku	C: kotle na pelety	D: kotle na štěpku
Instalovaný tepelný výkon		kW	770	770	770	770
Kogenerační jednotka WAVE 120		kW	600	360	0	0
Kotle na pelety		kW	170	0	770	0
Kotle na štěpku		kW	0	410	0	770
Doba porovnání		roky	20	20	20	20
Diskontní míra		%	5	5	5	5
Meziroční růst ceny elektřiny		%	0	0	0	0
Meziroční růst ceny štěpky		%	0	0	0	0
Meziroční růst ceny pelet		%	0	0	0	0
Odhad investičních nákladů		tis. Kč	-21 270	-20 571	-13 167	-17 941
NPV		tis. Kč	-77 078	-76 160	-128 837	-82 136
Odhad ročních provozních nákladů (v roce 1)		tis. Kč/r	-2 076	-2 002	-3 332	-1 849
Náklady na palivo-štěpku		tis. Kč/r	-1 833	-1 874	0	-1 834
Náklady na palivo-pelety		tis. Kč/r	-88	0	-3 328	0
Náklady na spotřebu elektřiny		tis. Kč/r	-155	-128	-4	-15
Úspora z vlastní produkce elektřiny		tis. Kč/r	469	401	0	0

Obrázek 54: Příklad výsledného ekonomického porovnání jednotlivých variant

4 DEMONSTRACE VÝPOČETNÍHO NÁSTROJE

V následující kapitole bude demonstrován vytvořený nástroj pro tři typově odlišná modelová zadání. Bude provedeno jejich porovnání a zhodnocení funkčnosti nástroje. Poté bude provedena citlivostní analýza pro některé zvolené parametry. Na závěr budou shrnuty veškeré poznatky získané v této kapitole, které vypovídají o vhodnosti nasazení kogeneračních jednotek Wave 120.

4.1 Zadání

V zásadě budou zadání odlišná v poměru rozdělení potřeby tepla mezi vytápění a technologickou potřebu. Ekonomické parametry budou pro všechny varianty stejné (viz Tabulka 22).

Tabulka 22: Ekonomické parametry společné pro všechna tři zadání

Parametr	Hodnota	Jednotka
Doba hodnocení	20	let
Diskontní míra	5	%

První zadání bude reprezentovat výrobní podnik s nepřetržitým technologickým provozem (např. sušárny řeziva), který tvoří většinu tepelné potřeby, a vytápěním výrobní haly. Vstupní technické parametry jsou shrnuty v následující tabulce (Tabulka 23).

Tabulka 23: Zadání 1 – výrobní podnik

Parametr	Hodnota	Jednotka
Celková roční potřeba tepla	10 000	GJ/r
Podíl potřeby tepla na ohřev TUV	0	%
Podíl potřeby tepla na technologii	90	%
Vnitřní teplota objektů	18	°C
Lokalita	Jihočeský	
Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou	5	%
Doba denního provozu technologií	24	h/den

Další zadání bude představovat lokalitu, kde je zároveň v přibližně stejné míře potřeba tepla pro technologii a pro vytápění. Zadání parametrů je uvedeno v tabulce (Tabulka 24).

Tabulka 24: Zadání 2 – výrobní podnik + obytná lokalita

Parametr	Hodnota	Jednotka
Celková roční potřeba tepla	10 000	GJ/r
Podíl potřeby tepla na ohřev TUV	5	%
Podíl potřeby tepla na technologii	50	%
Vnitřní teplota objektů	20	°C
Lokalita	Jihočeský	
Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou	5	%
Doba denního provozu technologií	24	h/den

Třetí zadání odpovídá návrhu zdroje tepla čistě pro vytápění, takže technologická potřeba je zde nulová (viz Tabulka 25).

Tabulka 25: Zadání 3 – obytná lokalita

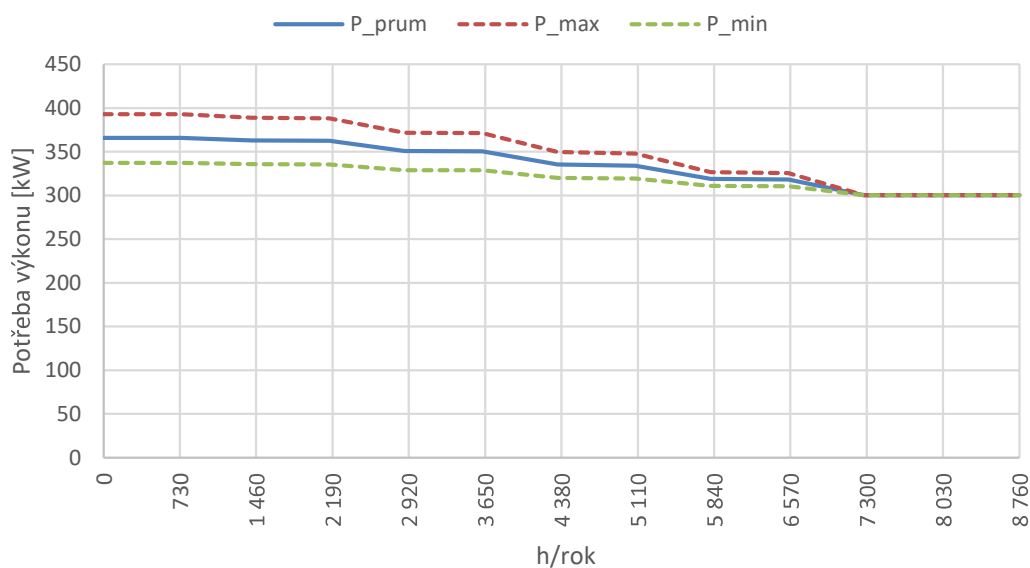
Parametr	Hodnota	Jednotka
Celková roční potřeba tepla	10 000	GJ/r
Podíl potřeby tepla na ohřev TUV	20	%
Podíl potřeby tepla na technologii	0	%
Vnitřní teplota objektů	21	°C
Lokalita	Jihočeský	
Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou	5	%

4.2 Výsledky pro jednotlivá zadání

Pro každé řešené zadání je nejprve přiložen diagram trvání potřeby výkonu, který zde má ukazovat především nerovnoměrnost potřeby výkonu během roku, která se promítne do provozního chování zdrojů.

Poté už je vždy uvedena tabulka s parametry výsledných návrhů.

4.2.1 Zadání 1 – výrobní podnik

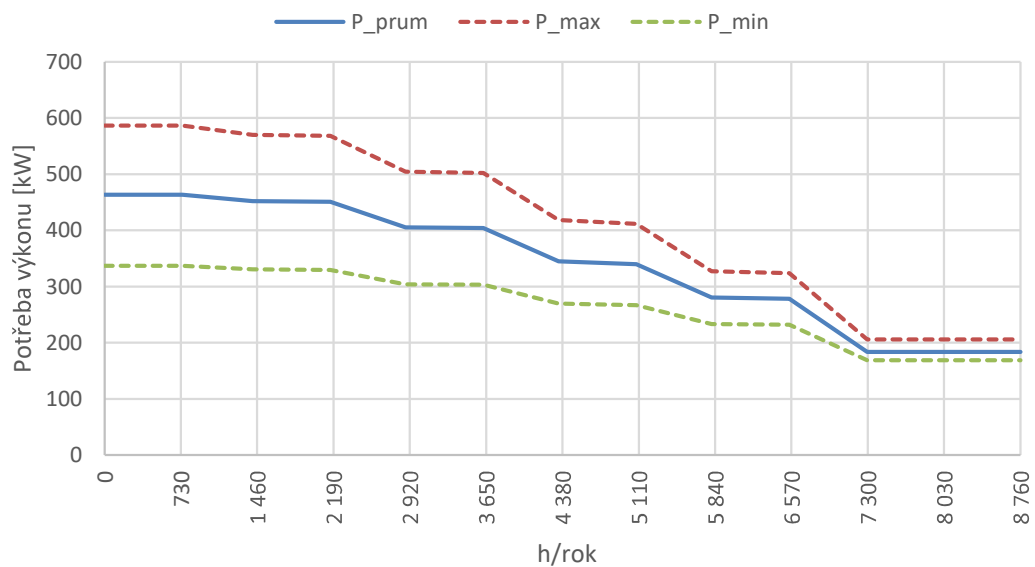


Obrázek 55: Diagram trvání potřeby výkonu pro zadání 1

OPTIMÁLNÍ NÁVRH PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY - EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ					
		A: WAVE + kotle na pelety	B: WAVE + kotle na štěpku	C: kotle na pelety	D: kotle na štěpku
Instalovaný tepelný výkon	kW	490	500	400	400
Kogenerační jednotka WAVE 120	kW	360	360	0	0
Kotle na pelety	kW	130	0	400	0
Kotle na štěpku	kW	0	140	0	400
Doba porovnání	roky	20	20	20	20
Diskontní míra	%	5	5	5	5
Meziroční růst ceny elektřiny	%	0	0	0	0
Meziroční růst ceny štěpky	%	0	0	0	0
Meziroční růst ceny pelet	%	0	0	0	0
Odhad investičních nákladů	tis. Kč	-13 241	-14 280	-6 840	-9 320
NPV	tis. Kč	-67 844	-66 941	-123 009	-73 800
Odhad ročních provozních nákladů (v roce 1)	tis. Kč/r	-2 052	-2 000	-3 346	-1 857
Náklady na palivo-štěpku	tis. Kč/r	-1 876	-1 891	0	-1 841
Náklady na palivo-pelety	tis. Kč/r	-25	0	-3 342	0
Náklady na spotřebu elektřiny	tis. Kč/r	-151	-110	-4	-16
Úspora z vlastní produkce elektřiny	tis. Kč/r	480	483	0	0

Obrázek 56: Výsledný návrh pro zadání 1

4.2.2 Zadání 2 – výrobní podnik + obytná lokalita

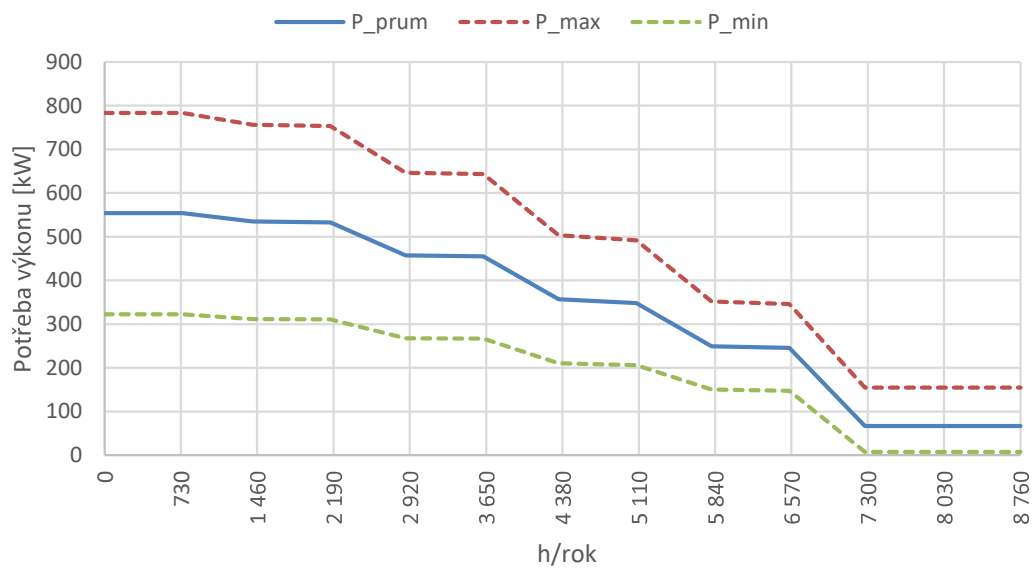


Obrázek 57: Diagram trvání potřeby výkonu pro zadání 2

OPTIMÁLNÍ NÁVRH PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY - EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ					
		A: WAVE + kotle na pelety	B: WAVE + kotle na štěpku	C: kotle na pelety	D: kotle na štěpku
Instalovaný tepelný výkon	kW	600	600	590	590
Kogenerační jednotka WAVE 120	kW	480	480	0	0
Kotle na pelety	kW	120	0	590	0
Kotle na štěpku	kW	0	120	0	590
Doba porovnání	roky	20	20	20	20
Diskontní míra	%	5	5	5	5
Meziroční růst ceny elektřiny	%	0	0	0	0
Meziroční růst ceny štěpky	%	0	0	0	0
Meziroční růst ceny pelet	%	0	0	0	0
Odhad investičních nákladů	tis. Kč	-16 742	-17 486	-10 089	-13 747
NPV	tis. Kč	-71 571	-69 763	-125 245	-77 665
Odhad ročních provozních nákladů (v roce 1)	tis. Kč/r	-2 051	-1 985	-3 317	-1 841
Náklady na palivo-štěpku	tis. Kč/r	-1 847	-1 874	0	-1 825
Náklady na palivo-pelety	tis. Kč/r	-48	0	-3 313	0
Náklady na spotřebu elektřiny	tis. Kč/r	-156	-111	-4	-16
Úspora z vlastní produkce elektřiny	tis. Kč/r	472	479	0	0

Obrázek 58: Výsledný návrh pro zadání 2

4.2.3 Zadání 3 – obytná lokalita



Obrázek 59: Diagram trvání potřeby výkonu pro zadání 3

OPTIMÁLNÍ NÁVRH PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY - EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ						
			A: WAVE + kotle na pelety	B: WAVE + kotle na štěpku	C: kotle na pelety	D: kotle na štěpku
Instalovaný tepelný výkon	kW		790	790	800	800
Kogenerační jednotka WAVE 120	kW		600	480	0	0
Kotle na pelety	kW		190	0	800	0
Kotle na štěpku	kW		0	310	0	800
Doba porovnání	roky		20	20	20	20
Diskontní míra	%		5	5	5	5
Meziroční růst ceny elektřiny	%		0	0	0	0
Meziroční růst ceny štěpky	%		0	0	0	0
Meziroční růst ceny pelet	%		0	0	0	0
Odhad investičních nákladů	tis. Kč		-21 612	-21 913	-13 680	-18 640
NPV	tis. Kč		-77 446	-76 111	-127 641	-81 893
Odhad ročních provozních nákladů (v roce 1)	tis. Kč/r		-2 062	-1 985	-3 282	-1 822
Náklady na palivo-štěpku	tis. Kč/r		-1 777	-1 850	0	-1 806
Náklady na palivo-pelety	tis. Kč/r		-138	0	-3 278	0
Náklady na spotřebu elektřiny	tis. Kč/r		-148	-136	-4	-15
Úspora z vlastní produkce elektřiny	tis. Kč/r		454	424	0	0

Obrázek 60: Výsledný návrh pro zadání 3

4.2.4 Porovnání výsledků

Pro všechna tři zadání vyšla jako nejlepší varianta kombinující jednotky Wave 120 a kotle na štěpku a jako nejhorší varianta složená pouze z peletových kotlů. U varianty s peletovými kotli se jako zásadní jeví vysoké provozní náklady, protože pelety jsou téměř dvakrát dražší než štěpka. Vysoké náklady na palivo nevynahradí ani nejnižší investiční náklady.

Pro všechna zadání jsou výsledky přibližně podobné s tím, že náklady rostou s rostoucí nerovnoměrností diagramu trvání potřeby výkonu pro konstantní celkovou roční potřebu tepla. To je dáno jednak větším potřebným instalovaným výkonem zkrácením doby provozu kogenerační jednotky generující úsporu z produkce elektřiny.

Při reálné volbě mezi uvažovanými variantami by významnou roli mohla hrát možnost získat dotaci pro kogenerační zařízení, které generuje úsporu emisí CO₂. To je dáno tím, že produkuje elektřinu jako tzv. uhlíkově neutrální zdroj, zatímco elektřina nakupovaná ze sítě pochází v naprosté většině ze zdrojů produkujících emise CO₂. Zatímco bez dotace vychází varianty s kogenerační jednotkou přibližně podobně jako varianta pouze s kotli na štěpku, při získání finanční podpory pro kogenerační jednotky by bylo jejich použití úměrně výhodnější.

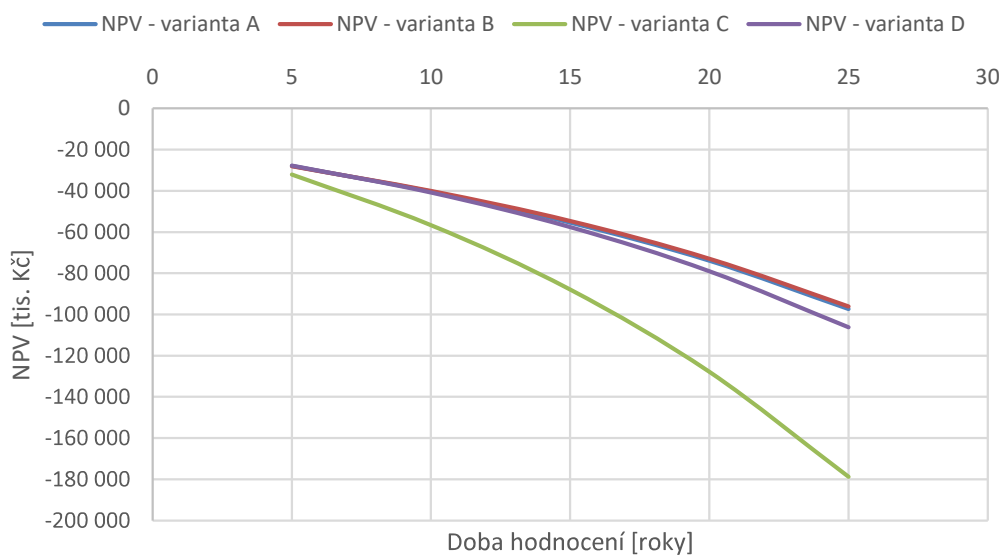
4.3 Citlivostní analýza

Pro citlivostní analýzu bude použito zadání parametrů dle uvedené tabulky (Tabulka 26), přičemž se bude měnit pouze parametr, jehož vliv na hodnotu NPV u jednotlivých variant je prověřován.

Tabulka 26: Zadání používané při citlivostní analýze

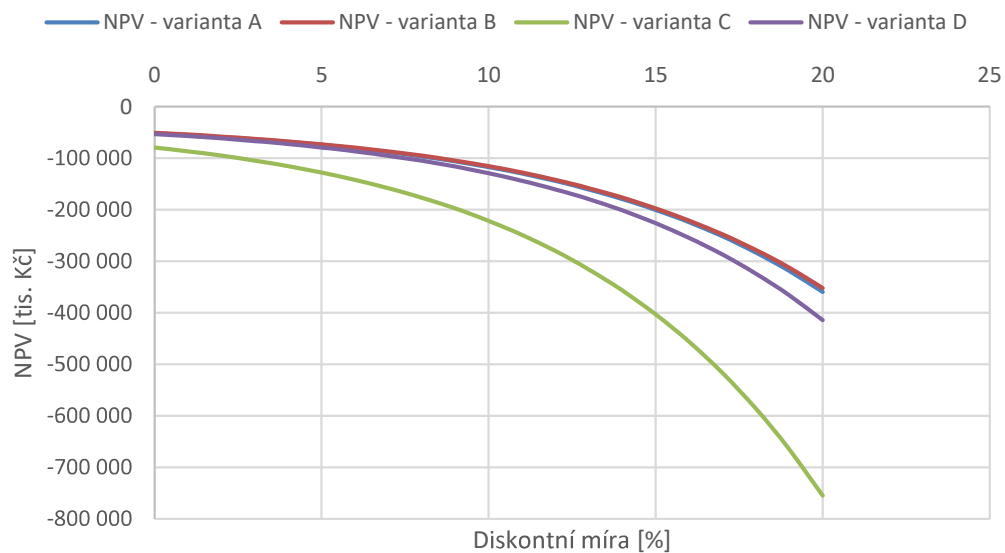
Parametr	Hodnota	Jednotka
Celková roční potřeba tepla	10 000	GJ/r
Podíl potřeby tepla na ohřev TUV	15	%
Podíl potřeby tepla na technologii	35	%
Vnitřní teplota objektů	20	°C
Lokalita	Jihočeský	
Ztráta rozvodů mezi výrobou a spotřebou	5	%
Doba denního provozu technologií	12	h/den
Doba hodnocení	20	let
Diskontní míra	5	%
Cena elektřiny	2 600	Kč/MWh
Cena pelet	245	Kč/GJ
Cena štěpky	135	Kč/GJ

Vliv doby hodnocení



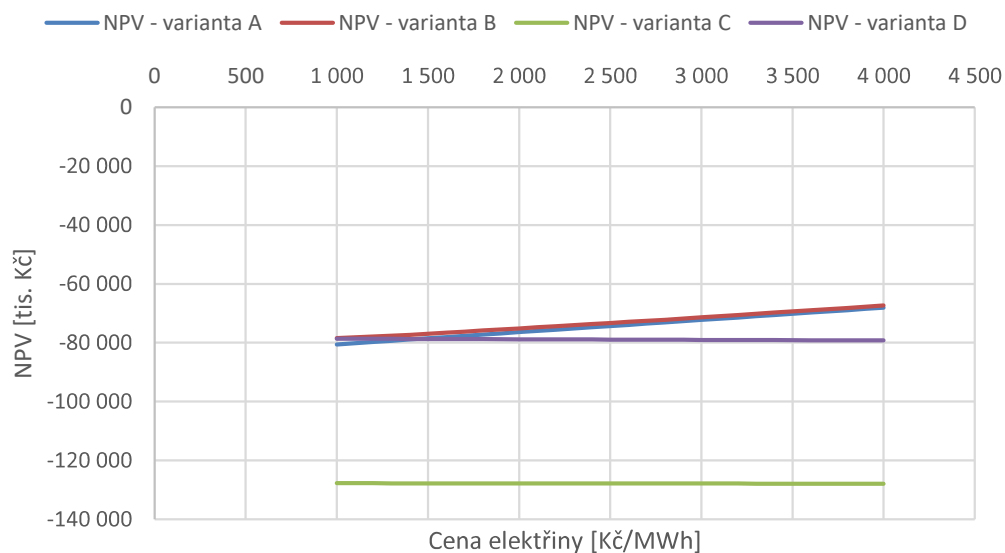
Obrázek 61: Vliv doby hodnocení na NPV jednotlivých variant

Vliv diskontní míry



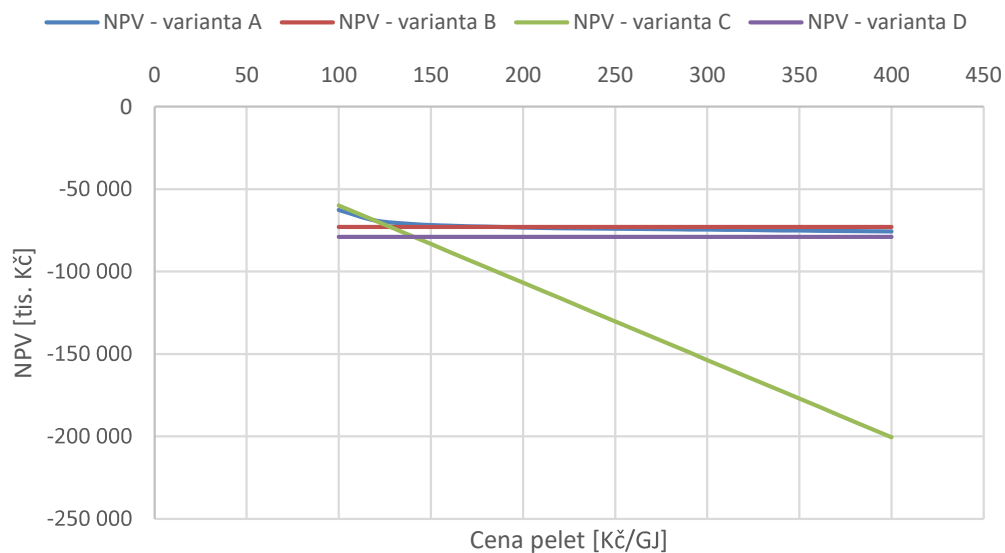
Obrázek 62: Vliv diskontní míry na NPV jednotlivých variant

Vliv ceny elektřiny



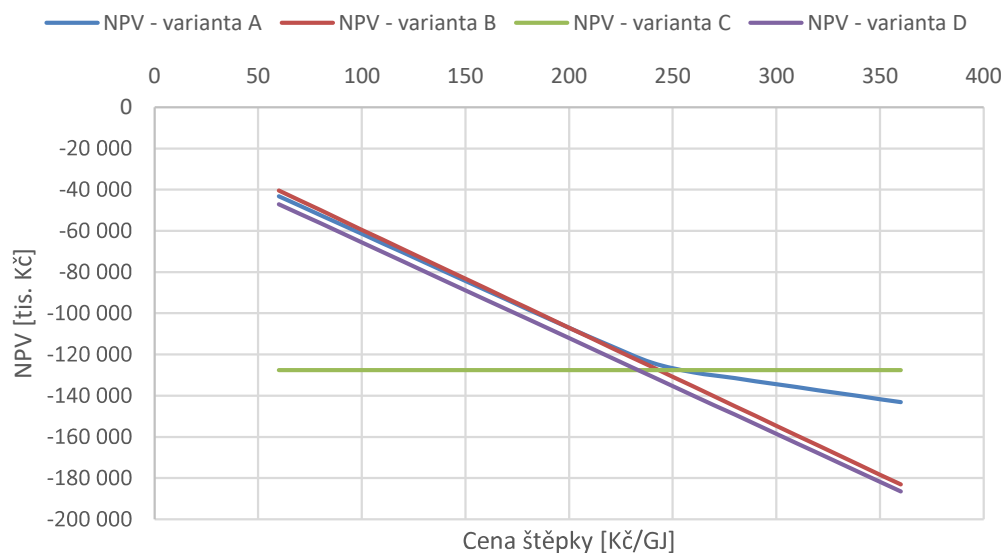
Obrázek 63: Vliv ceny elektřiny na NPV jednotlivých variant

Vliv ceny pelet



Obrázek 64: Vliv ceny pelet na NPV jednotlivých variant

Vliv ceny štěpky



Obrázek 65: Vliv ceny štěpky na NPV jednotlivých variant

Jak vyplývá z uvedených grafů, varianta C vychází většinou jako nejhorší s výjimkami v případě nízké ceny pelet pod přibližně 140 Kč/GJ nebo naopak vysoké ceny štěrky nad přibližně 230 Kč/GJ. Varianty s kogeneračními jednotkami mají většinou nejvyšší hodnoty NPV.

4.4 Závěry pro uplatnění kogenerační jednotky Wave 120

Aby bylo dlouhodobě dosahováno dobrých provozních parametrů jednotek Wave 120, je potřeba provozovat jednotky jako základní zdroj a při zatížení nad jejich minimálním výkonem na úrovni přibližně 60 % jmenovitého výkonu.

Kogenerační jednotky je obecně potřeba kombinovat s kotli, které budou v provozu pro nízké potřeby výkonu a budou plnit funkci špičkových jednotek. Ekonomicky je lepší doplnit jednotky Wave 120 kotli na štěrku, protože využívají podstatně levnější palivo, než jsou pelety. Zároveň nebude potřeba instalovat druhé skladové hospodářství pro jiný typ paliva.

Důležitým závěrem z citlivostní analýzy je skutečnost, že při rostoucí ceně elektřiny roste NPV variant s kogeneračními jednotkami. Naopak s rostoucí cenou štěrky NPV těchto variant klesá.

Nad rámec vytvořeného výpočetního nástroje by bylo vhodné přihlédnout k dotační politice, která by působila ve prospěch kogeneračních jednotek. Jednotka Wave 120 umožňuje snižovat produkci CO₂, což může být do budoucna stále důležitější a podporovanější vlastnost.

ZÁVĚR

V předložené práci byla vytvořena metodika pro parametrický návrh zdroje tepla na dřevní biomasu, která byla aplikována do výpočtového nástroje provádějícího návrh pro dosažení vhodných technicko-ekonomických parametrů. Ověření správné funkčnosti nástroje bylo provedeno zpracováním tří případových studií.

Jako první byly popsány některé přístupy k návrhu biomasového zdroje tepla uvedené v odborné literatuře a s jejich pomocí byl zvolen postup použitý při následné tvorbě vlastního nástroje.

Protože uvažovanými jednotkami pro skladbu zdroje jsou kogenerační jednotky WAVE 120, kotle na dřevní pelety a kotle na dřevní štěpku, je uvedena obecná charakteristika těchto zdrojů tepla především s důrazem na oblasti pro jejich vhodné nasazení.

Stěžejním je navržený model pro rámcové dimenzování a jednotkové skladby zdroje tepla pro pokrytí tepelných potřeb pro vytápění, ohřev TUV a technologických potřeb tepla. Model byl vytvořen v tabulkovém procesoru Microsoft Excel s využitím podpory maker.

Hlavním výstupem nástroje jsou čtyři hodnoty NPV vypočítané pro zvolené zadání pro každou ze čtyř uvažovaných variant skladby zdroje. Pro lepší výpovědní hodnotu výsledků jsou kromě provozních nákladů zahrnuty také investiční náklady jednotlivých variant. První variantou je kombinace kogeneračních jednotek WAVE 120 a peletových kotlů, druhou je kombinace jednotek WAVE 120 a kotlů na štěpku, třetí možností je použití pouze peletových kotlů a čtvrtou variantou je použití pouze kotlů na pelety. Pro první dvě varianty se porovnává hodnota NPV pro různý počet jednotek WAVE 120 (1 až 10). Pro finální porovnání variant se vždy zvolí počet jednotek WAVE 120, pro který vychází nejvyšší hodnota NPV. U zbylých dvou variant pouze s kotlovými jednotkami je proveden pouze jeden návrh, pro který je stanoveno NPV.

Dalšími zobrazenými výstupy jsou například instalovaný výkon v jednotlivých zdrojích, produkce tepla jednotlivých zdrojů, odhad investičních a nominálních provozních nákladů a doba využití výkonu (roční i měsíční rozlišení).

Byly porovnány výstupy modelu pro tři různá zadání. U všech vychází jako ekonomicky nejvýhodnější kombinace kogeneračních jednotek a kotlů na štěpku. Oproti tomu kvůli vysoké ceně paliva vychází nejvíce ztrátově varianta pouze s peletovými kotli. Byla provedena také citlivostní analýza zkoumající, jaký vliv na výsledné hodnoty NPV má změna některých parametrů (doba hodnocení, volba diskontní míry, cena elektřiny a paliv). Pro uplatnění kogeneračních jednotek Wave 120 se jako zásadní ukazuje cena elektřiny, přičemž při rostoucí ceně elektřiny roste NPV variant s kogeneračními jednotkami.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Státní energetická koncepce. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158059.html>
- [2] Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2020 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>
- [3] VLACH, Josef. *Zásobování teplem a teplárenství*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [4] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994.
- [5] ČSN EN ISO 13790. *Tepelné chování budov - Výpočet potřeby energie na vytápění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.
- [6] ČSN EN ISO 52016. *Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [7] CIHELKA, Jaromír. *Vytápění, větrání a klimatizace*. 3., přeprac. a dopln. vyd. Praha: SNTL, 1985.
- [8] LABOUTKA, a SUCHÁNEK. Měrné tepelné ztráty objektů $q[W/m^3]$. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2001 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/40-merne-tepelne-ztraty-objektu-q-w-m3>
- [9] LABOUTKA, a SUCHÁNEK. Měrné tepelné ztráty pro halové stavby $q[W/m^3]$. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2001 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/39-merne-tepelne-ztraty-pro-halove-stavby-q-w-m3>
- [10] TINTĚRA, Ladislav. Denostupně - teorie k výpočetní pomůcce. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2005 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2592-denostupne-teorie-k-vypocetni-pomucce>

- [1] BLAŽÍČEK, Jan. Šetříme teplo, nebo si jen lžeme do kapsy? – 1. část. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2016 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/uspory-vytapani/13805-setrime-teplo-nebo-si-jen-lzeme-do-kapsy-1-cast>
- [1] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [1] REINBERK, Zdeněk. Výpočet potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [1] NEVŘALA, Dušan a Karel KABELA. Integrace vytápění a ohřevu TUV v nízkoenergetických bytových domech. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2014 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2227-integrace-vytapani-a-ohrevu-tuv-v-nizkoenergetickych-bytovych-domech>
- [1] Dům s fotovoltaikou a domovní baterií – 20 měsíců provozu. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2018 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/17501-dum-s-fotovoltaikou-a-domovni-baterii-20-mesicu-provozu>
- [1] VAVŘIČKA, Roman a Matěj MAZUR. Příprava teplé vody v obytných budovách. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2016 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/14864-priprava-teple-vody-v-obytnych-budovach>
- [1] VALIŠ, Ivan. Návrh výkonu kotelen s kaskádovým řazením kondenzačních kotlů. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3227-navrh-vykonu-kotelen-s-kaskadovym-razenim-kondenzacnich-kotlu>
- [1] GIURCA, Ioan, Gheorghe BADEA, Ioan AȘCHILEAN, George NAGHIU a Emanuel MEGYESI. Selecting the Number and Size of Boilers Used within the Heating Units of the Residential Complexes. *Energy Procedia* [online]. 2017, **112**, 134-141 [cit. 2021-05-28]. ISSN 18766102. Dostupné z: [doi:10.1016/j.egypro.2017.03.1074](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1074)
- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Úvod do zásobování teplem* [online]. Fakulta strojní ČVUT v Praze, 2015 [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/ZZT-P1-potreba-tepla_vykonu_navrh-zdroje.pdf
- [2] ČSN 06 0310. *Tepelné soustavy v budovách - Projektování a montáž*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.

- [2 HOLZ, Thomas. *Topíme dřevěnými peletami: návrh, instalace a provoz*. 1. vyd. 1] Praha: Grada, 2007. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-1634-3.
- [2 Vytápění peletami. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo [cit. 2021-05-28]. 2] Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vytapeni-peletami>
- [2 Ekologické a plně automatické kotle na pelety ATMOS. *Atmos* [online]. Bělá pod 3] Bezdězem: Atmos [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/kotle-na-pelety/>
- [2 O vytápění biomasou od A až do Z. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo [cit. 2021- 4] 05-28]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vytapeni-peletami/8814-o-vytapeni-biomasou-od-a-az-do-z>
- [2 Kotel ETA HACK VR na štěpku s posuvním roštem o výkonu 250 až 500 kW. *ETA* 5] [online]. Staškov: Ohrievacia technika, 2021 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <http://www.etaenergy.eu/cz/produkty/stepka/kotel-eta-hack-vr-na-stepku-s-posuvnim-rostem-o-vykonu-250-az-500-kw>
- [2 Zahájen provoz naší nové kogenerační jednotky. *UCEEB* [online]. Buštěhrad: 6] UCEEB [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.uceb.cz/aktuality/zahajen-provoz-nasi-nove-kogeneracni-jednotky>
- [2 WAVE 120 leták - česky. *Damgaard* [online]. Praha: Damgaard Consulting, 2021 7] [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.damgaardsolutions.com/wave-120-letak-cesky/>
- [2 HORÁK, Jiří. Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva?. *Tzb-info* [online]. 8] Praha: Topinfo, 2012 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva>
- [2 BUSTA, Petr a Milan VÁŠA. Zkušenosti s provozem biomasového zdroje v 9] Teplárně Mydlovary. *CZ Biom* [online]. Praha: CZ Biom, 2015 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: https://czbiom.cz/konf/files/10_V%C3%A1%C5%A1a_Zku%C5%A1enosti-Tep%C3%A1rna-Mydlovary.pdf
- [3 Ekonomický vývoj 20letého provozu výtopny na biomasu města Hartmanice, 0] 10letého provozu výtopny na biomasu města Kašperské Hory a zobecnění pro další odhad trendů těchto zdrojů v ČR. *MPO Efekt* [online]. Praha: MPO Efekt, 2015 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/publikace-2-zaverecna-verze-odevzdana-mpo.pdf>
- [3 Kotel ETA PC PelletsCompact 20 až 105 kW. *ETA* [online]. Staškov: Ohrievacia 1] technika, 2021 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:

- <http://www.etaenergy.eu/cz/produkty/pelety/kotel-eta-pc-pelletscompact-20-az-105-kw>
- [3 Skladování volně ložených pelet v silech. *Peletovací linky* [online]. Slavič: 2] Morkus Morava, 2020 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.peletovaci-linky.cz/volne-lozene-pelety.html>
- [3 Distribuce vyrobených pelet v BIG-BAG vacích. *Peletovací linky* [online]. Slavič: 3] Morkus Morava, 2020 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.peletovaci-linky.cz/baleni-big-bag.html>
- [3 KÁRA, Jaroslav. Kotelny na biomasu pro obce a města. *Biom* [online]. Praha: CZ 4] Biom, 2006 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotelny-na-biomasu-pro-obce-a-mesta>
- [3 Plánování biomasových systémů dálkového vytápění. *Calla* [online]. Güssing: 5] Evropské centrum pro obnovitelné energie Güssing, 2005 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: https://www.calla.cz/data/energetika/cer2/Biomasa_teplarny.pdf
- [3 TAUCHMAN, David. Biomasa v soustavách měst a obcí – projekty a zkušenosti 6] (II). *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2007 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3884-biomasa-v-soustavach-mest-a-obci-projekty-a-zkusenosti-ii>
- [3 TAUCHMAN, David. Biomasa v soustavách měst a obcí – projekty a zkušenosti 7] (I). *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2007 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3865-biomasa-v-soustavach-mest-a-obci-projekty-a-zkusenosti-i>
- [3 Dopravníkové systémy. *CSTfire* [online]. Ostrava-Vítkovice: CSTfire [cit. 2021- 8] 04-16]. Dostupné z: <http://www.cstfire.com/cs/produkty/dopravnikove-systemy/>
- [3 Dopravní technika a vynášecí systémy na štěpku. *Fröling* [online]. Grieskirchen 9] [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.froeling.com/cs/produkty/anlagentechnik/lager-und-foerdersysteme.html>
- [4 Vitoflex 300-VF – plně automatizovaný kotel na dřevo. *Viessmann* [online]. 0] Chrástany: Viessmann [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obce/kotle-na-biomasu/holzheizsysteme/vitoflex-300vf.html>
- [4 Kotel ETA eHACK 20 až 240 kW na štěpku. *ETA* [online]. Staškov: Ohrievacia 1] technika, 2021 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <http://www.etaenergy.eu/cz/produkty/stepka/kotel-eta-ehack-20-az-240-kw-na-stepku>

- [4] Bunker filling systems for wood chips. *Fröling* [online]. Grieskirchen: Fröling
2] [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:
https://www.froeling.com/fileadmin/content/produkte/Prospekte_Flyer/EN/EN_Prospekt_Lagerraum-Bef%C3%BCllsysteme.pdf
- [4] Silo GG 40-105. *G&G filtration* [online]. Šlapanice: G&G filtration, 2021 [cit.
3] 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.ggfiltration.cz/katalog/sila-a-zasobniky/silo-gg-40-105/>
- [4] SRDEČNÝ, Karel. Výtopna na biomasu - zdroj energie pro obec. *Tzb-info*
4] [online]. Praha: Topinfo, 2002 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/877-vytopna-na-biomasu-zdroj-energie-pro-obec>
- [4] KOTAČKA, Š., T. PAŘÍZEK, F. JEDLIČKA a J. ŠIKULA. Nový systém dávkování
5] paliva pro technologie termického zpracování biomasy. *Polar* [online]. Ostrava:
Polar televize Ostrava, 2014 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:
<https://polar.cz/zpravy/pr/17179/nove-davkovani-paliva-pro-termicke-zpracovani-biomasy>
- [4] Skladování pilin a štěpky. *Peletovací linky* [online]. Slavíč: Morkus Morava, 2020
6] [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.peletovaci-linky.cz/skladovani-pilin.html>
- [4] Kašperské Hory - Jeřáb s drapákem pro přepravu štěpky. *SIMO-CZ* [online].
7] Libčany: SIMO-CZ, 2021 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://simo-cz.cz/index.php?page=manipulator-ref-kasperky&menuTop=manipulator&page=manipulator-ref-kasperky&menuTop=manipulator>
- [4] Vitoligno 300-C – efektivní řešení vytápění peletkami. *Viessmann* [online].
8] Chrást'any: Viessmann [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:
<https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/kotle-na-biomasu/peletkovy-kotel/vitoligno-300c.html>
- [4] Novinka – pneumatická doprava pelet. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2015
9] [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/13013-novinka-pneumaticka-doprava-pelet>
- [5] Druhy zásobníků na pelety. *Viessmann* [online]. Chrást'any: Viessmann [cit.
0] 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/z-jakych-zasobniku-na-pelety-mame-na-vyber.html>
- [5] TAUCHMAN, David. Biomasa v soustavách měst a obcí - projekty a zkušenosti
1] (III). *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo, 2007 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z:
<https://www.tzb-info.cz/4061-biomasa-v-soustavach-mest-a-obci-projekty-a-zkusenosti-iii>

- [5 Seznam obcí s centralizovaným vytápěním na biomasu v ČR. *Tzb-info* [online].
2] Praha: Topinfo, 2002 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1184-seznam-obci-s-centralizovanim-vytapenim-na-biomasu-v-cr>
- [5 Historie a financování výstavby výtopny. *Veronica centrum Hostětín* [online].
3] Hostětín: ZO ČSOP Veronica [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://hostetin.veronica.cz/historie-financovani-vytopny>
- [5 Technologie vytápění. *Veronica centrum Hostětín* [online]. Hostětín: ZO ČSOP
4] Veronica [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://hostetin.veronica.cz/technologie-vytapeni>
- [5 Výtopna na biomasu. *Veronica centrum Hostětín* [online]. Hostětín: ZO ČSOP
5] Veronica [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://hostetin.veronica.cz/vytopna-na-biomasu>
- [5 HLÁVKA, Jiří. Praktické zkušenosti se spalováním zemědělské biomasy a dřevní
6] štěpky. *Biom* [online]. Praha: CZ Biom, 2005 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/prakticke-zkusenosti-se-spalovanim-zemedelske-biomasy-a-drevni-stepky>
- [5 BÍLÝ, Miloslav. ORC technologie v Trhových Svinech. *Tzb-info* [online]. Praha:
7] Topinfo, 2005 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2960-orc-technologie-v-trhovych-svinech>
- [5 ORC Trhové Sviny - zahájení trvalého provozu. *Schiestl* [online]. Praha: Schiestl,
8] 2005 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: http://www.schiestl.cz/upload/file/letak_ts%281%29.PDF
- [5 KUNC, Jan. ORC technologie v realizaci (II) - Trhové Sviny, srovnání. *Tzb-info*
9] [online]. Praha: Topinfo, 2005 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2834-orc-technologie-v-realizaci-ii-trhove-sviny-srovnani>
- [6 Teplofikace centra obce Valašská Bystřice. *Solární liga* [online]. České
0] Budějovice: LEA, 2021 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <http://lea.ecn.cz/projekt-val-bystrice.pdf>
- [6 Územní teploty. *Portál ČHMÚ* [online]. Praha: Český hydrometeorologický
1] ústav [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [6 Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. *Tzb-info* [online].
2] Praha: Topinfo, 2021 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [6 Biomasa jako zdroj pro výrobu elektrické energie a tepla v bytových domech.
3] *ASB* [online]. Praha: Jaga Media, 2016 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni->

budov/energie/biomasa-jako-zdroj-pro-vyrobu-elektricke-energie-a-tepla-v-bytovych-domech

- [6 Časové rozložení spotřeby teplé vody. *Panelové domy* [online]. Praha: 4] EkoWATT, 2010 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/35-casove-rozlozeni-spotreby-teple-vody.html>
- [6 Kotel na pelety P4 Pellet. *Fröling* [online]. Praha: S WHG [cit. 2020-10-14]. 5] Dostupné z: http://www.froling.cz/wp-content/uploads/2014/12/FR%C3%96LING_-kotel_na_pelety-P4-CZ.pdf
- [6 PELETOVÝ KOTEL PT4 a PT4e. *Fröling* [online]. Praha: S WHG [cit. 2021-06- 6] 02]. Dostupné z: <https://www.froling.cz/products/novinka-kotel-na-pelety-pt4-pt4e/>
- [6 CHYBA, Antonín. Hospodárnost provozu zdrojů tepla. *Tzb-info* [online]. Praha: 7] Topinfo [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2477-hospodarnost-provozu-zdroju-tepla>
- [6 Ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie. *Ministerstvo průmyslu a 8] obchodu* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2020 [cit. 2021-06- 02]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/ekodesign-a-energeticke-stitikovani-vyrobku/ekodesign-vyrobku-spojonych-se-spotrebou-energie--222025/>
- [6 DLOUHÝ, Tomáš. Technicko-ekonomická optimalizace. *Ústav energetiky fakulty 9] strojí* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze [cit. 2021-06-02]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/PEEZ-p4.pdf>
- [7 Pelety - sypané. *Pelety Stora Enso* [online]. Ždírec nad Doubravou: Stora Enso 0] Wood Products Ždírec [cit. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://pellets.storaenso.com/cs-cz/Pelety/pelety-sypane>
- [7 Pelety EN Plus A1. *EPelety* [online]. Plzeň: ePelety [cit. 2021-06-02]. Dostupné 1] z: http://www.epelety.cz/products/detail?product_id=384
- [7 PELETY EN PLUS A1, paleta se závozem. *EPelety* [online]. Plzeň: ePelety [cit. 2] 2021-06-02]. Dostupné z: http://www.epelety.cz/products/detail?product_id=25
- [7 Dřevěné pelety ENplus A1 cisternou. *Waldera* [online]. Brumov-Bylnice: 3] Waldera [cit. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.waldera.cz/produkt/drevene-pelety-enplus-a1-cisternou/>
- [7 ENplus A1 - Volně ložené. *Ekopelety Zdeněk Kulda* [online]. Stará Huť: Ekopaliva 4] Zdeněk Kulda, 2021 [cit. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.ekopelety.cz/pelety/enplus-a1-volne-lozene-1/>

- [7] NOVÁK, Jan. Výhřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva. *Tzb-info* [online].
5] Praha: Topinfo [cit. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>
- [7] Přehled cen dřevní štěpky. *Tzb-info* [online]. Praha: Topinfo [cit. 2021-06-02].
6] Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/37-prehled-cen-drevni-stepky>
- [7] Elektřina od ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. Praha: ČEZ, 2021 [cit. 2021-06-02].
7] Dostupné z: <https://www.cez.cz/firmy/cs/elektrina.html>
- [7] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. *Ekonomika při
8] energetickém využívání biomasy*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská -
Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1751-4.
- [7] Opop Biopel Premium Kompakt Set. *Centrum vytápění* [online]. Tábor: Centrum
9] vytápění, 2021 [cit. 2021-06-02]. Dostupné z:
<https://www.centrumvytapani.cz/opop-biopel-premium-kompakt-set-20--150-v9-automaticky-kotel-na-pelety-kotlikova-dotace/>
- [8] Tekla Draco Bio 35 Automatický kotel. *Centrum vytápění* [online]. Tábor:
0] Centrum vytápění, 2021 [cit. 2021-06-02]. Dostupné z:
<https://www.centrumvytapani.cz/tekla-draco-bio-35-automaticky-kotel-kotlikova-dotace/>
- [8] Atmos D 50 P. *Centrum vytápění* [online]. Tábor: Centrum vytápění, 2021 [cit.
1] 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/atmos-d-50-p-automaticky-kotel-na-pelety-kotlikova-dotace/>
- [8] Enbra TP-EKO 76 PELLET. *Centrum vytápění* [online]. Tábor: Centrum vytápění,
2] 2021 [cit. 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/enbra-tp-eko-76-pellet-kotel-na-pelety/>
- [8] KLIMOSZ DUOPELET NG 150. *Kvalitní kotle* [online]. Hať: Vrbický [cit. 2021-06-
3] 02]. Dostupné z: <http://www.kvalitnikotle.cz/klimosz-duopelet-ng-150-ocelovy-kotel-s-peletovym-horakem-p2225>
- [8] Zplynovací ocelový kotel KOVARSON MAKAK. *Kvalitní kotle* [online]. Hať:
4] Vrbický, 2020 [cit. 2021-06-02]. Dostupné z:
<http://www.kvalitnikotle.cz/zplynovaci-ocelovy-kotel-kovarson-makak-lambda-25-kw-doprava-zdarma-p2451>
- [8] EG-Multifuel 17 kW. *Kvalitní kotle* [online]. Hať: Vrbický [cit. 2021-06-03].
5] Dostupné z: <http://www.kvalitnikotle.cz/eg-multifuel-17-kw-p2502>
- [8] EG-Multifuel 60 kW. *Kvalitní kotle* [online]. Hať: Vrbický [cit. 2021-06-02].
6] Dostupné z: <http://www.kvalitnikotle.cz/eg-multifuel-60-kw-p2505>

- [8] Preisliste. *Strebel* [online]. Wiener Neustadt: Strebelwerk [cit. 2021-06-02].
7] Dostupné z: <https://www.strebel.at/preislisten/strebel.html>
- [8] Fröling Hackgutkessel T4 150 kW. *Maschinenprofi* [online]. Reken: B&G [cit. 8]
8] 2021-06-02]. Dostupné z: <https://www.maschinenprofi.de/froeling-hackgutkessel-t4-150-kw>
- [8] EG-Multifuel 350 kW. *Kvalitní kotle* [online]. Hať: Vrbický [cit. 2021-06-02].
9] Dostupné z: <http://www.kvalitnikotle.cz/eg-multifuel-350-kw-p2511>
- [9] Certifikace ENplus. *Česká peleta* [online]. Dobřichovice: Česká peleta, 2020 [cit. 0]
0] 2021-06-02]. Dostupné z: <https://ceska-peleta.cz/palivo/pelety/certifikace-enplus/>
- [9] Projekt CER2. *Calla* [online]. České Budějovice: Calla, 2000 [cit. 2021-04-17].
1] Dostupné z: <https://www.calla.cz/index.php?path=energetika&php=cer.php>

POUŽITÉ ZKRATKY

ASEK	aktualizovaná Státní energetická koncepce (z roku 2015)
BM	biomasa
CF	cash flow (roční tok hotovosti)
CZT	centrální zásobování teplem
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
kWh	kilowatthodina
kW _t	kilowatt tepelný
ME	Microsoft Excel
MW _e	megawatt elektrický
MW _t	megawatt tepelný
NPV	net present value (čistá současná hodnota)
ORC	organický Rankinův cyklus
OZE	obnovitelné zdroje energie
TUV	teplá užitková voda
VNČR	Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu (z roku 2019)
ZP	zemní plyn

PŘÍLOHY

Příloha 1: Model pro parametrický návrh zdroje tepla na biomasu (*elektronická příloha*)

Příloha 2: Model pro parametrický návrh zdroje tepla na biomasu_9W (*elektronická příloha*)