

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018

BC. DAVID HRABAL



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hrabal** Jméno: **David** Osobní číslo: **379948**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Energetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Kondenzační miniteplárna pro ČVUT UCEEB

Název diplomové práce anglicky:

Small CHP plant for CTU UCEEB

Pokyny pro vypracování:

Téma souvisí s řešenými projekty na ČVUT UCEEB.
Práce navazuje na zkušenosti studenta z předmětu Decentralizované energetické zdroje a Projektování a ekonomika energetických zařízení z bakalářského studijního programu a příbuzných předmětů magisterského studijního programu.

Seznam doporučené literatury:

Dvorský, Hejtmánková. Kombinovaná výroba energií.
Roušar. Projektové řízení technických staveb.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

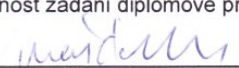
Ing. Jakub Maščuch, Ph.D., ústav energetiky FS


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

Datum zadání diplomové práce: **16.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.06.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2019**


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


podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

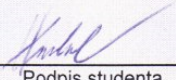

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen 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.

- 7. -05- 2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a všechny použité podklady sepsal v přiloženém seznamu zdrojů. Součinnost s firmami uvedenými v této práci je čistě ve smyslu získání potřebných informací za účelem dobrého nastavení celé práce.

V Praze dne

Podpis:

Jméno autora: David Hrabal
Název DP: Kondenzační miniteplárna pro ČVUT UCEEB
Anglický název: Small CHP plant for CTU UCEEB

Akademický rok: 2017/2018
Ústav/Odbor: Ústav energetiky
Vedoucí DP: Ing. Jakub Maščuch, Ph.D.

Bibliografické údaje:

Počet stran:	63
Počet obrázků:	37
Počet tabulek:	28
Počet grafů:	37

Klíčová slova: Miniteplárna, kombinovaná výroba elektřiny a tepla, kontejner, CHP, plynový zdroj, KVET, mobilní teplárna,

Keyword: Small CHP plant, combined production of electricity and heat, container, CHP, gas source, CHP, mobile heating plant,

Anotace: Diplomová práce má za úkol nalézt optimální parametry pro plánovanou výstavbu mobilní kondenzační miniteplárny. Snaží se určit hlavní komponenty a následně jejich výkon na dimenzovat na objekt ČVUT UCEEB

Abstract: The diploma thesis is aimed at finding optimal parameters for the planned construction of a mobile condensing mini-plant. It tries to determine the main components and consequently their performance to dimension the object of the CTU UCEEB

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Jakobovi Maščuchovi Ph.D. za vedení v koncepci práce a jejímu zhotovení do konečné fáze. Také za vloženou důvěru v rámci zaštitění projektu za UCEEB ČVUT. Dále pak kolegům z partnerských firem za součinnost v rámci projektu pro jeho zdatné dokončení v následujících letech.

Dále děkuji své rodině a kamarádům, Ivě Šimánkové a Janu Zatloukalovi, za podporu a pevné nervy.

OBSAH

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	3
PODĚKOVÁNÍ	5
1. ÚVOD	10
1.1. ZÍSKANÉ PODKLADY	11
2. POPIS OBJEKTU	12
3. POPIS SYSTÉMU	12
3.1. TEPLLO	12
3.1.1. PLYNOVÁ TURBÍNA	13
3.1.2. PLYNOVÁ KOTELNA	13
3.1.3. OTOPNÁ SOUSTAVA	13
3.1.4. OHŘEV TV	14
3.2. ELEKTRICKÁ ENERGIE	14
4. ANALÝZA VSTUPNÍCH DAT	15
4.1. TEPELNÁ ENERGIE	15
4.1.1. TYPOVÉ DNY	16
4.1.1.1. PRACOVNÍ DEN:	17
4.1.1.2. VÍKENDOVÝ DEN:	17
4.1.2. SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE	17
4.2. PRŮBĚH VÝKONU JEDNOTLIVÝCH TEPELNÝCH ZDROJŮ	18
4.2.1. CELKOVÉ VÝSLEDKY MĚŘENÍ TEPELNÝCH ZDROJŮ.....	19
5. NÁVRH NOVÝCH ZDROJŮ	20
5.1. URČENÍ MNOŽSTVÍ TV.....	20
5.2. STANOVENÍ POTŘEB TEPLA	21
5.3. NÁVRH NOVÝCH KOTLŮ PRO VHODNÉ ŘEŠENÍ PROJEKTU	23
5.4. VÝBĚR KOTLE K3 A K4.....	24
5.5. VÝBĚR PLYNOVÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	25
5.6. ELEKTRICKÁ ENERGIE	26
5.6.1. FOTOVOLTAICKÉ PANELE	26

5.6.2. VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA	27
5.7. ZHODNOCENÍ.....	28
6. MULTIKRITERIÁLNÍ OPTIMALIZACE	30
6.1. TEPELNÁ ČÁST.....	30
6.1.1. HLEDISKA PRO MULTIKRITERIÁLNÍ OPTIMALIZACI.....	30
6.1.2. POČÁTEČNÍ PODMÍNKY	31
6.1.3. TECHNICKÁ OPTIMALIZACE PLYNOVÝCH KOTLŮ 3 A 4	32
6.1.4. TECHNICKÉ OPTIMALIZACE PLYNOVÉ KOGENERACNÍ JEDNOTKY.....	32
6.1.5. AKUMULAČNÍ NÁDRŽ TV.....	33
6.2. ELEKTRICKÁ ČÁST.....	33
6.2.1. FOTOVOLTAICKÉ PANELE	33
6.2.2. HYBRIDNÍ STŘÍDAČ.....	34
6.2.3. VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA	35
6.2.4. BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ	36
6.3. ANALÝZA KRITÉRIÍ.....	37
6.3.1. BODOVÁ OPTIMALIZACE PLYNOVÝCH KOTLŮ 3 A 4	37
6.3.2. BODOVÁ OPTIMALIZACE PLYNOVÉ KOGENERACNÍ JEDNOTKY.....	38
6.3.3. OSTATNÍ TECHNOLOGIE	38
6.3.4. FINÁLNÍ VÝBĚR KONDENZAČNÍHO KOTLE	39
6.3.4.1. POPIS VYBRANÉHO PRODUKTU	40
6.3.5. FINÁLNÍ VÝBĚR KOGENERACNÍ PLYNOVÉ JEDNOTKY.....	41
6.3.5.1. POPIS VYBRANÉ KOGENERACNÍ PLYNOVÉ JEDNOTKY.....	41
6.3.6. DOPLŇKOVÉ TECHNOLOGIE	42
6.3.6.1. EXPANZNÍ SYSTÉM	42
6.3.6.2. KONDENZAČNÍ HOSPODÁŘSTVÍ	43
6.3.6.3. POTRUBÍ A ARMATURY	43
6.3.6.4. TEPELNÁ IZOLACE	43
7. MATEMATICKÝ MODEL PRO NOVÉ ZDROJE	45
7.1. VÝPOČET SPOTŘEBY PALIVA A POTŘEBNÉHO VÝKONU.....	46
7.2. VARIANTA 1.....	48
7.3. VARIANTA 2.....	50
8. KONCEPCE KONTEJNERU.....	52
8.1. KONCEPCE KONTEJNEROVÉHO VYBAVENÍ.....	53
9. KONCEPCE TECHNOLOGIÍ V KONTEJNERU.....	54
10. LEGISLATIVA.....	55

10.1. EMISNÍ LIMITY PRO ZAŘÍZENÍ SPALUJÍCÍ PLYNNÁ PALIVA.....	55
10.1.1. ZAŘÍZENÍ DO 300 KW – PLYNNÁ PALIVA.....	55
10.2. LEGISLATIVA PRO ZDROJE OZE	56
10.2.1. LEGISLATIVA PRO MALÉ VĚTRNÉ TURBÍNY DO 10 KW	56
10.2.2. LEGISLATIVA PRO MALÉ FVE DO 10 KW	56
11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	59
12. SEZNAM TABULEK.....	61
13. SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	62

SEZNAM ZKRATEK

CHP	Combinated Heat Power (Kombinovaná výroba elektřiny a tepla)
FVE	Fotovoltaická elektrárna
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
MaR	Měření a Regulace
TUV	Teplá užitková voda
TV	Teplá voda
ÚAV	Ústav akademie věd
WPS	Wind power source (Větrná elektrárna)
K1	Stávající kotel 1
K2	Stávající kotel 2
K3	Budoucí instalovaný kotel v miniteplárně 1
K4	Budoucí instalovaný kotel v miniteplárně 2

SEZNAM SYMBOLŮ

Q_w	Potřeba studené vody
$Q_{w,h}$	Potřeba studené vody hodinová
$Q_{w,TUV}$	Potřeba teplé užitkové vody
$Q_{w,60}$	Teplu potřebné k ohřevu zásobníku za 60 minut
$Q_{w,30}$	Teplu potřebné k ohřevu zásobníku za 30 minut
ϵ	Opravný součinitel

η_0	účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy.
η_r	účinnost rozvodu vytápění. provedení.
Q_c	Tepelná ztráta objektu
D	Vytápěcí denostupně
t_{is}	Průměrná vnitřní výpočtová teplota
t_e	Venkovní výpočtová teplota
$Q_{VYT,r}$	Teplo potřebné na vytápění po celý rok
$Q_{TV,r}$	Teplo potřebné na ohřev teplé užitkové vody po celý rok
Λ	Součinitel prostupu tepla
Q_q	Teplo generované
Q_s	Teplo spotřebované
Q_r	Teplo spotřebované v objektu za celý rok

1. ÚVOD

Diplomová práce „Kondenzační miniteplárna pro ČVUT UCEEB“ se odvíjí od projektu s názvem „Výzkum a vývoj mobilní kondenzační mini teplárny na bázi zdrojů KVET (Kombinovaná Výroba Elektřiny a Tepla) a OZE (Obnovitelné Zdroje Energie) s vestavěnou akumulací tepla a elektřiny, doplněnou o inteligentní řídicí systém“, který je vytvářen spoluprací dohromady tří subjektů na půdě ČVUT UCEEB. Spolupracující subjekty jsou žadatel ECM System Solutions s.r.o. [1] a partner č. 2 – Young 4 Energy s.r.o. [2], jedná se o specialisty v oborech určenými rozsahem jejich prací v projektu. Tato práce se zabývá pouze součástí návrhu konceptu v jeho první fázi.

Cílem projektu je získání znalostí řízení komplexního systému, ve kterém jsou všechny konvenční druhy energií a obnovitelných zdrojů.

Výstupem – výsledkem projektu bude PROTOTYP mobilní kondenzační mini teplárny s názvem „Mobilní teplárna s akumulací a řízením“ s tím, že tento prototyp bude testován po dobu realizace projektu a následně po dobu životnosti projektu u výzkumného centra UCEEB v Buštěhradě v prvních 5 letech a dále jako zkušební zařízení u objektů, které odpovídají jeho výkonu.

Součástí této diplomové práce je první etapa projektu, čili výzkum a koncepce mobilní teplárny s ohledem na užité hodnoty jednotlivých komponent z hlediska jejich kategorií, která se skládá z následujících aktivit:

Partner č. 1 - ČVUT centrum UCEEB:

Aktivita 1 - Analýzy – výchozí informace pro další koncepční výpočty

Aktivita 2 - Koncepční práce – určení základních parametrů použitých technologií

Aktivita 3 - Návrh počtu, podoby a výkonových parametrů použitých technologií

Aktivita 4 - Multikriteriální optimalizace parametrů

Aktivita 5 - Analýza – výběr technologií pro použití do komplexního systému

Aktivita 6 - Analýza – výběr konkrétních typů daných výrobců pro použití v rámci vybraných technologií

Aktivita 7 - Matematický model – energetická bilance pro různá nastavení

Aktivita 8 - Koncepční práce – koncepce kontejneru

Aktivita 9 - Konstrukční práce – rozpracování detailu umístění technologií v kontejneru

Výstupem projektu je PROTOTYP mobilní teplárny s ověřením všech vstupních a výstupních parametrů s analýzou všech souvisejících faktorů tak, aby bylo prokázáno, že prototyp je vhodný pro použití v případě potřeby mobilního zásobování teplem a elektřinou i pro další potenciální instalace.

Cílem projektu je nalezení optimálního složení technologií pro výrobu tepla a elektřiny na bázi plynových zařízení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla s doplněním o zařízení na bázi OZE s využitím energie slunce a větru. Zároveň projekt řeší možnost využití získaných zkušeností z výzkumu a vývoje mobilní varianty teplárny pro využití při řešení propojení výroby a akumulace u klasických malých a středních lokálních tepláren. Doprovodným cílem je využít dosažené parametry spojením výroby energií na bázi KVET a OZE s akumulací a řídicím systémem pro klasické využití v lokálních výrobnách elektřina a tepla.

1.1. ZÍSKANÉ PODKLADY

Jako podklady pro zpracování této práce byla poskytnuta provozovatelem budovy UCEEB data z měření budovy ČVUT UCEEB [3]. Celý seznam poskytnutých dat zahrnoval souvislé měření spotřeby zemního plynu kotelny a kogenerační mikroturbíny, dále také spotřeby elektřiny odečtené z hlavního elektroměru. Dále byla poskytnuta data z kalorimetrů kotlů K1, K2 a kogenerační jednotky Capstone C65 tzn. dodané množství tepla. Data, naměřená na kalorimetrech kotlů K1 a K2, jsou celistvá a měření probíhalo až na pár výpadků, způsobených technickou odstávkou kontinuálně po celý rok. Obsahují malou část chybných dat, která lze jednoduše rozlišit a tím data použít k dalším výpočetním úkonům ke zjištění využívání těchto zdrojů v průběhu roku. Měření výroby tepla z mikroturbíny nebylo možné použít, protože byla odečítána data z kalorimetru, který funguje pouze v případě manuálního odměření a zároveň s velkou chybovostí, která byla způsobena pravděpodobně vadným kalorimetrem. Tudíž reálná hrubá data vyrobeného tepla z kogenerační jednotky měřená kalorimetrem nebylo možné zahrnout do analýzy. Jediná vhodná data byla roční spotřeba plynu v měsíčním intervalu. Dále byla k dispozici podrobná celoroční data venkovní teploty z vlastních měření ČVUT UCEEB.

Dalšími poskytnutými daty byl popis systému v rámci instalovaných technologií v objektu včetně výkonů a kompletních popisů zařízení. Popsána byla též otopná soustava včetně průměrů, parametrů a teplotního spádu systému. Poskytnuty byly také velikosti akumulačních nádrží. [3] [4]

2. POPIS OBJEKTU

Celý popisovaný systém je součástí budovy Univerzitního centra energeticky efektivních budov (dále jen UCEEB) v Buštěhradě. UCEEB je samostatný vysokoškolský ústav Českého vysokého učení technického (dále jen ČVUT) a slouží jako experimentální vývojové středisko v oblasti energeticky efektivních budov. UCEEB sdružuje odborníky fakulty ze čtyř fakult ČVUT, které se podílí na projektech



OBRÁZEK 1 BUDOVA ČVUT UCEEB

společnými silami, čímž si klade za cíl přirozeně sladit vědce z oborů, kteří mají k energeticky úsporným budovám blízko, a řešit problematiku komplexně. Jedná se o fakulty stavební, elektrotechnickou, strojní energetiky a fakultu biomedicíny. Základním smyslem centra je tvoření nových experimentálních řešení pro budoucnost energeticky efektivních budov, jak v rámci jejich resilience, tak udržitelnosti a praktičnosti. [5]

3. POPIS SYSTÉMU

V budově ČVUT UCEEB je v systému obsaženo veškeré spektrum energií. Můžeme zde najít jak chladicí zařízení, tak zařízení pro výrobu tepla a elektrické energie. V této práci se však zabýváme pouze tepelnou a elektrickou částí.

3.1. TEPLO

Zdroje tepla pro objekt UCEEB jsou rozděleny na dvě části. Hlavním zdrojem tepla je plynová kogenerační turbína, která je lokalizována mimo objekt hlavní budovy. Pro zvýšení efektivity systému jsou instalovány dvě malé a jedna velká akumulční nádoba, které jsou nabíjeny v době nižšího odběru a vybíjeny v době vyššího odběru. Dvě akumulční nádoby, každá o objemu 5 m³ s umístěním v kotelně. Velká akumulční nádoba je koncipována jako podzemní zásobník o objemu 20 m³ a je umístěna vedle objektu, ve kterém se nachází plynová mikroturbína. Dále jsou v objektu experimentální zdroje tepla, které slouží pouze jen jako testovací zařízení a nemá smysl je zahrnovat do bilance. Plynová kogenerační mikroturbína společně s plynovou kotelnou zajišťují potřebu tepla pro vytápění, větrání, absorpční chlazení a ohřev TV pro celý objekt.

3.1.1. PLYNOVÁ TURBÍNA

Plynová turbína je v prostředí UCEEB přednostně určena pro výrobu el. energie. Ohřev vody pro vytápěcí systém je pouze podružný a je proveden přes spalínový výměník, který je součástí turbíny. Typově se jedná o turbínu C65 od společnosti CAPSTONE, kdy tepelný výkon dosahuje výkonu až 130 kW. Nucený oběh topné vody o definovaném teplotním spádu mezi turbínou a kotelnou je zajištěn oběhovým čerpadlem. Aktuálně je



OBRÁZEK 2 CAPSTONE C65

chod plynové turbíny a oběhového čerpadla ovládán regulačními prvky, které jsou součástí MaR. Propojení turbíny, regulace, oběhového čerpadla a potřebných čidel je popsáno v elektro části MaR interních dokumentů UCEEB a není součástí této práce. [6]

3.1.2. PLYNOVÁ KOTELNA

Druhým zdrojem tepla je plynová kotelna, umístěna v samostatné místnosti v 1.NP. V místnosti plynové kotelny se nacházejí dva plynové nízkoteplotní litinové článkové kotle s atmosférickým hořákem, každý o výkonu 108 kW. Celkový výkon plynové kotelny je tedy 216 kW. Z hlediska předpisů se jedná o kotelnu III. kategorie. V kotlích je spalován zemní plyn. Součástí kotelny je i úpravna vody a zařízení pro napouštění a



OBRÁZEK 3 PLYNOVÉ KOTLE 2X108 KW

dopouštění topného systému. Úpravna vody je složena z následujících prvků: vířivý filtr FWS1, montážní blok G1, duplexní úpravna vody, oddělovací člen K20, nerezové hadice a dva kusy dávkovacích čerpadel, včetně záchytné vany pod čerpadlo. Nominální účinnost kotlů je 90 %. [3]

3.1.3. OTOPNÁ SOUSTAVA

Vytápěcí systém je teplovodní s nuceným oběhem topné vody. Na rozdělovači a sběrači (R6, S6) je systém rozdělen na čtyři samostatné topné větve pro vytápění, dvě pro vzduchotechniku a jednu pro ohřev TV. Topná větev pro vytápění haly (sálavé panely) má teplotní spád topné vody 80/60 °C a topné větve pro vytápění topnými tělesy mají teplotní spád topné vody 70/50 °C. Teplota topné vody pro vytápění je regulována směřováním (trojcestným ventilem –

dod.MaR) na rozdělovači a sběrači v závislosti na teplotě venkovního vzduchu – ekvitermní regulací. [3]

TABULKA 1 PARAMETRY OTOPNÉ SOUSTAVY

Statická výška H_{stat}.	12m v.sl.=12 kPa
Objem vody v systému vč.akum.nádob	2x 5 000l + 20 m ³
Teplotní spád v systému	90/80 °C, 80/60 °C
Min.provozní přetlak	2,0 bar
Max.provozní přetlak	2,5 bar
Přetlak na pojišťovacím ventilu	3,0 bar

3.1.4. OHŘEV TV

Ohřev TV je zajištěn centrálně pomocí nepřímo vytápěného zásobníkového ohřivače TV z korozi-vzdorné oceli o objemu 300 l, který je umístěn v kotelně. Ohřev TV v zimním období probíhá krátkodobě na úkor vytápění, což znamená, že se objekt v tu dobu nevytápí. Ochrana proti bakterii Legionella je zajištěna osazením nerezového zásobníku a přehřátím TV v zásobníku 2x týdně na teplotu 70 °C v nočních hodinách. Na výstupu z ohřivače je osazen trojcestný směšovací ventil jako ochrana před opařením. [3]

3.2. ELEKTRICKÁ ENERGIE

Celý areál je připojen k veřejné distribuční síti, má však i své vlastní zdroje, kromě kogenerační jednotky o výkonu 65 kWe se zde nachází i série fotovoltaických panelů, instalovaných na střeše s výkonem 32 kWp a dále na stranách budovy, kde jsou osazeny experimentální panely, určené k testování. Dále je zde instalováno bateriové úložiště s využitelnou kapacitou až 50 kWh, které společně s mikroturbínou CAPSTONE C65 slouží dle potřeby k vyrovnávání čtvrt hodinového maxima v rámci smluvních vztahů s dodavatelem elektřiny. Součástí bateriového úložiště je několik střídačů, které dokáží nabíjet nebo vybíjet baterie až 30 kWh, což znamená, že k celkovému nabití nebo vybití může dojít při plném vytížení do 100 minut.



OBRÁZEK 4 BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ

4. ANALÝZA VSTUPNÍCH DAT

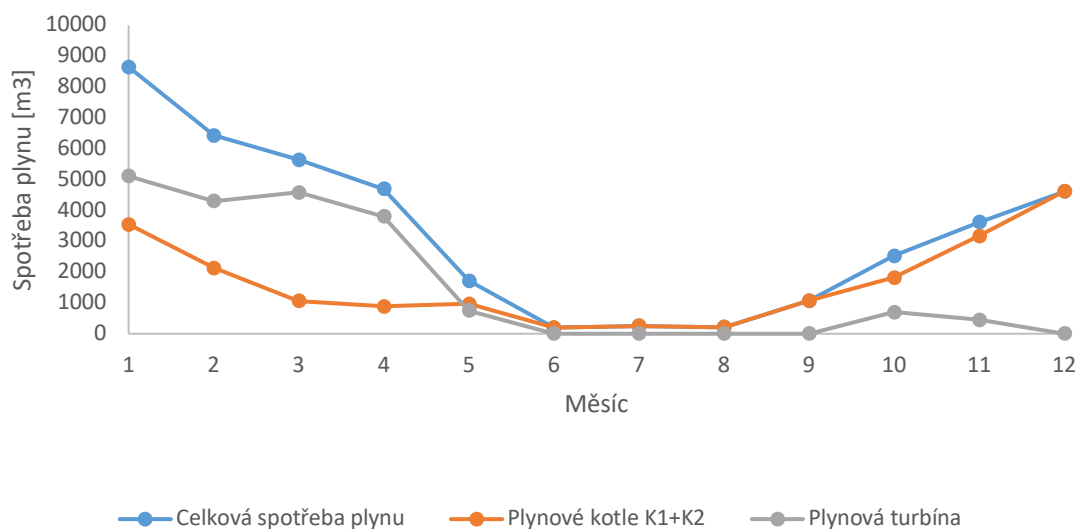
Vzhledem k neurčitým měřením některých zařízení jsme nuceni provést analýzu vstupních dat ve smyslu vytvoření nezbytných částí celku jako spotřebu plynu, vytvoření typových dní a poté s dostupných dat vytvořit diagramy trvání potřeby tepla

4.1. TEPELNÁ ENERGIE

Určení základních parametrů použitých technologií bylo analyzováno z reálných dat objektu, naměřených v minulých obdobích. K dispozici byla poskytnutá data z kalorimetrů instalovaných v plynové kotelně na kotli K1 a na kotli K2 a dále u plynové kogenerační turbíny v objektu mimo hlavní budovu. Byla známa veškerá spotřeba plynu v objektu v měsíčním rozlišení. Z pohledu elektrické energie byl poskytnut detailní přehled spotřeby v 5minutovém intervalu uplynulý za rok 2017, který byl zpracován do formy roční potřeby elektrické energie pro znázornění celkové náročnosti budovy na elektrickou energii. Dále byla poskytnuta venkovní teplota pro určení přesnějších okrajových podmínek lokace.

První analyzovaná data byla celoroční spotřeba plynu objekt. Jedná se o základní zdroje, ke kterým byla poskytnuta buď kompletní, nebo částečná data:

- **Kotel K1**
- **Kotel K2**
- **Plynová kogenerační turbína C65 Capstone**



OBRÁZEK 5 ROČNÍ SPOTŘEBA PLYNU V OBJEKTU DLE MĚSÍCŮ [4]

Z analyzovaných dat vidíme, že nejvyšší spotřeby plynu dosahuje objekt v zimních měsících, zejména na začátku roku. Tato skutečnost je způsobena zejména nízkými venkovními teplotami dosahujícími -16°C . V letních měsících je používáno plynu jen na ohřev TV. Dále je nutné zmínit skokové využití mikroturbíny v počátečních měsících, kdy byla významně využívána kvůli vykrytí čtvrt hodinového maxima. Vzhledem k principu funkce turbíny, při výrobě elektrické energie, dochází i k výrobě tepla. Toto teplo je nutno buď využít nebo jej zmařit. Většina tepla je tedy předána do velké 20 m^3 akumulární nádrže, v případě že není vhodné teplo ukládat, je odváděno do atmosféry – mařeno. Aktuálně je problematika zálohového zdroje pro případ překročení čtvrt hodinového maxima vyřešena zvýšenou efektivností využití bateriového úložiště o velikosti 50 kWh .

Limitní spotřeby primárního zdroje v roce 2017:

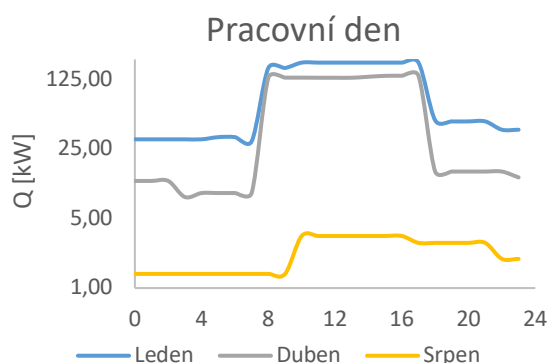
Maximum dosažené v 1. měsíci roku je **8647** m^3 plynu.

Minimum dosažené v 6. měsíci roku je **199** m^3 plynu.

Celková roční spotřeba dosáhla **39 621** m^3 plynu, což je ekvivalent výhřevnosti o velikosti **1505 GJ**, který spotřeboval areál za kalendářní rok.

4.1.1. TYPOVÉ DNY

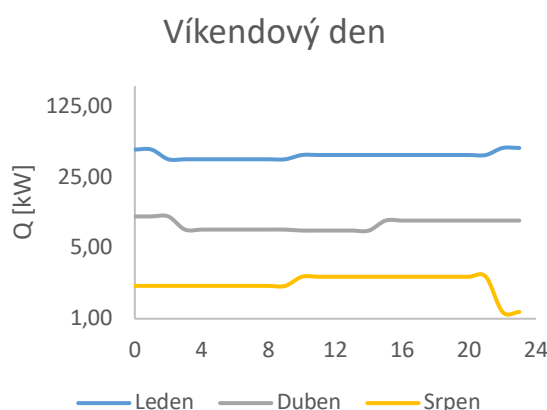
Vzhledem k nedostatku dat a nepřesných dat jsme byli nuceni vytvořit typové dny na různá období. V rámci mikroturbíny bylo pracováno se spotřebou plynu, následně znalostí zařízení ve smyslu jeho tepelné účinnosti a dále funkčnosti zařízení pouze v pracovní dny od 8:00 ráno do 17:00 večer. Objekt byl analyzován z poskytnutých měřených dat a byly provedeny výpočty pro vytvoření 6 typových dní v průběhu roku. Jedná se o zimní, přechodné a letní období s tím, že každé období má jak pracovní den, tak i víkendový den pro určení míry vytiženosti a zatížení hlavních zdrojů. Zimní období je reprezentováno měsíci leden, únor, březen a prosinec. Přechodové měsíce duben, květen, říjen, listopad a letní období měsíce červen, červenec, srpen, září.



OBRÁZEK 6 TYPOVÝ DEN - PRACOVNÍ

4.1.1.1. PRACOVNÍ DEN:

Z obrázku vývoje pracovního dne pro všechna období vidíme, že je řízení nastaveno vůči objektu tak, aby v ranních hodinách byl vyvinut dostatečný výkon pro dosažení požadované vnitřní teploty a tím zajištění komfortu zaměstnanců. V lednu se pohybujeme v oblasti 125kWt pro dosažení požadované teploty v požadovaném čase, v přechodovém období se hodnota pohybuje na podobné úrovni. Zásadní rozdíl je vidět zejména při nepracovních hodinách, kdy systém dosahuje místo přibližně 40 kWt v zimním období na výkon 18 kWt. Jediný rozdíl je viditelný v případě letního období, při kterém systém dodává teplo pouze do ohřevu teplé užitkové vody (TV).



OBRÁZEK 7 TYPOVÝ DEN - VÍKENDOVÝ

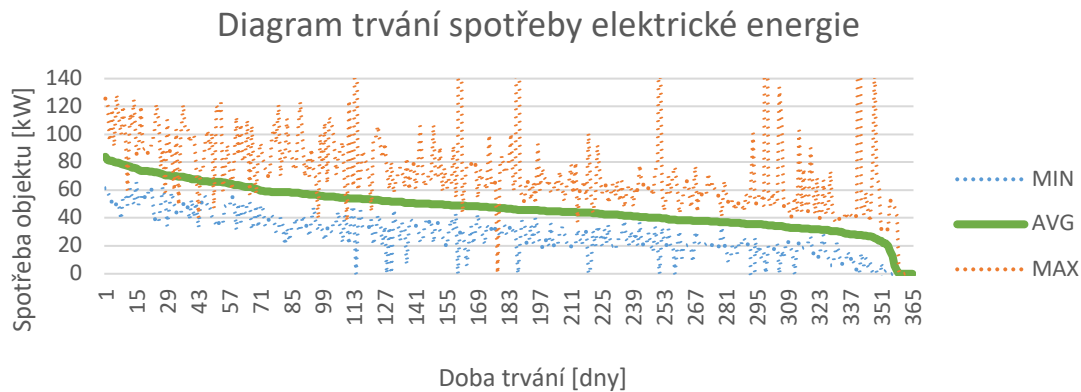
4.1.1.2. VÍKENDOVÝ DEN:

O víkendu je průběh spotřeby tepla relativně ustálený, systém počítá s tím, že se v objektu nepohybují žádní zaměstnanci, a tudíž nemá tendenci razantně měnit své výkonové parametry. Je zřejmé, že průběh tepelného výkonu v letních měsících je zde velice podobný jako u pracovního dne.

4.1.2. SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Spotřeba elektrické energie v objektu UCEEB ČVUT má v průběhu celého roku relativně stabilním průběh s postupným narůstáním. Výkon se pohybuje v rozmezí od 20 kWe do cca 90 kWe. Nekonzistentní spotřeba je určena zejména experimentálním výzkumem prováděným v objektu.

V rámci spotřeby elektrické energie v objektu UCEEB ČVUT se potřeba celoročně pohybuje na relativně stejné úrovni okolo 50 kW. Celková doba trvání je znázorněna na obrázku 8.

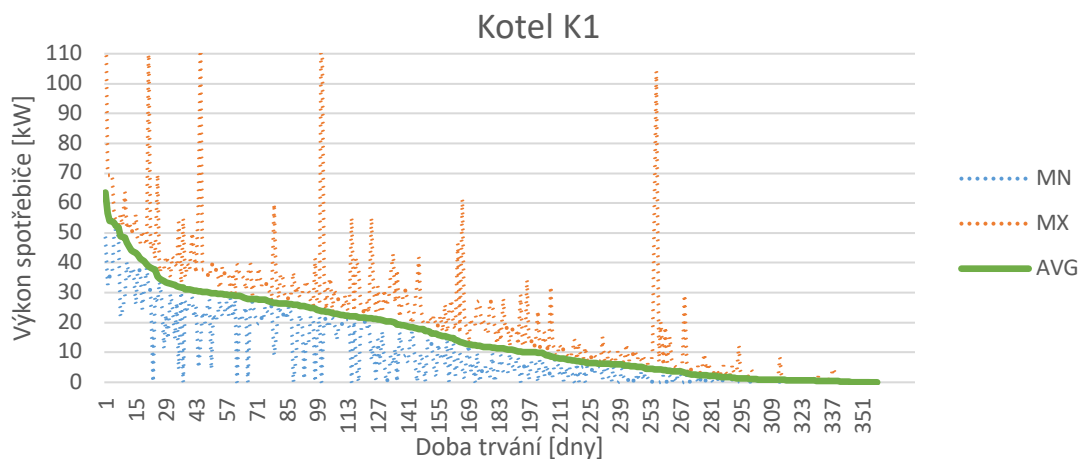


OBRÁZEK 8 ROČNÍ BILANCE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Z důvodu nutnosti ochrany před překročením čtvrt hodinového maxima je zde zavedeno několik funkčních systémů pro jeho vykrývání. Toto maximum je v aktuální době nastaveno na 150 kW. V případě, že je z jakéhokoli důvodu (například experimentálních zkoušek laboratořích) maximum překročeno, systém kontinuálním analyzováním vyhodnotí předpoklad a dodá potřebný výkon do interní sítě z bateriových úložišť, případně uvede do provozu mikroturbínu Capstone C65.

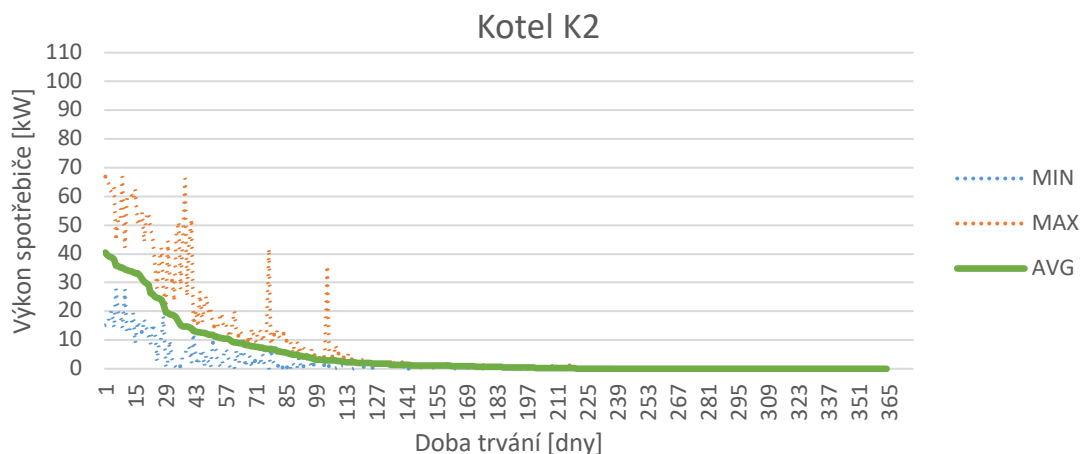
4.2. PRŮBĚH VÝKONU JEDNOTLIVÝCH TEPELNÝCH ZDROJŮ

Aktuální provozní výkon je odečtený z dat poskytnutých UCEEB ČVUT. Data byla získána z kontinuálního měření kalorimetru u každého zdroje zvlášť. V rámci měření kalorimetrů na kotli K1 a K2 bylo možné stanovit jejich roční využití výkonu a zobrazit je v samostatných typových diagramech. V případě kotle K1 bylo dosahováno dle doložených dat nad jeho provozní výkon (108 kW), tím můžeme označit v těchto případech chybu měření a zanedbat ji v rámci chybovosti měřících čidel. V rámci přesnosti odečtených dat umožnit přesnost kalorimetrů, která právě v tomto případě měla chybu necelé 2 %.



OBRÁZEK 9 DIAGRAM VÝVOJE VÝKONU U KOTLE K1

Doba trvání, zobrazená na obrázku 9, patří k první z dvojice kotlů. Jedná se o vytíženější zdroj, u kterého vidíme, že se skokově pohybuje i ke svým maximálním hodnotám. V nejvytíženějším dni průměrném výkonu dosahuje výkonu pod 70 kW, nicméně většinu roku nepřekračuje hranici 60kW.

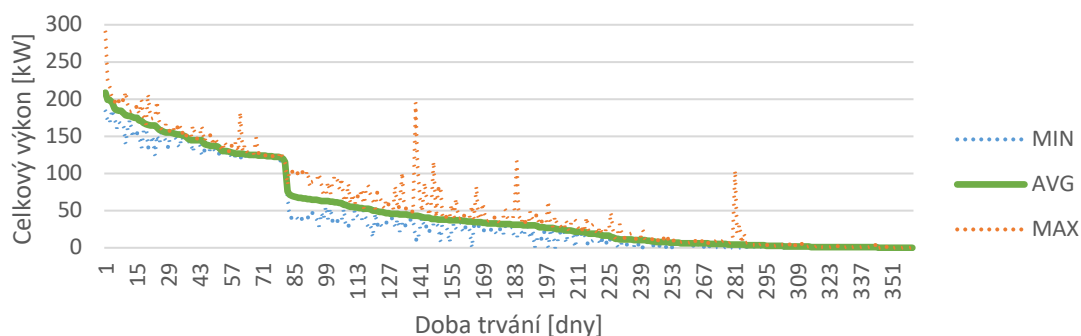


OBRÁZEK 10 DIAGRAM VÝVOJE VÝKONU U KOTLE K2

U doby trvání kotle K2 (zobrazený na obrázku 10) vidíme, že jeho reálné využití v budově UCEEB ČVUT je cca 127 dní v roce. Pro ostatní dny výkonově stačí kotel K1. Maximum průměrného denního výkonu tohoto kotle je okolo 40 kW.

U kogenerační plynové turbíny nebylo možné určit přesný průběh kvůli závadě na měřícím kalorimetru a nedostupných datech z elektroměru. Jediný údaj je spotřeba zemního plynu. Kogenerační jednotka je navíc nastavena primárně pro výrobu elektrické energie a značná část vyrobeného tepla je mařena. Tudíž je údaj o spotřebě plynu zavádějící.

4.2.1. CELKOVÉ VÝSLEDKY MĚŘENÍ TEPELNÝCH ZDROJŮ



OBRÁZEK 11 DIAGRAM POTŘEBY TEPLA

Z obrázku 11 je zřejmé, že plynová kogenerační mikroturbína je využívána pouze část roku (z obrázku spotřeby zemního plynu v prvních měsících roku), a to pouze při potřebě vykrytí čtvrt hodinového maxima elektrické energie, kdy je teplo mařeno. Proto vidíme i skokovou změnu ze 70 kW na 120 kW u 85 dne doby trvání v diagramu. Mařené teplo, produkované kogenerační mikroturbínou, není možné získat z výkonové tepelné bilance. Vzhledem k nekonzistenci měřených dat je nutné vytvořit matematický model objektu, tak aby se nové zdroje dali přesněji určit.

5. NÁVRH NOVÝCH ZDROJŮ

Dle měření spotřeby plynu a dat z kalorimetrů víme že množství spalného tepla ze zemního plynu činí 1505 GJ/rok. Z dat změřených kalorimetry není možné stanovit nové zdroje, z toho důvodu jsme nuceni vytvořit si model objektu. Pro tento případ jsme nuceni určit množství TV právě proto, abychom byli schopni vypočítat množství tepla potřebného na ohřátí TV.

5.1. URČENÍ MNOŽSTVÍ TV

Vzhledem ke komplexnosti zařízení, jsou zde zvýšené nároky na spotřebu vody z důvodu sprch, kuchyní a laboratoří umístěných v objektu. Byla nutná konzultace s vedoucím práce a odborníky z řad správy budovy UCEEB, abychom identifikovali potřeby pracovníků a jejich spotřeby studené vody na den. Dle zkušeností byla zvolena spotřeba následovně:

Potřeba studené vody:

- | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|------------|
| 1) stálí pracovníci (administrativa) | 15 osob á 70 l/den = | 1050 l/den |
| 2) občasní pracovníci (doktorandi) | 45 osob á 100 l/den = | 4500 l/den |

Občasní pracovníci budou uvažováni s koeficientem současnosti 0,5 (50%)

$$Q_w = 1050 + 0,5 * 4500 = 3300 \text{ l /den}$$

Hodinová potřeba studené vody max.

$$Q_{w,h} = 1100 \text{ l/h}$$

(po dobu hodiny na konci pracovní doby)

Potřeba TUV

– cca 30-40 % studené vody

$$Q_{w,TUV} = 0,3 * 1100 = 330 \text{ l/hod}$$

$$Q_{w,TUV} = 0,4 * 1100 = 440 \text{ l/hod}$$

Počítaná hodnota pro hodinovou spotřebu TUV je v rozmezí od 330 l/hod do 440 l/hod. Objekt byl dle dostupných dokumentů osazen zásobníkem TUV o objemu 300 l vody. [3]

Ohřev zásobníku za 60 minut

$$Q_{w,60} = 300 * 45 * 1,163 = 15700 \text{ W} = 15,7 \text{ kW}$$

Ohřev zásobníku za 30 minut

$$Q_{w,30} = 15,7 * 2 = 31,4 \text{ kW}$$

Vzhledem ke zvolenému zásobníku o velikosti 300 l vody můžeme za hodinu 2x ohřát celý objem čím získáme špičkový výkon zásobníku 600 l/hod. Vzhledem k tomu, že potřeba TUV činí cca 400 l/hod, je takto zvolený zásobník dostačující. [3]

5.2. STANOVENÍ POTŘEB TEPLA

Z měření spotřeby plynu víme, že celkové množství tepla v palivu činí $Q_{PAL,r} = 1505 \text{ GJ/rok}$, jedná se však o celkové teplo v zemním plynu spotřebované jak na vytápění, tak na ohřev TUV včetně ztrát od kotlů K1, K2 a kogenerační mikroturbíny. Pokud použijeme předpoklad k výpočtu tepelné ztráty objektu z celoroční spotřeby tepla, zavedeme do výpočtu chybu z částečného tepla, použitého pro ohřev TV.

$$Q_{PAL,r} = \frac{Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r}}{\eta_c} = 1505 \text{ GJ/rok}$$

Pokud použijeme reverzní výpočet na potřebu tepla pro vytápění a ohřev teplé vody ze stránek TZB-INFO [7] na výpočet $Q_{VYT,r}$ a znalostí potřebného množství tepla pro ohřev TV v ročním měřítku poskytnuta se zdrojovými daty, můžeme vyjádřit odhadovanou tepelnou ztrátu objektu. Také je nutné započítat účinnosti kotlů K1, K2 na spotřebu plynu a kogenerační jednotky. Přesné hodnoty účinnosti a spotřeby zemního plynu jsou uvedeny v tabulce 2:

TABULKA 2 KLÍČOVÉ CHARAKTERISTIKY PROVOZU ZDROJŮ TEPLA V OBJEKTU [4]

		K1	K2	KVET	CELKEM
INST VÝKON	kW	109,00	109,00	130,00	348,00
PRŮM VÝKON	kW	15,32	4,72	16,34	12,13
VÝROBA*	GJ	472,57	149,57	508,86	1130,99
PŘÍKON	GJ	575,18	182,04	747,75	1504,97
ÚČINNOST	1	0,82	0,82	0,68	0,75
PROVOZ (H)	h	8323,00	5222,00	1721,00	-

Ze vzorce pro výpočet roční potřeby tepla můžeme dojít jak k množství tepla potřebného pro vytápění objektu, tak i na množství tepla potřebného na ohřev TV. vzhledem ke znalosti spotřeby tepla potřebné na ohřev TV o velikosti 100 GJ/rok jsme schopni dopočítat celkovou tepelnou ztrátu objektu

$$Q_r = \frac{\epsilon}{\eta_0 * \eta_r} * \frac{(24 * Q_c * D)}{(t_{is} - t_e)} * 3,6 * 10^{-3} + Q_{TUV,r}$$

TABULKA 3 POPIS VELIČIN POTŘEBNÝCH PRO VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY [7]

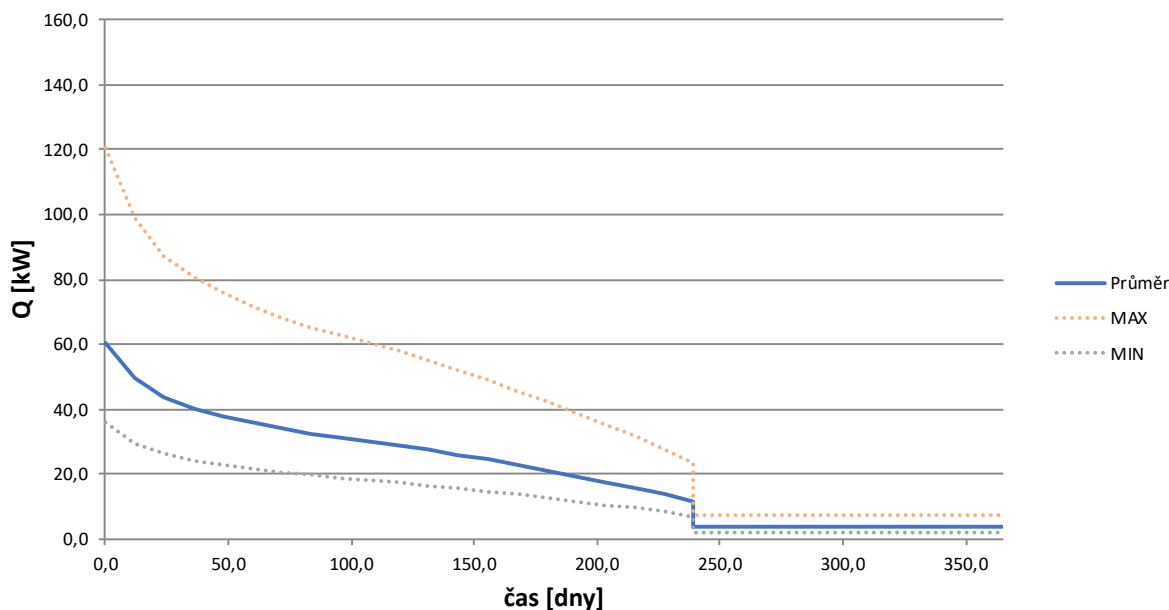
VELIČINA	HODNOTA	JEDNOTKA	POPIS
ϵ	0,934	-	Opravný součinitel
η_0	1	-	účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy. Volí se v rozmezí 0.9 pro kotelnu na pevná paliva bez rozdělení kotelny na sekce až po 1.0 pro plynovou kotelnu s otopnou soustavou rozdělenou do sekcí např. podle světových stran s automatickou regulací.
η_r	0,95	-	Účinnost rozvodu vytápění. Volí se v rozmezí 0.95 až 0.98 podle provedení.
Q_c	-	kW	Tepelná ztráta objektu
D	3392	K.dny	Vytápěcí denostupně dle TZB-info [3]
t_{is}	19	°C	Průměrná vnitřní výpočtová teplota
t_e	-12	°C	Venkovní výpočtová teplota
$Q_{TUV,r}$	100	GJ/rok	Teplu potřebné na ohřev teplé užitkové vody

Pro získání tepelné ztráty přeformulujeme rovnici na následující:

$$Q_c = \frac{(t_{is} - t_e) * Q_{VYT,r}}{\frac{\epsilon}{\eta_0 * \eta_r} * 24 * D * 3,6 * 10^{-3}} =$$

$$Q_c = \frac{(19 + 12) * 1130,99}{\frac{0,934}{1 * 0,95} * 24 * 3392 * 3,6 * 10^{-3}} = 121,7 \text{ kW}$$

Určením tepelné ztráty objektu můžeme určit diagram trvání tepla, ze kterého můžeme dále postupovat v rámci návrhu výkonového parametru navrhovaných zdrojů K3 a K4 a kogenerační jednotky.



OBRÁZEK 12 DIAGRAM TRVÁNÍ POTŘEBY TEPLA

Výsledný obrázek 12 zobrazuje potřebu tepelného výkonu v roce. Průměrná potřeba výkonu (zobrazena modrou linkou) dosahuje k hranici 60 kW. Vzhledem k zanesené velké potenciální chybě tohoto výpočtu je počítáno s mnohem vyšší pružností systému ve smyslu možnosti aplikace kontejneru i v jiných lokacích. Maximální teoretická požadovaná potřeba systému, na obrázku 12 zobrazena oranžovou tečkovanou čarou, zobrazuje, že potřebný výkon může dosahovat až nad hranici 120 kW. Znalost těchto výkonů nám dovoluje popsat případné použitelné zdroje upotřebitelné v této situaci. V rámci variability řešení, možnosti odstávky a případné zavedené bezpečnosti ve formě požadovaného výkonu v případě výpadku byl zvolen celkový výkon 160 kWt, čímž vznikla výkonnostní rezerva.

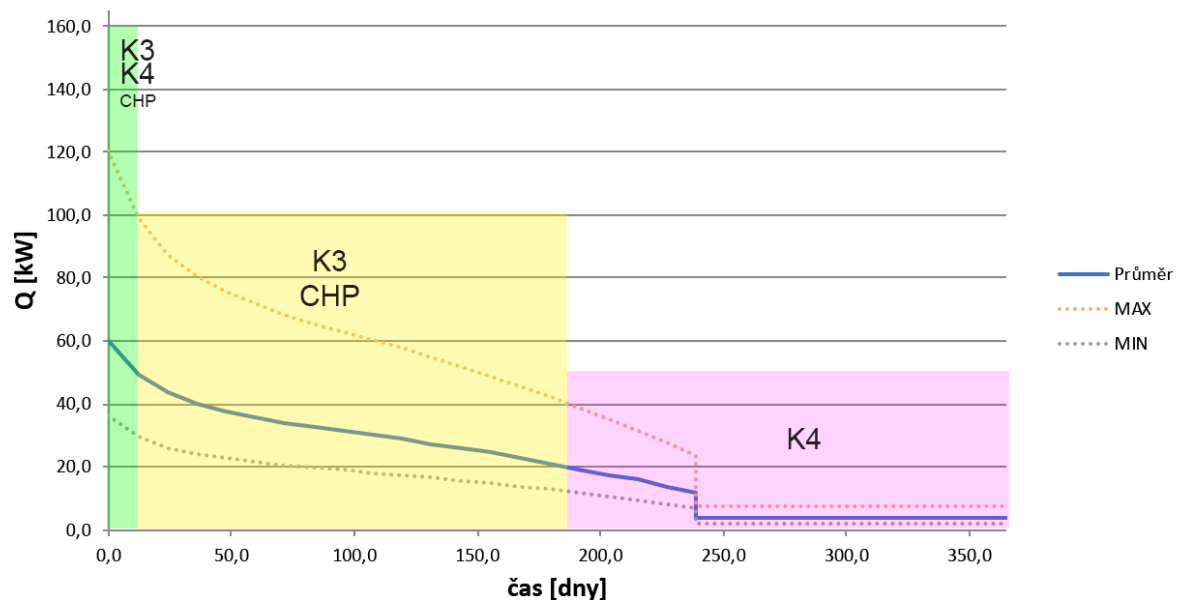
5.3. NÁVRH NOVÝCH KOTLŮ PRO VHODNÉ ŘEŠENÍ PROJEKTU

Pro správné navržení výkonové části kotlů splňující požadavky výkonové křivky v předchozí kapitole bylo zvoleno následující rozložení výkonů. Zdroje jsou sepsány níže v tabulce 4.

TABULKA 4 SEZNAM TEPELNÝCH ZDROJŮ POTŘEBNÝCH PRO POKRYTÍ POTŘEBY

ZDROJ	TEPELNÝ VÝKON
KOTEL K3	60kWt
KOTEL K4	60kWt
PLYNOVÁ KOGENERAČNÍ JEDNOTKA (CHP)	40kW _t

Pro představu fungování všech zamýšlených zdrojů jako takových je na obrázku 13 znázorněn průběh jejich režimů. V letních měsících bude aktivně využíván k pokrytí potřeb TV zejména kotel K4. Při zvýšení nároků na potřebu tepelné energie, jsou zapojeny oba kotle a každý z nich funguje střídavě přes noc a přes den. V situaci přesáhnutí maximální potřeby tepelné energie přes 40 kWt, ke kterému dochází 180 den se jako hlavní částí zdroje zapojuje plynová kogenerační jednotka (CHP), která začíná dodávat do systému jak tepelnou, tak elektrickou energii, k případnému potřebnému navýšení tepelného výkonu je použit kotel K3. Poslední fázi řízení je nasazení všech tří zdrojů, tento případ nastává 24 dny v roce a úkolem regulace je pojmout požadavky pro pokrytí systému efektivně. Celý systém navíc bude kooperovat s akumulací nádobami v lokaci, čímž vylepšuje svou efektivitu a pružnost, jelikož řídicí systém může odebírat požadované teplo právě z nich.



OBRÁZEK 13 ZNÁZORNĚNÍ REŽIMU ZDROJŮ TEPLA V PRŮBĚHU ROKU

5.4. VÝBĚR KOTLE K3 A K4

Vzhledem k předešlým informacím a s přihlédnutím k primárnímu palivu – **zemnímu plynu**, byly jako optimální technologické řešení vybrány kondenzační plynové kotle. Oba kotle by měly být kvůli MaR od stejného výrobce a mít dostatečnou variabilitu ve smyslu velikosti a snadní implementace do prostoru kontejneru. Nutná je dobrá spolupráce s výrobcem, kvůli potřebě nutných úprav v prototypové fázi. Dále je vhodné, aby kotle dokázaly v případě potřeby (konkrétně v letních měsících) pokrýt nutné minimum pro ohřev TV v případě hůře vybavené lokace budoucích instalací (např. absence akumulacích zásobníků).

Mezi hlavní výrobce kotlů v České republice patří Viessmann [8], Junkers [9], Buderus [10]. Od každého výrobce byl vybrán seznam produktů v potřebném výkonovém rámci a byly vybrány produkty:

TABULKA 5 VHODNÉ PLYNOVÉ KONDENZAČNÍ KOTLE DO PROJEKTU

VÝROBCE	TYP	VÝKONOVÉ PARAMETRY	
VISSMANN	Vitodens 200-W	2,4 kW	150 kW
VISSMANN	Vitocrossall 300 CU4A	2,5 kW	60 kW
BUDERUS	Logano Plus KB372-75	69,4 kW	
JUNKERS	CerapurMaxx	14,3 kW	99,5 kW

Veškeré parametry a hodnocení zdrojů budou vybrány v multikriteriální analýze, která bude zařazena do samostatné části.

5.5. VÝBĚR PLYNOVÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Na trhu se aktuálně vyskytuje mnoho výrobců, kteří dodávají zařízení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Pro užší hodnocení byly vybrány produkty společností Capstone [11], Viessmann [8], TEDOM [12], FRÖLING [13], TOTEM [14] Naším záměrem je kogenerační jednotka s minimálním tepelným výkonem 40 kW_t, čímž dostaneme seznam produktů výše uvedených výrobců. Při zvolení okrajových podmínek ve smyslu použitého primárního paliva se seznam omezuje na konkrétní řešení určitých firem. Dále je nutná dobrá spolupráce s výrobcem kvůli potřebám nutných úprav v prototypové fázi.

Tabulka 6 zobrazuje primární vhodné zdroje dle aktuální nabídky trhu (březen 2017)

TABULKA 6 VHODNÉ PLYNOVÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY DO PROJEKTU

VÝROBCE	TYP	VÝKONOVÉ PARAMETRY
CAPSTONE	C30	60 kW _t + 30 kW _e
VISSMANN	Vitobloc 200	81 kW _t + 50 kW _e
TEDOM	Micro T30	69 kW _t + 30 kW _e
TOTEM	Totem 20	42 kW _t + 20 kW _e
TOTEM	Totem 25	50 kW _t + 25 kW _e

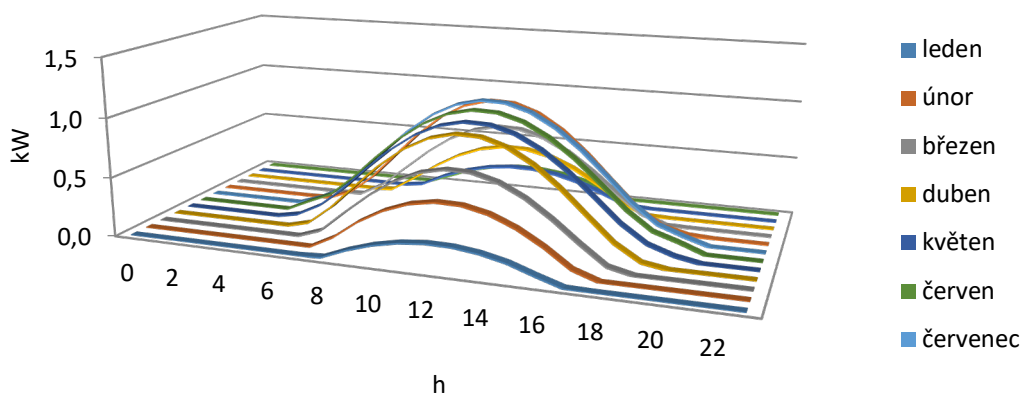
Veškeré parametry a hodnocení zdrojů budou vybrány v multikriteriální analýze, která bude zařazena do samostatné části.

5.6. ELEKTRICKÁ ENERGIE

Z pohledu vlastního zdroje elektrické energie bude systém zásobován zejména plynovou kogenerační jednotky. Systém bude nicméně doplněn sekundárním a terciálním zdrojem v podobě solárních fotovoltaických článků a větrné elektrárny, které budou mít za úkol tvořit podpurný systém v rámci vlastní spotřeby. V případě posuzovaného objektu nicméně není možné dosáhnout na zásadní pokrytí potřeby elektrické energie (jak vidíme na obrázku č.8). Vzhledem ke spotřebě objektu z kapitoly 4.2.1 konkrétně na obrázku 11, která činí okolo 50 kW by tyto zdroje dokázaly při plném využití pojmout méně než polovinu potřebného výkonu bez důsledku jakéhokoli důvodu jej jakkoli mařit či vracet do sítě.

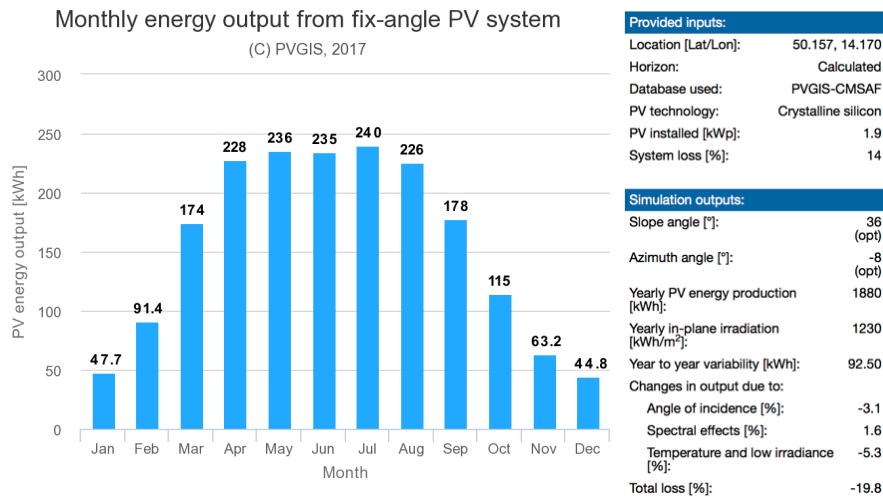
5.6.1. FOTOVOLTAICKÉ PANELE

Instalace fotovoltaických panelů je vymezena projektem jako takovým, panely byly zvoleny zejména z důvodu komplexnosti celé technologie a ovladatelnosti systému jako celku. Fotovoltaické panely, které budou osazeny na horní části kontejneru, budou mít pravděpodobný výkon přibližně 1,9 kWp. Finální výkon závisí hlavně na vymezení konkrétního typu větrné elektrárny a jejího konkrétního umístění na střešní části kontejneru. Následující graf udává průběh dostupného výkonu daného systému FVE v jednotlivých měsících při zvoleném výkonu 1,9 kWp.



OBRAZEK 14 PRŮBĚH GENERACE VÝKONU ZE SOLÁRNÍHO ZDROJE

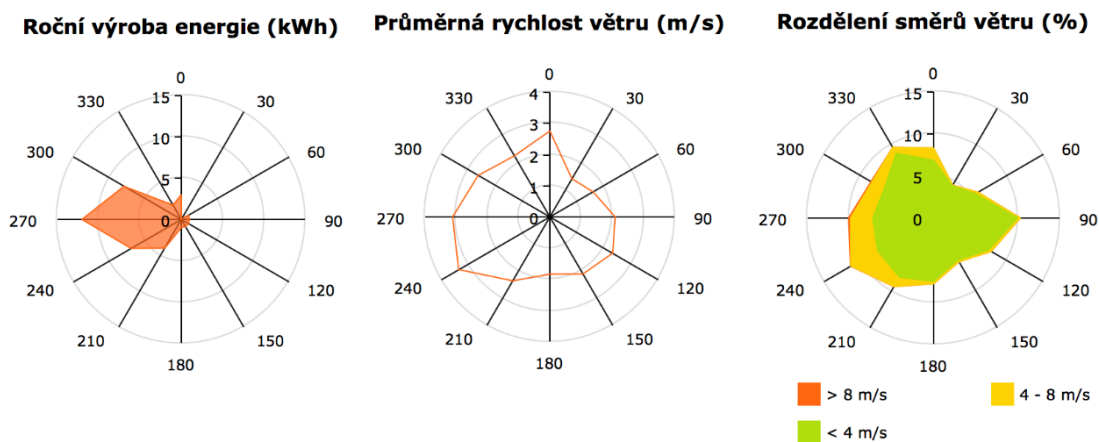
Na grafu 14 vidíme, že průběh výkonu závisí zejména na ročním období a denní hodině. V zimních měsících nebude sluneční osvit tak intenzivní, čímž se výkon panelů snižuje. Výběr vhodných panelů a jejich následný celkový výkon podle typu bude zvolen po multikriteriálním výběru a konzultaci s partnery. Z pohledu celkového potenciálu výroby elektrické energie v průběhu celého roku dle nástroje Evropské Unie [15] pro výpočet solárního potenciálu můžeme odhadnout měsíční výrobu elektrické energie systému, včetně celkového potenciálního množství energie, která činí 1880 kWh (Obrázek 14).



OBRÁZEK 15 MĚSÍČNÍ GENERACE ELEKTRICKÉ ENERGIE ZE SOLÁRNÍHO ZDROJE VČETNĚ PARAMETRŮ [15]

5.6.2. VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA

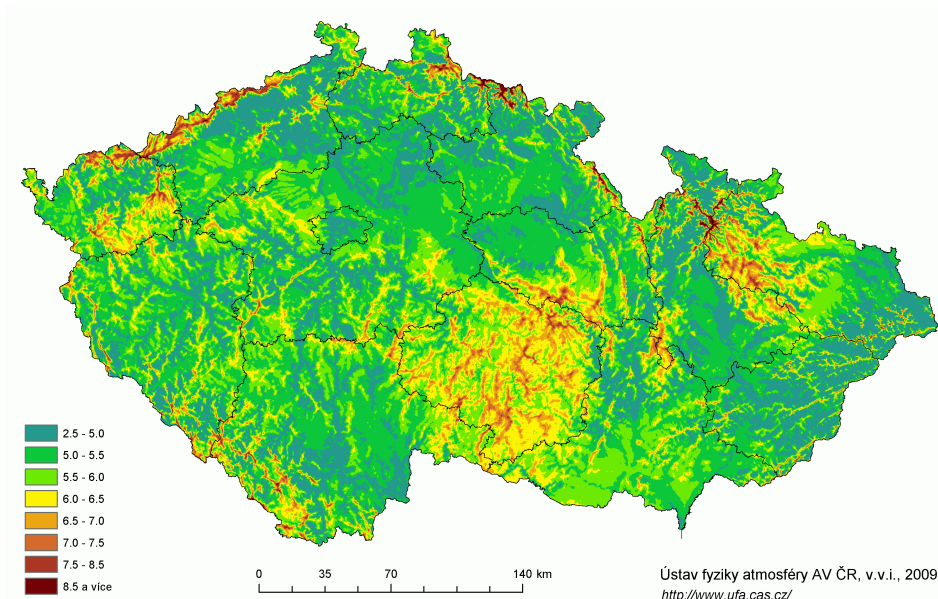
Větrná elektrárna je vymezena projektem jako takovým, byla zvolena zejména z důvodu komplexnosti celé technologie a ovladatelnosti systému jako celku. Větrná elektrárna bude umístěna horizontálně, na střeše kontejnerového řešení. V rámci lokace byl zanalyzován větrný potenciál pro určení směru, ve kterém bude technologie postavena.



OBRÁZEK 16 ANALÝZA VĚTRNÉHO POTENCIÁLU DLE ÚSTAVU FYZIKY ATMOSFÉRY AV ČR[16]

Z analýzy vyplývá, že azimut 270° je nejvhodnější směr pro efektivní využití této technologie v dané oblasti. Při výkonu turbíny okolo 200 W můžeme dosahovat až k 40 kWh vyrobené elektrické energie za rok, tedy v případě pokrytí potenciálu větru ze všech směrů. Jako potenciální řešení pro aplikaci na kontejnerové řešení a využití celkového potenciálu větru se dá použít horizontální větrná elektrárna **Makemu SMARTWIND** [17], která dosahuje výkonu od 300 W do 500 W. Řádné zvolení konkrétní technologie bude zhodnoceno v následující kapitole.

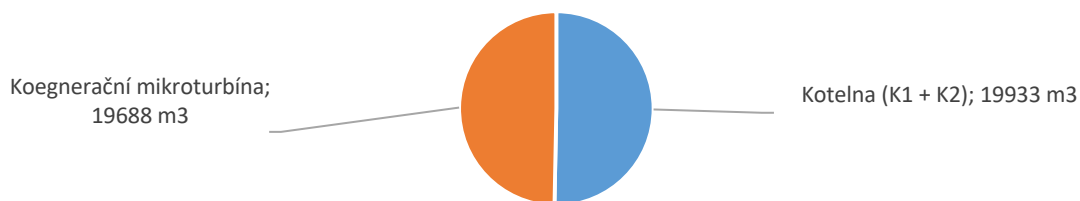
Pro představu větrných podmínek na území České republiky je na obrázku 16 zobrazena její intenzita v 100 m nad zemí.



OBRAZEK 17 POLE PRŮMĚRNÉ RYCHLOSTI VĚTRU VE VÝŠCE 100M NAD POVRCHEM [16].

5.7. ZHODNOCENÍ

Po prvotní předběžné analýze byla zjištěna spotřeba objektu, a z ní vytvořen diagram potřeby tepla, který nám definoval potřebu výkonu. Zjištění spotřeby plynu nám ukázalo rozdělení spotřeb v roce 2017. Spotřeba byla velice podobná jak u kotelny, tak u plynové kogenerační jednotky s celoroční spotřebou **39 621 m³**. Což nám dává ve výhřevnosti celých 1505 GJ. [4]



Společně s partnery bylo vybráno několik technologií, které budou implementovány do projektu „**Mobilní teplárna s akumulací a řízením**“. V kategorii zdrojů, které generují energii spalováním zemního plynu, byla zařízení vybrána dle potřeb dimenzovaného objektu ČVUT UCEEB. Každá komponenta bude zařazena do multikriteriální analýzy kvůli vyhodnocení vhodného zařízení. Veškeré zdroje používané pro výrobu tepla jsou v následující tabulce:

TABULKA 7 SEZNAM ZAŘÍZENÍ, KTERÁ JSOU VHODNÁ DO PROJEKTU A SPALUJÍ ZEMNÍ PLYN

VÝROBCE	TYP	VÝKONOVÉ PARAMETRY
VISSMANN	Vitodens 200-W	od 2,4 kW _t do 150 kW _t
VISSMANN	Vitocrossall 300 CU4A	od 2,5 kW _t do 60 kW _t
BUDERUS	Logano Plus KB372-75	69,4 kW _t
JUNKERS	CerapurMaxx	od 14,3 kW _t do 99,5 kW _t
CAPSTONE	C30	60 kW _t + 30 kW _e
VISSMANN	Vitobloc 200	81 kW _t + 50 kW _e
TEDOM	Micro T30	69 kW _t + 30 kW _e
TOTEM	Totem 20	42 kW _t + 20 kW _e
TOTEM	Totem 25	50 kW _t + 25 kW _e

V konzultaci s partnery byla dohodnutá implementace obnovitelných zdrojů jako je solární či větrná elektrárna. Rozhodovalo se zejména kvůli místu a únosnosti řešení. Při konzultacích s odborníky v oblasti byla zařazena solární elektrárna o výkonu 1,9 kW_p, ovšem její výkon se může měnit v závislosti na možném pokrytí střechy samotného kontejneru. Toto bude rozpracováno v další etapě projektu.

TABULKA 8 SEZNAM OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ POUŽITÝCH V RÁMCI PROJEKTU

TYP	TYP	VÝKONOVÉ PARAMETRY
FVE	Fotovoltaické panely	1,9 kW _p
WPS	Makemu Smartwind	500 W

Všechny vhodné komponenty je nutné zanalyzovat a multikriteriálně zhodnotit z několika hledisek z důvodu jejich ideální integrace do celkového ekosystému řešení.

6. MULTIKRITERIÁLNÍ OPTIMALIZACE

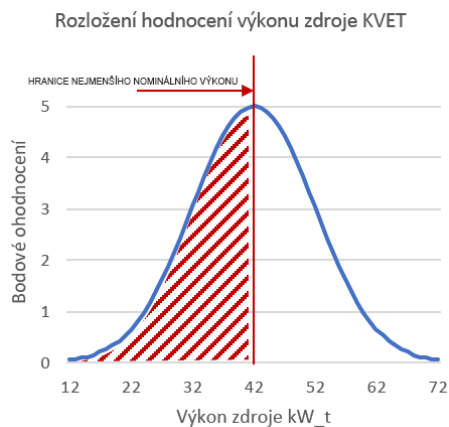
Tato kapitola se zabývá výběrem konkrétních zdrojů a technologií, které se hodí do projektu kondenzační miniteplárny.

6.1. TEPELNÁ ČÁST

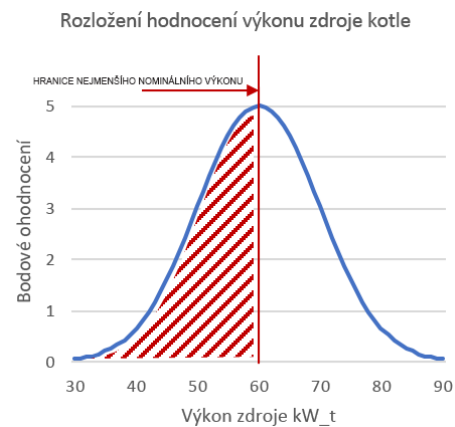
Multikriteriální optimalizace parametrů bude provedena z několika hledisek. Při výběru je kladen důraz zejména na bezpečnost a vzájemnou synergii všech komponent kontejnerového řešení jak v rámci instalace, tak mobility.

6.1.1. HLEDISKA PRO MULTIKRITERIÁLNÍ OPTIMALIZACI

- **Tepelný výkon** – z předchozího měření byl stanoven potřebný tepelný výkon 60 kWt v rámci kotlů a v rámci kogenerační plynové jednotky 42 kWt. Pro zhodnocení je zvolena Gaussova křivka, která udává určité ohodnocení zdrojů v daném rozpětí výkonu. U kotle je nutné zahrnout hranici nejmenšího nominálního výkonu, která udává, jakého výkonu musí dosáhnout daný kotel, aby bylo zajištěno pokrytí základních potřeb objektu dle základních předpokladů. Na obrázku 18 a 19 vidíme hodnocení dle počátečních podmínek zvolených v předešlých kapitolách. Bylo by vhodné, aby námi volené kotle byly v rozmezí výkonů, které tomuto parametru odpovídají.



OBRÁZEK 18 HODNOCENÍ KVET



OBRÁZEK 19 HODNOCENÍ KOTLE

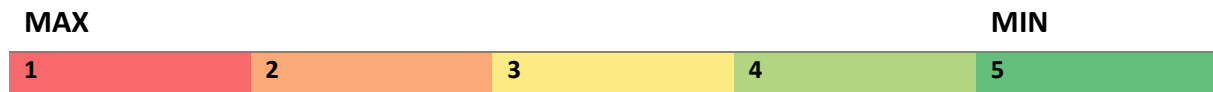
- **Rozměry** – vzhledem ke koncepci projektu je nutné, aby veškeré komponenty byly co nejmenší a vešly se do vnitřních rozměrů kontejnerového řešení.

MAX

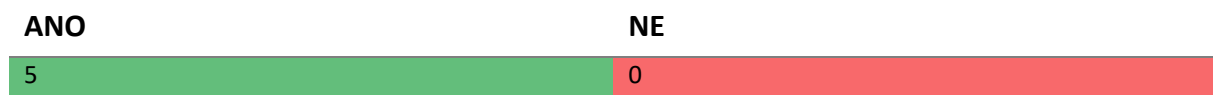
MIN



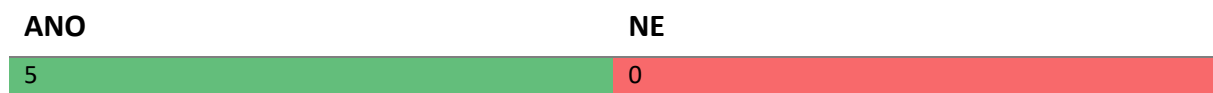
- **Hmotnost** – v rámci mobility celého zařízení je nutné, aby veškeré instalované komponenty měly co nejmenší hmotnost. Tento parametr je jedním z nejdůležitějších parametrů z hlediska konstrukce kontejneru. Standardní konstrukce kontejnerového řešení je v celkovém zatížení koncipována na váhu okolo 2tun. Je nutné, aby celková váha všech komponent tuto hranici nepřesáhla. Dále je nutné dimenzovat komponenty pro zatížení na 1 m². V opačném případě je nutná speciální úprava kontejneru na vyšší nosnost.



- **Variabilita v rámci možnosti úprav** – toto kritérium je vázáno na případnou úzkou spolupráci s výrobcem poskytované technologie a jeho benevolenci upravovat potenciální produkt dle potřeby. Důležité je právě z pohledu komplexní instalace všech komponent do kontejnerového řešení



- **Kompatibilita s MaR** – ze softwarového hlediska je kompatibilita všech instalovaných komponent velice důležitá právě z důvodu plynulé regulace a dále jejich efektivního využívání. Důležité je také umět využít centralizovaným regulačním systémem všechny funkce případného výrobku.



6.1.2. POČÁTEČNÍ PODMÍNKY

Multikriteriální optimalizace bude prověřována zhodnocovací metodou, kdy každý z parametrů bude zhodnocován v rámci své prospěšnosti pro projekt kondenzační mini teplárny. Víme, že rozměry a hmotnosti jsou důležité v rámci instalace a hmotnostní únosnosti kontejnerového řešení. Dále je nutná potřeba minimálního výkonu 60 kW dle určených parametrů a zároveň minimální výkon v letních měsících. Pro rozměrové parametry je důležité dosažení co nejnižších hodnot z důvodu úspory místa v kontejneru. Parametr hmotnosti je zde důležitý z hlediska přepravy a mobility kontejneru. Dalšími zásadními parametry pro správné aplikování do systému je možnost úprav technologie pro správnou integraci a správná kompatibilita v rámci měření a regulace, která bude součástí systému.

Parametry jako takové jsou zhodnoceny barevnou škálou, kdy nejhorší parametr má barvu červenou a optimální má barvu zelenou. Samotné bodování je systémem známkování od 1 do 5. Optimalizace bude probíhat ve dvou kategoriích, a to v rámci kotlů a plynové turbíny.

6.1.3. TECHNICKÁ OPTIMALIZACE PLYNOVÝCH KOTLŮ 3 A 4

Optimalizace kotlů jsou prováděny na teplotní spád 80/60 °C, na kterém aktuálně pracuje celý systém TV v objektu ČVUT UCEEB. Optimalizace je zobrazena na obrázku 20.

		Viessmann		Buderus	Junkers
		Vitodens 200-W	Vitocrossall 300 CU4A	Logano Plus KB372-75	CerapurMax x 100-3
Tepelný výkon [kW]		18,6 – 72,6	10.9 - 54.3	15.5 - 69.4	18.8 - 92
Rozměry	Výška [mm]	850	1372	1570	980
	Šířka [mm]	480	570	670	520
	Délka [mm]	530	629	736	465
Hmotnost [kg]		83	160	100	70
Možnosti úprav a		ANO	ANO	NE	NE
Kompatibilita s MaR		ANO	ANO	ANO	ANO

OBRAZEK 20 TECHNICKÁ OPTIMALIZACE PLYNOVÝCH KOTLŮ

Z technické optimalizace plynových kotlů vidíme, že optimální volbou výrobce je firma Viessmann, jejíž zařízení nejlépe naplňuje zvolená kritéria.

6.1.4. TECHNICKÉ OPTIMALIZACE PLYNOVÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

		TOTEM		TEDOM	Viessmann	Capstone
		Totem 20	Totem 25	Micro T30	Vitobloc 200	C30
Tepelný výkon [kW]		42	50	69	81	60
Elektrický výkon [kW]		20	25	30	50	30
Rozměry	Výška [mm]	1280	1280	1474	1700	1500
	Šířka [mm]	795	795	780	860	760
	Délka [mm]	1920	1920	1650	2800	1800
Hmotnost [kg]		780	780	1100	2000	578
Možnosti úprav a		ANO	ANO	NE	NE	NE
Kompatibilita s MaR		ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

OBRAZEK 21 TECHNICKÁ OPTIMALIZACE PLYNOVÉ KOGENERAČNÍ TURBÍNY

Z technické optimalizace plynových kogeneračních jednotek vidíme, že optimální volbou výrobce je firma TOTEM, která zasahuje v kritériích do nejlepšího rozsahu.

6.1.5. AKUMULAČNÍ NÁDRŽ TV

Návrh akumulční nádrže je definován rozměry, z důvodu komplexního systému uzavřeného do kontejnerového řešení bude přesná velikost akumulční nádrže známa až z detailního návrhu kondenzační miniteplárny. Průměr akumulční nádrže byl zvolen 480 mm s maximální možnou výškou v rámci vnitřních rozměrů kontejneru i včetně konstrukčních a přípojných dimenzí.



OBRÁZEK 22 AKUMULAČNÍ NÁDRŽ ROLF AKU

Jako předloha pro tuto nádrž byla vybrána ve spolupráci s žadatelem - ECM System Solutions s.r.o. [1] a Partnerem č. 2 - YOUNG4ENERGY s.r.o. [2] akumulční nádrž ROLF AKU [18], která dosahuje velikosti od 200 - 5000 l a její maximální provozní teplota je stanovena na 100°C s tím, že její izolační a materiálové vlastnosti jsou vhodné pro dané použití. Koncept samotné akumulční nádrže bude v rámci tepelných izolací lehce poddimenzován kvůli potřebě temperování vnitřního prostoru kontejneru. Je to nutné zejména při extrémně nízkých teplotních podmínkách.

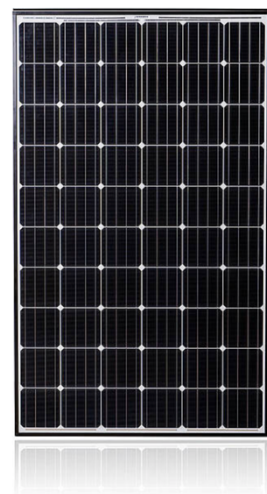
6.2. ELEKTRICKÁ ČÁST

6.2.1. FOTOVOLTAICKÉ PANELE

Jako zásadní prvek fotovoltaické elektrárny – fotovoltaický panel byl zvolen panel od firmy WINAICO [19] s označením WSP-315M6-PERC [20]. Výběr této konkrétní technologie je zejména z důvodu špičkového zpracování, které je v rámci světového trhu jedno z nejlepších. Panely vynikají vysokou účinností až 18,9%, výborným poměrem výkonu na plochu a podáním dobrých výkonových parametrů při nižší světelnosti či zvýšené teplotě.

Základní výhody fotovoltaického panelu uváděné výrobcem:

- Panel převyšuje třikrát standart IEC
- Relativní 99 % účinnost při slabém osvětlení
- Panel je chráněn proti nepříznivému počasí
- Panel je navržen pro ochranu před požárem



OBRÁZEK 23 WSP-315M6-PERC

TABULKA 9 TECHNICKÉ PARAMETRY FOTOVOLTAICKÉHO MODULU [20]

PARAMETRY			
NOMINÁLNÍ VÝKON	P_{MAX}	315	Wp
MAXIMÁLNÍ VÝKON NAPĚTÍ	V_{MP}	33,2	V
MAXIMÁLNÍ VÝKON PROUDU	I_{MP}	9,48	A
NAPĚTÍ V OTEVŘENÉM OKRUHU	V_{OC}	40,4	V
ZKRATOVÝ PROUD	I_{SC}	10,2	A
ÚČINNOST MODULU	η	18,9	%
TOLERANCE VÝKONU		0/+5	W

6.2.2. HYBRIDNÍ STŘÍDAČ

Pro správné fungování fotovoltaických článků je potřeba zvolit technologii, která ideálně kombinuje bateriové úložiště i střídače. Takový hybridní střídač vyhovuje produktu od firmy FRONIUS [21] a jejich konkrétnímu produktu SYMO HYBRID 4.0-3-S [22].

Tento hybridní střídač je schopen pojmout vstupní výkon až 6500 W s maximálním vstupním proudem 1x16A. V rámci výstupních parametrů je schopen vyvinout jmenovitý výstupní výkon střídavého proudu 4000 W.



OBRÁZEK 24 FRONIUS SYMO HYBRID 4.0-3-S

TABULKA 10 TECHNICKÉ VSTUPNÍ PARAMETRY FRONIUS [22]

VSTUPNÍ DATA	
POČET SLEDOVAČŮ MPP	1,0
MAXIMÁLNÍ VSTUPNÍ VÝKON	6500,0 W
MAXIMÁLNÍ VSTUPNÍ PROUD ($I_{DC MAX}$)	1 x 16 A
MAXIMÁLNÍ ZKRATOVÝ PROUD	24,0 A
ROZSAH VSTUPNÍHO NAPĚTÍ DC ($U_{DC MIN} - U_{DC MAX}$)	150–1000 V
VSTUPNÍ NAPÁJECÍ NAPĚTÍ ($U_{DC START}$)	200,0 V
NOMINÁLNÍ VSTUPNÍ NAPĚTÍ ($U_{DC,R}$)	595,0 V
ROZSAH NAPĚTÍ MPP ($U_{MPP MIN} - U_{MPP MAX}$)	255–800 V
POUŽITELNÝ ROZSAH NAPĚTÍ MPP	150–800 V
POČET DC PŘIPOJENÍ	2,0

Ze vstupních parametrů viditelných v tabulce 10 můžeme zjistit, že je tento hybridní střídač v rámci výkonu dostatečný pro pokrytí potřeb z fotovoltaického a větrného zdroje.

TABULKA 11 TECHNICKÉ VSTUPNÍ PARAMETRY FRONIUS [22]

VÝSTUPNÍ DATA

JMENOVITÝ VÝSTUP STŘÍDAVÉHO PROUDU ($P_{AC, R}$)	4000,0 W
MAXIMÁLNÍ VÝSTUPNÍ VÝKON ($P_{AC MAX}$)	4000,0 VA
MAXIMÁLNÍ AC VÝSTUPNÍ PROUD	8,3 A
PŘIPOJENÍ K SÍTI ($U_{AC, R}$)	3~ NPE 400/230, 3 ~ NPE 380/220 V
ROZSAH STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ ($U_{MIN} - U_{MAX}$)	150–270 V
FREKVENCE (F_R)	50 / 60 Hz
FREKVENČNÍ ROZSAH ($F_{MIX} - F_{MAX}$)	45–65 Hz
CELKOVÉ HARMONICKÉ ZKRESLENÍ	<3 %
FAKTOR VÝKONU ($\cos \Phi_{AC, R}$)	0,85 – 1 ind./cap.

6.2.3. VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA

V rámci větrné elektrárny byla s partnery vybrána jako vhodná technologie horizontální větrné elektrárny. V analýze byl brán zřetel zejména na rozměry, které byly porovnávány s účinností, výkonem, náročností instalace a v hmotnosti technologie.

Ideální technologií, která splňovala výše zmíněné parametry, byla zvolena po konzultaci s žadatelem – ECM System Solutions s.r.o. a Partnerem č. 2 – YOUNG4ENERGY s.r.o. technologie MAKEMU SMARTWIND 500 W. Jedná se o větrnou elektrárnu, která je jedna z nejmenších na trhu a zároveň má poměrně nízké investiční náklady. Výrobce deklaruje, že instalace větrné elektrárny Makemu je časově nenáročná. Elektrárna váží pouhých 12 kg a v průměru má 80 cm. Výhodou je vertikální generátor, který nás zbavuje potřeby elektrárnu natáčet po směru větru. Rotor vertikální osy zachycuje vítr ze všech směrů. Elektrárna je oproti standartním svislým rotorům velice tichá i při pracovních otáčkách. [17]



OBRÁZEK 25 MAKEMU SMARTWIND

TABULKA 12 TECHNICKÉ PARAMETRY MAKEMU SMARTWIND [17]

PARAMETRY	
VÁHA	10 kg
ROZMĚRY	800 x 800 x 850
NAPĚTÍ	AC třífázový 24 V max (baterie 12/24 V DC)
ŠPIČKOVÝ VÝKON	500 W
NOMINÁLNÍ VÝKON	300 W
MINIMÁLNÍ RYCHLOST VĚTRU	3,2 m/s (tři listy rotoru)
ÚROVEŇ HLUKU	<40 dB

6.2.4. BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ

Celkový systém akumulace elektrické energie bude zajišťován přes bateriové úložiště. Technologie baterie bude na bázi LiFePO₄. Tato technologie byla zvolena kvůli nízké hmotnosti modulů a možnostem modulace jako takové. Modulací je myšlena velká variabilita velikosti článků, kdy můžeme volit počet modulů obsažených v jednom úložišti. Na trhu se vykytuje několik distributorů této technologie, ale mezi nejvýznamnější patří bateriový systém BYD B-BOX HW [23], který nabízí konfiguraci od 5 do 9 bateriových modulů a komplexní propojení 5 těchto systémů dohromady, čímž se dostáváme na poměrně vysoké kapacity v rámci řešení. Finální velikost systému bude určena obdobně jako akumulace TV, tedy po podrobném návrhu řešení. Důležitá je informace, že jeden z modulů váží 26 kg, tudíž je nutné volit jejich počet tak, aby jej unesla podlaha kontejneru a nebyl by problém s vyvážením.



OBRÁZEK 26 BYD B-BOX HW

TABULKA 13 TECHNICKÉ PARAMETRY BYD B-BOX HV

	B-BOX H7.7	B-BOX H9.0	B-BOX H10.2	B-BOX H11.5	
TYP BATERIE	LiFePO ₄				
MODUL BATERIE	B-Plus-H (1,28 kWh // 26 kg // 580x120x380 mm)				
KONFIGURACE	5 modulů	6 modulů	7 modulů	8 modulů	9 modulů
POUŽITELNÁ KAPACITA	6,40 kWh	7,68 kWh	8,96 kWh	10,24	11,52
MAX. VÝSTUPNÍ	6,40 kW	7,68 kW	8,96 kW	10,24 kW	11,52 kW
ŠPIČKOVÝ VÝSTUPNÍ	12,80 kW	15,36 kW	17,92 kW	20,48 kW	23,04 kW
JMENOVITÉ NAPĚTÍ	256 V	307 V	358 V	409 V	460 V
ROZSAH NAPĚTÍ	200-282 V	240-338 V	280-395 V	320-451 V	360-500 V

6.3. ANALÝZA KRITÉRIÍ

Dle podrobné analýzy můžeme definovat výběr základních použitých technologií v rámci systému. Aktuální část se zabývá zejména číselným ohodnocením parametrů, jejich následnou sumarizací a finálním vyhodnocením technologie. Parametry budou ohodnoceny dle barevného určení z předešlé části ve smyslu, kdy je zelenou barvou označen maximální počet bodů 5 a naopak minimální počet bodů 1 označen barvou červenou. Ostatní barevné odstíny jsou hodnoceny dle rozmezí.

6.3.1. BODOVÁ OPTIMALIZACE PLYNOVÝCH KOTLŮ 3 A 4

Následující tabulka se zabývá bodovým ohodnocením tabulky z předešlé části

TABULKA 14 VÝBĚR TECHNOLOGIÍ PRO POUŽITÍ DO KOMPLEXNÍHO SYSTÉMU Z POHLEDU PLYNOVÝCH KOTLŮ 3 A 4.

		Viessmann		Buderus	Junkers
		Vitodens 200-W	Vitocrossall 300 CU4A	Logano KB372-75	Plus CerapurMaxx 100-3
Tepelný výkon [kW]	Min	1	5	3	2
	Max	1	5	3	2
Rozměry	Výška [mm]	5	3	1	4
	Šířka [mm]	5	3	1	4
	Délka [mm]	4	3	1	5
Hmotnost [kg]		4	1	3	5
Možnosti úprav, integrace		5	5	1	1
Kompatibilita s MAR		5	5	5	5
CELKEM		30	30	18	28

Dle páté tabulky multikriteriální analýzy dle řazení jednotlivých výrobců můžeme zhodnotit firmu Viessmann jako nejvhodnějšího kandidáta pro volbu plynových kondenzačních kotlů. Zejména kvůli rozměrovým výhodám a možnosti úprav v rámci prototypového řízení. Dále je důležitá variabilita výkonové části, která má vysoký potenciál v rámci synergie s MAR. Alternativním vhodným kandidátem by byl CerapurMaxx od společnosti Junkers, který vykazuje velice dobrou variabilitu ve výkonové části.

6.3.2. BODOVÁ OPTIMALIZACE PLYNOVÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

TABULKA 15 VÝBĚR TECHNOLOGIÍ PRO POUŽITÍ DO KOMPLEXNÍHO SYSTÉMU Z POHLEDU PLYNOVÉ KONDENZAČNÍ TURBÍNY

		TOTEM		TEDOM	Viessman n	Capstone
		Totem 20	Totem 25	Micro T30	Vitobloc 200	C30
Tepelný výkon [kW]		5	4	2	1	3
Elektrický výkon [kW]		1	2	3	5	3
Rozměry	Výška [mm]	5	5	3	1	3
	Šířka [mm]	3	3	4	1	5
	Délka [mm]	3	3	5	1	4
Hmotnost [kg]		3	3	2	1	5
Možnosti úprav, integrace		5	5	1	1	1
Kompatibilita s MaR		5	5	5	5	5
CELKEM		30	30	25	16	29

Dle tabulky č.15 multikriteriální analýzy dle řazení jednotlivých výrobců můžeme zhodnotit firmu TOTEM jako nejvhodnějšího kandidáta pro volbu plynové kogenerační jednotky. Zejména kvůli rozměrovým výhodám a možnosti úprav v rámci potřeby konstrukčních úprav zařízení v rámci instalace do kontejnerového řešení. Dále je důležitá variabilita výkonové části, která má vysoký potenciál v rámci součinnosti s MaR.

6.3.3. OSTATNÍ TECHNOLOGIE

Zvolení ostatních technologií v celém měřítku proběhlo v předešlé části, kde je sumarizována celková koncepce výběru. Následující tabulka udává výběr kompletních technologií, které byly vybrány s partnery projektu.

TABULKA 16 SEZNAM OSTATNÍCH TECHNOLOGIÍ SOUČÁSTÍ KONTEJNEROVÉHO ŘEŠENÍ

SEZNAM VYBRANÝCH TECHNOLOGIÍ

AKUMULAČNÍ NÁDOBA	ROLF AKU (200-5000l)
FOTOVOLTAICKÝ PANEĽ	WINAICO WSP-315M6 PERC
HYBRIDNÍ STŘÍDAČ	FRONIUS SYMO HYBRID 4.0-3-S
BATERIOVÉ ÚLOŽIŠTĚ	BYD B-BOX HV
VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA	MAKEMU SMARTWIND 500 W

6.3.4. FINÁLNÍ VÝBĚR KONDENZAČNÍHO KOTLE

TABULKA 17 PARAMETRY VÝROBCE PRO KONDENZAČNÍ PLYNOVÝ KOTEL

		Viessmann	
		Vitodens 200-W	Vitocrossall 300 CU4A
Tepelný výkon [kW]	min	1	5
	max	1	5
Rozměry	Výška [mm]	5	3
	Šířka [mm]	5	3
	Délka [mm]	4	3
Hmotnost [kg]		4	1
Možnosti úprav, integrace		5	5
Kompatibilita s MaR		5	5
CELKEM		30	30

Z tabulky 17 vidíme, že nevhodnějšími kandidáty jsou produkty firmy Viessmann, oba produkty dosáhly shodného hodnocení 30 bodů z multikriteriálního hodnocení. V rámci lepšího umístění v rámci kontejneru je vhodnější produkt **Vitodens 200-W**, a to zejména z důvodu rozměrového hlediska a také nízké váhy. V rámci nízkého ohodnocení výkonové části z pohledu minima a maxima je diskutabilní minimální ohodnocení. Z pohledu minimálního výkonu lze použít akumulční nádrž, která bude obsažena jak v rámci kontejnerového řešení, tak v rámci lokace jako samostatný akumulční systém. V rámci maximálního výkonu je projekt dle aktuálního použití lehce naddimenzován, ale v případě potenciálního využití i na jiných objektech se jedná o pozitivní hledisko. Z pohledu možnosti zamrznutí systému v případě nepříznivých podmínek je ale vhodnější zvolit vodní **Vitocrossall 300 CU4A**, který bude zároveň temperovat vnitřní prostor jako takový a tvořit tak ideální podmínky uvnitř kontejneru. Oba kotle jsou vhodné pro jiné použití, z důvodu váhy je vhodnější zvolit Vitodens 200-W.

6.3.4.1. POPIS VYBRANÉHO PRODUKTU

Kotel Viessmann Vitodens 200 je nástěnný, vysoce efektivní kondenzační kotel s nerezovým tepelným výměníkem Inox-Radial a válcovým sálavým hořákem MatriX s možností ovládání přes internet. Všechny plynové kondenzační kotle Viessmann mají patentovaný výměník tepla z ušlechtilé oceli Inox-Radial. Tato technika představuje vysokou účinnost až 98 % a vyznačuje se dlouhodobou životností a bezpečným a účinným provozem. Na výměníky tepla z ušlechtilé oceli do 150 kW poskytuje Viessmann desetiletou záruku na netěsnost způsobenou korozí. Válcový hořák MatriX je rovněž vyroben z ušlechtilé oceli, a proto má velmi dlouhou životnost. [4] [24]



Základní výhody kotle uváděné výrobcem:

- Transformace použitého paliva v teplo s účinností až 98 %
- Dlouhá životnost a účinnost díky výměníku tepla Inox-Radial
- Tichý chod díky nízké rychlosti ventilátoru
- Možnost připojení na internet díky Vitoconnect 100
- Kompaktní rozměry
- Třída energetické účinnosti: A

Rozsah kotel má několik variant, které se liší svými vlastnostmi. Vzhledem k nutnosti tepelného spádu systému 80/60 °C můžeme zvolit třetí variantu kotle s výkonem od 18,2 kW do 72,6 kW. Všechny parametry jsou v tabulce 18.

TABULKA 18 PARAMETRY KOTLE [24]

ROZSAH JMENOVITÉHO TEPELNÉHO VÝKONU

50/30 °C KW	12,0-	12,0-	20,0-	20,0-	32,0-	32,0-
	49,0	60,0	80,0	99,0	120,0	150,0
80/60 °C KW	10,9 –	10,9-	18,2-	18,2-	29,1-	29,1-
	44,5	54,4	72,6	90,0	109,1	36,0
ROZMĚRY						
DÉLKA X ŠÍŘKA X VÝŠKA	380x480x850		530x480x850		690x600x900	
MM						
HMOTNOST KG	65	65	83	83	130	130
OBJEM VÝMĚNÍKU TEPLA	7	7	12,8	12,8	15	15
TŘÍDA ENERGETICKÉ	A	A	-	-	-	-
ÚČINNOSTI						

6.3.5. FINÁLNÍ VÝBĚR KOGENERAČNÍ PLYNOVÉ JEDNOTKY

		TOTEM	
		Totem 20	Totem 25
Tepelný výkon [kW]		5	4
Elektrický výkon [kW]		1	2
Rozměry	Výška [mm]	5	5
	Šířka [mm]	3	3
	Délka [mm]	3	3
Hmotnost [kg]		3	3
Možnosti úprav		5	5
Kompatibilita s MaR		5	5
CELKEM		30	30

TABULKA 19 PARAMETRY VÝROBCE PRO KOGENERAČNÍ PLYNOVOU JEDNOTKU

Z tabulky č.19 vidíme, že nejvhodnějšími kandidáty jsou produkty firmy TOTEM, oba produkty dosáhly shodného zhodnocení 30 bodů z multikriteriálního zhodnocení. V rámci vhodnějšího výkonového parametru je lepší produkt **TOTEM 20**. Důvodem takto vysokého bodového ohodnocení je zejména nejvhodnější hodnota tepelného výkonu do koncepce systému. Dále je velkým benefitem možnost úprav produktu a jeho následná snadná integrace do systému.

6.3.5.1. POPIS VYBRANÉ KOGENERAČNÍ PLYNOVÉ JEDNOTKY.

Kogenerační jednotka TOTEM byla pro projekt vybrána hlavně z důvodu dostatečného tepelného výkonu, možnosti úprav a kompatibilitou s MaR. Elektrický výkon kondenzační jednotky je dostačující. Kondenzační jednotka také vyniká svou účinností, energetickou třídou a systémem vestavěného kondenzačního výměníku, který je na trhu ojedinělý. Rozměry mikrokogenerační jednotky taktéž vyhovují projektu“. [8] [25]



Kogenerační jednotka TOTEM disponuje nízkými emisními hodnotami, emise NOx i CO jsou nižší než 10mg/mN3 při 5 % O2 ve spalínách. Jednotka má relativně vysokou celkovou účinnost, která dosahuje 96,6 % a v nízkoteplotním kondenzačním režimu jednotka dosahuje celkové účinnosti až 106,1 %, což z ní dělá jednu z nejúčinnějších mikrokogeneračních jednotek na trhu. Mikrokogenerační jednotka nabízí kondenzační režim v základní nabídce. Díky své spolehlivosti a nízkým nárokům na údržbu je jednotka jednoduchá k obsluze. Mikrokogenerační jednotka TOTEM byla vyvinuta v kooperaci s předními světovými výrobci jako je např. FIAT CHRYSLER Automobiles. Jednotka je připojená na nízkotlaký rozvod zemního

plynu. Vyvedení elektrického výkonu do elektrické sítě je na straně nízkého napětí. Variabilní připojení k datové síti a internetu zajišťuje možnost dálkového dohledu. Za zmínku rovněž stojí i jednoduchá instalace z důvodu malých rozměrů a nízké hmotnosti jednotky. [8] [25]

TABULKA 20 PARAMETRY KOGENERAČNÍ JEDNOTKY [8] [25]

MODEL	TOTEM 20	TOTEM 25
MĚŘENÝ ELEKTRICKÝ VÝKON KW	20	25
VLASTNÍ SPOTŘEBA KW	0,205	0,205
VÝKONOVÉ MODULAČNÍ ROZSAHY KW		≥7,5
JMENOVITÝ TEPELNÝ VÝKON KW	41,9 (48,5)	50,2 (57,6)
CELKOVÁ EFEKTIVITA %	96,5 (106,8)	97,8 (17,4)
PALIVO		metan
SPOTŘEBA PALIVA NM3/H	6,28	7,54
VÝSTUPNÍ VÝKON KW	64,1	76,9

V tabulce 20 vidíme parametry kogenerační jednotky TOTEM 20, zeleně je vyznačena vhodná konfigurace.

6.3.6. DOPLŇKOVÉ TECHNOLOGIE

6.3.6.1. EXPANZNÍ SYSTÉM

V závislosti na místních podmínkách v místě realizace mobilní kondenzační miniteplárny je nutno navrhnout expanzní systém. Tento systém se skládá z expanzní nádoby, doplňovacích čerpadel, vypouštěcího ventilu a vodoznaku. Při instalaci nové mobilní kondenzační miniteplárny do stávající kotelny dochází k zásahu do objemu otopné soustavy o nově instalovanou akumulaci nádobu. Stávající expanzní systém je založen na integrální stanici pro stabilizaci tlaku, která průběžně měří tlak v zařízení. Zvýší-li se při ohřevu objem vody v zařízení a tím i tlak, pak otevře řízení přepouštěcí ventil, nechá vodu dotéct do beztlaké expanzní nádoby a tím dosáhne kompenzace objemu. V opačném případě, tzn. při zchlazení a tím spojené smršťování vody v zařízení, řízení zajistí, že se do zařízení přečerpává voda z nádoby. Zařízení udržuje (stabilizuje) tlak v zařízení okolo požadovaného provozního tlaku. KGJ je vybavena vlastní expanzní nádobou o objemu 25 l pro zajištění tlakové rovnováhy systému při startech a odstavení KGJ.

6.3.6.2. KONDENZÁTNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

Vzhledem ke komponentům je nutné uvažovat nad kondenzátním hospodářstvím. Kondenzát je nutné odvádět z kogenerační plynové jednotky, tlumiče hluku spalin a z vlastního spalinovodu, dále pak z instalovaných kondenzačních kotlů a jejich spalinovodů. Všechny zdroje kondenzátu povedou do stávající místní kanalizační vpusti.

6.3.6.3. POTRUBÍ A ARMATURY

Potrubí je tvořeno z bezešvých závitových ocelových trubek do DN 50 včetně a bezešvých trubek hladkých u DN 65 a více, spojovaných svařováním (jakost materiálu 11 353). V rámci spojovacího potrubí jsou zahrnuty armatury, těsnění, příruby i uložení potrubí. Potrubí je uloženo jednak na tyčových závěsech a jednak pomocí třmenů na konzolách, budou převážně použity typové závěsy. Dilatace potrubí vlivem teplotních změn budou kompenzovány tvarem trasy. Povrchová ochrana studeného spojovacího potrubí a potrubí do 70 °C a dále nosných konstrukcí sestává ze základního jednovrstvého nátěru syntetickou základní barvou. Jednotlivá potrubí budou označena barevnými pruhy dle protékajícího média. Povrchová úprava potrubí bez tepelné izolace bude tvořena emailovým nátěrem, přičemž barva nátěru bude odpovídat typu přenášeného média. Před uvedením do provozu je nutno stávající zařízení a rozvody propláchnout a provést provozní, tlakovou a topnou zkoušku ve smyslu ČSN 06 0310. Součástí zkoušek je hydraulické vyvážení soustavy. Trasy rozvodů jsou patrné z výkresové dokumentace. Všechny použité výrobky musí mít osvědčení o schválení k provozu v České republice. Potrubní rozvody budou uloženy na podpěrách, na závěsech pod stropem a také na konzolách na stěnách kontejneru. Maximální rozteče budou uvedeny v prováděcí dokumentaci. Uložení, ocelové konstrukce a potrubí budou opatřeny základním nátěrem. Dilatace potrubí vlivem teplotních změn budou kompenzovány tvarem trasy.


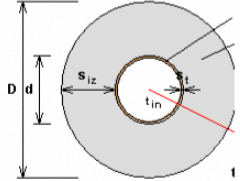
6.3.6.4. TEPELNÁ IZOLACE

Pro zajištění minimálních tepelných ztrát potrubí budou dodrženy podmínky vyhlášky č. 193/2007 Sb. [26], k izolaci potrubí bude použit materiál, splňující požadavky na součinitel prostupu tepla $\lambda < 0,040 \text{ W/mK}$ a tloušťka, která zajistí splnění podmínek vyhlášky:


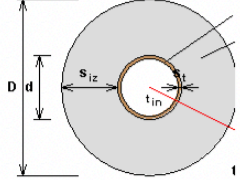
DN	20 až 32	40 až 65	80 až 125	150 až 200
U [W/mK]	0,18	0,27	0,34	0,4

Výpočet požadované tloušťky tepelné izolace byl proveden pomocí softwaru ze serveru www.tzb-info.cz [27]. Potrubí bude obaleno pouzdrům s povrchovou úpravou hliníkovou fólií.

Tepelná ztráta potrubí s izolací kruhového průřezu

<p>Izolace</p> <p>ROCKWOOL > FLEXOROCK</p> <p>Rozměry izolace - tl. 60</p> <p>Tloušťka $s_{iz} = 60$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_{iz} = 0,039$ W / m K</p>	 <p>Rozsah provozních teplot: není uveden</p>
<p>Trubka</p> <p>Ocelové trubky bezševé</p> <p>Rozměry trubky - DN 65 (2 1/2")</p> <p>Průměr $d = 76$ mm</p> <p>Tloušťka stěny $s_t = 3,2$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_t = 50$ W / m K</p>	
 <p>$d = 76,0$ mm</p> <p>$D = d + 2 s_{iz} = 196$ mm</p>	<p>Potrubí</p> <p>Teplota média $t_{in} = 90$ °C</p> <p>Teplota v okolí potrubí $t_{out} = 20$ °C</p> <p>Relativní vlhkost vzduchu $\rho_h = 65$ % 222</p> <p>Teplota rosného bodu $t_w = 13,6$ °C</p> <p>Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu $\alpha_e = 10$ W / m² K</p> <p>Délka potrubí $l = 1$ m</p>
<p>Určující souč. prostupu tepla (dle vyhl. 193/2007)</p>	<p>DN 40 - DN 65 $\Rightarrow U_{o,193/2007} = 0,27$ W / m K</p>
<p>Součinitel prostupu tepla izolovaného potrubí</p>	<p>$U_o = 0,25 \leq 0,27$ W / m K \Rightarrow VYHOVUJE požadavkům vyhlášky č. 193/2007</p>
<p>Povrchová teplota izolovaného potrubí</p>	<p>$t_{p,iz} = 22,8$ °C $> t_w \Rightarrow$ na povrchu potrubí nedochází ke kondenzaci</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí bez izolace</p>	<p>$q_p = 167$ W/m</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí s izolací</p>	<p>$q_{iz} = 17,5$ W/m</p>
<p>Energetická úspora izolovaného potrubí</p>	<p>90 %</p>
<p>Sřední spotřeba izolace</p>	<p>0,4273 m² - platí pro plošnou izolaci</p>

Tepelná ztráta potrubí s izolací kruhového průřezu

<p>Izolace</p> <p>ROCKWOOL > FLEXOROCK</p> <p>Rozměry izolace - tl. 50</p> <p>Tloušťka $s_{iz} = 50$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_{iz} = 0,039$ W / m K</p>	 <p>Rozsah provozních teplot: není uveden</p>
<p>Trubka</p> <p>Ocelové trubky bezševé</p> <p>Rozměry trubky - DN 50 (2")</p> <p>Průměr $d = 57$ mm</p> <p>Tloušťka stěny $s_t = 2,9$ mm</p> <p>Souč. tepelné vodivosti $\lambda_t = 50$ W / m K</p>	
 <p>$d = 57,0$ mm</p> <p>$D = d + 2 s_{iz} = 157$ mm</p>	<p>Potrubí</p> <p>Teplota média $t_{in} = 90$ °C</p> <p>Teplota v okolí potrubí $t_{out} = 20$ °C</p> <p>Relativní vlhkost vzduchu $\rho_h = 65$ % 222</p> <p>Teplota rosného bodu $t_w = 13,6$ °C</p> <p>Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu $\alpha_e = 10$ W / m² K</p> <p>Délka potrubí $l = 1$ m</p>
<p>Určující souč. prostupu tepla (dle vyhl. 193/2007)</p>	<p>DN 40 - DN 65 $\Rightarrow U_{o,193/2007} = 0,27$ W / m K</p>
<p>Součinitel prostupu tepla izolovaného potrubí</p>	<p>$U_o = 0,233 \leq 0,27$ W / m K \Rightarrow VYHOVUJE požadavkům vyhlášky č. 193/2007</p>
<p>Povrchová teplota izolovaného potrubí</p>	<p>$t_{p,iz} = 23,3$ °C $> t_w \Rightarrow$ na povrchu potrubí nedochází ke kondenzaci</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí bez izolace</p>	<p>$q_p = 126,3$ W/m</p>
<p>Tepelná ztráta potrubí s izolací</p>	<p>$q_{iz} = 16,3$ W/m</p>
<p>Energetická úspora izolovaného potrubí</p>	<p>87 %</p>
<p>Sřední spotřeba izolace</p>	<p>0,3362 m² - platí pro plošnou izolaci</p>

OBRÁZEK 27 VÝPOČET POŽADOVANÉ TLOUŠTKY IZOLACE – [27]

7. MATEMATICKÝ MODEL PRO NOVÉ ZDROJE

Vzhledem k nejasnému měření některých zdrojů v objektu je nutné navrhnout matematický model objektu. Důležitost tkví zejména ve správném nastavení. Jako podklady byli použity data z analýzy spotřeb objektu UCEEB.

Matematický model je koncipován z optimálního řešení, kdy je veškeré generované teplo rovno jeho spotřebě.

$$Q_c = \sum Q_g - \sum Q_s = 0$$

Pro zpracování energetické bilance objektu byl sestaven bilanční model ze základních měřených dat. Model systému byl tvořen zdrojovou metodikou ve smyslu primární spotřeby zdrojů. Zdrojová metodika je souhrn dat zdrojů, která byla v jejich hrubé formě zpracována a z jejich dat byl sestaven model pro potřebu tepla. Následně byl model přepočítán na dlouhodobý normál denostupňovou metodou. Tímto způsobem byl získán průběh náročnosti na teplo jak v měřeném roce, tak ve dlouhodobém normálu. Hlavním vstupem do matematického modelu jsou spotřeby hlavních zdrojů, které jsou, jak se můžeme dočíst v první kapitole, zejména plynové kotle K1 a K2 a dále pak kogenerační mikroturbína Capstone C65. Spotřeby těchto zdrojů jsou zobrazeny v tabulce 21

TABULKA 21 SPOTŘEBY PLYNU U HLAVNÍCH ZDROJŮ OBJEKTU UCEEB [4]

	KOTELNA (K1+K2)	KOGENERAČNÍ PLYNOVÁ JEDNOTKA	CELKEM
	m3	m3	m3
LEDEN	3540	5107	8647
ÚNOR	2129	4298	6427
BŘEZEN	1060	4577	5637
DUBEN	889	3803	4692
KVĚTEN	966	754	1720
ČERVEN	199	0	199
ČERVENEC	250	0	250
SRPEN	215	0	215
ZÁŘÍ	1077	0	1077
ŘÍJEN	1825	703	2528
LISTOPAD	3167	446	3613
PROSINEC	4616	0	4616
CELKEM	19933	19688	39621

Z tabulky 21 je patrné, že spotřeba plynu je v zimních měsících vyšší, protože je většina tepla využívána k vytápění objektu. Zároveň je ale patrná spotřeba plynu kogenerační plynové jednotky, která na počátku roku značně vykrývala čtvrt hodinové maximum elektrické energie, čímž spotřebovávala daleko více plynu, než by odpovídalo aktuální potřebě tepla do budovy a generované teplo bylo mařeno. Tento problém byl v průběhu roku vyřešen vyšším využitím bateriového úložiště, které je součástí objektu budovy UCEEB. Vyřešení tohoto problému mírně zvýšilo spotřebu plynu kotlů K1 a K2 ale zase výrazně omezilo spotřebu kogenerační plynové jednotky.

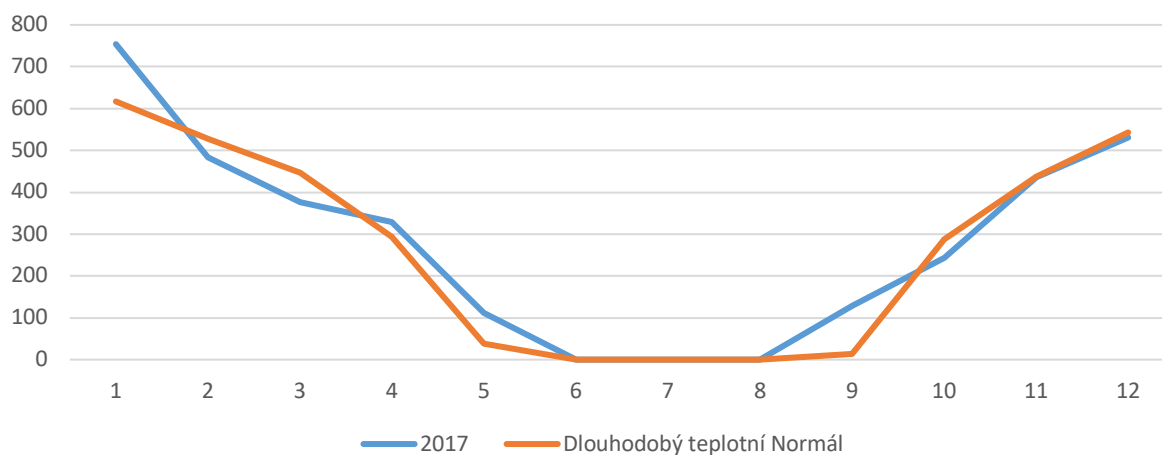
7.1. VÝPOČET SPOTŘEBY PALIVA A POTŘEBNÉHO VÝKONU

Vzhledem ke znalosti spotřeby paliva v roce 2017 můžeme určit předpokládaný výkon zdrojů. Pro ideální porovnání dlouhodobého přínosu je nutné přepočítat potřebu tepla na takzvaně „dlouhodobý teplotní normál“, což je standardně využívaná metodika, která je schopna zohlednit klimatické podmínky v daném roce a upravit tak spotřebu, aby odpovídala standardnímu roku z hlediska teplot v zimním období. Porovnání denostupňů lokality pro rok 2017 a dlouhodobého teplotního normálu je znázorněno v tabulce 22.

TABULKA 22 DENOSTUPŇOVÉ POROVNÁNÍ PRO ROK 2017 A NORMÁL [28]

D°	2017	DLOUHODOBÝ TEPLOTNÍ NORMÁL
LEDEN	754	617
ÚNOR	484	528
BŘEZEN	376	446
DUBEN	329	294
KVĚTEN	112	38
ČERVEN	0	0
ČERVENEC	0	0
SRPEN	0	0
ZÁŘÍ	128	13
ŘÍJEN	243	288
LISTOPAD	436	438
PROSINEC	531	543
CELKEM	3392	3205

V tabulce 22 vidíme, že v roce 2017 je celkový počet vyšší o 187 denostupňů. Tato informace značí, že rok 2017 byl oproti dlouhodobému teplotnímu normálu chladnější. Zejména to je patrné v přechodovém období (květen, září). Pro lepší vizualizaci odchylky můžete prohlédnout obrázek 28.



OBRAZEK 28 VÝVOJ DENOSTUPŇŮ V ROCE 2017 OPROTI NORMÁLU [28]

TABULKA 23 SPOTŘEBA ZEMNÍHO PLYNU PŘEVEDENÁ NA VÝHŘEVNOST VYJÁDRĚNA DLOUHODOBÝM TEPLTNÍM NORMÁLEM

	2017		DLOUHODOBÝ TEPLTNÍ NORMÁL	
	m ³ zemního plynu	GJ		GJ
LEDEN	8647	328		269
ÚNOR	6427	244		266
BŘEZEN	5637	214		254
DUBEN	4692	178		159
KVĚTEN	1720	65		22
ČERVEN	199	0		0
ČERVENEC	250	0		0
SRPEN	215	0		0
ZÁŘÍ	1077	41		4
ŘÍJEN	2528	96		114
LISTOPAD	3613	137		138
PROSINEC	4616	175		179
CELKEM	39621	1480		1405

Dle denostupňové metody byla stanovena potřeba tepla v roce 2017 1480 GJ. Oproti dlouhodobému teplotnímu normálu, který je vypočítán na 1405 GJ, je tato hodnota vyšší. Ještě je nutné dodat, že rozdíl oproti celkovému množství spotřebovaného tepla, které činí 1505 GJ,

je způsoben ohřevem TV pro vlastní spotřebu objektu v letních měsících. Tento rozdíl je nicméně nutné započítat do celkové spotřeby tak, aby byl promítnut do celkového množství spotřebovaného tepla. Výsledné vypočtené pokrytí tepelných potřeb je zásadně ovlivněno základními vstupními parametry, jako je vnitřní výpočtová teplota objektu, venkovní teplota. Souběžně s těmito parametry je také nutno zohlednit to, že objekt se začíná vytápět právě tehdy, pokud venkovní teplota klesne pod hranici 13°C. Tyto parametry vložíme do výpočtového modelu, který určí křivku trvání výkonu.

7.2. VARIANTA 1

První výpočtový model je komplexním řešením pojmoutí potřeb budovy z pohledu aktuálního stavu, který čerpá z dat roku 2017. Byla vymezena nastavením okrajových podmínek, vnitřní výpočtová teplota je **19 °C** a venkovní výpočtová teplota je v dané lokalitě **-12°C**. Souběžně s tímto tvrzením víme, že objekt začíná vytápět, když teplota okolí klesne pod **13°C**. Další okrajovou podmínkou je výhřevnost ze zemního plynu, které v tomto případě činí dle uplynulého období **1505 GJ**. Nejdříve je nutné napočítat si správné účinnosti stávajících zdrojů a zjistit teplo potřebné na vytápění a poté na ohřev teplé vody. Tyto údaje vycházejí z měření stávajících zdrojů K1, K2 a KVET. Údaje jsou shrnuty v následující tabulce:

TABULKA 24 ÚČINNOSTI ZDROJŮ INSTALOVANÝCH V OBJEKTU ČVUT UCEEB [4]

		K1	K2	KVET	CELKEM
VÝROBA	GJ	472,57	149,57	508,86	1130,99
PŘÍKON	GJ	575,18	182,04	747,75	1504,97
ÚČINNOST	1	0,82	0,82	0,68	0,75

Dle tabulky 24 vidíme že průměrná účinnost zdrojů je v rámci objektu 75,15 %. Tuto účinnost můžeme použít a vypočítat celkovou roční potřebu tepla potřebnou na vytápění objektu a ohřev TV Q_r . Roční potřeba tepla objektu tedy činí $Q_r = 1130,99 \text{ GJ}$. Dalším zásadním údajem pro následující vytvoření diagramu tepla je zanesení rozdělení tepla v rámci vytápění objektu a ohřev teplé vody. Vzhledem ke znalosti potřeby 100 GJ spalného tepla zemního plynu můžeme jednoduše přezásobením celkovou účinností zdrojů zjistit, že potřebujeme 75,15 GJ/rok na ohřev teplé vody.

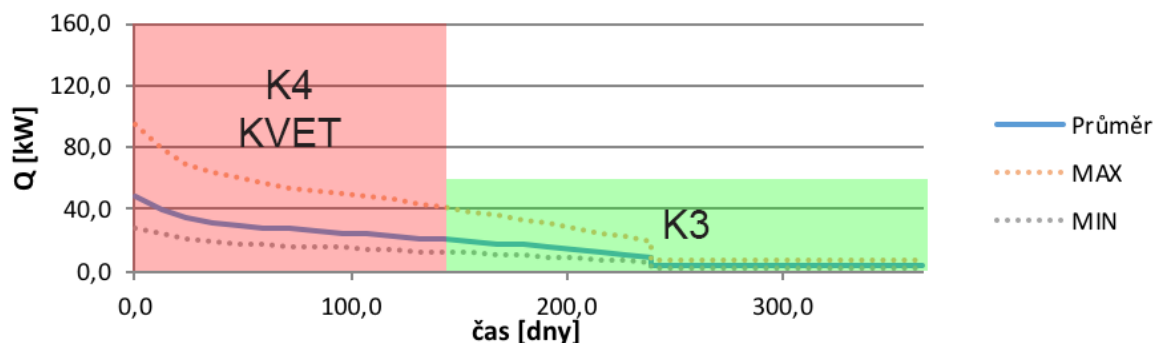
Základní parametry vyplývající z výpočtů:

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TV,r} = 1130,99 \text{ GJ/rok}$$

$$Q_{VT,r} = 100 * 0,7515 = 75,15 \text{ GJ/rok}$$

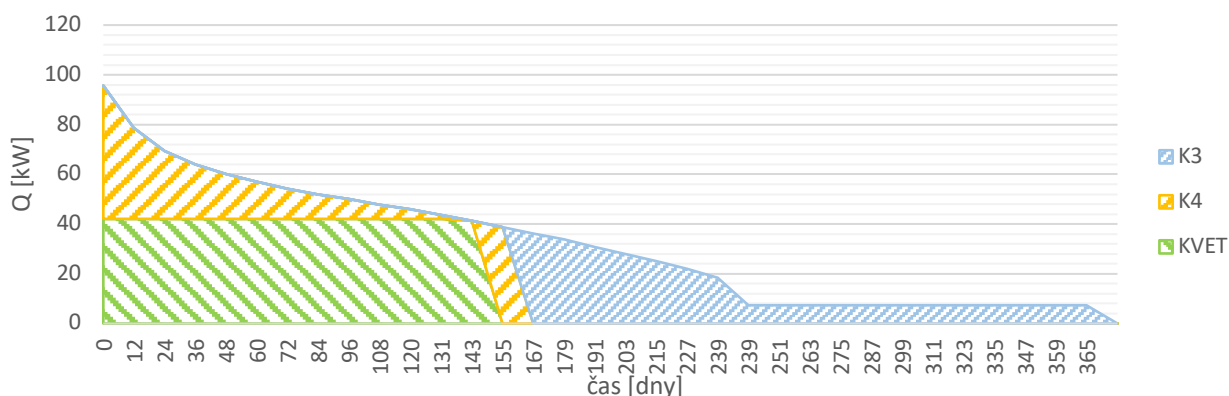
$$Q_{TUV,r} = 1130,99 - 75,15 = 1055,84 \text{ GJ/rok}$$

Z počátečních okrajových podmínek vyplynula křivka potřeby tepla, kdy víme, že plocha pod křivkou je právě celková potřeba tepla v průběhu celého roku:



OBRÁZEK 29 DIAGRAM POTŘEBY TEPLA VARIANTY 1

Z obrázku 29 je vidět, že dosažené průměrné hodnoty nepřesahují v nejkritičtějším bodu diagramu více jak 60 kW v rámci potřeby a ve svém maximu je těsně za hranicí 120 kW. Což znamená, že v rámci tohoto případu k jeho pokrytí stačí zvolené technologie. Pro kotel K3 bude zaštiťovat celé letní období a polovinu roku. Zbytek roku bude fungovat kogenerační jednotky, které bude suplovat kotel K4. Názornější rozložení kotlů v případě maximálního vytížení je na zobrazeno na obrázku 30.



OBRÁZEK 30 DIAGRAM TRVÁN POTŘEBY TEPLA S ROZDĚLENÍM KOTLŮ PŘI MAXIMÁLONNÍM VYTÍŽENÍ U MODELU Č.1

Následující tabulka 25 shrnuje veškeré výsledky, které byly v rámci varianty 1 napočítány.

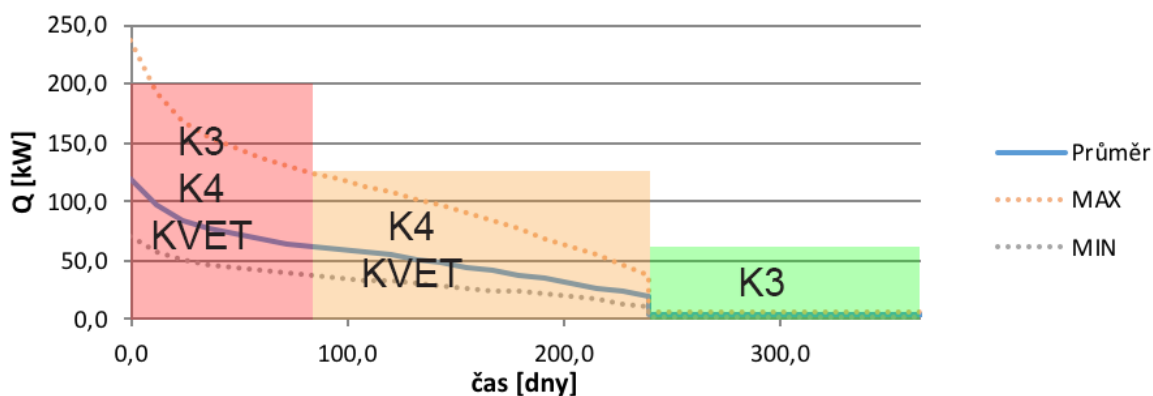
TABULKA 25 VÝSLEDNÁ TABULKA VARIANTY 1

		K3	K4	KVET	CELKEM
INST. VÝKON	kW	72,90	72,90	42,00	187,80
PRŮM. VÝKON	kW	8,55	7,92	16,52	11,00
VÝROBA	GJ	295,14	265,26	570,60	1130,99
PŘÍKON	GJ	310,67	279,22	890,17	1480,05
ÚČINNOST	1	0,95	0,95	0,64	0,85
PROVOZ (H)	h	4744,80	3441,60	3441,60	-

7.3. VARIANTA 2

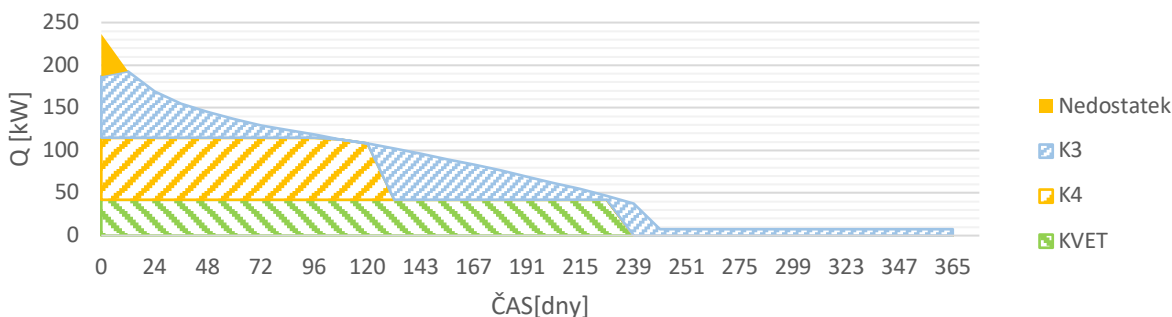
V následujícím výpočtovém modelu budeme dimenzovat zdroje na nižší venkovní výpočtovou teplotu, důvodem je právě variabilita pro další aplikace řešení a náročnost do různých podmínek. Varianta 2 bude počítat s nasazením do dvakrát náročnějších podmínek než varianta jedna z pohledu potřeby tepla, což nám dává 2261 GJ/rok. Dále venkovní výpočtovou teplotu na -19 °C, což dává dostatečné podmínky pro splnění většiny lokací nejen v České republice ale i v zahraničí. Tato varianta nám má ukázat horní hranici využitelnosti tohoto zařízení

Při zachování počátečních podmínek vznikne relativně podobná křivka doby trvání potřeby tepla, zásadní rozdíl je jen v jejím průběhu.



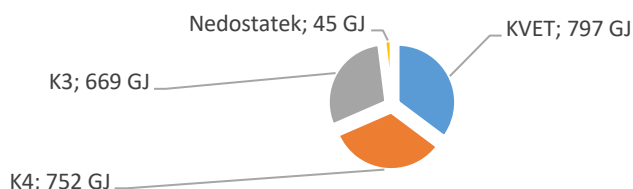
OBRAZEK 31 DIAGRAM POTŘEBY TEPLA V MODELOVÉM PŘÍPADU 2

V obrázku 31 vidíme jednoznačný nárůst doby trvání tepelné potřeby objektu a maximální potřeba přesahuje hranici 200 kW. Relativně vysoký nárůst je ale v takovém případě logický. Pro náš případ návrhu by dosahovaný výkon stačil pouze do 186 kW. Chody kotlů jsou obdobné jako ve variantě jedna. Realita lokace v rámci počasí takto razantní změny potřeby tepla nepředpokládá.



OBRAZEK 32 DIAGRAM TRVÁNÍ POTŘEBY TEPLA S ROZDĚLENÍM KOTLŮ PŘI MAXIMÁLNÍM VYTÍŽENÍ U VARIANTY 2

Obrázek 32 ukazuje, že jsme dosáhli horní hranice instalovaného systému, červená zóna jasně deklaruje, jak velký je nedostatečný přísun tepla. Ve výpočtovém modelu varianty 2 jsme tedy dosáhli limitu zařízení a je pravděpodobné, že v případě maximálního využití bude systém 12 dní v roce nedostatečný, čímž bude celistvost systému ohrožena.



OBRAZEK 33 MNOŽSTVÍ TEPLA VYROBENÉ ZDROJI U VARIANTY 2

Ve variantě 2 je nedostatek tepla v podobě 45 GJ/rok. Lze usuzovat, že při vhodně zvolené akumulaci systému a řízení by bylo možné tento systém ještě použít, avšak z pohledu autora projektu se to nedoporučuje. Výsledkem výpočtu varianty 2 je nicméně případná maximální hranice, která je v případě nižších podmínek a zachování

TABULKA 26 VÝSLEDNÁ TABULKA PRO VARIANTU 2

		K3	K4	KVET	CELKEM
INST VÝKON	kW	72,90	72,90	42,00	187,80
PRŮM VÝKON	kW	22,79	26,35	25,45	24,87
VÝROBA	GJ	668,85	751,93	796,65	2217,43
PŘÍKON	GJ	704,06	791,51	1242,82	2738,39
ÚČINNOST	1	0,95	0,95	0,64	0,85
PROVOZ (H)	h	8688,00	2868,00	5449,20	-

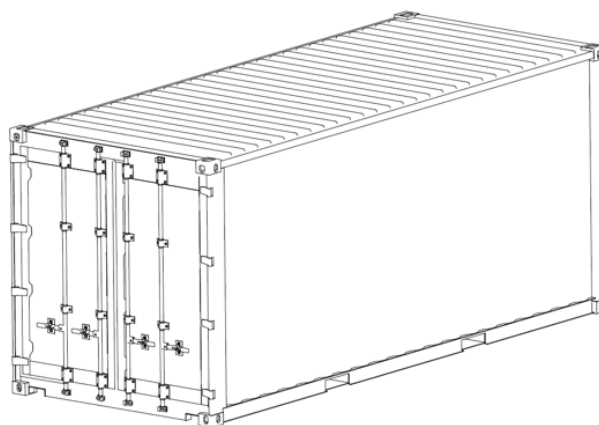
Kotel K3 je v této variantě použit jako zdroj pro TV v letních a přechodných měsících. Je zřejmé že při správně nastaveném MaRu, bude chod kotlů K3 a K4 střídán tak, aby se docílilo stejného opotřebení.

8. KONCEPCE KONTEJNERU

Soubor zařízení, popsaných v předešlých částech dokumentu, bude instalován ve standardizovaném kontejneru. Velikost kontejneru je dána 3 hlavními typy: 20 stop (6,1 m), 40 stop (12,2 m) a 45 stop (13,7 m). Výška standardního kontejneru činí 8 stop a 6 palců (2,59 m), šířka je 8 stop (2,44 m). Specifický je pak tzv. High-cube kontejner, který je vysoký 2,9 m. Objem kontejnerové přepravy se udává v jednotkách TEU (zkratka z anglického Twenty-foot Equivalent Unit), přičemž 1 TEU je ekvivalentem jednoho 20stopého kontejneru. [29]

TABULKA 27 PARAMETRY KONTEJNERU

		20' kontejner	40' kontejner
Vnější rozměry	Délka	6.092 m	12.192 m
	Šířka	2.438 m	2.438 m
	Výška	2.591 m	2.591 m
Vnitřní rozměry	Délka	12.016 m	12.032 m
	Šířka	2.352 m	2.352 m
	Výška	2.385 m	2.385 m
Rozměry dveří	Šířka	2.343 m	2.343 m
	Výška	2.280 m	2.280 m
Objem		33,25 m ³	67.5 m ³
Maximální hmotnost		15,200 kg	30,400 kg
Hmotnost prázdného kontejneru		1,900 kg	3,800 kg
Ložnost		13,100 kg	26,200 kg



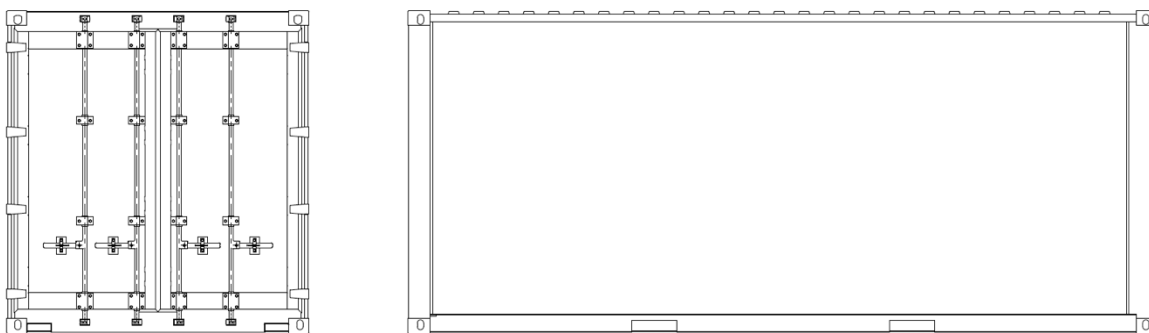
OBRAZEK 34 IZOMETRICKÝ POHLED NA STANDARDIZOVANÝ KONTEJNER

8.1. KONCEPCE KONTEJNEROVÉHO VYBAVENÍ

Pro umístění mobilní kondenzační miniteplárny do prostoru finální instalace není nutno provádět žádné nové železobetonové konstrukce ani sokly. Mobilní kondenzační mini teplárna je koncipována jako komplexní technologický modul, sestávající ze zdrojů tepelné a elektrické energie se zařízením pro akumulaci a příslušným periferním zařízením pro přívod paliva, odvod spalin a vyvedení energií, vestavěný do odhlučného tepelně izolovaného kontejneru. Dispoziční a vnitřní prostorové řešení technologie zohledňující nároky na obsluhu a údržbu miniteplárny je navrženo pro umístění do standardního kontejnerů o vnitřních rozměrech 2,4 x 6,0 x 2,6 m (š x d x v). Uvedené rozměry vplynuly z požadavku na zajištění mobility kondenzační miniteplárny.

U kontejnerového řešení je důležité zejména vhodné umístění vnitřních komponent z hlediska servisu, údržby, tepelných map či umístění v rámci bezprostřední vzdálenosti od určité rizikové technologie.

Tato koncepce vychází zejména ze servisní vzdálenosti primárních zdrojů jako jsou kotel K3 a K4 a kogenerační plynová jednotka (CHP). Dále bude potřeba nainstalovat akumulární nádrž, bateriové úložiště, dále technologické centrum, ve kterém budou řídicí prvky pro FVE a WPS (technologie budou instalovány na střeše kontejneru) a bateriové úložiště.

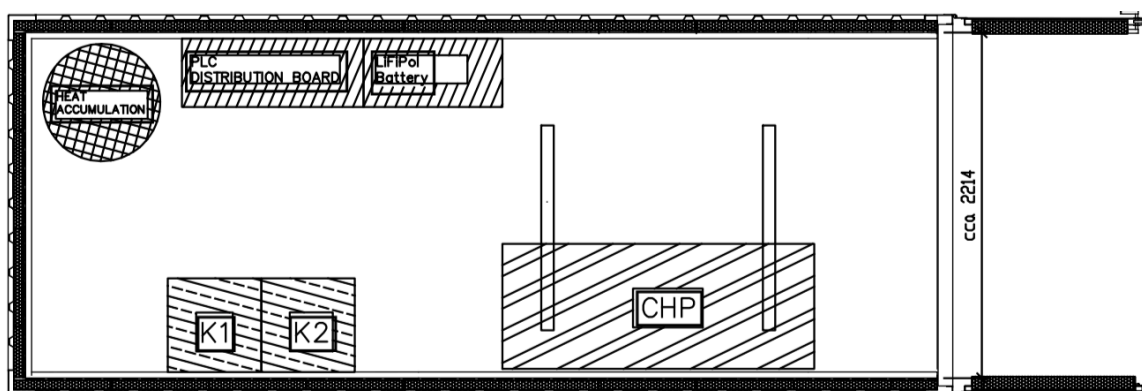


OBRAZEK 35 PŘEDNÍ A BOČNÍ POHLED NA STANDARDIZOVANÝ KONTEJNER

Z obrázku 35 vidíme, že koncepce kontejneru není náročná. Přepokládejme umístění prvků od nejméně náročného na instalaci a údržbu v nejvzdálenějších lokacích od vstupních dveří a opačně ty nejsložitější nejbliže právě kvůli efektivní a nenáročné údržbě.

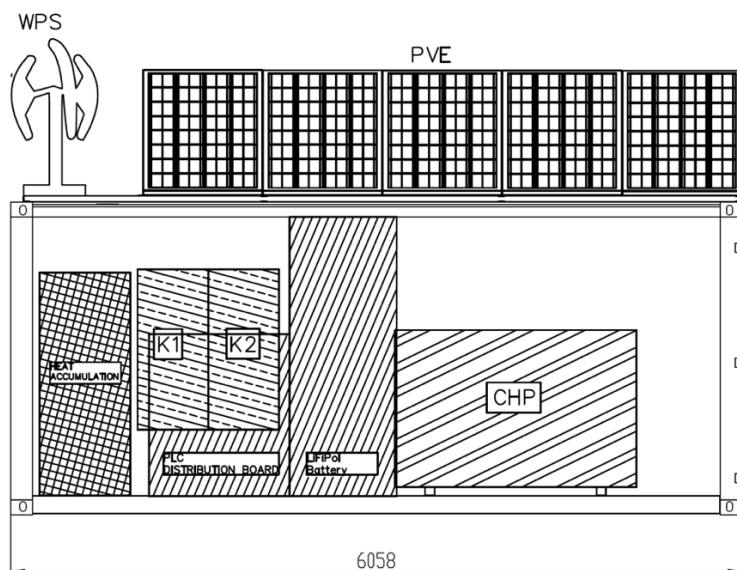
9. KONCEPCE TECHNOLOGIÍ V KONTEJNERU

Vložené technologie jsou rozloženy dle jejich operační a servisní vzdálenosti. Hlavní komponenta plynové kogenerační turbíny jsou uložena na pojezdových kolejkách. Dle obrázku 36 je vidět předběžné rozložení technologie v rámci půdorysu na kontejnerové řešení. Jsou respektovány základní servisní vzdálenosti. Plynová kogenerační turbína (CHP) je právě z důvodu dodržení všech vzdáleností umístěna na kolejnici, díky kterým lze s celým zařízením po odpojení hýbat. Alternativou tohoto řešení je dále potenciální úprava kontejnerové stěny v místech umístění CHP, to je ale komplikované z důvodu dodržení únosnosti zařízení při převozu. Ostatní technologie byly předběžně navrženy dle základních parametrů, zvolených v předešlých částech této práce.



OBRAZEK 36 HORNÍ POHLED NA KONTEJNER

V rámci využití střešní plochy bude použito technologií solárních panelů (FVE) a větrného generátoru (WPS), zobrazených na obrázku 38. Dále je zde znázorněno přibližné rozložení technologií v rámci výškové náročnosti. Konkrétně u bateriového úložiště můžeme využívat celé výšky kontejneru.



OBRAZEK 37 BOČNÍ POHLED NA ROZLOŽENÍ TECHNOLOGIE V KONTEJNERU

10. LEGISLATIVA

Mapování legislativy ČR a EU s ohledem na cíl projektu s důrazem na vyřešení všech zákonných požadavků na technické řešení, environmentální dopady, stavební řízení, zajištění ochrany zdraví lidí a požární bezpečnosti, vytváří základní předpoklad pro trvalou udržitelnost výsledků aplikovaného výzkumu nebo instalace navrhované mobilní miniteplárny. Změna emisních limitů znečišťujících látek od 1. 1. 2018, stanovených vyhláškou č. 415/2012 Sb. [30] v platném znění, výrazným způsobem ovlivní provoz spalovacích zdrojů, zejména kotelen na kapalná a pevná paliva. Zásadním způsobem se zpřísní emisní limity zejména pro TZL a NO_x. Emisní limity, platné v ČR od 1. 1. 2018, respektují zákonné požadavky EU. Stěžejní vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování je dokument harmonizovaný s legislativou EU.

10.1. EMISNÍ LIMITY PRO ZAŘÍZENÍ SPALUJÍCÍ PLYNNÁ PALIVA

Zařízení instalovaná v mini teplárně, nepřesahují celkový instalovaný tepelný výkon 300 kW. Spadá tedy do kategorie „Zařízení do 300 kW – Plyná paliva“. Je nutné prověřit zařízení, která spalující plyn a dále OZE instalované v zařízení.

10.1.1. ZAŘÍZENÍ DO 300 kW – PLYNNÁ PALIVA

Podle zákona č.201/2012 [31] jsou minimální emisní požadavky na spalovací stacionární zdroje o jmenovitém tepelném příkonu 300 kW a nižším, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění, pro účely uvádění výrobků na trh následující:

Pro plyná paliva – platnost od 1. ledna 2014 a platnost od 1. ledna 2018

TABULKA 28 EMISNÍ LIMITY PRO ZAŘÍZENÍ SPALUJÍCÍ PLYN

PALIVO	DRUH SPALOVACÍHO ZDROJE	OD 1. 1. 2014		OD 1. 1. 2018	
		Mezní hodnoty emisí ¹⁾		Mezní hodnoty emisí ²⁾	
		NO _x	CO	NO _x	CO
		mg/m ⁻³		mg/m ⁻³	
PLYNNÉ	Kotle	120	100	65	80
	Pístové a spalovací motory	500	650		
	Plynové turbíny	350	100		

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,1 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 3 % v případě kotlů, 5 % v případě pístových spalovacích motorů a 15 % v případě plynových turbín.

²⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 3 %.

10.2. LEGISLATIVA PRO ZDROJE OZE

10.2.1. LEGISLATIVA PRO MALÉ VĚTRNÉ TURBÍNY DO 10 kW

Pro instalaci malé větrné turbíny (pro potřeby našeho výzkumu s většími výkony neuvažujeme) do jmenovitého výkonu 10 kW, platí v ČR jako závazný dokument stavební zákon č. 183/2006 Sb. [32] v aktuálně platném znění.

10.2.2. LEGISLATIVA PRO MALÉ FVE DO 10 kW

Fotovoltaické elektrárny s výkonem do 10 kW je již možné provozovat bez licence z Energetického regulačního úřadu. Odpadají proto také všechny související povinnosti, tzn., že provozovatel se již nemusí registrovat jako OSVČ, platit sociální a zdravotní pojištění apod. Fotovoltaické elektrárny patří mezi obnovitelné zdroje energie podobně jako malé vodní elektrárny, větrné elektrárny atd. Základním předpisem, který vymezuje legislativní rámec pro tyto zdroje je **zákon č.165/2012 Sb. [33], o podporovaných zdrojích energie**. Na realizaci a provozování fotovoltaických elektráren se vztahují také některá ustanovení **zákona č.406/2000 Sb. o hospodaření energií a zákona č.185/2001 Sb. [34] o odpadech**. K těmto zákonům bylo vydáno několik vyhlášek, které upravily a vyložily některé ustanovení zákona:

- **Vyhláška č.426/2005 Sb.** - stanoví pravidla udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích a platí pro elektrárny s výkonem větším než 10kW.
- **Vyhláška č.81/2010 Sb. [35]**- podmínky připojení k elektrizační soustavě

Hlavním důvodem pro provedení mapování evropské a české legislativy bylo prokázání, že výsledky výzkumu a vývoje mobilní kondenzační mini teplárny na bázi zdrojů KVET a OZE s vestavěnou akumulací tepla a elektřiny doplněnou o inteligentní řídicí systém budou trvale udržitelné. Rekognoskace potvrdila, že žádný z parametrů nového systému kondenzační miniteplárny nebude mimo rámec jakéhokoliv zákonného ustanovení legislativy ČR a EU. Splnění této podmínky je nezbytné, protože projekt počítá s právní ochranou – dle zadávacích kritérií bude výzkum a vývoj ukončen s výstupem prototyp.

Při rozhodování o splnění nároků na povolení vycházíme z předpokladu, že mobilní kondenzační mini teplárna, která je tvořena kondenzačním kotlem a mikro kogenerační jednotkou se pro zatřídění posuzuje z hlediska instalovaného příkonu, jako by byla složena pouze z kondenzačních kotlů. Příkon mikro kogenerační jednotky se pro zatřídění počítá samostatně. Z praktického hlediska je třeba uvést, že proces povolování pro zdroje do celkového instalovaného příkonu do 300 kW nevyžaduje stavební povolení, na rozdíl od zdrojů nad 300 kW.

Závěr

Tato práce v rámci svého rozsahu popisuje pouze první etapu projektu, na které se podílí partner č.1 České vysoké učení technické v Praze – UCEEB na koncepčním návrhu systému kondenzační miniteplárny, instalované v mobilním kontejnerovém řešení. Součástí aktivit bylo zanalyzování samotného objektu UCEEB z dat, která byla poskytnuta z měřených dat na budově v průběhu roku 2017.

Tento projekt se zabývá návrhem kondenzační miniteplárny od počátečního výpočtu dle poskytnutých dat po základní návrh kontejnerového řešení, včetně stěžejních technologií a jejich použití. Řešení mobilní kondenzační miniteplárny je velice komplexní a dá se pojmout hned z několika pohledů. K její realizaci je zapotřebí několik subjektů z řad odborníků, jak pro konstrukční, tak pro programovací část. Nutnost vybrání těch správných komponent systému je klíčová, zejména v rámci spolupráce ovládnání a jejich možností operability. Dále je nutné zamyslet se nad konstrukčními limity kontejneru jako takového, kdy musíme počítat s jeho maximální únosností na podlahy a ostatními parametry.

Z analyzovaných dat byla získána spotřeba tepla a energetické energie v budově, dle které bylo možné navrhnout jak diagram potřeby tepla, tak efektivitu a využití stávajících zdrojů. Výsledkem bylo výkonové rozložení kotlů, čímž bylo možné dojít k následujícímu kroku, kterým je zpracování technologické rešerše napříč vhodnými výrobci.

V rámci hledání vhodných technologií, které byly vybírány ze strany ČVUT UCEEB se postupovalo následujícím způsobem: prvotně bylo vybráno z portfolia několik výrobců, kteří vyhovují kvalitativním a technickým požadavkům na dodávané technologie, včetně požadovaného výkonu. Dalším krokem byla multikriteriální analýza zmíněných produktů, která porovnávala několik rysů, jež jsou zásadními pro mobilní kontejnerové řešení (hmotnost, rozměry atd..). Výsledkem byl finální výběr základních zdrojů, obsažených v kontejnerovém řešení miniteplárny.

V další části byl vytvořen matematický model objektu ve dvou variantách. Každá varianta měla specifické zadání a výsledkem je ukázka limitů aktuálně vybraných komponent. Je zde také zpracována koncepce použití kotlů v rámci generovaného tepla a předpokládaného času chodu. Výsledkem této části práce je, že limit tohoto zařízení je okolo 2000 GJ/rok při podmínkách určených ve variantě 2.

V předposlední části se práce zabývá volbou velikosti kontejneru a předběžným umístěním vnitřních komponent kvůli reálnosti jejich umístění jako celku. Zvolené řešení je 1 TEU čili 6 metrů dlouhý kontejner. V následné části této kapitoly se zabýváme zejména o prověření servisní vzdálenosti okolo zvolených zařízení a dále jejich možnosti instalace.

Poslední část je věnována legislativnímu pojetí celého konceptu a legislativním možnostem užití na území České republiky jak v rámci obnovitelných zdrojů obsažených v kontejnerovém řešení (fotovoltaická a větrná elektrárna) tak instalované kogenerační jednotky a kondenzačních plynových kotlů.

11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ECM System Solutions, „ECM System Solutions,“ 1 8 2018. [Online]. Available: www.ecmsystem.cz.
- [2] YOUNG4ENERGY, „YOUNG4ENERGY,“ 1 8 2018. [Online]. Available: www.young4energy.cz.
- [3] C. UCEEB, „Technický dokument otopné soustavy pro ČVUT UCEEB,“ 2016.
- [4] Č. UCEEB, „Spotřeba objektu CVUT UCEEB pro rok 2017,“ 2018.
- [5] „Univerzitní centrum energeticky efektivních budov,“ 1 6 2018. [Online]. Available: www.uceeb.cz.
- [6] G. Energy, „Capstone C65 spreadsheet,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <http://ggcenergy.cz/uploaded/Download/soubory/C65.pdf>.
- [7] I. Z. Reinberk, „Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody,“ 31 07 2018. [Online]. Available: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>.
- [8] Viessmann, „Viessmann Česká republika,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <https://www.viessmann.cz>.
- [9] „Junkers Česká republika,“ 31 7 2018. [Online]. Available: <https://www.junkers.cz>.
- [10] „Buderus Česká republika,“ 31 7 2018. [Online]. Available: <https://www.buderus.com/cz/cs/>.
- [11] G. Energy, „GGC Energy,“ [Online]. Available: <http://www.ggcenergy.cz>.
- [12] „Tedom Česká republika,“ 31 7 2018. [Online]. Available: <https://www.tedom.com/cs/>.
- [13] „Fröling Česká republika,“ 31 7 2018. [Online]. Available: <http://www.froling.cz>.
- [14] „Totem Energy,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <http://www.totem.energy>.
- [15] E. Unie, „Photovoltaic Geographical Information System,“ 1 08 2018. [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis.html>.
- [16] „Větrná mapa České republiky,“ UFA, 31 07 2018. [Online]. Available: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egg/vetrna-energie/vetrne-mapy.html>.
- [17] Makemu, „Wind generator MAKEMU Smartwind,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <https://www.makemu.it/prodotto/wind-generator-smartwind/?lang=en>.
- [18] ROLF, „ROLF,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <http://www.rolf.cz>.
- [19] Winaico, „Winaico,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <http://www.winaico.com/en/>.
- [20] WINAICO, „WSP-M6 PERC series, monocrystalline,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <http://www.winaico.com/en/products/wsp-m6-perc-series-monocrystalline/>.
- [21] Fronius, „Fronius Česká republika,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <http://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic?type=login>.

- [22] Fronius, „Fronius Symo Hybrid 4.0-3-S,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <http://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/home/inverters/fronius-symo-hybrid/fronius-symo-hybrid-4-0-3-s>.
- [23] BYD, „B-BOX ESS,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <http://en.byd.com/usa/energy/b-box-ess/>.
- [24] Viessmann, „Nástěnný plynový kondenzační kotel Vitodens 200-W,“ 31 07 2018. [Online]. Available: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle/vitodens-200w.html>.
- [25] TOTEM, „Mikrokogenerační jednotka TOTEM 20,“ 31 7 2018. [Online]. Available: <https://www.young4energy.cz/technologie/mikrokogeneracni-jednotka-totem.html>.
- [26] „Vyhláška č. 193/2007 Sb. kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-193-2007-sb-ktouhou-se-stanovi-podrobnosti-ucinnosti-uziti-energie-pri-rozvodu-tepelne-energie-a-vnitrnim-rozvodu-tepelne-energie-a-chladu>.
- [27] I. R. Zdeněk, „Tepelná ztráta potrubí s izolací kruhového průřezu,“ 1 8 2018. [Online]. Available: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/44-tepelna-ztrata-potrubi-s-izolaci-kruhoveho-prurezu>.
- [28] I. L. T. Ing. Zdeněk Reinberk, „Výpočet denostupňů,“ 31 07 2018. [Online]. Available: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu>.
- [29] Wikipedia, „Kontejner (dopravní),“ 01 8 2018. [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kontejner>.
- [30] MŽP, „Ministerstvo životního prostředí - vyhláška 415/2012 Sb.,“ 21 11 2012. [Online]. Available: [https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/AE682A6B5E42E986C1257BA60025D8B5/\\$file/V%20415_2012.pdf](https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/AE682A6B5E42E986C1257BA60025D8B5/$file/V%20415_2012.pdf). [Přístup získán 1 8 2018].
- [31] MŽP, „Zákon o ochraně ovzduší,“ 01 09 2012. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>. [Přístup získán 1 8 2018].
- [32] MŽP, „Zákon o územním plánu,“ 01 01 2007. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>. [Přístup získán 1 08 2018].
- [33] MŽP, „Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů,“ 01 01 2013. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>. [Přístup získán 01 08 2018].
- [34] MŽP, „Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů,“ 01 01 2002. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>. [Přístup získán 01 08 2018].
- [35] „Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě,“ 13 01 2016. [Online]. Available: <https://www.eru.cz/documents/10540/463080/Vyhlaska+o+podm%C3%ADnkách+připojen%C3%AD%20k+elektrizacn%C3%AD%20soustavě/e40a8453-37b6-4b06-848e-c4eac97a886a>. [Přístup získán 01 08 2018].

12. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Parametry otopné soustavy	14
Tabulka 2 klíčové charakteristiky provozu zdrojů tepla v objektu	21
Tabulka 3 Popis veličin potřebných pro výpočet tepelné ztráty [TZBINFOCITE].....	22
Tabulka 4 Seznam tepelných zdrojů potřebných pro pokrytí potřeby	23
Tabulka 5 Vhodné plynové kondenzační kotle do projektu.....	25
Tabulka 6 VHODNÉ PLYNOVÉ Kogenerační jednotky DO PROJEKTU.....	25
Tabulka 7 seznam zařízení, která jsou vhodná do projektu a spalují zemní plyn	29
Tabulka 8 Seznam obnovitelných zdrojů použitých v rámci projektu	29
Tabulka 9 Technické parametry fotovoltaického modulu	34
Tabulka 10 Technické vstupní parametry Fronius	34
Tabulka 11 Technické vstupní parametry Fronius	35
Tabulka 12 Technické parametry Makemu SmartWind	36
Tabulka 13 Technické parametry BYD B-Box HV	36
Tabulka 14 Výběr technologií pro použití do komplexního systému z pohledu plynových kotlů 3 a 4.	37
Tabulka 15 Výběr technologií pro použití do komplexního systému z pohledu plynové kondenzační turbíny.....	38
Tabulka 16 Seznam ostatních technologií součástí kontejnerového řešení.....	38
Tabulka 17 Parametry výrobce pro kondenzační plynový kotel	39
Tabulka 18 Parametry kotle	40
Tabulka 19 Parametry výrobce pro kogenerační plynovou jednotku	41
Tabulka 20 parametry kogenerační jednotky [8]	42
Tabulka 21 Spotřeby plynu u hlavních zdrojů objektu UCEEB	45
Tabulka 22 Denostupňové porovnání pro rok 2017 a normál	46
Tabulka 23 Spotřeba zemního plynu převedená na výhřevnost vyjádřena dlouhodobým teplotním normálem	47
Tabulka 24 ÚČINNOSTI ZDROJŮ INSTALOVANÝCH V OBJEKTU ČVUT UCEEB	48
Tabulka 25 Výsledná tabulka Varianty 1	49
Tabulka 26 Výsledná tabulka pro Variantu 2.....	51
Tabulka 27 Parametry kontejneru	52
Tabulka 28 Emisní limity pro zařízení spalující plyn.....	55

13. SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obrázek 1 Budova čvut UCEEB	12
Obrázek 2 Capstone C65	13
Obrázek 3 Plynové kotle 2x108 kW	13
Obrázek 4 Bateriové úložiště.....	14
Obrázek 5 Roční spotřeba plynu v objektu dle měsíců.....	15
Obrázek 6 Typový den - pracovní	16
Obrázek 7 Typový den - víkendový	17
Obrázek 8 Roční bilance elektrické energie	18
Obrázek 9 diagram vývoje výkonu U kotle k1	18
Obrázek 10 Diagram vývoje výkonu u kotle k2	19
Obrázek 11 Diagram potřeby tepla.....	19
Obrázek 12 Diagram trvání potřeby tepla.....	23
Obrázek 13 znázornění režimu zdrojů tepla v průběhu roku.....	24
Obrázek 14 Průběh generace výkonu ze solárního zdroje.....	26
Obrázek 15 Měsíční generace elektrické energie ze solárního zdroje včetně parametrů [pvgis]	27
Obrázek 16 analýza větrného potenciálu dle Ústavu fyziky atmosféry AV ČR	27
Obrázek 17 Pole průměrné rychlosti větru VE VÝŠCE 100m nad povrchem [VITR]	28
Obrázek 18 Hodnocení KVET	30
Obrázek 19 hodnocení kotle.....	30
Obrázek 20 Technická optimalizace plynových kotlů	32
Obrázek 21 Technická optimalizace plynové kogenerační turbíny	32
Obrázek 22 Akumulační nádrž ROLF AKU	33
Obrázek 23 WSP-315M6-PERC	33
Obrázek 24 Fronius Symo Hybrid 4.0-3-S.....	34
Obrázek 25 MAKEMU SMARTWIND	35
Obrázek 26 BYD B-BOX HW	36
Obrázek 27 Výpočet požadované tloušťky izolace – zdroj TZB info	44
Obrázek 28 Vývoj denostupňů v roce 2017 oproti normálu.....	47
Obrázek 29 Diagram potřeby tepla Varianty 1.....	49
Obrázek 30 Diagram trván potřeby tepla s rozdělením kotlů při maximálním vytížení u modelu č.1	49
Obrázek 31 Diagram potřeby tepla v modelovém případě 2.....	50
Obrázek 32 DIAGRAM TRVÁNÍ potřeby TEPLA S ROZDĚLENÍM KOTLŮ PŘI MAXIMÁLONNÍM VYTÍŽENÍ U varianty 2.....	50

Obrázek 33 Množství tepla vyrobené zdroji u varianty 2	51
Obrázek 34 Izometrický pohled na standardizovaný kontejner.....	52
Obrázek 35 Přední a boční pohled na standardizovaný kontejner	53
Obrázek 36 Horní pohled na kontejner.....	54
Obrázek 37 Boční pohled na rozložení technologie v kontejneru.....	54