

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky
Studijní program: Konstruování podporované počítačem



Lokální zdroj tepla a elektřiny v komunálním
energetickém systému

Local Source of Heat and Electricity in the
Municipal Energy System

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala:
Vedoucí práce:

Olga Štolová
Ing. Pavel Sláma, Ph.D.

Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štolová** Jméno: **Olga** Osobní číslo: **470169**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Lokální zdroj tepla a elektřiny v komunálním energetickém systému

Název bakalářské práce anglicky:

Local Source of Heat and Electricity in the Municipal Energy System

Pokyny pro vypracování:

- Vypracujte rešerši energetických zdrojů vhodných pro zásobování areálu velké nemocnice teplem a elektřinou.
- Stanovte předpokládané spotřeby tepla v tomto areálu v časovém průběhu jednoho roku s rozdělením spotřeb pro vytápění budov a ohřev vody pro hygienické účely.
- Vypracujte kritéria pro volbu hlavního a přídatných energetických zdrojů respektujících zjištěné potřeby a požadované výrobní zálohy.
- Vypracujte situační výkres zásobování areálu teplem s lokalizací předávacích stanic tepla, tepelných zdrojů, zásob paliv a případné návaznosti na systém centralizovaného zásobování teplem.
- Vypracujte technologické schéma zdroje na úrovni 'Pipe and Instrumentation Diagram' a schéma energetických toků na úrovni 'Power and Flow diagram'.
- Vypočítejte pracovní cykly výrobních jednotek vybraných v rámci zdroje tepla a elektřiny a jejich klíčové body zanepte do vhodných h-s, T-s a příp. p-h diagramů.
- Porovnejte navržené zdroje tepla a elektřiny s odběrovým diagramem areálu a diskutujte výsledky řešení.

Seznam doporučené literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Sláma, Ph.D., ústav mechaniky tekutin a termodynamiky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Pavel Sláma, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Michal Schmirler, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Anotační list

Název práce: **Lokální zdroje tepla a elektřiny v komunálním energetickém systému**

Title: **Local Source of Heat and Electricity in Municipal Energy System**

Autor: Olga Štolová

Akademický rok: 2020/2021

Studijní program: (B2341) Strojírenství

Studijní obor: (3901R051) Konstruování podporované počítačem

Ústav: Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Sláma, Ph.D.

Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze

Klíčová slova: zdroj tepla, centrální zásobování teplem, kogenerace,

Key words: heat source, central heat supply, cogeneration,

Abstrakt: Tato práce se zabývá analýzou spotřeb tepla v časovém průběhu jednoho roku areálu velké nemocnice. Pro tyto spotřeby tepla jsou pak následně vytvořeny varianty kombinací lokálních zdrojů tepla a elektřiny jak pro současný provoz s centrálním zásobováním tepla, tak pro ostrovní provoz areálu. Pro vybranou variantu je pak vypracováno technologické schéma na úrovni „Pipe and Instrumentation Diagram“, „Power and Flow Diagram“ a situační výkres.

Abstract: This work deals with the analysis of heat consumption over a period of one year on the premises of a large hospital. For these heat consumptions, variants of combinations of local heat and electricity sources are then created, both for the simultaneous operation with central heat supply and for the island operation of the complex. A technological diagram at the level of "Pipe and Instrumentation Diagram", "Power and Flow Diagram" and a situation drawing are then developed for the selected variant.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod odborným vedením Ing. Pavla Slámy, Ph.D. s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce.

V Praze dne

.....

Olga Štolová

Poděkování

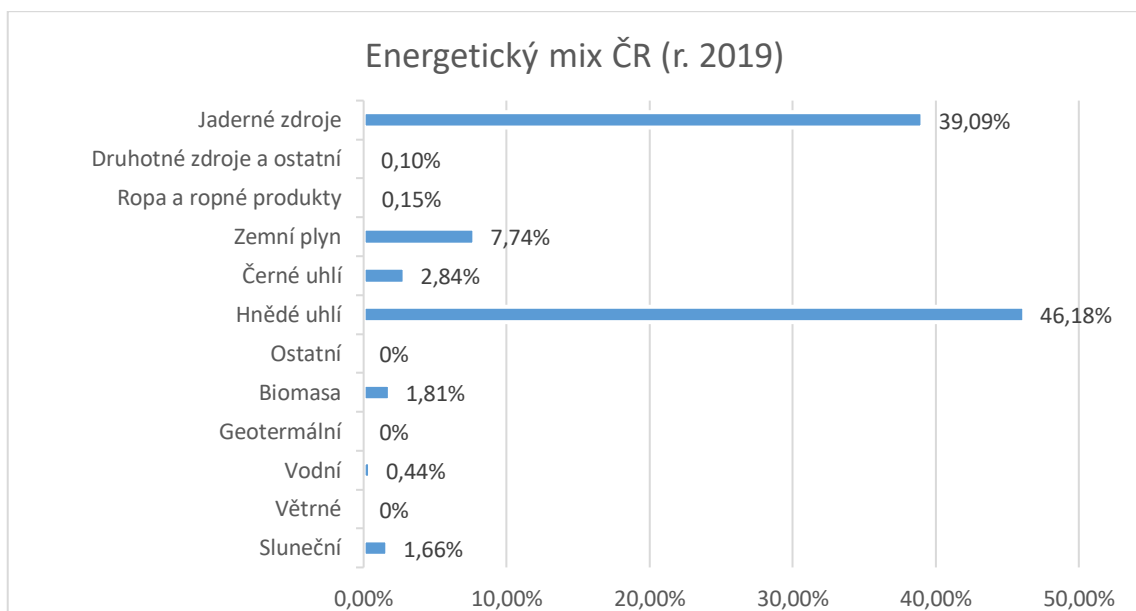
Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu práce Ing. Pavlu Slámovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a čas, který mi věnoval. Ráda bych také poděkovala týmu pracujícímu na projektu THÉTA, který mi poskytl data, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Nakonec bych chtěla poděkovat své rodině a blízkým, kteří mě ve studiu podporovali.

OBSAH

1	Úvod	9
2	Vhodné zdroje pro zásobování areálu velké nemocnice teplem a elektrinou	10
2.1	Kotle na zemní plyn.....	10
2.2	Tepelná čerpadla.....	10
2.3	Kogenerační jednotky	11
2.4	Fotovoltaické panely.....	13
2.5	Kotle na biomasu.....	14
2.6	Větrné elektrárny	14
3	Stanovení předpokládaných spotřeb tepla v průběhu jednoho roku.....	15
3.1	Data z měření	15
3.2	Odhad dat pro chybějící měsíce	20
4	Kritéria pro volbu hlavního a přidavných energetických zdrojů.....	23
4.1	Časová kritéria	23
4.2	Výkonová kritéria.....	23
4.3	Tepelná kritéria.....	24
4.4	Tlaková kritéria	24
4.5	Ekologická kritéria	24
4.6	Ekonomická kritéria	24
5	Technická řešení tepelných zdrojů pro krajskou nemocnici	25
5.1	Variety technických řešení.....	25
5.1.1	Varianta A	25
5.1.2	Varianta B	28
5.1.3	Varianta C	32
5.1.4	Varianta D	35
5.1.5	Varianta E.....	38
5.1.6	Výběr varianty	41
5.2	Situační výkres	44
5.3	Technologické schéma „Pipe & Instrumentation Diagram“	45
5.4	Technologické schéma „Power and Flow Diagram“	45
5.5	Výpočet pracovních cyklů kogenerační jednotky	47
6	Závěr.....	49
	Použitá literatura.....	50
	Seznam příloh.....	52

1 ÚVOD

Tato práce řeší zvolení vhodného lokálního zdroje tepla a elektřiny v komunálním energetickém systému. Zadaným komunálním energetickým systémem je typ velká nemocnice, jako příklad zvolena Krajská Nemocnice Tomáše Bati, zkr. KNTB. Při řešení této práce se zaměřuji hlavně na zvolení vhodných zdrojů tepla pro areál velké nemocnice na základě spotřeb tepla tohoto areálu.



Obr. 1 - Národní energetický mix [1]

Řešení zásobování teplem a elektřinou je zásadní palivoenergetický problém, jelikož se velkou mírou podílí na spotřebě primárních energetických zdrojů. Na obr. 1 je vidět, že v energetickém mixu ČR převažují fosilní paliva, která jsou významně vyčerpatelná. Vyčerpatelnost uhlí se světově odhaduje na 110 let, vyčerpatelnost ropy a ropných produktů na 53 let a vyčerpatelnost zemního na 54 let. Vyčerpávání těchto zdrojů vede následně k rychlejšímu růstu jejich cen na světových trzích. Tento fakt je jedním z významných důvodů, které vedou ke zdokonalování výroby a následnému hospodaření teplem a elektřinou.

Dalším z významných důvodů řešení zásobování teplem a elektřinou je vliv spalování fosilních paliv na ekologické prostředí Země. Při spalování fosilních paliv se uvolňuje řada látek, které mají negativní vliv na životní prostředí, znečišťují ovzduší a škodí lidskému zdraví.

2 VHODNÉ ZDROJE PRO ZÁSBOVÁNÍ AREÁLU VELKÉ NEMOCNICE TEPEM A ELEKTŘINOU

V rámci zdrojů zásobování areálu teplem a elektřinou lze uvažovat spousty variant. Zdroje lze rozdělit na: zdroje tepla, elektrické zdroje, zdroje tepla a elektřiny (kogenerační jednotky) a zdroje tepla, elektřiny a chladu (trigenerace).

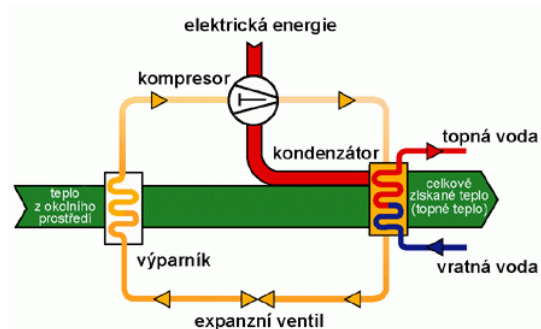
2.1 KOTLE NA ZEMNÍ PLYN

Kotle patří do zdrojů tepla. Jedná se o zařízení, v němž se teplo získává spalováním paliva nebo přivedením z odpadních plynů. Získané teplo se předává pracovní látce, kterou obvykle bývá voda a pára nebo jen voda [2]. Kotle umožňuje velmi široké rozmezí tepelného výkonu už od 15 kW až do 20 MW.

V areálu nemocnice se v tuto chvíli nachází plynový kotel o maximálním tepelném výkonu 4,2 MW_t. Kotel se využívá jako záložní zdroj tepla převážně v době letní odstávky dodávky tepla.

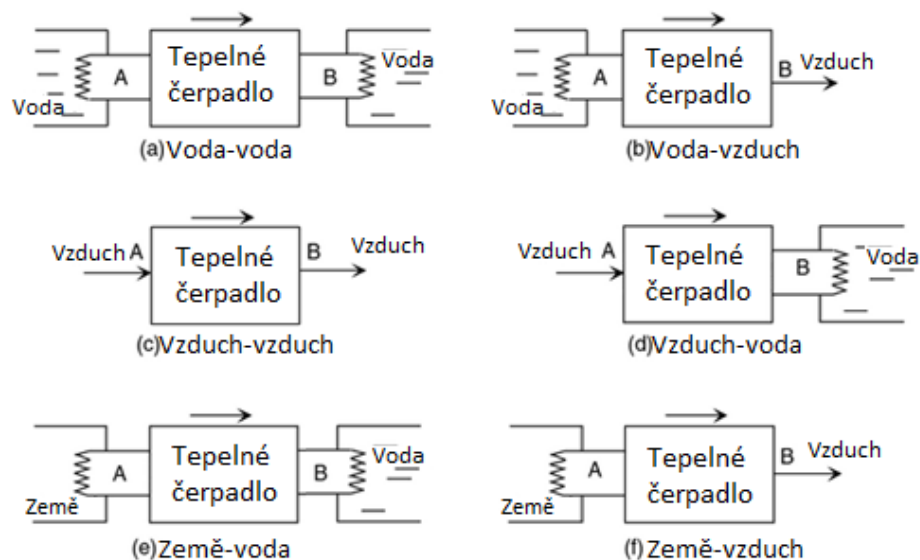
2.2 TEPELNÁ ČERPADLA

Tepelná čerpadla využívají nízkopotenciální teplo z okolí (vzduch, voda, země) k vytápění a ohřevu užitkové vody. Jedná se tedy pouze o zdroj tepla, který využívá navíc elektřinu. Zařízení pracuje se dvěma teplotními úrovněmi. Na nižší teplotní úrovni odvádí teplo chlazení látky, které potom na vyšší teplotní úrovni odvádí do okolí. Tepelná čerpadla lze rozdělit podle zdroje nízkopotenciálního tepla na systémy: vzduch – voda, voda – voda, země – voda. První slovo ve dvojici značí zdroj tepla pro tepelné čerpadlo a druhé slovo ve dvojici značí látku, které je teplo předáváno. Jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo lze taktéž použít zdroj odpadního tepla z technologických procesů.



Obr. 2 - Princip funkce tepelného čerpadla [3]

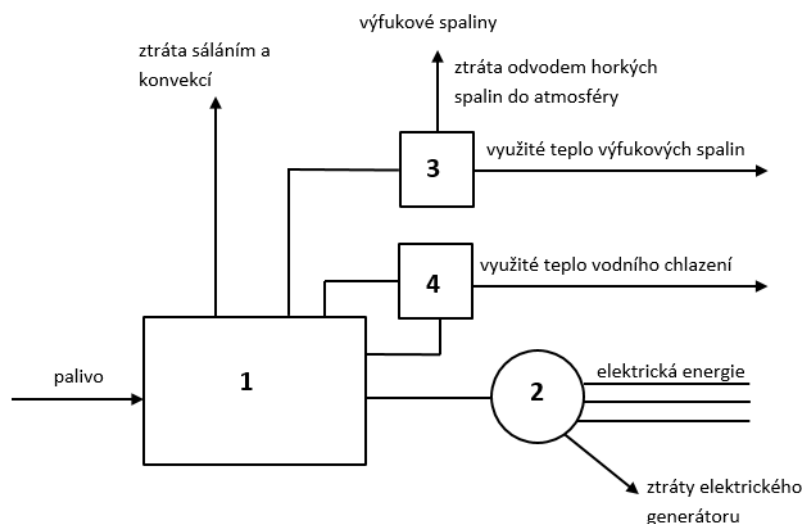
Areál nemocnice umožňuje pouze použití systému vzduch – voda. Tento druh tepelné čerpadla může být hlučný a má úzké rozmezí dodávaných tepelných výkonů. Jeho výhodou je jeho jednoduchost. Výkony dodávaných tepelných čerpadel typu vzduch – voda se pohybují kolem hodnot 2 – 50 kW_t a klesají s teplotou okolního vzduchu. Proto je tepelné čerpadlo doplněno dalším zdrojem tepla (zapojení bivalentní paralelní) nebo další zdroj tepla zcela přebírá funkci topení (zapojení bivalentní alternativní).



Obr. 3 - Typy tepelných čerpadel [4]

2.3 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Princip kogeneračních jednotek spočívá v kombinované výrobě elektřiny a tepla. Jedná se o efektivní a šetrný způsob výroby elektrické energie, při které zároveň dochází k dodávce tepla. Proces přeměny energie z paliva je nejprve proveden tak, aby se prvně využila vysokopotenciální tepelná energie k vykonání práce a výrobě elektrické energie, následně se pracovní látka o nižší teplotě využije pro pokrytí potřeb tepla. Důsledkem použití kogenerace je snížení spotřeby primárních energetických zdrojů a tím pádem i snížení nákladů na potřebné palivo. Snížení spotřeby primárních energetických zdrojů dále vede ke snížení emisí skleníkových plynů.



Obr. 4 - Toky energie u kogenerační jednotky se spalovacím motorem v základním zapojení. [5]
 1 – spalovací motor, 2 – elektrický generátor, 3 – výměník tepla spaliny/topná voda, 4 – výměník tepla chladící voda/topná voda

Podle použitého paliva lze kogenerační jednotky dělit na jednotky využívající: zemní plyn, bioplyn, LPG, důlní plyn, kalový plyn a skládkový plyn. Veškeré toto palivo je nutné dopravovat ke kogenerační jednotce a určité množství skladovat. Proto je vhodné volit takovou jednotku, ke které je možné palivo dopravit.

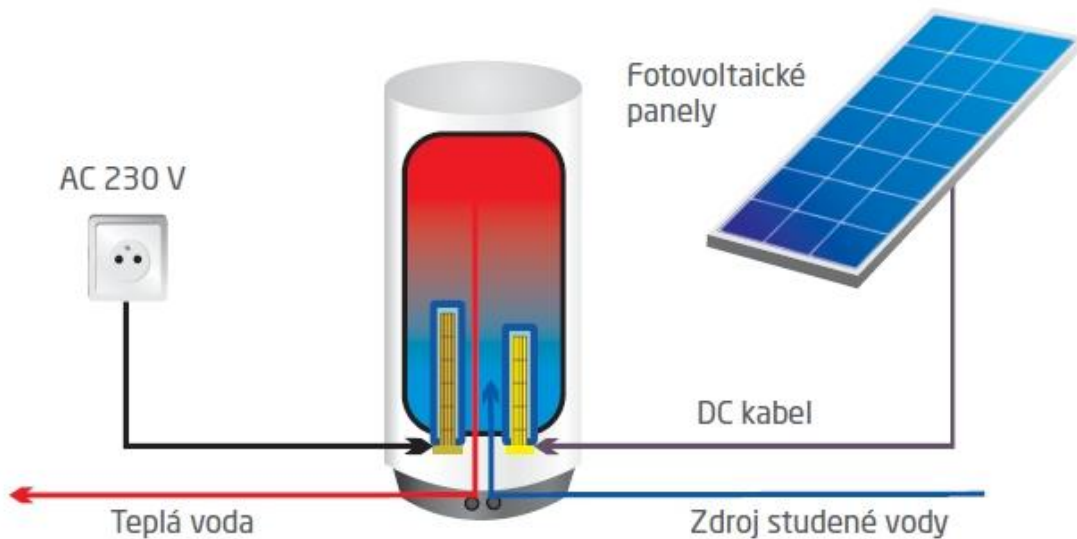
Tabulka 1 - Srovnání rozmezí elektrických a tepelných výkonů kogeneračních jednotek podle použitého paliva

Druh paliva	Rozmezí elektrického výkonu [kW _e]	Rozmezí tepelného výkonu [kW _t]
Zemní plyn	6 - 4500	14,9 - 5066
Bioplyn	20 - 2300	41,8 - 2398
LPG	48	105
Důlní plyn	20 - 4500	47,2 - 5066
Kalový plyn	20 - 2300	41,8 - 2398
Skládkový plyn	20 - 2300	41,8 - 2398

Trigenerace je technologie schopná vyrábět zároveň elektrickou energii, tepelnou energii a chlad. Jedná se o nastavbu ke kogeneraci, kde je zapojená chladicí jednotka za kogenerační jednotku a tím je dosaženo výroby chladu. Z kogenerační jednotky je výstupem teplo a elektrická energie. Při zapojení absorpčního chlazení je využito hlavně teplo k výrobě chladu. Jinou možností je zapojení kompresorového chlazení.

2.4 FOTOVOLTAICKÉ PANELE

Fotovoltaické panely lze využít pro ohřev vody. Jedná se o zařízení, které není připojené do sítě. Fotovoltaické panely se umístí na střechy budov a vyrábí elektřinu, tato elektřina je dvěma kabely vedena přes regulátor přímo k topnému tělesu v zásobníku teplé vody. Regulátor zajišťuje optimální využití energie a umožňuje řídicí funkce. Výhody tohoto zdroje spočívají v jeho jednoduché instalaci, ekologičnosti a v tom, že se nemůže přehřát. Ve chvíli, kdy se voda ohřeje fotovoltaickými panely na požadovanou teplotu, proběhne automatické vypnutí pomocí termostatu. Fotovoltaické panely umožňují dodávku tepla i při nepříznivém počasí, i když menší.



Obr. 5 - Fotovoltaický ohřev vody [6]

2.5 KOTLE NA BIOMASU

Kotel na biomasu je jedním z ekologičtějších zdrojů tepelné energie. Využívá palivo ve formě pelet, briket, štěpků nebo kusového dřeva se systémem zplyňování. Doplňování paliva do kotle lze řešit manuálně nebo automatickým provozem. V případě využití automatického provozu je nutné uvažovat větší prostor pro kotel kvůli zásobníku.



Obr. 6 - Kotel na biomasu se samočinnou dodávkou paliva [7]

2.6 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Větrná elektrárna využívá obnovitelného zdroje energie. Převádí sílu proudícího vzduchu působící na listy rotoru na mechanickou energii. Mechanická energie je dále prostřednictvím generátoru převáděná na energii elektrickou. Větrné turbíny lze rozdělit podle osy otáčení motoru na horizontální a vertikální. Účinnosti větrných turbín se uvádí okolo 48 % v případě horizontální a okolo 38 % v případě vertikální.

3 STANOVENÍ PŘEDPOKLÁDANÝCH SPOTŘEB TEPLA V PRŮBĚHU JEDNOHO ROKU

Pro zvolení vhodných lokálních zdrojů tepla a elektřiny je nutné nejprve stanovit předpokládané spotřeby v průběhu jednoho roku. Následně je možné volit zdroje pro jednotlivá období a pracovní režimy.

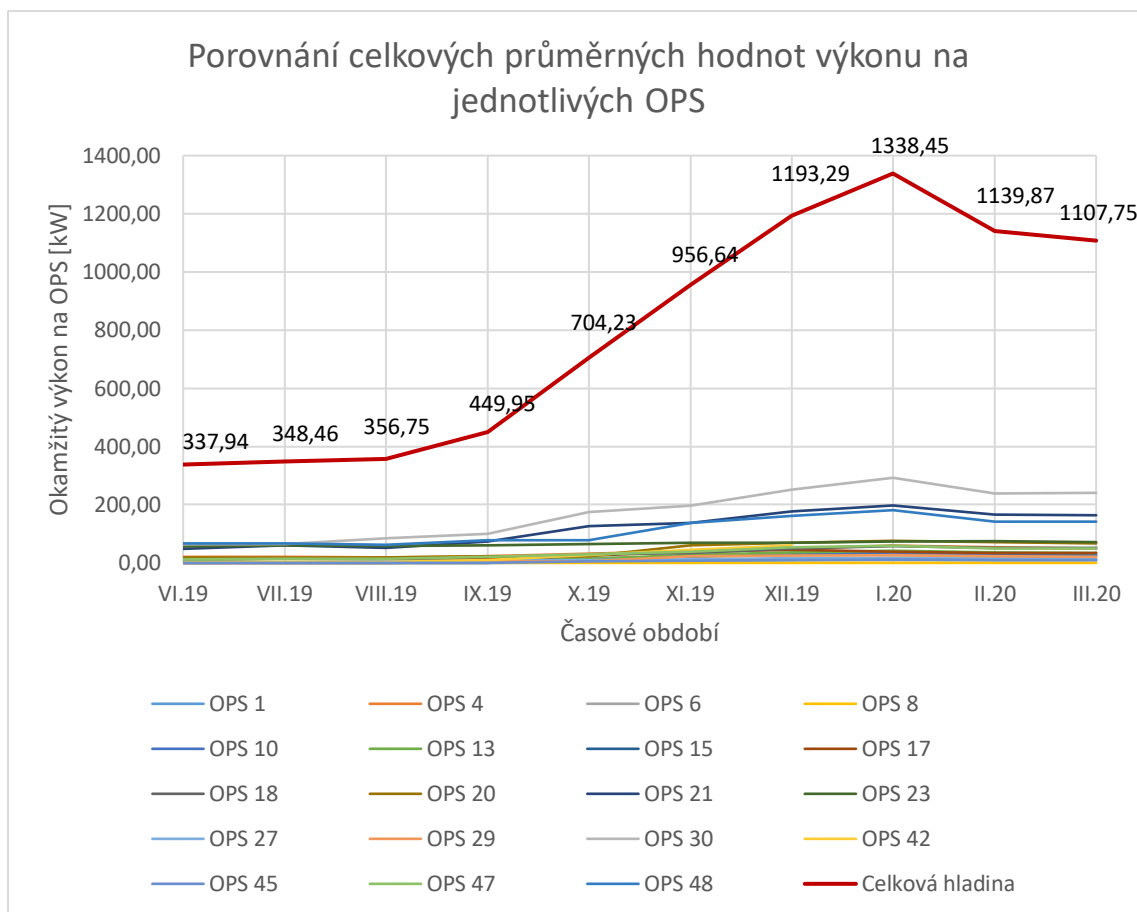
3.1 DATA Z MĚŘENÍ

Pro účel této práce byl umožněn přístup k datům z měření na projektu THÉTA, TK01030082 [8]. V areálu krajské nemocnice Tomáše Bati byly v rámci projektu nainstalovány měřicí zařízení. Měření probíhalo v období od 1.6.2019 do 31.3.2020 na jednotlivých objektových předávacích stanicích. Byly zaznamenávány tyto hodnoty:

- Celková energie (ÚT)
- Okamžitý průtok (ÚT)
- Okamžitý výkon (ÚT)
- Celková energie (TUV)
- Okamžitý průtok (TUV)
- Okamžitý výkon (TUV)

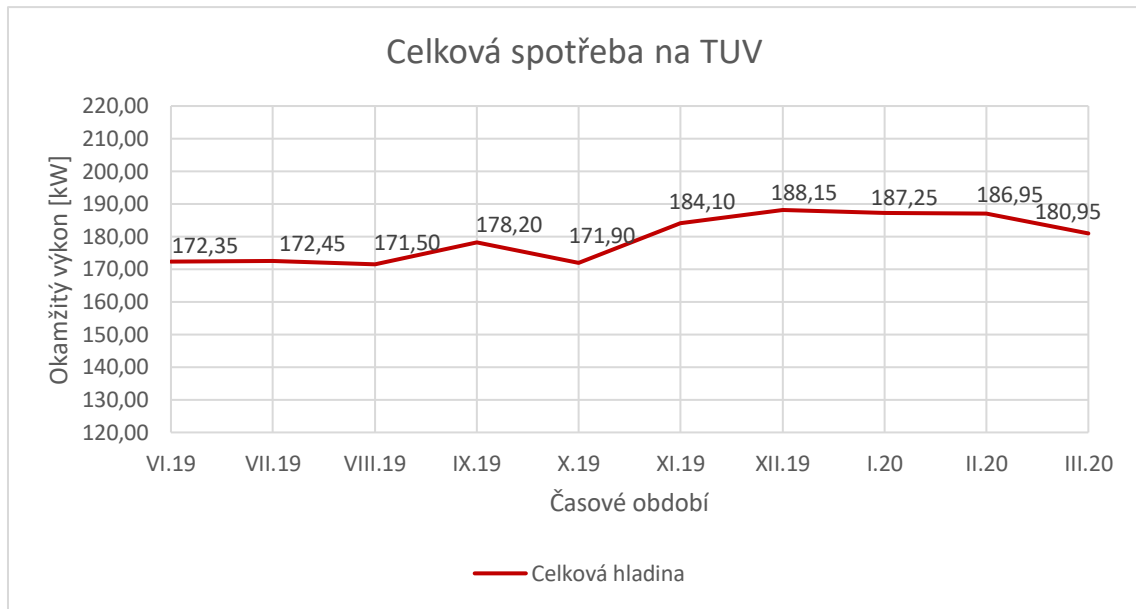
Hodnoty byly zaznamenávány v intervalu 10-15 minut.

Na obr. 5 jsou znázorněny součty průměrných hodnot na jednotlivých předávacích stanicích. Tento graf počítá s hodnotami ústředního topení i hodnotami teplé užitkové vody. V letních měsících (červen, červenec, srpen) se celkový okamžitý výkon drží kolem hodnot 340 – 360 kW_t. Za zimní období lze z tohoto grafu považovat prosinec, leden a únor. V těchto měsících je celkový okamžitý výkon v rozmezí 1140 – 1340 kW_t.

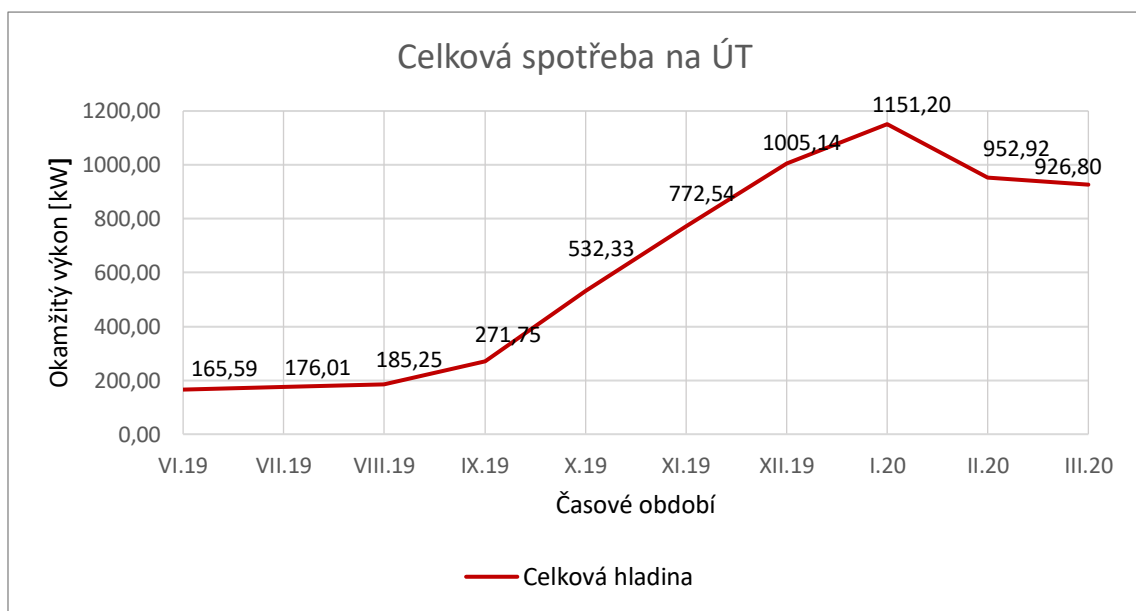


Obr. 7 - Porovnání celkových průměrných hodnot výkonu na jednotlivých OPS

Při porovnání grafů spotřeby na TUV a ÚT (obr. 6 a 7) je vidět, že spotřeba na TUV je téměř konstantní v průběhu roku a pohybuje se v rozmezí 170 – 190 kW_t, tím pádem je pouze mírně závislá na teplotě okolí, kdežto se spotřeba na ÚT výrazně mění v závislosti na teplotě okolí. V letním období je rozmezí 165 – 185 kW_t a v zimním období je rozmezí spotřeby 950 – 1200 kW_t.



Obr. 8 - Celková spotřeba teplé užitkové vody v jednotlivých měsících (průměrné hodnoty za měsíc)



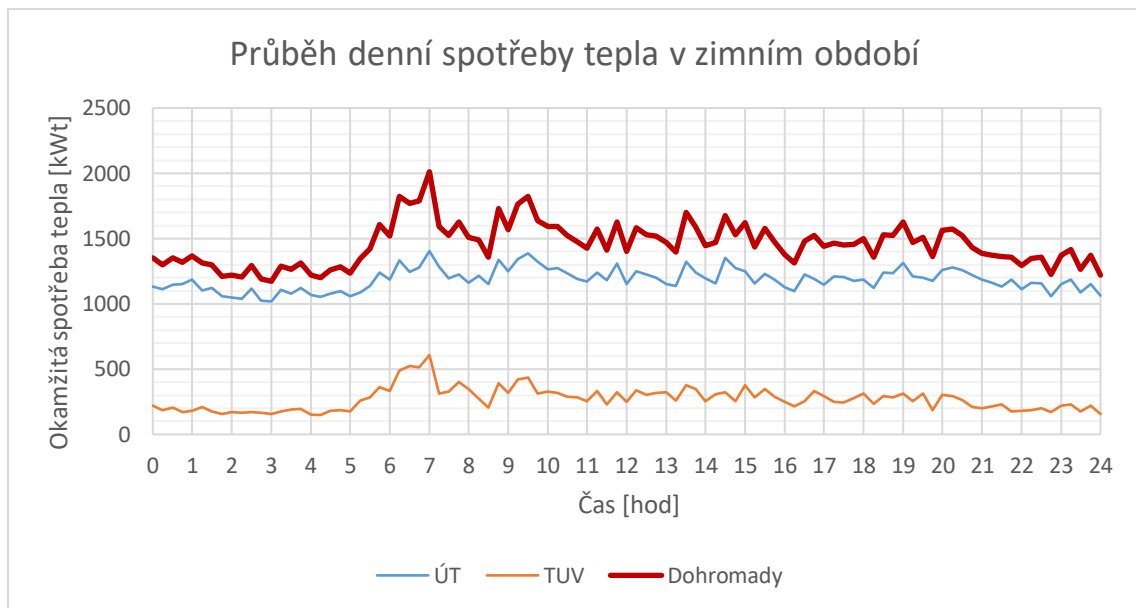
Obr. 9 - Celková spotřeba na ústředním topení (průměrné hodnoty za měsíc)

Tabulka 2 znázorňuje maximální a minimální naměřené hodnoty v jednotlivých měsících, tzv. špičky. Při porovnání maximálních hodnot spotřeby na ÚT a TUV lze vidět, že maximální spotřeba je 4,5 MW_t. V letním období se tato hodnota pohybuje v rozmezí 2,5 – 3,5 MW_t. Minimální hodnoty v letním období jsou téměř nulové a minimální hodnoty v zimním období mohou dosahovat téměř 600 kW_t.

Tabulka 2 - Maximální, průměrné a minimální hodnoty spotřeby tepla za jednotlivé měsíce

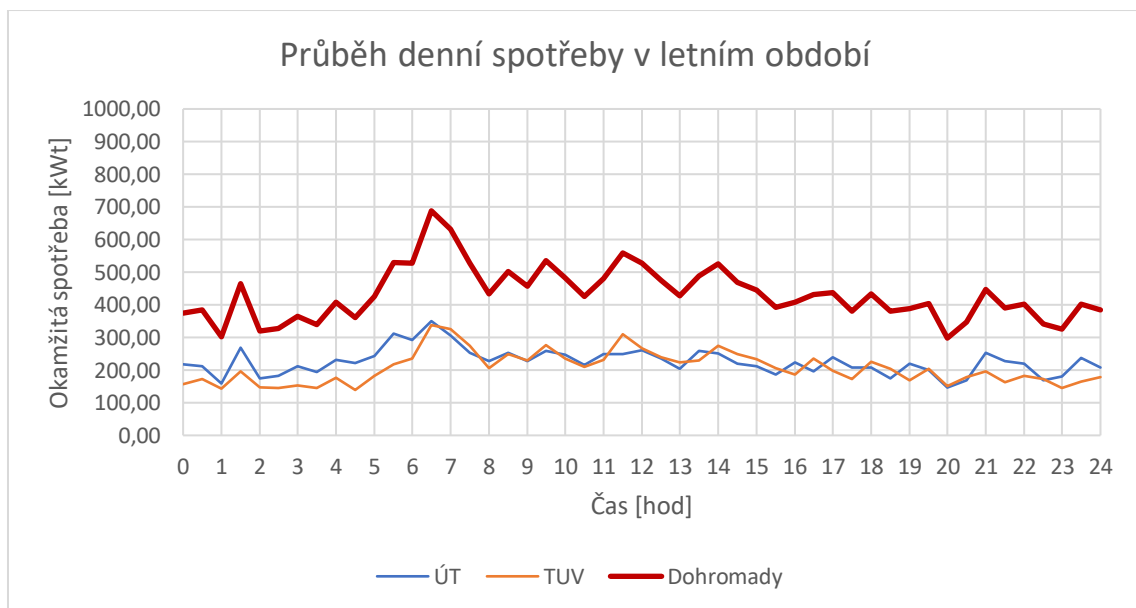
Období	Měsíc		ÚT [kW _t]	TUV [kW _t]	ÚT a TUV [kW _t]
Letní období	VI.19	maximální hodnota za měsíc	2147,5	1338,8	3486,3
		průměrná hodnota za měsíc	165,6	172,4	337,9
		minimální hodnota za měsíc	5,4	7,0	12,4
	VII.19	maximální hodnota za měsíc	1898,1	1322,6	3220,7
		průměrná hodnota za měsíc	176,0	172,5	348,5
		minimální hodnota za měsíc	0,0	4,5	4,5
	VIII.19	maximální hodnota za měsíc	1404,7	1108,6	2513,3
		průměrná hodnota za měsíc	185,2	171,5	356,7
		minimální hodnota za měsíc	0,0	1,0	1,0
Přechodné období	IX.19	maximální hodnota za měsíc	2561,1	1218,8	3779,9
		průměrná hodnota za měsíc	271,8	178,2	450,0
		minimální hodnota za měsíc	48,1	58,7	106,8
	X.19	maximální hodnota za měsíc	2653,6	1395,8	4049,4
		průměrná hodnota za měsíc	532,3	171,9	704,2
		minimální hodnota za měsíc	40,3	26,5	66,8
	XI.19	maximální hodnota za měsíc	2520,5	1597,3	4117,8
		průměrná hodnota za měsíc	772,5	184,1	956,6
		minimální hodnota za měsíc	42,5	13,7	56,2
Zimní období	XII.19	maximální hodnota za měsíc	2943,0	1461,1	4404,1
		průměrná hodnota za měsíc	1005,1	188,2	1193,3
		minimální hodnota za měsíc	1,6	1,4	3,0
	I.20	maximální hodnota za měsíc	2916,8	1507,3	4424,1
		průměrná hodnota za měsíc	1151,2	187,3	1338,4
		minimální hodnota za měsíc	497,1	68,9	566,0
	II.20	maximální hodnota za měsíc	2609,6	1778,2	4387,8
		průměrná hodnota za měsíc	952,9	187,0	1139,9
		minimální hodnota za měsíc	99,2	47,2	146,4
Přechodné období	III.20	maximální hodnota za měsíc	2933,9	1565,2	4499,1
		průměrná hodnota za měsíc	926,8	181,0	1107,8
		minimální hodnota za měsíc	128,1	65,7	193,8

Spotřeby na základě dat z měření jsem dále analyzovala na známky různých hladin ve dne a v noci. Z obr. 8 je vidět průběh denní spotřeby tepla v zimním období. Data jsou ze dne 14.2.2020. Spotřeba odpovídá pracovnímu dni ve velké nemocnici s nepřetržitým provozem.



Obr. 10 - Průběh denní spotřeby tepla v zimním období (úterý 14.2.2020)

Na obr. 9 je znázorněn průběh denní spotřeby v letním období, použitý den je úterý 6.8.2019. Stejně jako na předchozím obrázku lze pozorovat spotřebu odpovídající pracovnímu dni nepřetržitého provozu velké nemocnice.

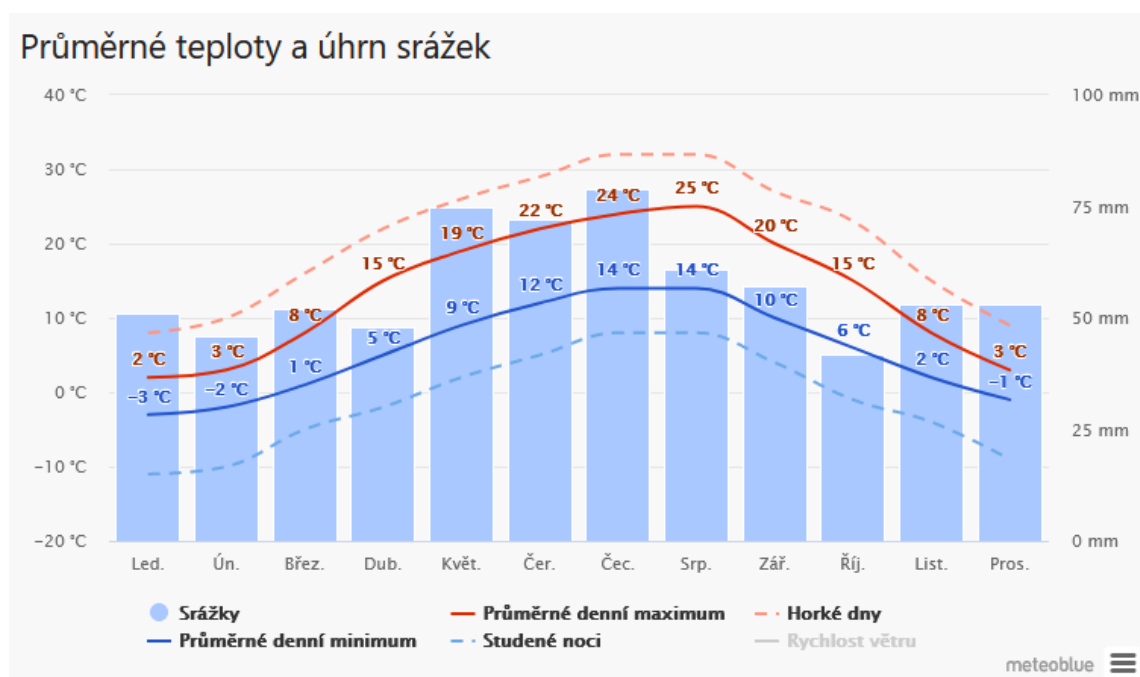


Obr. 11 - Průběh denní spotřeby v letním období (úterý 6.8.2019)

3.2 ODHAD DAT PRO CHYBĚJÍCÍ MĚSÍCE

Pro navržení vhodných zdrojů tepla je zapotřebí vycházet z dat pro celý rok. Z tohoto důvodu je nutné doplnit data z měření.

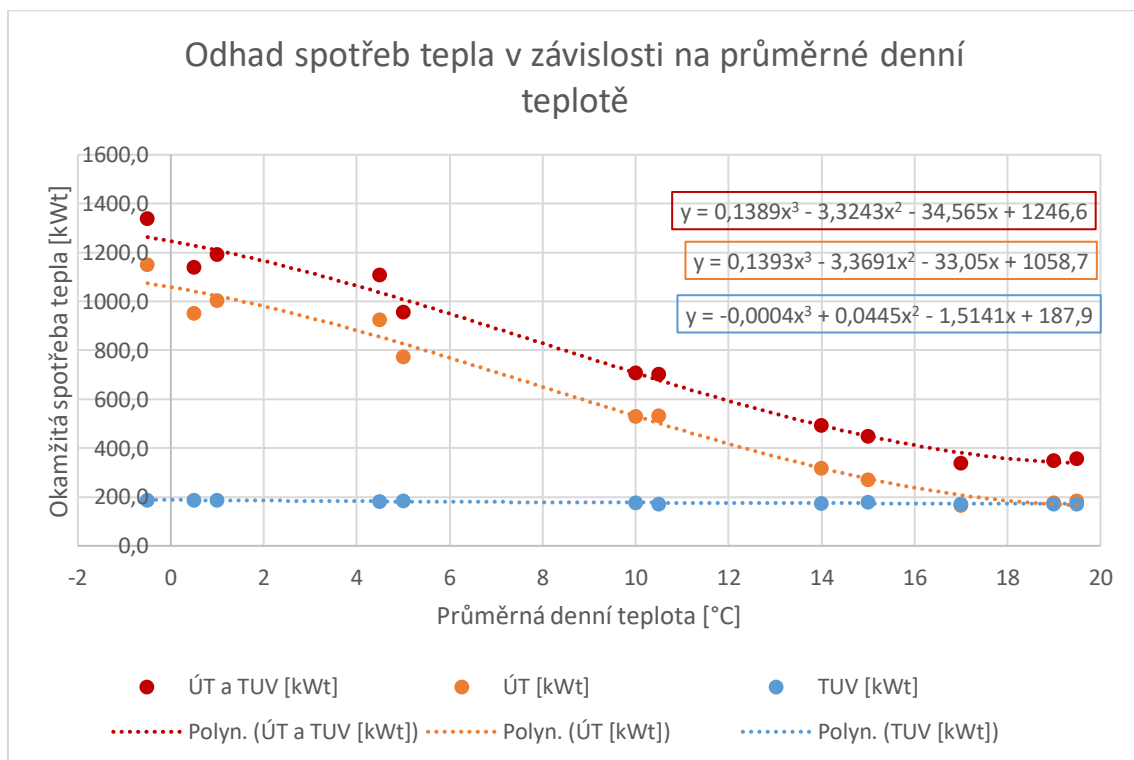
V datech z měření chybí data za měsíce duben a květen, tedy měsíce z přechodného období. Pro účel odhadu spotřeb za chybějící měsíce jsem využila referenční klimatický rok (obr. 11), ze kterého jsem čerpala hodnoty průměrného denního maxima teplot a hodnoty průměrného denního minima teplot. Tyto hodnoty jsem dále využila v tabulce 3 obr. 12, kde je znázorněn graf závislosti okamžitých spotřeb tepla na teplotě okolí. Odhadované hodnoty spotřeb jsem následně zapsala do tabulky 3. Obr. 13 znázorňuje průměrné spotřeby tepla v jednotlivých měsících včetně odhadovaných dat během jednoho roku. S tímto grafem budu následně pracovat při výběru vhodných zdrojů tepla.



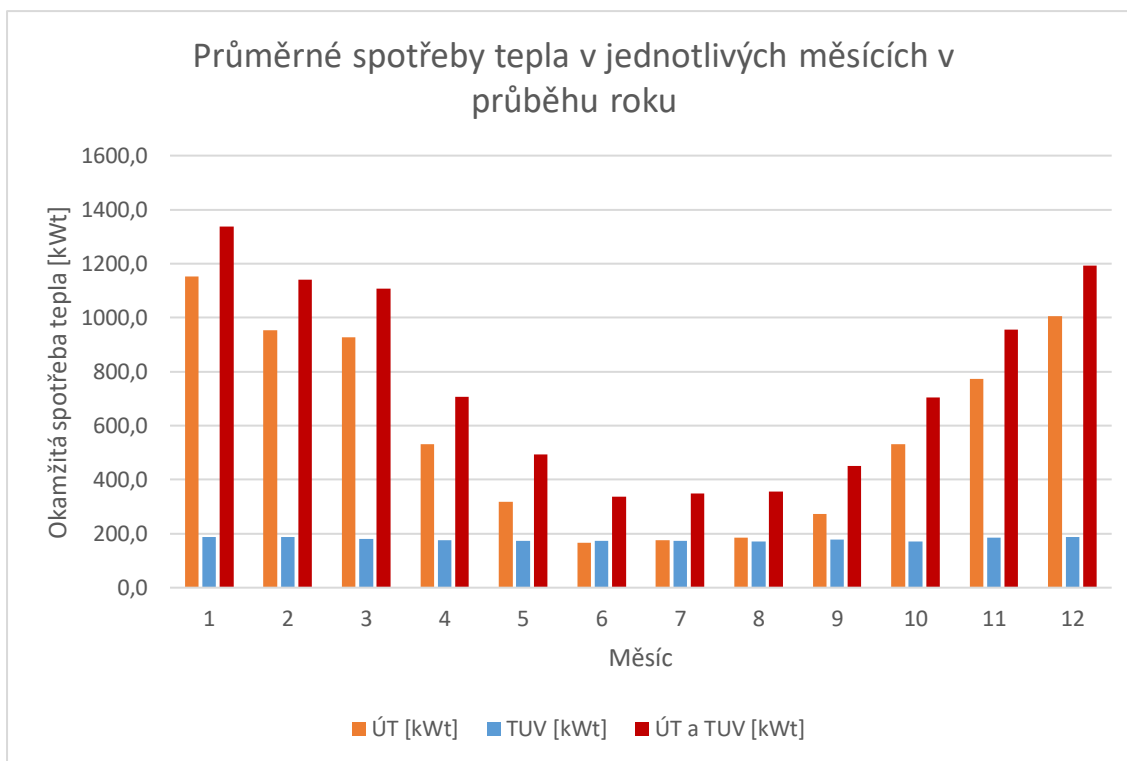
Obr. 12 - Referenční klimatický rok pro oblast Zlín [9]

Tabulka 3 - Odhad hodnot spotřeb tepla pro chybějící měsíce

	Měsíc	ÚT [kW _t]	TUV [kW _t]	ÚT a TUV [kW _t]	Průměrné denní minimum [°C]	Průměrné denní maximum [°C]	Průměrná denní teplota [°C]
Zimní období	1	1151,2	187,3	1338,4	-3	2	-0,5
	2	952,9	187,0	1139,9	-2	3	0,5
Přechodné období	3	926,8	181,0	1107,8	1	8	4,5
Odhad	4	530,6	176,8	707,4	5	15	10
	5	318,0	174,3	492,3	9	19	14
Letní období	6	165,6	172,4	337,9	12	22	17
	7	176,0	172,5	348,5	14	24	19
	8	185,2	171,5	356,7	14	25	19,5
Přechodné období	9	271,8	178,2	450,0	10	20	15
	10	532,3	171,9	704,2	6	15	10,5
	11	772,5	184,1	956,6	2	8	5
Zimní období	12	1005,1	188,2	1193,3	-1	3	1



Obr. 13 - Odhad spotřeb tepla v závislosti na průměrné denní teplotě



Obr. 14 - Průměrné spotřeby tepla v jednotlivých měsících v průběhu roku

4 KRITÉRIA PRO VOLBU HLAVNÍHO A PŘÍDAVNÝCH ENERGETICKÝCH ZDROJŮ

Pro volbu vhodného hlavního a přídatných energetických zdrojů tepla a elektřiny pro potřeby velké nemocnice je důležité splnění řady kritérií. Těmito kritérii jsou zejména:

- Časová kritéria,
- Výkonová kritéria,
- Teplotní kritéria,
- Tlaková kritéria,
- Ekologická kritéria a
- Ekonomická kritéria.

4.1 ČASOVÁ KRITÉRIA

Z hlediska časových kritérií je nutné pokrytí nepřetržitého provozu velké nemocnice, tedy 365 dní v roce, 24 hodin denně. Výpadky mohou nastávat v souvislosti s údržbou zdrojů energie v rámci maximálně desítek minut. Operabilita zařízení je nezbytným kritériem pro velkou nemocnici.

4.2 VÝKONOVÁ KRITÉRIA

Jak bylo zjištěno v předchozí kapitole, maximální spotřeba velké nemocnice je 4,5 MW_t a kombinace hlavních a přídatných zdrojů by měla být schopná tuto spotřebu pokrýt. V létě je tato spotřeba podstatně menší, a proto by měla být zvolena taková kombinace hlavních a přídatných zdrojů, aby nebyla energie mařena. V případě volby fotovoltaických panelů je důležité respektovat minimální spotřebu tepla v létě a nepřekračovat ji. Hlavní a přídatné zdroje je zapotřebí posoudit v rámci účinnosti energetického zdroje, resp. v rámci celkové spotřeby energie v palivu.

4.3 TEPLOTNÍ KRITÉRIA

V rámci teplotních kritérií je třeba uvážit fakt, že systém centrálního zásobování teplem je konstruován jako horkovodní, tj. 130/70 °C. Navíc, výstupní teplota z objektových předávacích stanic by z hygienických důvodů měla být alespoň 65 °C. Objektové předávací stanice jsou schopny provozu s teplotou na vstupní liniích v rozmezí 65 – 135 °C. Je nutné brát v potaz, že vzduchotechnika v objektu č. 23, tedy rovněž na OPS 23, se vypíná při poklesu vstupní teploty po 90 °C.

4.4 TLAKOVÁ KRITÉRIA

System centrálního zásobování teplem je v areálu nemocnice konstruován jako PN25. Rozvod tepla od objektových předávacích stanic k objektům může být konstruován jako PN16.

4.5 EKOLOGICKÁ KRITÉRIA

Z hlediska ekologických kritérií je nutné brát v potaz lokální a globální produkce emisí a spotřebu primárních energetických zdrojů.

4.6 EKONOMICKÁ KRITÉRIA

Do ekonomických kritérií spadají investiční náklady, zejména náklady na přípravu projektu, náklady na technologická zařízení a stavbu a náklady na přípojky. Dále je třeba brát v potaz provozní náklady, jednotkové ceny energií a ceny dopravy paliva.

5 TECHNICKÁ ŘEŠENÍ TEPELNÝCH ZDROJŮ PRO KRAJSKOU NEMOCNICI

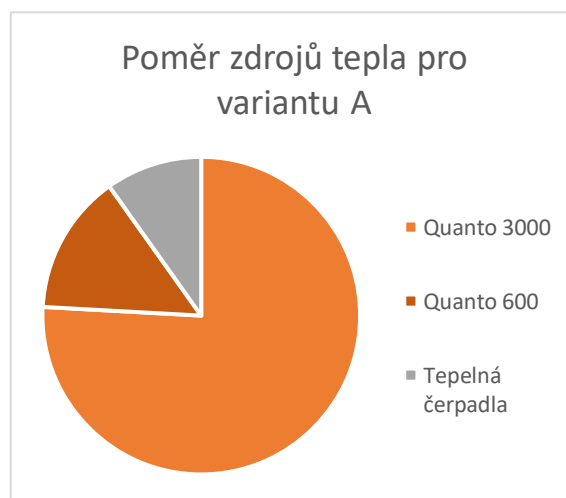
V daném okamžiku areál nemocnice je připojený na systém centrálního zásobování teplem, který pokrývá veškeré tepelné potřeby areálu. Areál dále disponuje záložními zdroji tepla, jako jsou dieselové spalovací motory a plynovým kotlem.

5.1 VARIANTY TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ

V této kapitole se zabývám návrhy různých kombinací řešení lokálních zdrojů tepla a jejich bilancemi tepla. Varianty se liší různou kombinací jednotlivých tepelných zdrojů i provozem těchto zdrojů. Ke každé variantě jsou zpracovány poměry zdrojů tepla, tepelné bilance pro průměrné okamžité spotřeby a maximální okamžité spotřeby.

5.1.1 Varianta A

Ve variantě A uvažuji kombinaci zdrojů, která by umožňovala odpojení nemocnice od systému centrálního zásobování teplem. Jako hlavní energetické zdroje uvažuji dvě kogenerační jednotky na zemní plyn doplněné tepelnými čerpadly. Kogenerační jednotky TEDOM Quanto 3000 a TEDOM Quanto 600 mají celkový tepelný výkon 4582 kW a jsou schopny pokrytí maximální spotřeby tepla i v zimě. Tepelná čerpadla o výkonech 200 kW a 100 kW jsou závislá na venkovní teplotě a jejich výkon s teplotou klesá, proto v zimním období je jejich výkon nízký. Z tohoto důvodu zapnutí tepelných čerpadel v zimním období je nepravděpodobné. V této variantě tepelná čerpadla umožňují pokrytí tepelných spotřeb v přechodném a letním období, aniž by bylo mařeno přebytečné teplo z kogeneračních jednotek o vyšším tepelném výkonu.



Obr. 15 - Poměr zdrojů tepla pro variantu A

Tabulka 4 - Seznam uvažovaných zdrojů tepla a jejich tepelné výkony

Zdroje	Tepelný výkon [kW]
Kogenerační jednotka TEDOM Quanto 3000	3856
Kogenerační jednotka TEDOM Quanto 600	726
Tepelné čerpadlo 200 kW	200
Tepelné čerpadlo 200 kW	200
Tepelné čerpadlo 100 kW	100

Tabulky 5 a 6 znázorňují tepelnou bilanci pro variantu A a jsou následně vyneseny v grafu (obr. 15). Jak je patrné z tabulky 5, průměrné okamžité spotřeby v zimním období lze pokrývat větší ze dvou kogeneračních jednotek. V přechodném období a letním období jsou v provozu různé kombinace tepelných čerpadel. Při nedostačujícím výkonu tepelných čerpadel lze přidat menší z kogeneračních jednotek.

Tabulka 5 – Tepelné bilance pro variantu A, průměrné spotřeby tepla

Měsíc	Období	Průměrná spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí průměrných spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí průměrných spotřeb tepla
1	Zimní období	1338,4	3856,0	Quanto 3000
2		1139,9	3856,0	Quanto 3000
3	Přechodné období	1107,8	1126,0	Quanto 600, 2x200 kW TČ
4		707,4	726,0	Quanto 600
5		492,3	500,0	2x200 kW TČ, 100 kW TČ
6	Letní období	337,9	400,0	2x200 kW TČ
7		348,5	400,0	2x200 kW TČ
8		356,7	400,0	2x200 kW TČ
9	Přechodné období	450,0	500,0	2x200 kW TČ, 100 kW TČ
10		704,2	726,0	Quanto 600
11		956,6	1026,0	Quanto 600, 1x200 kW TČ, 1x100 kW TČ
12	Zimní období	1193,3	3856,0	Quanto 3000

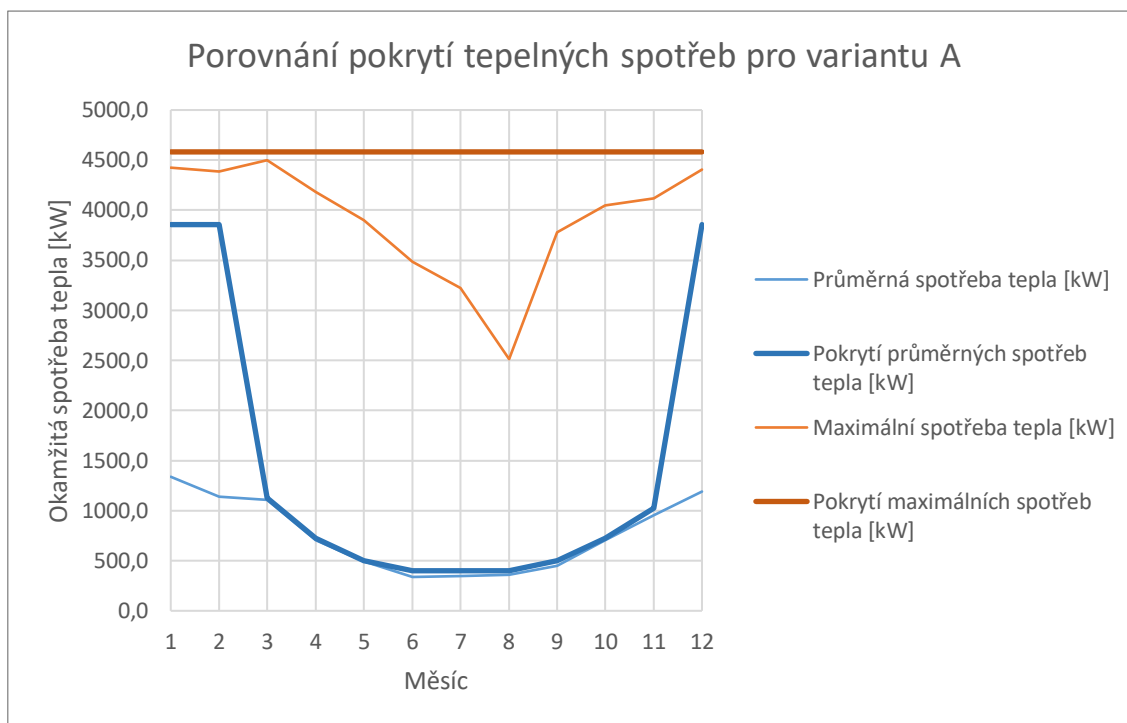
Tabulka 6 zobrazuje maximální okamžité spotřeby tepla v areálu a jejich pokrytí zdroji tepla. V této variantě jsou veškeré maximální spotřeby pokryty pouze dvěma kogeneračními jednotkami, které je zapotřebí škrtit, aby nedocházelo k maření tepla.

Obě tabulky jsou pro názornost a další srovnání znázorněny graficky (obr. 16).

Tabulka 6 - Tepelné bilance pro variantu A. maximální spotřeby tepla

Měsíc	Období	Maximální spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí maximálních spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí maximálních spotřeb tepla
1	Zimní období	4424,1	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
2		4387,8	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
3	Přechodné období	4499,1	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
4		4182,8	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
5		3900,4	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
6	Letní období	3486,3	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
7		3220,7	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
8		2513,3	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
9	Přechodné období	3779,9	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
10		4049,4	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
11		4117,8	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600
12	Zimní období	4404,1	4582,0	Quanto 3000, Quanto 600

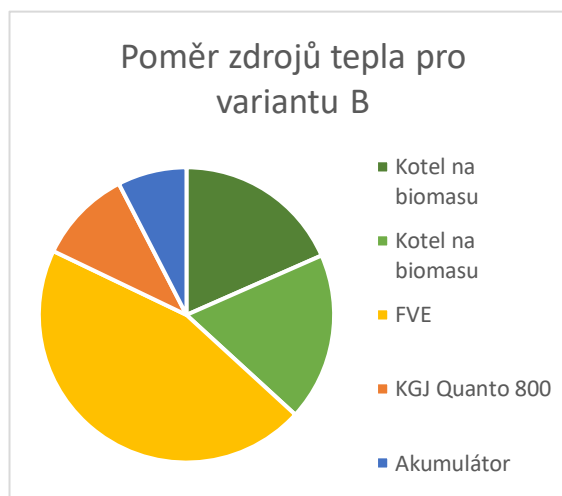
Výhodou tohoto řešení je jeho přiblížení k pokrytí průměrných okamžitých spotřeb tepla. Toto řešení je schopné ostrovního provozu areálu nemocnice za podmínky neustálé dodávky zemního plynu. Na kogenerační jednotky a tepelná čerpadla je možné uplatnit dotace a tím snížit vysokou cenu investic. Výraznou nevýhodou tohoto řešení je jeho závislost na dodávce zemního plynu a vysoká cena investice. V případě absence zemního plynu v zimním období není možné pokrytí tepelných spotřeb ani za pomoci záložních zdrojů tepla (plynový kotel, spalovací motory). Přesto, že se kogenerační jednotky považují za jeden z ekologičtějších zdrojů elektřiny a tepla, jedná se o lokální zdroj emisí.



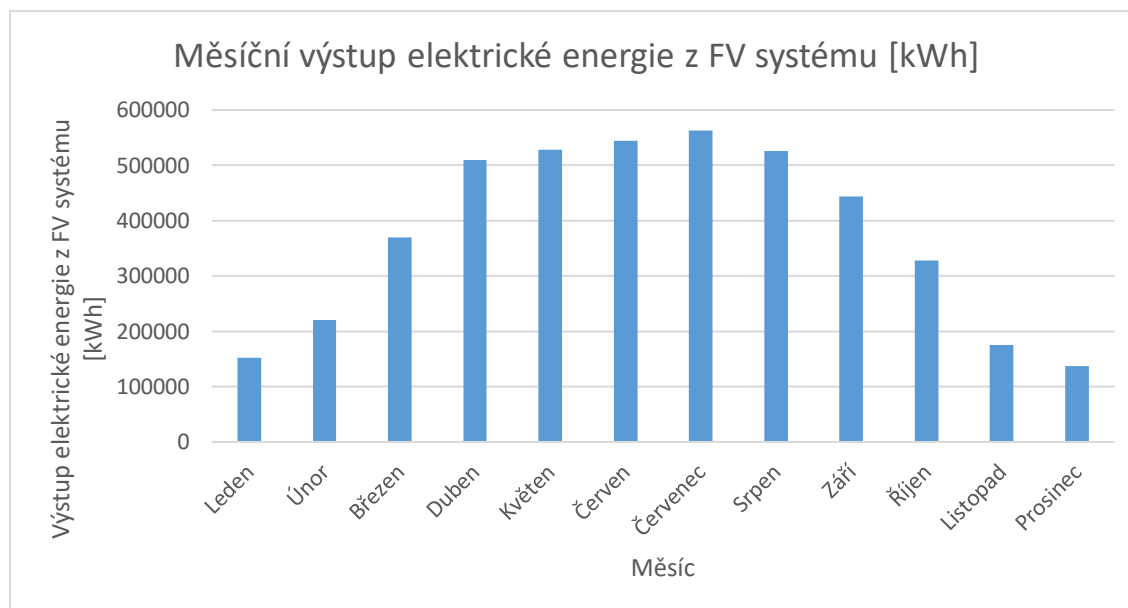
Obr. 16 - Tepelné bilance pro variantu A

5.1.2 Varianta B

V této variantě se snažím snížit množství zdrojů závislých na zemním plynu, ale přitom zachovat odpojení od systému centrálního zásobování teplem. Vybrané zdroje jsou uvedené v tabulce 8. Primárními zdroji jsou dva kotle na biomasu s tepelným výkonem po 1700 kW a fotovoltaické panely s celkovým tepelným výkonem 4101 kWp (megawatt-peak). Celková plocha střech v areálu nemocnice je 25559 m². Při osazení veškerého tohoto prostoru lze získat právě 4185,1 kWp, po zvážení účinnosti 98 % převodu z elektrické energie na tepelnou je výsledný tepelný výkon 4101 kWp. Vzhledem k použití fotovoltaických panelů je vhodné použít tepelný akumulátor pro pokrývání nočních spotřeb. Dalším tepelným zdrojem je kogenerační jednotka TEDOM Quanto 800 o tepelném výkonu 952 kW.



Obr. 17 - Poměr zdrojů tepla pro variantu B



Obr. 18 - Měsíční výstup elektrické energie z FV systému s pevným úhlem v oblasti areálu nemocnice při instalovaném elektrickém výkonu 4185,1 kWp [10]

Pro získání průměrných měsíčních výkonů fotovoltaických panelů jsem využila měsíční výstup energie z FV systému s pevným úhlem v oblasti areálu nemocnice (obr. 17) [10]. Vzhledem k tomu, že většina střech je plochých, umožňuje to ideální naklopení fotovoltaických panelů a to 35°. Výsledné průměrné měsíční výkony FVE lze pozorovat v tabulce 7.

Tabulka 7 - Průměrné měsíční výkony FVE při instalovaném elektrickém výkonu 4185,1 kWp

Měsíc	Měsíční výstup elektrické energie z FV systému [kWh] [10]	Průměrný měsíční tepelný výkon FVE [kW]
Leden	152176	200
Únor	220301	321
Březen	369483	487
Duben	509939	694
Květen	528641	696
Červen	544095	741
Červenec	563091	742
Srpen	525810	693
Září	443200	603
Říjen	327538	431
Listopad	175451	239
Prosinec	137192	181

Tabulka 8 - Zdroje tepla pro variantu B

Zdroje	Tepelný výkon [kW]
Kotel na biomasu	1700
Kotel na biomasu	1700
Fotovoltaická elektrárna	4101
Kogenerační jednotka TEDOM Quanto 800	952
Tepelný akumulátor	700

Tabulka 9 zobrazuje pokrytí průměrných okamžitých spotřeb tepla v jednotlivých měsících. Fotovoltaické panely jsou využívány po celý rok. V zimním období využíváno dodatečně jednoho kotle na biomasu. Při snižující se spotřebě tepla v přechodném období lze nahradit kotel kogenerační jednotkou. Vzhledem k tomu, že při použití fotovoltaických panelů pro získání tepla lze ohřev pomocí regulátoru přerušit, přebytečné teplo nebude mařeno.

Tabulka 9 - Tepelné bilance pro variantu B, průměrné spotřeby tepla

Měsíc	Období	Průměrná spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí průměrných spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí průměrných spotřeb tepla
1	Zimní období	1338,4	1900,4	FVE, 1 kotel
2		1139,9	1273,3	FVE, KGJ
3	Přechodné období	1107,8	1438,7	FVE, KGJ
4		707,4	1646,1	FVE, KGJ
5		492,3	696,3	FVE
6	Letní období	337,9	740,6	FVE
7		348,5	741,7	FVE
8		356,7	692,6	FVE
9	Přechodné období	450,0	603,2	FVE
10		704,2	1383,4	FVE, KGJ
11		956,6	1190,8	FVE, KGJ
12	Zimní období	1193,3	1880,7	FVE, 1 kotel

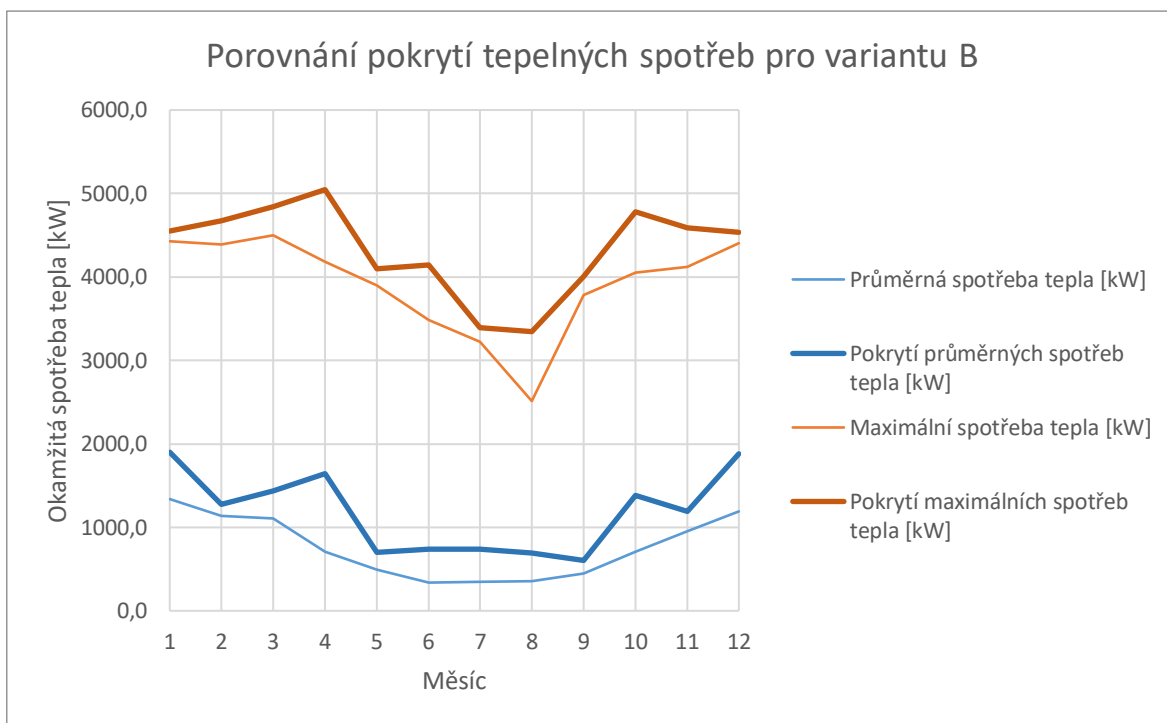
Tabulka 10 zobrazuje pokrytí maximálních okamžitých spotřeb tepla v jednotlivých měsících. I v tomto případě fotovoltaické panely neustále dodávají teplo po celý rok. V zimním a přechodném období jsou doplňovány oběma kotli na biomasu a v případě potřeby kogenerační jednotkou. V letním období lze odstavit jeden z větších zdrojů, tj. jeden kotel nebo kogenerační jednotku.

Obě tabulky jsou pro názornost a další srovnání znázorněny graficky (obr. 19).

Tabulka 10 - Tepelné bilance pro variantu B, maximální spotřeby tepla

Měsíc	Období	Maximální spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí maximálních spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí maximálních spotřeb tepla
1	Zimní období	4424,1	4552,4	FVE, 2 kotle, KGJ
2		4387,8	4673,3	FVE, 2 kotle, KGJ
3	Přechodné období	4499,1	4838,7	FVE, 2 kotle, KGJ
4		4182,8	5046,1	FVE, 2 kotle, KGJ
5		3900,4	4096,3	FVE, 2 kotle
6	Letní období	3486,3	4140,6	FVE, 2 kotle
7		3220,7	3393,7	FVE, 1 kotel, KGJ
8		2513,3	3344,6	FVE, 1 kotel, KGJ
9	Přechodné období	3779,9	4003,2	FVE, 2 kotle, KGJ
10		4049,4	4783,4	FVE, 2 kotle, KGJ
11		4117,8	4590,8	FVE, 2 kotle, KGJ
12	Zimní období	4404,1	4532,7	FVE, 2 kotle, KGJ

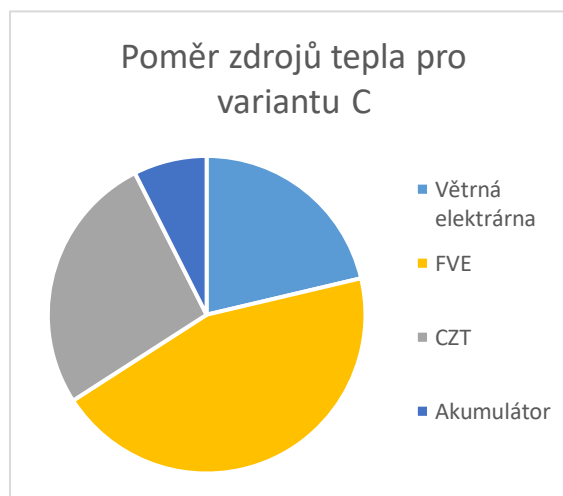
Mezi výhody tohoto řešení patří ekologičnost ve využití obnovitelných primárních energetických zdrojů, tím je myšleno pokrytí značné míry spotřeb tepla fotovoltaickými panely a kotlem na biomasu. Dotace na fotovoltaické panely, kotel na biomasu a kogenerační jednotku umožňují snížení vysokých investic. Nevýhodou bude nutná velká rozloha pro kotel a skladování paliva pro kotel. Fotovoltaické panely dodávají nepravidelnou dodávku tepla závislou na počasí, ale tento problém lze kompenzovat akumulátorem tepla a kotli na biomasu. Obzvláště v letním období mohou fotovoltaické panely dodávat více energie. V běžném zapojení fotovoltaických panelů pro ohřev tepla není možné přebytky převádět do elektrické sítě. Tento koncept je možný, ale není zvykem ho využívat.



Obr. 19 - Tepelné bilance pro variantu B

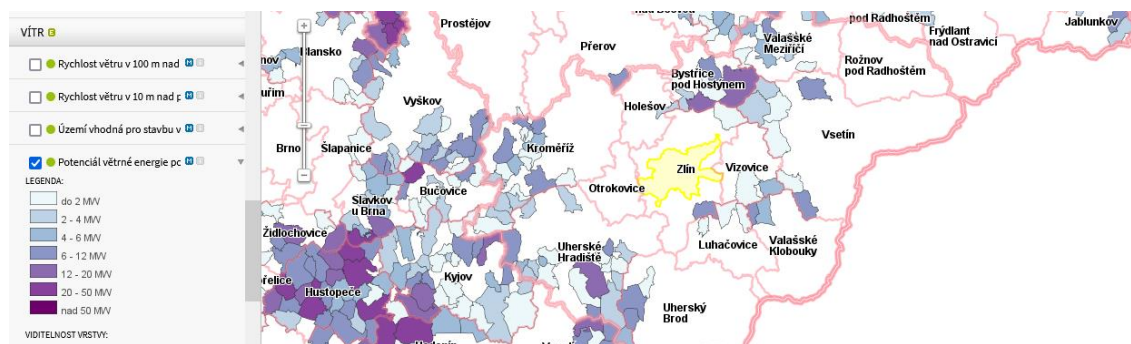
5.1.3 Varianta C

Ve variantě se sice zabývá lokálními zdroji tepla, ale už neuvažují ostrovní provoz. Potenciál větrné energie v blízkosti nemocnice je maximálně 2 – 4 MW (obr. 20) a pro tuto variantu pracuji s výkonem větrné elektrárny 2 MW pro částečné pokrytí spotřeb tepla (tabulka 9). Jako další zdroje tepla uvažují fotovoltaické panely umístěné na střechách objektů o celkové ploše 25559 m² s výkonem 4101 kWp (kilowatt-peak) a připojení k systému centrálního zásobování teplem pro pokrytí zbývajících potřeb tepla (viz tabulka 9). Akumulátor tepla plní v této variantě stejnou funkci jako ve variantě B.



Obr. 20 - Poměr zdrojů tepla pro variantu C

Lokální zdroj tepla a elektřiny v komunálním energetickém systému



Obr. 21 - Potenciál větrné energie [11]

Tabulka 11 - Zdroje tepla pro variantu C

Zdroje	Tepelný výkon [kW]
Větrná elektrárna	2000
Fotovoltaická elektrárna	2300
Systém centrálního zásobování teplem	2500
Akumulátor tepla	700

Tabulka 12 znázorňuje pokrytí průměrných okamžitých spotřeb tepla. Fotovoltaické panely jsou využity neustále po celý rok, stejně jako v předchozí variantě. Větrná elektrárna dodává energii v zimním a části přechodného období, kdy tepelné spotřeby převyšují výkon fotovoltaických panelů.

Tabulka 12 – Tepelné bilance pro variantu C, průměrné spotřeby tepla

Měsíc	Období	Průměrná spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí průměrných spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí průměrných spotřeb tepla
1	Zimní období	1338,4	2200,4	Větrná elektrárna, FVE
2		1139,9	2321,3	Větrná elektrárna, FVE
3	Přechodné období	1107,8	2486,7	Větrná elektrárna, FVE
4		707,4	2694,1	Větrná elektrárna, FVE
5		492,3	696,3	FVE
6	Letní období	337,9	740,6	FVE
7		348,5	741,7	FVE
8		356,7	692,6	FVE
9	Přechodné období	450,0	603,2	FVE
10		704,2	2431,4	Větrná elektrárna, FVE
11		956,6	2238,8	Větrná elektrárna, FVE
12	Zimní období	1193,3	2180,7	Větrná elektrárna, FVE

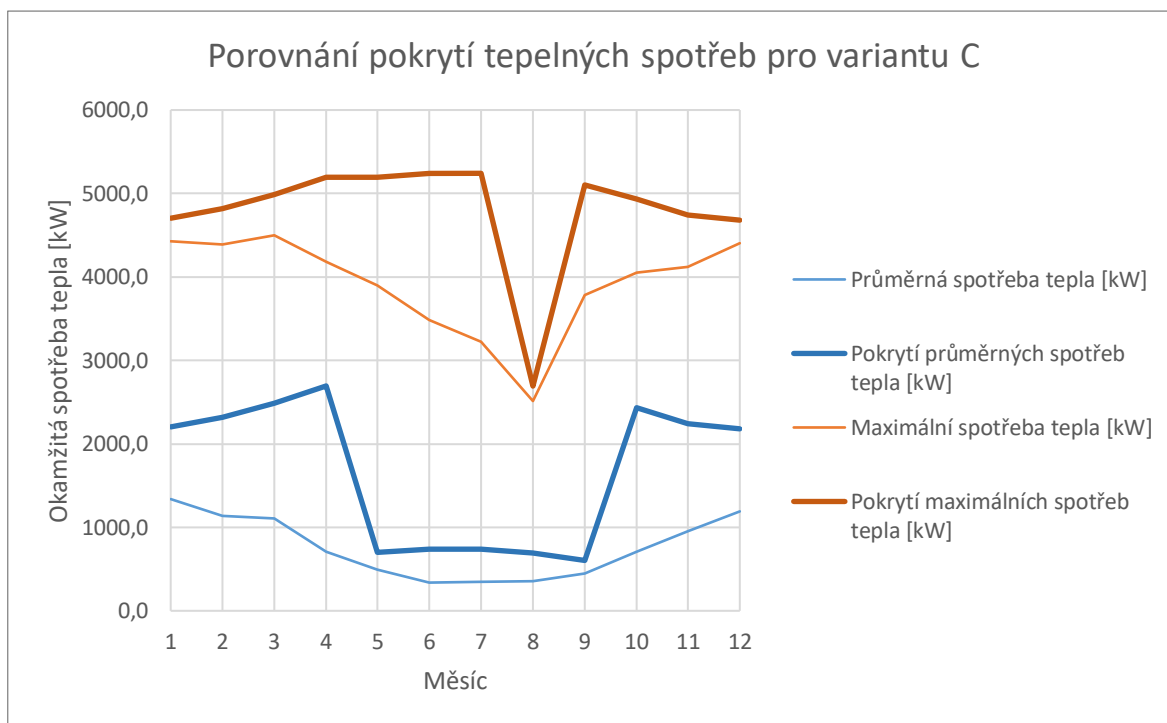
Tabulka 13 znázorňuje pokrytí maximálních okamžitých spotřeb tepla. Pro tyto spotřeby fotovoltaické panely i větrná elektrárna dodávají energii po celý rok a nedostačující výkon je doplňován ze systému centralizovaného zásobování teplem.

Obě tabulky jsou pro názornost a další srovnání znázorněny graficky (obr. 22).

Tabulka 13 – Tepelné bilance pro variantu C, maximální spotřeby tepla

Měsíc	Období	Maximální spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí maximálních spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí maximálních spotřeb tepla
1	Zimní období	4424,1	4704,5	FVE, větrná elektrárna, CZT
2		4387,8	4827,8	FVE, větrná elektrárna, CZT
3	Přechodné období	4499,1	4996,6	FVE, větrná elektrárna, CZT
4		4182,8	5208,2	FVE, větrná elektrárna, CZT
5		3900,4	5210,5	FVE, větrná elektrárna, CZT
6	Letní období	3486,3	5255,7	FVE, větrná elektrárna, CZT
7		3220,7	5256,8	FVE, větrná elektrárna, CZT
8		2513,3	2706,7	FVE, větrná elektrárna
9	Přechodné období	3779,9	5115,6	FVE, větrná elektrárna, CZT
10		4049,4	4940,2	FVE, větrná elektrárna, CZT
11		4117,8	4743,7	FVE, větrná elektrárna, CZT
12	Zimní období	4404,1	4684,4	FVE, větrná elektrárna, CZT

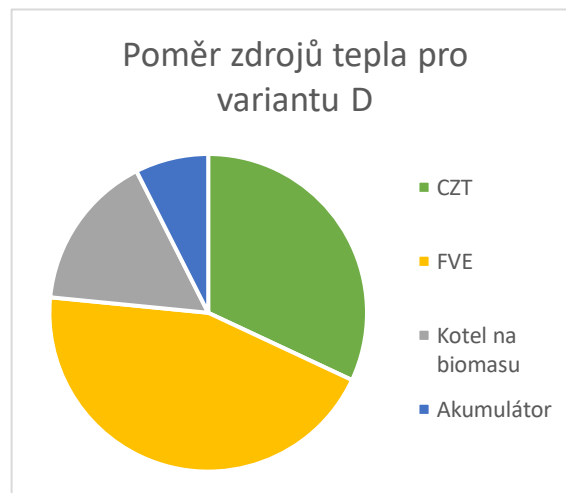
Mezi výhody této varianty lze zařadit využití obnovitelných primárních energetických zdrojů v případě fotovoltaických panelů a větrné elektrárny. Další výhodou je existující napojení systému centrálního zásobování teplem. Výraznou nevýhodou je závislost na proměnlivých nespolehlivých zdrojích, jako je vítr a sluneční záření. Při nejméně příznivých podmínkách, např. zima, noc a bezvětří, mohou být uloženy smluvní sankce vůči odběrateli za převýšení dohodnutých 2,5 MW.



Obr. 22 - Tepelná bilance pro variantu C

5.1.4 Varianta D

Varianta D řeší kombinaci lokálních zdrojů tepla s využitím systému centrálního zásobování teplem. Jako další zdroje jsou zvoleny fotovoltaické panely umístěné na střechách objektů o celkové ploše 25559 m² s tepelným výkonem 4101 kW_p, kotel na biomasu o výkonu 1500 kW a akumulátor tepla na 700 kW (viz tabulka 14). V této variantě plní akumulátor tepla stejnou úlohu jako v předchozích. Na rozdíl od předchozích variant, se v této variantě snažím kombinovat spolehlivější zdroje tepla, jako systém centrálního zásobování teplem a kotel na biomasu, se zdroji méně spolehlivými, jako jsou fotovoltaické panely.



Obr. 23 - Poměr zdrojů tepla pro variantu D

Tabulka 14 - Zdroje tepla pro variantu D

Zdroje	Tepelný výkon [kW]
Systém centrálního zásobování teplem	3000
Fotovoltaická elektrárna	4101
Kotel na biomasu	1500
Akumulátor	700

Tabulka 15 znázorňuje pokrytí průměrných okamžitých spotřeb tepla v jednotlivých měsících. Podobně jako v předchozích variantách zde fotovoltaické panely dodávají energii v průběhu celého roku. V zimním a části přechodného období jsou doplněné kotlem na biomasu. Regulátor fotovoltaických panelů umožňuje přerušování provozu při ohřevu vody na požadovanou teplotu.

Tabulka 15 - Tepelné bilance pro variantu D, průměrné spotřeby tepla

Měsíc	Období	Průměrná spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí průměrných spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí průměrných spotřeb tepla
1	Zimní období	1338,4	1700,4	FVE, kotel na biomasu
2		1139,9	1821,3	FVE, kotel na biomasu
3	Přechodné období	1107,8	1986,7	FVE, kotel na biomasu
4		707,4	2194,1	FVE, kotel na biomasu
5		492,3	696,3	FVE
6	Letní období	337,9	740,6	FVE
7		348,5	741,7	FVE
8		356,7	692,6	FVE
9	Přechodné období	450,0	603,2	FVE
10		704,2	1931,4	FVE, kotel na biomasu
11		956,6	1738,8	FVE, kotel na biomasu
12	Zimní období	1193,3	1680,7	FVE, kotel na biomasu

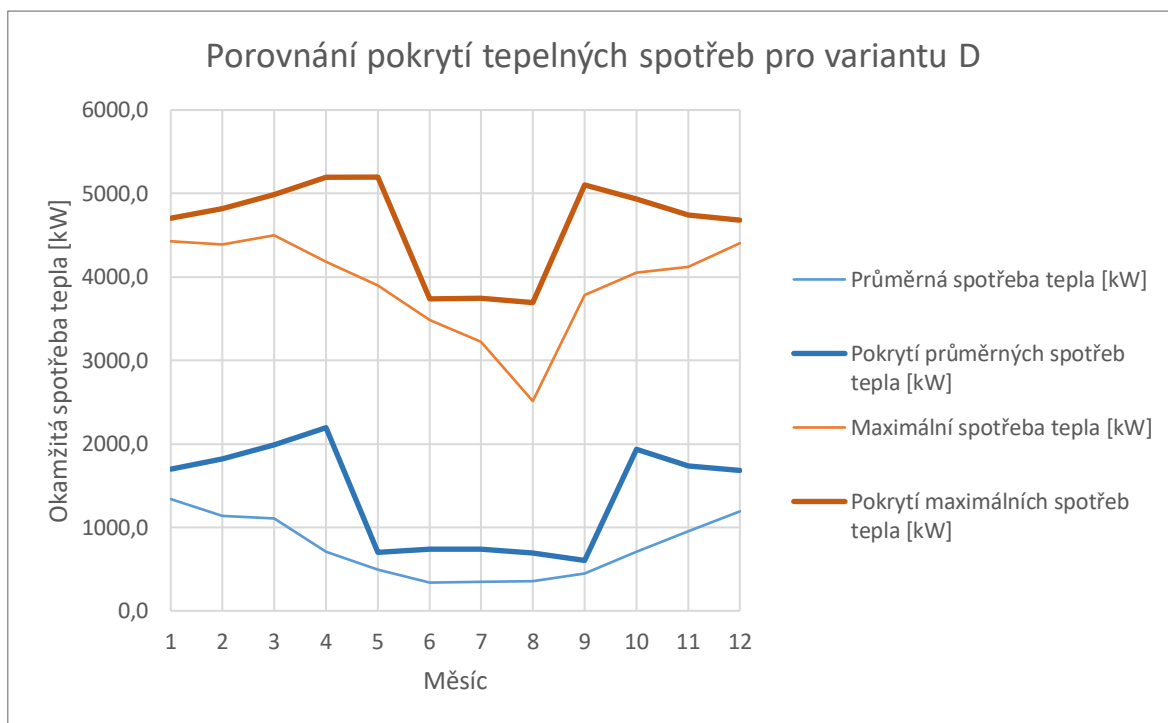
Tabulka 16 znázorňuje pokrytí maximálních okamžitých spotřeb v průběhu roku. Fotovoltaické panely jsou v provozu po celý rok a jsou doplněné kotlem na biomasu během zimního a přechodného období. Nedostačující dodávku tepla zajišťuje systém centrálního zásobování teplem. Výjimkou je letní období, kdy dodávka tepla je zajištěna fotovoltaickými panely a doplněna systémem centrálního zásobování teplem.

Obě tabulky jsou pro názornost a další srovnání znázorněny graficky (obr. 24).

Tabulka 16 - Tepelné bilance pro variantu D, maximální spotřeby tepla

Měsíc	Období	Maximální spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí maximálních spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí maximálních spotřeb tepla
1	Zimní období	4424,1	4704,5	FVE, kotel na biomasu, CZT
2		4387,8	4827,8	FVE, kotel na biomasu, CZT
3	Přechodné období	4499,1	4996,6	FVE, kotel na biomasu, CZT
4		4182,8	5208,2	FVE, kotel na biomasu, CZT
5		3900,4	5210,5	FVE, kotel na biomasu, CZT
6	Letní období	3486,3	3755,7	FVE, CZT
7		3220,7	3756,8	FVE, CZT
8		2513,3	3706,7	FVE, CZT
9	Přechodné období	3779,9	5115,6	FVE, kotel na biomasu, CZT
10		4049,4	4940,2	FVE, kotel na biomasu, CZT
11		4117,8	4743,7	FVE, kotel na biomasu, CZT
12	Zimní období	4404,1	4684,4	FVE, kotel na biomasu, CZT

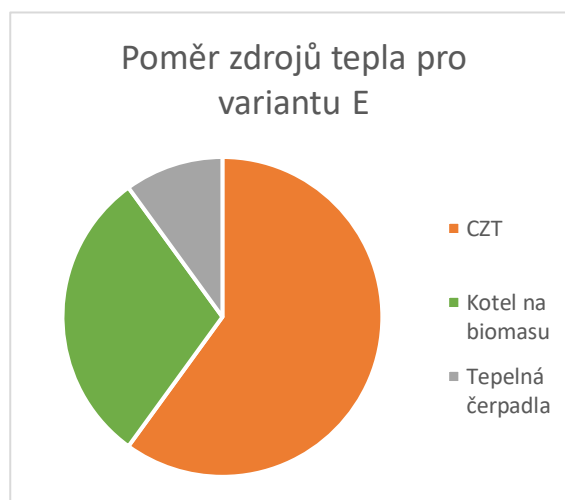
Výhodou této varianty je využití obnovitelných energetických zdrojů v případě fotovoltaických panelů. Kotel na biomasu je zdrojem ekologicky šetrným k prostředí. Napojení na systém centrálního zásobování teplem již v areálu existuje. Tato varianta sice využívá proměnlivého zdroje, jako je sluneční záření, ale v případě výpadku tohoto zdroje si vystačí s kotlem na biomasu a systémem centrálního zásobování teplem. Nevýhodou by mohla být vysoká investice, ale ta může být snížena pomocí dotací na fotovoltaické panely a kotel na biomasu. Další nevýhodou by mohla být velká rozloha nutná pro umístění kotle a skladování paliva



Obr. 24 - Tepelné bilance pro variantu D

5.1.5 Varianta E

Ve variantě E se vracím k využití tepelných čerpadel, ale na tentokrát pouze v podobě použití lokálních tepelných zdrojů společně se systémem centrálního zásobování teplem. Využívám dohromady tři tepelných čerpadel, dvou o výkonu 200 kW a jednoho o výkonu 100 kW. Jako další zdroj používám kotel na biomasu o výkonu 1500 kW. Veškeré zdroje jsou uvedené v tabulce 17.



Obr. 25 - Poměr zdrojů tepla pro variantu E

Tabulka 17 - Zdroje tepla pro variantu E

Zdroje	Tepelný výkon [kW]
Systém centrálního zásobování teplem	3000
Kotel na biomasu	1500
Tepelné čerpadlo 200 kW	200
Tepelné čerpadlo 200 kW	200
Tepelné čerpadlo 100 kW	100

Tabulka 18 znázorňuje pokrytí průměrných okamžitých spotřeb tepla. Během zimního a přechodného období je tepelná spotřeba pokryta kotlem na biomasu. Od května do září je tepelná spotřeba pokrytá kombinací tepelných čerpadel, tzn. tehdy, kdy mají největší výkon.

Tabulka 18 - Tepelné bilance pro variantu E, průměrné spotřeby tepla

Měsíc	Období	Průměrná spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí průměrných spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí průměrných spotřeb tepla
1	Zimní období	1338,4	1500	Kotel na biomasu
2		1139,9	1500	Kotel na biomasu
3	Přechodné období	1107,8	1500	Kotel na biomasu
4		707,4	1500	Kotel na biomasu
5		492,3	500	TČ 2x200 kW, TČ 1x100 kW
6	Letní období	337,9	400	TČ 2x200 kW
7		348,5	400	TČ 2x200 kW
8		356,7	400	TČ 2x200 kW
9	Přechodné období	450,0	500	TČ 2x200 kW, TČ 1x100 kW
10		704,2	1500	Kotel na biomasu
11		956,6	1500	Kotel na biomasu
12	Zimní období	1193,3	1500	Kotel na biomasu

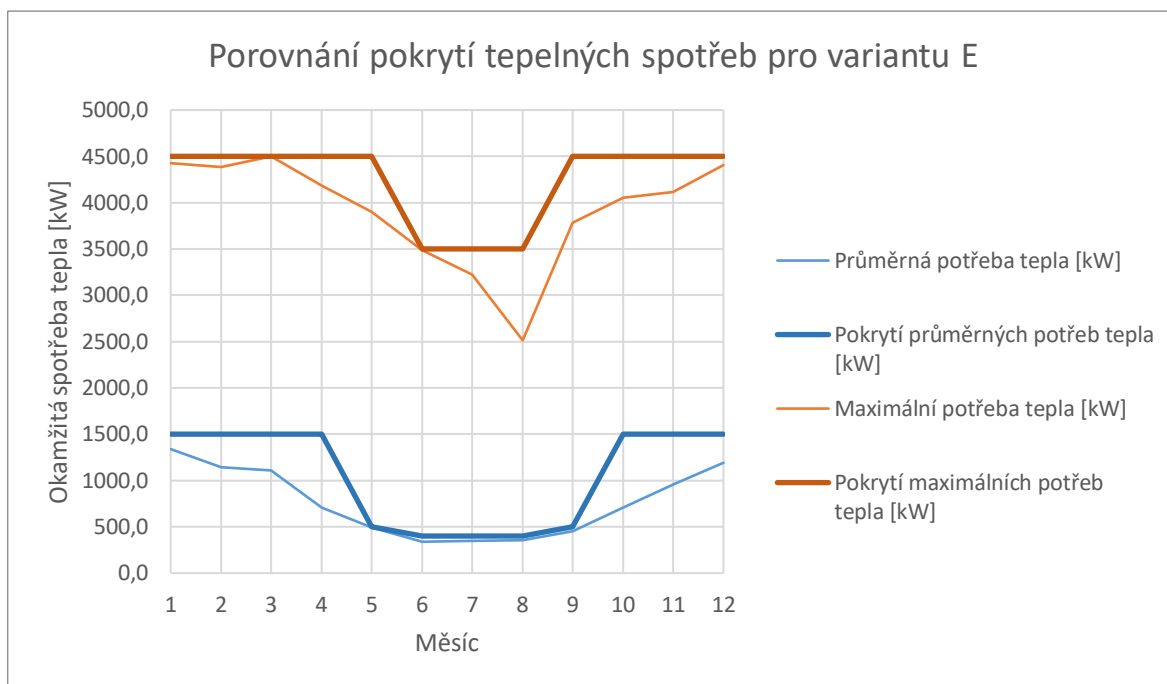
Pro případ maximálních okamžitých spotřeb tepla je po zimní a přechodné období v provozu kotel na biomasu a doplněn systémem centrálního zásobování teplem. Zde by bylo možné přes přechodní období využívat tepelných čerpadel a o to méně využívat teplo ze systému centrálního zásobování teplem. V letním období už není zapotřebí pokrývat spotřebu tepla kotlem na biomasu a zůstávají pouze tepelná čerpadla a systém centrálního zásobování teplem.

Obě tabulky jsou pro názornost a další srovnání znázorněny graficky (obr. 26).

Tabulka 19 - Tepelné bilance pro variantu E, maximální spotřeby tepla

Měsíc	Období	Maximální spotřeba tepla v měsíci [kW]	Pokrytí maximálních spotřeb tepla [kW]	Použité zdroje pro pokrytí maximálních spotřeb tepla
1	Zimní období	4424,1	4500	Kotel na biomasu, CZT
2		4387,8	4500	Kotel na biomasu, CZT
3	Přechodné období	4499,1	4500	Kotel na biomasu, CZT
4		4182,8	4500	Kotel na biomasu, CZT
5		3900,4	4500	Kotel na biomasu, CZT
6	Letní období	3486,3	3500	CZT, TČ 2x200 kW, TČ 1x100 kW
7		3220,7	3500	CZT, TČ 2x200 kW, TČ 1x100 kW
8		2513,3	3500	CZT, TČ 2x200 kW, TČ 1x100 kW
9	Přechodné období	3779,9	4500	Kotel na biomasu, CZT
10		4049,4	4500	Kotel na biomasu, CZT
11		4117,8	4500	Kotel na biomasu, CZT
12	Zimní období	4404,1	4500	Kotel na biomasu, CZT

Výhodou tohoto řešení je použití ekologického zdroje tepla v podobě kotle na biomasu, který umožňuje dodávku tepla v průběhu celého roku. V případě nízkého odběru, obzvláště v letním období je možné využívat tepelných čerpadel a kotel není nutný. Vysokou cenu investice mohou snížit dotace na tepelná čerpadla a kotel na biomasu. Systém centrálního zásobování teplem zajišťuje dodávku tepla v případě, že by kotel a tepelná čerpadla byly nedostačující. Nevýhodou může být velká rozloha nutná pro kotel na biomasu a skladování paliva.



Obr. 26 - Tepelné bilance pro variantu E

5.1.6 Výběr varianty

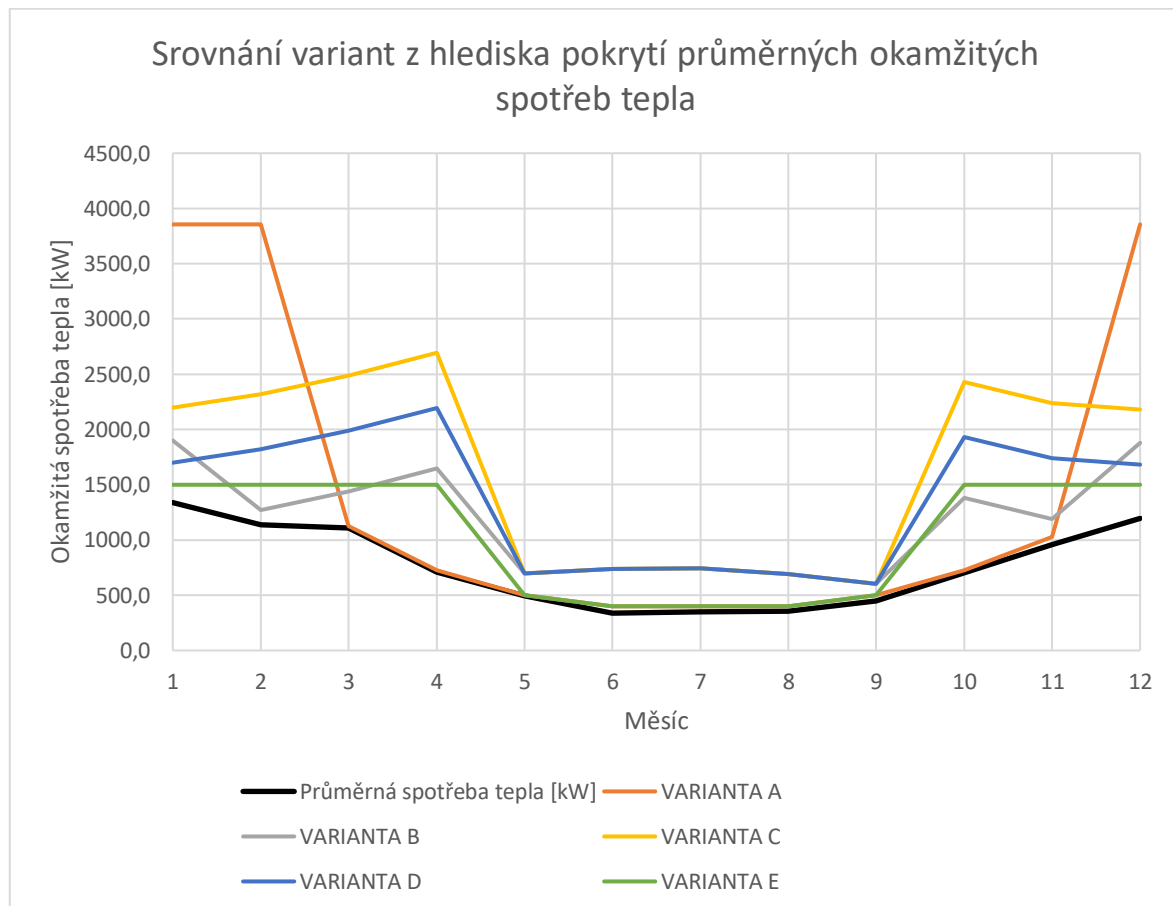
Pro další návrh lokálních zdrojů tepla je nutné posoudit, která z variant bude nejvhodnější. První hledisko, ze kterého budu varianty posuzovat, je hledisko využívaných zdrojů (viz tabulka 20). Je patrné, že varianta A je příliš závislá na dodávce zemního plynu pro kogenerační jednotky. Vzhledem k tomu, že záložní zdroj tepla rovněž využívá zemního plynu, je tento fakt nežádoucí. Varianta C je závislá přes 50 % na proměnlivých nespolehlivých zdrojích tepla. Varianty B, D a E se zdají být oproti ostatním variantám z tohoto hlediska v pořádku. Varianty A a B pracují s ostrovním provozem, tj. odpojením areálu nemocnice od systému centrálního zásobování teplem.

Tabulka 20 - Srovnání variant na základě využívaných zdrojů

Varianta		A	B	C	D	E
Využití zdroje [%]	Kogenerační jednotky	90,2	11,3	0,0	0,0	0,0
	Tepelná čerpadla	9,8	0,0	0,0	0,0	10,0
	Kotle na biomasu	0,0	40,2	0,0	17,4	30,0
	Fotovoltaické panely	0,0	48,5	47,7	47,7	0,0
	Centrální zásobování teplem	0,0	0,0	29,1	34,9	60,0
	Větrná elektrárna	0,0	0,0	23,3	0,0	0,0

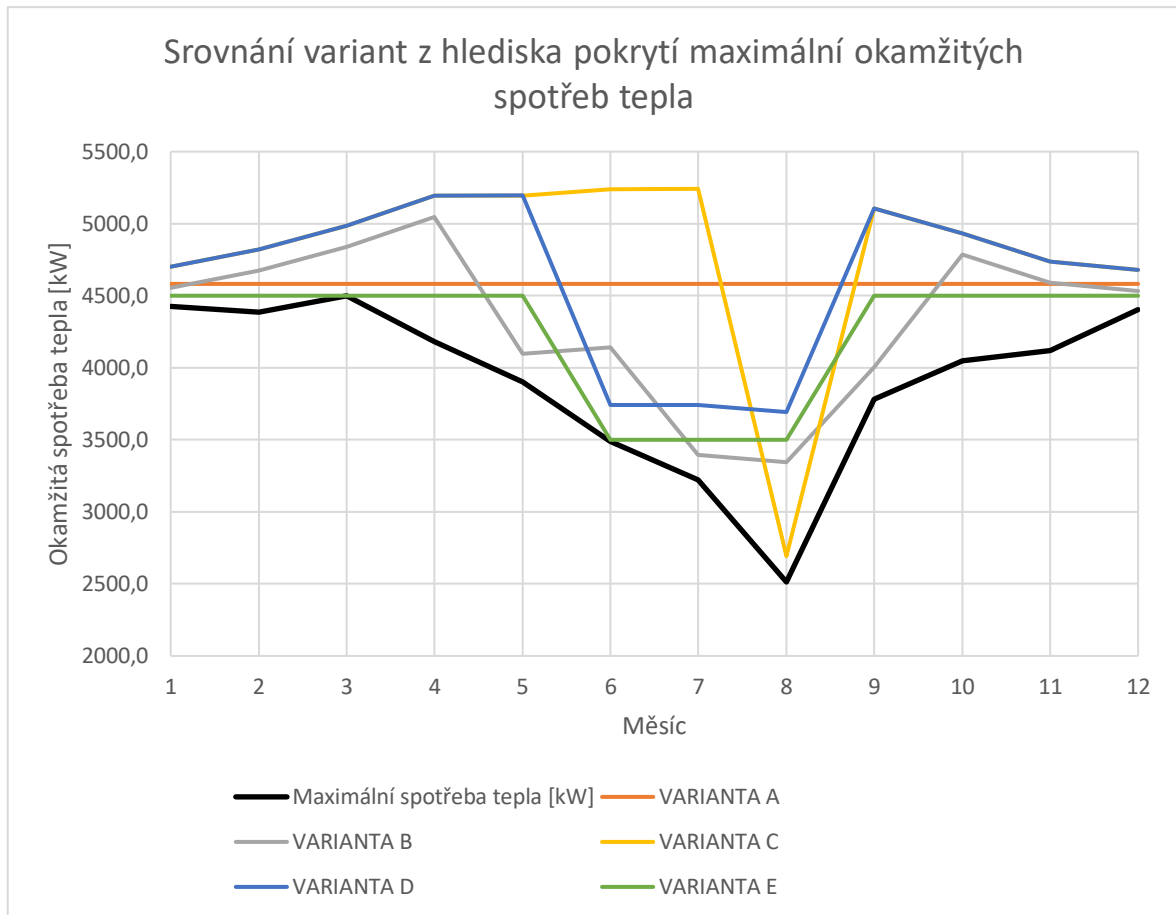
Dalším kritériem ke srovnávání je kritérium pokrytí průměrných okamžitých spotřeb tepla. K tomuto srovnání poslouží obr. 26. V letním období se všechny křivky silně blíží ke křivce

spotřeb, až na křivku varianty D. Vzhledem k tomu, že ve variantě D je pro letní období využito fotovoltaických panelů, nebude teplo mařeno, tím pádem by se tato křivka měla také blížit ke křivce spotřeb. V zimním a přechodném období se nejvíce blíží křivky variant B a E. Varianty C, D a E pracují se systémem centrálního zásobování teplem a přebytečné teplo mohou ze systému neodebírat, popř. posílat zpět.



Obr. 27 - Srovnání variant z hlediska pokrytí průměrných okamžitých spotřeb tepla

Kritérium pokrytí maximálních okamžitých spotřeb je podobné jako předchozí a je znázorněno na obr. 27. Nejblíže k maximální okamžité spotřebě ve srpnu se dostane varianta C. V průběhu celého roku se nejvíce k maximální okamžité spotřebě přiblíží varianta E. Varianty C, D a E pracují se systémem centrálního zásobování teplem, tím pádem v těchto případech nedochází k marnění tepla.



Obr. 28 – Srovnání variant z hlediska pokrytí maximálních okamžitých spotřeb tepla

Pro účel ostrovních zdrojů tepla je nejvhodnější varianta B, která využívá tepelných zdrojů, jako jsou kogenerační jednotky, kotle na biomasu a fotovoltaické panely. Na veškeré tyto zdroje lze získat dotace a tím snížit vysoké investice. Kotle na biomasu a fotovoltaické panely jsou ekologicky šetrným zdrojem tepla. Křivky pro pokrytí průměrných okamžitých spotřeb a maximální okamžitých spotřeb se přivětivě blíží ke skutečným spotřebám, i když pro zamezení marnění tepla je zapotřebí škrcení kogeneračních jednotek.

Pro účel zvolení pouze lokálních zdrojů tepla je nejvhodnější varianta E, která využívá systému centrálního zásobování teplem pro pokrytí maximálně 60 % tepelných spotřeb. Jako lokálních zdrojů využívá tepelných čerpadel a kotlů na biomasu. Na tepelná čerpadla i kotle je možné získat dotace a tím snížit vysoké investice. Tím, že je v této variantě zdrojů méně než ve variantě B, bude pravděpodobně tato varianta z hlediska počátečních investic levnější.

Rozhodla jsem se pokračovat s variantou B. Z technického hlediska se jedná o zajímavější variantu, i když je oproti variantě E ekonomicky náročnější.

5.2 SITUAČNÍ VÝKRES

Tato kapitola obsahuje situační výkresy a jejich popis pro varianty uvedené v předchozí kapitole. Jako zdroje k vytvoření situačního výkresu jsem využila schéma OPS [11] a mapu rozvodů tepla ve Zlíně (obr. 29). Systém centrálního zásobování teplem je konstruován a může být provozován jako horkovodní, tedy 130/70 °C, PN25. Využila jsem stávajících rozvodů tepla označených modrou linkou na obr. 15 a na tyto rozvody jsem napojila objektové předávací stanice. Objektové předávací stanice rozvádí dále teplo do různých objektů, např. OPS 17 rozvádí teplo do objektů 16 a 17 (viz situační výkresy jednotlivých variant). Potrubí pro rozvod tepla z objektových předávacích stanic do objektů je použito PN16 a je provozováno stejně jako systém centrálního zásobování teplem na 130/70 °C.



Obr. 29 - Mapa rozvodů tepla Zlín [13]

Tabulka 21 - Tepelné zdroje zvolené varianty

Zdroje	Tepelný výkon [kW]
Kotel na biomasu	1700
Kotel na biomasu	1700
Fotovoltaická elektrárna	4101
Kogenerační jednotka TEDOM Quanto 800	952
Tepelný akumulátor	700

Zpracovaný situační výkres lze nalézt v příloze (Příloha 1, Příloha 2). Tabulka 21 znovu pro přehlednost uvádí uvažované zdroje. Na střechách o celkové rozloze 25559 m² jsou umístěny fotovoltaické panely s celkovým tepelným výkonem 4101 kW. Fotovoltaické panely lze pozorovat na obou listech situačního výkresu. Kotle na biomasu jsou umístěny v blízkosti objektu 27. Prostor pro skladování paliva pro kotle na biomasu a krytý pásový dopravník jsou umístěny v blízkosti objektu 29. Dopravní cesty paliva využívají zadní vrátnice areálu nemocnice. V objektu 29 se nachází záložní plynový kotel a je umístěna kogenerační jednotka TEDOM Quanto 800 z důvodu napojení na zemní plyn. Tepelný akumulátor je umístěn poblíž objektu 24. Spalovací motory jsou také umístěny nedaleko objektu 24. Přesto, že ve vybrané variantě uvažují odpojení od systému centrálního zásobování teplem, uvádím na výkrese předávací místo.

5.3 TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA „PIPE & INSTRUMENTATION DIAGRAM“

K této variantě jsem taktéž vypracovala technologické schéma na úrovni „Pipe & Instrumentation Diagram“, viz Příloha 3. Z důvodu velikosti přílohy zde neuvádím náhled.

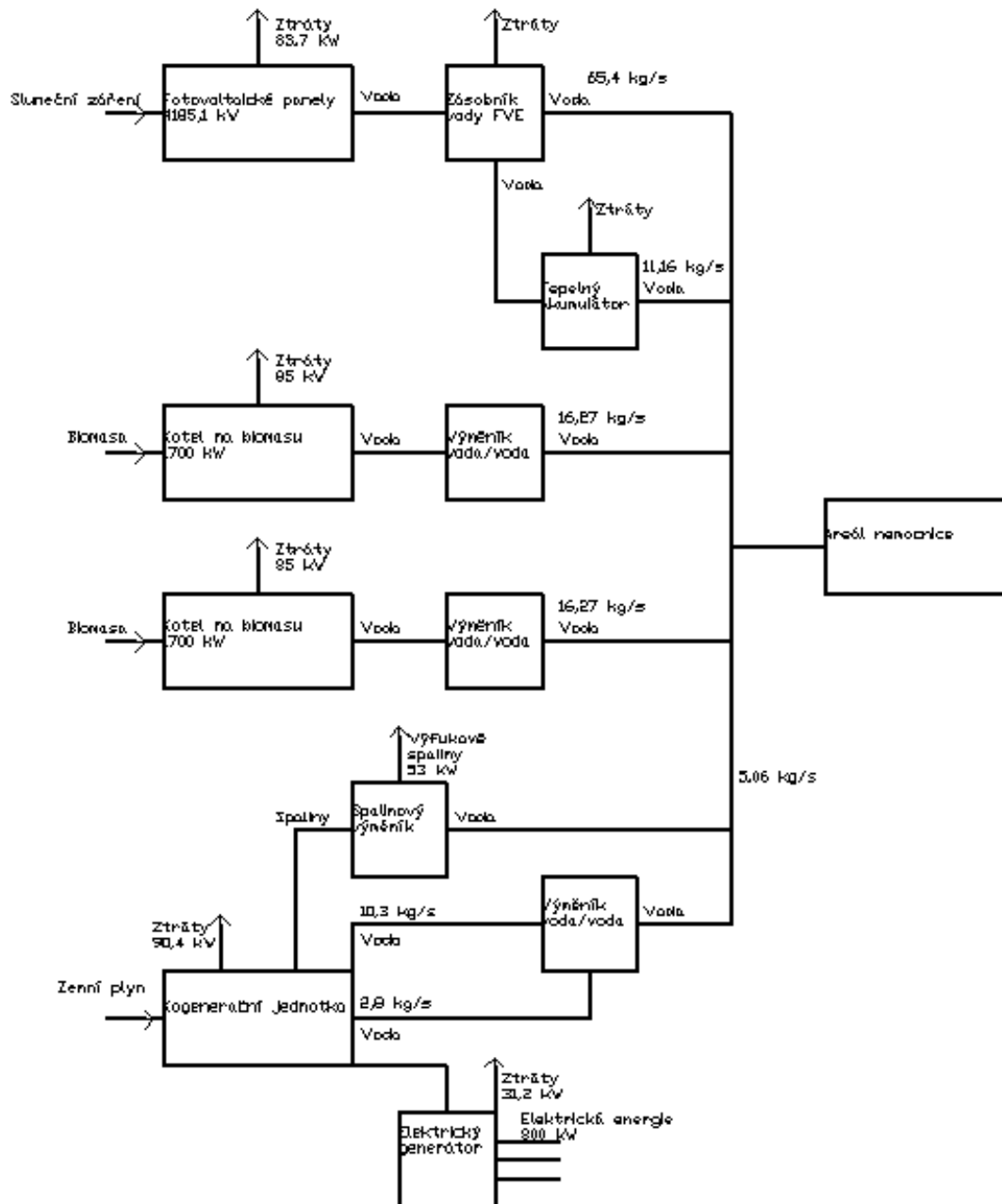
Schéma obsahuje veškeré zdroje zmíněné ve vybrané variantě, a to včetně zdrojů záložních, které se v areálu nemocnice již nacházejí. Schéma také obsahuje připojovací stanici pro systém centrálního zásobování teplem, který je ale pro tuto variantu odpojen. Dále lze na schématu nalézt připojovací stanici na zemní plyn pro kogenerační jednotku a plynový kotel.

Na větvích pro zdroje se nachází čerpadla, měření tlaku před a za čerpadlem a uzavírací ventily před a za čerpadlem pro možné odpojení zdrojů. Plynový kotel se nachází na stejné větvi jako kogenerační jednotka kvůli blízkému umístění a napojení na zemní plyn. Zásobník vody u fotovoltaických panelů je napojen na akumulátor tepla, který umožňuje využívání tepla během méně příznivých podmínek pro fotovoltaické panely. Regulační ventily na jednotlivých větvích pro lokální zdroje umožňují regulaci výstupní teploty.

5.4 TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA „POWER AND FLOW DIAGRAM“

Pro vybrané technické řešení jsem zpracovala schéma energetických toků na úrovni „Power and Flow Diagram“ (obr. 30). Fotovoltaické panely přeměňují energii ze slunečního záření na elektrickou energii a tu následně přeměňují s účinností 98 % na tepelnou energii. Tepelná energie dál putuje přes tepelný výměník voda/voda do areálu nemocnice. Kotel na

biomasu čerpá energii z paliva spalováním a dále tuto energii předává přes výměník voda/voda do areálu nemocnice. Energetické toky kogenerační jednotky byly popsány v kapitole 2.3.



Obr. 30 - Schéma na úrovni "Power and Flow diagram"

5.5 VÝPOČET PRACOVNÍCH CYKLŮ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Pro výpočet pracovních cyklů kogenerační jednotky jsem použila Ottův oběh. Vstupní teplota do kompresoru je 20 °C a vstupní tlak je 10 kPa. Je mi známa také hodnota teploty spalin z expanzní turbíny a to 426 °C. Pro pracovní látku jsem použila Poissonovu konstantu $\kappa = 1,34$ [14]. Střední molová hmotnost zemního plynu je

$$M_{zp} = 16,4 \text{ kg/kmol.}$$

Z toho měrná plynová konstanta je

$$r_{zp} = \frac{R}{M_{zp}} = 506,95 \text{ J/kg} \cdot \text{K.}$$

Dále jsem spočítala měrné tepelné kapacity pro stálý tlak a objem:

$$c_p = \frac{\kappa \cdot r_{zp}}{\kappa - 1} = 1997,98 \text{ J/kg} \cdot \text{K,}$$

$$c_v = \frac{r_{zp}}{\kappa - 1} = 1491,03 \text{ J/kg} \cdot \text{K.}$$

Pro výpočty p_2 a T_2 jsem použila vztahy pro adiabatickou kompresi. Kompresní poměr je 13:1.

$$p_2 = p_1 \varepsilon^\kappa = 310,95 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} = 701,18 \text{ K}$$

Pro výpočet T_3 jsem použila vztah pro adiabatickou expanzi.

$$T_3 = T_4 \varepsilon^{\kappa-1} = 1672,29 \text{ K}$$

Hodnotu p_3 jsem stanovila ze vztahu pro izochorický přívod tepla.

$$p_3 = p_2 \frac{T_3}{T_2} = 741,6 \text{ kPa}$$

Hodnotu p_4 jsem stanovila ze vztahu pro adiabatickou expanzi.

$$p_4 = p_3 \varepsilon^{-\kappa} = 23,85 \text{ kPa}$$

Dále jsem stanovila rozdíl měrných entropií podle:

$$s_3 - s_2 = c_v \cdot \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) = 1295,98 \text{ J/kg} \cdot \text{K}.$$

Vypočítala jsem teplo přivedené a teplo odvedené.

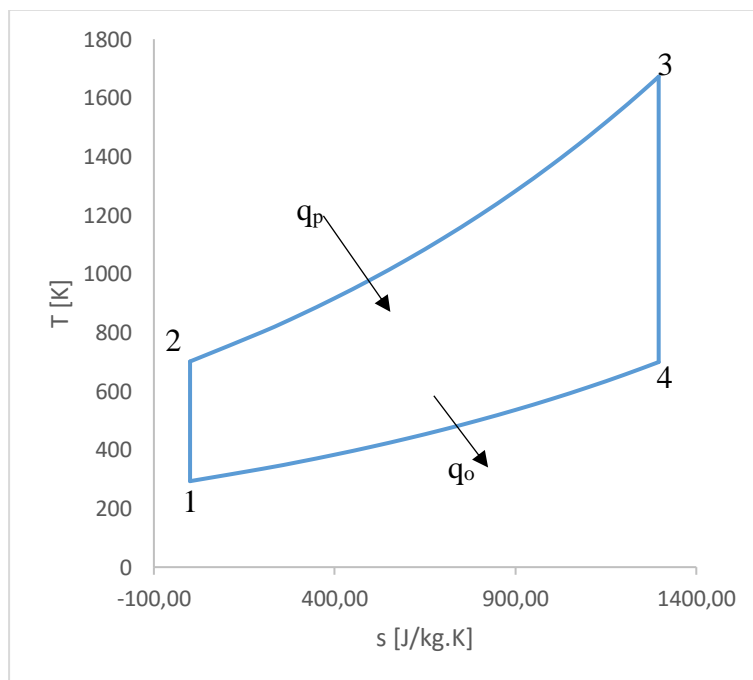
$$q_p = c_v(T_3 - T_2) = 1447029,71 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$q_o = c_v(T_1 - T_4) = -605358,18 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Z těchto hodnot jsem mohla modelovat T-s diagram (obr. 31). Nakonec jsem vypočetla práci oběhu a termickou účinnost:

$$w_o = q_p - |q_o| = 841671,53 \text{ J/kg}$$

$$\eta_T = \frac{q_p - |q_o|}{q_p} = 0,5817 = 58,17 \%$$



Obr. 31 - T-s diagram pracovního cyklu kogenerační jednotky

6 ZÁVĚR

V této práci jsem zpracovala rešerši energetických zdrojů vhodných pro provoz areálu velké nemocnice. Stanovila jsem spotřeby tepla pro tuto nemocnici a spotřeby jsem vynesla do grafu. Na tyto spotřeby jsem navrhla různé kombinace lokálních zdrojů tepla, jako pro ostrovní provoz nemocnice, tak i pro spolupráci se systémem centrálního zásobování teplem. Z těchto kombinací se zdály nejpřívětivější varianty B a E.

Varianta B uvažuje ostrovní provoz nemocnice, tedy odpojení od systému centrálního zásobování teplem. Zdroje pro tuto variantu jsou fotovoltaické panely umístěné na celkové ploše 25559 m² na střechách objektů nemocnice, dva kotle na spalování biomasy a kogenerační jednotka.

Pro variantu E jsem uvažovala částečné čerpání tepla ze systému centrálního zásobování teplem doplněné tepelnými čerpadly a kotlem na biomasu. Přesto, že varianta E mohla být ekonomicky přívětivější, jsem pracovala s variantou B, která umožňuje ostrovní provoz nemocnice a je technicky zajímavější.

Vzhledem k tomu, že varianta B využívá kogenerační jednotky, která je nejenom tepelným zdrojem, ale i zdrojem elektřiny, je na místě zhodnotit elektrickou bilanci. Kogenerační jednotka umožňuje elektrický výkon 800 kW. Minimální elektrický výkon v nemocnici je 570 kW a maximální elektrický výkon 1881 kW [8]. Kogenerační jednotka může pokrývat tedy část elektrické spotřeby areálu nemocnice a zbytek spotřeb může být pokrýván ze sítě.

Pro variantu B jsem následně vytvořila situační výkres zásobování areálu nemocnice tepla (Příloha 1, Příloha 2), kde jsem umístila veškeré zdroje včetně záložních. Dále jsem vytvořila diagramy „Pipe and Instrumentation Diagram“ (Příloha 3) a „Power and Flow Diagram“.

Nakonec jsem zpracovala pracovní cykly uvažované kogenerační jednotky na základě Ottova oběhu. Ostatní tepelné zdroje používají jako teplonosnou látku vodu, která se v T-s diagramu pohybuje pouze v oblasti kapaliny. Z tohoto důvodu jsem nezpracovávala pracovní cykly ostatních zdrojů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Národní energetický mix — Čeština. [online]. Copyright © OTE, a.s., 2018 [cit. 12.04.2021]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [2] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-026-1.
- [3] Tepelná čerpadla – AE-Energie s.r.o. – levně topí, chladí, myje. *Tepelná čerpadla, solární systémy, rekuperace Liberec* [online]. Dostupné z: <https://www.ae-energie.cz/tepelna-erpadla/>
- [4] J. E. Brumbaugh, „Audel HVAC Fundamentals, Volume 3 : Air Conditioning, Heat Pumps and Distribution Systems,“ John Wiley & Sons, Incorporated, 2004.
- [5] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [6] Ohřev vody fotovoltaikou - CNE Czech Nature Energy, a. s.. *Hlavní strana - CNE Czech Nature Energy, a. s.* [online]. Copyright © 2021 [cit. 22.07.2021]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaiicke-systemy/ohrev-vody-fotovoltaikou/>
- [7] Jak vybrat kotel na biomasu? Před koupí zvažte tyto 3 faktory | KADRIA. *Kotle na tuhá paliva | KADRIA* [online]. Copyright © Copyrights Kadria s.r.o. [cit. 18.07.2021]. Dostupné z: <https://kadria-kotle.cz/kotel-na-biomasu/>
- [8] Soubor naměřených dat projektu THÉTA Technologické agentury České republiky, Lokální zdroj elektřiny a tepla v komunálním prostředí s možností ostrovního provozu, TK01030082. Datové uložení projektu. Datum měření: 31.3.2020
- [9] Podnebí Zlín - meteoblue. [online]. Copyright © 2006 [cit. 03.07.2021]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodel/led/zl%C3%ADn_%C4%8Cesko_3061370
- [10] JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. [online]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- [11] Restep.cz. *Restep.cz* [online]. Copyright © 2018 All Rights Reserved. [cit. 14.07.2021]. Dostupné z: <http://www.restep.cz/>
- [12] STRAKA, P. *Areál Krajské nemocnice Tomáše Bati a.s. – aktualizace k datu 12/2006, Schéma OPS*. 2015.
- [13] Tepelné hospodářství - Mapa rozvodů tepla - Teplo Zlín, a. s.. *Distribuce tepelné energie - Teplo Zlín, a. s.* [online]. Copyright © 2016 Teplo Zl [cit. 05.07.2021]. Dostupné z: <http://www.teplozlin.cz/mapa-rozvodu-tepla>

- [14] Příspěvatelé Wikipedie, *Poissonova konstanta* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 22. 01. 2021, 20:01 UTC, [citováno 27. 07. 2021]
<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Poissonova_konstanta&oldid=19388416>
- [15] VAVERKA, Jiří, Josef CHYBÍK a František MRLÍK. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1649-1.
- [16] Häberlin, Heinrich, et al. *Photovoltaics : System Design and Practice*, John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. *ProQuest Ebook Central*, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=835145>.
- [17] ČERNÝ, Václav. *Teplárenství a potrubní sítě*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1987.
- [18] CIKHART, Jiří. *Soustavy centralizovaného zásobování teplem*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00021-1.
- [19] FLIN, David. *Cogeneration: a user's guide*. London: Institution of Engineering and Technology, 2010. IET renewable energy series, 11. ISBN 978-0-86341-738-2.
- [20] Jak funguje přímý ohřev vody v bojleru fotovoltaikou? | Solární Experti. *Solární Experti | Vše o solárních panelech* [online]. Copyright © Solární Experti s.r.o. [cit. 14.07.2021]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-fotovoltaicky-ohrev-vody/>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Situační výkres zásobování teplem areálu nemocnice, list 1 / 2

Příloha 2 – Situační výkres zásobování teplem areálu nemocnice, list 2 / 2

Příloha 3 – P&ID schéma, Lokální zdroj elektřiny a tepla v komunálním energetickém systému