

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
ÚSTAV KATEDRY MĚŘENÍ

---



**Reálná energetická náročnost  
provozu budovy**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

CHYTRÝ LUKÁŠ

IB – 2021

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chytrý** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **458415**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra měření**  
Studijní program: **Inteligentní budovy**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Reálná energetická náročnost provozu budovy**

Název diplomové práce anglicky:

**Real energy consumption of building operation**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte energetický audit zadaného objektu a zhodnoťte reálnou energetickou náročnost provozu budovy. Navrhněte a posuďte možné způsoby snížení energetické náročnosti. Pro řešení varianty určete předpokládanou potřebu energie a zhodnoťte je ekonomicky a ekologicky. Ve variantách řešení využijte zejména moderní prvky a zařízení spojené s provozem inteligentních budov. Posuďte vliv chytrého řízení a vhodnost využití kogenerační jednotky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Thumann, Albert & Niehus, Terry & Younger, William. (2020). Handbook of Energy Audits. 10.1201/9781003151722.
- [2] Chirag Deb, Fan Zhang, Junjing Yang, Siew Eang Lee, Kwok Wei Shah, A review on time series forecasting techniques for building energy consumption, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 74, 2017, Pages 902-924, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.085>.
- [3] Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov
- [4] Garlík, B.: Inteligentní budovy, BEN technická literatura, Praha 2012, ISBN 978-80-7300-440-8

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D., katedra technických zařízení budov FSv**

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

Datum zadání diplomové práce: **12.02.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce:

**do konce letního semestru 2021/2022**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
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.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **SOUHRN**

V této diplomové práci jsem vypracoval energetický audit zadaného objektu a zhodnotil jeho energetickou náročnost provozu dne vyhlášky č. 264/2020 Sb. Práce obsahuje teoretickou část, kde se zabývám jednotlivými opatřeními a jejich uplatněním, a praktickou část, kde byl zadaný objekt vyhodnocen a byly navrženy jednotlivá úsporná opatření vedoucí ke snížení spotřeby energie v objektu a jeho ekologické stopy. Jednotlivá opatření byla využita k sestavení jednotlivých možných variant, vedoucí jak k ekonomickému, tak energetickému zlepšení nynějšího stavu budovy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Energetický audit, inteligentní budova, zateplení, fotovoltaické panely, hospodaření s energiemi, energie.

## **SUMMARY**

In this diploma thesis, I prepared an energy audit of the assigned object and evaluated its energy intensity of operation on the day of Decree No. 264/2020 Coll. The thesis contains a theoretical part, where I deal with individual measures and their application, and a practical part, where the assigned object was evaluated and individual energy saving measures were designed to reduce energy consumption in the building and its environmental footprint. The individual measures were used to compile individual possible variants, leading to both economic and energy improvement of the current state of the building.

## **KEYWORDS**

Energy audit, intelligent building, insulation, photovoltaic panels, energy management, energy.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Reálná energetická náročnost provozu budovy“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Michala Kabrhela, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze

.....

Chytrý Lukáš

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za rady a informace, které mi pomáhaly a směřovaly správným směrem při vytváření mé diplomové práce. Zároveň bych rád poděkoval svým rodičům za podporu během celého mého dosavadního studia. Dále bych zde poděkoval několika lidem, díky kterým jsem dokázal studia dokončit a kteří mi pomohli jak už při psaní diplomové práce, tak i při inženýrském studiu: Ing. Tomáš Srb za pomoc s diplomovou prací, Ing. Petr Staňura za pomoc a konzultace diplomové práce, Ing. Michal Bajtalon za veškerou pomoc, kterou mi vždy ochotně poskytoval při studiu. V neposlední řadě musím poděkovat pár lidem, kteří v mém studiu hráli zásadní roli a bez kterých by mé studium zajisté nebylo tak naplňující jako s nimi: Ing. Anton Ushkats, Ing. Jan Přívětivý, Ing. Kristina Gainanova, Bc. Ladislav Hemer, Bc. Jonáš Ženatý, Ing. Antonín Železný, David Vlach, Miroslav Horáček.

## OBSAH

|   |    |
|---|----|
| 1. Úvod.....  | 10 |
| 2. Energetický audit .....  | 11 |
| 3. Typy energetických auditů.....   | 11 |
| 3.1. Typ 0 - Porovnávací audit .....  | 11 |
| 3.2. Typ I – Audit stylem „krok za krokem“ .....  | 11 |
| 3.3. Typ II – Standartní audit.....   | 12 |
| 3.4. Typ III – Počítačová simulace .....  | 12 |
| 4. Proces tvorby auditu .....   | 13 |
| 4.1. Před auditové činnosti .....   | 13 |
| 4.2. Návštěva objektu .....   | 14 |
| 4.3. Po návštěvní činnost .....   | 15 |
| 5. Přehled základních technik předpovídání spotřeby energií s využitím strojového učení. 15 |    |
| 5.1. ANN.....   | 16 |
| 5.2. ARIMA.....   | 16 |
| 5.3. SVM.....   | 17 |
| 5.4. CBR .....  | 17 |
| 5.5. Fuzzy časové řady .....  | 18 |
| 5.6. Grey předvídací model .....  | 18 |
| 5.7. MA & ES .....  | 18 |
| 5.7.1. Vzájemné porovnání .....   | 19 |
| 6. Legislativní rámec energetického auditu .....  | 20 |
| 6.1. Zákon o hospodaření energií č. 406/2000 Sb. ....                                       | 20 |
| 6.2. Vyhláška č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu .....                                   | 21 |
| 6.3. Vyhláška č. 4/2020 Sb., o energetických specialistech .....                            | 22 |
| 7. Výběr z aplikovaných opatření .....  | 22 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 7.1.   | Instalace kogenerační jednotky .....                    | 22 |
| 7.2.   | Kogenerace s využitím parní turbíny.....                | 24 |
| 7.3.   | Kogenerační jednotky s plynovými motory .....           | 25 |
| 7.4.   | Trombeho stěna .....                                    | 26 |
| 7.5.   | Sběrníkový systém KNX .....                             | 26 |
| 7.5.1. | Historie .....  | 26 |
| 7.5.2. | Princip .....   | 26 |
| 7.5.3. | KNX – topologie .....                                   | 28 |
| 7.5.4. | KNX – uspořádání účastníků připojených na sběrnici..... | 29 |
| 7.5.5. | Programování KNX systému .....                          | 31 |
| 7.5.6. | Vizualizace .....                                       | 31 |
| 7.5.7. | Auditová využitelnost .....                             | 32 |
| 8.     | Úvod.....   | 35 |
| 9.     | Popis a vyhodnocení stávajícího stavu.....              | 36 |
| 9.1.   | Situační plán .....                                     | 36 |
| 9.2.   | Charakteristika provozu budovy.....                     | 36 |
| 9.3.   | Charakteristika stavebních konstrukcí objektu.....      | 37 |
| 9.3.1. | Základy.....  | 37 |
| 9.3.2. | Nosné svislé konstrukce .....                           | 37 |
| 9.3.3. | Vodorovné konstrukce .....                              | 37 |
| 9.3.4. | Schodiště .....   | 38 |
| 9.3.5. | Krov, komín .....                                       | 38 |
| 9.3.6. | Krytina střechy .....                                   | 40 |
| 9.3.7. | Příčky .....  | 41 |
| 9.3.8. | Úpravy povrchů – stěny .....                            | 41 |
| 9.3.9. | Úpravy povrchů – podlahy, strop.....                    | 41 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 9.3.10. | Podhledy .....   | 41 |
| 9.3.11. | Výplně otvorů .....  | 42 |
| 9.3.12. | Tepelné izolace .....  | 42 |
| 9.3.13. | Izolace proti vlhkosti .....   | 43 |
| 9.3.14. | Fasáda .....   | 43 |
| 10.     | Popis systémů TZB .....  | 44 |
| 10.1.   | Klimatická data .....  | 44 |
| 10.2.   | Charakteristika energetických zařízení .....                           | 44 |
| 10.3.   | Rozvody a regulace energie .....                                       | 46 |
| 10.4.   | Příprava teplé vody .....  | 46 |
| 10.5.   | Chlazení .....   | 48 |
| 10.6.   | Vzduchotechnika.....   | 48 |
| 10.7.   | Osvětlení .....  | 49 |
| 10.8.   | Vlastní zdroje energie .....   | 50 |
| 10.9.   | Významné spotřebiče energie .....                                      | 51 |
| 10.9.1. | Elektrické spotřebiče .....  | 51 |
| 11.     | Údaje o energetických vstupech .....                                   | 52 |
| 12.     | Vyhodnocení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí ..... | 56 |
| 13.     | Vyhodnocení úrovně systému hospodaření energií .....                   | 58 |
| 14.     | Celková energetická bilance .....                                      | 58 |
| 15.     | Návrh opatření ke snížení spotřeby energie .....                       | 60 |
| 15.1.   | Opatření A – Výměna výplní otvorů .....                                | 60 |
| 15.2.   | Opatření B – Zateplení obvodových stěn.....                            | 62 |
| 15.2.1. | Zateplení obvodových stěn.....   | 62 |
| 15.3.   | Opatření C – Zateplení střechy a vikýřů .....                          | 63 |
| 15.3.1. | Zateplení střechy.....   | 63 |



|         |  |    |
|---------|--|----|
| 15.3.2. | Zateplení vikýřů.....  | 64 |
| 15.4.   | Opatření D – Kompletní zateplení .....   | 65 |
| 15.4.1. | Zateplení obvodových stěn.....   | 65 |
| 15.4.2. | Výměna výplní stavebních otvorů.....   | 65 |
| 15.4.3. | Zateplení střechy.....   | 65 |
| 15.4.4. | Zateplení vikýřů.....  | 66 |
| 15.5.   | Opatření E – Instalace kogenerační jednotky .....  | 67 |
| 15.6.   | Opatření F – Instalace fotovoltaických panelů .....  | 69 |
| 15.7.   | Opatření G – Výměna osvětlení.....   | 71 |
| 15.8.   | Opatření H – Trombeho stěna.....   | 73 |
| 15.9.   | Opatření I – Instalace venkovních žaluzií a instalace osvětlení se společným inteligentním řízením ..... | 74 |
| 16.     | Návrh variant souborů opatření .....   | 76 |
| 17.     | Ekonomické vyhodnocení navržených variant .....  | 79 |
| 18.     | Ekologické vyhodnocení navržených variant .....  | 82 |
| 19.     | Výběr optimální varianty a doporučení energetického auditora.....  | 84 |
| 20.     | Závěr .....  | 85 |
| 21.     | Seznam obrázků: .....  | 86 |
| 22.     | Seznam tabulek: .....  | 87 |
| 23.     | Seznam grafů: .....  | 88 |
| 24.     | Použité zdroje.....  | 88 |

## **1. Úvod**

Energetický audit lze definovat jako proces určování typů a cen spotřeb využívaných v dané budově, odhadování dalšího vývoje zacházení s energiemi a hledání příležitostí pro jejich úsporu. [1]

Cílem diplomové práce je vypracovat energetický audit zadaného objektu a zhodnotit reálnou energetickou náročnost provozu budovy. Dále pak navrhnout a posoudit možné způsoby snížení energetické náročnosti s využitím moderních prvků a zařízení spojených s provozem inteligentních budov.

Pro vypracování energetického auditu byly využívány podklady z projektové dokumentace dané budovy, spotřeby za poslední tři roky jejího provozu a osobní prohlídka a měření objektu.

## **Teoretická část**

Teoretická část obsahuje informace o tvorbě energetického auditu, jeho legislativy v České republice s využití platných norem. Dále jsou zde popsány principy jednotlivých úsporných opatření využívaných v praktické části, která je tvořena vlastním zpracováním energetického auditu na zadaném objektu.

### **2. Energetický audit**

V normě ČSN EN 16247-1 je audit definován jako systematická kontrola a analýza užívání energií a jejich spotřeb s cílem identifikovat energetické toky a potenciál pro zlepšení [2].

Za pomoci energetického auditu můžeme na základě zjištěných informací doporučit úsporná opatření, kterými můžeme dosáhnout jak energetických, tak finančních úspor. Pokud se budeme bavit o českém prostředí, tak zde je energetický audit vnímán jako zákonná povinnost, kterou musí objednavatel splnit, a to ať z důvodu, že mu to zákon ukládá, nebo pro splnění podmínek dotace apod.

### **3. Typy energetických auditů [1]**

Na začátku je dobré si určit, jaký typ energetických auditů budeme vytvářet. Na energetický audit se můžeme totiž dívat z několika pohledů. A to jak z pohledů komplexnosti, tak náročnosti.

#### **3.1. Typ 0 - Porovnávací audit**

V tomto typu auditu se auditor zaobírá analýzou energií využívaných v objektu a jejich cenou. Poté určí cenu energií na metr čtvereční za rok a jejich spotřebu na metr čtvereční za rok. Tato metoda je velice účinná u velkých objektů a dokážeme z ní během chvíle vidět kde bude nejspíše množnost úspory energie a jak se s energiemi v objektu hospodaří.

#### **3.2. Typ I – Audit stylem „krok za krokem“**

Audit stylem „krok za krokem“ zahrnuje podrobnou prohlídku zařízení v budově a dalších částí budovy, které využívají dodávanou energii. Tento typ auditu zahrnuje analýzu energetického využití v objektu a jejich spotřebu. Často se u tohoto typu využívá srovnání s podobnými objekty, kde poté můžeme vidět rozdíly a z nich možné další postupy pro úsporu. Tento typ auditu je pro zákazníka nejméně nákladný v porovnání s množstvím informací, které můžeme o objektu zjistit. Tento typ auditu se většinou provádí jako vstupní bod k více detailně

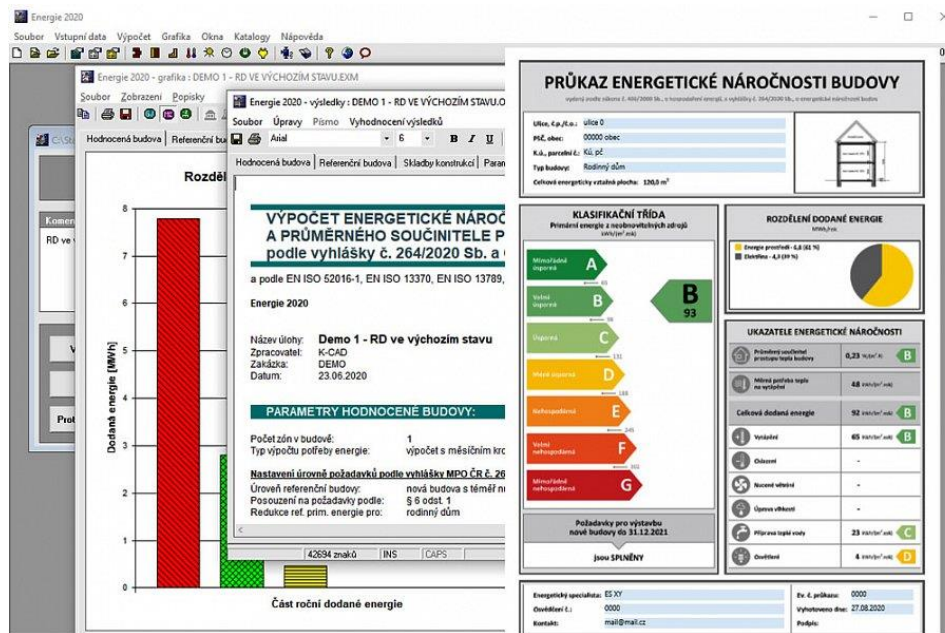
provedenému energetickému auditu. Tento typ auditu již předpokládá alespoň minimální znalosti auditorské činnosti a jejich aplikaci.

### **3.3. Typ II – Standartní audit**

Standartní audit vede k určení množství energií využívaných v objektu a jejich ztrátu. Také jako v typu I zahrnuje analýzu zařízení, systému a hospodařením s energiemi, ale v mnohem detailnějším měřítku. Tento typ auditu často zahrnuje i vlastní měření a testování jednotlivých systémů a množství využívané energie. Tyto měření jsou poté využity pro analýzu a výpočet využívaných energií a jejich možnou úsporu na základě navrhnutých opatření a změn v systému. Standartní audit by měl také obsahovat ekonomickou analýzu a doporučené další měření spotřeb energií.

### **3.4. Typ III – Počítačová simulace**

Energetický audit vytvořený přes počítačovou simulaci je ze všech zmíněných typů nejpřesnější a řekne nám nejvíce o jednotlivých spotřebách v objektu. Na druhou stranu je i nejvíce náročný a jeho vypracování obnáší velmi dobrou znalost objektu. Tento typ energetického auditu je řešen za pomoci počítačového simulačního programu. Auditor vytvoří počítačovou simulaci objektu a jejích systémů, které budou počítat s mnoha proměnnými, například s počasím, využíváním budovy během roku a podobně. Cílem je vytvořit takovou simulaci, která bude odpovídat 1:1 realitě. Po tom, co je simulace vytvořena, auditor udělá v simulaci několik opatření, která uváží za rozumná a rentabilní. Simulace pak přesně vyhodnotí úsporu energie jednotlivých opatření. Z důvodu celkové náročnosti vytvoření modelu, potřeby znalosti návrhu jednotlivých opatření a detailního sběru dat je tato metoda nejdražší. Můžeme si být však jisti, že pokud byla simulace vytvořena správně, navrhovaná opatření a jejich úspora bude velmi přesná. Tuto metodu budu aplikovat i v praktické části, kde jsem simulaci vytvořil v programu Energie 2020.



Obrázek 1 Simulační program Energie 2020 využitý v praktické části [3]

## 4. Proces tvorby auditu [1]

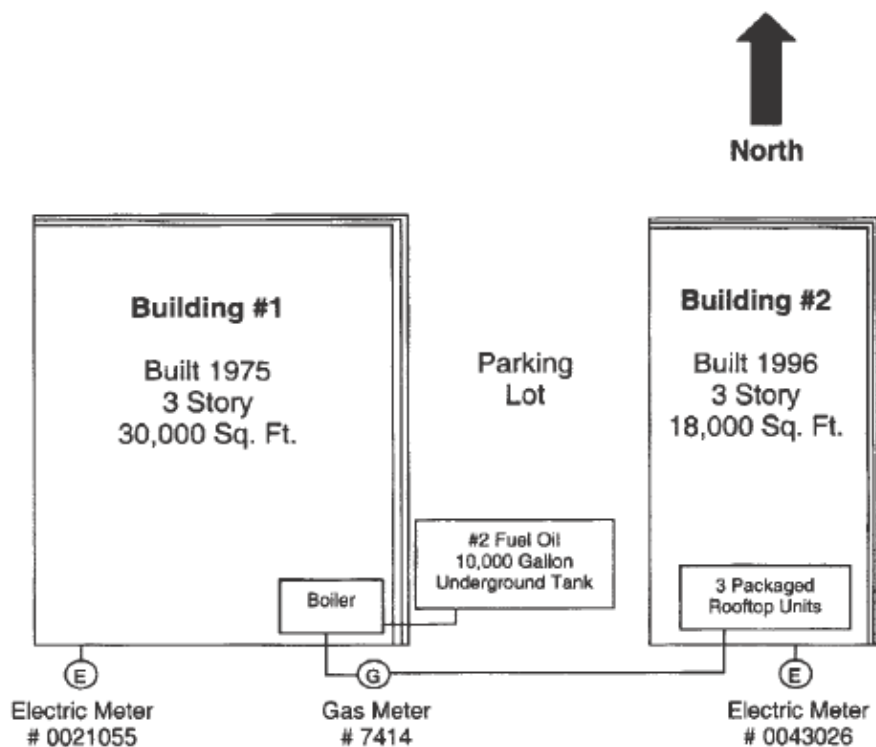
První krok při tvorbě energetického auditu by mělo být shromáždění výpisů za energie a tvorba porovnávacího auditu (Typ I). Již z těchto kroků někdy můžeme vidět, kde je spotřeba energií nejvyšší a kde by byla případná opatření potřebná. Dále si stanovíme, jaký typ energetického auditu požadujeme. Při tvorbě postupujeme v tomto pořadí:

### 4.1. Před auditové činnosti

Získání a zpracování výpisů za energie se zdá být jednoduchá činnost, ale často už zde dochází ke komplikacím, a to buď v komunikaci se správcem objektu, nebo ve ztrátě dat. Při ztrátě dat můžeme postupovat při simulaci objektu přes tzv. „referenční budovu“, kdy budovu vymodelujeme buď za pomoci projektové dokumentace, nebo z vlastního měření. Tuto budovu dále uvažujeme jako výchozí a veškeré další výpočty uvažujeme vůči ní.

Pokud jsou spotřeby k dispozici, vytvoříme grafické znázornění jednotlivých spotřeb, ze kterých lépe pochopíme celou spotřebu energií v budově. Jedná se především o vymezení spotřeb na vytápění objektu, chlazení, osvětlení apod.

Velmi výhodné je také vytvoření nákresu budovy, do kterého později zakreslujeme veškeré informace potřebné při tvorbě auditu.



Obrázek 2 Typový náčrt budovy [1]

Dále se pokoušíme získat veškerou dostupnou projektovou dokumentaci k objektu, a to jak stavební dokumentace různého druhu, tak revizní správy apod.

#### 4.2. Návštěva objektu

Pro naprostou většinu energetických auditů je nutná návštěva objektu. Tato část se pro mnoho objednavatelů auditů může zdát v dnešní elektronické době zbytečná a mohou namítat, že vše zajistí a pošlou elektronicky. Problém ale nastává v tom, že často správci objektu o budově neznají veškeré informace a komunikace a zajišťování těchto informací je poté časově značně nákladné a ve finále by jednodenní návštěva stačila pro zajištění veškerých informací.

Při procházení objektu je doporučeno kontrolovat veškeré již zajištěné podklady, jestli se shodují s realitou a jestli nebyly po postavení budovy udělány nějaké úpravy, a to jak stavební, tak energetické. Při kontrole konzultujeme se správcem základní informace, které většinou nejsou ve stavební dokumentaci obsaženy, např. počet osob v budově, profil využívání, reálné teploty v místnostech...

Dále je doporučeno pořizovat fotografie, a to jak objektu, tak hlavně technických prvků v budově a jejich štítků.

### 4.3. Po návštěvní činnost

Auditor ihned po návštěvě objektu zpracuje veškeré informace získané během návštěvy, zorganizuje si získané fotografie, a přepíše myšlenky a informace, které si během návštěvy nestihl přepsat. Dále zorganizuje veškeré grafy, popisy objektu, a data tak, aby seděly se skutečným stavem. Dále vyhodnotí předběžné možné úspory energie a zpracuje energetický audit již podle typu auditu, který si vybral/domluvil s objednavatelem.

## 5. Přehled základních technik předpovídání spotřeby energií s využitím strojového učení

Přesná předpověď spotřeby energií má mnoho využití při plánování a energetické optimalizaci budovy a objektů. Pro nové budovy, kde nejsou dostupné záznamy spotřeb je využívána počítačová simulace, která dokáže předpovědět budoucí chování budovy. Pokud ale řešíme objekt, u kterého máme spotřeby k dispozici, ukazuje se, že techniky využívající strojové učení jsou pro tyto případy přesnější a rychlé. V této části diplomové práce se budu zaměřovat na právě tyto techniky a pokusím se přiblížit sedm z nich, které se využívají nejvíce [4].

Pokud porovnáme metody předpovědi, tedy metodu strojového učení neboli „Data-driven“, což by se dalo přeložit jako metoda řízená získanými daty, a metodu simulační, najdeme hned na úvod několik zásadních rozdílů.

| Metoda                | Výhody   | Nevýhody   |
|-----------------------|--|--|
| <u>Strojové učení</u> | Velmi rychlá při práci s daty v reálném čase<br>Použitelná pro nelineární modelování<br>Často více přesná než simulační metoda | Nutnost záznamů dat<br>Netransparentní a omezená<br>Obtížné zobecnění  |
| <u>Simulace</u>       | Založená na fyzice budovy<br>Transparentní a nevyžaduje zkoušku dat<br>Lehké zobecnění   | Obtížné modelování reálné situace<br>Nutnost znalosti budovy (např. projektová dokumentace)<br>Není velmi přesná |

Metody využívající strojové učení fungují na principu sběru dat za určitý čas s jejich následným vyhodnocením a určením předpovědi. Tato analýza může být rozdělena na dvě části. První část je získání struktury a základního vzoru pozorovaných dat. Druhá část se týká přizpůsobení

modelu pro vytváření předpovědí. Tato „časová“ analýza se využívá u mnoha modelů včetně ekonomické prognózy, kontroly procesů a kvality atd....

Nedávno se tyto metody začaly využívat pro předpověď energetické spotřeby budov. To nastalo v momentu, kdy se budovy začaly více monitorovat v reálném čase. Tento monitoring také zajišťuje minulá data z předchozích let, která jsou následně využívána [4].

### **5.1. ANN**

ANN, neboli „Artificial neural networks“ jsou modelovací techniky, které jsou velmi podobné lidskému mozku. Lidský mozek obsahuje velké množství procesních jednotek zvaných neuronů, které pracují paralelně pro zpracování dat a vzpomínání. Tyto neurony jsou spojeny synapsí. Je zjištěno, že tato spojení jsou schopna uchovávat informace, které mohou být později využity [4].

V matematickém modelu neuronové sítě je hlavní smysl v určení těchto vazeb tréninkem modelu minulými daty, které jsou často uspořádány v setu vstupů a výstupů. Trénink sítě je realizován s ideou snižování střední kvadratické chyby mezi měřeným výstupem a tím, co bylo předpovězeno ANN modelem [4].

Mezi prvními aplikacemi byla předpověď spotřeby elektrické energie. Elektrická energie byla měřena pro každý měsíc pro období od ledna 1995 do prosince 1997. Tyto data byly následně využity pro trénink modelu. Byly vytvořeny dva modely, které vykazovaly MAPE (Mean Absolute Percent Error) – průměrnou procentuální odchylku 5,03 a 4,43. [5].

### **5.2. ARIMA**

ARIMA modely jsou základní a nejobecnější formou časových řad techniky předpovídání. Ty jsou založeny na myšlence transformace časové řady na stacionární procesem diferenciací. Lze předpokládat, že časová řada je stacionární, pokud jsou její statistické vlastnosti v průběhu času konstantní. Proto je rovnice ARIMA pro časovou řadu lineární rovnicí, ve které se vstup skládá ze zpoždění závislé proměnné spolu se zpožděním chyby předpovědi [4].

Model ARIMA můžeme rozdělit na tři části [6]:

- Autoregresní (AR) sděluje, že díl hodnoty časové řady můžeme brát jako lineární kombinaci předešlých hodnot.
- Integrovaní (I) určuje diferenci časové řady před použitím modelů AR.



- Klouzavé průměry (MA) sděluje, že část chyby časové řady můžeme brát jako lineární kombinaci přechozích chyb.

Zajímavé využití této metody proběhlo v Číně, kde Wang a Meng aplikovali ARIMA model pro předpověď spotřeby energií pro celou provincii Hebei. Pro model byly použita data z roku 1980 až 2008. V kombinaci s ANN vykazoval model MAPE (Mean Absolute Percent Error) – průměrnou procentuální odchylku 0,311 % [7].

### 5.3. SVM

Support vector machines (SVM) neboli metoda podpůrných vektorů je vyvinuta na konceptu rozhodovacích nadrovin distribuující data do dvou sad. Idea určení této nadrovin je založena na nalezení největšího rozpětí mezi těmito dvěma sadami. Rozpětí označuje maximální šířku roviny rovnoběžné s nadrovinou, která neobsahuje žádné vnitřní datové body [4].

Příklad využití této metody proběhl v Taiwanu, kde se touto metodou zkoumala elektrická zátěž města. Data pro validaci a test modelu byla z roků 1981 až 2000. Model průměrnou procentuální odchylku pod 2,45 % [8].

### 5.4. CBR

Case-Based reasoning – ve volném překladu „uvažování založené na jednotlivých případech“ je založeno na vyvolání informací z předchozích případů k vyřešení nového případu. Je opakem myšlenky odvozování pravidel z jednotlivých pozorování, která jsou následně použity na obecnou množinu. Tento proces se spíše opírá o podobné případy, které byly řešeny v minulosti, a ne tolik o metodiku jejich řešení. Primárním zdrojem znalostí v CBR je paměť, uložených zaznamenaných případů pro konkrétní dřívější případy [4].

Obecně můžeme metodu CBR rozdělit na čtyři fáze [9]:

1. Načtení: Vložíme stávající problém, a k němu načteme případy z paměti relevantní pro jeho řešení.
2. Opakované použití: Zmapování řešení z předchozích případů na cílový problém. To může zahrnovat přizpůsobení řešení podle potřeby tak, aby odpovídalo nové situaci.
3. Revize: Po zmapování předchozího řešení na cílovou situaci otestujte nové řešení v reálném světě (nebo simulaci) a v případě potřeby proveďte revizi.
4. Zachování: Po úspěšném přizpůsobení řešení cílovému problému uložte výsledný zážitek jako nový případ do paměti.

## 5.5. Fuzzy časové řady

Fuzzy časové řady (*v angl. Fuzzy time series*) jsou pozorování časových řad s lingvistickými hodnotami, spíše než konvekční numerické, nebo ostré hodnoty pozorování. K jejich studiu proto nelze použít konvenční pravidla analýzy časových řad [4].

K jednomu z použití Fuzzy časové řady došlo v Malajsii, kde byl tento princip využit pro předpovídání potřeby elektrické energie pro celou Malajsii. Byly určeny okrajové podmínky pro jednotlivé dny (pracovní dny, víkendy, svátky...), teploty a minulá potřeba energií. Jsou použity čtyři metody defuzzifikace. Použitá data byla s půlhodinovým krokem potřeby elektřiny po dobu jednoho týdne. Výsledky vykazují MAPE mezi 1,645 % a 5,81 % pro čtyři zvolené metody defuzzifikace [10].

## 5.6. Grey předvídací model

Tato metoda získala popularitu při řešení neurčitých problémů pod diskretními daty, kde nebyly dostatečně dostupné. Hlavním účelem teorie je předpovědět chování systémů, které nelze determinovat stochastickými nebo fuzzy metodami s využitím omezených daty. Základním Grayovým predikčním modelem je GM (1,1), což je model předpovědi časových řad, která implikuje predikční model jediné proměnné prvního řádu. GM (1,1) nevyžaduje žádné předchozí znalosti, jako je rozdělení pravděpodobnosti vstupních dat, a lze jej použít, pokud je omezeno množství vstupních dat. To je hlavní výhoda tohoto modelu, že jej lze použít i s minimem dat [4].

Aplikace této metody byla vyzkoušena např. k předpovědi provozní energetické účinnosti vzduchem chlazených vodních chladičů. Data byla zaznamenávána po třiceti minutových intervalech od 8:30 do 13:00 hodin. Predikované hodnoty koeficientu výkonu (COP) odpovídaly naměřenému COP. Z toho bylo určeno, že model dokáže predikovat COP pro několik hodin dopředu s maximální procentuální odchylkou mezi skutečnými a předpovídanými hodnotami 1,097 % [11].

## 5.7. MA & ES

MA (moving average) – v češtině „klouzavý průměr“ a ES (exponential smoothing) – v češtině „exponenciální vyhlazování“ jsou dvě různé předpovídající metody, ale jsou podobné v tom, jak tyto modely uvažují časovou řadu lokálně stacionární s pomalu se pohybujícím průměrem. Metoda exponenciálního vyhlazování však dává vyšší vážení na nedávné hodnoty, zatímco metoda klouzavého průměru přiřazuje všem váhám stejné váhy. Existují různá rozšíření základního modelu klouzavého průměru, jako je ARMA, ARIMA

atd. Princip pohyblivého průměrování spočívá v tom, že pozorované hodnoty, které si jsou navzájem blízké mají pravděpodobně také podobnou hodnotu. Koncept exponenciálního vyhlazování spočívá v přidání větších vah k novějším pozorováním. Prognózy se počítají pomocí vážených průměrů, které exponenciálně klesají, jak jsou pozorování přijímána dále z minulosti [4].

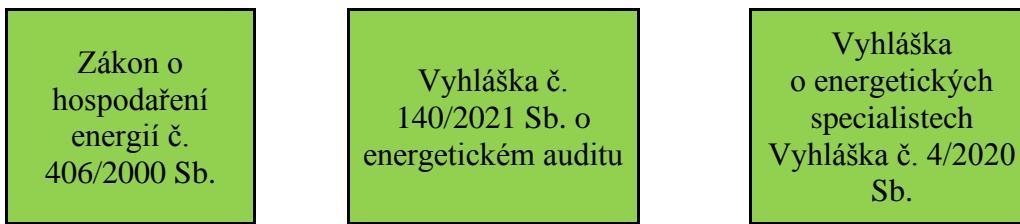
K využití této metody došlo při krátkodobé předpovědi potřeby elektrické energie jednoho dne. V modelu byla využita časová řada hodinové poptávky pro město Rio de Janeiro a řada půlhodinové poptávky pro Anglii a Wales. Údaje pro Rio byly 5.5.1996 do 30.11.1996. Údaje o spotřebě elektrické energie v Anglii a Walesu byly z období 27.3.2000 až 22.10.2000. Výsledky ukázaly, že exponenciální vyhlazování dosáhlo MAPE pod 3 % pro model Ria de Janeira a pod 1,5 % pro model Anglie a Walesu [12].

### 5.7.1. Vzájemné porovnání

| <b>Model</b>           | <b>Datový typ</b>                          | <b>Délka<br/>tréninkových<br/>dat</b> | <b>Přesnost<br/>MAPE (%)</b> | <b>Spotřebovaný<br/>čas</b> |
|------------------------|--|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| <b>ANN</b>             | Hodinová elektrická zátěž                  | 1 rok                                 | 1,69 - 1,81                  | 35 vteřin                   |
| <b>ARIMA</b>           | Měsíční špičková poptávka po elektřině     | 6 let                                 | 1,05 - 2,59                  | Nedostupné                  |
| <b>SVM</b>             | Hodinová chladicí zátěž a klimatické údaje | 1 měsíc                               | 1,001 - 1,016                | < 1 minuta                  |
| <b>Fuzzy</b>           | Denní elektrická zátěž                     | 6 měsíců                              | 1,23 - 1,63                  | Nedostupné                  |
| <b>Grey</b>            | Půlhodinová chladicí zátěž                 | 4 měsíce                              | 0,416 - 1,097                | Nedostupné                  |
| <b>MA &amp;<br/>ES</b> | 10–30minutová poptávka po elektřině        | 7 měsíců                              | 1,2                          | Nedostupné                  |

Tabulka 1 Kvantitativní srovnání některých nejlepších výsledků hlavních technik předpovídání.

## 6. Legislativní rámec energetického auditu



Obrázek 3 Legislativní rámec energetického auditu

### 6.1. Zákon o hospodaření energií č. 406/2000 Sb. [13]

Povinnost provádět energetické audity je stanovena zákonem č. 406/2000 sb., o hospodaření energií, ve znění dalších předpisů. Povinností zajištění energetického auditu se zabývá § 9. Konkrétně se jedná o tyto subjekty:

- Velcí podnikatelé – u těchto subjektů je požadavek na zajištění energetického auditu každé čtyři roky, pokud v podniku není zaveden certifikovaný systém hospodaření s energiemi dle normy, nebo systém environmentálního řízení dle platné normy.
- Společenství vlastníků, stavebníci nebo vlastníci budovy či energetického hospodářství při celkové spotřebě větší, než je stanoveno převáděcím předpisem, nebo při větší změně dokončené budovy, což chápeme jako změnu na více než 25 % celkové plochy obálky budovy.

Ze zákona také vychází povinnost:

- Na vyžádání poskytnout energetický audit SEI, nebo ministerstvu.
- Vyhovět požadovaným opatřením, nebo jejich částí vycházejících z energetického auditu, a to v případě, že subjekt je ze skupiny organizačních složek státu, obcí, krajů a příspěvkových organizací.
- Příslušnému ministerstvu oznámit zajištění energetického auditu

Jednou z dalších důležitých částí zákona je část o energetickém specialistovi, která definuje jasné podmínky pro osoby, které mohou energetické audity provádět. Podle § 10 můžeme energetické specialisty rozdělit na čtyři kategorie, a to dle kategorie jejich oprávnění. Celkem může energetický specialista obdržet od ministerstva tyto oprávnění:

- Zpracovávat energetický posudek a provádět energetický audit
- Zpracovávat energetický průkaz

- Provádět kontroly provozovaných kombinovaných systémů větrání a klimatizace a systému klimatizace
- Provádět kontroly provozovaných kombinovaných systémů větrání a klimatizace a systémů klimatizace

Pro získání oprávnění je nutné složení odborné zkoušky, bezúhonnost, odborná způsobilost a svéprávnost. Odborná způsobilost je dle § 10 odst. 4 zákona stanovena splněním jedním z následujících kritérií:

- Dokončení vysoké školy na úrovni bakalářského, magisterského, nebo doktorského studia v oboru technických věd a oborů energetiky, energetických zařízení, stavebnictví, nebo jiném obdobném oboru a 3 roky praxe v oboru.
- Dokončení středoškolského vzdělání zakončeného maturitní zkouškou v oboru technického, energetického, nebo stavebního směru a 6 let praxe v oboru.
- Dokončení vyššího odborného vzdělání v technickém směru v oboru energetických zařízení, stavebnictví, nebo energeticky a 5 let praxe v oboru.

Z těchto kritérií můžeme odvodit, že absolvent magisterského oboru inteligentních budov je povinen vykonávat 3 roky praxe v oboru a poté se může stát energetickým specialistou. Dále se můžeme v paragrafu § 10 dozvědět, že již jmenovaný energetický specialista je povinen se průběžně vzdělávat a docházet každé tři roky na přezkoušení, kde budou ověřeny jeho znalosti [13].

## **6.2. Vyhláška č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu [14]**

Praktická část je zpracována dle platné vyhlášky v době pracování na praktické části. V této části se pro aktuálnost diplomové práce však věnuji nové vyhlášce, která vešla v platnost 1.4.2021. Tato vyhláška mění obsah energetického auditu a jeho další zpracování.

Asi největší změnou oproti staré vyhlášce je povinnost vypracovat se součinností s objednavatelem auditu plán energetického auditu. Dle něj se budou mimo další body stanoveny podrobnosti energetického auditu [15].

Nejpodstatnějším paragrafem je § 5, který určuje obsah zprávy o provedeném energetickém auditu. Obsah by měl vždy obsahovat tyto body:

- Shrnutí energetického auditu.

- Definice předmětu energetického auditu.
- Detaily zprávy o provedeném energetickém auditu.
- Příložené přílohy zprávy o provedeném energetickém auditu podle § 10.

Další významnou změnou je metoda hodnocení navržených opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti [15]. Nově se navržené příležitosti musí hodnotit i na bázi multikriteriálního hodnocení. Multikriteriální hodnocení se zabývá klasifikací existujících alternativ dle několika parametrů, přičemž alternativa hodnocená dle prvního kritéria nebývá nejlépe hodnocená dle kritéria druhého. Tato metoda pak řeší konflikty mezi vzájemnými kritérii [16].

Příležitosti (vycházejí z požadavků ČSN ISO 50002):

- Je nutné, aby příležitosti byly ekonomicky nadějně
- Jednotlivé varianty obsahující opatření musí vykazovat úsporu CO<sub>2</sub>, a to v minimální výši 10 %.
- Pokud by nebylo možné dosáhnout úspory CO<sub>2</sub>, tak musí energetický specialista tuto skutečnost zdůvodnit.

### **6.3. Vyhláška č. 4/2020 Sb., o energetických specialistech [17]**

V této vyhlášce č. 4/2020 Sb., o energetických specialistech jsou určena kritéria na kvalifikaci energetického specialisty, proces odborné zkoušky a přezkušování, skladba zkušební komise zbylé detaily.

Zkouška se skládá z ústní a písemné části. Ústní část je tvořena rozhovorem na základě dokumentů, kterými jsou kontrolní zprávy kotlů a tepelných rozvodů, klimatizačních systémů, energetické audity, posudky a průkazy. Tyto dokumenty určuje Státní energetická inspekce. V písemné části se ověřuje žadatelova znalost a přehled související s činnostmi specialisty. Ministerstvo pověřuje pořádáním průběžného vzdělávání vysoké technické školy.

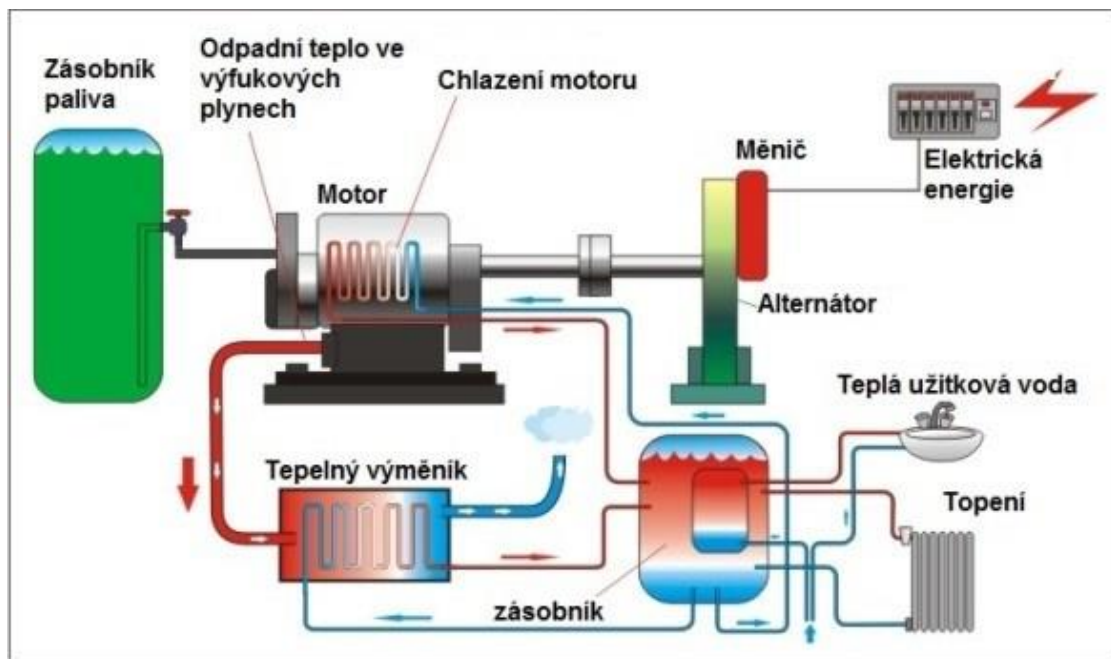
## **7. Výběr z aplikovaných opatření**

Následující kapitola se věnuje úsporným opatřením, které jsou realizována v praktické části diplomové práce a nejsou tolik obvyklá a je záhodno k nim dodat pár informací.

### **7.1. Instalace kogenerační jednotky**

Kogenerační jednotka je stroj pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Běžná kogenerační jednotku můžeme rozdělit na čtyři části: zásobník paliva spolu s úpravou paliva,

primární jednotky, zařízení pro rekuperaci tepla a elektrický generátor s měničem. Hlavní výhodou kogenerační jednotky je využití odpadního tepla, které vzniká u jiných zdrojů tepla a které ostatní zdroje nedokážou využít. Díky tomuto principu dosahují kogenerační jednotky velmi vysoké účinnosti (až 95 %). Při instalaci kogenerační jednotky můžeme ušetřit až 70 % energie obsažené v palivu oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla [19]. Mezi její další výhody se řadí možnost regulování výkonu a lze tedy nastavit optimální výkon pro daný objekt. V neposlední řadě je kogenerační jednotka umístěná v blízkosti objektu a nedochází k velkým ztrátám při přenosu energie. Optimální využití jednotek je u objektů s větší spotřebou elektrické energie a tepla. Proto se nyní kogenerační jednotky instalují především do sportovních hal, koupališť, hotelů, škol apod. V poslední době ale dochází k instalaci i tzv. mikrokogeneračních jednotek, kde se o instalaci této jednotky dá uvažovat už od tepelné ztráty objektu od 50 kW a vyšší [18] [20].



Obrázek 4 Kogenerační jednotka se spalovacím motorem jako primární jednotkou [21]

Pokud se zaměříme na zdroj paliva pro kogenerační jednotku, tak můžeme využít velmi rozličná paliva, a to např. fosilní paliva, biomasou, vodík, komunální odpady apod.

Při výběru technologie použité v kogenerační jednotce je důležité nejdříve určit typ a spotřebu objektu, pro který budeme kogenerační jednotku využívat. Obecně můžeme říct, že pro vyšší výkony (až do 200 MW) je vhodné zvolit jako primární jednotku spalovací nebo parní turbínu. Naopak pro menší výkony (do 50 MW) se více využívají zážehové nebo vznětové motory a palivové články. Lze také využít ORC jednotek, pokud chceme využít kogenerační jednotku

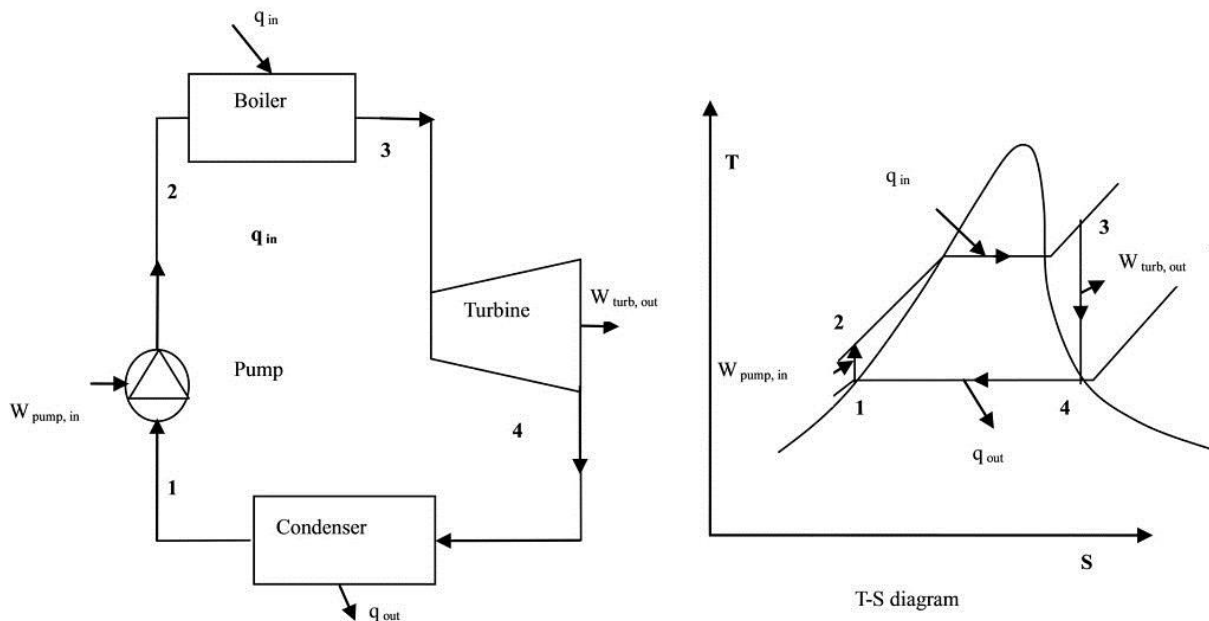
pro spalování biomasy. V případě mikrokogeneračních jednotek se využívá principu Stirlingového motoru, nebo mikroturbíny [17] [19].

Pokud se podíváme využití kogeneračních jednotek v České republice, tak až 2/3 dodávek tepla a teplé vody vytváří teplo vyrobené kogenerací. Nejvíce se k tomu využívá uhlí a zemní plyn [23].

Při počítání ekonomické návratnosti instalace kogenerační jednotky je několik faktorů, které zásadně ovlivňují ekonomiku provozu. Např. se jedná o cenu dodávaného paliva, opravy jednotky, teplotní modul atd... Důležitým faktorem je v dnešní době i dotace na kogenerační jednotky, která může zásadně ovlivnit návratnost do tohoto opatření. U malých podniků může tato dotace dosahovat až 50 % na celkovou instalaci nového zdroje.

## 7.2. Kogenerace s využitím parní turbíny

Tvorbu elektrické energie parní turbínou lze zjednodušeně charakterizovat na bázi pracovního diagramu a tzv. T-S diagramu, na němž je zobrazen termodynamický cyklus pracovního média (vody) takzvaný Rankinův cyklus [22].



Obrázek 5 Parní turbína a T-S diagram [24]

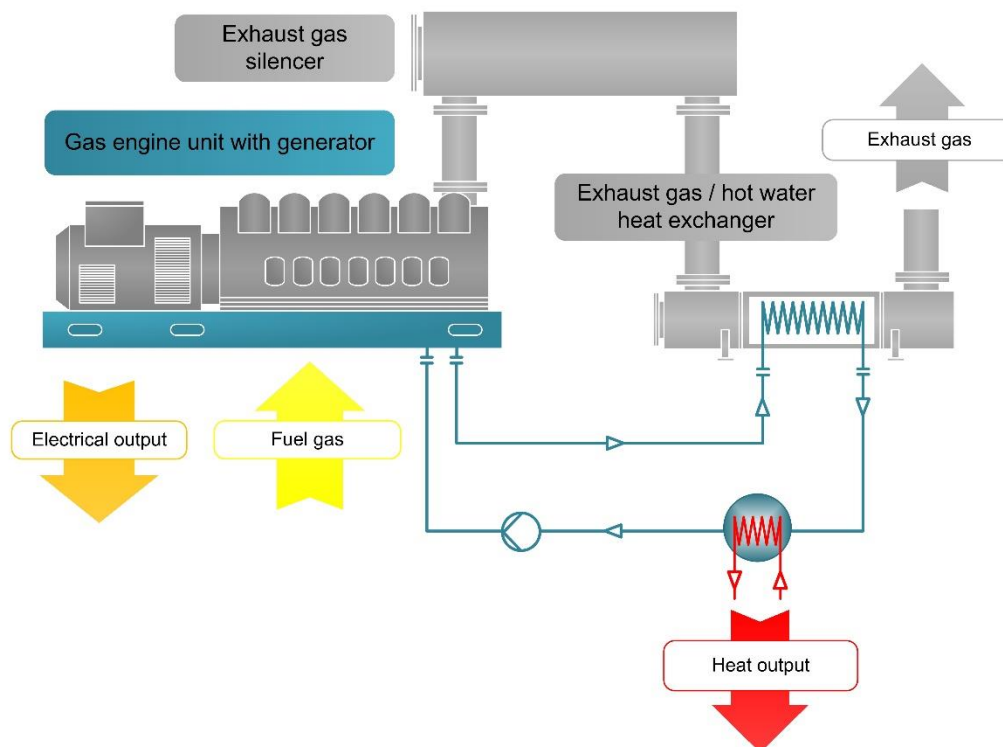
Na výše zobrazeném diagramu můžeme vidět čtyři základní části kompletního cyklu: turbínu (turbine), kondenzátor (condenser), čerpadlo (pump) a kotel (boiler). V tomto cyklu pro turbínu kondenzační je nejprve čerpadlem zvýšen tlak vody na potřebnou hodnotu a voda je poté dopravena do kotle, kde je poté uvedena do bodu varu a přechází v páru, jež je dopravena do parní turbíny, kde poté expanduje, přitom roztáčí turbínu a s ní sdružený alternátor a díky tomu



vzniká výroba elektřiny. Pára poté kondenzuje v kondenzátoru a celý cyklus začíná od znovu. U kondenzace v kondenzátoru se při procesu vypouští teplo do okolního prostředí bez dalšího využití. Parní turbínu můžeme rozčlenit na dva druhy – kondenzační a protitlakou [22].

### 7.3. Kogenerační jednotky s plynovými motory

Tento typ jednotek je nejpoužívanějším typem, a to z důvodu využití i pro malé podniky a domácnosti a vysoká celková účinnost a to kolem 90 %. Jako palivo můžeme využít zemní plyn, topné plyny, nebo bioplyn. Princip jednotky je na spalování plynu za cílem produkce elektrické energie. Poté je z částí motoru a ze spalin bráno teplo posílané spotřebiteli. Nejvíce se tento typ kogenerační jednotky využívá v průmyslových a městských teplárnách, spalovnách, hotelech, nemocnicích apod [22].



Obrázek 6 Kogenerace s plynovým motorem [25]

Jedním ze zajímavých aplikací využití celého potenciálu instalace kogenerační jednotky je využití oxidu uhličitého vznikajícího při spalování. Nejdříve je nutné emise vyčistit za pomoci katalytických reakcí a poté je možné je dopravovat do skleníku, kde jsou využity pro zvýšení podílu oxidu uhličitého. Běžně v atmosféře se nachází cca 350 ppm oxidu uhličitého, ale pro

růst některých rostlin je doporučené množství 700 ppm. Zároveň můžeme spolu s přívodem emisí zajistit tímto způsobem i vytápění skleníku konstantě po celý rok [26].

#### **7.4. Trombeho stěna**

Trombeho stěnu řadíme mezi pasivní solární systém. Nynější nejčastější podoba je černě natřená jižně orientovaná stěna, přes které je se vzduchovou mezerou osazeno dvojitě zasklení. Princip Trombeho stěny je, že sluneční radiace prostupuje skrz zasklení a následně je absorbováno stěnou s tmavým povrchem. Černá barva je použita pro svojí vysokou pohltivost a nízkou emisivitu. Teplo je následně kondukcí šířeno do vnitřní segmentu stěny, kde poté radiací šířeno do objektu. Při stavbě Trombeho stěny je velmi důležitý správný výběr průsvitné části stěny. Ideálně hledáme materiál s co největší sluneční propustností, ale také s dobrými izolačními vlastnostmi, tak aby byly redukovány tepelné ztráty stěny. Nejobvyklejší příklad tohoto materiálu je čiré sklo [27].

#### **7.5. Sběrníkový systém KNX**

##### **7.5.1. Historie**

První myšlenky na plán automatizovaného domu, který by sám ovládal vytápění, osvětlení, audiosystémy apod. vznikaly již v 50 letech minulého století. Základním kamenem pro tuto myšlenku bylo založení společnosti Instabus-Gemeinschaft, kterou založilo v 80 letech 20. století pár významných evropských firem (Berker, Jung, Merten, Instam Gira, Siemens). Hlavní záměr společnosti byl vývoj systému určeného pro řízení, měření, regulaci a sledování provozně technických funkcí v budovách. Dalším významným milníkem byl v 90 letech 20. století vznik společnosti EIBA, která sídlí v Bruselu, která trhu představila technologii KNX [28] [31].

##### **7.5.2. Princip**

Systém KNX se řadí pod decentralizované instalační systémy pro řízení budov. Za pomoci systému KNX je umožněna regulace, hlídání a kontrola, zapínání a vypínání systémů TZB ve stavbách a strojů [32].

Základní členy systému KNX můžeme rozdělit na [28] [29]:

- senzory
  - Senzory neboli ovládací prvky, jsou kontakty spínačů nebo čidla, jež posílají na sběrnici signály.
  - Senzory tímto způsobem oznamují stav určitého zařízení.

- Příklady senzorů: spínací hodiny, binární vstupy, soumrakové spínače, sběrnicová tlačítka, termostaty, radiofrekvenční vysílače, detektory pohybu.

- Aktory

- Aktory neboli ovládané prvky, jsou zařízení, jež řídí výkonová zařízení na



Obrázek 7 Příklady senzorů [29]

podkladě signálů ze senzorů.

- Exempláře aktorů: spínače, stmívače



Řadový spínací akční člen s detekcí proudu - 4násobný

Řadový kontrolér osvětlení KNX/DALI

Řadový žaluziový akční člen s ručním ovládáním, 4násobný

Obrázek 8 Příklady aktorů [29]

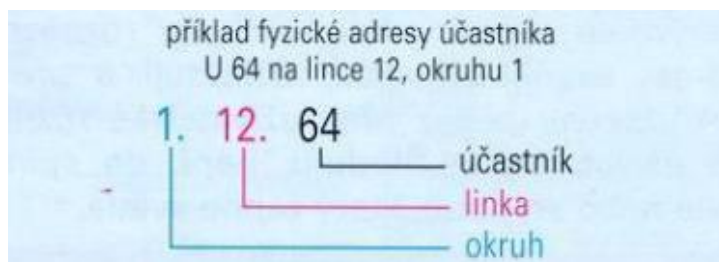
- systémové komponenty

- Systémové komponenty zprostředkovávají zásadní funkce, a to napájení sběrnice malým napětím, propojení mezi částmi sběrnice a zároveň jsou vstupním místem pro připojení počítače určeného pro programování systému.

- datové sběrnice

- Ty jsou v systému KNX dvou vodičové a za pomoci ní se předávají data (informace) mezi řízenými prvky (aktory) a řídicími prvky (senzory).

- Datové sběrnice KNX jsou napájeny stejnosměrným 19-30 V napětím a jsou galvanicky izolovány od napájecí sítě.



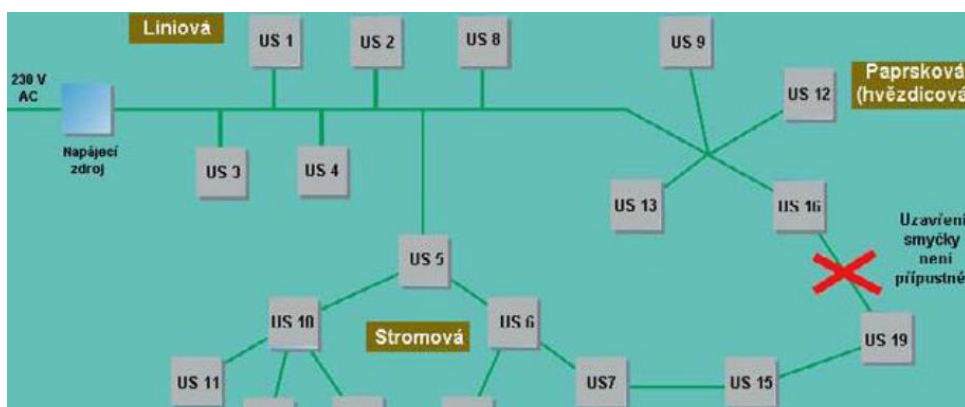
Obrázek 9 Příklad fyzické adresy účastníka [30]

- Pro datové sběrnice KNX se využívají dva typy kabelů, a to typ YCYM 2x2x0,8 a typ J-Y(St)Y 2x2x0,8, přičemž souhrnná vzdálenost sběrnice v linii nesmí být delší než 1 000 m a délka napájecího zdroje od nejdlehlšího přístroje nesmí přesáhnout vzdálenost 350 m.

### 7.5.3. KNX – topologie [30]

Při tvorbě KNX systému musíme pamatovat na určité podmínky topologie systému a to:

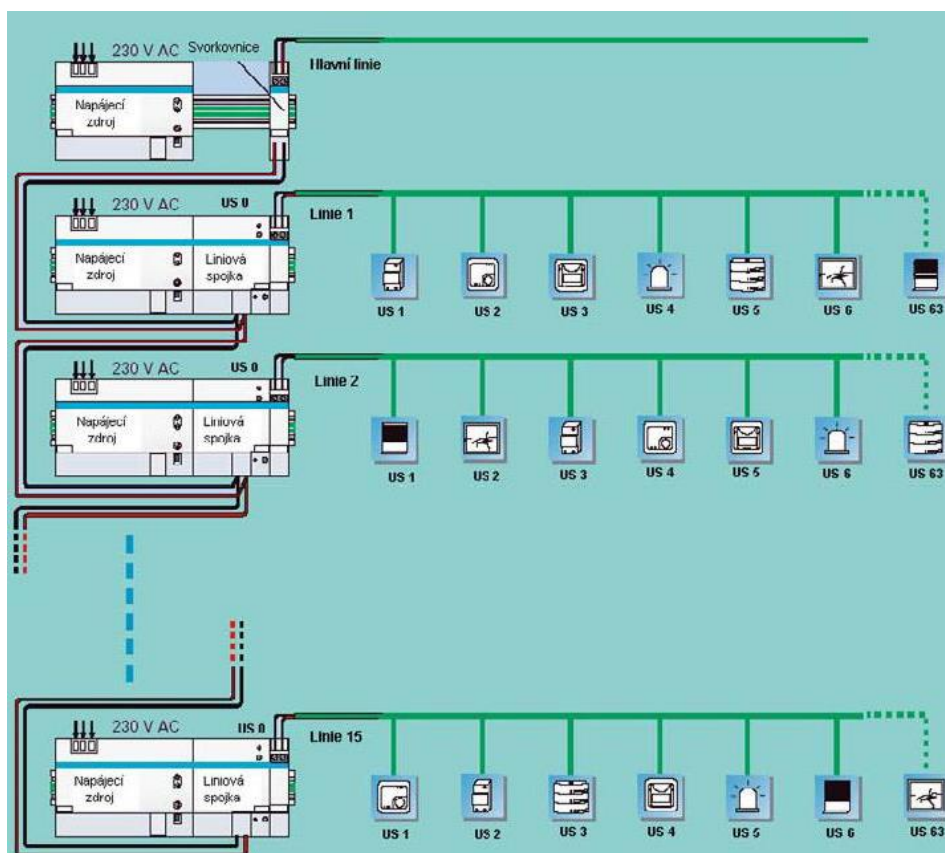
- Lini KNX/EIB sběrnice můžeme klást v podstatě jakýkoli způsobem. Může být paprsková, stromová struktura i kombinovaná liniová.
- Žádná smyčka nesmí být uzavřená (struktura nesmí být do kruhu).
- U stavby sběrnice KNX/EIB není nutné využití ukončovacích odporů.



Obrázek 10 Příklady zapojení struktury [30]

- Chceme-li do instalace umístit více než šedesát čtyři účastníků sběrnice, nebo do ní zahrnout více částí budovy, musíme vytvořit druhou linii.
- U propojení jednotlivých linií se využívá propojení linkovými spojkami.

- Hlavní linii je nutné připojit na zdroj napájení. Tato hlavní linie tvoří propojení mezi liniovými spojkami.



Obrázek 11 Příklad topologie KNX [30]

#### 7.5.4. KNX – uspořádání účastníků připojených na sběrnici [30]

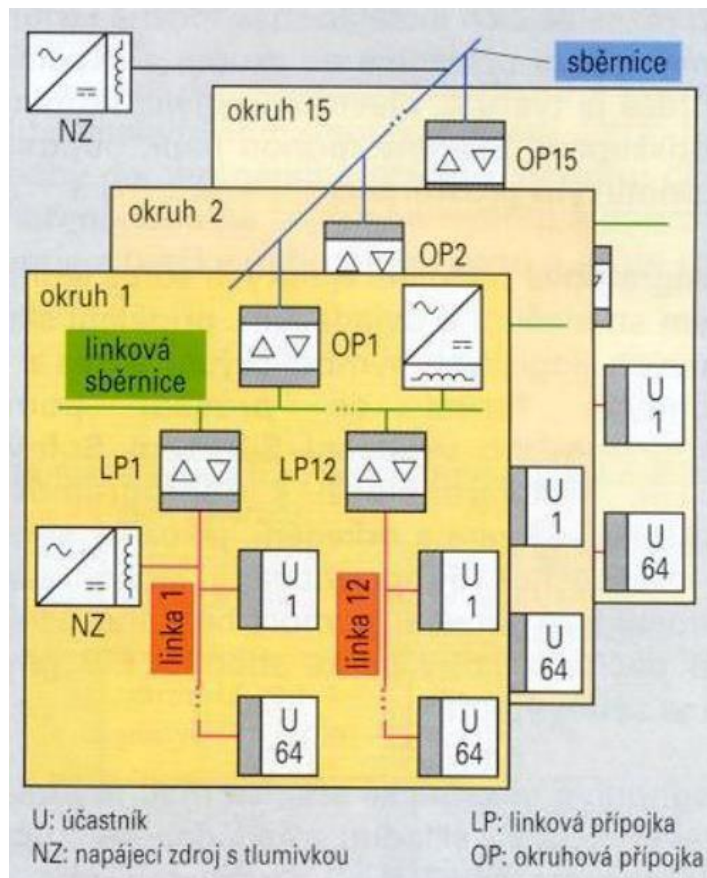
Pro připojení účastníků na sběrnici KNX využijeme stromové uspořádání se dvěma úrovněmi na okruhy a linky. Z hlavní okruhové sběrnice je schopno odbočovat až 15 odboček na linkové sběrnice. Z každé linkové sběrnice může odbočovat až 12 odboček na účastnické sběrnice. Z každé účastnické sběrnice může odbočovat až 64 účastnických přípojek k individuálním účastníkům (U).

Každá účastnická sběrnice má svoji:

- síťový napájecí zdroj (NZ),
- linkovou přípojku (LP) k linkové sběrnici.

Každá linková sběrnice má svoji:

- napájecí zdroj a okruhovou přípojku (OP).



Obrázek 12 Příklad topologie KNX, číslování účastníků [30]

### Výměna dat po sběrnici

Výměna dat po sběrnici funguje ve zřetelném chodu po blocích. V bloku jsou binárně kódovaná data.



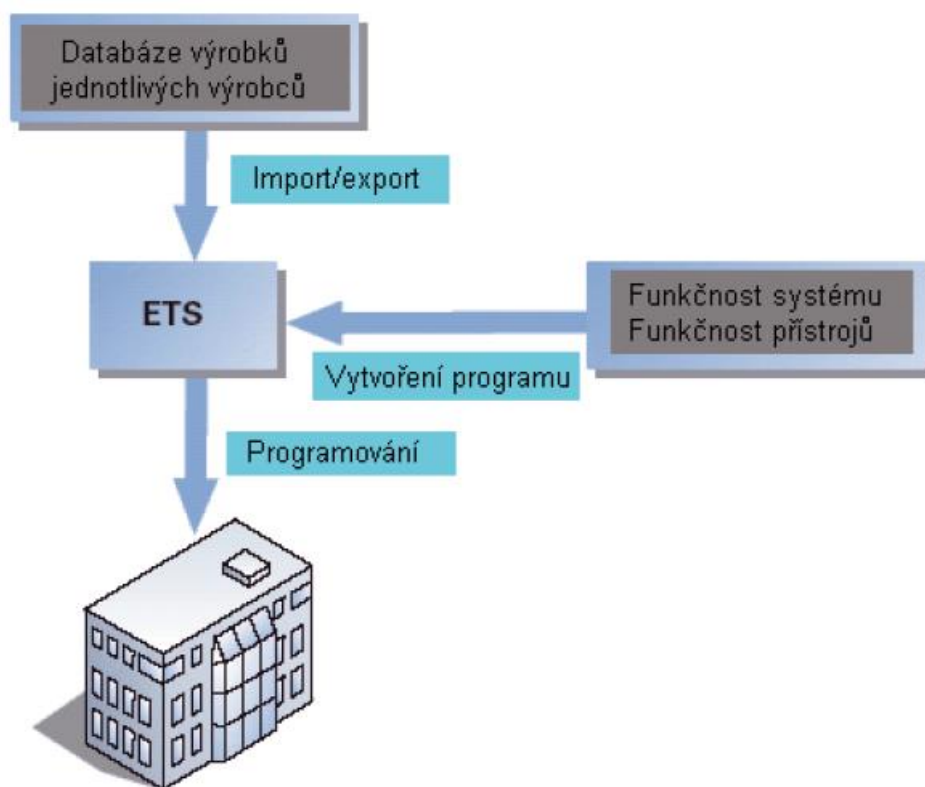
Obrázek 13 Struktura datového protokolu [30]

Každý sběrnicev ý účastník dostane svou adresu, která obsahuje okruh, na kterém se nachází, linku okruhu a číslo účastníka. Zároveň platí, že libovolný sběrnicev ý účastník může komunikovat s libovolným sběrnicev ým účastníkem skrz sběrnici.



### 7.5.5. Programování KNX systému

Ze začátku je nutné vytvořit vlastní projekt. Při tomto procesu projekt pojmenujeme a zvolíme komunikační médium a to PP, PL, nebo IP. Po tomto kroku bude vytvořena skladba projektu, což zahrnuje vložení místností, rozvaděčů a budov. Tato část není nutná, ale je později velmi výhodná pro následnou přehlednost a pozdější servis. Poté již můžeme do individuálních rozvaděčů a místností dávat jednotlivé přístroje, ke kterým jsou určeny fyzické adresy. Dalším krokem je vytvoření individuálních skupinových adres, které definují funkce systému. Je důležité, aby každá z těchto skupin byla přiřazena ke snímači a zároveň k akčnímu členu, což slouží k jejich oboustranné komunikaci. Snímač na konkrétní adresu odešle datovou informaci ve tvaru telegramu, odkud ji akční člen zpracuje a provede žádanou úlohu [31].

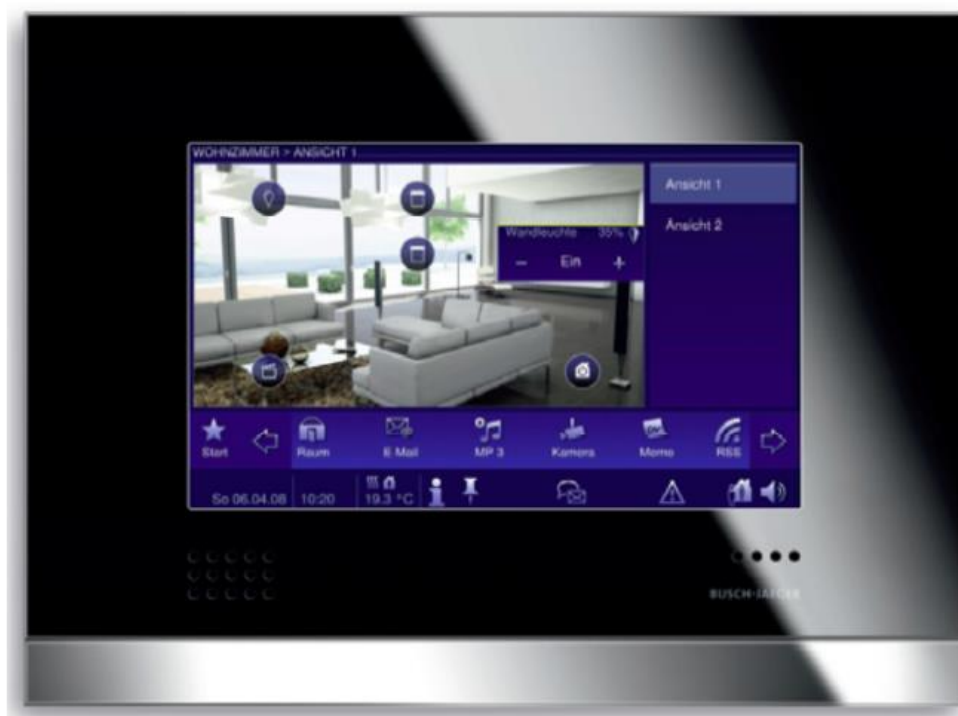


Obrázek 14 Průběh při vytváření projektu v softwaru ETS [31]

### 7.5.6. Vizualizace

Za vizualizací si můžeme přestavit grafické zobrazení provozních stavů individuálních funkcí, popřípadě jejich ovládání a též vytváření různých scén, časové nastavení a vytváření vazeb pro možnosti řízení. Při použití systému KNX je k dispozici několik možností, jak vizualizaci

realizovat. Nejjednodušší metoda je za pomoci LED diod, které doplňují tlačítkové ovladače. Tento typ vizualizace je vhodný obzvláště pro menší aplikace. Jedna další z možností vizualizace je instalace LCD panelů, kde se již na rozdíl od LED diod mohou zobrazovat analogové hodnoty individuálních senzorů. Nejčastější vizualizací však je vizualizace využívající zobrazení dotykovými panely, jež jsou rovnou přizpůsobené pro systém KNX. Na těchto panelech je poté možno vizualizovat všechny stavy systému, časové programy, logické funkce a je možné i vytvářet různé scény. Za pomoci těchto prvků je uskutečnitelné i další nastavování parametrů případných dalších prvků na sběrnici. Pokud je vyžadováno, je do konkrétně tomu uzpůsobených panelů možno i připojit ovládání audiovizuální techniky. Neposlední možností je využití vizualizačního softwaru, který je spolu s instalací systému KNX instalován i na libovolné množství počítačů a přenosných médií (např. chytré telefony). Výhoda této vizualizace je možností KNX systém ovládat a monitorovat vzdáleně přes internetovou síť [31].

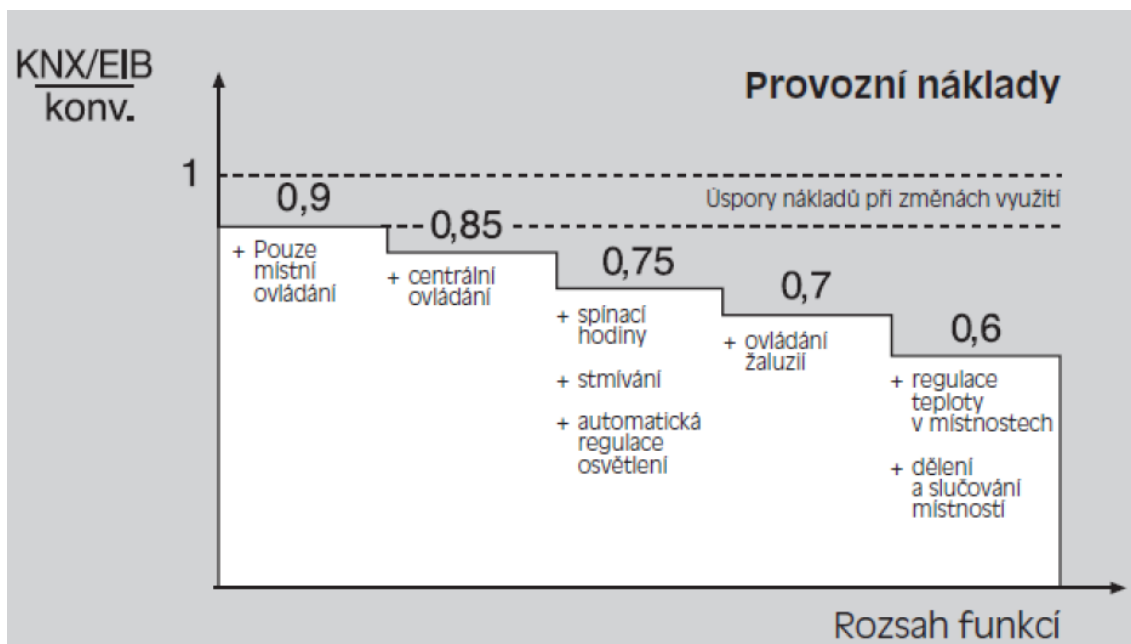


Obrázek 15 Příklad dotekové obrazovky [31]

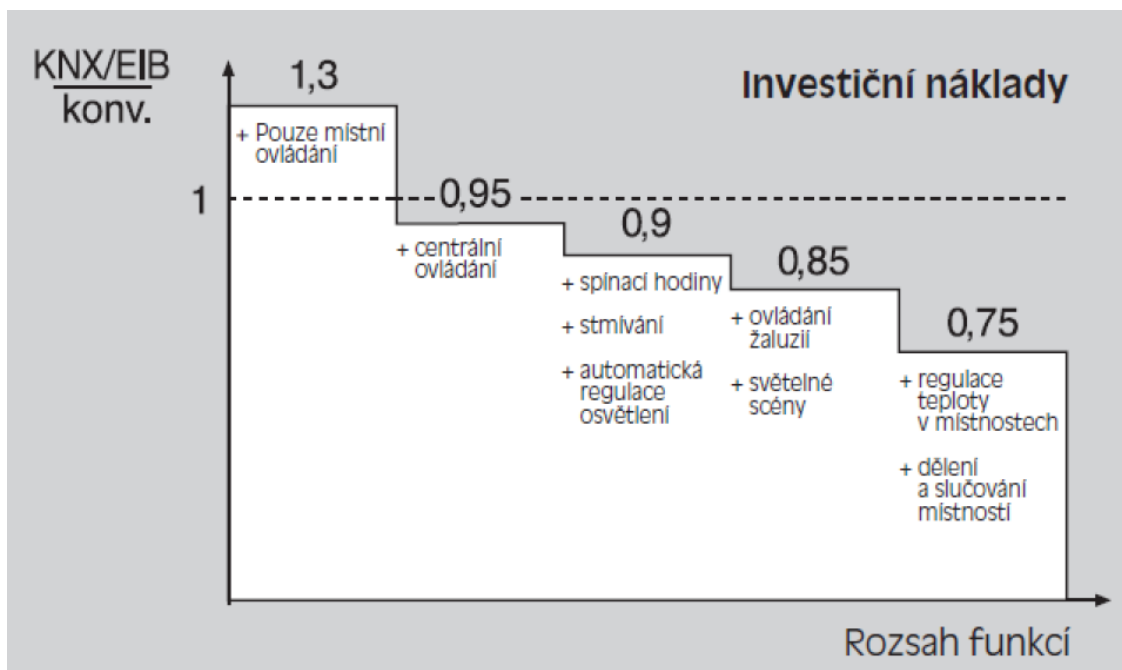
### 7.5.7. Auditová využitelnost

Pro naše použití v rámci energetického auditu nás především zajímá ekonomická úspora při využití systému KNX a porovnání klasického řešení oproti KNX zapojení z hlediska investičních nákladů. To dobře ukazují následující obrázky.





Obrázek 16 Graf provozních nákladů [30]



Obrázek 17 Graf investičních nákladů [30]

Z nich jasně vidíme, že při využití KNX systému z hlediska provozních nákladů dosahujeme úspory i při jednoduchých instalacích a čím více funkcí do KNX systému vložíme, tím menší provozní náklady budou. V našem případě využití v praktické části, kde máme aplikované automatickou regulaci osvětlení a ovládání venkovních žaluzií, bychom se měli dostat na cca

sedm desetin provozních nákladů při využití KNX systému oproti běžnému řešení. Z hlediska investičních nákladů bychom se měli dostat na cca osmdesát pět setin provozních nákladů při využití KNX systému oproti běžnému řešení [30].

## **Praktická část**

### **8. Úvod**

Energetický audit je zpracován podle prováděcí vyhlášky č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku ve znění pozdějších předpisů za účelem jeho dobrovolného zpracování pro energetické hospodářství užívané nebo vlastněné podnikatelem, který je malým nebo středním podnikatelem.

Předmětem energetického auditu je návrh a posouzení energeticky úsporných opatření na stavebních konstrukcích a vnitřních energetických systémech.

Pro zpracování předkládané zprávy o energetickém auditu byly využity následující podklady:

- Projektová dokumentace – Dokumentace skutečného provedení stavby
  - Stavební část projektu
  - Zdravotní technika
  - Ústřední vytápění
  - Slaboproud a silnoproud
  - Vzduchotechnika
  - Statika
  
- Stavebně technický průzkum vč. fotodokumentace a nafocení stavu termokamerou, stav únor 2021
- Záznam roční spotřeby elektrické energie za poslední tři roky, tedy roky 2018 - 2020
- Faktury k platbám za spotřebu elektrické energie a plynu za poslední tři roky, tedy roky 2018 – 2020
- Elektrická revize zařízení z data 20.08.2017

*Stavebně technický průzkum proběhl dne 05.02.2020*

## 9. Popis a vyhodnocení stávajícího stavu

Objekt se nachází v Praze. Jedná se o zastavěnou plochu s nádvořím.

### 9.1. Situační plán



Obrázek 18 Situační plán

### 9.2. Charakteristika provozu budovy

Kancelářské, výrobní a skladové prostory provozovny se nachází v průmyslové zóně ve východní části města. V 1. nadzemním podlaží je umístěno zázemí zaměstnanců – šatny, umývárny, WC, denní místnost a sklady, kanceláře. V 2. nadzemním podlaží jsou umístěny kanceláře pro technicko-hospodářské pracovníky se sociálním zázemím. V 3. nadzemním podlaží jsou umístěny rovněž kanceláře pro technicko-hospodářské pracovníky se sociálním zázemím. Celkem se nyní v budově nachází trvale 18 osob, s tím že 8 osob je trvale v kancelářích a zbylých 10 jsou technicko-hospodářští pracovníci, kteří využívají 1. a 2. NP i se sprchami.

Celý objekt je vytápěn na 20 °C, kromě dvou nevytápěných vstupů do budovy zpod schody. Objekt tedy v modelu zónován na vytápěnou a nevytápěnou část. Budova je v provozu přes pracovní dny od ranních hodin do večera. Na víkendy je vytápění utlumováno.

### **9.3. Charakteristika stavebních konstrukcí objektu**

Objekt tvoří písmeno “U“. Severní křídlo tvoří uliční čáru hlavní ulice. Z vedlejší ulice vytvářejí objekty malé nádvoří. Západní křídlo vytváří předěl a uzavírá areál s parkovištěm a dalšími objekty. Čelní nádvoří a areál je propojen průchodem. Severní a východní křídlo je dvoupodlažní s podkrovním zastřešeným sedlovými střechami, resp. valbovými střechami.

#### **9.3.1. Základy**

Pro stavební pozemek není k dispozici geologický průzkum. Podle místního šetření bylo zjištěno, že základová zemina odpovídá třídě F4 – pevná konzistence. Objekt je založen na pasech z prostého betonu (C20/25). Sloupy jsou založeny na železobetonových patkách. Základy jsou v místech dilatačních spár odděleny vložením polystyrenových desek do spáry.

#### **9.3.2. Nosné svislé konstrukce**

Objekt je zděný ze zdiva POROTHERM, obvodové zdivo je z PROTHERMu 44P+D, nosné vnitřní stěny z POROTHERMu 30 P+D. Zdivo je zděno na MVC 5. Nosnému systému vypomáhají ocelové sloupy D = 140 mm, tloušťka stěny 14 mm a D = 194 mm, tloušťka stěny 8 mm. Stěny jsou vyžděny na izolovaný základ. Izolace je vedena 300 mm nad úroveň terénu. Ocelové sloupy jsou po celém obvodu přivařeny na plech a plech kotven pomocí ocelových kotev k základu skrz izolaci.

#### **9.3.3. Vodorovné konstrukce**

Stropy jsou železobetonové, prováděné technologií filigránových sloupů. Systém je doplněn o železobetonové monolitické průvlaky. Ztužení objektu zajišťují železobetonové věnce. Věnce jsou kryté tepelnou izolací a věncovkami POROTHERM. Jednotlivá křídla mají z důvodu rozdílného rozpětí odlišné tloušťky stropů (severní 200 mm, východní 250 mm, jižní 200 mm). V dilatačních spárách nejsou tropy propojeny (vlození polystyrenu mezi konstrukce). Prostupy větší jak 150 x 150 jsou již ve filigránových deskách.

#### **9.3.4. Schodiště**

Venkovní schodiště jsou železobetonová monolitická, jednoramenná a jsou uložena na stěnách zádveří a na základu. Základ je odizolovaný proti zemní vlhkosti.

#### **9.3.5. Krov, komín**

Provozní budova je zastřešena sedlovými střechami.

##### Severní křídlo

Hlavními nosnými prvky jsou krokve, pozednice a vrcholová příhradová vaznice. Pozednice je z rostlého dřeva průřezu 180x180 mm. Pozednice je kotvena páskovou ocelí do železobetonového stropu. Vrcholová vaznice je posazena na příčné stěny a je kotvena pomocí úhelníků k předem vybetonovaným věncům. Vaznice je sbíjena z fošen. Je vyrobena ve dvou kusech a v místě uložení jsou tyto dva kusy smontovány montážním stykem. Vaznice je sbíjená z fošen třídy SA. Krokve osedlávají vaznici a pozednici. Mezi krokve jsou provedeny výměny pro vikýře. Výměny jsou z rostlého dřeva. Výměny jsou kotveny na styčnickové plechy do dlouhých krokví. Krátké krokve vedené do výměn jsou z rostlého dřeva. Tyto krokve jsou v místě vrcholové vaznice podepřeny, aby horní plochy prvků byly ve stejné rovině jako horní plochy dlouhých krokví. Podklad tvoří nabitá prkna (fošny) na horní pás vaznice.

Ztužení celého krovu zajišťují kleštiny a ztužující fošny sbité k sobě. Fošny jsou přibité ke kleštinám v místě napojení na krokve. Fošny tvoří kříže, a proto jsou přibíjené zespoda i ze shora fošen. V místě štítů a příčné zdi jsou fošny kotveny k železobetonovému věnci.

Vikýře mají též dřevěnou konstrukci. Hlavními nosnými prvky jsou sloupky kotvené pomocí plechů do lepených krokví, či do pozednice. Sloupky jsou z rostlého dřeva. Na sloupky jsou přibité pozednice a ztužení mezi sloupky zajišťují diagonálně vložená prkna. Plášť je z dřevoštěpkových desek, které též vyztužují stěny vikýře. Pozednici osedlávají krokve z rostlého dřeva. Ztužení střešní roviny vikýře ještě zajišťují prkna a kleštiny.

##### Příhradová vaznice

Příhradová vaznice je sbíjená z fošen. Horní i dolní pás jsou průřezu 180 x 180 mm (3 x 60 x 180 mm), sloupky a diagonály 100 x 100 mm (sbíjené z fošen). Vrcholová vaznice je uložena 320 mm ve štítových stěnách. Přes příčnou stěnu prochází. Uložení je po celé délce na pryžové

podložce tloušťky 10 mm. Kotvena je, přes ocelové úhelníky, svorníky skrz dolní pás a na hmoždinku, či pomocí ocelových kotev do železobetonového věnce. Ve všech stěnách je obezděna a mezery mezi vazníkem a zdívkem jsou vyplněny minerální vatou. Krokve jsou uloženy tak, aby v místě uložení byl sloupek vrcholové vaznice. Pouze nejbližší krokve u vnitřní příčné zdi (v místě vnitřní podpory vaznice) není nad sloupkem.

### Východní křídlo

Hlavními nosnými prvky jsou opět krokve, pozednice a vrcholová vaznice. Vrcholová vaznice probíhá pouze částečně a je z rostlého dřeva. Jelikož střešní rovinou probíhá dilatační spára, je této vaznici, která přes tuto spáru prochází umožněn posun ve směru osy vaznice v uložení na příčné stěně v severním křídle. Vaznice je uložena na příčných stěnách na pryžové podložce tloušťky 5 mm a kotvena ocelovými úhelníky do železobetonového věnce. Vaznici osedlávají krokve. Pozednice je stejná jako u severního křídla, pouze v místě věžičky je změněný průřez.

Ztužení je zajištěno prkny v podélném směru a kleštinami v příčném směru.

Konstrukce věžičky je též dřevěná. Mezi krokvemi je provedena výměna z lepeného dřeva. Na této výměně stojí sloupky, mezi kterými je provedeno diagonální ztužení. Ve výšce, kde prochází vrcholová vaznice jsou sloupky spojené s vaznicí fošnami, které jsou pohledové a tudíž opracované. Opláštění věžičky je provedeno z dřevoštěpkových desek, které také ztuží plášť věžičky. Na sloupcích je posazena pozednice, na kterou jsou kotveny krokve věžičky. Do výměny jsou také kotveny krokve z lepeného dřeva průřezu.

V místech, kde neprobíhá vrcholová vaznice jsou krokve osedlány pouze na pozednici a ve vrcholu jsou krokve spojeny na ostřih. Ztužení v podélném směru zajišťují prkna a v příčném směru kleštiny.

Vikýř ve východním křídle je proveden ze stejných prvků jako vikýře v severním křídle.

Prvky, které jsou z rostlého dřeva byly před uložením opatřeny impregnací proti degradaci.

### Jižní křídlo

Jižní křídlo má stejné stavební provedení až na rozdíl, že krokve jsou v místě vrcholu spojené na ostřih v místě okapu jsou uloženy na pozednicích. Ty jsou kotveny do železobetonových sloupků ocelovými kotvami na hmoždinku.

### Komín

Komín je vyzděn z komínových tvarovek Schiedel (D - 200 mm) na betonový základ. Do tvarovek je vložena vložka a je obložena tepelnou izolací. V první tvarovce u podlahy jsou osazena dvířka. Zde je vložka ukončena nádobou na odvod kondenzátu. Kouřovod je napojen ve výšce 2,7 m nad úrovní nuly. Na půdě je provedena čistící tvarovka. Komín je omítnut vápenocementovou omítkou bílé barvy. Komín je kryt plechovou krytkou (všechny prvky výrobky f. Schiedel).

### **9.3.6. Krytina střechy**

Krytina střechy je z betonových tašek Bramac (Moravská, hnědá). K opláštění jsou použity doplňky systému Bramac (větrací tvarovky, větrací mřížky, tvarovky pro vyvedení ventilace a kanalizace, lemování Wakaflex, difúzní fólie Tyvek).

### Věžička

Část střechy u věžičky je prosklena izolačním dvojsklem 6-12-6. Skla se jsou pokládána na lepené krokve přes pryžové profily a jsou překryty lištami přes pryžové profily. Sklo je v místě styku s obvodovým pláštěm přerušeno a překryto lištou přes pryžový profil. Skla jsou ukončena v místě okapu pryžovým profilem. Dotěsnění lišt je provedeno z trvale pružného tmelu (pro venkovní prostředí). Napojení na stěny věžičky a na taškovou krytinu je oplechováno měděným plechem. Střecha věžičky je z polykarbonátových desek tloušťky 10 mm. Špička bude oplechována měděným plechem. V místě okapu je provedena měděná okapnice a polykarbonát je ukončen ukončovacím pryžovým profilem.



### **9.3.7. Příčky**

Příčky jsou vyzdívané z porobetonových tvarovek HEBEL P2-500. Na tenkovrstvou maltu HEBEL. V 1. nadzemním podlaží jsou příčky tloušťky 75 ,100 ,150 mm. Kotelna je oddělena příčkami tloušťky 150 mm. Toalety v severním křídle jsou vyzděny z příček tloušťky 75 mm, ostatní příčky jsou tloušťky 100 mm, Ve 2. a 3.NP jsou vyzděny příčky tloušťky 100 mm a 125 mm. Příčky 125 mm jsou vyzděny mezi kanceláři.

### **9.3.8. Úpravy povrchů – stěny**

Vnitřní omítky jsou vápenocementové (bílá vápenná malba) tam, kde se omítal POROTHERM. Příčkové zdivo je omítnuto tenkovrstvou omítkou (určené k omítání tvarovek HEBEL), Ve sprchách kotelně a sociálních zařízení jsou provedeny z keramických obkladů do tmelu. Pro vedení instalací (vodovod, kanalizace) jsou provedeny v sociálních místnostech instalační sokly GEBERIT (sokly budou obloženy ker. obklady stejně jako stěny).

### **9.3.9. Úpravy povrchů – podlahy, strop**

V podlahách v přízemí je vložena tepelná izolace KRASTEN-tloušťky 35 mm. Na ní je cementový potěr (izolaci chrání lepenka A330H). Na potěrech jsou provedeny povrchové úpravy (dlažby, PVC, nátěry). Ve sprchách jsou podlahy vypsádované k podlahovým vpustím. V kotelně je také podlaha vypsádována k podlahové vpusti, navíc je zde vytvořen vyvýšený základ (z potěru) pro plynový kotel a pro teplotní zásobník.

V podlahách ve 2. a 3. nadzemním podlaží je vložena izolace proti kročejovému hluku (ORSIL T tloušťky 20 – 25 mm). Na ní je cementový potěr (izolaci bude chránit lepenka A330H). Na potěrech jsou provedeny povrchové úpravy (dlažby, PVC, laminátové podlahy). Podhledy stropů jsou hladké díky technologii prefabrikovaných filigránových desek, a tudíž jsou opatřeny pouze malbou. V místech kde jsou montovány podhledy se plochy omítaly.

### **9.3.10. Podhledy**

Podhledy kromě podkroví (sádkartonové) jsou v 1.NP severním křídle. Podhledy jsou zavěšeny v roštu a ten na táhlech ukotvených v železobetonových deskách na hmoždinku. Rastr

podhledu je 600 x 600 mm. Pohledy jsou ukončovány na svislých konstrukcích ukončovacími profily systému.

### **9.3.11. Výplně otvorů**

#### Okna

Okna jsou plastová (tříkomorové plastové profily TROCAL). Zasklena jsou izolačními dvojskly. Na severní a východní straně je zasklení třídy TZI II, ostatní okna jsou zasklena skly TZI I. V přízemí jsou skla matná, v 2. a 3. nadzemním podlaží jsou skla čirá.

Ve střeše jsou osazena kyvná střešní okna VELUX (s ventilačními klapkami GGL 55 x 78). Okno je zaskleno sklem 3-9-3.

#### Dveře

Druh dveří je závislý na účelu prostoru, kde se dveře nachází. Vchodové dveře jsou částečně nebo úplně prosklené plastové s těsněním u prahu, samozavíratelné, uzamykatelné s koulí. V 1. nadzemním podlaží jsou plné dveře do ocelových zárubní.

Na každé chráněné únikové cestě jsou osazeny protipožární dveře.

#### Vrata

Vrata do skladů jsou dvoukřídlá, plastová (kazetová), s těsněním u prahu do ocelových zárubní. Vrata mají bezpečnostní zámek.

### **9.3.12. Tepelné izolace**

Mezi krokvemi je provedeno zateplení minerální izolací ORSIL E tloušťky 160 mm – provedeno více vrstvách (120 mm mezi krokve, 40 mm pod krokve mezi rošt). Pod izolací je provedena parozábrana a sádrokartonový podhled RIGIPS (rošt z latí) s požárně odolnými deskami RF 20.

Strop nad průjezdem, pod zasedací místností je zateplen deskami z minerální vaty ORSIL tloušťky 120 mm.

Do podlah v přízemí (1.NP) je vložen KRASTEN 35 mm (Extrudovaný polystyren).

### 9.3.13. Izolace proti vlhkosti

Hydroizolace proti zemní vlhkosti (BITALBIT – modifikované asfaltové pásy tloušťky 3,5 mm) je natavena na podkladní desku tloušťky 100 mm jednovrstvě s přesahy 150 mm. Na svislých obvodových stěnách je hydroizolace vyvedena nejméně 300 mm nad terén. Před natavováním byl proveden impregnační asfaltový lak (PARAMO-PENETRAL ALP)

### 9.3.14. Fasáda

Fasáda má vápenocementové jádro. Povrch je proveden v světle zelené barvě. Okolo oken je proveden rámeček tloušťky 150 mm. Nad úrovní terénu je proveden obklad soklu ze šedého pískovce. Obklad je proveden do výšky +1,6 m nad úrovní nuly. Horní hrana soklu je oplechována měděnou okapnicí. Některé části soklu jsou obloženy. Ve fasádě jsou provedeny dodatečně mřížky, které kryjí průduchy zpětné získávání tepla v šatně zaměstnanců, pro větrání kotelny a pro větrání úklidové komory.



Obrázek 19 Pohled na východní stranu objektu



Obrázek 20 Pohled ze dvora na jižní část objektu

## 10. Popis systémů TZB

### 10.1. Klimatická data

| Parametr                                   | Hodnota | Jednotka |
|--|---------|----------|
| venkovní výpočtová teplota v zimním období | -12     | °C       |
| návrhová teplota vnitřního vzduchu         | 20      | °C       |
| střední venkovní teplota v otopném období  | 4,3     | °C       |
| průměrná vnitřní teplota                   | 20      | °C       |
| délka otopného období                      | 225     | den      |
| Relativní vlhkost - vnitřní                | 45      | %        |
| Relativní vlhkost - venkovní               | 84      | %        |

Tabulka 2 Okrajové podmínky pro výpočet energetické náročnosti budovy

### 10.2. Charakteristika energetických zařízení

Zdrojem tepla pro vytápění a ohřev teplé vody je plynová teplovodní domovní kotelna instalovaná v severozápadní části budovy v 1. NP. Palivem pro kotelnu je zemní plyn. Kotelna je vybavena dvěma plynovými teplovodními litinovými kotli Hydrotherm Kalme HEK 42 a

HEK 36 se speciálním atmosférickým hořákem. Odvod spalin od kotlů je řešen samostatným komínovým průduchem  $d = 180$  mm. Kotle jsou na komín připojeny plechovým kouřovodem  $d = 180$  mm.

Kotle jsou provozně spřaženy jako jeden celek, propojení je řešeno Tichelmanovou smyčkou. Provozním médiem kotelny je teplá voda s maximální teplotou  $85^{\circ}\text{C}$ . Pojištění zdroje je řešeno pojistným ventilem na výstupu vody z kotle, s otevíracím přetlakem 250 kPa. Expanzní zařízením bude tlaková expanzní nádoba Expanzomat 110 o obsahu 100 l. Ta je umístěna na podlaze vedle kotle. Provoz kotlů je automatický, řízený regulátorem Hydrotherm Eurotron SR 3 v předem nastaveném programu. Regulátor je instalován v kotli. Regulátor současně řídí provoz topných okruhů 1. a 2. i ohřev teplé užitkové vody. Výkon zdroje je řízen řazením kotlů v kaskádě podle potřeby okamžitého výkonu buď pro vytápění, nebo pro přípravu teplé vody. V provozu vytápění jsou kotle řízeny v ekvitermním režimu podle venkovní teploty. Ohřev teplé vody je nadřazen vytápění, tedy při ohřevu teplé vody je krátkodobě vyřazeno vytápění. Sekce vytápění jsou rozděleny podle provozních podmínek. Regulace výkonu příslušné sekce v závislosti na venkovní teplotě a nastaveném časovém programu. Topné okruhy jsou napojeny přímo na kotle. Každá sekce je vybavena oběhovým čerpadlem Grufos. V okruhu 1 – je osazen typ UPS 25-40, v okruhu 2 je osazen typ UPS 32-55. Provoz čerpadel je opět řízen regulátorem SR 3. Vnitřní prostory jsou vytápěny na vnitřní teplotu  $20^{\circ}\text{C}$ .



Obrázek 21 Plynové teplovodní litinové kotle Hydrotherm

### **10.3. Rozvody a regulace energie**

Vytápění objektu je ústřední, teplovodní, nízkotlaké s tepelným spádem 85/55 °C a nuceným oběhem vody. Rozvod systému je dvoutrubkový v klasickém zapojení.

Otopná tělesa jsou zpravidla ocelová desková tělesa KORADO typu Radik – Klasik v jednoduchém a dvojitém provedení s přídatnou plochou ve stavební výšce 500 mm a 900 mm. Všechna tělesa Korado – Radik jsou na přívodu vybaveny radiátorovými ventily TA Termorett ve standardním provedení ke konečné regulaci teploty v místnostech. Na zpátečce jsou všechna tělesa vybavena uzavíratelným radiátorovým šroubením s vypouštěním typu Giacomini R 714A a R 715A. Tato šroubení slouží pouze k odstavení těles a vypouštění, proto jsou namontována s plně otevřeným průtočným profilem (bez škrčení). Odvětrávání těles je provedeno prvky z příslušenství těles.

Rozvod topného systému je dvoutrubkový v klasickém zapojení.

Systém je rozdělen podle provozních podmínek na dvě sekce:

1. Sekce severní
2. Sekce jižní

Hlavní rozvod obou sekcí je veden pod stropem suterénu, rozvody v nadzemních podlažích jsou uloženy ve zdech, eventuálně v podlaze. Ke stabilizaci tlakových podmínek termostatických ventilů jsou rozvody osazeny vyvažovacími a přepouštěcími armaturami TA – STAD a TA-BPV. Tyto armatury zajišťují hydronické vyvážení potrubní sítě za všech provozních stavů.

### **10.4. Příprava teplé vody**

Ohřev teplé vody je zajištěn dvěma zdroji – v severním křídle domu, kde se nachází sprchy, šatny a kanceláře je zajištěn nepřímotopným zásobníkovým ohříváčem Hydrotherm HAN – 601 o objemu 735 l. Při špičkovém oběhu se teplá voda ohřívá průtočným způsobem s využitím plného výkonu kotle. Sekce ohřevu teplé vody je napojena přímo na kotlový okruh před podávacím čerpadlem. Oběhové čerpadlo tohoto okruhu je Grundfos UPS 32-55, řízené rovněž regulátorem SR 3. Regulace ohřevu je automatická na konstantní teplotu maximálně 55 °C. provoz tepelného zdroje je automatický, bezobslužný s občasným dozorem.

V jižním křídle domu, kde na nachází dílna a kanceláře, je teplá voda zajišťována elektrickým akumulacním ohříváčem Dražice EKCE 50 a objemu 51 l. Ohřev v něm zajišťuje keramické



topné těleso ovládané termostatem a jištěné bezpečnostním termostatem. Tepelný rozsah ohříváče je 5-74°C. Výkon topného tělesa je 2 kW.



Obrázek 22 Plynové zásobníkový ohříváč Hydrotherm HAN – 601



Obrázek 23 Elektrický akumulční ohříváč Dražice EKCE 50

### Průměrná denní a roční spotřeba TV

|   |              |                     |
|---|--------------|---------------------|
| <b>Počet provozních dní</b>                                     | 251          | dny                 |
| <b>Předpokládaná denní spotřeba teplé vody</b>                  | 753          | litry/den           |
| <b>Předpokládaná roční spotřeba teplé vody</b>                  | 189          | m <sup>3</sup> /rok |
| <b>Roční potřeba tepla na přípravu TV</b>                       | 35,55        | GJ/rok              |
| <b>Ztráty v zásobníku a v rozvodech TV (příp. cirkulaci)</b>    | 12,28        | GJ/rok              |
| <b>Roční potřeba tepla na přípravu TV vč. ztrát v rozvodech</b> | 47,83        | GJ/rok              |
| <b>Účinnost výroby teplé vody</b>                               | 69,3         | %                   |
| <b>Roční spotřeba energie na přípravu TV</b>                    | <b>51,32</b> | <b>GJ/rok</b>       |

Tabulka 3 Průměrná roční spotřeba energie na přípravu TV

## 10.5. Chlazení

Chlazení je zajišťováno pouze v servrovně objektu, která se nachází v severní části domu. Zdrojem chladu je jedna venkovní split jednotka LG. Venkovní jednotka je umístěna na fasádě na severní části objektu směrem do dvora objektu.



Obrázek 24 Venkovní split jednotka LG

## 10.6. Vzduchotechnika

V objektu je instalována vzduchotechnika se zpětným získáváním tepla. Vzduchotechnika však není v provozu a nevyužívá se. Veškeré prostory jsou tedy brány jako přirozeně větrané.

Celkem je v objektu pět vzduchotechnických zařízení:

- zař. č. 1 – větrání šaten
- zař. č. 2 – větrání umývárny
- zař. č. 3 – odsávání WC (centrální)
- zař. č. 4 – odvětrávání čajových kuchyněk
- zař. č. 5 – odsávání úklidových komor a WC

Prostor šaten je větrán nuceným větráním vzduchovým zařízením s přívodem upravovaného vzduchu a odvodem vzduchu. Je zde využíváno zpětné získávání tepla. Větrací jednotka je umístěna pod stropem šatny (v podhledu). Jednotka je vybavena filtrem (EU 4), zpětným získáváním tepla s by-passem a pro režim zátopy a extrémní zimní teploty i elektrickým ohříváčem. Provoz jednotky je řízen systémem automatické regulace. Venkovní vzduch je nasáván z boční fasády přes podtlakovou žaluzii. Výfuk vzduchu na boční fasádě přes



přetlakovou žaluzii. Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu zařízením je 1 200 m<sup>3</sup>/h. Elektrický příkon zařízení činí 0,3 kW.

Umývárna, k umývárna, která je vybavena sprchami a umyvadly je vzhledem ke své velikosti větrána nuceným přívodem a odvodem vzduchu. Je navržena jednotka se zpětným získáváním tepla a s elektrickým ohříváčem. Jednotka i přívodní a odvodní potrubí jsou zavěšeny pod stropem (prostor je bez podhledu). Provoz zařízení je přerušovaný, řízený automatickou regulací, ovládán místně u vstupních dveří. Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu zařízením je 2 000 m<sup>3</sup>/h. Elektrický příkon zařízení činí 0,65 kW.

Centrální záchody jsou odsávány pomocí střešního ventilátoru a odsávacího potrubí s vyústkami. Odsávací potrubí je vedeno šachtou nad střechu objektu. Náhrada odsátého vzduchu je uvažována přísáváním z chodby (podtlakové větrání). Chod zařízení je předpokládán trvalý po dobu provozu a ovládání od je vstupních dveří. Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu zařízením je 550 m<sup>3</sup>/h. Elektrický příkon zařízení činí 0,065 kW.

V objektu jsou dvě čajové kuchyňky. Kuchyňka ve 2. NP je nad varnou plochou vybavena kuchyňským odsavačem par s recirkulací, kuchyňka v 1. NP je vybavena odsavačem s odvodem vzduchu z okolních prostorů (okno, chodba). Odsavač je vybaven uhlíkovým filtrem. Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu zařízením je 2x230 m<sup>3</sup>/h. Elektrický příkon zařízení činí 2x100 kW.

Úklidové komory jsou odsávány pomocí malých axiálních ventilátorů a společného odsávacího potrubí, které je vyvedeno nad střechu objektu a ukončeno výfukovou hlavicí. Celkové množství přiváděného a odváděného vzduchu zařízením je 5x50 m<sup>3</sup>/h. Elektrický příkon zařízení činí 5x13 kW.

## **10.7. Osvětlení**

Hlavní prostory v budově jsou osvětlovány převážně za pomoci zářivkových svítidel. Venkovní prostory jsou za tmy osvětleny výbojkovými svítidly. Spínání osvětlení je ruční pomocí spínačů na stěnách. Osvětlení v jednotlivých místnostech si uživatelé nastavují sami podle potřeby. Regulace na základě intenzity denního osvětlení instalována není.

## 10.8. Vlastní zdroje energie

V následujících tabulkách je shrnuta roční bilance jednotlivých plynových spotřebičů podílejících se na pokrytí tepelné ztráty budovy. Jedná se celkově o dva plynové kotle Hydrotherm Kalme HEK 42 a HEK 36 o jmenovitých výkonech 42 kW a 36 kW.

Následující tabulka shrnuje bilanci výroby tepla z vlastního zdroje – plynových kotlů Hydrotherm:

| ř. | Název ukazatele                           | Jednotka | HEK 42 | HEK 36 |
|----|---|----------|--------|--------|
| 1  | Roční celková účinnost zdroje             | (%)      | 93,5   | 93,4   |
| 2  | Roční účinnost výroby elektrické energie  | (%)      | -      | -      |
| 3  | Roční účinnost výroby tepla               | (%)      | 73,2   | 68,4   |
| 4  | Spotřeba en. v palivu na výrobu elektřiny | (GJ/MWh) | -      |        |
| 5  | Spotřeba energie v palivu na výrobu tepla | (GJ)     | 765,72 |        |
| 6  | Roční využití instalovaného el. výkonu    | (hod)    | -      |        |
| 7  | Roční využití instalovaného výkonu        | (hod)    | 2 117  |        |

Tabulka 4 Základní technické ukazatele vlastního zdroje energie – plynové kotle Hydrotherm

| ř. | Název ukazatele  | Jednotka | Hodnota |
|----|--|----------|---------|
| 1  | Instalovaný elektrický výkon celkem                        | (MW)     | -       |
| 2  | Instalovaný tepelný výkon celkem                           | (MW)     | 0,078   |
| 3  | Výroba elektřiny   | (MWh)    | -       |
| 4  | Prodej elektřiny   | (MWh)    | -       |
| 5  | Vlastní technologická spotřeba elektřiny na výrobu energie | (MWh)    | -       |
| 6  | Spotřeba energie v palivu na výrobu elektřiny              | (GJ/r)   | -       |
| 7  | Výroba tepla   | (GJ/r)   | 594,32  |
| 8  | Dodávka tepla  | (GJ/r)   | -       |

|           |  |        |        |
|-----------|--|--------|--------|
| <b>9</b>  | Prodej tepla   | (GJ/r) | -      |
| <b>10</b> | Vlastní technologická spotřeba tepla na výrobu tepla | (GJ/r) | -      |
| <b>11</b> | Spotřeba energie v palivu na výrobu tepla            | (GJ/r) | 765,72 |
| <b>12</b> | Spotřeba energie v palivu celkem                     | (GJ/r) | 765,72 |

Tabulka 5 Roční bilance výroby tepla z vlastního zdroje energie v roce 2020

## 10.9. Významné spotřebiče energie

### 10.9.1. Elektrické spotřebiče

#### Osvětlení

- Výbojkové svítidlo 200 W v počtu 2 ks
- Svítidlo 60 W v počtu 4 ks
- Zářivková svítidla 2x36 W v počtu 72 ks
- Zářivková svítidla 1x36 W v počtu 83 ks

Celkový příkon osvětlení je cca 8 kW.

#### Ostatní spotřebiče

- Ostatní elektrické spotřebiče
  - kancelářské vybavení – počítače, tiskárny, ...
  - vybavení místností zázemí – rychlovarná konvice, lednice, ...
  - Stroje v dílně

Celkový příkon ostatních spotřebičů je cca 51,9 kW.

Celkový instalovaný elektrický příkon je 58,1 kW.

## 11. Údaje o energetických vstupech

Objekt je zásobován elektrickou energií a zemním plynem. Spotřeba energie je měřena pro celý objekt společně.

Elektrická energie je dodávána od distributora E-on. Fakturace je prováděna ročně. V posledním zúčtovacím období byla cena za vysoký tarif 2,79 Kč/kWh a za nízký tarif 2,45 Kč/kWh bez DPH.

Zemní plyn je dodáván od distributora Pražská plynárenská. Pro přepočítání z m<sup>3</sup> bylo v posledním zúčtovacím období používáno spalné teplo 10,6542 J/m<sup>3</sup>.

V energetickém auditu je hodnocena celková spotřeba všech energií vstupujících do objektu, proto je v následujících tabulkách uváděna i energie spotřebovaná při technologických procesech.

| Pro rok 2018                                   |          |          |                        |                   |                    |                                 |
|--|----------|----------|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| Vstupy paliv a energie                         | Jednotka | Množství | Výhřevnost GJ/jednotku | Přepočítání na GJ | Přepočítání na MWh | Roční náklady v tis. Kč bez DPH |
| Elektrina                                      | MWh      | 70,473   | 3,60                   | 253,701           | 70,473             | 229,910                         |
| Zemní plyn                                     | MWh      | 213,374  | 3,60                   | 768,146           | 213,374            | 194,654                         |
| <b>Celkem vstupy paliv a energie</b>           |          |          |                        | <b>1021,848</b>   | <b>283,847</b>     | <b>424,564</b>                  |
| <b>Změna stavu zásob paliv (inventarizace)</b> |          |          |                        |                   |                    |                                 |
| <b>Celkem spotřeba paliv a energie</b>         |          |          |                        |                   | <b>283,847</b>     | <b>424,564</b>                  |

Tabulka 6 Energetické vstupy za rok 2018

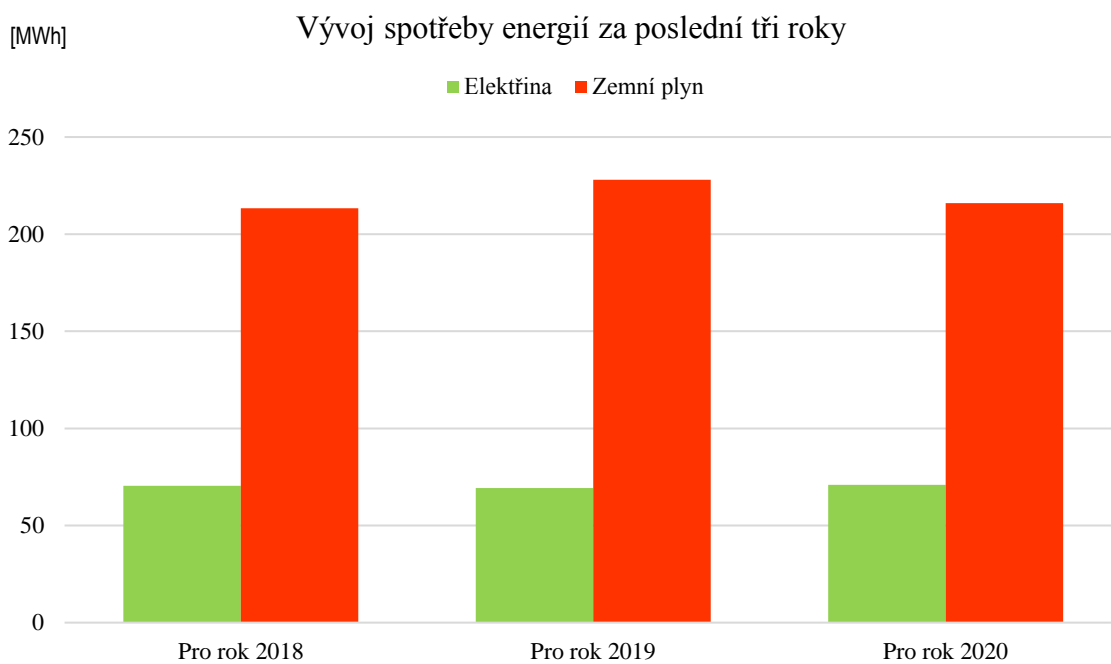
| Pro rok 2019                                   |          |          |                        |                   |                    |                                 |
|--|----------|----------|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| Vstupy paliv a energie                         | Jednotka | Množství | Výhřevnost GJ/jednotku | Přepočítání na GJ | Přepočítání na MWh | Roční náklady v tis. Kč bez DPH |
| Elektrina                                      | MWh      | 69,248   | 3,60                   | 249,291           | 69,248             | 247,344                         |
| Zemní plyn                                     | MWh      | 227,971  | 3,60                   | 820,696           | 227,971            | 214,268                         |
| <b>Celkem vstupy paliv a energie</b>           |          |          |                        | <b>1069,987</b>   | <b>297,219</b>     | <b>461,612</b>                  |
| <b>Změna stavu zásob paliv (inventarizace)</b> |          |          |                        |                   |                    |                                 |

|  |                |                |
|--|----------------|----------------|
| <b>Celkem spotřeba paliv a energie</b> | <b>297,219</b> | <b>461,612</b> |
|--|----------------|----------------|

Tabulka 7 Energetické vstupy za rok 2019

| <b>Pro rok 2020</b>                            |                 |                 |                               |                       |                        |  |
|--|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|--|
| <b>Vstupy paliv a energie</b>                  | <b>Jednotka</b> | <b>Množství</b> | <b>Výhřevnost GJ/jednotku</b> | <b>Přepočet na GJ</b> | <b>Přepočet na MWh</b> | <b>Roční náklady v tis. Kč bez DPH</b> |
| <b>Elektřina</b>                               | MWh             | 70,981          | 3,60                          | 255,532               | 70,981                 | 247,268                                |
| <b>Zemní plyn</b>                              | MWh             | 215,972         | 3,60                          | 777,499               | 215,972                | 203,820                                |
| <b>Celkem vstupy paliv a energie</b>           |                 |                 |                               | <b>1033,032</b>       | <b>286,953</b>         | <b>451,088</b>                         |
| <b>Změna stavu zásob paliv (inventarizace)</b> |                 |                 |                               |                       |                        |  |
| <b>Celkem spotřeba paliv a energie</b>         |                 |                 |                               |                       | <b>286,953</b>         | <b>451,088</b>                         |

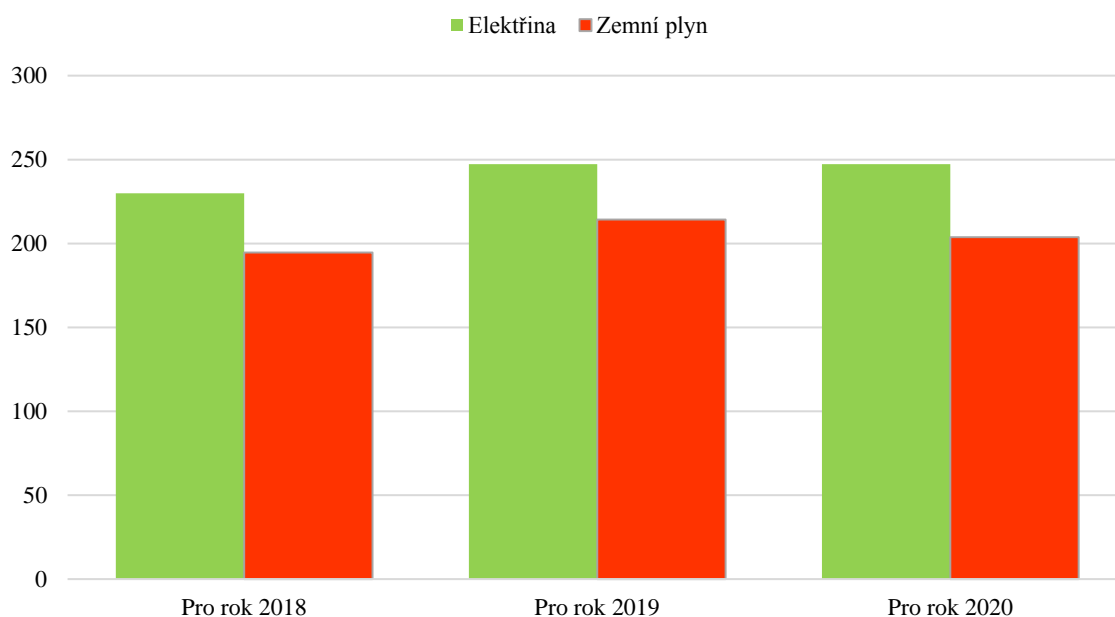
Tabulka 8 Energetické vstupy za rok 2020



Graf 1 Vývoj spotřeby energií za poslední tři roky

[tis. Kč]

## Vývoj nákladů na energie za poslední tři roky



Graf 2 Vývoj nákladů na energie za poslední tři roky

Z předchozích grafů můžeme vyčíst, že odběr energií je stabilní a můžeme z toho odvodit stabilní provoz budovy za poslední tři roky. Náklady na elektrickou energii se za poslední dva roky mírně zvedly, což je zapříčiněno zvednutím sazby.

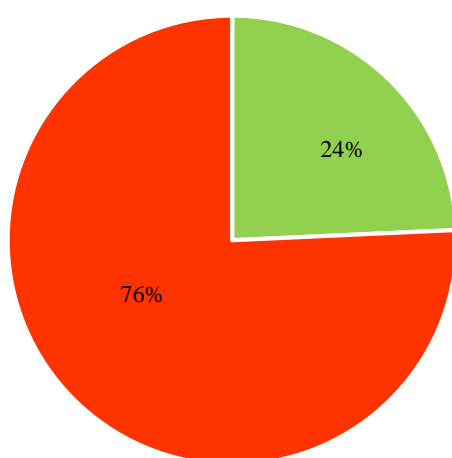
| Průměr za poslední tři roky                    |          |          |                        |                 |                 |                                 |
|--|----------|----------|------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| Vstupy paliv a energie                         | Jednotka | Množství | Výhřevnost GJ/jednotku | Přepočet na GJ  | Přepočet na MWh | Roční náklady v tis. Kč bez DPH |
| Elektřina                                      | MWh      | 70,234   | 3,600                  | 252,842         | 70,234          | 241,507                         |
| Zemní plyn                                     | MWh      | 219,106  | 3,600                  | 788,780         | 219,106         | 204,247                         |
| <b>Celkem vstupy paliv a energie</b>           |          |          |                        | <b>1041,622</b> | <b>289,339</b>  | <b>445,754</b>                  |
| <b>Změna stavu zásob paliv (inventarizace)</b> |          |          |                        |                 |                 |                                 |
| <b>Celkem spotřeba paliv a energie</b>         |          |          |                        |                 | <b>289,339</b>  | <b>445,754</b>                  |

Tabulka 9 Průměr energetických vstupů (2018-2020)

Z předchozích tabulek přepočtem zjistíme, že celková měrná cena zemního plynu (vztažená na 1 kWh spotřebovaného zemního plynu za rok) činila v roce 2018 v průměru přibližně 0,91

Kč/kWh bez DPH. V nadcházejícím roce 2019 byla cena zemního plynu cca 0,94 Kč/kWh bez DPH a v roce 2020 přibližně 0,94 Kč/kWh. Celková měrná cena elektrické energie v roce 2018 činila v průměru 3,26 Kč/kWh bez DPH. V roce 2019 se průměrně pohybovala měrná cena elektřiny na cca 3,57 Kč/kWh bez DPH a v roce 2020 cca 3,48 Kč/kWh.

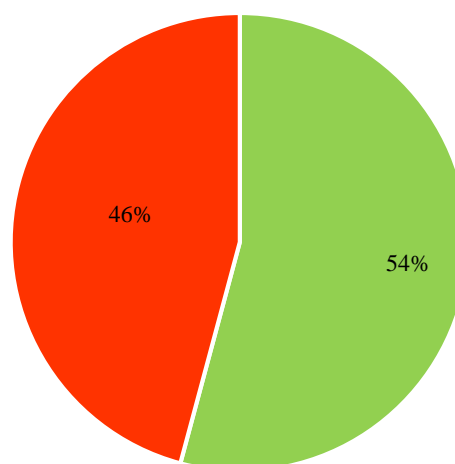
Rozdělení spotřeby energií podle energonositelů



■ Elektřina ■ Zemní plyn

Graf 3 Rozložení spotřeby podle energonositelů

Rozdělení nákladů podle energonositelů ve stávajícím stavu



■ Elektřina ■ Zemní plyn

Graf 4 Rozložení nákladů podle energonositelů

## 12. Vyhodnocení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí

V následující tabulce jsou uvedeny základní geometrické parametry objektu a celkové plochy ochlazovaných konstrukcí na systémové hranici obálky budovy.

| Technické parametry   | Hodnota  | m. j.          |
|---|----------|----------------|
| <b>zastavěná plocha</b>                                     | 422,12   | m <sup>2</sup> |
| <b>světlá výška podlaží</b>                                 | 2,7      | m              |
| <b>konstrukční výška podlaží</b>                            | 3,45     | m              |
| <b>obestavěný prostor zóny</b>                              | 4 323    | m <sup>3</sup> |
| <b>vnitřní podlahová plocha (z celk. vnitřních rozměrů)</b> | 1 290,44 | m <sup>2</sup> |
| <b>energeticky vztažná plocha</b>                           | 2 260,13 | m <sup>2</sup> |
| <b>plocha obvodových stěn</b>                               | 1 031,97 | m <sup>2</sup> |
| <b>plocha střešní konstrukce</b>                            | 594,83   | m <sup>2</sup> |
| <b>plocha výplní otvorů</b>                                 | 116,48   | m <sup>2</sup> |
| <b>plocha podlah na zemině</b>                              | 395,22   | m <sup>2</sup> |
| <b>plocha konstrukcí k nevytápěným prostorům</b>            | 34,02    | m <sup>2</sup> |

Tabulka 10 Základní technické parametry budovy

| Parametr   | Hodnota | jednotka |
|--|---------|----------|
| <b>venkovní výpočtová teplota v zimním období</b>        | -12     | °C       |
| <b>návrhová teplota vnitřního vzduchu</b>                | 20      | °C       |
| <b>střední venkovní teplota v otopném období</b>         | 4,3     | °C       |
| <b>délka otopného období (<math>t_{em}=13</math> °C)</b> | 225     | den      |

Tabulka 11 Okrajové podmínky pro výpočet energetické náročnosti budov

Ve výpočtu uvažované součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí a hodnoty požadované normou ČSN 73 0540-2 z roku 2011 uvádí následující přehled. Pro porovnání jsou uvedeny jak hodnoty normou požadované, které je nutné splnit při rekonstrukci příslušné části budovy, tak i doporučené.

| Konstrukce           | Stávající hodnota     | Požadovaná hodnota    | Doporučená hodnota    | Stav       |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
|                      | U                     | U <sub>N</sub>        | U <sub>rec</sub>      |            |
|                      | W/(m <sup>2</sup> ·K) | W/(m <sup>2</sup> ·K) | W/(m <sup>2</sup> ·K) |            |
| Obvodová stěna „S1a“ | 0,499                 | 0,30                  | 0,25                  | nevyhovuje |
| Obvodová stěna „S4a“ | 0,401                 | 0,30                  | 0,25                  | nevyhovuje |
| Obvodová stěna „S2a“ | 0,499                 | 0,60                  | 0,40                  | vyhovuje   |



|                             |       |      |      |            |
|-----------------------------|-------|------|------|------------|
| Střecha "R1a"               | 0,438 | 0,24 | 0,16 | nevyhovuje |
| Střecha "R2a"               | 0,892 | 0,24 | 0,16 | nevyhovuje |
| Podlaha na zemině "P2a"     | 0,821 | 0,45 | 0,30 | nevyhovuje |
| Podlaha nad průchodem "P1a" | 0,307 | 0,60 | 0,40 | vyhovuje   |
| Okna Sever                  | 1,50  | 1,5  | 1,2  | vyhovuje   |
| Okna Východ                 | 1,50  | 1,5  | 1,2  | vyhovuje   |
| Okna Jih                    | 1,50  | 1,5  | 1,2  | vyhovuje   |
| Okna Západ                  | 1,50  | 1,5  | 1,2  | vyhovuje   |
| Dveře                       | 2,50  | 1,7  | 1,2  | nevyhovuje |
| Dveře - vrata               | 4,00  | 1,7  | 1,2  | nevyhovuje |

Tabulka 12 Součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí budovy a požadavky normy

U většiny konstrukcí jsou součinitele prostupu tepla obvodových konstrukcí z pohledu dnešních požadavků na výstavbu a tepelnou ochranu budov nevyhovující, tyto konstrukce nesplňují požadavky na součinitele prostupu tepla uvedené v normě ČSN 73 0540-2:2011, které musejí být splněny u všech novostaveb a změn dokončených staveb podle rozsahu. Součinitele prostupu tepla odpovídají době výstavby objektu, z dnešního pohledu jsou ale nevyhovující.

| Průměrný součinitel prostupu tepla   | m. j.             | Výpočet                   | Hodnota |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|---------|
| objemový faktor tvaru budovy         | $m^2/m^3$         | A/V                       | 0,53    |
| měrná ztráta prostupem tepla $H_T$   | W/K               | $A_i \cdot U_i \cdot B_i$ | 1 389,4 |
| vypočtená hodnota $U_{em}$           | $W/(m^2 \cdot K)$ | $H_T / A$                 | 0,62    |
| požadovaná hodnota $U_{em,R}$        | $W/(m^2 \cdot K)$ | ČSN 73 0540-2             | 0,36    |
| doporučená hodnota $U_{em,rc}$       | $W/(m^2 \cdot K)$ | $0,75 \cdot U_{em,N}$     | 0,27    |
| hodnota pro stavební fond $U_{em,s}$ | $W/(m^2 \cdot K)$ | $U_{em,N} + 0,60$         | 0,96    |

Tabulka 13 Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy

| Klasifikační třídy | Průměrný součinitel prostupu tepla budovy $U_{em}$ ( $W/(m^2 \cdot K)$ ) | Slovní vyjádření klasifikační třídy | Klasifikační ukazatel CI |
|--------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|
| A                  | $U_{em} \leq 0,7 \cdot U_{em,R}$   | velmi úsporná                       | 0,7                      |
| B                  | $0,7 \cdot U_{em,R} < U_{em} \leq 0,9 \cdot U_{em,R}$                    | úsporná                             | 0,9                      |
| C                  | $0,9 \cdot U_{em,R} < U_{em} \leq 1,2 \cdot U_{em,R}$                    | vyhovující                          | 1,2                      |
| D                  | $1,2 \cdot U_{em,R} < U_{em} \leq 1,7 \cdot U_{em,R}$                    | nevyhovující                        | 1,7                      |
| E                  | $1,7 \cdot U_{em,R} < U_{em} \leq 2,3 \cdot U_{em,R}$                    | <b>nehospodárná</b>                 | <b>2,3</b>               |
| F                  | $2,3 \cdot U_{em,R} < U_{em} \leq 2,9 \cdot U_{em,R}$                    | velmi nehospodárná                  | 2,9                      |
| G                  | $U_{em} > 2,9 \cdot U_{em,R}$  | mimořádně nehospodárná              | -                        |

Tabulka 14 Klasifikační třídy prostupu tepla obálkou hodnocené budovy

Z předchozích tabulek a výpočtů je patrné, že ve stávajícím stavu budova nesplňuje požadavek ( $U_{em} \leq U_{em,N}$ ) normy na průměrný součinitel prostupu tepla pro novostavby a změny

dokončených staveb. Budova spadá do klasifikační třídy E, a je tudíž z hlediska prostupu tepla obálkou budovy „nehospodárná“.

Výpočet energetické náročnosti byl proveden podle technických norem ČSN 73 0331-1, ČSN EN 73 0540, ČSN EN 15316, ČSN EN 15251, ČSN EN 15217, ČSN EN 15603 a vyhlášky č. 264/2020 Sb.

### 13. Vyhodnocení úrovně systému hospodaření energií

V budově je zacházeno s energiemi šetrně, odpovědné osoby jsou si vědomy správného fungování energetických systémů a jejich příslušenství. Měření spotřeby energie je společně pro celý objekt. Předpokládaný vývoj cen energií a cenových tarifů je sledován.

### 14. Celková energetická bilance

Následující tabulka informuje o energetické bilanci vztaženou pro celý objekt.

| ř. | Ukazatel  | Energie |        | Náklady   |
|----|---|---------|--------|-----------|
|    |   | (GJ)    | (MWh)  | (tis. Kč) |
| 1  | Vstupy paliv a energie                                | 857,59  | 238,22 | 240,8     |
| 2  | Změna zásob paliv                                     | 0,00    | 0,00   | 0,0       |
| 3  | Spotřeba paliv a energie (ř.1 + ř.2)                  | 857,59  | 238,22 | 240,8     |
| 4  | Prodej energie cizím                                  | 0,00    | 0,00   | 0,0       |
| 5  | Konečná spotřeba paliv a energie (ř.3 - ř.4)          | 857,59  | 238,22 | 240,8     |
| 6  | Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie (z ř.5) | 170,18  | 47,27  | 44,1      |
| 7  | Spotřeba energie na vytápění (z ř.5)                  | 590,07  | 163,91 | 152,8     |
| 8  | Spotřeba energie na chlazení (z ř.5)                  | 4,28    | 1,19   | 4,1       |
| 9  | Spotřeba energie na přípravu teplé vody (z ř.5)       | 51,30   | 14,25  | 0,0       |
| 10 | Spotřeba energie na větrání (z ř.5)                   | 0,00    | 0,00   | 0,0       |
| 11 | Spotřeba energie na úpravu vlhkosti (z ř.5)           | 0,00    | 0,00   | 0,0       |
| 12 | Spotřeba energie na osvětlení (z ř.5)                 | 41,22   | 11,45  | 39,4      |

|    |   |      |      |     |
|----|---|------|------|-----|
| 13 | Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy (z ř.5) | 0,54 | 0,15 | 0,5 |
| 14 | Spotřeba PHM (z ř.5)  | 0,00 | 0,00 | 0,0 |

Tabulka 15 Výchozí vypočtená roční energetická bilance stávajícího stavu

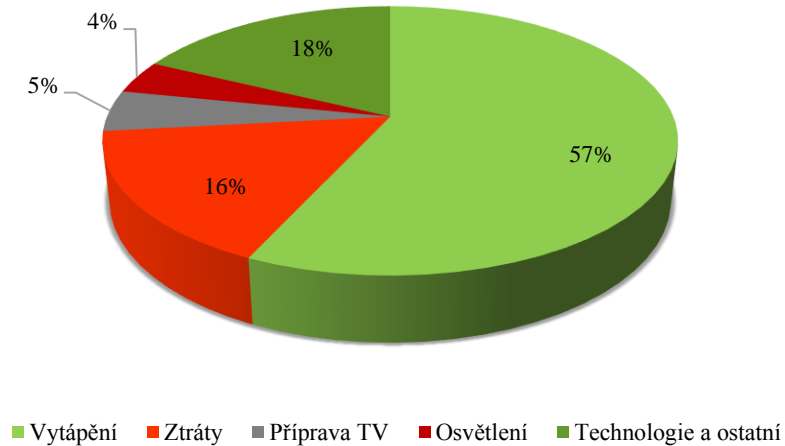
Pro výpočet úspor energií je použita upravená energetická bilance objektu, která byla vypočtena podle vyhlášky 264/2020 Sb. a platných norem TNI. Vypočtená bilance paliva je vyšší z důvodu standardizovaného profilu budovy, který počítá s normovými parametry provozu zón. Výpočet úspory energie vycházející ze zemního plynu bude proto násoben koeficientem  $K_T = 219,106/219,16 \text{ MWh} = \mathbf{0,9998}$ .

V případě spotřeby elektrické energie je problém opačný. Velký díl elektrické energie spotřebují technologické procesy. Jejich spotřeba není stálá, proto jsou z energetické bilance vyčleněny. Koeficient spotřeby elektřiny je uvažován  $K_E = \mathbf{1,0}$  a přebývající elektřina je přisouzena technologickým a ostatním procesům.

| ř. | Ukazatel  | Energie  |        | Náklady   |
|----|---|----------|--------|-----------|
|    |   | (GJ)     | (MWh)  | (tis. Kč) |
| 1  | Vstupy paliv a energie                                      | 1 041,62 | 289,34 | 445,8     |
| 2  | Změna zásob paliv   | 0,00     | 0,00   | 0,0       |
| 3  | Spotřeba paliv a energie (ř.1 + ř.2)                        | 1 041,62 | 289,34 | 445,8     |
| 4  | Prodej energie cizím  | 0,00     | 0,00   | 0,0       |
| 5  | Konečná spotřeba paliv a energie (ř.3 - ř.4)                | 1 041,62 | 289,34 | 445,8     |
| 6  | Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie (z ř.5)       | 170,13   | 47,26  | 44,1      |
| 7  | Spotřeba energie na vytápění (z ř.5)                        | 589,93   | 163,87 | 152,8     |
| 8  | Spotřeba energie na chlazení (z ř.5)                        | 4,28     | 1,19   | 4,1       |
| 9  | Spotřeba energie na přípravu teplé vody (z ř.5)             | 51,29    | 14,25  | 29,0      |
| 10 | Spotřeba energie na větrání (z ř.5)                         | 0,00     | 0,00   | 0,0       |
| 11 | Spotřeba energie na úpravu vlhkosti (z ř.5)                 | 0,00     | 0,00   | 0,0       |
| 12 | Spotřeba energie na osvětlení (z ř.5)                       | 41,22    | 11,45  | 39,4      |
| 13 | Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy (z ř.5) | 184,77   | 51,32  | 176,5     |
| 14 | Spotřeba PHM (z ř.5)  | 0,00     | 0,00   | 0,0       |

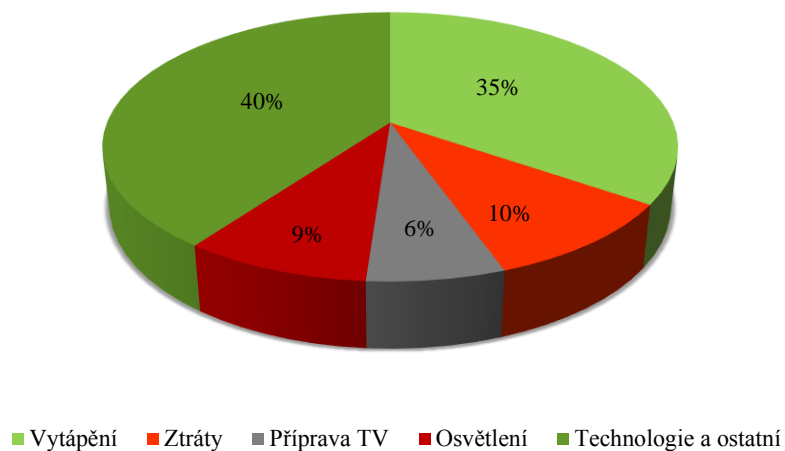
Tabulka 16 Výchozí roční energetická bilance (z faktur)

## Rozložení spotřeby energie podle využití



Graf 5 Rozložení energií podle druhu spotřeby

## Rozložení spotřeby energie podle využití



Graf 6 Rozložení nákladů za energie stávající stav

## 15. Návrh opatření ke snížení spotřeby energie

### 15.1. Opatření A – Výměna výplní otvorů

Stávající výplně otvorů objektu nespĺňují požadavky normy ČSN 73 0540-2 (2011). Z tohoto důvodu je navržena kompletní výměna výplní otvorů. Budova nemá památkovou ochranu, ani historicky cennou fasádu, proto budou opatření plnit požadavky podle vyhlášky 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov § 6 odst. 2 písm. c).

## Okna

Stávající okna budovy budou nahrazena novými plastovými okny s tepelně izolačními trojskly splňující hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_w = 0,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

## Dveře

Stávající dveře budovy budou nahrazeny novými plastovými dveřmi splňující hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Vrata budovy budou nahrazena sekčními vraty splňující hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

| Součinitelé prostupu tepla konstrukcí v navrhovaném stavu |                       |                       |                       |                         |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Konstrukce  | Navrhovaná hodnota    | Požadovaná hodnota    | Doporučená hodnota    | splňuje<br>ČSN 730540-2 |
|   | U                     | $U_N$                 | $U_{rec}$             |                         |
|   | W/(m <sup>2</sup> ·K) | W/(m <sup>2</sup> ·K) | W/(m <sup>2</sup> ·K) |                         |
| Okna „OJ1“  | 0,90                  | 1,5                   | 1,2                   | ANO                     |
| Okna „OZ1“  | 0,90                  | 1,5                   | 1,2                   | ANO                     |
| Okna „OV1“  | 0,90                  | 1,5                   | 1,2                   | ANO                     |
| Okna „OS1“  | 0,90                  | 1,5                   | 1,2                   | ANO                     |
| Dveře „D1a“   | 1,20                  | 1,5                   | 1,2                   | ANO                     |
| Dveře – vrata „D2a“                                       | 1,50                  | 1,7                   | 1,2                   | ANO                     |

Tabulka 17 Přehled součinitelů prostupu tepla navrhovaných konstrukcí a požadavky normy

Součinitel prostupu tepla měněných stavebních prvků obálky splňuje hodnoty dle ČSN 730540-2 (2011).

| Konstrukce | Plocha<br>[m <sup>2</sup> ] | Měrné<br>investiční<br>náklady<br>[Kč/m <sup>2</sup> ] | Investiční<br>náklady<br>[tis. Kč] |
|------------|-----------------------------|--|------------------------------------|
| Okna       | 101,2                       | 7 000  | 709,0                              |

|                     |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Dveře – vrata „D2a“ | 11,14 | 9 000 | 100,3 |
| Dveře „D1a“         | 4,10  | 9 000 | 36,9  |

Tabulka 18 Přehled měrných nákladů měněných konstrukcí

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na opatření:</b> | <b>850 tis. Kč</b>      |
| <b>Úspora energie:</b>                         | <b>11,4 MWh/rok</b>     |
| <b>Úspora nákladů:</b>                         | <b>10,4 tis. Kč/rok</b> |
| <b>Prostá návratnost:</b>                      | <b>82,0 let</b>         |

## 15.2. Opatření B – Zateplení obvodových stěn

Stávající konstrukce objektu nesplňují požadavky normy ČSN 73 0540-2 (2011). Z tohoto důvodu je navrženo částečné zateplení obálky. Budova nemá památkovou ochranu, ani historicky cennou fasádu, proto budou opatření plnit požadavky podle vyhlášky 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov § 6 odst. 2 písm. c).

### 15.2.1. Zateplení obvodových stěn

- Zateplena bude celá obvodová stěna S1a. Je navrženo zateplení za pomoci pěnového EPS desek o tloušťce 150 mm. U EPS desek uvažujeme  $\lambda_{d,max} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  Celková plocha pro popsané zateplení obvodových stěn je 997,6 m<sup>2</sup> na obálce vytápěné zóny.

| Součinitelé prostupu tepla konstrukcí v navrhovaném stavu |                       |                       |                       |                         |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Konstrukce  | Navrhovaná hodnota    | Požadovaná hodnota    | Doporučená hodnota    | splňuje<br>ČSN 730540-2 |
|   | U                     | U <sub>N</sub>        | U <sub>rec</sub>      |                         |
|   | W/(m <sup>2</sup> ·K) | W/(m <sup>2</sup> ·K) | W/(m <sup>2</sup> ·K) |                         |
| <b>Obvodová stěna „S1a“</b>                               | 0,202                 | 0,30                  | 0,25                  | ANO                     |

Tabulka 19 Přehled měněných konstrukcí

Součinitel prostupu tepla měněných stavebních prvků obálky splňuje hodnoty dle ČSN 730540-2 (2011).

| Konstrukce           | Plocha<br>[m <sup>2</sup> ] | Měrné<br>investiční<br>náklady<br>[Kč/m <sup>2</sup> ] | Investiční<br>náklady<br>[tis. Kč] |
|----------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|
| Obvodová stěna „S1a“ | 997,58                      | 2 600  | 2 600                              |

Tabulka 20 Přehled měrných nákladů měněných konstrukcí

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na opatření:</b> | <b>2 600 tis. Kč</b>    |
| <b>Úspora energie:</b>                         | <b>36,7 MWh/rok</b>     |
| <b>Úspora nákladů:</b>                         | <b>33,6 tis. Kč/rok</b> |
| <b>Prostá návratnost:</b>                      | <b>78 let</b>           |

### 15.3. Opatření C – Zateplení střechy a vikýřů

Stávající konstrukce objektu nesplňují požadavky normy ČSN 73 0540-2 (2011). Z tohoto důvodu je navrženo částečné zateplení obálky. Budova nemá památkovou ochranu, ani historicky cennou fasádu, proto budou opatření plnit požadavky podle vyhlášky 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov § 6 odst. 2 písm. c).

#### 15.3.1. Zateplení střechy

- Nyní je mezi krokveami provedeno zateplení minerální izolací ORSIL E tloušťky 160 mm – provedeno více vrstvách (120 mm mezi krokve, 40 mm pod krokve mezi rošt). Pod izolacemi je provedena parozábrana a sádrokartonový podhled RIGIPS (rošt z latí) s požárně odolnými deskami RF 20.

Při kontrole objektu termokamerou byly zjištěny značné poruchy této izolace a je tedy navržena kompletní výměna izolace střechy s jejím navýšením, aby byly splněny podmínky ČSN 730540-2.

Konkrétně se bude jednat o navýšení tloušťky minerální vaty pod krokvy na tloušťku 200 mm. Budou sundány původní podhledy, kde bude následovně vytvořen nový rošt pro uchycení minerální vaty. Poté bude na vrstvu připevněna parotěsná folie zadělaná sádkartonovým podhledem. U minerální vaty uvažujeme  $\lambda_{d,max} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Celková plocha pro popsání zateplení obvodových stěn je  $584,36 \text{ m}^2$  na obálce vytápěné zóny.

### 15.3.2. Zateplení vikýřů

- Nyní jsou vikýře zatepleny minerální vatou tloušťky 100 mm s  $\lambda_{d,max} = 0,041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Pro zlepšení tepelně technických vlastností je navržena výměna izolace a navýšení její tloušťky, aby byly splněny podmínky ČSN 730540-2. Konkrétně je navrženo zvýšení tloušťky izolace na 200 mm s  $\lambda_{d,max} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .

| Součinitelé prostupu tepla konstrukcí v navrhovaném stavu |                            |   |   |                         |
|---|----------------------------|---|---|-------------------------|
| Konstrukce  | Navrhovaná hodnota         | Požadovaná hodnota                      | Doporučená hodnota                        | splňuje<br>ČSN 730540-2 |
|   | U<br>W/(m <sup>2</sup> ·K) | U <sub>N</sub><br>W/(m <sup>2</sup> ·K) | U <sub>rec</sub><br>W/(m <sup>2</sup> ·K) |                         |
| Střecha „R1a“   | 0,159                      | 0,24                                    | 0,16                                      | ANO                     |
| Stěna vikýřů „S4a“  | 0,192                      | 0,30                                    | 0,25                                      | ANO                     |

Tabulka 21 Přehled měněných konstrukcí

Součinitel prostupu tepla měněných stavebních prvků obálky splňuje hodnoty dle ČSN 730540-2 (2011).

| Konstrukce         | Plocha<br>[m <sup>2</sup> ] | Měrné investiční náklady<br>[Kč/m <sup>2</sup> ] | Investiční náklady<br>[tis. Kč] |
|--------------------|-----------------------------|--|---------------------------------|
| Střecha „R1a“      | 1 534,0                     | 2 150  | 3 299                           |
| Stěna vikýřů „S4a“ | 54,4                        | 2 600  | 142                             |

Tabulka 22 Přehled měrných nákladů měněných konstrukcí



|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na opatření:</b> | <b>3 450 tis. Kč</b>    |
| <b>Úspora energie:</b>                         | <b>22,1 MWh/rok</b>     |
| <b>Úspora nákladů:</b>                         | <b>20,2 tis. Kč/rok</b> |
| <b>Prostá návratnost:</b>                      | <b>171 let</b>          |

#### **15.4. Opatření D – Kompletní zateplení**

Stávající konstrukce objektu nesplňují požadavky normy ČSN 73 0540-2 (2011). Z tohoto důvodu je navrženo částečné zateplení obálky. Budova nemá památkovou ochranu, ani historicky cennou fasádu, proto budou opatření plnit požadavky podle vyhlášky 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov § 6 odst. 2 písm. c).

Toto opatření spojuje dohromady opatření A, B a C, kdy tím dojde ke kompletnímu zateplení obálky budovy, vyjma podlah, které již zateplené jsou a jejich stav je vyhovující.

##### **15.4.1. Zateplení obvodových stěn**

- Zateplena bude celá obvodová stěna S1a. Je navrženo zateplení za pomoci pěnového EPS desek o tloušťce 150 mm. U EPS desek uvažujeme  $\lambda_{d,max} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Celková plocha pro popsání zateplení obvodových stěn je 997,6 m<sup>2</sup> na obálce vytápěné zóny.

##### **15.4.2. Výměna výplní stavebních otvorů**

- Okna - Stávající okna budovy budou nahrazena novými plastovými okny s tepelně izolačními trojskly splňující hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_w = 0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .
- Dveře - Stávající dveře budovy budou nahrazeny novými plastovými dveřmi splňující hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Vrata budovy budou nahrazena sekčními vraty splňující hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

##### **15.4.3. Zateplení střechy**

- Nyní je mezi krokveami provedeno zateplení minerální izolací ORSIL E tloušťky 160 mm – provedeno více vrstvách (120 mm mezi krokve, 40 mm pod krokve mezi rošt). Pod izolacemi je provedena parozábrana a sádrokartonový podhled RIGIPS (rošt z latí) s požárně odolnými deskami RF 20.

Při kontrole objektu termokamerou byly zjištěny značné poruchy této izolace a je tedy navržena kompletní výměna izolace střechy s jejím navýšením, aby byly splněny podmínky ČSN 730540-2.

Konkrétně se bude jednat o navýšení tloušťky minerální vaty pod krokveři na tloušťku 200 mm. U minerální vaty uvažujeme  $\lambda_{d,max} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Celková plocha pro popsání zateplení obvodových stěn je 584,36 m<sup>2</sup> na obálce vytápěné zóny.

#### 15.4.4. Zateplení vikýřů

- Nyní jsou vikýře zatepleny minerální vatou tloušťky 100 mm s  $\lambda_{d,max} = 0,041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Pro zlepšení tepelně technických vlastností je navržena výměna izolace a navýšení její tloušťky, aby byly splněny podmínky ČSN 730540-2. Konkrétně je navrženo zvýšení tloušťky izolace na 200 mm s  $\lambda_{d,max} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .

| Součinitelé prostupu tepla konstrukcí v navrhovaném stavu |                            |   |   |                         |
|---|----------------------------|---|---|-------------------------|
| Konstrukce  | Navrhovaná hodnota         | Požadovaná hodnota                      | Doporučená hodnota                        | splňuje<br>ČSN 730540-2 |
|   | U<br>W/(m <sup>2</sup> ·K) | U <sub>N</sub><br>W/(m <sup>2</sup> ·K) | U <sub>rec</sub><br>W/(m <sup>2</sup> ·K) |                         |
| Střecha „R1a“   | 0,159                      | 0,24                                    | 0,16                                      | ANO                     |
| Obvodová stěna „S1a“                                      | 0,202                      | 0,30                                    | 0,25                                      | ANO                     |
| Okna „OJ1“  | 0,90                       | 1,5                                     | 1,2                                       | ANO                     |
| Okna „OZ1“  | 0,90                       | 1,5                                     | 1,2                                       | ANO                     |
| Okna „OV1“  | 0,90                       | 1,5                                     | 1,2                                       | ANO                     |
| Okna „OS1“  | 0,90                       | 1,5                                     | 1,2                                       | ANO                     |
| Dveře „D1a“   | 1,20                       | 1,5                                     | 1,2                                       | ANO                     |
| Dveře – vrata „D2a“                                       | 1,50                       | 1,7                                     | 1,2                                       | ANO                     |
| Stěna vikýřů „S4a“  | 0,192                      | 0,30                                    | 0,25                                      | ANO                     |

Tabulka 23 Přehled měněných konstrukcí

Součinitel prostupu tepla měněných stavebních prvků obálky splňuje hodnoty dle ČSN 730540-2 (2011).

| Konstrukce           | Plocha            | Měrné investiční náklady | Investiční náklady |
|----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|
|                      | [m <sup>2</sup> ] | [Kč/m <sup>2</sup> ]     | [tis. Kč]          |
| Střecha „R1a“        | 1 534,0           | 2 150                    | 3 299              |
| Okna                 | 101,2             | 7 000                    | 709,0              |
| Dveře – vrata „D2a“  | 11,14             | 9 000                    | 100,3              |
| Dveře „D1a“          | 4,10              | 9 000                    | 36,9               |
| Obvodová stěna „S1a“ | 997,58            | 2 600                    | 2 594              |
| Stěna vikýřů „S4a“   | 54,4              | 2 600                    | 142                |

Tabulka 24 Přehled měrných nákladů měněných konstrukcí

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na opatření:</b> | <b>6 890 tis. Kč</b>    |
| <b>Úspora energie:</b>                         | <b>70,4 MWh/rok</b>     |
| <b>Úspora nákladů:</b>                         | <b>63,9 tis. Kč/rok</b> |
| <b>Prostá návratnost:</b>                      | <b>108 let</b>          |

### 15.5. Opatření E – Instalace kogenerační jednotky

V rámci opatření by byla v objektu instalována kogenerační jednotka MICRO 7 s elektrickým výkonem 6,5 kW a tepelným výkonem 16,0 kW. Díky vysoké účinnosti a využití odpadního tepla dojde k úspoře nákladů.

| Navržená kogenerační jednotka: Micro T7 |                        |
|---|------------------------|
| Nominální elektrický výkon              | 6,5 kW                 |
| Celkový využitelný tep. výkon           | 16 kW                  |
| Spotřeba plynu                          | 2,55 m <sup>3</sup> /h |
| Počet stejných KJ                       | 1 ks                   |
| Cena kogenerační jednotky               | 647 175 Kč             |
| Technolog. vlastní spotřeba KJ          | 2 %                    |

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| Servis kogenerační jednotky   | 1,13        |
| Tepelný výkon technol. okruhu | 0 kW        |
| Uvažovaná doba provozu        | 3 000 h/rok |

| Energetická bilance           |              |
|-------------------------------|--------------|
| Výroba el. energie v KJ (sv.) | 19,5 MWh/rok |
| Výroba tepla v KJ             | 172,8 GJ/rok |

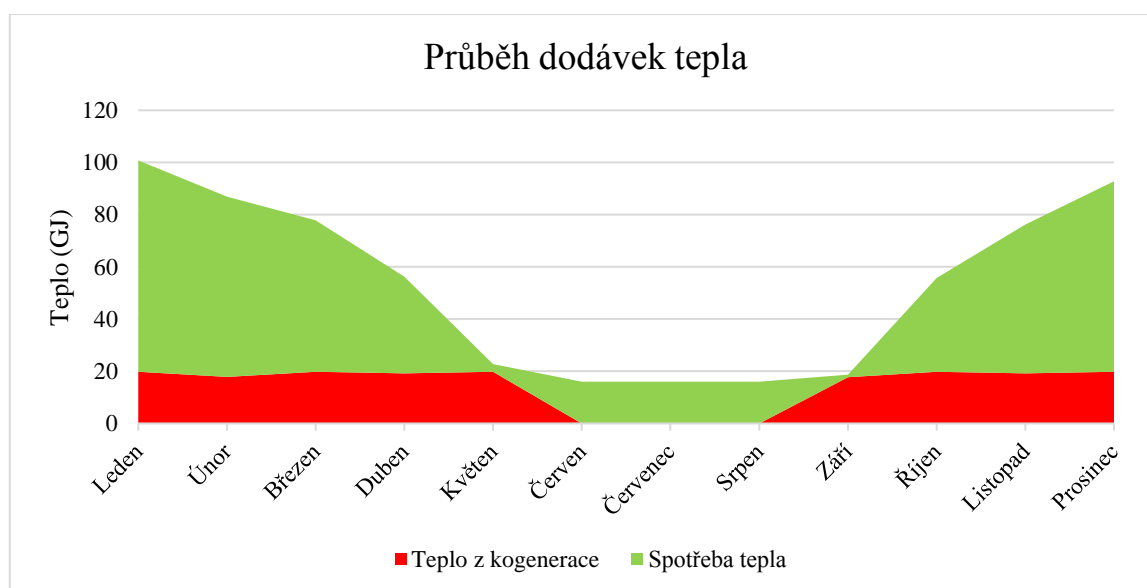
Tabulka 25 Parametry navrhované kogenerační jednotky

Instalací této jednotky by mělo dojít ke snížení spotřeby elektrické energie a to na 50,9 MWh/rok. U stávajících kotlů by mělo dojít ke snížení spotřeby plynu na 159,5 MWh/rok a pro kogeneraci bude potřeba dodat 80,6 MWh/rok.

Hlavní výhodou instalace, je zelený bonus KVE. Ve výpočtu uvažujeme roční proběh KJ 3000 hodin. Při tomto provozu dosáhnete na nejvyšší zelený bonus, který se pohybuje okolo 1,47 Kč za vyrobenou kWh.

Při těchto parametrech bychom měli dosáhnout úspory nákladů 64 225 Kč/rok + 28 685 Kč/rok za zelený bonus.

Celková úspora nákladů by měla být 92 910 Kč/rok



Graf 7 Průběh dodávek tepla

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na opatření:</b> | <b>980 tis. Kč</b>      |
| <b>Úspora energie:</b>                         | <b>-2,0 MWh/rok</b>     |
| <b>Úspora nákladů:</b>                         | <b>92,9 tis. Kč/rok</b> |
| <b>Prostá návratnost:</b>                      | <b>11 let</b>           |

Při instalaci kogenerační jednotky nedosáhneme úspory energií, ale dosáhneme úspory nákladů. To je zapříčiněno dvěma faktory, a to vyšší cenou Kč/kWh za elektrickou energii než za zemní plyn a také díky zelenému bonusu KVET, který nám přidává úsporu nákladů cca 30 tis. Kč.

### **15.6. Opatření F – Instalace fotovoltaických panelů**

Opatření navrhuje instalaci fotovoltaických panelů na jižně orientované střechy objektu. Jednalo by se celkem o 40 ks fotovoltaických panelů, o špičkovém výkonu 330 W. Celkový instalovaný výkon navrhované fotovoltaické elektrárny je 13,2 kWp. Celkový roční využitý energetický zisk fotovoltaického systému využitý pro vlastní spotřebu podniku pro krytí spotřeby elektrické energie by byl 12 430 kWh/rok a maximální možná roční produkce elektrárny by byla 12 759 kWh/rok.

V opatření se počítá s umístěním panelů na jižní i severní část budovy na jejich jižní stranu střech. Střechy samotné jsou ve sklonu, takže budou panely umístovány ve sklonu střechy, která je ve sklonu 39°.



Obrázek 25 Umístění fotovoltaických panelů

Energetická bilance elektrárny byla vypočtena podrobným hodinovým výpočtem. Do energetické bilance byly vloženy údaje o spotřebě elektrické energie pocházející z ročního výpisu spotřeb budovy přepočtené na hodinové odběry, z použití typového diagramu spotřeby TDD1.

| Měsíc           | Spotřeba elektrické energie [kWh] | Výroba elektrické energie [kWh] | Využitelná elektrická energie [kWh] |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Leden</b>    | 6 960,0                           | 478,4                           | 476,1                               |
| <b>Únor</b>     | 6 081,4                           | 757,9                           | 748,4                               |
| <b>Březen</b>   | 6 362,4                           | 1 112,4                         | 1 080,8                             |
| <b>Duben</b>    | 5 513,3                           | 1 354,7                         | 1 288,8                             |
| <b>Květen</b>   | 5 526,5                           | 1 719,2                         | 1 665,9                             |
| <b>Červen</b>   | 5 226,7                           | 1 675,8                         | 1 612,4                             |
| <b>Červenec</b> | 5 082,3                           | 1 554,9                         | 1 518,6                             |
| <b>Srpen</b>    | 5 499,8                           | 1 419,8                         | 1 402,6                             |
| <b>Září</b>     | 5 385,3                           | 1 126,4                         | 1 087,9                             |
| <b>Říjen</b>    | 6 149,1                           | 783,3                           | 776,4                               |

|                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Listopad</b> | 6 341,7         | 408,3           | 406,6           |
| <b>Prosinec</b> | 6 105,2         | 368,2           | 365,3           |
| <b>CELKEM</b>   | <b>70 233,8</b> | <b>12 759,2</b> | <b>12 429,9</b> |

Tabulka 26 Bilance FVE po měsících

Investiční náklady jsou uvažovány ve výši 25 tis. Kč/kWp, které vychází z obvyklých nákladů na výstavbu fotovoltaické elektrárny tohoto výkonu. Cena zahrnuje vlastní instalaci panelů, střídače a veškerou potřebnou kabeláž a výzbroj.

| Zóna          | Název               | ks | Investiční náklady<br>[tis. Kč] |
|---------------|---------------------|----|---------------------------------|
| Střecha „R1a“ | Solární panel 330Wp | 40 | 330                             |

Tabulka 27 Fotovoltaické panely

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na opatření:</b> | <b>330 tis. Kč</b>      |
| <b>Úspora energie:</b>                         | <b>12,4 MWh/rok</b>     |
| <b>Úspora nákladů:</b>                         | <b>42,7 tis. Kč/rok</b> |
| <b>Prostá návratnost:</b>                      | <b>8 let</b>            |

### 15.7. Opatření G – Výměna osvětlení

Snížení spotřeby elektrické energie je možné dosáhnout výměnou osvětlení. V současném stavu jsou v budově instalovány převážně původní lineární zářivky T8 o jednotkovém příkonu 36 W (1x36 nebo 2x36 W). Celkový příkon stávajícího osvětlení v těchto prostorách činí přibližně 8 kW. Výměna osvětlení by se týkala všech zářivek, výbojkových svítidel a žárovek. Místo stávajících zářivkových lineárních svítidel je vybrána adekvátní náhrada ve formě LED trubic s nižším jednotkovým příkonem 20 W v případě náhrady za 1x36 W T8 a 36 W LED za 2x36 W T8 . Výbojková svítidla budou nahrazena za úspornější LED svítidla s jednotkovým

příkonem 25 W. Žárovková svítidla budou nahrazena úspornějšími alternativami ve formě LED žárovek s příkonem 8 W. S nižšími elektrickými příkony se zároveň sníží světelný tok zdroje. Ten ovšem LED trubice vynahrazují směrovostí světelných diod a světlo tudíž svítí pouze daným (požadovaným) směrem. Nově realizované osvětlení musí být v souladu s hygienickými požadavky a musí být schváleno krajskou hygienickou stanicí.

Konkrétní podobu této úpravy by řešil až samotný podrobný projekt osvětlení. Cena investičních nákladů je hrubým odhadem.

| Pozice               | Stávající příkon<br>[W] | Navrhovaný příkon<br>[W] | Rozdíl<br>[W] |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|
| <b>Hlavní budova</b> | 8 015                   | 3 900                    | 4 115         |

Tabulka 28 Porovnání příkonů ve stávajícím a navrhovaném stavu

| Svítidlo           | Původní příkon (W) | ks | Příkon celkem (W) | Příkon s předřadníkem (W) | Příkon LED náhrady (W) | Celkem příkon LED (W) |
|--------------------|--------------------|----|-------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|
| Svítidlo zářivkové | 2x36               | 52 | 3744              | 3827,2                    | 36                     | 1872                  |
| Svítidlo zářivkové | 1x36               | 38 | 1368              | 1398,4                    | 20                     | 760                   |
| Svítidlo zářivkové | 1x36               | 8  | 288               | 294,4                     | 20                     | 160                   |
| Svítidlo zářivkové | 2x36               | 20 | 1440              | 1472                      | 36                     | 720                   |
| Svítidlo zářivkové | 1x13               | 35 | 455               | 469                       | 7,6                    | 266                   |
| Svítidlo žárovkové | 60                 | 4  | 320               | 320                       | 8                      | 32                    |
| Svítidlo výbojkové | 80                 | 2  | 160               | 160                       | 25                     | 50                    |
| Svítidlo zářivkové | 1x36               | 2  | 72                | 73,6                      | 20                     | 40                    |
| <b>Celkem</b>      |                    |    | <b>8 015</b>      |                           |                        | <b>3 900</b>          |

Tabulka 29 Výčet vyměněných svítidel



Celkový předpokládaný počet měněných světelných zdrojů je 161 ks. Jednotková cena je počítána 800 Kč/kus u lineárních zářivek, 4 000 Kč/kus u výbojkových svítidel a 100 Kč/kus u žárovkových svítidel.

K celkové sumě za osvětlení byla připočítána ještě přírážka za montáž a revizi osvětlení ve výši 1,4násobku ceny výměny osvětlení, což odpovídá již realizovaným projektům.

Výměnou osvětlení však stoupne spotřeba na vytápění díky menším tepleným ziskům oproti stávajícímu osvětlení a celková úspora se tedy nerovná úspoře na osvětlení.

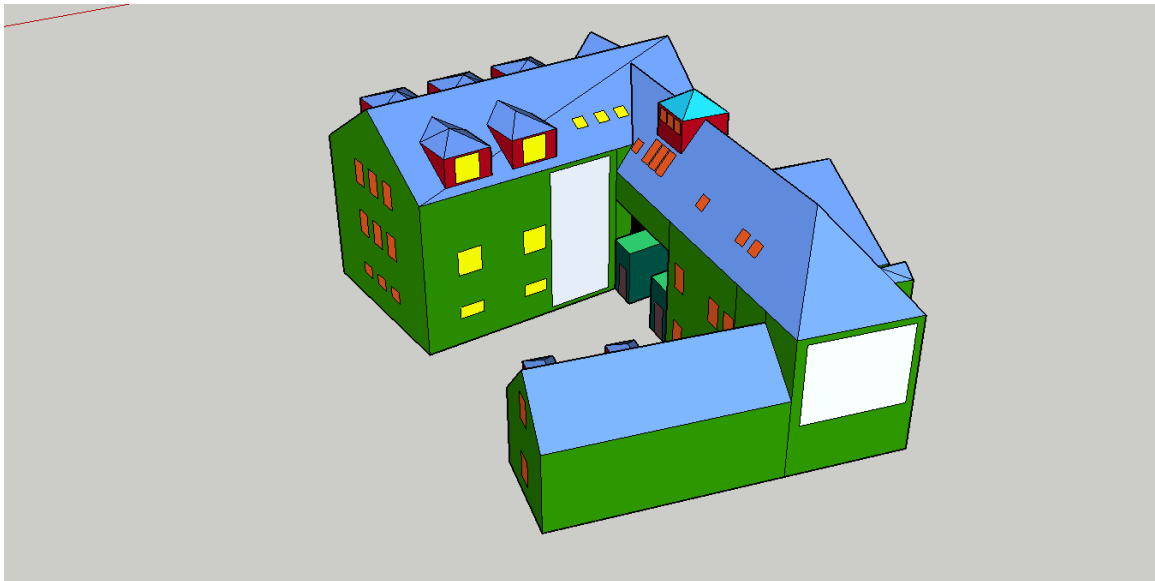
|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na opatření:</b> | <b>100 tis. Kč</b>      |
| <b>Úspora energie:</b>                         | <b>1,5 MWh/rok</b>      |
| <b>Úspora nákladů:</b>                         | <b>18,5 tis. Kč/rok</b> |
| <b>Prostá návratnost:</b>                      | <b>6 let</b>            |

### **15.8. Opatření H – Trombeho stěna**

V tomto opatření je navržena instalace Trombeho stěny na jižní fasádu domu, a to na jižní část a severní část objektu. Trombeho stěna bude ventilovaná s otvory v dolní a horní části stěny. Stěna mezi vzduchovou mezerou a interiérem bude zateplena pěnovým polystyrenem o tloušťce 150 mm. U EPS desek uvažujeme  $\lambda_{d,max} = 0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Na druhé straně směrem k exteriéru bude instalováno izolační trojsklo splňující hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_w = 0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Při instalaci se uvažuje s odstraněním dvou oken v severní části objektu.

Umístění stěn je znázorněno na následujícím obrázku z modelu domu. Trombeho stěny jsou na něm znázorněny bílou barvou.



Obrázek 26 Umístění Trombeho stěn

Stěna bude pro co nejlepší absorpci slunečního záření natřena černou barvou. Sklo bude umístěno ve vzdálenosti 100 mm. Cirkulace vzduchu bude zajištěna uzavíratelnými otvory. Pro lepší cirkulaci teplého vzduchu budou ve spodních otvorech instalovány pomocné ventilátory napojené na termostat.

|  |                        |
|--|------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na zateplení budovy:</b> | <b>610 tis. Kč</b>     |
| <b>Úspora energie:</b>                                 | <b>4,8 MWh/rok</b>     |
| <b>Úspora nákladů:</b>                                 | <b>3,9 tis. Kč/rok</b> |
| <b>Prostá návratnost:</b>                              | <b>158 let</b>         |

### **15.9. Opatření I – Instalace venkovních žaluzií a instalace osvětlení se společným inteligentním řízením**

Dojde k instalaci venkovních žaluzií osazených na východních a jižních oknech budovy. Vnější žaluzie budou ovládány motoricky. Profil lamel žaluzií se navrhuje Z90 s kovovým vodítkem a těsnící gumou pro snížení hluku a zajištění vyšší odolnosti proti větru. Celková uvažovaná plocha stínění je 39,66 m<sup>2</sup>.

Bude instalováno nové osvětlení do všech místností s možností stmívání.

Inteligentní řízení bude provedeno pomocí sběrnice systému KNX, který bude propojovat stínící funkci žaluzií a osvětlení. Na jižní a východní stranu budou instalovány senzory teploty

a na střechu bude umístěn senzor rychlosti větru. Signály z těchto systémů bude vyhodnocovat povětrnostní centrála. Dle aktuálních meteorologických podmínek bude řídit funkci žaluzií.

V místnostech budou nainstalovány senzory přítomnosti osob, které budou kontrolovat přítomnost osob v místnosti při zapnutém osvětlení a pokud nedojde ke zhasnutí světel po opuštění místnosti, tak se osvětlení samo po určitém časovém intervalu zhasne.

V místnostech, kde budou nainstalovány venkovní žaluzie, budou také instalovány senzory osvětlení. Intenzita umělého osvětlení a bude regulována na základě vyhodnocení ze senzorů osvětlení a v případě nízké intenzity denního osvětlení bude osvětlení v místnosti doplňovat vnitřní osvětlení. V případě vysoké intenzity denního osvětlení bude vnitřní osvětlení zhasnuto a vstup světla do místnosti bude regulován pomocí žaluzií, tak, aby nedocházelo k oslnění osob uvnitř místností a k přehřívání vzduchu v místnosti.

Pro inteligentní řízení byly vybrány tyto prvky:

| Typ   | ks |
|---|----|
| ABB KNX Řadová povětrnostní centrála                                      | 1  |
| ABB KNX Snímač rychlosti větru, vč. topné spirály                         | 4  |
| ABB KNX Řadový regulátor osvětlení 2násobný                               | 1  |
| ABB KNX Řadový žaluziový akční člen 8násobný, 230 V AC, manuální ovládání | 1  |
| ABB KNX Řadový žaluziový akční člen 2násobný, 230 V AC, manuální ovládání | 1  |
| ABB KNX Prvek ovládací 2- / 4násobný                                      | 9  |
| ABB KNX Snímač intenzity osvětlení  | 9  |
| ABB KNX Venkovní snímač teploty a osvětlení                               | 2  |
| ABB KNX Snímač přítomnosti Busch- Präsenz Mini KNX                        | 20 |
| ABB KNX Prvek ovládací 1- / 2násobný                                      | 11 |
| ABB KNX Stmívací akční člen 6x 315 až 1x 1 890 W/V·A                      | 3  |
| ABB Napájecí zdroj 24 V, 800 mA   | 1  |

Tabulka 30 Výčet řídicích prvků

|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Celkové investiční náklady na zateplení budovy:</b> | <b>500 tis. Kč</b>      |
| <b>Úspora energie:</b>                                 | <b>-2,2 MWh/rok</b>     |
| <b>Úspora nákladů:</b>                                 | <b>20,9 tis. Kč/rok</b> |

**Prostá návratnost:**

**24,0 let**

Instalace venkovních žaluzií není návratným opatřením z důvodu nízké spotřeby na chlazení budovy. Může však výrazně přispět k tepelné pohodě zaměstnanců. Pro tento účel byla vypracována simulace teploty v kritické místnosti objektu (2.4 - kancelář), která se nachází ve 3. NP severní části objektu a okno orientované na jih.

| Místnost | Teplota vnitřního vzduchu kritické místnosti [°C] | Nejvýše přípustná denní teplota vzduchu v místnosti v letním období dle ČSN 730540-2<br>$\theta_{ai,max,N}$ [°C] | Hodnocení |
|----------|---|--|-----------|
| 2.4      | 20  | 43,98  | Neplněno  |

Tabulka 31 Hodnoty nejvyšší denní teploty vzduchu v místnosti v letním období

Podle pracovní třídy v místnosti, což je v našem případě třída I, se může maximální teplota pohybovat max. do 27 °C. Ze simulace kritické místnosti vyšlo, že maximální teplota může dosahovat v letních měsících až 43,98 °C, což je nepřijatelné. Instalace venkovních žaluzií je tedy doporučeno.

## 16. Návrh variant souborů opatření

Navržená opatření v předchozí kapitole lze realizovat každé samostatně tak, že za dané investice přinesou vypočtenou úsporu energie. Vzhledem k tomu, že některá opatření je smysluplné realizovat současně, budou v následujícím textu sestaveny soubory opatření do jednotlivých variant a další posouzení se provede pro tyto varianty.

Varianta 1 představuje minimální základní opatření, jejichž kombinace už přináší relevantní úsporu energie i nákladů. Na splnění těchto opatření je vhodné se zaměřit jako první.

Varianta 2 zahrnuje předchozí opatření a přidává další, které představuje částečné zateplení budovy. Jeho aplikace není bezprostředně nutná a návratnost není rentabilní, ale připomíná další oblasti energetického hospodářství, ve kterých je možné dosáhnout úspor.

Varianta 3 zahrnuje využití opatření z varianty 2 a přidává instalaci kogenerační jednotky a instalaci venkovních žaluzií s napojením na inteligentní osvětlení.

| Ozn. | Popis     | Náklady na realizaci (tis. Kč) | Úspora energie (MWh/rok) | Úspora prov. nákladů (tis. Kč/rok) | Prostá návratnost (roky) |
|------|-----------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| V1   | F+G       | 430                            | 13,94                    | 61,22                              | 8                        |
| V2   | A+B+F+G   | 3 880                          | 62,04                    | 105,25                             | 37                       |
| V3   | A+B+E+F+I | 4 410                          | 44,95                    | 190,18                             | 24                       |

Tabulka 32 přehled variant včetně investičních nákladů a úspor

| ř. | Ukazatel  | Energetická bilance (MWh/rok) |        |        |        |
|----|---|-------------------------------|--------|--------|--------|
|    |   | STÁVAJÍCÍ STAV                | V1     | V2     | V3     |
| 1  | Vstupy paliv a energie                              | 289,34                        | 275,40 | 227,30 | 244,39 |
| 2  | Změna zásob paliv a energie                         | 0,00                          | 12,43  | 12,43  | 12,43  |
| 3  | Spotřeba paliv a energie                            | 289,34                        | 287,83 | 239,73 | 256,82 |
| 4  | Prodej energie cizím                                | 0,00                          | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| 5  | Konečná spotřeba paliv a energie                    | 289,34                        | 287,83 | 239,73 | 256,82 |
| 6  | Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech               | 47,26                         | 48,44  | 38,76  | 58,53  |
| 7  | Spotřeba energie na vytápění                        | 163,87                        | 167,98 | 129,25 | 148,10 |
| 8  | Spotřeba energie na chlazení                        | 1,19                          | 0,73   | 1,05   | 0,24   |
| 9  | Spotřeba energie na přípravu teplé vody             | 14,25                         | 14,25  | 14,25  | 14,25  |
| 10 | Spotřeba energie na větrání                         | 0,00                          | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| 11 | Spotřeba energie na úpravu vlhkosti                 | 0,00                          | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| 12 | Spotřeba energie na osvětlení                       | 11,45                         | 5,10   | 5,10   | 3,48   |
| 13 | Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy | 51,32                         | 51,32  | 51,32  | 32,22  |
| 14 | Spotřeba PHM  | 0,00                          | 0,00   | 0,00   | 0,00   |

Tabulka 33 Porovnání ročních energetických bilancí

| ř. | Ukazatel | Provozní náklady (tis. Kč/rok) |
|----|----------|--------------------------------|
|----|----------|--------------------------------|

|    |   | STÁVAJÍCÍ<br>STAV | V1     | V2     | V3     |
|----|---|-------------------|--------|--------|--------|
| 1  | Vstupy paliv a energie                              | 445,75            | 384,53 | 340,50 | 302,47 |
| 2  | Změna zásob paliv a energie                         | 0,00              | 42,74  | 42,74  | 42,74  |
| 3  | Spotřeba paliv a energie                            | 445,75            | 427,28 | 383,24 | 345,21 |
| 4  | Prodej energie cizím                                | 0,00              | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| 5  | Konečná spotřeba paliv a energie                    | 445,75            | 427,28 | 383,24 | 345,21 |
| 6  | Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech               | 44,05             | 45,16  | 36,13  | 54,56  |
| 7  | Spotřeba energie na vytápění                        | 152,76            | 156,59 | 120,48 | 138,06 |
| 8  | Spotřeba energie na chlazení                        | 4,09              | 2,51   | 3,61   | 0,83   |
| 9  | Spotřeba energie na přípravu teplé vody             | 29,00             | 29,00  | 29,00  | 29,00  |
| 10 | Spotřeba energie na větrání                         | 0,00              | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| 11 | Spotřeba energie na úpravu vlhkosti                 | 0,00              | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| 12 | Spotřeba energie na osvětlení                       | 39,37             | 17,54  | 17,54  | 11,97  |
| 13 | Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy | 176,48            | 176,48 | 176,48 | 110,81 |
| 14 | Spotřeba PHM  | 0,00              | 0,00   | 0,00   | 0,00   |

Tabulka 34 Porovnání ročních provozních nákladů

## 17. Ekonomické vyhodnocení navržených variant

Ekonomické vyhodnocení navrženého souboru opatření se stanoví v souladu s vyhláškou 480/2012 Sb. tyto ukazatele:

### Čistá současná hodnota (NPV):

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN \quad (\text{tis. Kč})$$

kde:

$T_z$  – doba životnosti (hodnocení) projektu

### Vnitřní výnosové procento (IRR):

Hodnota IRR se vypočte z podmínky:

$$\sum_{t=1}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IN = 0 \quad (\%)$$

Reálná doba návratnosti, doba splacení investice při uvažování diskontní sazby  $T_{sd}$  se vypočte z podmínky:

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad (\text{roky})$$

kde:

$CF_t$  – roční přínosy projektu (změna peněžních toků po realizaci projektu)

$r$  – diskont

$(1+r)^t$  – odúročitel

$IN$  – investiční výdaje projektu

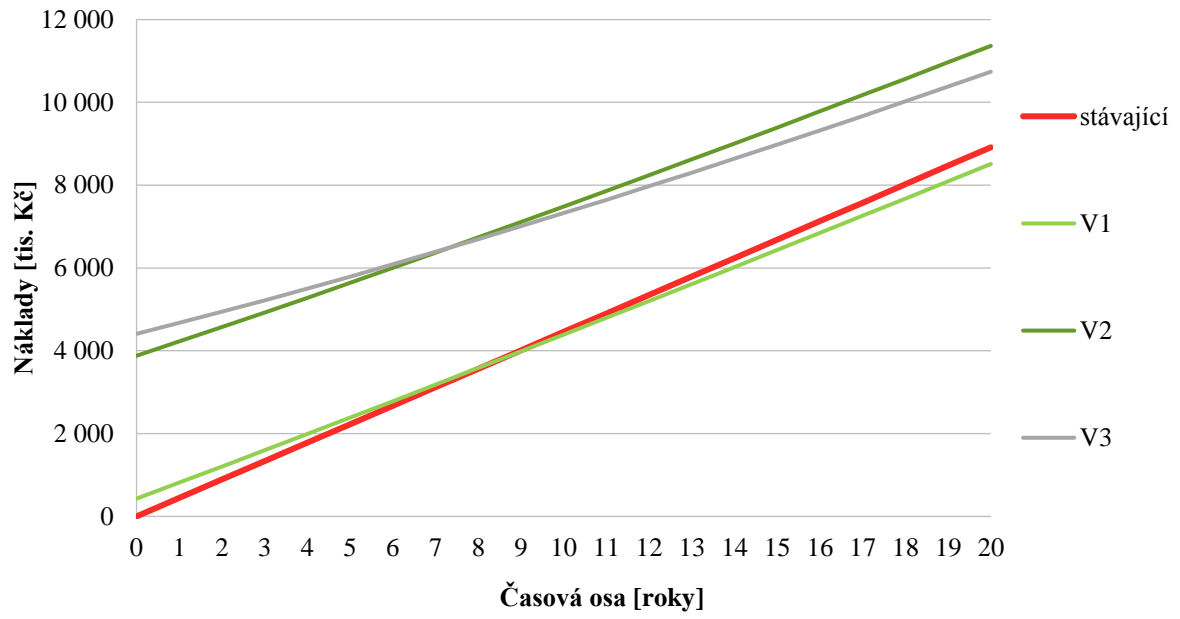
| Parametr                                    | m.j.        | V1     | V2     | V3     |
|---|-------------|--------|--------|--------|
| Náklady na technologická zařízení a stavbu  | tis. Kč     | 430    | 3 880  | 4 410  |
| Náklady na projektovou přípravu             | tis. Kč     | 0      | 0      | 0      |
| Celkové náklady bez DPH                     | tis. Kč     | 430    | 3 880  | 4 410  |
| Změna nákladů na energie v prvním roce      | tis. Kč/rok | 61     | 105    | 190    |
| Změna nákladů na energie průměrná (nárůst)  | tis. Kč/rok | 61     | 105    | 190    |
| Změna nákladů na energie průměrná (diskont) | tis. Kč/rok | 42     | 72     | 129    |
| Změna ostatních provozních nákladů          | tis. Kč/rok | 0      | 0      | 0      |
| změna osobních nákladů (mzdy pojistné)      | tis. Kč/rok | 0      | 0      | 0      |
| změna ostatních provozních nákladů          | tis. Kč/rok | 0      | 0      | 0      |
| změna nákladů na emise a odpady             | tis. Kč/rok | 0      | 0      | 0      |
| Změna tržeb                                 | tis. Kč/rok | 0      | 0      | 0      |
| Přínosy projektu celkem                     | tis. Kč     | 832    | 1 430  | 2 585  |
| Doba hodnocení                              | roky        | 20     | 20     | 20     |
| Roční růst cen energie                      | %           | 0      | 0      | 0      |
| Diskont                                     | %           | 4      | 4      | 4      |
| Ts - prostá doba návratnosti                | roky        | 7      | 37     | 23     |
| Tsd - reálná doba návratnosti               | roky        | 10     | 54     | 34     |
| NPV - čistá současná hodnota                | tis. Kč     | 402    | -2 450 | -1 825 |
| IRR - vnitřní výnosové procento             | %           | 13,0 % | -5,2 % | -1,4 % |

Tabulka 35 Výsledky ekonomického vyhodnocení

Z ekonomického hlediska je výhodnější varianta 1, která sdružuje opatření s nižší finanční náročností. Reálná doba návratnosti uvažovaných v této variantě je 10 let, vnitřní výnosové procento 13,0 %.



### Kumulované provozní náklady a vstupní investice



Graf 8 Provozní náklady po realizaci v průběhu 20 let

## 18. Ekologické vyhodnocení navržených variant

Způsob ekologického vyhodnocení je proveden metodou globálního hodnocení, které je prováděno na bázi celospolečenského pohledu. Při změně dodávek energie, která je vyráběna v jiném místě, budou do výpočtu zahrnuty emisní faktory vycházející buď z konkrétních hodnot, nebo průměrných údajů o produkovaných znečišťujících látkách.

### Výpočet emisí CO<sub>2</sub>

Emisní faktory uhlíku uvádí množství uhlíku, respektive oxidu uhličitého, připadajícího na jednotku energie ve spalovaném palivu. Emisní faktory uhlíku jsou v tomto výpočtu definovány jako všeobecné.

Elektřina 1,0116 CO<sub>2</sub>/MWh

Zemní plyn 0,19944 t CO<sub>2</sub>/MWh

### Výpočet emisí ostatních znečišťujících látek

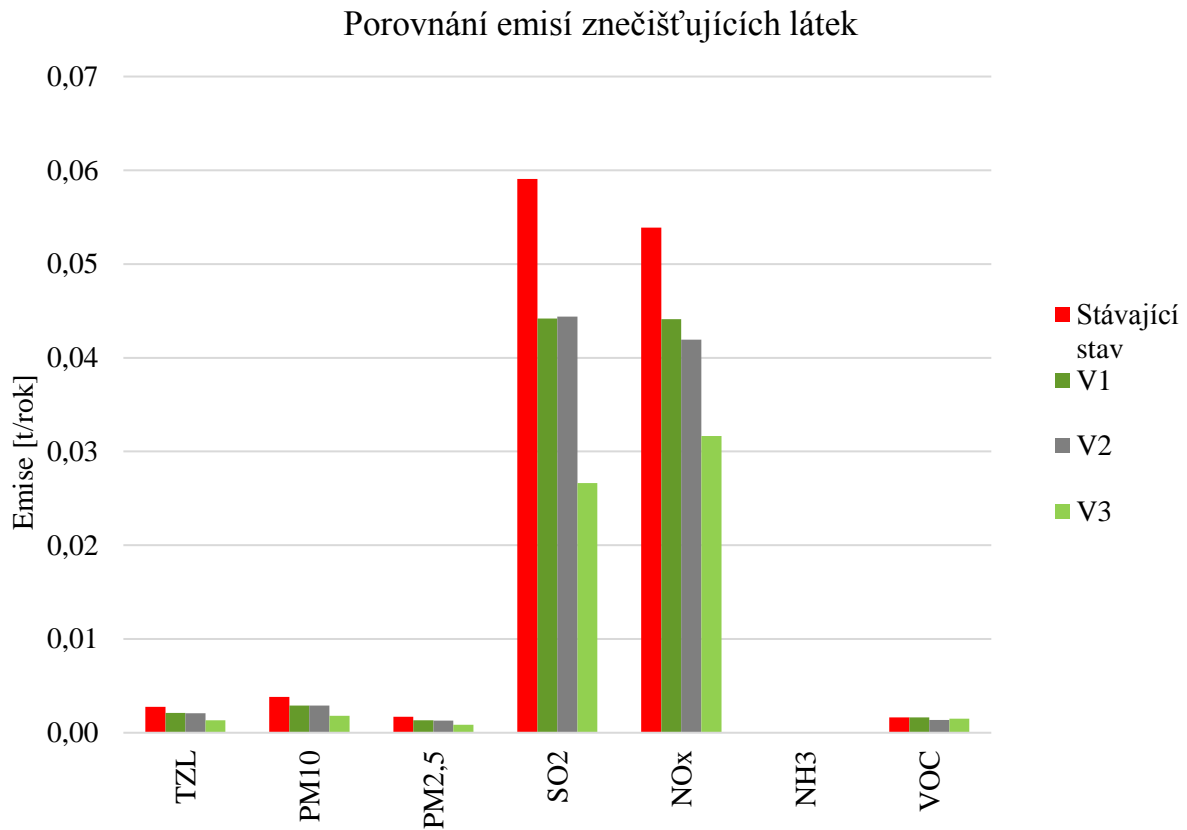
Elektřina 0,00084124 t SO<sub>2</sub>/MWh; 0,00056764 t NO<sub>x</sub>/MWh;  
0,000113 t CO/MWh; 0,0000368 t TZL/MWh

Zemní plyn 3,44086E<sup>-09</sup> t SO<sub>2</sub>/MWh; 6,39785E<sup>-05</sup> t NO<sub>x</sub>/MWh;  
0,000034 t CO/MWh; 7,41935E-07 t TZL/MWh

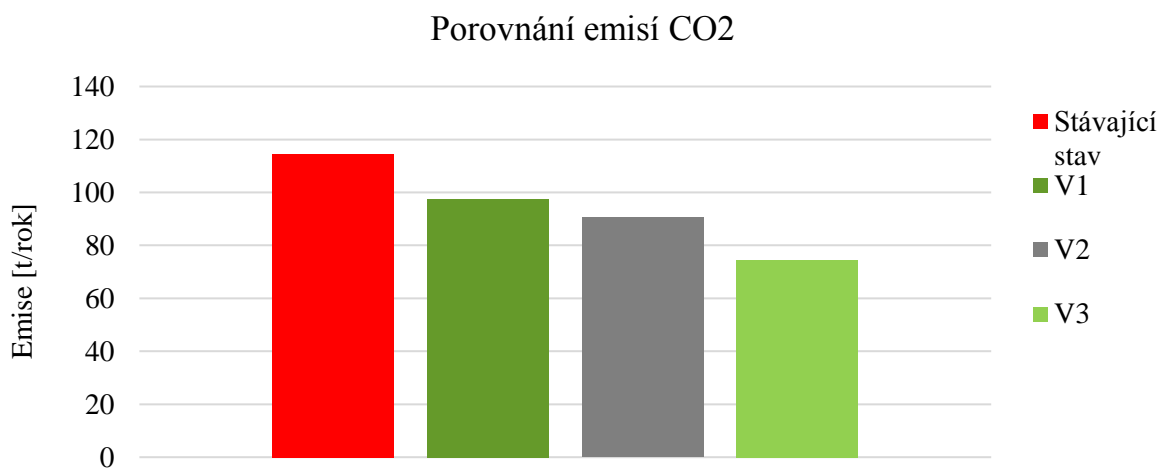
| znečišťující látka | t/rok     |        |        |        |        |        |        |
|--------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    | stávající | V1     | ST-V1  | V2     | ST-V2  | V3     | ST-V3  |
| TZL                | 0,003     | 0,002  | 0,001  | 0,002  | 0,001  | 0,001  | 0,001  |
| PM <sub>10</sub>   | 0,004     | 0,003  | 0,001  | 0,003  | 0,001  | 0,002  | 0,002  |
| PM <sub>2,5</sub>  | 0,002     | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,001  |
| SO <sub>2</sub>    | 0,059     | 0,043  | 0,016  | 0,043  | 0,016  | 0,025  | 0,034  |
| NO <sub>x</sub>    | 0,054     | 0,043  | 0,011  | 0,040  | 0,013  | 0,031  | 0,023  |
| NH <sub>3</sub>    | 0,000     | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| VOC                | 0,002     | 0,002  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,002  | 0,000  |
| CO <sub>2</sub>    | 114,528   | 96,117 | 18,412 | 86,832 | 27,696 | 72,716 | 41,812 |

Tabulka 36 Porovnání emisí znečišťujících látek

Z hlediska ekologického je výhodnější varianta číslo 3. Vzhledem k instalaci fotovoltaické elektrárny, výměně osvětlení a instalaci kogenerační jednoty dojde k výraznému snížení spotřeby elektrické energie, která je z pohledu produkce znečišťujících látek rozhodujícím energonositelem.



Graf 9 Porovnání emisí znečišťujících látek



Graf 10 Porovnání emisí CO<sub>2</sub>

## 19. Výběr optimální varianty a doporučení energetického auditora

Na základě výsledků energetického auditu je vzhledem k výše vstupní investice výhodnější realizovat variantu č. 1, která představuje vhodnou kombinaci dosažených úspor, ekonomické náročnosti a komplikací spojených s aplikací opatření. Varianta zahrnuje následující opatření (podrobnější popis jednotlivých opatření je uveden v kapitole 15 a jejích podkapitolách)

Opatření F - Instalace fotovoltaických panelů na střechu budovy

Opatření G - Výměna stávajícího osvětlení v halových prostorech

Doporučená opatření je možno shrnout v těchto základních bodech:

|                             |        |             |
|-----------------------------|--------|-------------|
| Investiční náklady          | 430,00 | tis. Kč     |
| Úspora energie po realizaci | 13,94  | MWh/rok     |
| Úspora nákladů po realizaci | 61,22  | Tis. Kč/rok |

Tabulka 37 Shrnutí doporučené varianty

Z hlediska ekonomického se jedná o velmi výhodnou variantu. Vnitřní výnosové procento IRR vybrané varianty č. 1 činí 13,0 %.

Z hlediska ekologického se jedná o šetrnou variantu k životnímu prostředí. Emise ovzduší znečišťujících látek jsou vzhledem k výši investice přiměřeně redukovány, v případě CO<sub>2</sub> o 18,41 t/rok.

## 20. Závěr

Cílem této diplomové práce je vypracování energetického auditu objektu a zhodnocení jeho reálné náročnosti provozu. Dále navržení a posouzení jednotlivých způsobů pro snížení jeho energetické náročnosti. Jednotlivé varianty poté měly být zhodnoceny jak po ekonomické stránce, tak po ekologické stránce. Dále bylo požadováno posouzení vlivu chytrého řízení a vhodnost využití kogenerační jednotky.

První část se zaměřuje na teoretický rozbor tvorby energetického auditu, jednotlivé možnosti při zpracování, včetně rozboru nynějších platných norem. Dále je zde podrobněji rozebrán výčet z opatření, konkrétně využití inteligentního řízení, kogenerační jednotky a Trombeho stěna.

Druhá část (praktická) je energetický audit budovy jako takový. Tato část začíná popisem budovy a jeho nynějším stavem a popisu stávajících systémů a konstrukcí. Dále je zpracována energetická bilance vycházející ze záznamů o spotřebě energií v budově za poslední tři roky. V další řadě jsou zpracována jednotlivá úsporná opatření, a to zateplení jednotlivých částí budovy, instalace kogenerační jednotky, instalace fotovoltaických panelů, klasická výměna osvětlení za LED osvětlení, instalace Trombeho stěny na jižní fasády objektu a v neposlední řadě instalace venkovních žaluzií společně s výměnou osvětlení se společným inteligentním řízením. Z jednotlivých opatření byly vytvořeny tři varianty, které byly zhodnoceny po ekonomické i ekologické stránce. Na závěr byla určena na základě vyhodnocení optimální varianta.

Jako nejoptimálnější varianta vyšla varianta shromažďující opatření instalace fotovoltaických panelů a střechu budovy zároveň s výměnou osvětlení za LED osvětlení. U této varianty jsme dosáhli úspory 13,94 MWh/rok při investičních nákladech 430 tis. Kč. CO<sub>2</sub> při využití této varianty bude sníženo o 18,41 t/rok oproti stávajícímu stavu. Reálná návratnost této varianty je 10 let.

Instalaci chytrého řízení, které jsme aplikovali na měněné osvětlení a venkovní žaluzie je doporučeno realizovat z důvodu přehřívání jednotlivých místností. Po ekonomické stránce se však z důvodu záporné úspory energie (z důvodu instalace venkovních žaluzií a tím snížení tepelného zisku ze slunečního záření) jedná o nerentabilní opatření a v praxi by nebylo realizováno. Instalace kogenerační jednotky je z důvodu malé velikosti objektu a tím i nižší spotřebě nevhodná. Při započítání zeleného bonusu na KVE se však opatření stává rentabilním a jeho realizace je možná.

## 21. Seznam obrázků:

|  |    |
|--|----|
| OBRÁZEK 1 SIMULAČNÍ PROGRAM ENERGIE 2020 VYUŽITÝ V PRAKTICKÉ ČÁSTI [3] ..                  | 13 |
| OBRÁZEK 2 TYPOVÝ NÁKRES BUDOVY [1] .....   | 14 |
| OBRÁZEK 3 LEGISLATIVNÍ RÁMEC ENERGETICKÉHO AUDITU .....                                    | 20 |
| OBRÁZEK 4 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA SE SPALOVACÍM MOTOREM JAKO PRIMÁRNÍ<br>JEDNOTKOU [21] ..... | 23 |
| OBRÁZEK 5 PARNÍ TURBÍNA A T-S DIAGRAM [24] .....   | 24 |
| OBRÁZEK 6 KOGENERACE S PLYNOVÝM MOTOREM [25] .....   | 25 |
| OBRÁZEK 7 PŘÍKLADY SENZORŮ [29] .....  | 27 |
| OBRÁZEK 8 PŘÍKLADY AKTORŮ [29] .....   | 27 |
| OBRÁZEK 9 PŘÍKLAD FYZICKÉ ADRESY ÚČASTNÍKA [30] .....                                      | 28 |
| OBRÁZEK 10 PŘÍKLADY ZAPOJENÍ STRUKTURY [30] .....  | 28 |
| OBRÁZEK 11 PŘÍKLAD TOPOLOGIE KNX [30] .....  | 29 |
| OBRÁZEK 12 PŘÍKLAD TOPOLOGIE KNX, ČÍSLOVÁNÍ ÚČASTNÍKŮ [30] .....                           | 30 |
| OBRÁZEK 13 STRUKTURA DATOVÉHO PROTOKOLU [30] .....   | 30 |
| OBRÁZEK 14 PRŮBĚH PŘI VYTVÁŘENÍ PROJEKTU V SOFTWAREM ETS [31] .....                        | 31 |
| OBRÁZEK 15 PŘÍKLAD DOTEKOVÉ OBRAZOVKY [31] .....   | 32 |
| OBRÁZEK 16 GRAF PROVOZNÍCH NÁKLADŮ [30] .....  | 33 |
| OBRÁZEK 17 GRAF INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ [30] .....  | 33 |
| OBRÁZEK 18 SITUAČNÍ PLÁN .....   | 36 |
| OBRÁZEK 19 POHLED NA VÝCHODNÍ STRANU OBJEKTU .....   | 43 |
| OBRÁZEK 20 POHLED ZE DVORA NA JIŽNÍ ČÁST OBJEKTU .....                                     | 44 |
| OBRÁZEK 21 PLYNOVÉ TEPELOVODNÍ LITINOVÉ KOTLE HYDROTHERM .....                             | 45 |
| OBRÁZEK 22 PLYNOVÉ ZÁSOBNÍKOVÝ OHŘÍVAČ HYDROTHERM HAN – 601 .....                          | 47 |
| OBRÁZEK 23 ELEKTRICKÝ AKUMULAČNÍ OHŘÍVAČ DRAŽICE EKCE 50 .....                             | 47 |
| OBRÁZEK 24 VENKOVNÍ SPLIT JEDNOTKA LG .....  | 48 |
| OBRÁZEK 25 UMÍSTĚNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ .....   | 70 |
| OBRÁZEK 26 UMÍSTĚNÍ TROMBEHO STĚN .....  | 74 |

## 22. Seznam tabulek:

|   |    |
|---|----|
| TABULKA 1 KVANTITATIVNÍ SROVNÁNÍ NĚKTERÝCH NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ<br>HLAVNÍCH TECHNIK PŘEDPOVÍDÁNÍ ..... | 19 |
| TABULKA 2 OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO VÝPOČET ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI<br>BUDOVY .....                        | 44 |
| TABULKA 3 PRŮMĚRNÁ ROČNÍ SPOTŘEBA ENERGIE NA PŘÍPRAVU TV .....  | 47 |
| TABULKA 4 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ UKAZATELE VLASTNÍHO ZDROJE ENERGIE –<br>PLYNOVÉ KOTLE HYDROTHEM.....     | 50 |
| TABULKA 5 ROČNÍ BILANCE VÝROBY TEPLA Z VLASTNÍHO ZDROJE ENERGIE V ROCE<br>2020.....                   | 51 |
| TABULKA 6 ENERGETICKÉ VSTUPY ZA ROK 2018 .....  | 52 |
| TABULKA 7 ENERGETICKÉ VSTUPY ZA ROK 2019 .....  | 53 |
| TABULKA 8 ENERGETICKÉ VSTUPY ZA ROK 2020 .....  | 53 |
| TABULKA 9 PRŮMĚR ENERGETICKÝCH VSTUPŮ (2018-2020).....  | 54 |
| TABULKA 10 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY BUDOVY .....  | 56 |
| TABULKA 11 OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO VÝPOČET ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI<br>BUDOV.....                         | 56 |
| TABULKA 12 SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA OBVODOVÝCH KONSTRUKCÍ BUDOVY A<br>POŽADAVKY NORMY .....         | 57 |
| TABULKA 13 PRŮMĚRNÝ SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA OBÁLKY BUDOVY .....                                     | 57 |
| TABULKA 14 KLASIFIKAČNÍ TŘÍDY PROSTUPU TEPLA OBÁLKOU HODNOCENÉ<br>BUDOVY .....                        | 57 |
| TABULKA 15 VÝCHOZÍ VYPOČTENÁ ROČNÍ ENERGETICKÁ BILANCE STÁVAJÍCÍHO<br>STAVU .....                     | 59 |
| TABULKA 16 VÝCHOZÍ ROČNÍ ENERGETICKÁ BILANCE (Z FAKTUR) .....   | 59 |
| TABULKA 17 PŘEHLED SOUČINITELŮ PROSTUPU TEPLA NAVRHOVANÝCH<br>KONSTRUKCÍ A POŽADAVKY NORMY.....       | 61 |
| TABULKA 18 PŘEHLED MĚRNÝCH NÁKLADŮ MĚNĚNÝCH KONSTRUKCÍ .....  | 62 |
| TABULKA 19 PŘEHLED MĚNĚNÝCH KONSTRUKCÍ.....   | 63 |
| TABULKA 20 PŘEHLED MĚRNÝCH NÁKLADŮ MĚNĚNÝCH KONSTRUKCÍ .....  | 63 |
| TABULKA 21 PŘEHLED MĚNĚNÝCH KONSTRUKCÍ.....   | 64 |
| TABULKA 22 PŘEHLED MĚRNÝCH NÁKLADŮ MĚNĚNÝCH KONSTRUKCÍ .....  | 64 |
| TABULKA 23 PŘEHLED MĚNĚNÝCH KONSTRUKCÍ.....   | 66 |
| TABULKA 24 PŘEHLED MĚRNÝCH NÁKLADŮ MĚNĚNÝCH KONSTRUKCÍ .....  | 67 |
| TABULKA 25 PARAMETRY NAVRHOVANÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....  | 68 |
| TABULKA 26 BILANCE FVE PO MĚSÍCÍCH .....  | 71 |

|  |    |
|--|----|
| TABULKA 27 FOTOVOLTAICKÉ PANELY .....  | 71 |
| TABULKA 28 POROVNÁNÍ PŘÍKONŮ VE STÁVAJÍCÍM A NAVRHOVANÉM STAVU .....                   | 72 |
| TABULKA 29 VÝČET VYMĚNĚNÝCH SVÍTIDEL .....   | 72 |
| TABULKA 30 VÝČET ŘÍDÍCÍCH PRVKŮ .....  | 75 |
| TABULKA 31 HODNOTY NEJVYŠŠÍ DENNÍ TEPLoty VZDUCHU V MÍSTNOSTI V LETNÍM<br>OBDOBÍ ..... | 76 |
| TABULKA 32 PŘEHLED VARIANT VČETNĚ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ A ÚSPOR .....                   | 77 |
| TABULKA 33 POROVNÁNÍ ROČNÍCH ENERGETICKÝCH BILANCÍ .....                               | 77 |
| TABULKA 34 POROVNÁNÍ ROČNÍCH PROVOZNÍCH NÁKLADŮ .....                                  | 78 |
| TABULKA 35 VÝSLEDKY EKONOMICKÉHO VYHODNOCENÍ .....                                     | 80 |
| TABULKA 36 POROVNÁNÍ EMISÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK .....                                  | 82 |
| TABULKA 37 SHRNUÍ DOPORUČENÉ VARIANTY .....  | 84 |

### 23. Seznam grafů:

|   |    |
|---|----|
| GRAF 1 VÝVOJ SPOTŘEBY ENERGIÍ ZA POSLEDNÍ TŘI ROKY .....    | 53 |
| GRAF 2 VÝVOJ NÁKLADŮ NA ENERGIE ZA POSLEDNÍ TŘI ROKY .....  | 54 |
| GRAF 3 ROZLOŽENÍ SPOTŘEBY PODLE ENERGOSONITELŮ .....        | 60 |
| GRAF 4 ROZLOŽENÍ NÁKLADŮ PODLE ENERGOSONITELŮ .....         | 55 |
| GRAF 5 ROZLOŽENÍ ENERGIÍ PODLE DRUHU SPOTŘEBY .....         | 60 |
| GRAF 6 ROZLOŽENÍ NÁKLADŮ ZA ENERGIE STÁVAJÍCÍ STAV .....    | 60 |
| GRAF 7 PRŮBĚH DODÁVEK TEPLA .....                           | 68 |
| GRAF 8 PROVOZNÍ NÁKLADY PO REALIZACI V PRŮBĚHU 20 LET ..... | 81 |
| GRAF 9 POROVNÁNÍ EMISÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK .....           | 83 |
| GRAF 10 POROVNÁNÍ EMISÍ CO <sub>2</sub> .....               | 83 |

### 24. Použité zdroje

[1] Thumann, Albert & Niehus, Terry & Younger, William. (2020). Handbook of Energy Audits. 10.1201/9781003151722.

[2] ČSN EN 16247-1 (011505) A Energetické audity. Část 1, Obecné požadavky = Energy audits. Part 1, General requirements. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>

[3] SVOBODA, Zbyněk. Energie 2020. <https://kcad.cz> [online]. 2020 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>



- [4] Chirag Deb, Fan Zhang, Junjing Yang, Siew Eang Lee, Kwok Wei Shah, A review on time series forecasting techniques for building energy consumption, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 74, 2017, Pages 902-924, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.085>.
- [5] Nasr GE, Badr EA, Younes MR. Neural networks in forecasting electrical energy consumption. FLAIRS-01 .In: Proc., American association for artificial intelligence; 2001.
- [6] Příspěvatelé Wikipedie, ARIMA [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2020, Datum poslední revize 6. 02. 2020, 22:20 UTC, [citováno 17. 05. 2021] <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=ARIMA&oldid=18126982>
- [7] Wang X, Meng M. A hybrid neural network and ARIMA model for energy consumption forecasting. *J Comput* 2012;7:1184–90. <http://dx.doi.org/10.4304/jcp.7.5.1184-1190>.
- [8] Chen B-J, Chang M-W, Lin C-J. Load forecasting using support vector machines: a study on EUNITE competition 2001. *Power Syst IEEE Trans* 2004;19:1821–30. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRS.2004.835679>.
- [9] Wikipedia contributors. (2020, December 31). Case-based reasoning. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 10:39, May 17, 2021, from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Case-based\\_reasoning&oldid=997373421](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Case-based_reasoning&oldid=997373421)
- [10] Ismail Z, Mansor R. Fuzzy logic approach for forecasting half-hourly Malaysia electricity load demand. In: *Int inst forecast 2011 proc*; 2011, p. 1–17.
- [11] Jiang Y, Yao Y, Deng S, Ma Z. Applying grey forecasting to predicting the operating energy performance of air cooled water chillers. *Int J Refrig* 2004;27:385–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2003.12.001>.
- [12] Taylor JW, de Menezes LM, McSharry PE. A comparison of univariate methods for forecasting electricity demand up to a day ahead. *Int J Forecast* 2006;22:1–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2005.06.006>.
- [13] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 17. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>
- [14] Vyhláška č. 140/2021 Sb., o energetickém auditu. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 17. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-140>
- [15] MAREŠ, Miroslav. Vyhláška č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu: Dlouho očekávané nové vyhlášky o energetickém auditu a o energetickém posudku jsou v platnosti. <https://www.tzb-info.cz/> [online]. 8.4.2021, , 1 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z:

- <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/22095-dlouho-ocekavane-nove-vyhlasaky-o-energetickem-auditu-a-o-energetickem-posudku-jsou-v-platnosti>
- [16] (SKULINOVÁ, Darja. Vícekriteriální rozhodování při stanovení využitelnosti budov na územích se zvýšenou průmyslovou činností. (cit. 2008-02-27). Dostupné z [www: http://www.cideas.cz/free/okno/technicke\\_listy/1uvt/1232.pdf](http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/1uvt/1232.pdf))
- [17] Vyhláška č. 4/2020 Sb., o energetických specialistech. In: [Zákony pro lidi.cz](http://www.zakonypro lidi.cz) [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 17. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonypro lidi.cz/cs/2020-4>
- [18] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 281 s. ISBN 80-730-0118-7.
- [19] VÝHODY A VYUŽITÍ KOGENERACE. <https://www.tedom.com> [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/vyhody-a-vyuziti-kogenerace/>
- [20] Kogenerace. <https://energetika.tzb-info.cz> [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace>
- [21] Bioplynka. Geocaching [online]. 2011 [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://imgcdn.geocaching.com/cache/large/c1cfd3e9-6059-4142-aa4e-b1a851999532.jpg> (obrázek 3)
- [22] BUDÍN, Jan. Kogenerace - princip, technologie a výhody. <https://oenergetice.cz> [online]. 21. 4. 2015 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>
- [23] Příspěvatelé Wikipedie, Kogenerace [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 13. 05. 2021, 02:35 UTC, [citováno 17. 05. 2021] <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kogenerace&oldid=19826114>
- [24] Jović, Milica & Lakovic, Mirjana & Bogdanovic-Jovanovic, Jasmina. (2016). REVIEW OF OPPORTUNITIES FOR STEAM CONDENSER PERFORMANCE IMPROVEMENTS IN POWER PLANTS.
- [25] District heating cogeneration. <https://www.iec-energy.by> [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.iec-energy.by/en/gas-reciprocating-engines/district-heating-cogeneration>
- [26] TRÁVNÍČEK, Petr, KARAFIÁT, Zbyšek: Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. [Biom.cz](http://biom.cz) [online]. 2009-04-15 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>>. ISSN: 1801-2655.

- [27] MED, Lukáš. Trombeho stěna a její využití v technice prostředí. Brno, 2013. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=65718](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65718). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.
- [28] HRBÁČ, Roman. Systémová technika budov: Popis sběrnicevého systému EIB/KNX - část 1. Otrava, 2019.
- [29] HRBÁČ, Roman. Systémová technika budov: Popis sběrnicevého systému EIB/KNX - část 2. Otrava, 2019.
- [30] HRBÁČ, Roman. Systémová technika budov: Popis sběrnicevého systému EIB/KNX - část 3. Otrava, 2019.
- [31] HRBÁČ, Roman. KNX\_teorie. Otrava, 2019, 107 s. Vysoká škola báňská.
- [32] KNX NÁRODNÍ SKUPINA ČESKÉ REPUBLIKY, Z.S. KNX Základy: Standard KNX – základy [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://knxcz.cz/>