



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**MOŽNOSTI SNÍŽENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI A
PRODUKCE CO₂ TYPOVÝCH OBJEKTŮ**

POSSIBILITIES OF REDUCING ENERGY INTENSITY AND PRODUCTION OF CO₂ TYPE
OBJECTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Ondruch

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Jiří Ondruch**
Studijní program: Energetické a termofluidní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Možnosti snížení energetické náročnosti a produkce CO₂ typových objektů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na hodnocení energetických potřeb vybraných objektů a související produkce CO₂. V rámci řešení budou představeny možné způsoby snižování energetické náročnosti objektů, realizovány bilanční výpočty energetických toků pro vybrané typové objekty. Následně budou navržena a hodnocena možná opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti a omezení produkce CO₂. Půjde především o využití TČ, kogenerace, rekuperace, zateplení, fotovoltaiky a akumulace.

Cíle diplomové práce:

1. Stručným způsobem představit možnosti snižování energetické náročnosti objektů a využitelné zdroje energie s nulovou produkcí CO₂.
2. Představit posuzované typové objekty se zaměřením na potřebné vstupní a odpadní energetické toky.
3. Vytvořit model energetických bilancí typových objektů a identifikovat produkci CO₂.
4. Navrhnout možná opatření pro snížení energetické náročnosti typových objektů a zhodnotit možnosti snížení stopy CO₂.
5. Provést technicko-ekonomické zhodnocení navržených opatření.

Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s., ISBN 978-80-214-4300-6.

DAHLSVEEN, Trond, Dušan PETRÁŠ a Jiří HIRŠ. Energetický audit budov. Bratislava: Jaga group, 2003, 295 s. : il., [16 s.] příl. ISBN 80-88905-86-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je seznámení s problematikou energetické náročnosti objektů. Práce popisuje dostupné technologie a způsoby, jak snižovat energetickou náročnost a produkci CO₂. V návrhové části jsou na vybraných typových objektech aplikována vhodná opatření, která vedou k nižším spotřebám objektu, úsporám na provozních nákladech a nižší produkci CO₂.

Klíčová slova

Energetická náročnost, produkce CO₂, obnovitelné zdroje, tepelné čerpadlo, biomasa, kogenerace, fotovoltaika, zateplení, rekuperace

ABSTRACT

The aim of the thesis is to introduce the issue of energy intensity of buildings. The thesis describes available technologies and ways to reduce energy intensity and CO₂ production. In the design part, suitable measures are applied to selected typical buildings, which lead to lower consumption of the building, savings on operation costs and lower CO₂ production.

Key words

Energy intensity, production of CO₂, renewable energy sources, heat pump, biomass, cogeneration, photovoltaics, insulation, recuperation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDRUCH, Jiří. Možnosti snížení energetické náročnosti a produkce CO₂ typových objektů. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140389>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *diplomovou práci* na téma **Možnosti snížení energetické náročnosti a produkce CO₂ typových objektů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci. Další poděkování patří mé rodině, která mě při celém průběhu studia plně podporovala.

Obsah

1	Úvod	11
2	Energetická náročnost objektu.....	12
2.1	Průkaz energetické náročnosti budovy	12
2.1.1	Primární energie z neobnovitelných zdrojů.....	13
2.1.2	Celková dodaná energie.....	13
2.1.3	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy	14
2.2	Energetický audit.....	14
3	Technologie pro snižování energetické náročnosti.....	15
3.1	Tepelné čerpadlo.....	15
3.1.1	Historie tepelných čerpadel	15
3.1.2	Princip kompresorového tepelného čerpadla.....	16
3.1.3	Topný faktor	16
3.1.4	Sezónní topný faktor.....	17
3.1.5	Bivalence a dimenzování TČ.....	17
3.1.6	Typy TČ dle zdroje nízkopotenciálního tepla	17
3.1.7	Absorpční tepelné čerpadlo	21
3.2	Biomasa	22
3.2.1	Pevná biomasa	23
3.2.2	Plynná a kapalná biomasa.....	23
3.3	Kogenerace	23
3.3.1	Kogenerace s vysokým výkonovým rozsahem.....	24
3.3.2	Kogenerace s nízkým výkonovým rozsahem	24
3.3.3	Trigenerace	24
3.3.4	Hodnocení kombinované výroby elektřiny a tepla	24
3.4	Využití solární energie.....	26
3.4.1	Fotovoltaika	27
3.4.2	Fototermika.....	28
3.5	Snižování tepelných ztrát.....	29
3.5.1	Požadavky na izolační materiály	29
3.5.2	Běžné používané izolační materiály	30
3.5.3	Alternativní izolační materiály	31
3.6	Rekuperace vzduchu.....	33
3.6.1	Hygienické požadavky na množství vyměněného vzduchu	33
3.6.2	Systém větrání s rekuperací	34
4	Produkce a snižování CO ₂	35
4.1	Možnosti snižování CO ₂	35
4.1.1	Velká energetika	36
4.1.2	Malá energetika	37
4.2	Zelená elektřina	37
4.3	Uhlíková stopa.....	37
4.3.1	Uhlíková stopa podniku.....	37
5	Výpočetní postupy pro praktickou a návrhovou část práce	39
5.1	Výpočet tepelných ztrát a potřeba tepla na vytápění	39

5.1.1	Venkovní návrhová teplota	39
5.1.2	Vnitřní návrhová teplota.....	39
5.1.3	Tepelné ztráty prostupem	39
5.1.4	Tepelné ztráty větráním.....	42
5.1.5	Celková tepelná ztráta	42
5.1.6	Potřeba tepla na vytápění	43
5.2	Potřeba tepla pro ohřev teplé vody	43
5.3	Výpočet finančních nákladů.....	44
5.3.1	Cena elektřiny	44
5.3.2	Cena plynu.....	45
5.3.3	Ceny technologií /stavebních materiálů	45
5.3.4	Návratnost investice	46
5.4	Emisní faktory	46
5.4.1	Emisní faktor výroby elektřiny.....	46
5.4.2	Emisní faktory paliv	47
5.5	Uhlíková stopa objektu.....	47
5.6	Návrh fotovoltaiky	47
5.6.1	Množství dopadající sluneční energie za rok	48
5.6.2	Počet panelů a instalovaný výkon	48
5.6.3	Měsíční a roční výkonová výťažnost FVT systému	49
5.7	Návrh kogenerace.....	49
5.7.1	Potřeba tepla dodané v palivu	50
5.8	Výběr řešených objektů a opatření	50
6	Energetická náročnost rodinného domu	51
6.1	Popis objektu	51
6.2	Vstupní parametry	51
6.2.1	Tepelné ztráty	52
6.2.2	Roční spotřeba elektřiny.....	52
6.2.3	Roční spotřeba plynu.....	52
6.2.4	Roční potřeba paliva.....	52
6.3	Současné provozní náklady objektu	52
6.4	Současná uhlíková stopa objektu	53
6.5	Návrhy pro snížení energetické náročnosti objektu	53
6.5.1	Obecné návrhy opatření.....	53
6.5.2	Varianta I. Základní zateplení a výměna zdroje tepla	54
6.5.3	Varianta II. Komplexní zateplení, výměna zdroje tepla, rekuperace	56
6.6	Nové provozní náklady objektu	57
6.7	Návratnost investice	59
6.8	Uhlíková stopa objektu po aplikaci opatření	60
6.9	Zhodnocení navrhovaných opatření	61
6.9.1	Zhodnocení varianty I.	61
6.9.2	Zhodnocení varianty II.	61
6.10	Investování do rodinného domu	62
6.11	Bilanční toky objektu	62
7	Energetická náročnost školního areálu	63
7.1	Popis objektu	63

7.2	Vstupní parametry	63
	Pro představu o prostorových předpokladech je nastíněn přibližný půdorys objektu.	64
		64
7.2.1	Tepelné ztráty objektu	64
7.2.2	Roční spotřeba elektřiny	65
7.2.3	Roční spotřeba plynu	65
7.3	Současné provozní náklady objektu	65
7.4	Současná uhlíková stopa objektu	65
7.5	Návrhy pro snížení energetické náročnosti.....	66
	7.5.1 Obecné návrhy opatření	66
	7.5.2 Varianta I. Zateplení, výměna zdroje tepla.....	66
	7.5.3 Varianta II. Zateplení, výměna zdroje tepla	68
7.6	Nové provozní náklady objektu.....	69
7.7	Návratnost investice	71
7.8	Uhlíková stopa objektu po aplikaci opatření	71
7.9	Zhodnocení navrhovaných opatření	72
	7.9.1 Zhodnocení varianty I.....	72
	7.9.2 Zhodnocení varianty II.	73
7.10	Investování do školního areálu	73
7.11	Bilanční toky objektu.....	74
8	Energetická náročnost areálu potravinářské výroby	75
	8.1 Popis objektu	75
	8.2 Vstupní parametry	75
	8.2.1 Tepelné ztráty objektu	76
	8.2.2 Roční spotřeba elektřiny	77
	8.2.3 Roční spotřeba plynu	77
	8.3 Současné provozní náklady objektu	77
	8.4 Současná uhlíková stopa objektu.....	78
	8.5 Návrhy pro snížení energetické náročnosti.....	78
	8.5.1 Obecné návrhy opatření.....	78
	8.5.2 Varianta I. Kogenerační jednotka	78
	8.5.3 Varianta II. Využití fotovoltaiky	81
	Navrhovaný fotovoltaický panel.....	81
	8.6 Nové provozní náklady objektu.....	84
	8.7 Návratnost investice	86
	8.8 Uhlíková stopa objektu po aplikaci opatření	87
	8.9 Zhodnocení navrhovaných opatření	87
	8.9.1 Zhodnocení varianty I.....	87
	8.9.2 Zhodnocení varianty II.	88
	8.10 Investování do výrobního areálu	88
	8.11 Bilanční toky objektu.....	88
9	Celkové hospodářské zhodnocení řešených objektů.....	89
10	Závěr	90
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	92
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	96
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	98
	SEZNAM OBRÁZKŮ	99
	SEZNAM TABULEK	100

1 Úvod

Jedny z hlavních témat dnešní doby jsou bezesporu životní prostředí a energetika. Setkáváme se s globální klimatickou politikou, která se snaží zamezit znečišťování planety a globálnímu oteplování. Současná klimatická politika vede k tomu, že by se dle prognóz počátkem dalšího století planeta oteplila natolik, že by se podstatně zhoršila kvalita života člověka a všech ostatních rostlinných a živočišných druhů. Příčinou těchto klimatických změn je vysoký nárůst obyvatelstva v posledních 100 letech a rapidní vývoj technologií, které jsou v současnosti primárně závislé na fosilních palivech, které do prostředí uvolňují skleníkové plyny. Cílem následujících let by mělo být úplné omezení fosilních paliv a využívání obnovitelných a uhlíkově neutrálních zdrojů. Právě energetika má na produkci emisí poměrově největší podíl a celosvětově přichází tlak na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Takové věci prostý občan neovlivní, ale mají na nás dopad ve formě zdražování energií, které v poslední době mělo intenzivní nárůst.

Člověk zpravidla většinu svého života stráví ve vnitřních prostorech, proto bychom měli cílit na úspory a na možnosti snižování energií právě tam. Pro snižování energetické náročnosti objektu využíváme novějších progresivnějších technologií, snižujeme spotřeby energií (ideálně takovým způsobem, aby nám to nezpůsobovalo diskomfort) a využíváme obnovitelné zdroje.

V téhle práci se blíže seznámíme s konkrétními možnostmi snižování energetické náročnosti, zmíníme se o produkci CO₂ a na třech typově různých objektech si některá opatření pro snižování energetické náročnosti a produkce CO₂ představíme. Byly záměrně vybrány objekty, které jsou energeticky nevhodné nebo na nich lze dobře aplikovat a demonstrovat vybrané technologie ke snižování energetické náročnosti. Ze závěrů řešených objektů budeme moci vyhodnotit investiční náklady, roční úsporu provozních nákladů, návratnost a vhodnost investice, snížení produkce CO₂ a vývoj bilančních toků energií.

2 Energetická náročnost objektu

Pojem energetická náročnost objektu nám kvantifikuje veškerou energii spotřebovanou při provozu budovy. Jedná se hlavně o energii vynaloženou na vytápění, chlazení, ohřev teplé vody, větrání a osvětlení. U těchto jmenovaných procesů jsme schopni množství potřebné energie snižovat pomocí progresivních technologií a cílem u nových objektů či rekonstrukcí stávajících objektů je zredukovat potřebu energie na minimum. Do souhrnu potřeb energií můžeme samozřejmě započítat i veškerý chod spotřebičů v objektu, každopádně pro jejich redukci jsme schopni maximálně pořídit spotřebiče s lepší energetickou třídou anebo nějakým způsobem omezovat jejich provoz. Podstata snižování energetické náročnosti není omezovat komfort člověka, proto se takovými opatřeními většinou nezabýváme. V praxi se v zásadě setkáme s dvěma dokumenty, které energetickou náročnost popisují a vyvozují z ní nějaké závěry. [1]

2.1 Průkaz energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti budovy (dále jen PENB) je dokument nutný k výstavbě nových objektů či větší změně stávající budovy. Požadavky jsou stanoveny dle vyhlášky č. 264/2020. Tahle vyhláška zpravidla každý rok zpřísňuje parametry nutné pro schválení stavby z hlediska energetické náročnosti. PENB lze samozřejmě vypracovat i pro stávající stavby, akorát jeho výsledek je pouze informativní a nemusí podléhat požadovaným kritériím. [2]

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydán podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, č.p./č.o.:

PSČ, obec:

K.ú., parcelní č.:

Typ budovy:

Celková energeticky vztáhná plocha:

KLASIFIKAČNÍ TŘÍDA

Primární energie z neobnovitelných zdrojů
kWh/(m²·rok)

Mimořádně úsporná	A	121
Velmi úsporná	B	181
Úsporná	C	242
Méně úsporná	D	347
Nehospodárná	E	453
Velmi nehospodárná	F	559
Mimořádně nehospodárná	G	

108

Požadavky pro výstavbu nové budovy od 1.1.2022

jsou SPLNĚNY

ROZDĚLENÍ DODANÉ ENERGIE

MWh/rok

Účinná SZTE s OZE > 80% - 148,7 (73 %)

Elektrina - 54,3 (27 %)

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy	0,24 W/(m ² ·K)	B
Mávná potřeba tepla na vytápění	53 kWh/(m ² ·rok)	
Celková dodaná energie	128 kWh/(m²·rok)	A
Vytápění	64 kWh/(m ² ·rok)	A
Chlazení	7 kWh/(m ² ·rok)	D
Nucené větrání	17 kWh/(m ² ·rok)	D
Úprava vlhkosti	-	
Příprava teplé vody	30 kWh/(m ² ·rok)	C
Osvětlení	10 kWh/(m ² ·rok)	B

Energetický specialista:

Osvědčení č.:

Kontakt:

Ev. č. průkazu:

Vyhotoveno dne:

Podpis:

Obrázek 2.1.1 Průkaz energetické náročnosti budovy

Při zpracování PENB porovnáváme aktuální stavbu s referenční budovou, která je na základě podobných parametrů vytvořena. Hodnocení PENB se skládá ze tří hlavních klasifikačních kritérií: Množství primární energie z neobnovitelných zdrojů, celková dodaná energie a průměrný součinitel prostupu tepla budovy. [2]

2.1.1 Primární energie z neobnovitelných zdrojů

Kritérium hodnotí využití neobnovitelných zdrojů pro provoz budovy. Jedná se o zpravidla o nejdůležitější hodnotu celkového hodnocení, protože v praxi většinou právě u tohoto kritéria balancujeme na hranici schválení požadavků. Vyhláška č. 264/2020 pro výstavbu nové budovy od 1.1.2022 navíc hranici významně posunula k přísnějším požadavkům. V budoucnu můžeme předpokládat další vývoj vedoucí ke zvýšení požadavků na využití obnovitelných zdrojů.

Tohle kritérium nám významně omezuje palivovou základnu a můžeme s jistotou říct, že při výstavbě novostaveb už nemůžeme počítat s využitím tuhých paliv (s výjimkou biomasy). Zemní plyn je stále akceptovatelný v případě, že je k dispozici nějaký jiný obnovitelný zdroj, například fotovoltaika, nebo je používán s obnovitelným zdrojem v bivalenci. Poslední z využívaných zdrojů je elektřina. Při ohlédnutí na zdroje aktuální výroby elektřiny v ČR stále nemůžeme říct, že se jedná o nejobnovitelnější zdroj. Proto pokud bychom v budově řešili vytápění a ohřev vody elektrokotlem nebo využívali přímotopy, výsledek hodnocení také nebude přijatelný. Zbývá nám tak využití tepelných čerpadel, které dle svého chladicího/topného faktoru pojmu ve srovnání s elektrokotlem pouze přibližně 25-33 % elektrické energie pro svůj provoz a v současnosti je považujeme za nejlepší volbu pro maximální využití energie z obnovitelných zdrojů.

Nesmíme opomenout ani odběr energie z teplárenství. Teplárny zásobují teplem až 40 % domácností v ČR. V celkovém součtu se udává, že teplárny využívají až 2/3 ekologicky čistou a k životnímu prostředí šetrnou kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Primárně jsou využity kogenerační jednotky, domácí obnovitelná paliva a obnovitelné zdroje. Pro hodnocení na PENB nás však bude zajímat konkrétní teplárenský zdroj, ze kterého budeme teplo a elektřinu odebírat. Takle informace by měla být dostupná při samotném řešení projekce objektu, kdy se s teplárnami spolupracuje. [3]

2.1.2 Celková dodaná energie

Další klasifikované kritérium hodnotí celkové potřeby energie jednotlivých technologií. Konkrétně vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti, přípravu teplé vody a osvětlení. Pro referenční budovu je vyhodnocena celková dodaná energie na provoz a s reálným objektem se porovnává. Každá progresivní technologie má snahu snižovat potřebu provozní energie, proto nám tyto technologie budou snižovat celkovou dodanou energii. [2]

Hledisko vytápění vychází z tepelných ztrát a odpovídající potřebě tepla na vytápění. Dalšími faktory mohou být teplotní spád systému, druh otopného systému (sálavý/konvekční), délka rozvodů a jejich izolace. Obdobně se hodnotí chlazení, pokud je řešeno, které vychází z tepelných zisků a potřeby chladu na chlazení.

U větrání nás zajímá především, zda se jedná o přirozené nebo nucené větrání. U přirozeného větrání uvažujeme podstatně větší množství vyměněného vzduchu, a proto je nutné dodávat větší množství tepelné energie, kterou pokryjeme uniklé teplo. Nucené větrání pomocí rekuperačních výměníků je schopné využívat teplo odvodního vzduchu, větrání probíhá konstantně po celou dobu a potřeba energie je ve výsledku několika násobně nižší. Hodnota dodané energie může růst i z důvodu nadměrné množství výměny vzduchu, což může být u některých objektů zvláštní požadavek.

S úpravou vlhkostí se běžně setkáme u systémů, kde potřebujeme přizpůsobit hodnotu relativní vlhkosti. Může to být opět nějaký zvláštní požadavek, nebo se s tím setkáme u systémů, kde hrozí kondenzace.

Příprava teplé vody závisí na způsobu, jakým je ohřívána. Vodu můžeme ohřívat teplovodně nebo elektřinou. Při využití fotovoltaiky je získávaná energie většinou využita pro ohřev nebo dohřev teplé vody. Dalšími faktory opět mohou být délky rozvodů a jejich izolace.

Úspornost osvětlení závisí pouze na typu osvětlení. V současnosti považujeme systém LED za nejúspornější.

2.1.3 Průměrný součinitel prostupu tepla budovy

Průměrný součinitel prostupu tepla vyplývá pouze ze součinitelů prostupu tepla konstrukcí.

2.2 Energetický audit

Energetický audit je dokument, který zhodnocuje stávající objekty z energetického hlediska s návrhem opatření ke snížení jejich energetické náročnosti. Kromě informativní složky o energetickém stavu budovy obsahuje také návrhy k úsporám energií, zvýšení energetické účinnosti a snížení uhlíkové stopy. [4]

Povinnost zpracovat energetický audit dle zákona č. 406/2000 Sb. mají podnikatelé, kteří zaměstnávají 250 a více osob, nebo jejich roční obrat podniku přesahuje 1 300 000 000 Kč a dále také podnikatelé, jejichž průměrné roční nakládání s energií je vyšší než 5 000 MWh. Pro státní instituce (Česká republika, kraj, obec, příspěvková organizace státu) podmínka platí, pokud je jejich spotřeba energie vyšší než 500 MWh. Zmíněné podmínky musí být splněny 2 po sobě jdoucí kalendářní roky a ukládají povinnost vypracovat energetický audit. [4]

Energetický audit má pevně danou strukturu a může být vypracován pouze energetickým specialistou, který na konci dokumentu svoji legitimaci potvrzuje přiložením kopie oprávnění.

V úvodu jsou uvedeny identifikační údaje provozovatele předmětu energetického auditu a identifikační údaje zpracovatele energetického auditu. Dále následuje krátká identifikace objektu, její lokalizace a případně dostupné fotografie. [5]

Druhou částí je konkrétní popis objektu a jeho stávajícího stavu. Zde je snaha o největší spolupráci zadavatele a energetického specialisty, protože je nutné získat informace o provozu objektu, o veškerých energetických výstupech a vstupech, popisu stavebních konstrukcí a veškerých využívaných technologií. Veškeré informace poskytnuté zadavatelem jsou závazné a bude v nich uvažováno ve výpočtech a zpracovávání posudku. Při nedodání některých vstupních údajů se rozsah prací zvyšuje a znamená to využití dalších specialistů nebo uvažování horších provozních podmínek. [5]

Po analýze současného stavu je objekt zhodnocen dle řešených hledisek, odvolává se na současné normy a jsou popsány konkrétní problémové záležitosti. [5]

Pro daný objekt jsou stanoveny návrhy opatření z hledisek úspory nákladů, většího využití obnovitelných zdrojů a z hlediska ochrany životního prostředí. Návrhy jsou kompletně zpracovány a dávají informaci o investičních nákladech, provozních nákladech, úsporách energií a šetrnosti k životnímu prostředí. Závěr návrhů je doplněn o konečné stanoviska energetického auditora, který uvede, ke kterému řešení by přistoupil a jeví se jako nejlepší. [5]

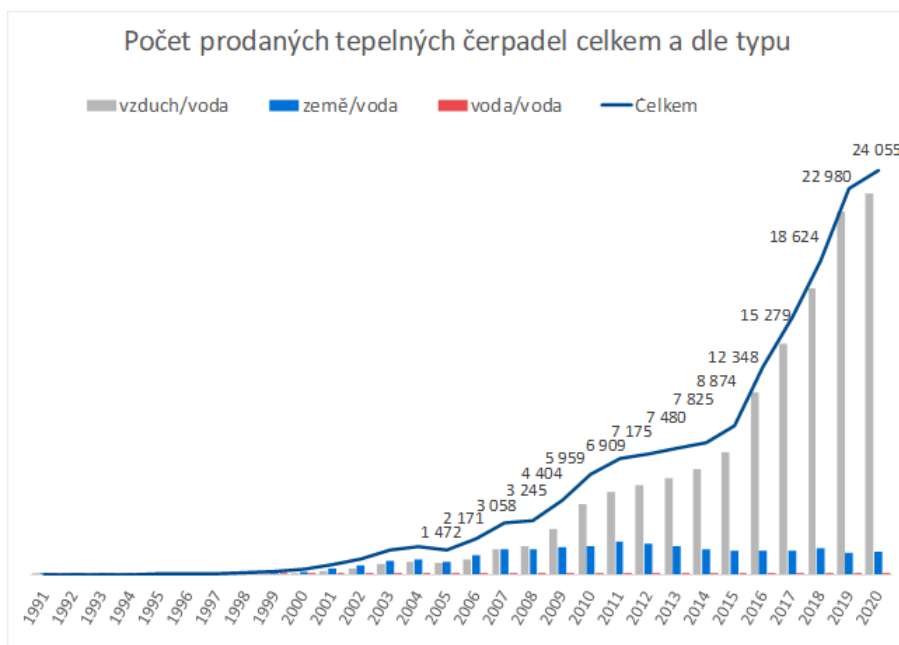
3 Technologie pro snižování energetické náročnosti

3.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) je zařízení, které přenáší teplo z jednoho zdroje na jiný pomocí chladicího cyklu. Teplo dle 2. termodynamického zákona přechází z teplejšího prostředí do chladnějšího, avšak TČ je schopno tenhle tepelný tok obrátit a funguje jako „čerpadlo“ pro přesun tepla. Dokážeme tak TČ využít pro vytápění i chlazení. V naší řešené problematice od TČ vyžadujeme, aby odebíralo teplo z venkovního prostředí a předávalo ho do objektu, kde je tepelná energie využita pro ohřev či chlazení média. Teplo z prostředí odebíráme z obnovitelných zdrojů, konkrétně ze vzduchu, vody a země. V této kapitole se budeme převážně zabývat TČ kompresorovými, která jsou podstatně dominantnější než ostatní typy. TČ na jiném principu bude pouze lehce zmíněno v kapitole 3.7.1. [6]

3.1.1 Historie tepelných čerpadel

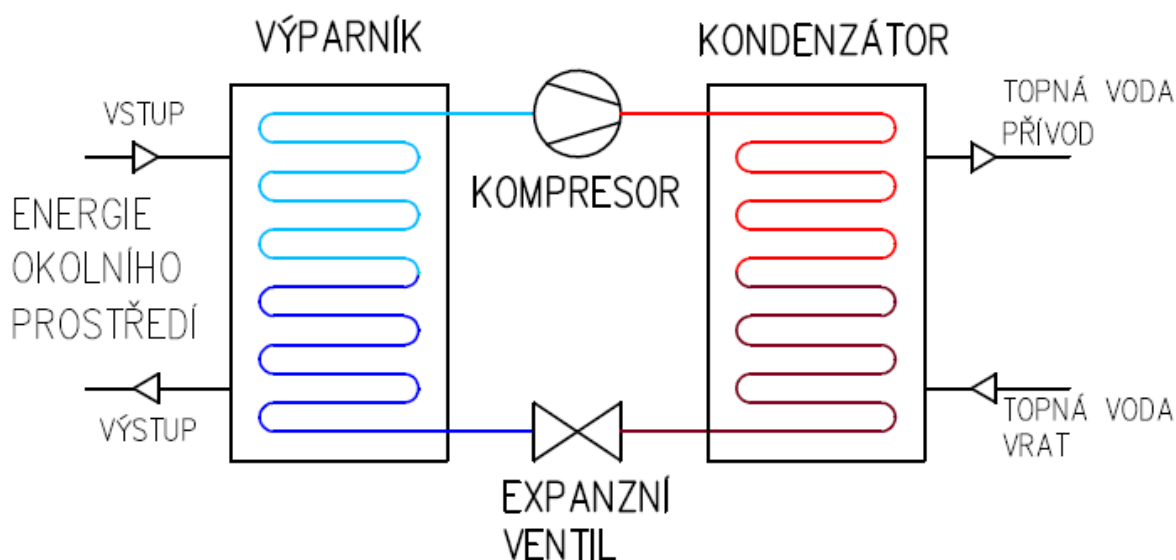
Historie TČ sahá až do 19. století, kdy skotsko-irský vědec William Thomson přišel s myšlenkou, že pokud teplo samovolně nemůže přecházet z prostředí chladnějšího do prostředí teplejšího, určitě existuje způsob, jako tomu můžeme pomoci. Koncem 19. století už vědci začali využívat principy výparu a kondenzace pro přenos tepla a látky a chyběl už pouze vývoj kompresorů. První „kompletní“ TČ byla značně objemná, protože samotné kompresory byly velice prostorné. Účinnost a efektivita prvních TČ určitě nebyla konkurenceschopná a jejich využití bylo minimální. Počátkem 20. století je spojen s nárůstem potřeby energií a nedostatkem paliv v různých zemích, proto se technologie TČ začala opět zdokonalovat. Pohon kompresorů začal zajišťovat elektromotor, což vedlo k možnosti větších otáček a také podstatnému snížení velikosti a váhy. TČ se instalují různě po světě, ale jejich aplikace je minimální a pouze v oblastech, kde by mohlo z důvodu vhodného obnovitelného zdroje a pohonného paliva prosperovat. Velký rozmach technologie přichází až v 80. letech 20. století, kdy začíná podpora alternativních zdrojů a pomalu přichází environmentální politika. Od začátku 21. století už jsou TČ schopna pracovat při velice nízkých teplotách, dodavatelé elektřiny nabízí výhodné tarify pro majitele TČ a v rámci zelené politiky státy přispívají na dotační programy. Tohle vše vede k výraznému nárůstu popularity TČ, který bude téměř jistě ještě stále narůstat. [7]



Obrázek 3.1.1 Graf počtu prodaných TČ v ČR v letech 1990-2020 [8]

3.1.2 Princip kompresorového tepelného čerpadla

Princip je založen na funkcích 4 základních prvků TČ. Na primární straně TČ je výměník tepla – výparník, do kterého se přivádí nízkopotenciální teplo ze zvoleného teplotonosného média z okolního prostředí. Do jeho druhé poloviny je vstřikováno pod vysokým tlakem kapalné chladivo, které se z důvodu nižšího tlaku ve výparníku velice rychle odpařuje. Celý výparník se ochlazuje až pod teplotu prostředí, ze kterého je teplo odebíráno, a dochází k oteplování podchlazeného plynu, který je dále nasáván kompresorem. Nasávaný plyn si s sebou nese získanou energii přijatou z okolního prostředí. Po stlačení kompresorem se plyn prudce ohřeje a dosahuje vyšší teploty, než je voda v topném systému. Plyn pokračuje do sekundárního výměníku – kondenzátoru, kde se postupně zkapalňuje a předává teplo chladnější otopné vodě, která je na druhé polovině výměníku. Kapalina odchází zpátky do expanzního ventilu, kde je opět vstřikována do výparníku. Tenhle cyklus se neustále opakuje. [6]



Obrázek 3.1.2.1 Princip kompresorového TČ

3.1.3 Topný faktor

Základním parametrem TČ je topný faktor (dále jen COP – Coefficient of performance). Určuje nám poměr vyrobeného tepla ku energii spotřebované. [6]

$$COP = \frac{Q_H}{Q_C} [-] \quad (1)$$

kde:

Q_H Energie (teplo) pracovní látky vytvořená okolím [J]/[kW]

Q_C Energie spotřebovaná kompresorem [J]/[kW]

COP je závislý na podmínkách, ve kterých TČ pracuje, na požadované výstupní hodnotě teploty vody a samozřejmě na typu TČ. Průměrná hodnota COP se pohybuje běžně kolem 2,5 – 5. Při provozu však tahle hodnota kolísá právě v závislosti na klimatických podmínkách. Hodnota COP klesá se snižující se teplotou a při ročních teplotních minimech se COP blíží k hodnotě 1, tudíž vytváříme stejné množství tepla, jako dodáváme energie kompresorem. Dnes už několik výrobců uvádí, že jejich TČ jsou schopna pracovat až do extrému -20 °C, ale stále platí to, že TČ pracuje při velice nízkém COP. [6]

Zmíněna byla výstupní teplota vody. Pro nejvyšší efektivnost TČ je vhodné ohřívat vodu na teplotu přibližně 35-40 °C. Při užití TČ typu země/voda s vertikálním kolektorem jsme schopni efektivně vodu ohřát až o dalších 5-10 °C. Z tohoto důvodu je vhodné při využití TČ vytápět nízkoteplotními sálavými systémy, což jsou sálavé podlahy či stropy, pro které je teplota 30-35 °C dostačující na to, aby zajistila tepelný komfort. Pokud bychom chtěli využít nízkoteplotní vodu v otopných tělesech, musela by být podstatně rozměrnější, nebo by to bylo na úkor jejich výkonu. Současně se tady nabízí otázka ohřevu teplé užitkové vody, která se standardně ohřívá na 50-55 °C. V tomto případě je možné řešit dohřev teplé užitkové vody bivalentním zdrojem, fotovoltaickými panely či nějakým způsobem soustavu TČ zaregulovat, aby pro ohřev teplé užitkové vody byla výstupní teplota vyšší. [6]

3.1.4 Sezónní topný faktor

Dalším ukazatelem efektivnosti TČ je sezónní topný faktor (dále jen SCOP – Seasonal coefficient of performance). Je to parametr specifický hlavně pro výrobce, který uvádí hodnotu topného faktoru u testování TČ ve zkušebně a vychází z klimatických dat. Podmínky při zkouškách jsou ideální, proto v realitě hodnoty SCOP dosáhneme velice zřídka a za určitých podmínek. Do technických listů a katalogů se tak udává hodnota typu 7/35 °C SCOP 4,7, která nám říká, že při venkovní teplotě 7 °C a při ohřevu vody na teplotu 35 °C, bude sezónní topný faktor 4,7. [6]

3.1.5 Bivalence a dimenzování TČ

V souvislosti s tepelnými čerpadly se často setkáváme s pojmem bivalence. Jedná se o druhý (záložní) zdroj tepla, který je provozován současně s TČ při určitých podmínkách. Bivalentní zdroj instalujeme z důvodu úspory energií, kdy TČ není schopné pracovat v určitých podmínkách, nedokážeme z něj dostat dostatečný tepelný výkon nebo jeho provoz by nebyl efektivní. Většina TČ pracují efektivně pouze v určitých klimatických podmínkách a se snižující se teplotou se snižuje jejich účinnost (COP). Při dosažení určité teploty, kterou nazýváme bod bivalence, je tak vhodné sepnout bivalentní zdroj, protože TČ není schopné pracovat samo, nebo by pracovalo méně efektivně. Bod bivalence je dle typů TČ různý, ale obecně platí, že se pohybuje někde mezi -5 °C až -10 °C. [6]

Jako bivalentní zdroj se standardně používá využití elektrické energie ve formě elektrokotle, nebo elektrických topných patron, které mohou být zabudované přímo v jednotce TČ. V tomto případě TČ samo vyhodnocuje situaci a zapíná bivalentní zdroj dle daných podmínek. Je možné samozřejmě využít i jakýkoliv jiný zdroj, například plynový kotel nebo kotel na tuhá paliva. Bivalentní zdroj může také sloužit jako dohřev teplé vody, protože z tepelného čerpadla většinou nedosáhneme (nebo spíše kvůli nízké efektivitě nechceme) teplotu vyšší jak 45 °C. [6]

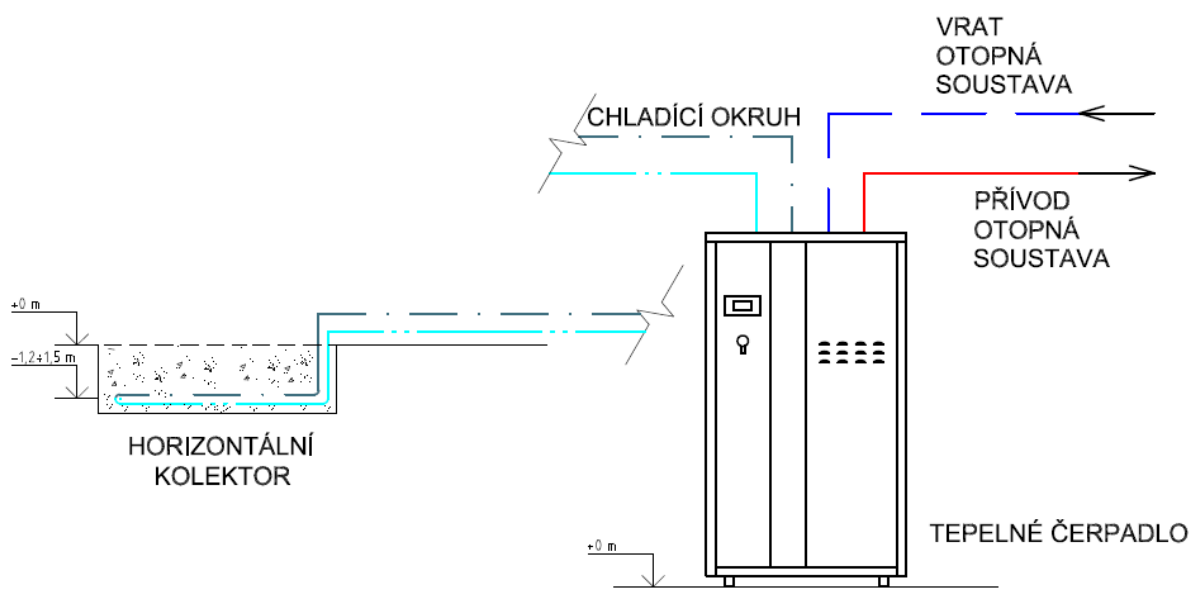
Při návrhu TČ se vychází z tepelných ztrát objektu, případně dalších potřebách tepla. TČ se dimenzuje přibližně na 70–80 % potřebného tepelného výkonu a pro zbytek tepelného výkonu se předpokládá, že pokryje bivalentní zdroj. Prvním důvodem je už několikrát zmíněná efektivnost TČ při nižších klimatických podmínkách a druhý důvod vychází ze samotné informace o tepelných ztrátách, tudíž potřebného tepelného výkonu. Potřebný tepelný výkon je počítán na extrémní klimatické podmínky v dané oblasti, ke kterým dochází pouze pár dní v roce. Není tak nutné kvůli zlomku části roku mít jednotku s vyšším instalovaným výkonem, který by nebyl skoro po celý rok využíván. [6]

3.1.6 Typy TČ dle zdroje nízkopotenciálního tepla

Druhy TČ dělíme dle toho, z jakého zdroje odebíráme teplo. Teplo můžeme odebírat ze vzduchu, půdy, vody nebo v rámci individuálních aplikací i z odpadního tepla z technologií. Název systému TČ vyplývá ze zdroje odebíraného tepla a z média, do kterého se teplo ukládá.

3.1.6.1 Systém TČ země-voda s plošným kolektorem

Tento typ TČ odebrá teplo z půdního prostoru, kde jsou nainstalované plošné kolektory. Zemina nad kolektory má vysoké množství akumulované solární energie a kolektory tuto energii odebírají. Abychom odebrali dostatečné množství energie, je nutné mít plošný kolektor dostatečně rozměrný. Pro představu; u zateplených rodinných domů potřebujeme minimální plochu 150-200 m², u nezateplených až dvojnásobek nebo i více. Plošný kolektor je umístěn v minimální hloubce 1,2-1,5 m. V prostorech, kde vede kolektor není možné uvažovat s žádnou výstavbou ani s výsadbou stromů. Praktické využití tohoto typu je pouze pro menší objekty, protože s většími potřebami tepla by rostly také nároky na plochu, kterou dále nemůžeme plnohodnotně využít. Tento systém odebrá zemině pouze zanedbatelné množství energie, proto není nutné se obávat, že by se zemina nedostatečně zregenerovala a dodávala by menší množství energie. TČ země-voda můžeme považovat za stabilní, dosahuje vyššího topného faktoru a funguje efektivně i za nižších teplot. Investičními náklady se dostáváme někde mezi TČ vzduch-voda a TČ země-voda s horizontálním kolektorem. [9]

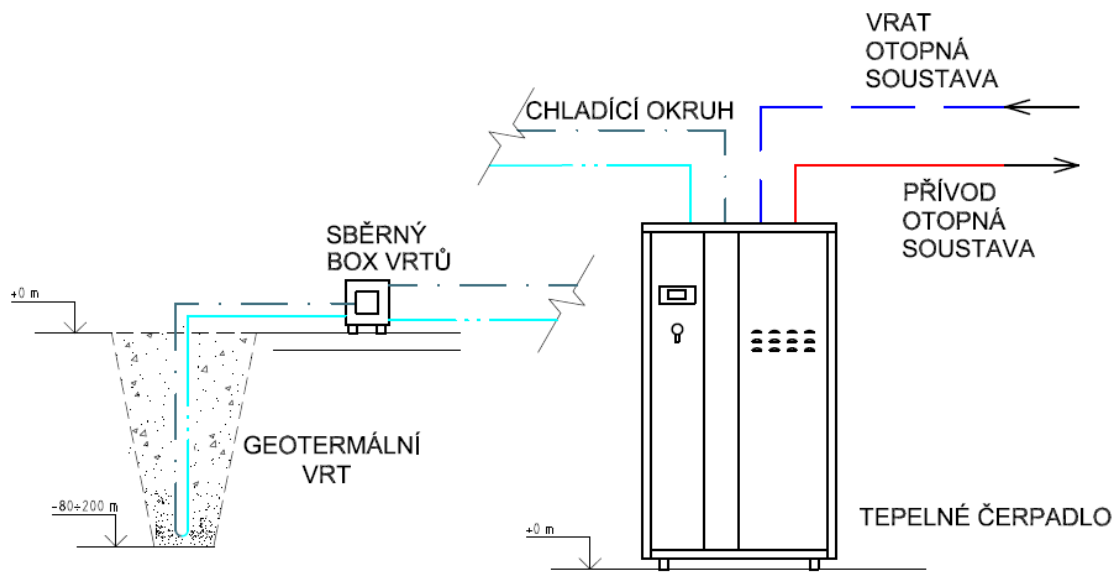


Obrázek 3.1.6.1 TČ země-voda s horizontálním kolektorem

3.1.6.2 Systém TČ země-voda s horizontálním kolektorem

TČ země-voda s využitím horizontálního kolektoru neboli geotermálního vrtu, odebrá energii ze země v hloubce až 80–200 m. Pro zhotovení vrtu je nutné si vypracovat hydrogeologický průzkum, který zhodnotí kvalitu zeminy a dle toho bude navržena hloubka vrtu a počet vrtů (v případě větších energetických požadavků). Vrt lze realizovat kdekoli na pozemku, pokud zrovna nezasahuje do inženýrských sítí nebo jiných zábran v zemině a je možné se k místu vrtání dostat vrtací technikou. U novostaveb a větších objektů je běžné umísťovat vrty pod základovou desku. Pokud instalujeme větší množství vrtů, je potřeba je od sebe umístit v dostatečné vzdálenosti. Přibližně se počítá se vzdálenosti mezi vrty minimálně 0,1 násobek jejich hloubky, tudíž pro vrty hluboké 100 m bychom měli udržovat jejich vzdálenost 10 m. Při nižších vzdálenostech by jednotlivé vrty nebyly tolik efektivní a docházelo by k vytěžování vrtů. Pokud bychom kladly vysoké nároky na výtěžnost vrtů a v rámci letního období by dostatečně nezregenerovaly, jejich množství dodávané energie by každým rokem klesala. Pokud při návrhu vrtů bude zpracován projekt realizační firmou, většinou je v rámci projektové dokumentace simulace chování vrtu v průběhu provozu, která by dle správného návrhu měla zajistit, že vrt bude fungovat v pořádku a nebude vytěžován. [9]

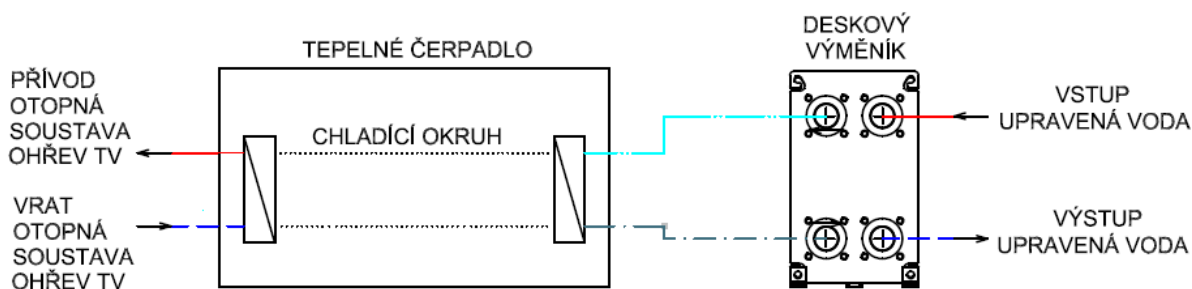
Tenhle systém je možné aplikovat i u větších staveb, kde předpokládáme umístění vrtů pod základovou desku, případně pod přilehlé plochy patřící k objektu. Při správném vytěžování vrtů je to nejstabilnější systém, který je schopen pracovat neohledně na venkovní klimatické podmínky a můžeme z něj efektivně dostat i podstatně vyšší teplotu výstupní vody. Cenou za nejstabilnější systém jsou velice vysoké investiční náklady. Nejdražší položkou je jednoznačně provedení vrtů, kde se počítá přibližně s 1000-1200 Kč za metr hloubky. Další výdaje jdou na samotnou vrtací techniku, vykonanou práci, spojovací materiál, vnitřní jednotku TČ a vypracování projektových dokumentací a hydrogeologického průzkumu. Ve srovnání s ostatními typy TČ, můžeme říct, že investiční náklady jsou 2-3 x vyšší. [9]



Obrázek 3.1.6.2 TČ země-voda s vertikálním kolektorem

3.1.6.3 Systém TČ voda-voda

TČ voda-voda odebírá teplo z povrchových vod (rybník, jezero, přehrada), geotermálních vod ze studen nebo z odpadní vody z konkrétních technologických procesů. Aplikace tohoto typu je proto velice ojedinělá a můžeme si ji dovolit, pokud celoročně stálý zdroj vody k dispozici máme. Návrh těchto systémů může být dle typu zdroje tepla velice odlišný, proto je vhodné si nechat vypracovat projektovou dokumentaci pro správnou funkčnost. Je kladen důraz především na kvalitu úpravy primární vody, stálý průtok a stálou teplotu zdroje. Při využití dosáhneme vyšších hodnot topného faktoru a v některých případech nás neovlivňují venkovní klimatické podmínky. Investiční náklady jsou velice variabilní a jsou závislé na typu a náročnosti instalace primárního zdroje. [9]

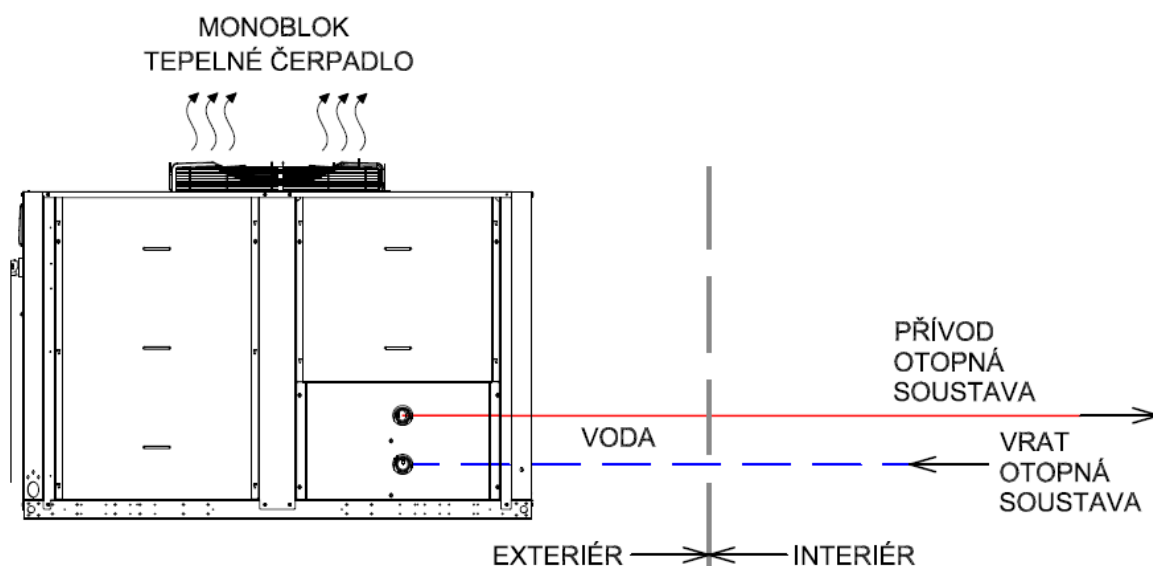


Obrázek 3.1.6.3 TČ voda-voda

3.1.6.4 Systém TČ vzduch-voda

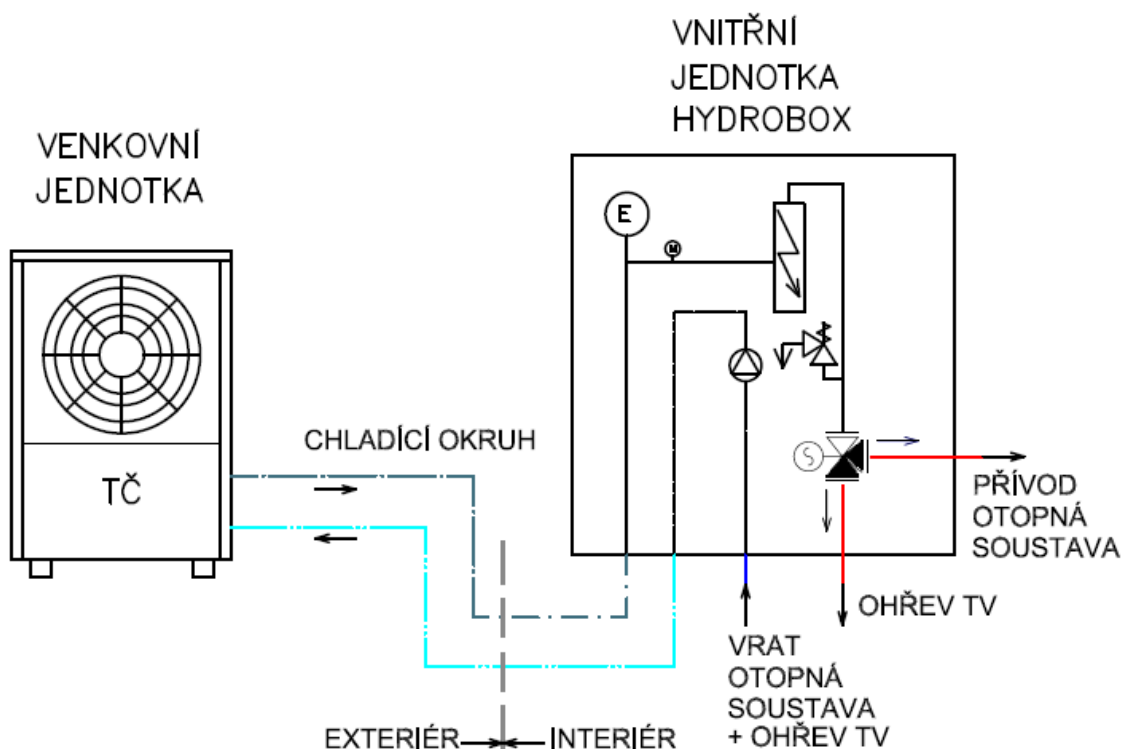
Vzduchové TČ odebírá teplo z nejdostupnějšího zdroje – vzduchu. Venkovní vzduch do výparníku pohání ventilátor umístění ve venkovní jednotce. Jedná se o nejkonzervativnější řešení, protože jeho instalace je nenáročná bez nároků na velikost pozemku a z ostatních systému TČ je investičně nejlevnější. Od vzduchového TČ očekáváme nižší topný faktor z důvodu větší spotřeby elektřiny a převážně kvůli nižšímu bodu bivalence. Teplo ze vzduchu je přímo ovlivněné klimatickými podmínkami a při nízkých teplotách jsme schopni odebrat menší množství tepelné energie. [9]

TČ vzduch-voda může být v monoblokovém provedení, kdy součástí je pouze venkovní jednotka a základní komponenty (výparník, kompresor, kondenzátor, expanzní ventil). To je dále přímo napojeno na otopnou soustavu. Monoblok je jednoduchý na instalaci, ale s vnitřním systémem je propojený vodou, což v případě výpadku delšího elektřiny hrozí poškození, či úplné vyřazení jednotky z provozu. Součástí monoblokového provedení není integrovaný zásobník TV a také případné topné tyče. [9]



Obrázek 3.1.6.4 (1) TČ vzduch-voda v monoblokovém provedení

Další provedení TČ vzduch-voda je splitové. Jedná se o propojení dvou jednotek, jedna venkovní a druhá vnitřní. Ve venkovním okruhu obíhá chladivo, což znamená náročnější instalaci. Při instalaci se pracuje s chladivem a je potřeba aby dílo provedl člověk s chladírenskými certifikacemi. Dále jsou nutné každoroční prohlídky chladírenskou firmou. Výhodou však může být to, že při výpadku elektřiny chladivo nezamrzne, nebo je možné vést podstatně delší trasu ke vnitřní jednotce než v případě monobloku. Vnitřní jednotka je většinou rozměrnější, protože obsahuje deskový výměník a může obsahovat ostatní integrované komponenty (zásobník TV, topná tyč/ malý elektrokotel), které už budou vzájemně propojeny a budou pracovat. [9]



Obrázek 3.1.6.4 (2) TČ vzduch-voda ve splitovém provedení

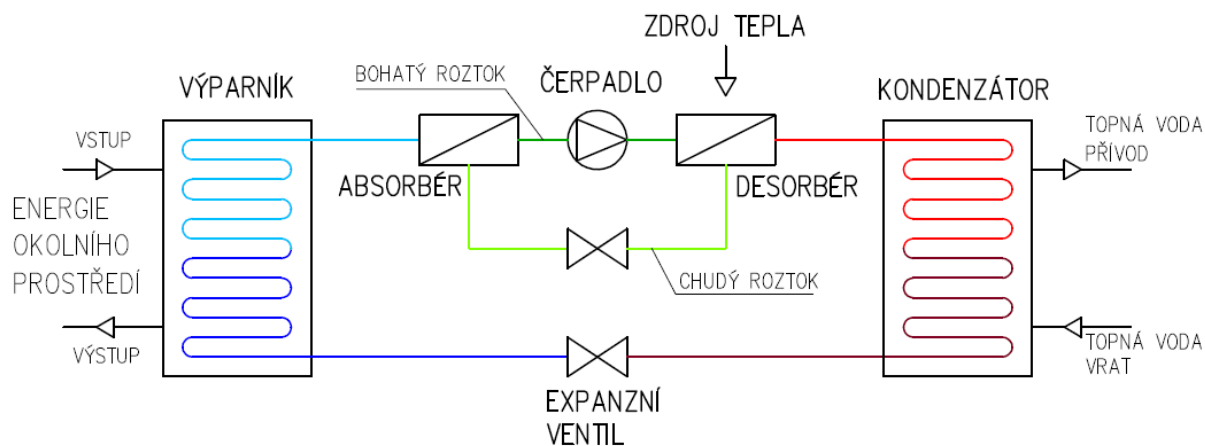
3.1.6.5 Systém TČ vzduch-vzduch

TČ vzduch-vzduch opět odebírá teplo ze vzduchu, ale na rozdíl od ostatních typů jej neukládá do vody, ale přímo do interiérového prostředí jako zahřátý vzduch. TČ tak pomocí teplovzdušných jednotek místnosti ohřívá. Tento systém je velice jednoduchý a jedná se pouze o propojení venkovní a vnitřních jednotek. V tomhle případě je snaha o co nejméně vnitřních jednotek, tudíž menší počet vytápěných místností, proto je to systém vhodný do menších objektů, či rodinných domů. Tímto typem TČ nejsme schopni ohřát teplou vodu, a proto je nutné ohřev TV řešit nějakým jiným zdrojem. Až na zmíněné nedostatky se však jedná o velice efektivní a investičně nejlevnější typ TČ. [9]

3.1.7 Absorpční tepelné čerpadlo

Alternativa kompresorového TČ je absorpční, které místo kompresoru využívá absorpčního děje. Elektrina je v tomhle případě využita pouze pro pohon čerpadla bohatého roztoku. Dále potřebujeme zdroj tepla, který nám bude z desorbéru uvolňovat chladivo. Nejčastěji se setkáme s plynem jakožto zdrojem tepla, proto se můžeme setkat s i označením absorpční plynová tepelná čerpadla. [10]

Principiálně opět odebíráme teplo z venkovního prostředí, které vstupuje do výparníku, kde se vzniklá pára chladiva o nízkém tlaku dostává do absorbérů. Plynné chladivo se rozpustí a je rozpuštěno v roztoku absorpčního činidla. Bohatý nasycený roztok je čerpadlem přečerpán na vyšší tlakovou úroveň do desorbéru. Do desorbéru nám vstupuje teplo dodávané z cizího zdroje, které chladivo vyseparuje z nasyceného roztoku a chladivo dále pokračuje do kondenzátoru, kde kondenzuje za vysokého tlaku a teploty. Chladivo předá teplo otopnému systému a dále pokračuje přes škrtkovací ventil zpět do výparníku a proces se opakuje. [10]



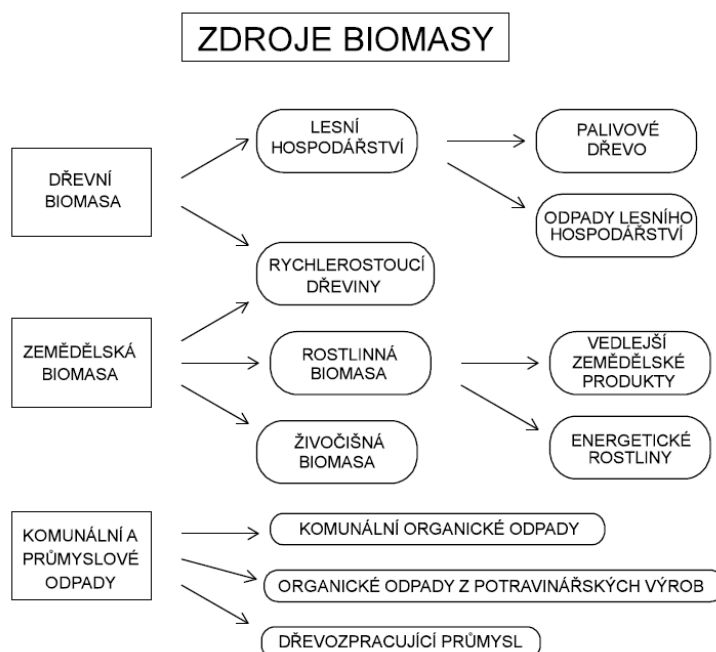
Obrázek 3.1.7 Princip absorpčního TČ

Využití absorpčních tepelných čerpadel je v současnosti velice minimální a není očekávaný větší rozvoj. Od klasického plynového zdroje tepla se pomalu opouští a kompresorová čerpadla budou pro menší aplikace vycházet investičně i efektivně lépe. Větší smysl by absorpční TČ mohla mít v průmyslových provozech, kde bychom byli schopni využít teplo pro desorbci z technologických procesů například pomocí spalín, páry nebo teplé vody.

3.2 Biomasa

Pod pojmem biomasa si z energetického hlediska představíme veškerý materiál rostlinného nebo živočišného původu, které dále lze energeticky využít, nebo ho použít jako palivo. Biomasa je charakterizována jako obnovitelný zdroj energie, který je CO₂ neutrální. To znamená, že při správném spalování dochází k stejnému množství úniku CO₂, jako bylo při jejím růstu získáno. Přesná bilance však závisí na druhu biomasy, délky růstu, ale nesmíme zapomenout i na samotnou distribuci a dopravu. [11]

Biomasaou jsme schopni pokrýt pouze určité procento celkových světových potřeb tepla/elektriny, protože její množství je závislé na prostorových a časových požadavcích.



Obrázek 3.2 Zdroje biomasy

3.2.1 Pevná biomasa

Pro energetické zemědělství se stále navrhuje a testuje řada plodin. Biomasu pěstujeme cíleně nebo využíváme biomasový odpad z různých druhů procesů. Mezi cílenou nejpoužívanější pevnou biomasu patří jednoznačně dřeviny a dále pak travnaté plodiny, škrobnaté plodiny a olejniny. Obecně platí, že ideální energetická plodina má vysoký výnos (maximální produkce sušiny na plochu), nízkou energetickou náročnost produkce, nízké náklady, složení s minimálním množstvím kontaminujících látek a nízké nároky na živiny. Důležité jsou samozřejmě místní klimatické a půdní podmínky. U samotného materiálu pak pozorujeme vlastnosti: výhřevnost, obsah vlhkosti, podíl pevného uhlíku a těkavých látek, obsah popela a zbytků, obsah alkalických kovů, poměr celulózy a ligninu a objemovou hmotnost. [11]

Dřeviny sklízíme jako pokácené dřevo a v závislosti na následnou technologii energetického zpracování se řežou na určitou délku nebo se štěpkují. Bylinné druhy rostlin se sklízí, pokud je to možné, v balících, nebo jako semena/zrna. Vhodným zpracováním pak dosáhneme nižší energetické hustoty a snižují se nám náklady na dopravu. [11]

Tabulka 3.2.1 Energetické výnosy vybraných druhů biomasy [11]

Druh biomasy	Výnos plodiny [Dmt/ha]	Výhřevnost [MJ/kg] v sušině	Energetický výnos [GJ/ha]
Pšenice	14	12,3	123
Topol	10-15	17,3	173-259
Vrbový porost	10-15	18,7	187-280
Proso	8	17,4	139
Miscanthus	12-30	18,5	222-555

Pevnou biomasu můžeme spalovat rovnou v surovém stavu, nebo může samotná biomasa projít specifickými termochemickými přeměnami, které zlepšují její vlastnosti, konkrétně pyrolýza, zplyňování nebo torefakce.

V případě využití biomasy jako zdroj tepla pro naši řešenou problematiku nás zajímá konečný produkt. Konečným produktem může být biomasa ve formě surového dřeva, peletách, briketách nebo ve formě dřevní štěpky.

3.2.2 Plynná a kapalná biomasa

V určitých případech je vhodnější nebo nutné zpracovat biologický materiál do plynného nebo kapalného skupenství. Zpracování probíhá biochemickou konverzí. Prvním procesem je fermentace. Biomasa se rozmělní a škrob se pomocí enzymů přemění na cukry. Kvasinky pak cukry přemění na etanol, což je výsledný produkt. Z fermentačního procesu odchází i pevný zbytek, který dále můžeme využít jako palivo. [12]

Druhým procesem je anaerobní rozklad. Organický materiál rozkládáme na plyn, který je tvořen směsí methanu, oxidu uhličitého a malým množstvím dalších různých plynů. Biomasu přeměňují bakterie v anaerobním prostředí a vzniká z toho plyn s přibližným energetickým obsahem 60-80 % výhřevnosti vstupní suroviny. Anaerobní rozklad je vhodný pro organické materiály s vysokým obsahem vlhkosti (až 80-90 %). [12]

Využití bioplynu a etanolu je primárně využíváno ve velké energetice (elektrárny, teplárny, spalovny) a pro naši problematiku zabývající se malými energetickými objekty, nemá efektivní využití.

3.3 Kogenerace

Kogenerace neboli kombinovaná výroba elektřiny a tepla (dále jen KVET), nám umožňuje současnou výrobu elektrické a tepelné energie. Při samostatné výrobě elektrické

energie vzniká teplo, které dále nemá využití a uniká do prostředí. Kogenerační jednotky (dále jen KGJ) slouží k výrobě elektřiny a vzniklé teplo zužitkovávají. Tím dosahují využití energie obsažené v palivu až nad 80 %.

3.3.1 Kogenerace s vysokým výkonovým rozsahem

Kogenerace zvyšuje svůj potenciál s rostoucím výkonovým rozsahem. Majoritní využití kogenerace je v teplárenství. Teplárny zásobují objekty elektrickou energií a teplem po celý rok a jejich výkonové rozsahy se mohou pohybovat až v řádech stovek MW. Další smysluplné využití může být ve větších objektech, které jsou náročné na spotřebu energie tepla, například průmyslové a zemědělské haly, technologické haly, větší bytové jednotky nebo třeba zdravotnická zařízení. V případě těchto větších aplikací KGJ převládá jako tepelný stroj parní, protitlaková a kondenzační turbína. V rámci pilotních projektů je využití palivového článku. Jako palivo do KGJ můžeme využít palivo jakéhokoliv typu. Samozřejmě je tady snaha u využití zdrojů obnovitelných (biomasa, biopaliva), ale využití paliv fosilních je při kombinované výrobě elektřiny a tepla podstatně šetrnější, efektivnější a úspornější než při výrobě oddělené. [13]

3.3.2 Kogenerace s nízkým výkonovým rozsahem

Kogeneraci můžeme aplikovat i na menší objekty, ale tam při nedostatečném využití elektrické energie nebo tepla KGJ postrádá smysl. V tomhle případě je vhodné zajistit odkup elektrické energie do sítě, nebo využívat KGJ jako záložní zdroj. Méně výkonnější jednotky používají jako tepelný stroj spalovací motor na plynná paliva. Palivovou základnou může pak být jakékoliv plynné palivo. KGJ bývají investičně velice nákladné a jejich využití v malém rozměru zatím nemá větší potenciál. [13]

3.3.3 Trigenerace

Specifickým druhem kogenerace je trigenerace. Kromě kombinované výroby elektřiny a tepla vyrábíme také chlad pomocí absorpčního oběhu. Vyrobené teplo využijeme při absorpčním cyklu při ohřevu v desorbéru. Tam způsobí desorbci a dochází k uvolnění par chladiva z roztoku. Využití trigenerace je stále velice ojedinělé a specifické. Pokud však najdeme optimální využití veškeré vyrobené elektrické energie, tepla a chladu, bude energetická účinnost vysoká.

3.3.4 Hodnocení kombinované výroby elektřiny a tepla

Abychom byli schopni vyhodnotit efektivitu KVVET, zavádíme určité charakteristické parametry.

Srovnání účinnosti oddělené výroby a kombinované výroby

Pro dokonalé srovnání musíme vycházet z předpokladu, že veškerá vyrobená elektrická energie a teplo budou spotřebovány. [13]

$$n_E = \frac{E}{Q_E} \quad [-] \quad (2)$$

kde:

n_E účinnost výroby elektrické energie [-]

E množství vyrobené energie [GJ]

Q_E teplo dodané v palivu [GJ]

$$n_T = \frac{Q_D}{Q_{pal}} \quad [-] \quad (3)$$

kde:

n_T účinnost výroby tepla [-]
 Q_D množství vyrobeného tepla [GJ]
 Q_{pal} teplo dodané v palivu [GJ]

$$n_{KVET} = \frac{E+Q_D}{Q_{pal}} \quad [-] \quad (4)$$

kde:

n_{KVET} účinnost výroby elektrické energie a tepla [-]
 E množství vyrobené energie [GJ]
 Q_D množství vyrobeného tepla [GJ]
 Q_{pal} teplo dodané v palivu [GJ]

Úsporu palivu při kombinované výrobě pak můžeme porovnat dle vztahu:

$$\Delta Q = \frac{E}{n_E} + \frac{Q_D}{n_T} - \frac{E+Q_D}{n_{KVET}} \quad [-] \quad (5)$$

kde:

ΔQ úspora paliva při kombinované výrobě [GJ]

Teplárenský modul

Pro hodnocení KGJ dle jejich poměru vyrobené elektrické energie a tepla byl zaveden tzv. teplárenský modul. [13]

$$e = \frac{E}{Q_D} \quad [-] \quad (6)$$

kde:

e teplárenský modul [-]

Teplárenský modul je závislý na typu a konstrukci energetického zařízení, na množství vyrobené elektrické energie a tepla. U moderních zařízení je snaha o maximalizaci teplárenského modulu, tudíž větší množství vyrobené energie na menší množství vyrobeného tepla.

Tabulka 3.3.4 Charakteristické vlastnosti základních druhů kogeneračního zařízení [13]

Typ energetického zařízení	Palivová základna	Teplárenský modul e
Parní turbína rovnotlaká	Zemní plyn, uhlí, biomasa, odpad	0,12 – 0,18
Parní turbína kondenzační	Zemní plyn, lehký topný olej	0,2 – 0,43
Plynová turbína	Zemní plyn, lehký topný olej	0,4 – 0,9
Paroplynová turbína	Zemní plyn, lehký topný olej	0,8 – 1,2
Spalovací motor	Zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn	0,5 – 1,1

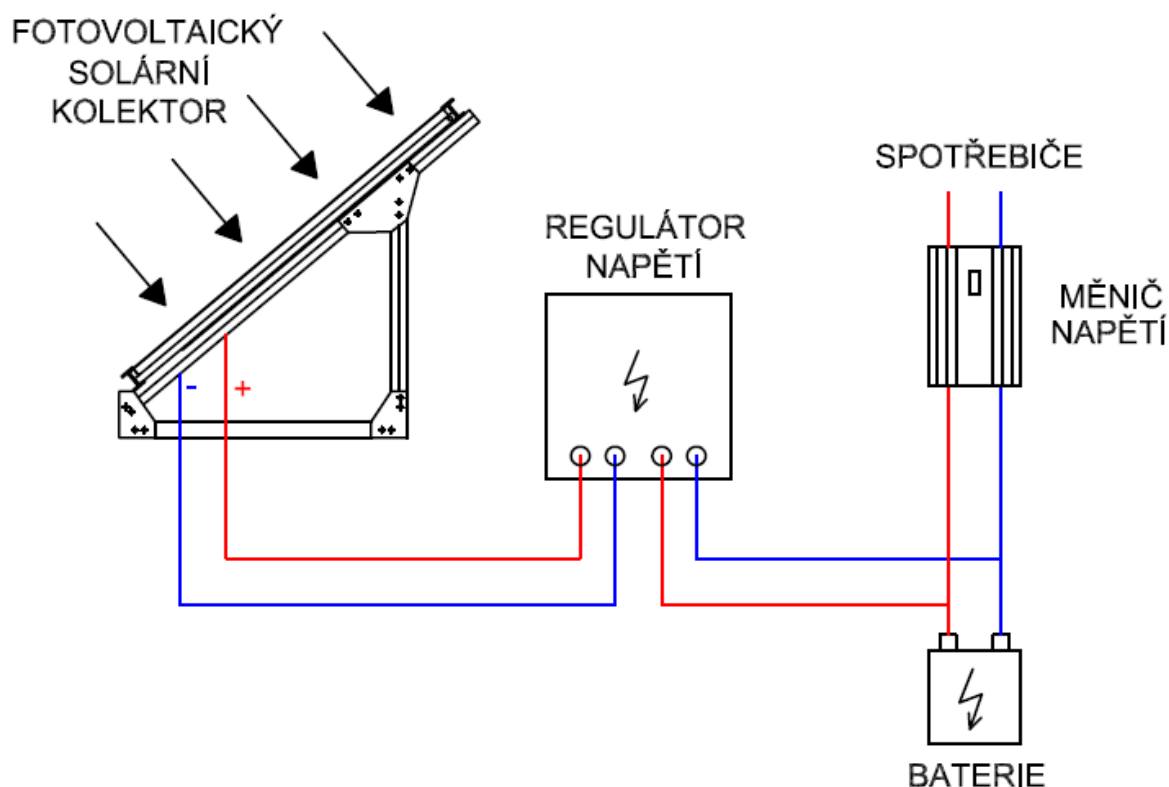
3.4 Využití solární energie

Nejdostupnější zdroj energie je bezesporu solární energie. Její množství je neomezené, ale stále jsme schopni využít pouze zlomek sluneční energie, která na zemský povrch dopadne. Energii ze slunce získáváme pomocí solárních kolektorů, které solární energii absorbují a transformují ji na elektrickou nebo tepelnou energii. Množství odebrané solární energie kolektorem je závislé pouze na jeho ploše (s výjimkou kvality materiálu kolektoru), takže je snaha zastavět kolektory co největší plochu. Samotné kolektory mají určitou životnost a je nutné počítat se snižujícím se výkonem po několika letech životnosti. Solární kolektory umísťujeme na jižní stranu, ideálně ve sklonu 35–45 °. Důležité také je, aby kolektorům nějakým způsobem nestínily nebo nebránily další objekty v okolí. Efektivita solárních kolektorů je závislá jen a pouze na délce a intenzitě slunečního záření a musíme proto i přizpůsobit její využití. V letních měsících jsme schopni využít z kolektorů maximum, kdežto v zimě nám budou zajišťovat pouze poloviční až třetinovou výrobu. [14]

V naší problematice se solárními kolektory snažíme pouze doplnit stávající systém o doplňkový zdroj energie, který by nám měl pomoci ke zvýšení podílu OZE, tím plynoucí nižší emise CO₂, a nižší spotřebu elektrické energie odebírané ze sítě, či vyrobeného tepla z primárního zdroje. Využití solární energie prozatím nemůžeme brát jako plnohodnotné, proto k tomu tak musíme při investici a provozu přistupovat. Při pořizování tak hlavní roli bude mít návratnost investice a využitelnost získané energie. Vyrobenou energii chceme ideálně ihned spotřebovat nebo akumulovat do baterií. Další možností je poté posílat vyrobenou energii do sítě za výkupní cenu.

3.4.1 Fotovoltaika

Fotovoltaický systém funguje na základě fotovoltaických článků. Ty umožňují přímou přeměnu slunečního záření na elektrický proud. Elektrickou energii pak přímo využíváme pro konkrétní technologie, posíláme ji do sítě nebo ji akumulujeme v bateriích. Účinnost systému je poměrně nízká, ale jeho využití je různorodé. [14]



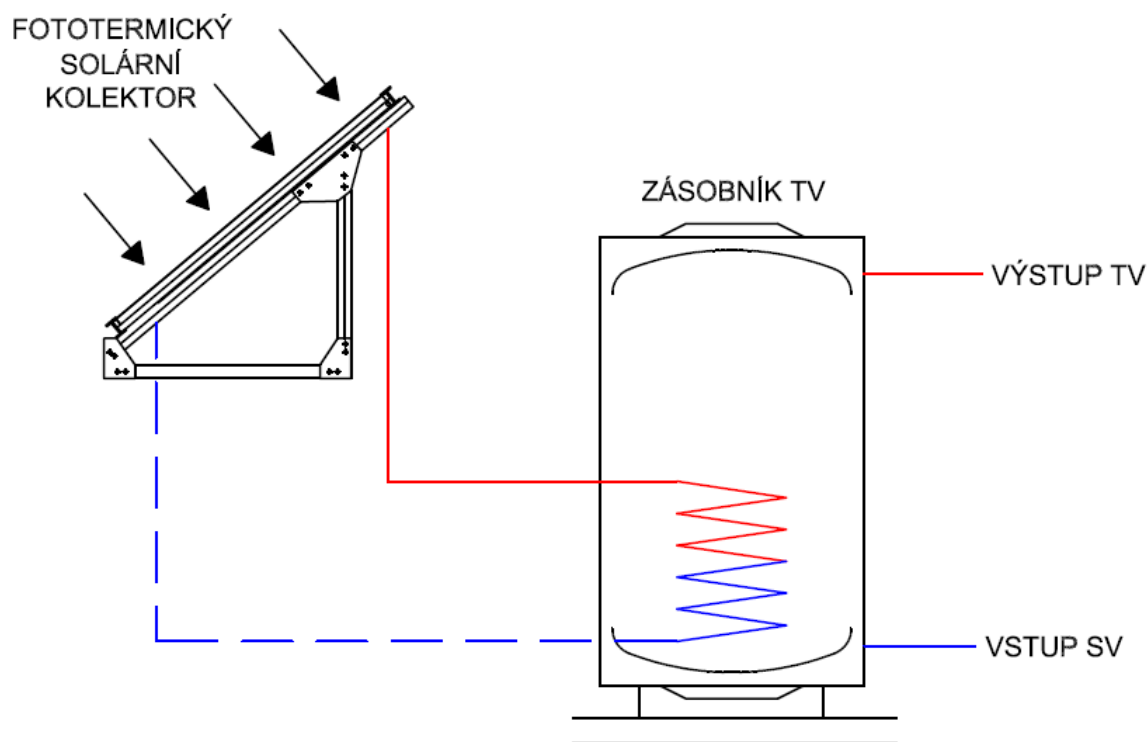
Obrázek 3.4.1 Schéma fotovoltaického systému

Tabulka 3.4.1 Vlastnosti fotovoltaických panelů [15]

Vlastnost	Hodnota
Účinnost systému (přeměny)	10–20 %
Životnost kolektoru	Přibližně 10 % každých 10 let
Potřebná plocha pro 1kW výkonu	5,5 – 6,5 m ²
Zatížení střechy na m ² aktivní plochy	12 kg
Zatížení střechy na 1 kW výkonu	80 kg

3.4.2 Fototermika

Fototermický systém transformuje sluneční záření přímo na tepelnou energii. Tepelnou energii předává kapalině, která je využita pro ohřev. Největší uplatnění má pro ohřev teplé vody, kdy v letních měsících jsme schopni pokrýt většinu potřeby. Přeměna slunečního záření na tepelnou energii je podstatně účinnější než přeměna slunečního záření na elektrický proud, proto pro samotný ohřev je vhodnější právě fototermika. [14]



Obrázek 3.4.2 Schéma fototermického systému

Tabulka 3.4.2 Vlastnosti fototermických panelů [15]

Vlastnost	Hodnota
Účinnost systému (přeměny)	35–45 %
Životnost kolektoru	25 let bez výrazné snížení účinnosti
Potřebná plocha pro 1kW výkonu	1,5 – 2,0 m ²
Zatížení střechy na m ² aktivní plochy	25 kg
Zatížení střechy na 1 kW výkonu	50 kg

3.5 Snížování tepelných ztrát

Dosud jsme si popsali zdroje, které nám pomohou snížit energetickou náročnost systému, snížit provozní náklady nebo snížit emise CO₂. Velikost spotřeby však závisí na potřebách tepelné a elektrické energie objektu a tu jsme schopni snižovat zlepšením stavební obálky budovy. V minulém století nebyly kladeny na obálku budovy žádné, nebo velice mírné požadavky a stavěly se budovy bez izolačních materiálů a výplně otvorů nebyly dostatečně zatěsněné, tudíž docházelo k razantním tepelným únikům. Samotné provozní náklady na vytápění tehdy běžně dosahovaly přes 50 % (i mnohem více) veškerých provozních nákladů. Už při základním zateplení objektu snižujeme potřebu tepla několikanásobně a v případě extrému, pasivních domů, je potřeba tepla skoro zanedbatelná. Potřeba elektrické energie se naopak stále zvyšuje, z důvodu komfortu, nových technologií a vyšších nároků na spotřebiče.

V téhle kapitole si představíme základní druhy izolačních materiálů, jejich vlastnosti a aplikaci. Zmíněné izolační materiály samozřejmě najdou využití v ostatních aplikacích (izolace potrubí, technologie a další specifické aplikace), ale nás bude zajímat především zateplení stavební obálky objektů.

3.5.1 Požadavky na izolační materiály

Na izolační materiály klademe několik požadavků. Kromě tepelných vlastností musí být uplatnitelné za různých druhů provozu, musí odolávat požárům a zajistit tlumení šířeného zvuku.

Hlavní vlastností je součinitel tepelné vodivosti λ [$W/m \cdot K$], což je charakteristika materiálu, která vyjadřuje, jak je materiál schopen vést teplo. Tepelnou vodivost ovlivňuje hutnost, teplota, poréznost a struktura vláken. Od izolačních materiálu vyžadujeme, aby tepelný tok minimalizovaly a uchovávaly teplo za izolační vrstvou. Materiál lépe tepelně izoluje s nižším součinitelem tepelné vodivosti. Hodnota součinitele tepelné vodivosti současných běžných materiálu se pohybuje kolem $\lambda = 0,030 - 0,045$ [$W/m \cdot K$]. [16]

Další podstatná vlastnost je měrná tepelná kapacita c [$J/kg^{-1} \cdot K$], která vyjadřuje množství tepla potřebné k tomu, aby se teplota materiálu o hmotnosti 1 kg změnila o 1 K (°C). S vyšší měrnou tepelnou kapacitou si materiál lépe uchovává přijaté teplo a ke změně teploty je potřeba většího množství tepla. Materiál tak má lepší akumulaci schopnosti a dokáže udržovat rovnoměrnější teplotu v objektu i přes výraznější teplotní rozdíly ve venkovním prostředí. [16]

Bezrozměrná veličina nazývaná faktor difúzního odporu μ [–] vyjadřuje, jak silnému tlaku vodní páry materiál odolá, než dojde k šíření páry v materiálu. Veličina se porovnává s nehybnou vrstvou vzduchu, pro kterou platí $\mu = 1$. Izolační materiály s nízkou hodnotou faktoru difúzního odporu se označují jako difúzně otevřené a umožňují vodní páře a plynům snazší průnik skrze konstrukci. Materiály s vysokou hodnotou faktoru difúzního odporu průnik vlhkosti zamezují a ta se více koncentruje v objektu. Při použití několika vrstev izolačních materiálu je nutná dbát na to, aby faktor difúzního odporu jednotlivých vrstev nevzrůstal směrem od interiéru, protože by mohlo docházet k akumulaci vodních par v izolantu a následnému odpařování skrze omítkovou vrstvu. [16]

Ostatní vlastnosti nesouvisí se samotnou izolační schopností, ale charakterizují materiál z hlediska aplikace a konkrétních požadavků na materiál. [16]

První takovou vlastností je třída reakce na oheň. Materiál je hodnocen z hlediska zápalnosti, šíření plamene a uvolňování tepla při hoření materiálu. Materiály se dělí do několika tříd, kde některé výrazně nepřispívají k dalšímu šíření plně rozvinutého požáru a na opačné straně materiály, které odolávají pouze působení malého plamene po krátký časový interval bez významného rozšíření plamene. [16]

Další vlastností je rozměrová stabilita. Ta nám popisuje chování materiálu v čase za proměnlivých vlhkostních a teplotních podmínek. Konkrétně se jedná o změnu původní

velikosti, kdy by při smrštění či nafouknutí materiálu mohly vznikat například neizolované dutiny. [16]

Od izolací očekáváme i omezování šíření zvuku z venkovního prostředí do objektu a naopak. Zvuk se může šířit přes konstrukce vzduchem, kmitáním nebo netěsnostmi v konstrukci. Popisovanou vlastnost nazýváme neprůzvučnost $R_w[dB]$. [16]

3.5.2 Běžné používané izolační materiály

Z existujících materiálů si specifikujeme takové, které jsou dostupné, mají široké využití, mají vhodné izolační vlastnosti a jsou finančně nenáročné.

3.5.2.1 Minerální vlna

Minerální vlnu tvoří umělá minerální vlákna v čedičové (kamenné) nebo skelné podobě. Hlavní složkou čedičové vlny tvoří čedič, žula, dolomit a vápenec. Skelná vata je tvořena borosilikátovým sklem. [17]

Využití minerální vlny je velice rozsáhlé. Ve formě izolačních desek je možné zateplit veškeré vnější i vnitřní lehké stavební konstrukce, nenosné stěny nebo jako výplňový materiál dřevostaveb. Další využití může být pro vnitřní izolaci podlah a stropů. [17]

Minerální vlna má vynikající technické a tepelně izolační schopnosti, její teplotní vodivost se pohybuje v hodnotách $\lambda = 0,030 - 0,040 [W/m \cdot K]$. Svými schopnostmi odpuzuje vodu a je vhodná do prostorů s vysokou relativní vlhkostí. Dobře pohlcuje zvuk a zlepšuje akustiku v interiéru. Minerální vata je nehořlavá a nepřispívá k šíření požáru. [17]



Obrázek 3.5.2.1 Minerální vata značky Isover [18]

3.5.2.2 Organicko-syntetické materiály

Jedná se o materiály na bázi ropy, které se vyrábějí ve velkém množství. Konkrétní produkty pak jsou: EPS – expandovaný polystyrén, XPS – extrudovaný polystyrén a PUR – polyuretanová pěna. Jsou snadno zpracovatelné, ale jejich původ je z fosilních paliv a výroba se skládá z několika technologických fází, které jsou náročné na primární energii. [17]

Primární využití polystyrénu je opět pro vnější zateplení stavebních konstrukcí (stěny i střechy). Vhodné řešení je i zateplení částí, kde se zemina dostává do styku se základovými deskami. [17]

Polystyrény jsou jedny z nejpoužívanějších a nejlevnějších tepelných izolací na trhu. Tepelně izolační hodnoty se opět pohybují v hodnotách $\lambda = 0,030 - 0,045 [W/m \cdot K]$. Polystyrény jsou vysoce hořlavé, proto se používají pouze v případech, kdy nejsou vyžadovány přísnější požární požadavky. U EPS hrozí nasákavost a může docházet k stárnutí materiálu a ztrátě požadovaných vlastností. [17]



Obrázek 3.5.2.2 EPS izolace značky Isover [19]

3.5.3 Alternativní izolační materiály

Za zmínku stojí také materiály, které nejsou zdaleka tak využívané, ale najdou si své specifické řešení. Většinou jsou spojeny s lepšími vlastnostmi, ale za cenu vysokých nákladů a náročné výroby. V opačném případě už svými vlastnosti nedosahují požadované kvality a nenajdou rozsáhlé uplatnění.

3.5.3.1 Dřevovláknitá izolace

Dřevovláknité desky jsou vyráběny z dřevních zbytků, které se následně lisují za sucha nebo mokra do tvaru desek. Při suchém zpracování se přidává jako vázací pojivo polyuretanová pryskyřice nebo umělá vlákna s biologickými složkami. Mokré zpracování uvolňuje z dřevních částí lignin, který materiál dostatečně zacetlí. [17]

Dřevovláknité desky mají z důvodu paropropustnosti největší uplatnění u difuzně otevřených konstrukcí, například u dřevostaveb. Jejich využití je možné pro zateplení veškerých stavebních konstrukcí nebo jako izolace proti kročejovému hluku. [17]

Součinitel tepelné vodivosti je vyšší a dosahuje hodnot $\lambda = 0,040 - 0,060 [W/m \cdot K]$. Důležitou vlastností je zmíněná paropropustnost a také dobrá schopnost kumulovat tepelnou energii a lépe reagovat na venkovní výkyvy teplot. Z environmentálního hlediska je určitě výhodou i jejich původ z obnovitelného zdroje, ze kterého je odebírán jako odpad. [17]



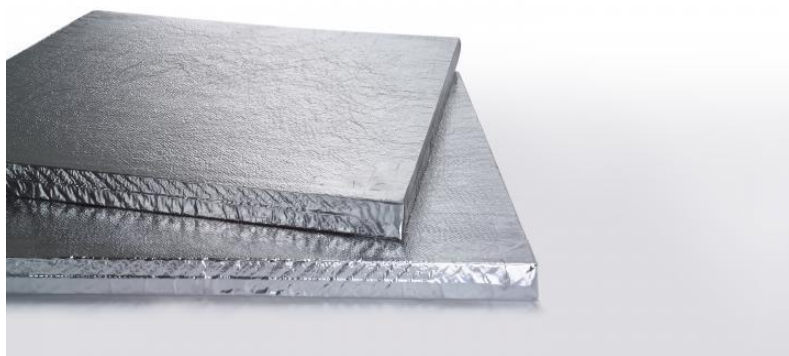
Obrázek 3.5.3.1 Dřevovláknitá izolace [20]

3.5.3.2 Vakuová izolace

Jedná se o izolační materiály využívající vakuum. Mají velice vysokou izolační schopnost a ve srovnání s ostatními materiály mají přibližně pětinou tloušťku. Výroba izolací je z porézního materiálu, například pyrogenní oxid křemičitý, z jehož pórů je odčerpáván vzduch. Materiál je obalen fólií z PVC, která samotné odsání vzduchu z pórů umožňuje. Díky hermetickému utěsnění otvoru pro odsávání nedochází k zpětnému vniku vzduchu zpět do desky. Výroba je velice finančně a energeticky náročná. [17]

Využití vakuových izolací je velice specifické a najde uplatnění v různých průmyslových objektech, chladárnách nebo rezidenčních objektech. Z důvodu své nízké tloušťky je můžeme využít všude, kde potřebujeme zachovat nižší úroveň stropů/podlah. Další uplatnění je u izolace otvorů, kde jsou vyráběné speciální okenní a dveřní panely. [17]

Svémi izolačními vlastnosti $\lambda = 0,007 - 0,008 [W/m \cdot K]$ dosahují těch nejlepších hodnot, kterých v současnosti můžeme dostat. Při montáži a zacházení s materiálem musí být dbáno na velkou obezřetnost. Materiál nesmí být v žádném případě při jejich montáži a při provozu poškozen, jinak ztrácí podstatu svého využití. Izolační desky musí být vyrobené a montované velice přesně, aby izolační účinek pokrýval celou plochu. Ve vakuových izolacích je určitě vize budoucnosti, pokud budou cenově dostupnější a jejich montáže budou jednodušší a více přizpůsobitelné na míru. [17]



Obrázek 3.5.3.2 Vakuová izolace [21]

3.5.3.3 Izolační materiály z rostlinných surovin

Poslední materiály za zmínku jsou původem rostlinného původu. Materiály už nejsou využívané vůbec, nebo jejich uplatnění je minimální.

Jedním z prvních historických izolačních materiálů byla sláma. Ve formě slaměných balíků dosahují dostatečných tepelně izolačních vlastností. Největším problémem je vlhkost, která dokáže materiál poškodit nebo může docházet ke vzniku plísní. Její hodnota tepelné vodivosti se pohybuje $\lambda = 0,045 - 0,080 [W/m \cdot K]$, je s ní spojeno větší množství práce, aplikace je náročnější než u ostatních izolačních materiálů, ale cena je velice příznivá. [17]

Zajímavý alternativní materiál je konopí. Izolace jsou vyráběné z technického konopí, které má velmi rychlou obnovitelnost. Roste mnohem rychleji než dřevo a nevyžaduje žádnou větší péči. Konečný výrobek lze považovat za zcela ekologický. Z technického konopí jsou vyráběny izolační desky a jejich tepelná vodivost je $\lambda = 0,035 - 0,050 [W/m \cdot K]$. Desky

jsou dobře propustné pro vodu a vykazují větší ohnivzdornost. Dalším využitím je například konopná foukaná izolace pro izolaci těžce přístupných míst. [17]

Z recyklovaného papíru můžeme vyrobit celulóзовě izolační materiál. S recyklovaným papírem se vlákna promísí s chemickými přísadami, například sloučeninami bóru. Součinitel tepelné vodivosti je $\lambda = 0,040 - 0,045 [W/m \cdot K]$. Využití je ve formě desek, nebo jako běžně používaná celulóзовá drť a ucpávková papírová vlna. [17]

3.6 Rekuperace vzduchu

Rekuperace neboli zpětné získávání jakékoliv formy energie je podstatným energetickým procesem, který je využíván v řadě technických odvětví a aplikací. V téhle práci se zaměříme hlavně na zpětné získávání tepla z odváděného vzduchu. Větrání hraje velkou roli z hlediska energetických bilancí a pro dosažení hygienických požadavků dochází k odvodu tepla z objektu formou přirozeného větrání okny, nebo formou nuceného větrání s využitím vzduchotechnických rozvodů a jednotek. Systém nuceného větrání už existuje řadu let, ale jeho větší potenciál se začal uplatňovat až s využitím rekuperačních výměníků.

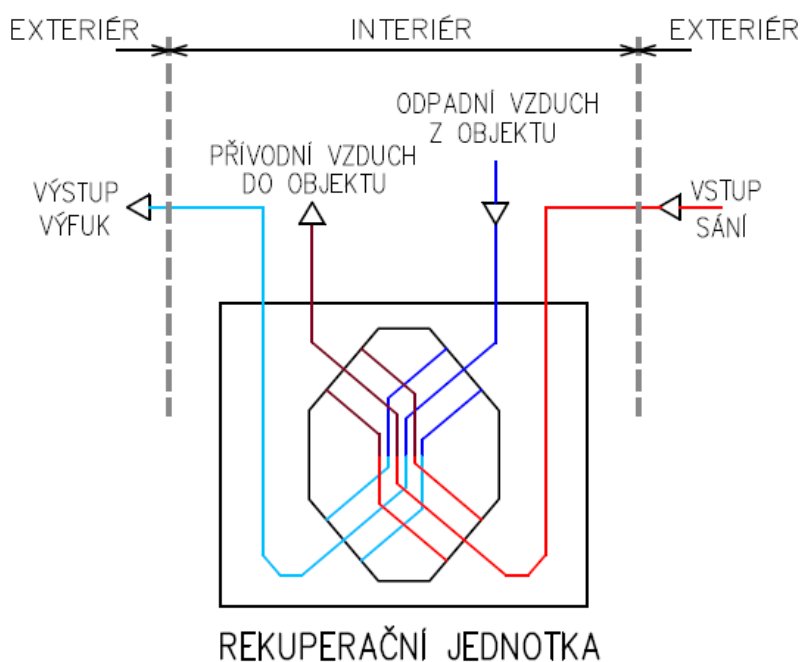
3.6.1 Hygienické požadavky na množství vyměněného vzduchu

Při pobytu člověka ve vnitřních prostorech se zvyšuje koncentrace CO₂ v místnosti a dochází k diskomfortu, který může při vyšších koncentracích (1500 ppm a více) způsobovat příznaky únavy a ztráty koncentrace, v případě koncentrace vyšší jak 2000 ppm už může docházet k bolesti hlavy a dalším zdravotním potížím. Z tohoto důvodu je nutné místnosti pravidelně větrat a přivádět přirozeně či nuceně čerstvý vzduch. Vyhláška č. 20/2021 Sb. konkrétně charakterizuje množství přiváděného vzduchu dle typu budovy nebo počtu osob. Ukazatel kvality vnitřního prostředí je množství CO₂, které by nemělo přesáhnout hodnotu 1500 ppm. Vzduchotechnické systémy dodávají množství vzduchu do místnosti průběžně, nebo bývají instalovaná čidla CO₂, která v případě překročení hraniční hodnoty CO₂ spouští přívod vzduchu. Pro větrání prostorů je standartně uvažováno minimální množství 25 m³/h na osobu, nebo minimálně půl násobná kubatura místnosti. Tyhle hodnoty se mohou lišit na základě typu objektu, kvality prostředí nebo na typu činnosti člověka v místnosti. [22]

3.6.2 Systém větrání s rekuperací

Vzduchotechnické jednotky s rekuperací fungují na principu využití odpadního použitého vzduchu pro dohřev čerstvého přiváděného. Pro svou funkci musí být v objektu nainstalovány přívodní a odvodní rozvody. Vzduch odvádíme z hygienických prostorů, technologických místností, kuchyní a případných pobytových místností. Vzduch přivádíme převážně do pobytových místností. V rámci objektu je nutné správné rozvržení rozvodů a vyústek pro rovnoměrné proudění vzduchu. [23]

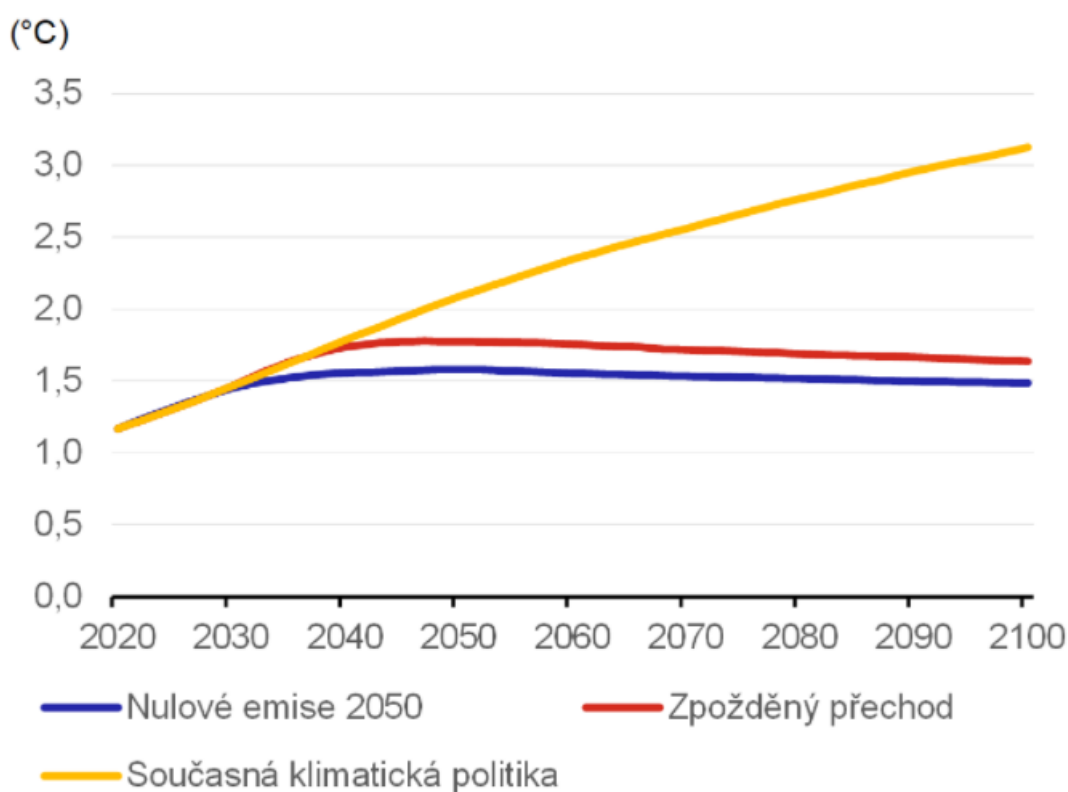
Systém funguje pomocí rekuperačního výměníku, kdy přiváděný vzduch z venkovního prostředí je v rekuperačním výměníku ohříván odpadním vzduchem, který odchází z objektu ven. Pokud odpadní vzduch není schopen ohřát venkovní vzduch dostatečně, součástí vzduchotechnických jednotek bývají deskové výměníky určené na dohřev, kde vzduch dohřívají na požadovanou teplotu. V rámci malých aplikací (rodinné domy a menší objekty) bývá předhřev řešený elektrickým dohřevem. Ve větších objektech už se aplikuje ohřev teplovodní a je nutné do vzduchotechnických jednotek přivádět teplou vodu. U větších aplikací může systém obdobně fungovat i v letním období, kdy naopak teplota přiváděného je natolik vysoká, že je nutné vzduch dále ochlazovat. V tomhle případě přivádíme do deskového výměníku chladnou vodu. [23]



Obrázek 3.6.2 Princip rekuperace vzduchu

4 Produkce a snižování CO₂

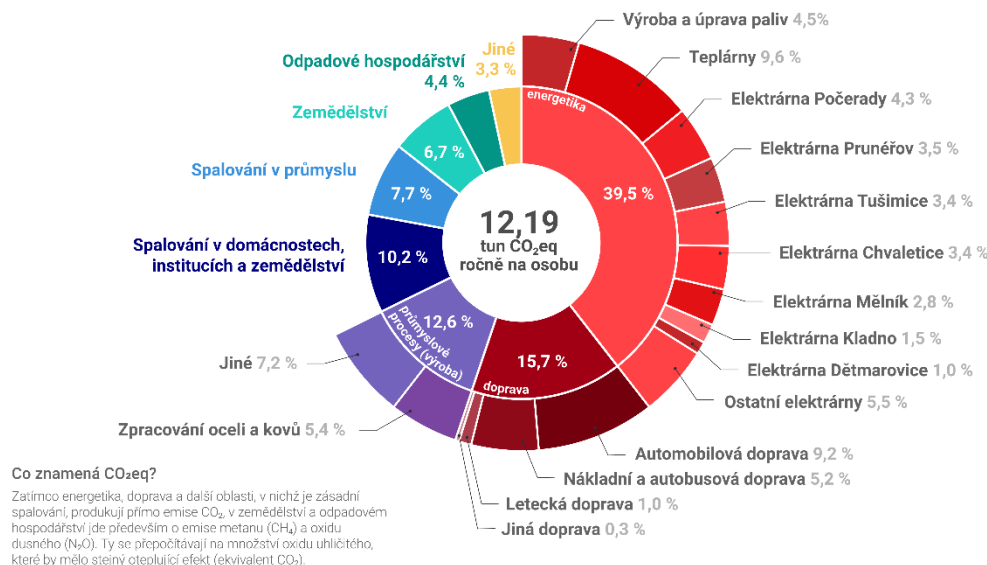
V poslední teoretické kapitole se budeme zabývat produkcí CO₂. Ta postupem let stále narůstá a je to jeden z hlavních faktorů, kvůli kterému dochází ke globálnímu oteplování. Optimistické zdroje uvádějí, že do roku 2100 se planeta oteplí přibližně o 1,5 °C, pokud bychom se drželi scénáře „nulové emise 2050“ a do roku 2050 by se většina celosvětových ekonomik stala bez emisních. Druhý scénář popisuje „zpožděný přechod“, který počítá s pomalejší implementací globální klimatické politiky s přibližným zpožděním 10 let. Tohle zpoždění by se mělo projevit na oteplení přibližně o 1,8 °C. Poslední scénář popisuje situaci, kdy bychom zachovali současnou klimatickou politiku a produkce CO₂ by byla konstantní nebo ještě v horší situaci, stále rostla. V tomhle případě by se planeta oteplila minimálně o 3 °C. Takové razantní oteplení by už k vedlo k podstatně horším podmínkám pro život několika rostlinných a živočišných druhů včetně člověka. Snahou v nejbližších letech je proto snižování produkce CO₂ a ostatních skleníkových plynů. [24]



Obrázek 4.0 Grafické zobrazení vývojových klimatických scénářů [24]

4.1 Možnosti snižování CO₂

Hlavním producentem CO₂ je bezesporu energetika. Celý energetický průmysl je založen na výrobě a distribuci energií, kterou celosvětově v současnosti získáváme převážně z fosilních paliv. Dalším podstatným producentem je doprava. Zde vznikají systémy s hybridními pohony, s využitím vodíku a velký rozvoj se očekává v elektromobilitě. Ostatními producenti jsou veškeré ostatní průmysly a zemědělství. Tahle kapitola ale bude směřovat hlavně na snižování produkce v energetice. [25]

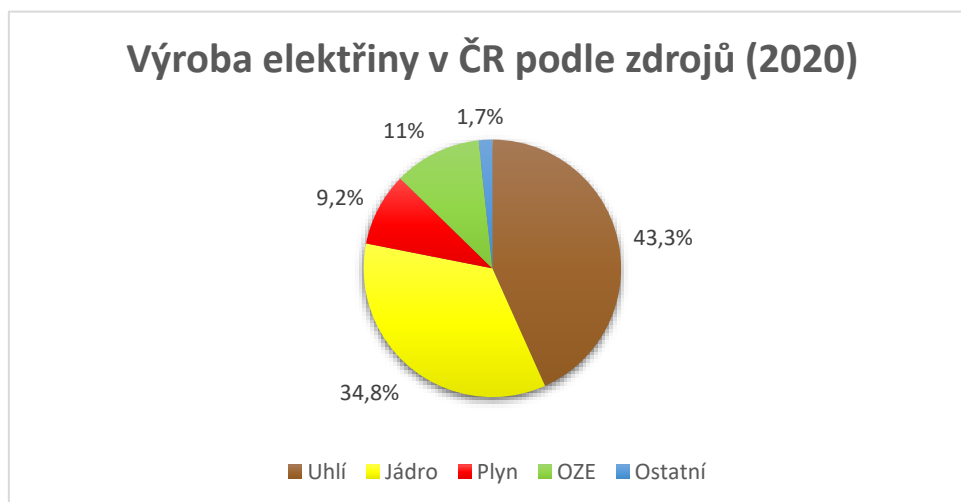


Obrázek 4.1 Emise CO₂ v ČR podle sektorů [25]

4.1.1 Velká energetika

Velká energetika nám zahrnuje výrobu a úpravu paliv, celý teplárenský systém a veškeré elektrárny. Cílem energetiky je vytvořit stabilní energetický mix, který zajistí potřebu energie ve všech časových obdobích a případný přebytek posílá do sousedních zemí.

Stabilními zdroji energie jsou zdroje fosilní a jaderné. Právě omezení fosilních paliv je hlavním cílem snižování produkce CO₂ a musí se hledat alternativní zdroje energie. Ekologičnost jaderných elektráren je velkou otázkou a postoj k nim zastává každý stát jiný. Z hlediska CO₂ je jaderná elektrárna defacto bez emisí, ale v rámci ekologie nám vznikají otázky spojené s ukládáním radioaktivního odpadu a případných dopadů při jaderné havárii. Postoj proti jaderným elektrárnám většinou zaujímají ty státy, které svou geografickou polohou jsou schopné vytvářet elektřinu z obnovitelných zdrojů a bez jaderné energetiky zvládnou své potřeby pokrýt. Opačný případ nastává v ČR, kde by jádro mělo být palivem budoucnosti. Pokud chceme úplně omezit fosilní paliva, tak pro naši spotřebu elektrické energie nejsme schopni v současnosti zajistit úplné pokrytí pouze obnovitelnými zdroji. Jádro by v našem případě mohlo být stabilní zdroj dodávající energie po celý rok, doplněný vhodným poměrem o veškeré ostatní OZE, které jsou charakterizovány většinou jakou nestabilní.



Obrázek 4.1.1 Výroba elektřiny v ČR podle zdrojů [26]

Využití obnovitelných zdrojů energie

Pokud se na situaci opět podíváme globálně, máme k dispozici několik obnovitelných zdrojů energie, které budou uhlíkově neutrální. Jedná se o energii ze slunečního záření, větru, vody, přílivových vln a z veškerých forem biomasy. Využití konkrétních zdrojů je závislé na geografické poloze a cílem klimatických politik států by mělo být jejich maximální využití v dané oblasti.

4.1.2 Malá energetika

Do malé energetiky můžeme zařadit spalování v průmyslu a spalování v domácnostech, institucích a zemědělství. V tomto sektoru už v ČR proběhly určité kroky pro omezování spalování fosilních paliv formou vyhlášek týkajících se starých kotlů a fosilních paliv obecně. Dalším razantním krokem jsou schvalovací procesy při výstavbě nových objektů, kdy s využitím fosilních paliv by objekt nesplňoval požadavky PENB a nedostal by stavební povolení (blíže popsáno v kapitole 2.1). Jeden z posledních zásadních kroků je dotační podpora státu při snižování energetické náročnosti objektu formou zateplení, využití odpadních vod a tepla, výměna zdrojů tepla a využití solární energie. Při využití fotovoltaických systémů je možné přebytek elektrické energie posílat do sítě za stanovenou výkupní cenu.

Mezi hlavní nástroje pro snižování produkce CO₂ je tady opět využití OZE, v případě malé energetiky se bude jednat převážně o biomasu, solární systémy, tepelná čerpadla, kogeneraci z bezemisního zdroje a využívání odpadních energií.

4.2 Zelená elektřina

Globálně se snažíme do většiny technologií a průmyslů aplikovat elektrickou energii pro pohon a provoz (například elektromobilita, elektromotory nebo tepelná čerpadla). Z toho plyne skutečnost, že bychom při globální klimatické politice měli k ekologické výrobě elektřiny přistupovat jako k hlavní prioritě. Změna energetických zdrojů velké energetiky je samozřejmě záležitost několika jednotek až desítek let s porovnáním se změnou místního zdroje tepla nebo pořízením elektromobilu. Je proto nutné poukázat na to, že při pořízení TČ nevytápíme úplně bez emisí, ale jsme závislí na ekologičnosti výroby elektřiny. Takové investice na úrovni malé energetiky jsou proto přímo závislé na velké energetice a projevují se až s odstupem času po pořízení.

4.3 Uhlíková stopa

Pro identifikaci produkce CO₂ používáme pojem uhlíková stopa, což je měřítkem dopadu lidské činnosti na životní prostředí a zejména na klimatické změny. Uhlíková stopa nám udává údaj, jaké množství CO₂ za daný časový interval vyprodukuje člověk, objekt nebo přímo konkrétní služba či výrobek. Výpočet uhlíkové stopy jedince je možné přibližně zjistit na základě různých kalkulačních výpočtů, které jsou volně k dispozici. V kalkulačních dotaznících narazíme na otázky týkající se typu bydlení, palivových zdrojů, dopravy, způsobu života, stravování apod. Takový výpočet je pro nás pouze informativní a není žádným způsobem nijak vyžadovaný. [27]

4.3.1 Uhlíková stopa podniku

Pokud se zaměříme na vyšší produkce CO₂, dostaneme se k uhlíkové stopě objektu nebo podniku. Jedná se o dokument (CFF – Company Carbon Footprint), který je využíván jako jeden z klíčových ukazatelů společenské odpovědnosti a environmentální odpovědnosti. Výstupem takového zpracovaného dokumentu pak je buď celková produkce CO₂ podniku, produkce CO₂ vztažená na zaměstnance nebo produkce CO₂ vztažená na výrobek vycházející z provozu podniku. Globálně je tento dokument zpracováván u mezinárodních firem na běžné praxi, v ČR se s tím zatím tolik nesetkáváme. Podle odborníků je však otázkou času, než se tento dokument zařadí mezi stejně samozřejmé věci, jako jsou například daňové a účetnické

dokumenty. Na mezinárodním trhu už se nyní můžeme setkat s případy, kdy chce česká firma vyvážet své zboží do zahraničí a je po ní tenhle dokument vyžadován. Uhlíková stopa podniku je stanovována v souladu s uznávanými mezinárodními kritérii, konkrétně s postupem GHC Protocolu. Ten emise rozděluje do 3 kategorií. [27]

Scope 1 (přímé emise)

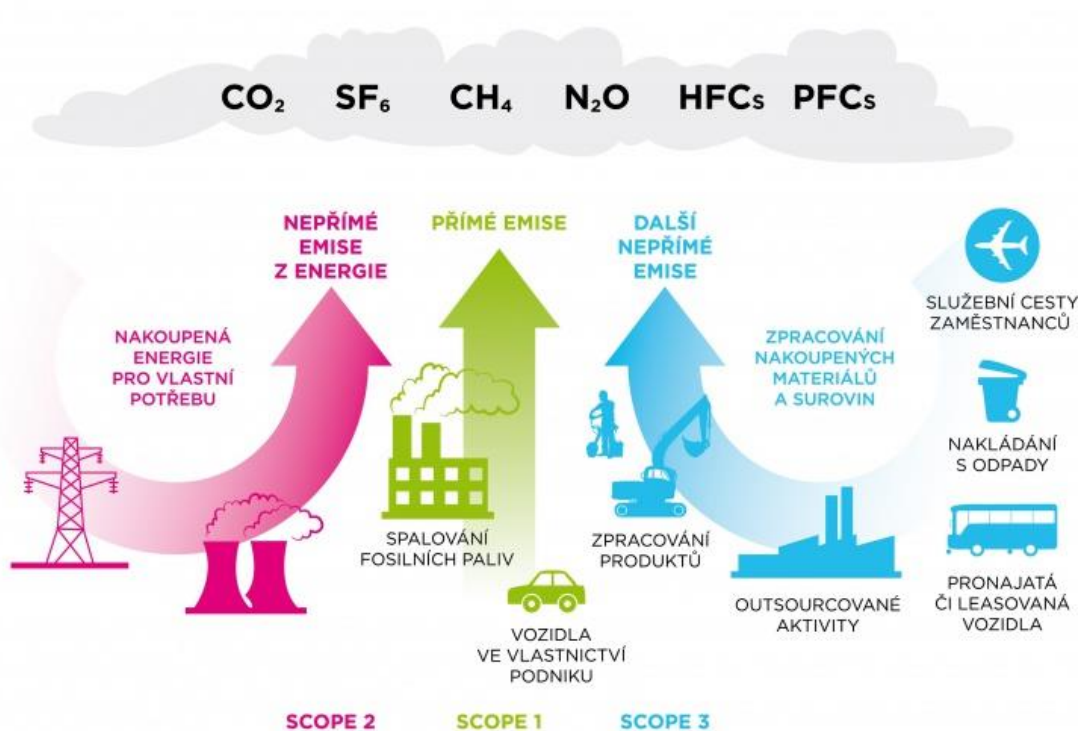
Zde spadají aktivity podniku, při kterých jsou emise přímo uvolňovány do ovzduší. Zahrnují emise z kotlů, průmyslových procesů a dopravy.

Scope 2 (nepřímé emise z energie)

Jedná se o emise spojené se spotřebou nakupované energie (elektřina, teplo, pára), které nevznikají přímo v podniku, ale jsou důsledkem aktivit podniku.

Scope 3 (další nepřímo emise)

Reportování poslední kategorie je dobrovolné a jsou zpravidla zveřejňovány pouze pokud firma chce takovými výsledky upoutat pozornost. Jedná se o emise následkem aktivit podniku, které nejsou klasifikovány v předchozích 2 kategoriích. Příkladem mohou být služební cesty zaměstnanců nebo nakládání s odpady.



Obrázek 4.3.1 Kategorie GHC Protocolu [27]

5 Výpočetní postupy pro praktickou a návrhovou část práce

Dostáváme se k řešení jednotlivých objektů, na kterých budeme prezentovat současný stav objektu a bude snahou navrhnout řešení lepší z hledisek finančních nákladů, úspory energií a nižší uhlíkové stopy. Máme k dispozici 3 velice odlišné objekty, které jsou vybrány záměrně s vyššími vlastními spotřebami plynoucí z horší obálky budovy, nevyužití obnovitelných zdrojů či nevhodného technickoekonomického řešení systému. Jednotlivé objekty nebudou konkretizovány, ať už z důvodu požadavku vlastníka/firmy nebo z důvodu nedostatečných konkrétních dat a informací. Vstupní parametry objektů a veškeré uvedené informace jsou však reálné a můžeme tak přistupovat k výpočtům a výsledkům relevantně. V této kapitole bude popsán postup celého energetického zhodnocení. Samotné objekty pak budou řešeny pouze s konkrétními hodnotami bez detailnějšího postupu.

5.1 Výpočet tepelných ztrát a potřeba tepla na vytápění

Výpočet tepelných ztrát objektu nám dává informaci, jaké množství tepla uniká ven do prostředí. Dle druhého termodynamického zákona tak teplo z budovy odchází, protože je ve venkovním prostředí nižší teplota. Teplo prochází přes veškeré konstrukce a cílem je tohle odchozí teplo minimalizovat. Snažíme se proto obálku budovy vyplnit materiály s nízkým součinitelem tepelné vodivosti.

5.1.1 Venkovní návrhová teplota

Výpočet tepelných ztrát je počítán na extrém v dané oblasti, definovaný dle ČSN 73 0540-2. Norma nám definuje maximální nejnižší teplotu v dané oblasti, průměrnou teplotu v otopném období a počet dní otopné sezóny. Norma mimo jiné obsahuje i pro každou oblast průměrné hodnoty teplot v určitých měsících, který vycházejí z pravidelných měření v minulosti. Pro ČR jsou hodnoty extrému zpravidla -12 °C až -18 °C v oblastech s nadmořskou výškou nižší než 600 m. n. m., v oblastech vyšších pak s rostoucí nadmořskou výškou dochází k většímu extrému. Norma pochází z roku 2012 a proto už dnes mohou být některé údaje nepřesné. Musíme však uvažovat s tím, že k pomyslným extrémům dochází pouze pár dní v roce. V realitě proto nebude zdroj tepla skoro nikdy pracovat na plný výkon, obzvlášť když vezmeme v potaz běžné předimenzování v projekčních návrzích. [28]

5.1.2 Vnitřní návrhová teplota

Vnitřní minimální návrhová teplota vychází z normy ČSN EN 12831. V normě najdeme většinu typových objektů a jejich teploty pro určité místnosti. V praxi tak můžeme vycházet z normy, nebo je teplota dána dle požadavků. [29]

5.1.3 Tepelné ztráty prostupem

Tepelná ztráty prostupem jsou závislé především na skladbě konstrukcí a dále pak na rozdílu výše zmíněných teplot venkovních a vnitřních. První proměnnou je tepelný odpor konstrukce, který je definován jako: [29]

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (7)$$

kde:

d tloušťka vrstvy v konstrukci [m]

λ součinitel tepelné vodivosti konstrukce [W/m · K]

Vypočítaný tepelný odpor dále využijeme v rovnici pro výpočet součinitele prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_{out}}} \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (8)$$

kde:

- α_{in} součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$W/m^2 \cdot K$]
 α_{out} součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$W/m^2 \cdot K$]
 d_j tloušťka j-té vrstvy konstrukce [m]
 λ_j součinitel tepelné vodivosti j-té vrstvy konstrukce [$W/m \cdot K$]

Pro každou konstrukci nyní máme definovaný součinitel prostupu tepla. Ten nám tedy charakterizuje tepelně izolační schopnosti konstrukce. K nízkým tepelným ztrátám se tak snažíme tenhle parametr co nejvíce snížit. V minulosti při výstavbě objektů nebylo nutné splňovat žádná kritéria ohledně tepelného charakteru obálky budovy, proto se ještě dnes můžeme hojně setkat s budovami, které budou mít součinitele prostupu tepla vysoké a dochází k podstatně vyšším tepelným únikům. Dnes už existuje norma ČSN 73 0540-2:2011, která nám udává minimální požadované a doporučené hodnoty součinitele přestupu tepla při výstavbě novostaveb. Pokud bychom těchto hodnot nedosáhli, budova by tak při schvalovacích procesech nesplňovala požadavky a stavba by nebyla povolena. Abychom dosáhli požadovaných hodnot, budeme muset z vysoké pravděpodobnosti mít ve skladbě konstrukcí nějaké vhodné izolační materiály. Hlavní součásti obálky budovy pak musí dle normy splňovat: [28]

Tabulka 5.1.3 Vybrané konstrukce se svými hodnotami součinitelů prostupu tepla [28]

Popis konstrukce	Požadované hodnoty U	Doporučené hodnoty U	Doporučené U pro pasivní budovy
Stěna vnější	0,30	Těžká: 0,25 Lehká: 0,20	0,18 – 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,16	0,15 – 0,10
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 – 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 – 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 – 0,15
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50	1,20	0,80 – 0,60
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20	0,90

Po určení veškerých součinitelů přestupu tepla vztáhneme tepelnou ztrátu na měrné tepelné toky, které dále rozlišujeme dle toho, do jaké části prostředí teplo uniká. Celková tepelná ztráta prostupem se poté rovná: [29]

$$\Phi_T = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (t_{IN} - t_{out}) \quad [W] \quad (9)$$

kde:

- $H_{T,ie}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí [W/K]
 $H_{T,ia}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor [W/K]
 $H_{T,iae}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory a přilehlé budovy [W/K]
 $H_{T,iaBE}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy [W/K]
 $H_{T,ig}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy [W/K]
 t_{IN} vnitřní výpočtová teplota [°C]
 t_{out} venkovní výpočtová teplota [°C]

Měrné tepelné toky prostupem přímo do venkovního prostředí, do sousedních prostorů, do nevytápěných prostorů a do funkčních částí budovy

Měrné tepelné toky mají obdobný výpočet. Při jejich výpočtu do nich mimo jiné vstupují vlivy tepelných vazeb (mostů), opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí, povětrnostní vlivy a teplotní opravný činitel. Pro zjednodušený výpočet však lze tyto hodnoty zanedbat. Většina výpočetních softwarů však s těmito parametry počítá a byli bychom tak schopni výsledky porovnat. Pro zjednodušený výpočet pak uvažujeme: [29]

$$H_{T,ie(\dots)} = \sum_k A_k \cdot U_k \quad [W/K] \quad (10)$$

kde:

- A_k plocha stavební části [m²]
 U_k součinitel prostupu tepla stavební části [W/m² · K]

Měrný tepelný tok prostupem do zeminy

V případě styku kterékoliv konstrukce se zeminou jsou izolačně tepelné vlastnosti podstatně lepší. Je proto nutné do výpočtu zahrnout určité koeficienty, které berou v potaz obestavěnou plochu, obvod, vliv spodních vod a faktory zohledňující teplotu. Pro naše účely bude opět využit pouze zjednodušený tvar, který však bude obsahovat veškeré koeficienty. [29]

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot f_{GW} \cdot \sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \quad [W/K] \quad (11)$$

kde:

- f_{g1} korekční činitel zohledňující vliv ročních změn teploty [-]
 f_{g2} korekční redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní [-]
 f_{GW} korekční činitel zohledňující vliv spodní vody [-]
 $U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stanovený jako funkce parametru B, který je dán dle rozměrů podlahové desky (obvod, plocha) [W/m² · K]

5.1.4 Tepelné ztráty větráním

Druhou složkou tepelných ztrát je ztráta větráním. Pro dosažení hygienických podmínek je nutné do vnitřních prostorů přivádět čerstvý vzduch. Přívod čerstvého vzduchu tak s sebou nese tepelný únik do venkovního prostředí. Větrání rozlišujeme přirozené a nucené. Pod přirozeným větráním rozumíme přímý kontakt vzduchu uvnitř místnosti se vzduchem venkovním. Dochází k tomu při otevření oken, dveří případně při netěsnostech v konstrukcích. Dále také uvažujeme, že vzduch má stejné tepelné vlastnosti a tepelná ztráta je tak úměrná rozdílu teplot. Nucené větrání je závislé na pohonu ventilátorů a je přímo řízené. Zajišťuje tak potřebné množství vzduchu kontinuálně v čase a nezpůsobuje velké množství tepelných ztrát. V dnešní době při využití rekuperačních výměníků jsme nuceným větráním schopni podstatně snížit energetickou náročnost budovy. Pro výpočet tepelných ztrát větráním platí: [29]

$$\Phi_V = \rho \cdot c_p \cdot q_{v,min} \cdot (t_{IN} - t_{out}) \quad [W] \quad (12)$$

kde:

ρ	hustota vzduchu [m^3/kg]
c_p	tepelná kapacita vzduchu [$J/kg \cdot K$]
$q_{v,min}$	minimální objemový průtok vzduchu místnosti [m^3/h]
t_{IN}	vnitřní výpočtová teplota [$^{\circ}C$]
t_{out}	venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}C$]

Minimální objemový průtok vzduchu místnosti

Minimální objemový průtok vzduchu nám udává, kolik množství vzduchu se v místnosti za hodinu vymění. Standartně se určuje dle normy a je to množství, které člověk potřebuje, aby se cítil komfortně. Minimální množství výměny vzduchu určíme dle objemu místnosti, uvažovaného počtu osob v místnosti nebo objemem vzduchu uniklého infiltrací spárami (případ převážně starších oken, které měly mnoho netěsností). Pro další výpočet použijeme hodnotu největší. Zbývá nám už určit pouze x-násobek výměny vzduchu za hodinu. Dle typu místnosti je hodnota opět definována v normě. V technických/skladovacích prostorech je násobek nulový nebo minimální, v prostorech obytných je minimálně $n=0,5$ a prostorech s větší potřebou větrání/odvětrání (kuchyně, koupelna, ...) až $n=1$. V případě trvalého větrání (např. frekventované vstupy do budov, otevřené garáže, ...) můžeme uvažovat násobek i mnohém větší. [29]

$$q_{v,min} = \frac{(V_v/V_{os}/V_i) \cdot n}{3600} \quad [m^3/h] \quad (13)$$

kde:

V_v	Objem místnosti [m^3]
V_{os}	Objem vztažený dle počtu osob v místnosti (v praxi 20-30 m^3 osoba) [m^3]
V_i	Objem venkovního vzduchu infiltrací spárami [m^3]
n	Násobek výměny vzduchu [-]

5.1.5 Celková tepelná ztráta

Součtem tepelných ztrát prostupem a větráním dostaneme výslednou tepelnou ztrátu objektu. [29]

$$\Phi = \Phi_T + \Phi_V \quad [W] \quad (14)$$

5.1.6 Potřeba tepla na vytápění

Výpočet potřeby tepla na vytápění přímo navazuje na vypočtené tepelné ztráty. Jedná se o odhadované roční množství tepla, které budeme pro topnou sezónu potřebovat. Pomocí normy ČSN 06 0210 získáme parametry vztažené na oblast objektu (počet otopných dnů a střední venkovní teplota za otopné období). Výpočet uvažuje s hodnotami průměrnými. Novodobé softwary mají data aktuálnější a jsou vztažené minimálně na jednotlivé měsíce, proto bude výsledek přesnější. Pro jednodušší výpočet uvažujeme: [29]

$$Q_V = \Phi \cdot \frac{d}{(t_{IN} - t_{es})} \cdot (t_{IN} - t_{es}) \cdot 24 [MWh] \quad (15)$$

kde:

d délka otopného období [dny]

t_{es} střední venkovní teplota za otopné období [°C]

Abychom dosáhli reálnějších hodnot, nebo řešíme konkrétní situaci, je možné do výpočtu zahrnout různé opravné součinitele zahrnující např. současnost provozu nebo přerušovanost provozu. Další zpřesnění výpočtu dosáhneme, pokud budeme uvažovat nevyužité tepelné zisky, které nám snižují potřebu tepla.

5.2 Potřeba tepla pro ohřev teplé vody

Potřebu tepla pro ohřev teplé vody (dále jen TV) stanovíme dle normy ČSN 06 0320. Pokud nemáme konkrétní průběh odběru teplé vody v objektu, dokážeme její průměrnou spotřebu určit podle typu budovy, počtu osob a dalších specifických parametrů.

Základním předpokladem bývá ohřev vody na 55 °C. Takhle vysokou teplotu pravděpodobně pro běžné činnosti nevyužijeme, ale jsme schopni s mícháním studené vody využít větší množství vody o nižší teplotě. Tenhle požadavek přichází hlavně z hygienických důvodů kvůli výskytu bakterie Legionella, pro kterou je ideální vodní prostředí právě při teplotě nižší než 55 °C (cca 25-45 °C). Požadovanou teplotu bychom měli dosáhnout před výtakovou armaturou a z tohoto důvodu je vhodné ohřát vodu minimálně o 1-2 °C více a také mít vodní rozvody dostatečně izolované. [30]

Výpočet popisuje veškeré běžné činnosti, při kterých je potřeba TV a na základě průměrných hodnot dostaneme celkovou průměrnou denní spotřebu teplé vody. [31]

$$V_{celk} = V_o + V_j + V_u [m^3] \quad (16)$$

kde:

V_o denní potřeba TV pro mytí osob [m^3]

V_j denní potřeba TV pro mytí nádobí [m^3]

V_u denní potřeba TV pro veškerý úklid [m^3]

Pro celkovou teoretickou potřebu tepla pak platí: [31]

$$Q_t = c \cdot V_{celk} \cdot (\theta_2 - \theta_1) \text{ [kWh]} \quad (17)$$

kde:

c	měrná tepelná kapacita [$J \cdot K/kg$]
V_{celk}	průměrná denní spotřeba TV [m^3]
θ_1	teplota studené vody [$^{\circ}C$]
θ_2	teplota teplé vody [$^{\circ}C$]

Pro praktické využití už jsou hodnoty Q_t pro většinu typových objektů stanovené a při výpočtu můžeme jejich hodnoty využít. Celková denní potřeba tepla pro ohřev TV je pak pouze znásobena počtem osob. Roční potřeba je poté znásobena počtem dní, kdy je uvažován provoz objektu.

5.3 Výpočet finančních nákladů

Pro veškeré výpočty energií a paliv budou uvažovány ceny z 1. pololetí roku 2021. Tou dobou byly jejich hodnoty poměrně ustálené. Práce by měla i poukázat na současný vývoj cen energií, proto budou pro srovnání i hodnoty cen z počátku 1. čtvrtletí 2022, kdy došlo k významnému zdražování veškerých energií.

Ceny jednotlivých zařízení, technologií, stavebních úprav či realizací změn budou převážně aktuální, protože budou z aktuálních ceníků nebo poptávány v reálném čase pro konkrétní řešení.

5.3.1 Cena elektřiny

Do výpočtu ceny elektřiny vstupuje několik proměnných. Nejzásadnější je především výběr dodavatele energie. Ze zkušeností aktuálních energetických problémů bude určitě vhodné sáhnout po společnosti větší, která bude mít sice ceny větší, ale garanci menší kolísavosti cen, spolehlivou distribuci a dostatečné množství koupených energií na budoucí období. Pro příklad tak můžeme uvést společnosti ČEZ, Innogy a EON.

Po výběru dodavatele budeme mít možnost podepsat smlouvu na určité/neurčité období. S dlouhodobým trendem růstu ceny elektřiny se určitě nabízí jako nejvýhodnější uzavřít smlouvu na určité období, po které bude cena silové energie fixní.

Další proměnnou bude distribuční tarifní sazba. Ta se odvíjí na množství odebírané elektřiny a také od zařízení objektu, které bude mít největší podíl na spotřebě elektřiny. V případě některých tarifů jsou sazby rozdělené na vyšší a nižší tarif, kde odběr nižšího proudu je podstatně levnější.

Poslední složkou ceny jsou měsíční poplatky za jistič, poplatek za stálou platbu a poplatek za činnost OTE.

Tabulka 5.3.1 Sazební tarify elektřiny [32]

Tarif	Typ domácnosti/technologie
C/D01d	Malá spotřeba (bez ohřevu a vytápění)
D02d	Vyšší spotřeba (bez ohřevu a vytápění)
C02d	Střední spotřeba (bez ohřevu a vytápění)
C03d	Vyšší spotřeba (bez ohřevu a vytápění)
C/D25d	Malá spotřeba + akumulární ohřev vody
C/D26d	Vyšší spotřeba + akumulární vytápění objektu
C/D27d	Vlastnictví elektromobilu
C/D35d	Hybridní elektrické spotřebiče (přiznání sazby do 31.3.2016)
C/D45d	Přímotopy (přiznání sazby do 31.3.2016)
C/D56d	Tepelné čerpadlo (uvedení do provozu od 1.4.2005)
D57d	Domácnosti s přímotopem/hybridním vytápěním/TČ (od 1.4.2016)
C60d	Nepravidelný a malý odběr elektřiny, obtížně měřitelný
D61d	Víkendové (chatařské) využití od pátku do neděle
C61d	Konstantní odběr elektřiny, obtížně měřitelný
Pozn. C = podniky a větší spotřebitele, D = pro domácnosti	

Konečná cena elektřiny se skládá z fixní ceny silové energie (pevná měsíční cena, v rámci některých tarifů cena nízkého/vysokého tarifu) a regulované platby za distribuci elektřiny (měsíční platba za příkon, plat za distribuované množství elektřiny VT/NT, cena systémových služeb, cena na podporu výkup elektřiny OZE a kombinované výroby elektřiny a tepla a cena za činnost zúčtování operátora trhu s elektřinou). [33]

5.3.2 Cena plynu

Cena plynu se obdobně jako elektřina dělí na složku regulovanou a neregulovanou. Regulovanou složkou ceny je sazba za přepravu plynu, cena za distribuci plynu a cena za služby operátoru trhu. Neregulovaná složka je závislá na dodavateli plynu a je to samotná sazba za množství odebraného plynu, cena za flexibilitu dodávky a další poplatky stanovené dodavatelem. Přepočet množství plynu na energetickou jednotku budeme uvažovat: [34]

$$1 \text{ m}^3 = 10,55 \text{ kWh}$$

5.3.3 Ceny technologií /stavebních materiálů

Ceny konkrétních navržených technologií budou stanoveny z aktuálních platných ceníků a poptávek v reálném čase. Ceny veřejně dostupné nebo nezávazně poptávané jsou ceny projekční. Projekční ceny mají značnou přírážku (klidně až 20-30 %) a v případě realizace je pak možné, že reálná cena celého díla bude podstatně levnější. Při návrhu jednotlivých technologií bude brán zřetel i na jejich související práce s instalací a případné stavební a demontážní práce.

Ceny stavebních materiálů, veškerých prvků spojených s instalací, demontáží a veškeré práce spojené s celkovým zprovozněním navrhovaného řešení bude podléhat směrným cenám pro 1. čtvrtletí roku 2022.

S intenzivním nárůstem cenových hladin v současné době dodavatelé aktualizují ceníky s měsíční platností. S větším odstupem od publikace téhle práce se tak ceny mohou lišit v řádech jednotek až desítek procent.

5.3.4 Návratnost investice

Velice objektivní metoda pro nákladové zhodnocení investice je návratnost. Výpočet návratnosti investice zahrnuje stav před pořízením investice a stav po pořízení investice. V našem případě budeme srovnávat opatření, které povedou k snížení energetických bilancí a z toho plynoucí snížení provozních nákladů. S pořízením investice tedy počítáme s nižšími provozními náklady a metodou návratnosti investice dostaneme časovou hodnotu (v řádu let), která vypovídá za jak dlouho se nám vynaložené peníze za investici vrátí.

$$T_r = \frac{N_i}{Np_1 - Np_2} [\text{let}] \quad (18)$$

kde:

- N_i veškeré finanční náklady za investici [Kč]
 Np_1 roční provozní náklady před pořízením investice [Kč]
 Np_2 roční provozní náklady po pořízení investice [Kč]

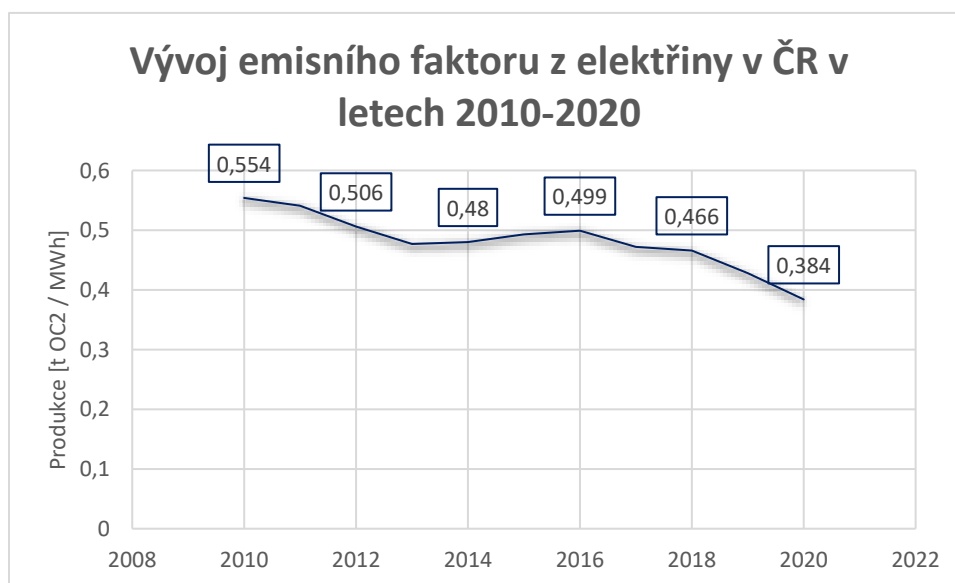
5.4 Emisní faktory

Pro určení množství emisí CO₂ zavádíme tzv. emisní faktory. Jedná se o měrný ukazatel, který určuje, kolik se uvolní oxidu uhličitého spálením jednotkového množství paliva. Vzhledem k tomu, že nemáme přesné informace o vlastnostech dodávaných paliv, budeme pro výpočet používat hodnoty znormované a ověřené z mnoha zdrojů. [35]

Při výpočtu produkce CO₂ bude uvažováno pouze s emisemi CO₂ pocházející z provozu objektu. Ve výpočtech nebude zahrnuta produkce CO₂ spojená s investicemi (materiál, technologie, doprava) ani dalšími ostatními zdroji.

5.4.1 Emisní faktor výroby elektřiny

Je důležité si uvědomit, že samotná výroba elektřiny také generuje nezanedbatelné množství emisí CO₂. Pochopitelně za to může způsob, jakým je elektřina vyráběna. Z logiky věci tak se snižováním vysoce emisních paliv a nahrazení obnovitelnými zdroji budeme snižovat emise CO₂ vyprodukované z výroby elektřiny. V ČR stále převládá výroba elektřiny z fosilních paliv, ale každoročně můžeme zaznamenat jejich mírný pokles. V budoucích letech však očekáváme úplné omezení fosilních paliv a nahrazení zdroji obnovitelnými, či jaderným palivem.



Obrázek 5.4.1 Graf vývoje emisního faktoru z elektřiny v letech 2010-2020 [36]

Pro výpočet aktuálního emisního faktoru CO₂ z výroby elektřiny využijeme následující metodiku. Primární energie paliv využitých na výrobu elektřiny je násobena specifickými emisními faktory pro daná paliva. Výsledná sumární hodnota je vydělena množstvím hrubé výroby elektřiny v ČR. Jediná diskutabilní část téhle metodiky spočívá v tom, že výpočet uvažuje obnovitelné zdroje jako kompletně CO₂ neutrální. Několik zdrojů se shoduje v tom, že s tím nelze úplně počítat a veškeré zdroje působí minimální emise CO₂. Jejich množství v porovnání s fosilními palivy je celkem zanedbatelné, proto budeme brát výpočet téhle metodiky za korektní a dostačující pro náš výpočet celkových emisí CO₂. [36]

Pro rok 2020 byla stanovena hodnota emisního faktoru z vyrobené elektřiny:

$$EF_{CO_2} = 0,384 [t CO_2/MWh]$$

Při zjednodušeném výpočtu jsme se schopni k samotné hodnotě v řádech setin přiblížit, každopádně vycházíme z dat různých zdrojů, a především nemáme informace o provozech jednotlivých elektráren. Pro jednotlivé druhy elektráren je totiž definované rozmezí celkové hodnoty emisního faktoru a je závislé na kvalitě a vytíženosti provozu.

5.4.2 Emisní faktory paliv

Samotná spotřeba paliv bude mít největší podíl na produkci emisí CO₂. Na základě vykonaných analýz a několika zdrojů, které se s výsledky shodují, budou v našich výpočtech uvažovány následující hodnoty emisních faktorů:

Tabulka 5.4.2 Emisní faktory vybraných paliv [37]

Palivo	Značení	EF [t CO ₂ /MWh]
Hnědé uhlí	$EF_{H\dot{U}}$	0,36
Černé uhlí	$EF_{\dot{C}\dot{U}}$	0,33
Zemní plyn	EF_{ZP}	0,20
LPG	EF_{LPG}	0,24

5.5 Uhlíková stopa objektu

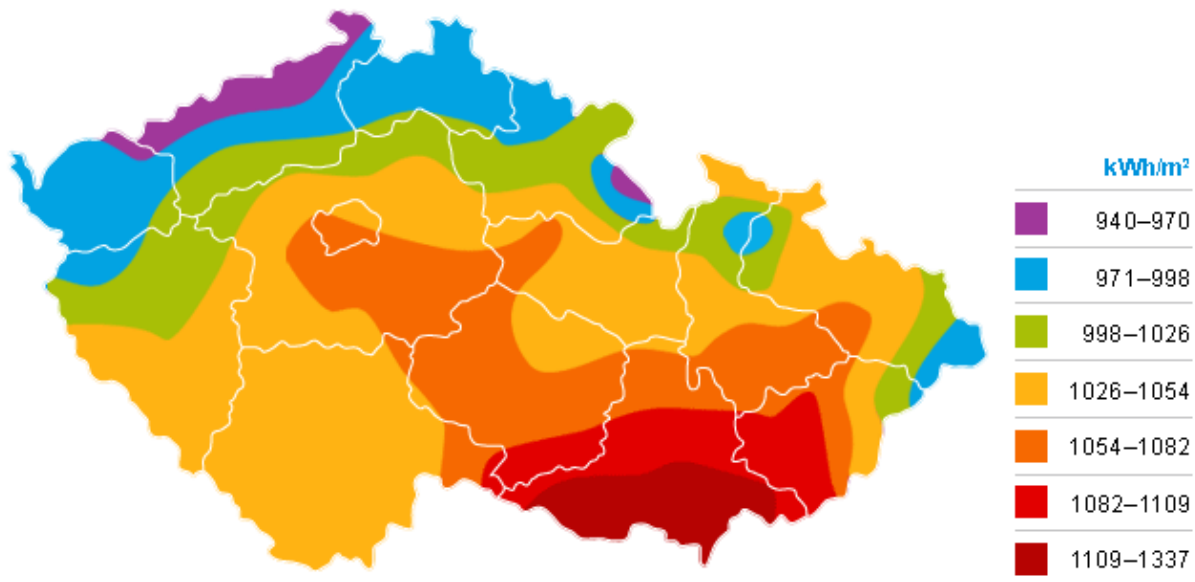
Produkce CO₂ bude v řešených objektech charakterizována pouze z jeho vlastního provozu. Budou zahrnuty přímé emise z aktivit podniku a nepřímé emise spojené se spotřebou nakupované energie. Emise spojené například s dopravou, zaměstnanci a dalších kategorií nepřímých emisí by bylo velice obtížné určit, protože nemáme k dispozici detailnější informace.

5.6 Návrh fotovoltaiky

Fotovoltaický systém můžeme dimenzovat několika způsoby. U menších objektů cílíme na pokrytí konkrétní spotřeby elektrické energie nebo chceme zastavět fotovoltaickými panely co největší plochu. Limitní hodnota pro maloodběratele většinou bývá instalovaný výkon 10 kWp, protože pro vyšší instalovaný výkon je potřeba souhlas energetického regulačního úřadu a povinnost provozní licence, což s sebou nese vyšší výdaje a legislativní zátěž. Fotovoltaické systémy jsou vysoce podporované a podle instalovaného výkonu a systému akumulace energie do baterií se pak odvíjí i velikost dotací. U objektů s vyšší spotřebou elektrické energie opět cílíme na konkrétní spotřeby, nebo pokrytí alespoň procentuální spotřeby elektřiny. U těchto objektů už se většinou dostaneme nad instalovaný výkon 10 kWp a jsou nutné výše uvedené legislativní procesy, stavební povolení, statické posouzení při instalaci na střešku a doporučená je v tomhle případě i projektová dokumentace. [38]

5.6.1 Množství dopadající sluneční energie za rok

V ČR dle zeměpisných a klimatických podmínek dopadne přibližně 940-1340 kWh/m² ročně při ideálním sklonu a orientaci panelů. Nejvíce slunečných paprsků v ČR dopadá v oblasti jižní Moravy.



Obrázek 5.6.1 Roční množství dopadající sluneční energie v ČR [39]

5.6.2 Počet panelů a instalovaný výkon

Počet panelů je závislý na využitelné ploše. To zjistíme nejlépe reálným zakreslením do situačního výkresu, abychom mohli zahrnout mezery mezi panely a případné další překážky. V ostatních případech použijeme jednoduchý výpočet, kdy potřebujeme znát prostorové nároky konkrétního produktového FVT panelu a možnou využitelnou plochu. Výpočet můžeme využít i reverzně, pokud známe počet panelů a chceme znát využitelnou plochu.

$$n_{panel} = \frac{S_A}{S_{panel}} [-] \quad (19)$$

kde:

n_{panel} Počet panelů [-]

S_A Využitelná plocha [m²]

S_{panel} Plocha jednoho panelu [m²]

Výkon konkrétního fotovoltaického panelu je většinou udáván výrobcem, ale můžeme ho i vypočítat, pokud známe účinnost, plochu panelu a intenzitu slunečního záření při hodnotách napětí a proudu při jmenovitém výkonu.

$$P_{FVT} = S_{panel} \cdot \eta_{panel} \cdot I_{MPP} [Wp] \quad (20)$$

kde:

P_{FVT} Výkon jednoho FVT panelu [Wp]

S_{panel} Plocha jednoho panelu [m²]

η_{panel} Účinnost FVT panelu [-]

I_{MPP} Intenzita slunečního záření při MPP [W/m²]

Celkový instalovaný výkon je poté:

$$P_{IFVT} = P_{FVT} \cdot n_{panel} [Wp] \quad (21)$$

5.6.3 Měsíční a roční výkonová výtěžnost FVT systému

Pro získání nejpodstatnějšího parametru FVT systému musíme ještě zahrnout koeficienty spojené s reálnými vlastnostmi instalace. Koeficient sklonu je definován podle orientace a sklonu, přičemž pro ideální podmínky je roven 1. Druhým faktorem je výkonový koeficient, který charakterizuje systém z hlediska odvětrávání, stínění a znečištění panelů. Reálné hodnoty parametru se pohybují v hodnotách 0,5-0,85. [39]

$$P_{Rr} = Q_{SZr} \cdot f_{so} \cdot PR \cdot P_{IFVT} [kWh] \quad (22)$$

kde:

P_{Rr} Skutečné roční množství získané sluneční energie [kWh]

Q_{SZr} Roční množství dopadajícího slunečního záření [kWh/m²]

f_{so} Koeficient sklonu a orientace [-]

PR Výkonový koeficient (Performance ratio) [-]

Pokud očekáváme v letních měsících přebytek výkonové výtěžnosti, který bude dále poslán do sítě nebo spotřebováván jiným způsobem, je vhodné provést výpočet pro jednotlivé měsíce (pokud pro ně máme data) pro následné bilanční výpočty. [40]

$$P_{Rm} = Q_{SZm} \cdot f_{so} \cdot PR \cdot P_{IFVT} [kWh] \quad (23)$$

kde:

P_{Rm} Skutečné měsíční množství získané sluneční energie [kWh]

Q_{SZm} Měsíční množství dopadajícího slunečního záření [kWh/m²]

f_{so} Koeficient sklonu a orientace [-]

PR Výkonový koeficient (Performance ratio) [-]

5.7 Návrh kogenerace

Kogenerační jednotky dimenzujeme podle požadovaného tepelného nebo elektrického výkonu. Zpravidla je dimenzujeme na elektrický výkon, protože maření elektřiny, či prodej do

sítě za nízké účinnosti na úkor výroby tepla by bylo energeticky nevýhodné. Využití tepla najdeme v objektech, kde se typicky kogenerační jednotky instalují, snadněji, nebo ho budeme přes výměník vypouštět do prostředí. Aplikace kogeneračních jednotek by měla být důsledně navržena, protože se hodí pouze do specifických provozů. Při optimálním návrhu kogenerační jednotky chceme zajistit, aby při společné výrobě tepla a elektřiny byly oba typy energie spotřebovány v objektu ve veškerých časových obdobích.

5.7.1 Potřeba tepla dodané v palivu

Při návrhu kogenerace máme k dispozici buď konkrétní jednotku kde výrobce uvádí účinnosti výroby tepla a elektřiny, nebo už máme k dispozici samotné zařízení a pomocí komponentů kogenerační jednotky (motor a generátor) dostaneme požadované účinnosti na základě jejich poměru vyrobené energie ku dodanému palivu. Viz vztahy (2), (3) a (4).

Dle požadovaného množství tepelné/elektrické energie pomocí účinnosti dostaneme hodnotu tepla dodaného v palivu.

$$Q_{pal} = \frac{E(Q_D)}{n_E(n_T)} \quad [GJ] \quad (24)$$

kde:

E množství vyrobené elektrické energie [GJ]

Q_D množství vyrobené tepelné energie [GJ]

n_T účinnost výroby tepla [-]

n_E účinnost výroby elektrické energie [-]

Q_{pal} teplo dodané v palivu [GJ]

Reverzně pak z tepla dodaného v palivu dostaneme hodnotu tepla/elektřiny, kterou z kombinované výroby dostaneme.

5.8 Výběr řešených objektů a opatření

Následující kapitoly se už budou zabývat konkrétními objekty. První dva byly záměrně zvolené na základě jejich energetické nehospodárnosti, využití fosilních paliv a horší stavební obálky budovy. Konkrétní řešení budou velice razantní s většími dopady na budoucí provoz. V případě posledního objektu se zaměříme spíše na menší zásahy do objektu, ale využijeme velice vhodných technologií, které by v případě jiných objektů nebyly tak efektivní.

Máme k dispozici malý, střední a větší objekt či areál. Malý objekt zastupuje rodinný dům s maloodběrovou spotřebou. Středním objektem je školní areál se středním odběrem a následuje větší areál potravinářské výroby, který je svými spotřebami charakterizován jako velkoodběratel. Každý objekt má poměrně odlišný provoz, z čehož vyplývají jiné požadavky na energie a vhodnost technologií.

Řešení více objektů nám přináší několik porovnávacích závěrů. Srovnání efektivnosti podobných opatření na odlišných objektech, investiční výnos na provozu typově odlišných objektů nebo třeba porovnání jejich dopadu produkce CO₂. Užitečným příkladem by i byla nevhodná varianta opatření, která by poukázala na nedostatky navrhovaného řešení u konkrétního areálu. V našem případě jsme se ale snažili navrhnout nejvhodnější možná opatření pro dané objekty.

6.2.1 Tepelné ztráty

Venkovní výpočtová teplota pro lokalitu objektu je – 15 °C. Tepelné ztráty obývaných prostorů jsou vztaženy na výpočetní teplotu 22 °C, sklepní prostory jsou uvažovány jako nevytápěné. Veškeré prostory jsou větrané přirozeně.

Tabulka 6.2.1 (1) Stavební konstrukce s příslušným součinitelem prostupu tepla

Název konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W.m ⁻² .K]
Stěna obvodová	1,314
Střecha	0,789
Podlaha k nevytápěnému prostoru	1,458
Podlaha přilehlá k zemině	0,750
Vstupní dveře	2,300
Okenní výplně	1,200

Tabulka 6.2.1 (2) Tepelné ztráty objektu

Tepelná ztráta prostupem	8,5 kW
Tepelná ztráta větráním	2,0 kW
Celková tepelná ztráta	10,5 kW

6.2.2 Roční spotřeba elektřiny

V řešeném objektu převládá spotřeba elektrické energie, která je využívána na běžné spotřebiče, které nacházíme v rodinných domech. V tomhle případě také slouží k ohřevu teplé vody. Dům je obýván celoročně, proto je spotřeba elektřiny v průběhu roku víceméně konstantní. O něco málo vyšší spotřeba je v zimních měsících, kdy je potřeba více svítit.

Objekt odebírá elektrickou energii od společnosti CENTROPOL ENERGY, a.s. s tarifní sazbou D25d. Distribuční sazba D25d je určena pro domácnosti s elektrickým ohřevem vody a celkovou nižší spotřebou elektřiny. Sazba je dvoutarifová a je tak využíván nižší a vyšší tarif. Instalovaný jistič je 3x25,0 A.

6.2.3 Roční spotřeba plynu

V objektu je plyn spotřebováván pouze k plynovému sporáku na vaření. Je využíván zkapalněný propan-butan v láhvi. Pro roční spotřebu jsou potřeba 3 láhve, každá obsahující 13,6 kg LPG.

6.2.4 Roční potřeba paliva

Pro dostatečnou tepelnou pohodu je pro celoroční topnou sezónu průměrná potřeba 4000 kg černého uhlí. Černé uhlí je dováženo z OKD na Karvinsku a jeho uvedená hodnota výhřevnosti je 23 MJ/kg. [41]

6.3 Současné provozní náklady objektu

Do ročních provozních nákladů bude vstupovat platba za elektřinu, palivo pro vytápění a palivo pro vaření. V tabulce jsou součástí jednotkové ceny veškeré sazby (veškeré složky sazeb daného paliva, distribuce a veškeré další poplatky).

Tabulka 6.3 (1) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2021 [42]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Černé uhlí	6,89 [Kč/kg]	4000	27 560,00
Propan-butan	40,90 [Kč/kg]	40,8	1 668,72
Elektřina VT	3 476,50 [Kč/MWh]	0,752	2 614,33
Elektřina NT	1 892,52 [Kč/MWh]	2,195	4 154,06
Elektřina OS	224,93 [Kč/měsíc]	12	2 699,16
Celkem			38 696,27

Tabulka 6.3 (2) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2022 [42]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Černé uhlí	8,61 [Kč/kg]	4000	34 440,00
Propan-butan	59,90 [Kč/kg]	40,8	2 443,92
Elektřina VT	7 163,72 [Kč/MWh]	0,752	5 387,12
Elektřina NT	3 294,60 [Kč/MWh]	2,195	10 526,25
Elektřina OS	266,25 [Kč/měsíc]	12	3 195,00
Celkem			55 952,29

6.4 Současná uhlíková stopa objektu

Současná produkce CO₂ je na poměry rodinného domu vysoká z důvodu vyšších potřeb tepla a využití fosilního paliva pro zdroj tepla.

Tabulka 6.4 Současná uhlíková stopa objektu

Komodita	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]	Množství [MWh]	Σ [t]
Černé uhlí	0,33	25,556	8,433
Propan-butan	0,24	0,530	0,127
Elektřina	0,384	2,947	1,132
Celkem			9,692

6.5 Návrhy pro snížení energetické náročnosti objektu

Rodinné domy jsou velice názorné pro představení jednotlivých technologií. Pohybujeme se v hodnotách (spotřeb, cenových hladin, ...), které jsou pro člověka snadno představitelné a jsme schopni lehce interpretovat závěry i z jednoduchých technických úprav. Výstavba nových objektů už nás nutí do energeticky nenáročných objektů, kde už se počítá s implementací nových technologií a v nejbližších letech pravděpodobně nebude nutné na objektu vykonávat žádné úpravy. Řešíme ale problém staršího rodinného domu, který je nutné optimalizovat z hlediska provozních nákladů a snižování produkce CO₂.

Pro řešený objekt bude navržena varianta minimálního zateplení a změny zdroje tepla. Tahle samotná změna výrazně pomůže energetické náročnosti a objekt bude v přijatelné míře srovnatelný s nově stavěnými objekty.

Druhá varianta bude počítat s kvalitnějším zateplením, výměnou zdroje tepla a s instalací rekuperace.

6.5.1 Obecné návrhy opatření

Velice obecné návrhy opatření nebudou brány v potaz. Jednalo by se především o šetření se svícením a dalšími energiemi, nadměrné větrání a nižší využití spotřebičů. Tahle organizační můžeme velice těžce kalkulovat a dosáhnout bychom přibližně 1-2% úspory. Další možná opatření

by mohla vést ke snižování tepelného komfortu. Například difference vytápění o 1 °C nižší/vyšší teploty se rovná přibližně 5 % menší/větší spotřebě. S tímhle rovněž nebudeme uvažovat.

6.5.2 Varianta I. Základní zateplení a výměna zdroje tepla

Podstata první varianty by se měla snažit o vytěžení maxima z minimálních investičních nákladů. Objekt bude zateplen tenkou vrstvou izolace a proběhne výměna zdroje tepla.

Zateplení objektu

Do konstrukcí obálky budovy budeme přidávat takové množství izolace, aby výsledný součinitel přestupu tepla konstrukcí splňovaly požadovanou hodnotu dle ČSN 73 0540-2:2011. Při rekonstrukci fasády jsou uvažovány veškeré stavební a montážní materiály (penetrace podkladu, lepicí hmota, izolace, výztužná síť, stěrková hmota, omítka). Celkový součinitel prostupu tepla pak zahrnuje celou skladbu konstrukce. Zateplení střešní části je z vnitřní strany. Strop je zateplen minerální vatou, která je zavěšena a ukotvena na roštu. Pod vrstvou izolačního materiálu je vybudován sádkartonový strop.

Tabulka 6.5.2 (1) Návrh zateplení konstrukcí varianty I.

Konstrukce	Původní U [$W/m^2 \cdot K$]	tloušťka izolace	Nové U [$W/m^2 \cdot K$]
		$\lambda = 0,035$	
Obvodová stěna	1,314	100 mm	0,276
Střecha	0,789	150 mm	0,208

Tepelná ztráta a nová potřeba tepla objektu

Po zateplení objektu je hodnota tepelných ztrát 5,1 kW. Potřeba tepla pak odpovídá 10,65 MWh = 38,3 GJ. Další potřeba tepla bude plynout z ohřevu TV. V současnosti je ohřev TV v objektu řešený elektrickým ohřevem a není tak informace o množství potřeby tepla. Pro určení využijeme normu ČSN EN 12831, která nám udává průměrnou spotřebu teplé vody charakterizovanou typem budovy a počtem osob. Pro ohřev TV je potřeba 1,95 MWh = 7,02 GJ.

Výměna zdroje tepla

Nový zdroj tepla budeme dimenzovat dle nových potřeb tepla objektu. Navrženo bude TČ vzduch-voda ve splitovém provedení. Zdroj tepla bude mít výkon 6 kW. Běžné by byla navržena jednotka s nižším výkonem, ale na trhu u českých dodavatelů se prodávají pouze jednotky, které mají nejnižší výkon právě 5-6 kW. S výhledem do budoucna, kdy bude stavěno stále více pasivních domů a domů s nízkými potřebami tepla je možné předpokládat, že výrobci začnou vyrábět i jednotky s nižším výkonem. Výpočet tepelných ztrát počítá s interiérovou výpočtovou teplotou 22 °C, ale kvůli výkonnější jednotce jsme pro vyšší tepelnou pohodu vytápět i o několik stupňů více, obzvlášť pokud chceme zachovat otopný systém, který je řešen pomocí otopných těles. Jednotka obsahuje i integrovaný zásobník TV a budeme moci uvažovat s ohřevem TV pomocí TČ. U těchto splitových jednotek malého výkonového rozsahu a menšího zásobníku TV můžeme uvažovat s dostatečnou efektivností ohřevu TV i na vyšší teploty, než pouštíme do otopného systému.

Tabulka 6.5.1 (2) Nový zdroj tepla pro variantu I. i II. [43]

Tepelné čerpadlo GRS-CQ6.0Pd/NhH-E SPLIT VERSATI III 6,0 kW	
Venkovní jednotka	
Výkon (7/40/45 °C)	5,9 kW
Příkon	1,5 kW
Topný faktor (7/40/45 °C)	3,93 kW
Hladina akustického tlaku	52 dB (A)
Chladivo	R32
Elektrické napájení	220-240/1/50 V/Ph/Hz
Rozměry (D x V x Š)	975 x 396 x 702
Hmotnost	55 kg
Vnitřní jednotka	
Elektrické napájení	220-240/1/50 V/Ph/Hz
Hladina akustického tlaku	29 dB (A)
Rozměry (V x Š x H)	860 x 460 x 318
Hmotnost	62 kg
Součásti jednotky:	Čerpadlo, Tepelný výměník, Expanzní nádoba, El. Patrona, Zásobník vody

Z celé specifikace jednotky nás zajímá hlavně její topný faktor. Topný faktor uváděný výrobcí však může být zavádějící, protože uvažuje s návrhovou venkovní teplotou 7 °C. Pro návrh a výpočty spotřeby proto musíme uvažovat s topným faktorem o něco nižším. Pokud už TČ máme, můžeme k reálné hodnotě dojít při sledování a odečtech spotřeby. V případě návrhu máme dvě možnosti. Někteří výrobci dodávají přímo charakteristiku TČ, která znázorňuje závislost topného faktoru na venkovní teplotě a jsme schopni na naši požadovanou teplotu vyčíst topný faktor. Druhou možností je si nechat jednotku TČ specifikovat pro dané venkovní teploty v rozsahu například (5 - -10 °C) a vhodně jejich pracovní body proložit křivkou.

Nyní známe topné faktory pro určité venkovní teploty, ze kterých pak získáme hodnotu spotřebované elektrické energie. Nejkorrektnějším způsobem by bylo, kdybychom každý měsíc otopného období dle jeho průměrné venkovní teploty vyhodnotili zvlášť. V našem případě budeme jako referenční střední teplotu uvažovat za celé topné období a dle které byly i poptávané jednotky. Řešený objekt má střední teplotu otopného období 3,5 °C a odpovídající topný faktor je 3,7.

Tabulka 6.5.2 (3) Investiční náklady Varianty I. [43]

Položka	Cena včetně DPH [Kč]
Část výměny zdroje tepla	
Tepelné čerpadlo s integrovaným zásobníkem TV, expanzní nádobou, oběhovým čerpadlem a veškerými armaturami nutnými pro provoz	205 000
Montáž TČ + připojovací materiál	48 000
Stavební část	
Zateplovací systém fasády tl. 100 mm včetně veškerých stavebních částí a prací	230 000
Zateplovací systém podstřešního prostoru tl. 150 mm, včetně veškerých stavebních částí a prací	54 000
Celkem	537 000

6.5.3 Varianta II. Komplexní zateplení, výměna zdroje tepla, rekuperace

Zateplení objektu + nucené větrání

Do konstrukcí obálky budovy budeme přidávat takové množství izolace, aby se výsledný součinitel přestupu tepla konstrukcí blížil k pasivním hodnotám, dle ČSN 73 0540-2:2011. Zároveň bude eliminována ztráta větráním týkající se hygienické výměny vzduchu z důvodu rekuperace. Stále však bude zahrnuta ztráta infiltrace spárami. Při rekonstrukci fasády jsou uvažovány veškeré stavební a montážní materiály (penetrace podkladu, lepicí hmota, izolace, výztužná síť, sěrková hmota, omítka). Celkový součinitel prostupu tepla pak zahrnuje celou skladbu konstrukce. Zateplení střešní části je z vnitřní strany. Oba stropy jsou zateplené minerální vatou, která je zavěšena a ukotvena na roštu. Pod vrstvou izolačního materiálu je vybudován sádkartonový strop. Posledním opatřením je výměna vstupních dveří.

Tabulka 6.5.3 (1) Návrh zateplení konstrukcí varianty II.

Konstrukce	Původní U [$W/m^2 \cdot K$]	tloušťka izolace $\lambda = 0,035$	Nové U [$W/m^2 \cdot K$]
Obvodová stěna	1,314	150 mm	0,198
Střecha	0,789	250 mm	0,148
Vstupní dveře	2,300	-	1,200
Strop k 2NP	1,458	100 mm	0,279

Tepelná ztráta a nová potřeba tepla objektu

Po zateplení objektu je hodnota tepelných ztrát 2,8 kW. Potřeba tepla pak odpovídá 5,62 MWh = 20,2 GJ. Celková potřeba tepla pro ohřev TV zůstává stejná – 1,95 MWh = 7,02 GJ.

Výměna zdroje tepla

Nový zdroj tepla budeme dimenzovat dle nových potřeb tepla objektu. Navrženo bude TČ vzduch-voda ve splitovém provedení. Zdroj tepla bude mít výkon 6 kW. Obdobně jako u minulé varianty, navrhujeme zdroj s podstatně vyšším výkonem, než je potřeba, ale na českém trhu se jednotky s nižším výkonem neprodávají. Je poptána stejná jednotka se stejnou specifikací jako u varianty první. S ohledem na nízké tepelné ztráty by určitě stál za zvážení jiný zdroj tepla, ale s ohledem na komfort, spolehlivost systému a snaha o využití OZE je opět zvoleno TČ. Opět z důvodu vyššího výkonu můžeme dosáhnout vyššího tepelného komfortu. Stávající otopný systém zůstane ponechán.

Instalace vzduchotechnické jednotky

V objektu bude nainstalovaná vzduchotechnická rekuperační jednotka. Jednotka bude zásobovat čerstvým vzduchem veškeré obytné místnosti a nebude nutné přirozené větrání okny. Je navržena výkonově nejnížší jednotka, která dostatečně pokryje potřebnou hygienickou výměnu vzduchu, vzduch proudí v nízkých rychlostech a jednotka má nízkou hladinu akustického tlaku. V návrhu je uvažováno s veškerými rozvody včetně distribučních elementů a bude nutné také několik stavebních úprav. [44]

Tabulka 6.5.3 (2) Investiční náklady varianty II. [43][44]

Položka	Cena včetně DPH [Kč]
Část výměny zdroje tepla	
<i>Tepelné čerpadlo s integrovaným zásobníkem TV, expanzní nádobou, oběhovým čerpadlem a veškerými armaturami nutnými pro provoz</i>	205 000
<i>Montáž TČ + přípojovací materiál</i>	48 000
Stavební část	
<i>Zateplovací systém fasády tl. 150 mm včetně veškerých stavebních částí a prací</i>	295 000
<i>Zateplovací systém podstřešního prostoru tl. 250 mm, včetně veškerých stavebních částí a prací</i>	72 000
<i>Zateplovací systém sklepního stropu tl. 100 mm, včetně veškerých stavebních částí a prací</i>	37 000
<i>Výměna vstupních dveří</i>	20 000
Část vzduchotechniky	
<i>Vzduchotechnická jednotka včetně vestavěných ohříváčů a veškerých potřebných prvků MaR + montáž</i>	84 500
<i>Rozvody vzduchotechnického potrubí, distribuční elementy a veškeré přípojovací části</i>	31 000
<i>Stavební úpravy potřebné pro rozvody VZT</i>	12 000
Celkem	804 500

6.6 Nové provozní náklady objektu

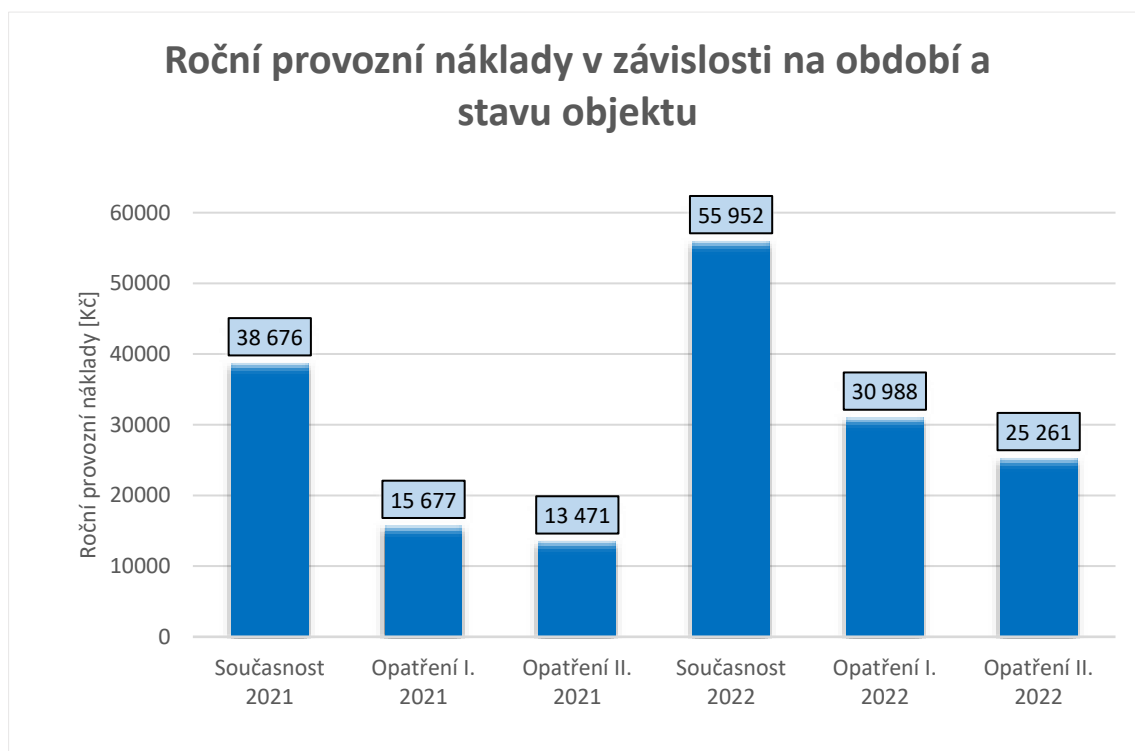
Po navržených opatření bychom se měli dostat na nižší provozní náklady a ty porovnáme s původními. Jako zdroj tepla je v obou variantách tepelné čerpadlo a majoritní složku provozních nákladů bude tvořit spotřeba elektrické energie. Při pořízení tepelného čerpadla nám vzniká nárok na levnější tarifovou sazbu – D56d.

Tabulka 6.6 (1) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2021 [42]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Varianta I.			
Elektřina spotřebiče	1 878,67 [Kč/MWh]	1,985	3 729,16
Elektřina tepelné čerpadlo	1 878,67 [Kč/MWh]	3,405	6 396,87
Elektřina OS	323,46 [Kč/měsíc]	12	3 881,88
Propan-butan	40,90 [Kč/kg]	40,8	1 668,72
Celkem			15 676,63
Varianta II.			
Elektřina spotřebiče	1 878,67 [Kč/MWh]	1,985	3 729,16
Elektřina tepelné čerpadlo	1 878,67 [Kč/MWh]	2,046	3 843,76
Elektřina vzduchotechnika	1 878,67 [Kč/MWh]	0,185	347,55
Elektřina OS	323,46 [Kč/měsíc]	12	3 881,88
Propan-butan	40,90 [Kč/kg]	40,8	1 668,72
Celkem			13 471,07

Tabulka 6.6 (2) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2022 [42]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Varianta I.			
Elektřina spotřebiče	4452,38 [Kč/MWh]	1,985	8 837,97
Elektřina tepelné čerpadlo	4452,38 [Kč/MWh]	3,405	15 160,35
Elektřina OS	378,78 [Kč/měsíc]	12	4 545,36
Propan-butan	59,90 [Kč/kg]	40,8	2 443,92
Celkem			30 987,60
Varianta II.			
Elektřina spotřebiče	4452,38 [Kč/MWh]	1,985	8 837,97
Elektřina tepelné čerpadlo	4452,38 [Kč/MWh]	2,046	9 109,57
Elektřina vzduchotechnika	4452,38 [Kč/MWh]	0,185	823,69
Elektřina OS	378,78 [Kč/měsíc]	12	4 545,36
Propan-butan	59,90 [Kč/kg]	40,8	2 443,92
Celkem			25 260,51



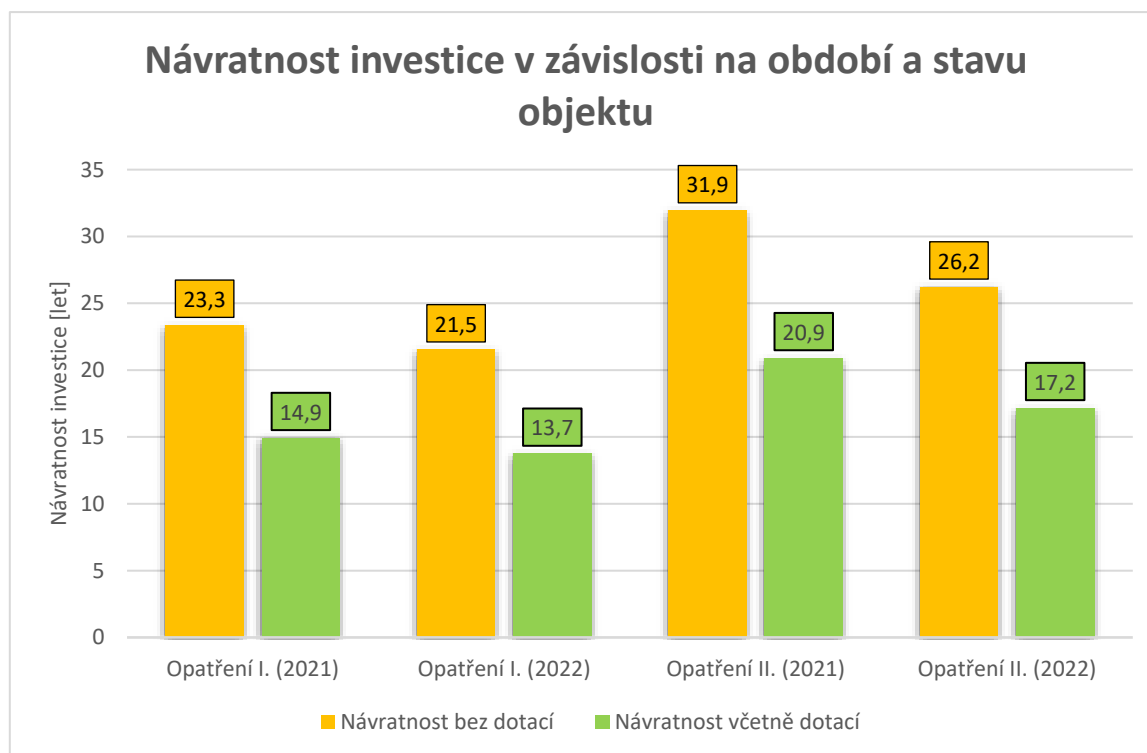
Obrázek 6.6 Graf ročních provozních nákladů

6.7 Návratnost investice

Po návrhu nových opatření jsme se dostali k novým provozním nákladům, které jsou výrazně nižší a nemusíme pochybovat o jejich efektivitě. Abychom dosáhli srovnání s aktuální situací s ohledem na investované náklady do nových technologií, potřebujeme vypočítat návratnost investice. V rámci investičních nákladů je možné počítat s teoretickou výší dotací. Výše dotace je stanovena dle kalkulačky dotací, která je závislá na vstupních parametrech a průměrných dosavadních udělených dotačních příspěvcích.

Tabulka 6.7 Návratnost investic

Stav	Investice	Dotace	Provoz	Návratnost bez dotací [let]	Návratnost vč. dotací [let]
Stávající stav (2021)	0,00	/	35 977,11	/	/
Stávající stav (2022)	0,00	/	52 757,29	/	/
Varianta I. (2021)	537 000,00	194 000,00	15 676,63	23,34	14,91
Varianta I. (2022)	537 000,00	194 000,00	30 987,60	21,51	13,74
Varianta II. (2021)	804 500,00	278 000,00	13 471,07	31,92	20,89
Varianta II. (2022)	804 500,00	278 000,00	25 260,51	26,21	17,15



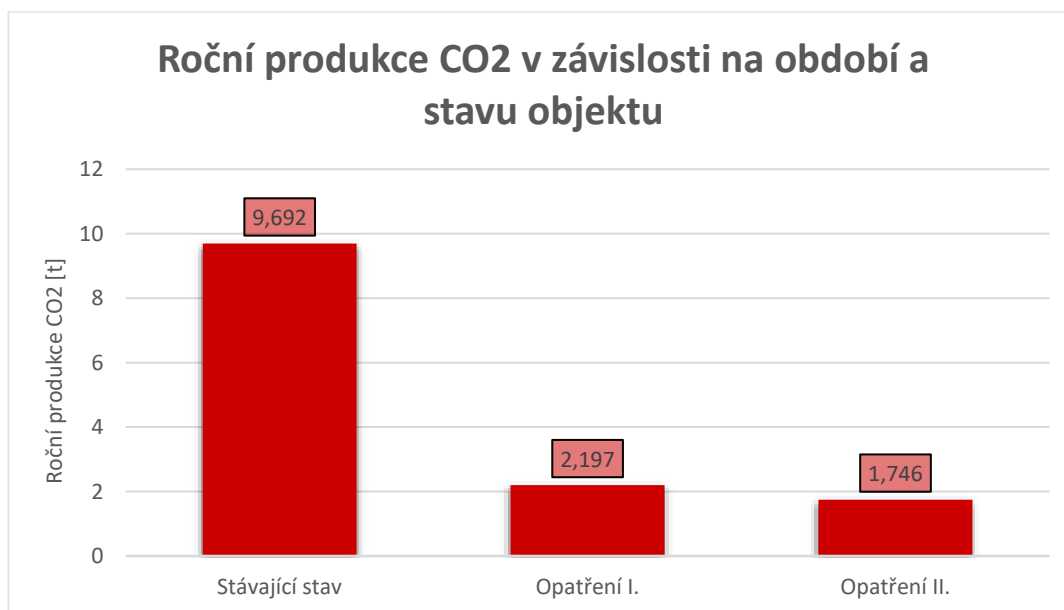
Obrázek 6.7 Graf návratnosti investice

6.8 Uhlíková stopa objektu po aplikaci opatření

Při návrhu opatření byla pochopitelně i snaha o snížení uhlíkové stopy. V našem případě očekáváme výrazné snížení, protože jsme snížily potřeby tepla oproti původním hodnotám o 1/2 v případě první varianty a až o 2/3 v případě varianty druhé. Výrazný příspěvek mělo také využití černého uhlí jako paliva.

Tabulka 6.8 Produkce CO₂ po aplikaci opatření

Komodita	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]	Množství [MWh]	Σ [t CO ₂]
Varianta I.			
Propan-butan	0,24	0,530	0,127
Elektřina	0,384	5,390	2,070
Celkem			2,197
Varianta II.			
Propan-butan	0,24	0,530	0,127
Elektřina	0,384	4,216	1,619
Celkem			1,746



Obrázek 6.8 Graf produkce CO₂

6.9 Zhodnocení navrhovaných opatření

Po aplikaci uvažovaných opatření můžeme s jistotou říct, že jsme schopni výrazně snížit energetickou náročnost a produkci CO₂. Provozní náklady jsme schopni snížit až na třetinu původních nákladů a roční produkci CO₂ až na pětinu původního stavu. Celá finanční stránka se však pojí s cenami energií, které se v současné situaci mění velice intenzivně. I samotná vhodnost navrhovaných řešení se v závislosti na cenách energií může měnit a při realizování rekonstrukcí je nutné dbát na aktuální situaci. Podstatnou složkou celého návrhu je i možnost využití dotací. Bez využití dotací jsou investiční náklady na poměry rodinného domu vysoké a v případě nedosáhnutí dotačního programu se skoro u všech nabízených variant dostáváme na návratnost investice přes 20 let. Dotační program a jeho výše není 100 % garantovaná, obzvláště u rekonstrukcí, a je proto s ním počítat s náležitou rezervou. Společně s energiemi rostou i ceny veškerých materiálů a technologií, proto při opětovném naceňování položek se s postupem času setkáme s vyššími výdaji.

6.9.1 Zhodnocení varianty I.

První varianta je podstatně dostupnější bez větších zásahů do systému a její rozsah aplikace by byl vhodný pro veškeré rodinné domy, které jsou v podobném stavu jako řešený objekt. Objekt je po aplikaci opatření závislý primárně na elektrické energii a jeho provozní náklady bude ovlivňovat pouze hospodaření a cena elektřiny. Dle srovnání ceníkových sazeb dle roku 2021 a 2022 vidíme, že s výraznou rostoucí cenou elektřiny se provozní náklady zvyšují ekvivalentně. S ceníkovými cenami v roce 2021 jsou provozní náklady třetinové od původního stavu, ale s ceníkovými cenami v roce 2022 je úspora provozních nákladů pouze poloviční. V případě možnosti využití dotačních programů je tahle varianta velice smysluplná a v budoucích letech dojde k razantnímu ušetření na spotřebě a nákladech.

6.9.2 Zhodnocení varianty II.

Druhá varianta nám nabízí řešení komplexnějšího zateplení, výměny zdroje tepla a využití vzduchotechnické jednotky. Zde je nutné podotknout, že instalace vzduchotechnické jednotky je samo o sobě velice energeticky výhodné, pokud bychom měli striktně dodržovat

požadované hygienické množství vyměněného vzduchu. V praxi se ale spíše setkáme s případy, kdy k potřebě větrání nedochází tak často, jak vyhodnocuje norma, nebo lidem stále více vyhovuje přirozené větrání okny. Další podstatná zmínka je ke zvolenému zdroji tepla, který je značně předimenzovaný, protože se nižší výkonové TČ na českém trhu neprodávají. V budoucnu se dají očekávat i TČ s nižšími výkony, které by i mohly přinést vyšší topný faktor, nebo alespoň by jejich investiční cena byla nižší. I přes vyšší ceny investic a podstatně většího zásahu do objektu jsou výsledky přijatelné, ale stejně jako u varianty první, tak bez využití dotačního programu je návratnost investice vysoká.

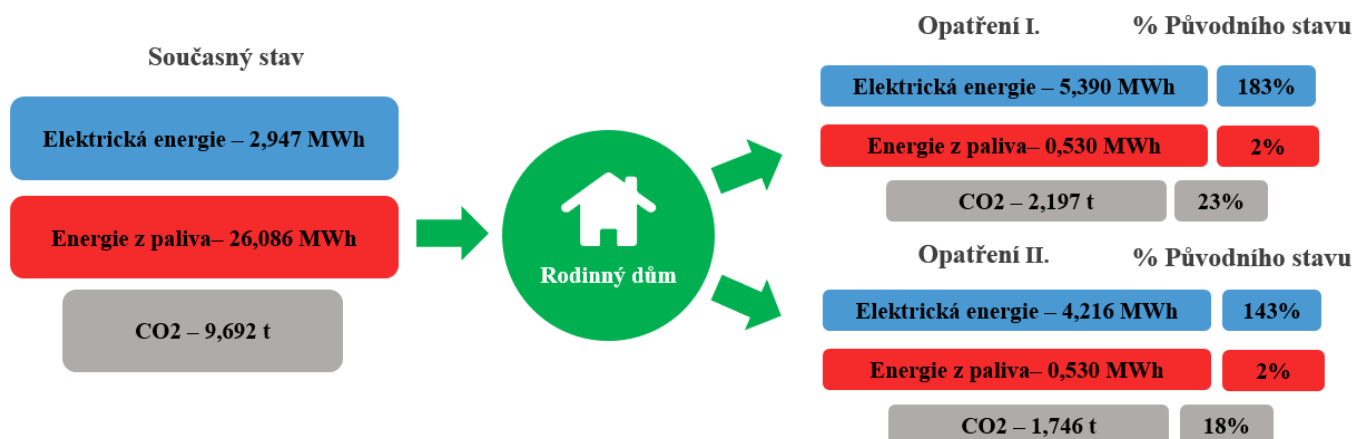
6.10 Investování do rodinného domu

Rodinný dům je objekt, ve kterém pravděpodobně strávíme podstatnou část svého života a měly bychom zařídit vše, abychom dosáhli nejvyššího komfortu za ideálně nízké náklady. Je rok 2022 a směr technologií, kterými se energetika ubírá, je pevně daný a v nejbližších letech se nepočítá s nějakou razantní změnou.

Pokud se na objekt podíváme z hlediska finančních nákladů, tak vzhledem k jeho malé výměře a počtu obývaných osob jsou provozní náklady značně vysoké. S rostoucí inflací a cen energií se ale dostáváme na úplně jiné částky, které jsou zřetelné z vypočítaných provozních nákladů pro aktuální cenové hladiny pro rok 2022. Na druhou stranu tady máme ale i vysoké investiční náklady s návratností 20-30 let a pro spoustu lidí už to může znamenat překážku pro pořízení investice. V současnosti se stát snaží pomoci v oblasti rodinných domů dotacemi, které míří na progresivní technologie a celkové snižování energetické náročnosti. Takle podpora už trvá několik let, v nejbližší době pravděpodobně ještě potrvá, ale můžeme se dostat do bodu, kdy už příspěvek od státu nedostaneme žádný a investice nás vyjde podstatně dražší.

6.11 Bilanční toky objektu

Abychom byli schopni interpretovat závěry i na základě vstupních a výstupních toků, je k dispozici bilanční schéma. Schéma může být flexibilnější v tom, že vyjadřuje pouze vstupní a výstupní hodnoty bez návaznosti na jejich cenové hladiny. Dle konkrétního časového intervalu a poklesu/nárůstu cen energií pak můžeme jednoduše výsledky porovnávat.



Obrázek 6.11 Zobrazení bilančních toků objektu

7 Energetická náročnost školního areálu

7.1 Popis objektu

Druhý řešený objekt je budova školního areálu. Objekt se nachází v Jihomoravském kraji. Budova se skládá z trojpodlažní hlavní části, kde se nachází učebny, učitelské a personální kanceláře a šatny. Druhou část tvoří jídelna v prvním nadzemním podlaží a družina v druhém nadzemním podlaží. Poslední částí je tělocvična se zázemím. Škola je provozována v standardním režimu. V pracovních dnech škola funguje 8-10 hodin, o víkendech, svátcích a v červenci je provoz omezen a přibližně polovinu srpna je provozován pouze zaměstnanci. Jídelna s družinou fungují pouze když probíhá výuka. Průměrný počet osob v objektu byl stanoven na 360 žáků a 40 zaměstnanců.

Objekt byl postaven koncem 60. let minulého století. Objekt je charakterizován jako nezateplený. Svislé konstrukce jsou ze zděných cihel, stropy a podlahy tvoří železobetonová konstrukce. Střecha je dvouplášťová bez izolační vrstvy. Otvorové výplně byly rekonstruovány, okna jsou vyplněna plastovými dvojskly. Vchodové dveře do hlavní části budovy jsou plastové s izolačním zasklením, ostatní jsou původní bez větších izolačních schopností.

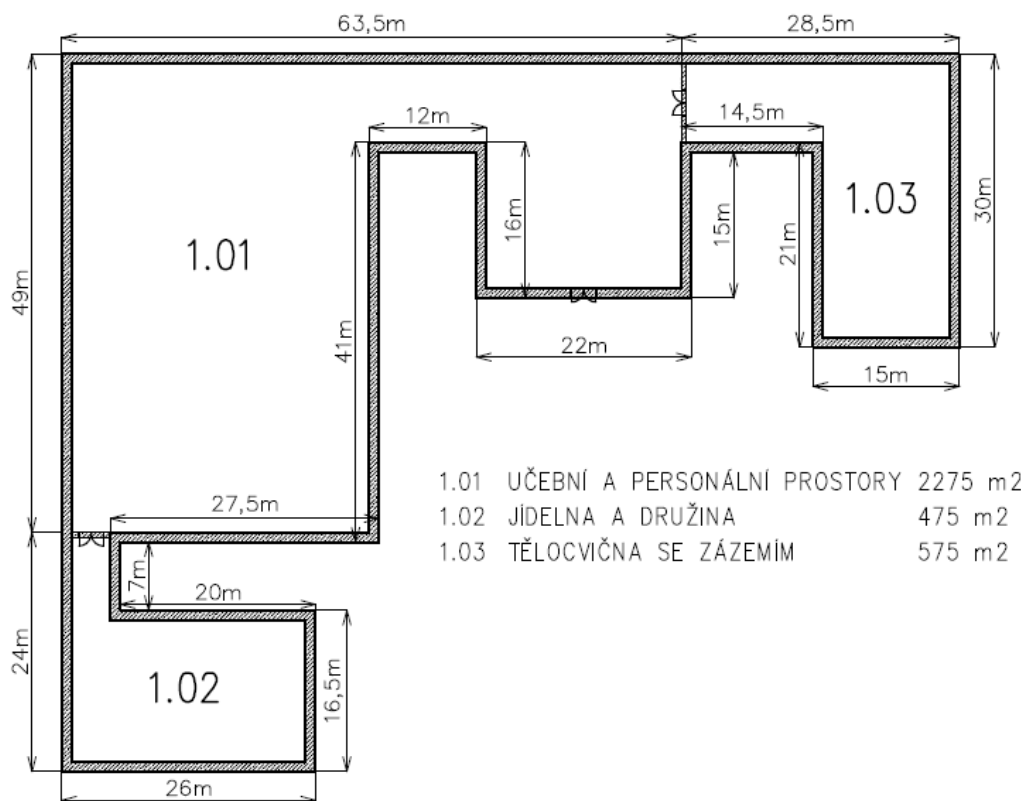
Zdrojem tepla jsou dva plynové kotle o výkonech 170 kW. Jejich jmenovitá účinnost je udávána 91 %. Teplotní spád otopné soustavy je uvažovaný 70/50 °C. Otopná soustava je dvoutrubková teplovodní. Rozvody jsou větveny dle částí budov, tj. větev 1. pro hlavní část, větev 2. pro tělocvičnu se zázemím a větev 3. pro jídelnu s družinou. Ve veškerých prostorech jsou osazena litinová článková otopná tělesa. Ohřev teplé vody je připravován plynovým kotlem. Pro akumulaci teplé vody jsou určeny dva akumulární zásobníky, jeden o objemu 750 l pro účely hygienických zázemí a druhý pro školní kuchyni o objemu 500 l.

7.2 Vstupní parametry

Tabulka 7.2 Vstupní parametry řešeného objektu

Plocha objektu	3 325 m²
Zastavěný objem objektu	24 430 m³
Tepelné ztráty objektu	304,5 kW
Roční spotřeba elektřiny	52,62 MWh
Roční spotřeba plynu	48 123 m³

Pro představu o prostorových předpokladech je nastíněn přibližný půdorys objektu.



Obrázek 7.2 Přibližný půdorys objektu

7.2.1 Tepelné ztráty objektu

Venkovní výpočtová teplota pro danou lokalitu je $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tepelné ztráty veškerých pobytových místností jsou vztaženy na výpočetní teplotu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tělocvična se zázemím je vytápěna na $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Technické místnosti, sklady a další nepobytové místnosti jsou temperovány na $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Veškeré prostory jsou větrané přirozeně.

Tabulka 7.2.1 (1) Stavební konstrukce s příslušným součinitelem prostupu tepla

Název konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W.m ⁻² .K]
Stěna obvodová 1	1,030
Stěna obvodová 2	1,257
Střecha	0,872
Podlaha k nevytápěnému prostoru	1,431
Podlaha přilehlá k zemině	0,710
Vstupní dveře	1,100
Ostatní dveřní otvory	2,800
Okenní výplně	1,250

Tabulka 7.2.1 (2) Tepelné ztráty objektu

Tepelná ztráta prostupem	255,2 kW
Tepelná ztráta větráním	115,8 kW
Celková tepelná ztráta	371,0 kW

7.2.2 Roční spotřeba elektřiny

Elektřina je v objektu využita pro osvětlení, technická zařízení pro výuku, veškeré spotřebiče v kuchyni a další pomocná technická zařízení. Spotřeba elektřiny přímo odpovídá provozu školního areálu – o letních prázdninách je spotřeba minimální, nejvyšší je v zimních měsících s výjimkou prosince, kdy jsou vánoční prázdniny.

Objekt odebírá elektrickou energii od společnosti ČEZ a.s. s tarifní sazbou C26d. Jedná se o tarifní sazbu pro objekty s vyšší spotřebou elektřiny a sazba je dvoutarifová. Nízký tarif je po dobu 8 hodin při nejvyšších spotřebách. Instalovaný jistič je 3x160 A.

7.2.3 Roční spotřeba plynu

Plyn je v objektu využit pro vytápění, ohřev teplé vody a pro vaření v kuchyni. Majoritní potřeba je především pro vytápění a ohřev, potřeba plynu pro vaření tvoří přibližně 5 % celé spotřeby. Spotřeby plynu odpovídají topnému období, kdy se zvyšuje spotřeba plynu se snižující se teplotou venkovního prostředí. V letních měsících je spotřeba opět minimální. Roční spotřeba plynu je $48\,123\text{ m}^3 = 507,698\text{ MWh}$.

Plyn je odebírán od společnosti ČEZ a.s.. a dle výše odběrů se jedná o podnikatelský střední odběr 63-630 MWh ročně.

7.3 Současné provozní náklady objektu

Do ročních provozních nákladů vstupuje pouze platba za elektřinu a plyn. Cenové hladiny v tabulce zahrnují veškeré sazby (veškeré složky sazeb, distribuce a další poplatky).

Tabulka 7.3 (1) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2021 [45]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Zemní plyn	1 243,86 [Kč/MWh]	507,698	631 505,79
Zemní plyn OS	135,31 [Kč/měsíc]	12	1 623,72
Elektřina VT	3 668,26 [Kč/MWh]	8,945	32 812,59
Elektřina NT	2 208,84 [Kč/MWh]	43,674	96 468,88
Elektřina OS	7 000,95 [Kč/měsíc]	12	84 011,40
Celkem			846 421,38

Tabulka 7.3 (2) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2022 [45]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Zemní plyn	1 812,37 [Kč/MWh]	507,698	920 135,97
Zemní plyn OS	144,77 [Kč/měsíc]	12	1 737,24
Elektřina VT	5 429,48 [Kč/MWh]	8,945	48 556,70
Elektřina NT	3 965,28 [Kč/MWh]	43,674	173 179,60
Elektřina OS	7 303,80 [Kč/měsíc]	12	87 645,60
Celkem			1 231 265,17

7.4 Současná uhlíková stopa objektu

Produkce CO₂ nám plyne pouze z využití elektřiny a zemního plynu.

Tabulka 7.4 Současná uhlíková stopa objektu

Komodita	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]	Množství [MWh]	Σ [t]
Zemní plyn	0,20	507,698	101,539
Elektřina	0,384	52,619	20,206
Celkem			121,745

7.5 Návrhy pro snížení energetické náročnosti

Máme k dispozici objekt, který svými hodnotami spotřeb (v rámci podnikatelů) odpovídá malým – až středním odběratelům. Opět se setkáváme s poměrně vyšší potřebou tepla plynoucí z pouze částečně izolované obálky budovy. Navrhovaná opatření proto budou cílit na izolaci nezateplených konstrukcí objektu. Realizovat je možné pouze zateplení fasády z vnější strany a stropní části z vnitřní strany.

V prvním případě budeme navíc uvažovat i se změnou zdroje tepla – plynové kotle nahradíme tepelným čerpadlem vzduch-voda pro účely vytápění a částečnému ohřevu TV. Z TČ budeme dostávat pouze 45 °C vodu a ohřev na požadovaných 55 °C bude řešen elektrickým dohřevem. Extrémy v zimních měsících budou řešeny pomocí elektřiny. Plyn už bude dále sloužit pouze pro účely kuchyně.

V druhé variantě bude plynový kotel nahrazen tepelným čerpadlem země-voda s geotermálními vrty. Budeme uvažovat, že je v areálu dostatek prostoru pro jejich vybudování. Z TČ země-voda budeme získávat vodu o teplotě 55 °C a další ohřev TV už dále řešený nebude.

7.5.1 Obecné návrhy opatření

Opět bychom mohli nalézt obecné návrhy opatření zmíněné v kapitole 6.5.1, ale nebudeme se jimi zabývat.

7.5.2 Varianta I. Zateplení, výměna zdroje tepla

Zateplení objektu

Cílené hodnoty součinitele přestupu tepla po zateplení se budou pohybovat mezi hodnotami doporučenými a pro pasivní domy. Při rekonstrukci fasády jsou uvažovány veškeré stavební a montážní materiály (penetrace podkladu, lepicí hmota, izolace, výztužná síť, stěrková hmota, omítka). Celkový součinitel prostupu tepla pak zahrnuje celou skladbu konstrukce. Zateplení střešní části je z vnitřní strany. Strop bude zateplený minerální vatou, která je zavěšena a ukotvena na roštu. Pod vrstvou izolačního materiálu je vybudován sádkokartonový strop. V případě tělocvičny by samotná realizace byla o něco náročnější, každopádně v návrhu je s ní uvažováno.

Tabulka 7.5.2 (1) Návrh zateplení konstrukcí pro variantu I. i II.

Konstrukce	Původní U [$W/m^2 \cdot K$]	tloušťka izolace $\lambda = 0,035$	Nové U [$W/m^2 \cdot K$]
Stěna obvodová 1	1,030	200 mm	0,150
Stěna obvodová 2	1,257	200 mm	0,154
Střecha	0,872	200 mm	0,146

Tepelná ztráta a nová potřeba tepla objektu

Po zateplení objektu je hodnota tepelných ztrát 248,9 kW. Potřeba tepla pak odpovídá 359,1 MWh = 1292,8 GJ. Potřeba tepla pro ohřev TV je vypočtena dle počtu osob vztaženou na typ budovy. Ve vzdělávacích objektech bývá potřeba tepla vztaženou na osobu velice nízká – pouze 0,5 kWh/osoba. Celková potřeba tepla pro ohřev je pak 39,81 MWh = 143,3 GJ.

Výměna zdroje tepla

Po snížení tepelných ztrát nám vzešla nová potřeba tepla a podle ní budeme dimenzovat nový zdroj tepla. Navržený zdroj tepla bude TČ vzduch-voda v monoblokovém provedení.

Pohybujeme už se ve vyšších výkonových řadách a bude navržen zdroj tepla o určité bivalenci pro úspornější provoz. TČ bude dimenzovat na 80 % tepelných ztrát – budeme potřebovat TČ o výkonu 200 kW. Původní plynové kotle budou demontovány a jako bivalentní zdroj pro vytápění v extréměch bude pomocí elektřiny. Tepelné ztráty jsme snížili o 1/3 původní hodnoty a stávající otopný systém by měl být dostatečný. V objektu jsou starší litinová otopná tělesa, která se dimenzovala se značnými rezervami. Při instalaci TČ v objektech s většími otopnými systémy je pro úspornější režim vhodné opatřit do systému akumulční nádobu topné vody. Navrhovaná akumulční nádrž bude mít objem 1000 l.

Tabulka 7.5.1 (2) Nový zdroj tepla pro variantu I. [46]

Tepelné čerpadlo LHA/3004/HA/XL/RV/P2U HIDROS	
Výkon (7/40/45 °C)	200 kW
Příkon	64,8 kW
Topný faktor (7/40/45 °C)	3,09 kW
Hladina akustického tlaku	83 dB (A)
Chladivo	R410A
Elektrické napájení	400/3/50 V/Ph/Hz
Rozměry (D x V x Š)	4260 x 2210 x 2350
Hmotnost	3270 kg

U jednotek s vyšším výkonem už nedosahujeme takové efektivity jako u jednotek menších. Ze specifikace nás bude opět zajímat topný faktor při referenční střední teplotě. V oblasti řešeného objektu je referenční střední teplota otopného období 3,6 °C a tomu odpovídá topný faktor 2,93.

Ohřev teplé vody

Z tepelného čerpadla vzduch-voda nejsme schopni efektivně dostat požadovanou teplotu pro TV – 55 °C. Výstupní teplotu vody z TČ uvažujeme většinou maximálně 45 °C. Samotný dohřev bude řešen elektricky. Pro ohřev vody na 45 °C je potřeba 30,96 MWh = 111,44 GJ a dohřev na požadovanou teplotu 55 °C – 8,85 MWh = 31,86 GJ.

Tabulka 7.5.2 (3) Investiční náklady varianty I. [46]

Položka	Cena včetně DPH [Kč]
Část výměny zdroje tepla	
Demontáž stávajícího systému plynových kotlů + kouřovodu	100 000
Jednotka tepelného čerpadla	1 640 000
Montáž TČ + přípojovací materiál	100 000
Akumulační nádrž + montáž	60 000
Stavební část	
Zateplovací systém fasády tl. 200 mm včetně veškerých stavebních částí a prací	3 200 000
Zateplovací systém podstřešního prostoru tl. 200 mm, včetně podhledů a veškerých stavebních částí a prací	1 520 000
Celkem	6 620 000

7.5.3 Varianta II. Zateplení, výměna zdroje tepla

Zateplení objektu

Obálka objektu je řešena obdobně jako v kapitole 7.5.2.

Tabulka 7.5.3 (1) Návrh zateplení konstrukcí pro variantu I. i II.

Konstrukce	Původní U [$W/m^2 \cdot K$]	tloušťka izolace $\lambda = 0,035$	Nové U [$W/m^2 \cdot K$]
Stěna obvodová 1	1,030	200 mm	0,150
Stěna obvodová 2	1,257	200 mm	0,154
Střecha	0,872	200 mm	0,146

Tepelná ztráta a nová potřeba tepla objektu

Po návrhu stejného zateplení tepelná ztráta a potřeba tepla odpovídá stejným hodnotám jako v kapitole 7.5.2.

Výměna zdroje tepla

V druhé variantě budeme navrhovat TČ země-voda. Od tohoto systému se očekávají vysoké investiční náklady za cenu nižších nákladů provozních. Navržená jednotka bude mít opět výkon 200 kW. Kromě samotné jednotky bude stěžejní realizace vrtů. Bude provedeno minimálně 20 vrtů o minimální hloubce 80-120 m. Tepelné čerpadlo by mělo bez problému pokrýt veškeré potřeby tepla, v případě extrémů bude jako bivalentní zdroj opět elektrokotel. TČ zajistí i ohřev TV na požadovanou teplotu 55 °C. Systém bude pro úspornější a plynulejší chod doplněný o akumulční nádobu pro topnou vodu o objemu min 1000 l.

Tabulka 7.5.3 (2) Nový zdroj tepla pro variantu II. [47]

Tepelné čerpadlo WSHN-XSC3 75.4 CLIVET	
Výkon (10/40/45 °C)	201 kW
Příkon	49,5 kW
Topný faktor (10/40/45 °C)	4,06 kW
Hladina akustického tlaku	64 dB (A)
Chladivo	R410A
Elektrické napájení	400/3/50 V/Ph/Hz
Rozměry (D x V x Š)	2250 x 1150 x 2350
Hmotnost	1264 kg

U specifikované jednotky budeme přímo vycházet z navržených parametrů. Jednotka uvažuje s návrhovou teplotou na straně prostředí 10 °C, což odpovídá průměrné teplotě podzemních vod, ze kterých budeme energii čerpat.

Tabulka 7.5.3 (3) Investiční náklady varianty II.[47]

Položka	Cena včetně DPH [Kč]
Část výměny zdroje tepla	
<i>Demontáž stávajícího systému plynových kotlů + kouřovodu</i>	100 000
<i>Jednotka tepelného čerpadla</i>	1 027 800
<i>Montáž TČ + přípojovací materiál</i>	100 000
<i>Realizace geotermálních vrtů</i>	2 900 000
<i>Materiál na napojení vrtů a práce spojené s napojením</i>	1 050 000
<i>Projektové práce a inženýring</i>	100 000
<i>Akumulační nádrž + montáž</i>	60 000
Stavební část	
<i>Zateplovací systém fasády tl. 200 mm včetně veškerých stavebních částí a prací</i>	3 200 000
<i>Zateplovací systém podstřešního prostoru tl. 200 mm, včetně podhledů a veškerých stavebních částí a prací</i>	1 520 000
Celkem	10 057 800

7.6 Nové provozní náklady objektu

Po vydatných investičních nákladech očekáváme vyšší úspory v provozních nákladech a ty budou srovnány s původním systémem. V obou případech jsme nahradili plyn jako primární palivo. Plyn zůstal ponechán pouze pro účely kuchyně. Jako primární zdroj volíme opět tepelná čerpadla, která budou závislé na elektrické energii. Při instalaci TČ se dostáváme na nižší tarifovou sazbu – C56d.

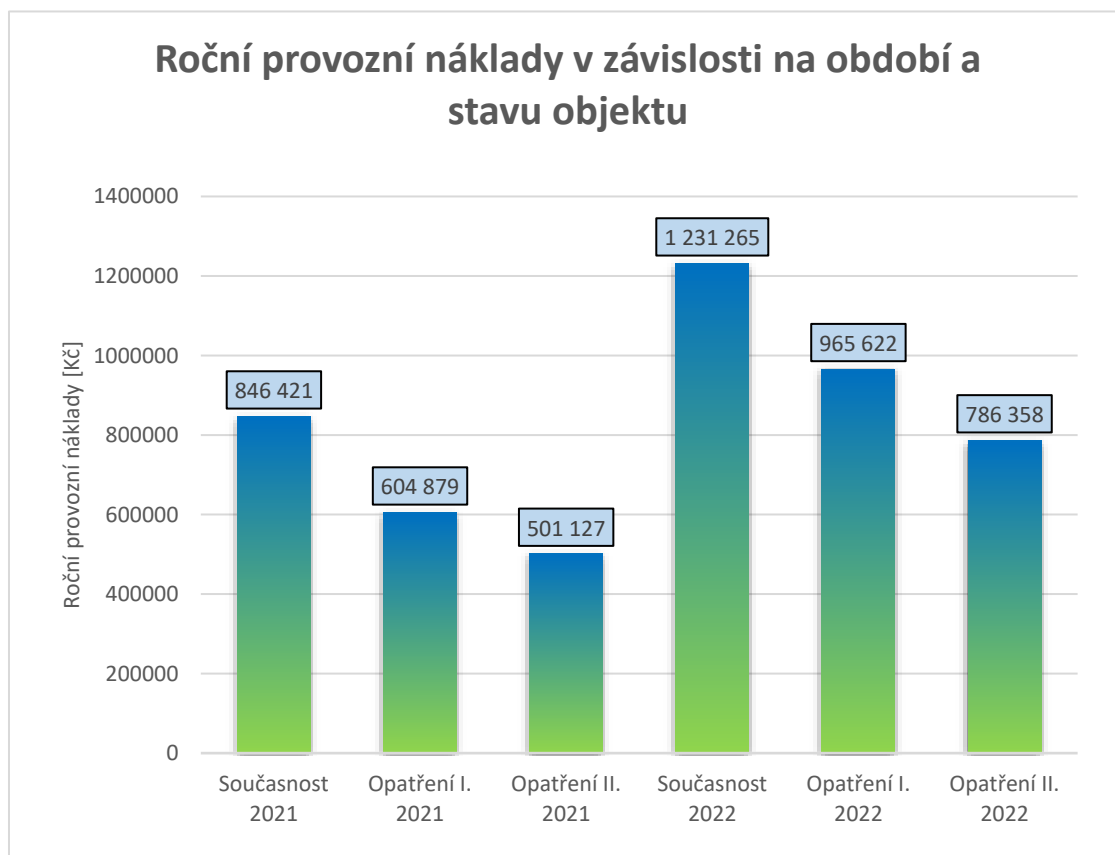
2021

Tabulka 7.6 (1) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2021[45]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Varianta I.			
<i>Elektrina spotřebiče</i>	2 413,33 [Kč/MWh]	52,619	126 987,01
<i>Elektrina tepelné čerpadlo</i>	2 413,33 [Kč/MWh]	141,976	342 635,62
<i>Elektrina OS</i>	8504,98 [Kč/měsíc]	12	102 059,76
<i>Zemní plyn</i>	1 243,86 [Kč/MWh]	25,383	31 572,90
<i>Zemní plyn OS</i>	135,31 [Kč/měsíc]	12	1 623,72
Celkem			604 879,01
Varianta II.			
<i>Elektrina spotřebiče</i>	2 413,33 [Kč/MWh]	52,619	126 987,01
<i>Elektrina tepelné čerpadlo</i>	2 413,33 [Kč/MWh]	98,985	238 883,74
<i>Elektrina OS</i>	8504,98 [Kč/měsíc]	12	102 059,76
<i>Zemní plyn</i>	1 243,86 [Kč/MWh]	25,383	31 572,90
<i>Zemní plyn OS</i>	135,31 [Kč/měsíc]	12	1 623,72
Celkem			501 127,13

Tabulka 7.6.1 (2) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2022 [45]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Varianta I.			
Elektřina spotřebiče	4169,77 [Kč/MWh]	52,619	219 409,13
Elektřina tepelné čerpadlo	4169,77 [Kč/MWh]	141,976	592 008,52
Elektřina OS	8871,96 [Kč/měsíc]	12	106 463,52
Zemní plyn	1 812,37 [Kč/MWh]	25,383	46 003,39
Zemní plyn OS	144,77 [Kč/měsíc]	12	1 737,24
Celkem			965 621,79
Varianta II.			
Elektřina spotřebiče	4169,77 [Kč/MWh]	52,619	219 409,13
Elektřina tepelné čerpadlo	4169,77 [Kč/MWh]	98,985	412 745,15
Elektřina OS	8871,96 [Kč/měsíc]	12	106 463,52
Zemní plyn	1 812,37 [Kč/MWh]	25,383	46 003,39
Zemní plyn OS	144,77 [Kč/měsíc]	12	1 737,24
Celkem			786 358,42



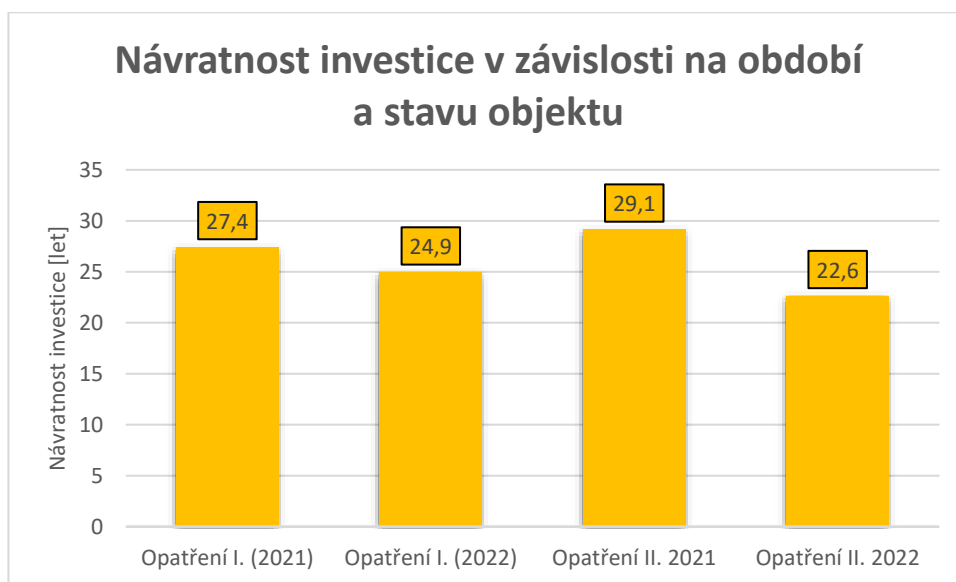
Obrázek 7.6 Graf ročních provozních nákladů

7.7 Návratnost investice

Cílem navrhovaných opatření bylo opět podstatně snížit provozní náklady a snížit produkci CO₂. V rámci návrhu nejsou uvažovány žádné dotační příspěvky, každopádně jedná se o školní areál, který spadá pod státní sektor a hlavní tok peněz do objektu je dán státními příspěvky. Ministerstvo školství každý rok uvolňuje několik financí do revitalizací a rekonstrukcí škol, proto je možné žádat o patřičné dotace.

Tabulka 7.7 Návratnost investic

Stav	Investice	Provoz	Návratnost bez dotací [let]
Stávající stav (2021)	0,00	846 421,38	/
Stávající stav (2022)	0,00	1 232 265,17	/
Varianta I. (2021)	6 620 000,00	604 879,01	27,41
Varianta I. (2022)	6 620 000,00	965 622,79	24,92
Varianta II. (2021)	10 057 800,00	501 127,13	29,13
Varianta II. (2022)	10 057 800,00	786 358,42	22,61



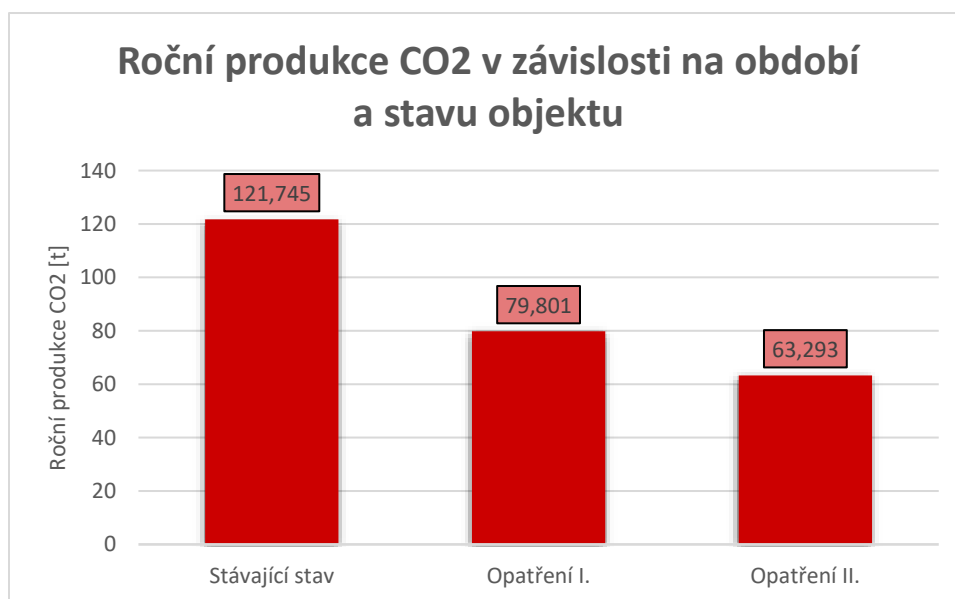
Obrázek 7.7 Graf návratnosti investice

7.8 Uhlíková stopa objektu po aplikaci opatření

Po aplikaci opatření se dostaneme na 2/3 původní produkce CO₂, respektive na 1/2 původní produkce v případě druhé varianty.

Tabulka 7.8 Produkce CO₂ po aplikaci opatření

Komodita	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]	Množství [MWh]	Σ [t CO ₂]
Varianta I.			
Zemní plyn	0,20	25,383	5,077
Elektřina	0,384	194,595	74,724
Celkem			79,801
Varianta II.			
Zemní plyn	0,20	25,383	5,077
Elektřina	0,384	151,604	58,216
Celkem			63,293

Obrázek 7.8 Graf produkce CO₂

7.9 Zhodnocení navrhovaných opatření

U řešeného objektu jsme docílili snížení provozních nákladů a snížení produkce CO₂. Můžeme říct, že jejich míra je závislá na velikosti investice. Máme tady systém TČ země-voda ze kterého jsme schopni získat nejnižší možné provozní náklady, ale za cenu vysoké vstupní investice. Systém TČ vzduch-voda je vhodná alternativa pro náhradu plynového kotle, avšak topný faktor už je závislejší na vnějším prostředí a z toho plyne nižší topný faktor a vyšší spotřebu elektřiny.

Jako klíčové opatření je zde opět zateplení budovy. V rámci rekonstrukce je zde možné aplikovat pouze zateplení fasády a izolace střechy z vnitřního prostředí. Výměna okenních výplní zde proběhla nedávno a výměna podlahy by byla velice komplikovaná až v některých místech nerealizovatelná. Zateplení fasády objektu by nemělo mít výrazný dopad na provoz objektu. Zateplení stropů ke střeše už s sebou nese omezení provozu konkrétních prostorů, proto bude nutné postupovat po etapách, nebo využít letní měsíce, kdy je provoz omezený. Kapitoly 7.9.1 a 7.9.2 blíže popisují pouze výměnu zdroje tepla.

7.9.1 Zhodnocení varianty I.

Dostupnější a cenově příznivější variantu nám dává výměna zdroje tepla za TČ vzduch-voda. Jeho předností je hlavně jednoduchá instalace. V řešeném objektu dosáhneme přibližně 2/3 původních nákladů a 2/3 původní produkce CO₂. TČ vzduch-voda jsou sama o sobě

dostatečně výkonná, ale pouze při vyšších venkovních teplotách. Nacházíme se ale v mírném pásmu a při snižující se teplotě jde jejich účinnost razantně dolů. Stále se ale bavíme o nejprogresivnější technologii zdrojů tepla a ve srovnání s ostatními zdroji tepla je, co se týče provozních nákladů a produkce CO₂, dominantní.

7.9.2 Zhodnocení varianty II.

Druhá varianta uvažuje s výměnou zdroje tepla za TČ země-voda s využitím geotermálních vrtů. Navrhované řešení s sebou nese komplikovanou instalaci a vyšší provozní náklady. Realizovatelnost zde nebude posuzována, ale mohlo by se stát, že objekt se nachází na nevhodném podloží, nebo by nebylo dostatek prostoru pro realizaci vrtů, kterých bude potřeba větší množství. Pokud bychom ale předešli všechny kroky a dosáhli tohoto řešení, dostaneme spolehlivý systém, který v současnosti nemá konkurenci. Dosáhneme přibližně 60 % původních nákladů a produkci CO₂ snížíme na polovinu.

Další předností tohoto systému je velice efektivní reverzní chod, kdy bychom v létě pomocí TČ chladili. Pokud bychom měli dodávat do objektu chlad z TČ místo dalších technologií spojených s chlazením, které by navíc stály další investici, opět posouváme efektivitu TČ o několik stupňů výše. Pro řešený objekt ale žádné požadavky na chlazení nejsou, proto se tím zabývat nebudeme.

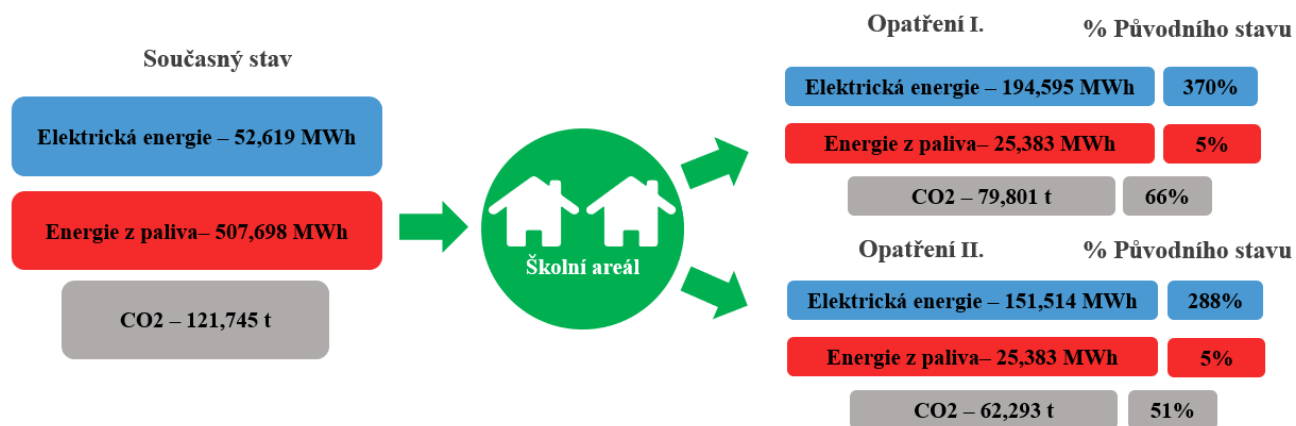
7.10 Investování do školního areálu

Pro řešený objekt je důležité, že se jedná o školní areál, který není určený, aby sám o sobě při provozu vydělával. Škola je dotována státem, případně institucí pod něj spadající, například město nebo kraj. Výše dotačního příspěvku proto záleží pouze na iniciaci a aktivitě investora. Školní objekty nejsou otázkou na 20 let, ale vždy tady budou potřeba a má smysl do nich investovat. Určitě je ale vhodné realizovat takové investiční akce s rozvahou a smysluplně. Vhodným příkladem u řešeného objektu je celkem nedávná výměna oken. Starší dřevěná okna byla vyměněna za nová plastová, protože už byla ve špatném stavu, profukovala a docházelo k podstatným únikům tepla. Každopádně fasáda byla technicky v pořádku, proto její rekonstrukce ve smyslu zateplení nebyla ani uvažována. Můžeme se jen domnívat, jestli nebyly peníze, nebo takhle varianta vůbec nebyla uvažována. Dnes je běžnou praxí že revitalizace stávajících objektů už bývá kompletní, protože celkové vynaložené investice jsou nižší, je menší množství prací je a zabere to podstatně méně času. Školní areál se navíc vybízí k tomu, aby rekonstrukce probíhaly v letních měsících, kde je provoz už minimální, nebo úplně omezený.

Pokud bychom řešili stejný problém, ale v soukromém areálu, kde investor musí vynaložit investici bez jakékoliv finanční pomoci, můžeme už se konkrétněji zabývat vhodností navrhovaných opatření. Klíčový zde může být typ objektu, jeho hospodaření, dostupné finanční prostředky a náhled investora ke snižování energetické náročnosti. Návrhnost investic v našem případě je v rozmezí 20-30 let, což už je dostatečně dlouhá doba na to, abychom zvažili vhodnost. V tomhle případě už se nesnažíme tolik počítat, kdy se nám peníze vrátí, ale zda na tu vstupní investici máme a jak velká částka je to v porovnání s finančními toky společnosti.

7.11 Bilanční toky objektu

Pro interpretaci závěrů i na základě vstupních a výstupních toků, je k dispozici bilanční schéma. Schéma může být flexibilnější v tom, že vyjadřuje pouze vstupní a výstupní hodnoty bez návaznosti na jejich cenové hladiny. Dle konkrétního časového intervalu a poklesu/nárustu cen energií pak můžeme jednoduše výsledky porovnávat.



Obrázek 7.11 Zobrazení bilančních toků objektu

8 Energetická náročnost areálu potravinářské výroby

8.1 Popis objektu

Poslední řešený objekt je areál potravinářské výroby, který se nachází v Jihomoravském kraji. Objekt je velice členěný a některé části budovy k řešené části objektu nepatří. Objektu náleží skladovací hala, výrobní hala, zázemí a administrativní část. Objekt funguje v 24hodinovém provozu a současně zde pracuje přibližně 200 zaměstnanců ve výrobě a 40 zaměstnanců v administrativním oddělení.

Skladba obálky je v tomhle případě o něco lepší než u minulých objektů. Ve skladbě nejsou izolační materiály, ale konstrukce tvoří výrazná vrstva cihel plných o tloušťce 900, 1000 a 1500 mm. Podlahy a stropy jsou železobetonové a střecha obsahuje velmi tenkou vrstvu izolačního materiálu. V objektu proběhla rekonstrukce okenních otvorů a jsou zde nyní plastová dvojskla.

Zdrojem tepla je několik plynových kotlů o menších výkonech s celkovým instalovaným výkonem 430 kW. Jedná o se kotle klasické s jmenovitou účinností pohybující se kolem 86-90 %. Teplotní spád otopné soustavy je uvažovaný 70/50 °C. Otopná soustava je klasicky dvourubková teplovodní. V technologických prostorech jsou osazena teplovzdušná a teplovodní otopná tělesa, která jsou svými vlastnostmi přizpůsobena technologickému prostředí. V administrativní části jsou klasická desková otopná tělesa. Zdroje tepla připravují i ohřev TV, která je určena do sociálních zázemí, do kuchyně a pro aplikaci některých speciálních technologií spojené s výrobou.

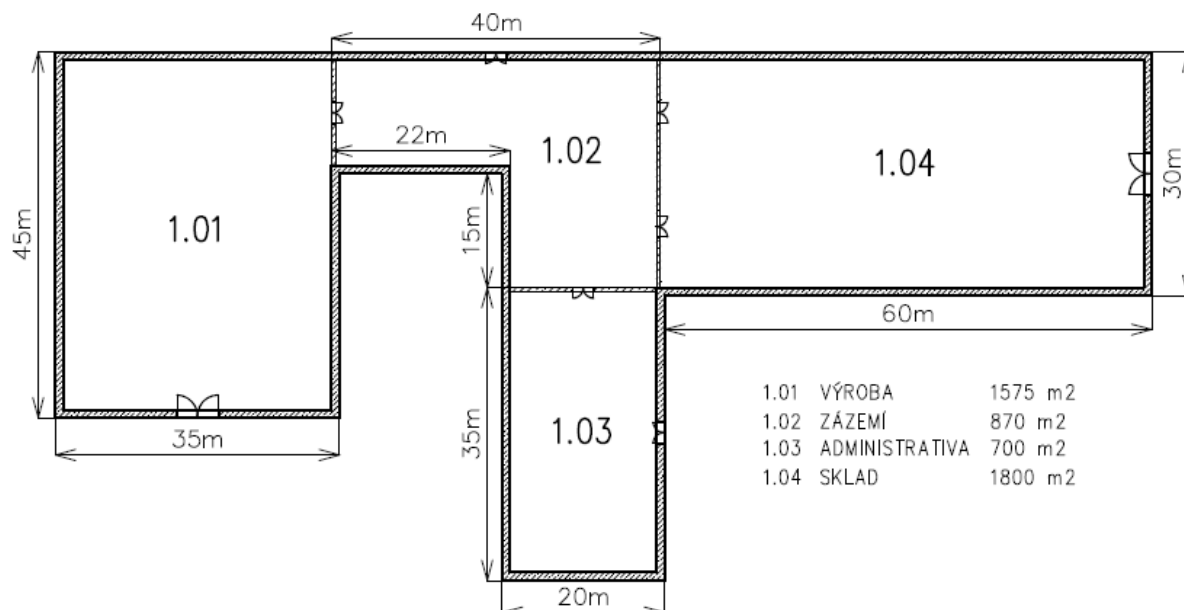
Objekt je velice specifický svými vysokými spotřebami, protože veškeré technologie jsou závislé pouze na elektrické energii. Množství spotřebované elektrické energie spojené s výrobou nelze nějak razantně snížit, aniž bychom nezasahovali do technologické funkčnosti. Navrhovaná opatření proto budou mít rámci celého objektu pouze mírné dopady

8.2 Vstupní parametry

Tabulka 8.2 Vstupní parametry objektu

Plocha objektu	4 945 m²
Zastavěný objem objektu	58 590 m³
Tepelné ztráty objektu	349,4 kW
Roční spotřeba elektřiny technologií	4 172,92 MWh
Roční spotřeba elektřiny objektu	607,82 MWh
Roční spotřeba plynu	89 775 m³

Pro představu o prostorových předpokladech je nastíněn přibližný půdorys objektu.



Obrázek 8.2 Přibližný půdorys objektu

8.2.1 Tepelné ztráty objektu

Venkovní výpočtová teplota pro danou lokalitu je $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Administrativní prostory jsou vytápěny na $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, zázemí na $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, skladovací hala je temperována na minimální teplotu $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a prostory výrobní haly jsou vytápěny na $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale zde je předpoklad určitého množství tepelných zisků od technologií. Veškeré prostory jsou větrané přirozeně.

Tabulka 8.2.1 (1) Stavební konstrukce s příslušným součinitelem prostupu tepla

Název konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W.m ⁻² .K]
Stěna obvodová 1 (tl. 900 mm)	0,755
Stěna obvodová 2 (tl. 1000 mm)	0,678
Stěna obvodová 3 (tl. 1500 mm)	0,478
Stěna k temperovanému prostoru	1,233
Střecha	0,657
Podlaha přilehlá k zemině	0,552
Vstupní dveře	1,200
Ostatní dveřní otvory	2,800
Okenní výplně	1,300

Tabulka 8.2.1 (2) Tepelné ztráty objektu

Tepelná ztráta prostupem	192,2 kW
Tepelná ztráta větráním	157,2 kW
Celková tepelná ztráta	349,4 kW

8.2.2 Roční spotřeba elektřiny

Majoritní složkou spotřeby v objektu je elektřina. V objektu jsou 2 elektroměry a jsme schopni oddělit spotřebu elektřiny výrobních technologií a spotřeba objektu samotného, která zahrnuje osvětlení a všechny ostatní spotřebiče. Spotřeba elektřiny je celoročně až na výjimky konstantní. Menší pokles je zaznamenán pouze v letních měsících, kdy bývají závodní odstávky.

Objekt je charakterizován jako velkoodběratel elektřiny a odebírá od společnosti MND a.s. V objektu jsou 2 tarifové sazby. Pro přípojku 1200 A je sazba C35d, pro přípojku 400 A je sazba C25d. Roční spotřeba elektřiny přesahuje 4500 MWh a pro tak vysoké odběry dostávají společnosti individuální ceníky. Pro výpočet provozních nákladů jsou použité ceníky jiného dodavatele, který alespoň nějaká data související s distribucí velkoodběratelům poskytuje veřejně bez konkrétních poptávek.

8.2.3 Roční spotřeba plynu

Spotřeba plynu v objektu je přibližně pětina v porovnání se spotřebou elektřiny. Plyn je určený pouze pro vytápění a ohřev TV. Spotřeba plynu je pro ohřev TV konstantní po celý rok a pro vytápění odpovídá teplotě venkovního prostředí – se zvyšující se teplotou je spotřeba nižší. Roční spotřeba plynu je $89\,775\text{ m}^3 = 947,105\text{ MWh}$.

Plyn je odebírán od společnosti EON a.s. a dle výše odběrů se opět jedná o velkoodběr.

8.3 Současné provozní náklady objektu

Provozní náklady tvoří odběr elektrické energie dvou tarifových sazeb a plyn. Cenová sazba u tarifu C25d a C35d je stejná. Cenová hladina pro vysoký a nízký tarif je rovněž stejná. Cenové hladiny jsou platné pouze pro obecné velkoodběratele. Společnosti mohou mít dle výše odběru a smluvních podmínek ceny individuální. Ceny za ostatní služby (stálé platby a ostatní poplatky) jsou v porovnání s odběrovými hodnotami nízké, že jsou zanedbatelné, nebo dle individuálních dohod nemusí být účtované odlišně nebo vůbec. Je vycházeno z faktu, že v cenících nebývají uvedené.

Tabulka 8.3 (1) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2021 [48][49]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Zemní plyn	1 543,77 [Kč/MWh]	947,105	1 462 113,52
Elektřina VT(C35d)	3 960,72 [Kč/MWh]	1 447,08	5 731 478,70
Elektřina NT (C35d)	3 960,72 [Kč/MWh]	2 725,84	10 796 304,85
Elektřina VT(C25d)	3 960,72 [Kč/MWh]	407,66	1 614 607,31
Elektřina NT (C25d)	3 960,72 [Kč/MWh]	200,17	792 805,44
Celkem			20 397 308,81

Tabulka 8.3 (2) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2022 [48][49]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Zemní plyn	2 747,91 [Kč/MWh]	947,105	2 602 559,71
Elektřina VT(C35d)	5 545,43 [Kč/MWh]	1 447,08	8 024 680,84
Elektřina NT (C35d)	5 545,43 [Kč/MWh]	2 725,84	15 115 977,09
Elektřina VT(C25d)	5 545,43 [Kč/MWh]	407,66	2 260 622,27
Elektřina NT (C25d)	5 545,43 [Kč/MWh]	200,17	1 110 012,09
Celkem			29 113 852,00

8.4 Současná uhlíková stopa objektu

Produkce CO₂ nám plyne pouze z využití elektřiny a zemního plynu.

Tabulka 8.4 Současná uhlíková stopa objektu

Komodita	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]	Množství [MWh]	Σ [t]
Zemní plyn	0,20	947,105	189,421
Elektřina	0,384	4 780,746	1 835,806
Celkem			2025,227

8.5 Návrhy pro snížení energetické náročnosti

Řešený objekt je svými spotřebami velice specifický, protože primární spotřeba je využita pro chod technologií a nejsme schopni tuhle spotřebu snižovat. Budeme proto hledat řešení, které nám pomůže získat energii z obnovitelného zdroje, nebo využijeme současnou výrobu tepla a elektřiny. Další alternativa by mohla být využití odpadního tepla z technologií, každopádně pro specifičnost provozu a jeho rozsah se tím zabývat nebudeme.

Sekundární spotřeba je vynaložena na vytápění, ohřev TV, svícení a další běžně používané spotřebiče, každopádně ta tvoří pouze malou část veškerých nákladů. Pokud bychom se chtěli zaměřit na zmíněné sekundární spotřeby, aplikovali bychom podobná opatření jako u objektů řešených v kapitolách 6 a 7. V našem případě se nám však komplikuje situace ohledně zateplení objektu. Jak bylo zmíněno v kapitole 8.1, objekt je podstatně členitý, celý areál není řešený a nejsou k němu další informace. Návrh zateplení fasády by musel pokrývat i části areálu nesouvisející s řešeným objektem. Rovněž jako u ostatních objektů, okenní výplně už prošly rekonstrukcí. Zateplování ostatních částí obálky by bylo značně komplikované.

V první variantě bude navržena kogenerační jednotka, která bude dimenzována na potřebu tepla. Pro pohon kogenerační jednotky budeme uvažovat jako palivo zemní plyn, který původně sloužil jako palivo do plynových kotlů.

V druhé variantě se pokusíme využít veškerou dostupnou střešní plochu pro instalaci fotovoltaiky. Vyrobená energie nám půjde přímo do systému.

8.5.1 Obecné návrhy opatření

Obecné návrhy by opět mohly cílit na šetření energií a snižování tepelného komfortu, ale opět s nimi nebudeme uvažovat. V rámci řešeného objektu by však stálo za zvážení větší využití teplé a chladné vody. V objektu se nachází několik technologií, které na své aplikace využívají pouze elektrickou energii. Bylo by velice náročné až nerealizovatelné zavedenou technologii nějakým způsobem nahrazovat, ale při využití vody jako média bychom dosáhli nižší energetické náročnosti. Nabízelo by se nám například vyšší využití kogenerace, trigenerace nebo další využití odpadního tepla.

8.5.2 Varianta I. Kogenerační jednotka

Pro potřeby tepla objektu bude instalována kogenerační jednotka, která bude zároveň vyrábět elektrickou energii určenou k okamžitému odběru. KGJ by úplně měla nahradit využití plynových kotlů, ale plyn bude dále využíván jako palivo do spalovacího motoru KGJ.

V našem případě budeme navrhovat KGJ na tepelný výkon, protože potřeba tepla k potřebě elektřiny je výrazně nižší. Dokážeme tak veškerou vyrobenou elektrickou energii využít v jakémkoliv časovém horizontu a pokryjeme veškerou potřebu tepla.

Potřeba tepla objektu

S řešeným objektem jsme nezasahovali od obálky budovy a hodnot tepelných ztrát proto zůstává stejná – 349,4 kW. Pro takovou hodnotu tepelných ztrát odpovídá potřeba tepla pro

vytápění – 747,03 MWh = 2689,3 GJ. Potřeba tepla pro ohřev TV je vypočtena dle počtu osob vztaženou na typ budovy. Je uvažován nepřetržitý celodenní dvousměnný provoz. V objektech tohoto typu bývá potřeba tepla vztaženou na osobu 2,5 kWh/osoba. Celková potřeba tepla pro ohřev je pak 185,93 MWh = 669,3 GJ.

Návrh kogenerační jednotky

Byla navržena KGJ s tepelným výkonem 426 kW. Pro náš objekt je lehce předimenzovaná, ale nabízí nám teoretickou větší výrobu tepla, pokud by se v budoucnu našlo větší využití tepla v objektu na úkor elektrické energie. Bylo poptáno několik firem a byla vybrána jednotka s nejlepším poměrem účinností a nejnižší cenou.

Tabulka 8.5.2 (1) Navrhovaná KGJ [50]

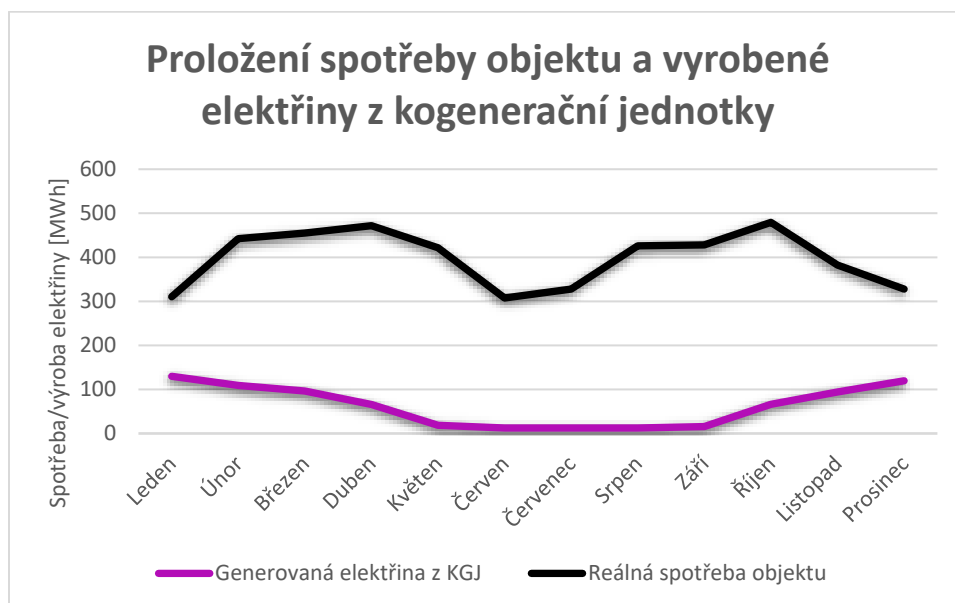
Kogenerační jednotka KE-MNG 350-AS	
Elektrický výkon	357 kW
Tepelný výkon	426 kW
Elektrická účinnost	40,2 %
Tepelná účinnost	49,8 %
Celková účinnost	90,0 %
Příkon v palivu	889 kW

Bilance po využití kogenerační jednotky

Výpočet výroby tepla a elektřiny je na základě potřeby tepla. KGJ ročně vyrobí celkově 932,953 MWh tepla a 753,106 MWh elektřiny.

Tabulka 8.5.2 (2) Měsíční bilance z KGJ

Měsíc	Potřeba tepla na ohřev TV [MWh]	Potřeba tepla na vytápění [MWh]	Vyrobené teplo [MWh]	Vyrobená elektřina [MWh]	Potřebný výkon [MWh]	Spotřeba paliva [m3]
Leden	15,494	145,307	160,801	129,803	322,893	30 605,988
Únor	15,494	119,832	135,326	109,239	271,739	25 757,209
Březen	15,494	103,890	119,384	96,370	239,727	22 722,892
Duben	15,494	65,984	81,388	65,699	163,429	15 490,931
Květen	15,494	7,450	22,944	18,521	46,072	4 367,004
Červen	15,494	0	15,494	12,507	31,112	2 949,009
Červenec	15,494	0	15,494	12,507	31,112	2 949,009
Srpen	15,494	0	15,494	12,507	31,112	2 949,009
Září	15,494	4,076	19,570	15,797	39,297	3 724,814
Říjen	15,494	66,687	82,181	66,339	165,022	15 641,866
Listopad	15,494	101,219	116,713	94,214	234,363	22 214,507
Prosinec	15,494	132,672	148,166	119,604	297,522	18 201,108
Celkem	185,928	747,027	932,953	753,106	1873,4	177 573,346



Obrázek 8.5.2 Graf spotřeby/výroby elektřiny s využitím KGJ

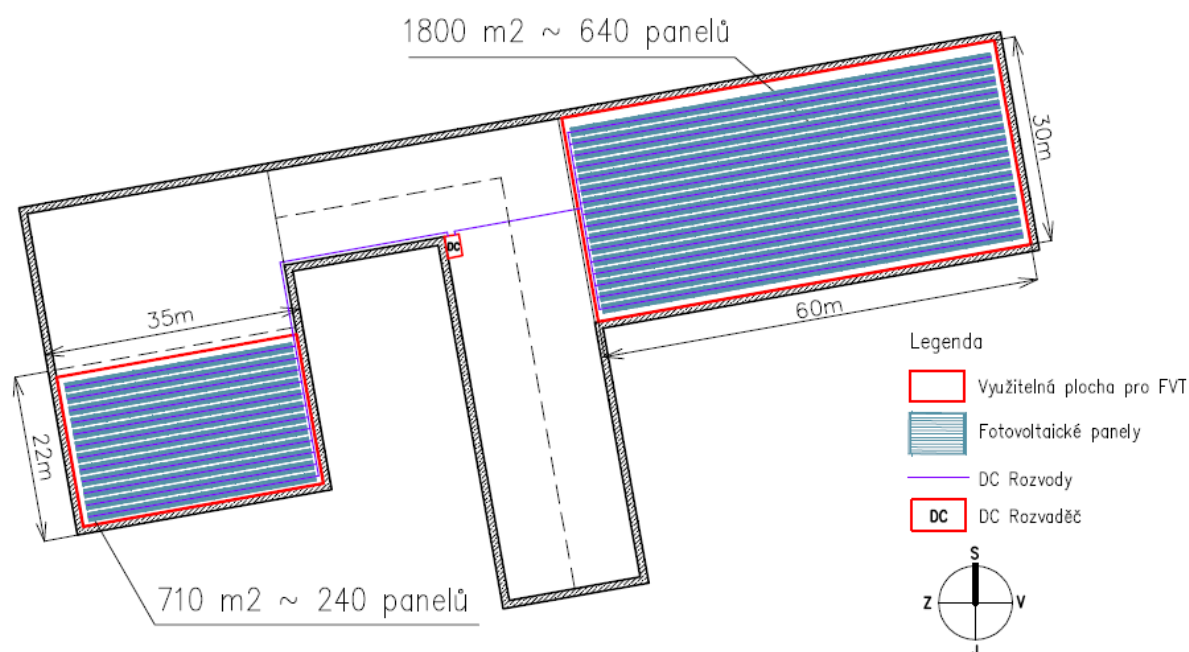
Při porovnání spotřeby elektrické energie z celého provozu nám KGJ pokryje 15,75 % celkové potřeby. Výkonové rozdíly jsou stále velice vysoké, a proto budeme uvažovat, že veškerá dodaná energie bude spotřebována v objektu. Pro úplnou správnost řešení bychom potřebovali znát 2 provozní extrémy – minimální okamžitý odběr elektrické energie a okamžitý odběr elektrické energie při plném výkonu KGJ (v době největší potřeby tepla). Z důvodu nedostatku informací o instalovaných spotřebičích či detailnějších informacích o provozu nejsme tuto hodnotu určit. Pokud bychom v určitém časovém intervalu vyráběli více elektřiny, než je potřeba dodávat do objektu, museli bychom elektřinu posílat do sítě nebo ji nějakým způsobem akumulovat.

Tabulka 8.5.2 (3) Investiční náklady varianty I.

Položka	Cena včetně DPH [Kč]
Instalace kogenerační jednotky a demontáž stávajícího systému	
Demontáž stávajícího systému plynových kotlů + kouřovodu	150 000,00
Kompletní kogenerační jednotka	5 570 000,00
Ostatní montážní, připojovací a potřebné prvky	250 000,00
Celková montáž a instalace	175 000,00
Doprava	16 200,00
Projekční činnost + legislativní procesy	100 000,00
Celkem	6 261 200,00

8.5.3 Varianta II. Využití fotovoltaiky

Na střešních prostorech řešeného objektu bude nainstalována fotovoltaická elektrárna. Chceme vytěžit z využitelné plochy maximum a zamýšlený instalovaný výkon bude v řádech stovek kWp. Při realizaci by bylo nutné vyřešit veškeré legislativní záležitosti zmíněné v kapitole 5.5. Budeme také uvažovat, že instalace panelů nebude mít vliv na statickou strukturu. Řešený objekt nám dává k dispozici pouze omezenou střešní plochu využitelnou k instalaci fotovoltaických panelů. Na ostatních plochách objektu jsou jiné technologie, střecha je nevhodně orientovaná nebo je svým typem nevhodná pro instalaci.



Obrázek 8.5.3 (1) Návrh fotovoltaického systému na střešních prostorech

Navrhovaný fotovoltaický panel

Výběr konkrétních fotovoltaických panelů je velice subjektivní. Parametry a cenové hladiny má většina výrobců podobné a vybíráme si podle dostupnosti, referencí, doporučení nebo dle realizační firmy. Navržený fotovoltaický panel je specifikovaný v tabulce 8.5.3 (1).

Tabulka 8.5.3 (1) Navrhovaný fotovoltaický panel [51]

FVE panel AMERI SOLAR AS-6M120-HC-370Wp	
Výkon (STC)	370 Wp
Účinnost	20,28 %
Rozměry (VxŠxH)	1756x1039x35 mm
Hmotnost	20 kg
Maximální napětí	34,6 V
Maximální proud	10,7 A
Záruka na produkt	20 let
Záruka na výkon	30 let (10 let – 95 % účinnost) (20 let – 87,5 % účinnost) (30 let – 81 % účinnost)

Navrhovaný fotovoltaický měnič (střídač)

Pro transformaci stejnosměrného napětí získaného z panelů na střídavé potřebujeme solární měnič. Ten je vybírán dle požadovaných parametrů, referencí, dostupnosti a cenové hladiny. Navržený solární měnič je specifikovaný v tabulce 8.5.3 (2).

Tabulka 8.5.3 (2) Navrhovaný solární měnič [52]

Solární měnič ABB TRIO-20.0-TL-OUTD-S2F	
Rozměry (DxŠxH)	1061x702x292 mm
Hmotnost	70 kg
Vstup (DC)	
Max. vstupní výkon	20 750 W
Max. vstupní napětí	1 000 V
Jmenovité vstupní napětí	620 V
Jmenovitý vstupní výkon	20 750 W
Max. výstupní proud	33 A
Výstup (AC)	
Max. účinnost měniče	98,2 %
Jmenovitý výstupní výkon	20 000 W
Max. výstupní výkon	20 750 W
Max. výstupní proud	33 A

Konkrétní parametry pro reálný objekt

Tabulka 8.5.3 (3) Parametry navrhovaného FVT systému

Počet instalovaných panelů	n_{panel}	880
Plocha jednoho panelu	S_{panel}	1,824 m²
Účinnost panelu	η_{panel}	20,28 %
Intenzita slunečního záření (STC)	I_{MPP}	1 000 W/m²
Výkon jednoho panelu	P_{FVT}	370 Wp
Koeficient sklonu a orientace	f_{so}	0,98
Výkonový koeficient	PR	0,85
Celkový instalovaný výkon	P_{IFVT}	325,52 kWp

Počet instalovaných panelů byl stanoven na základě dostupných prostorových možností. Mezi řadami panelů je uvažována mezera pro lepší odvětrávání a pro operační a montážní práce. Intenzita slunečního záření STC je hodnota při standartních testovacích podmínkách, za nichž jsou měřeny charakteristiky fotovoltaických panelů.

Instalované fotovoltaické panely jsou v ideálním sklonu 30-40 ° a jsou odkloněny 10 ° od jižní strany. Koeficient sklonu a orientace je v závislosti na odklonu roven 0,98.

Výkonový koeficient charakterizuje celek jako špičkové zařízení s dobrým odvětráním a žádným znečištěním plochy – uvažujeme hodnotu PR – 0,85.

Měsíční a roční výtěžnost FVT systému

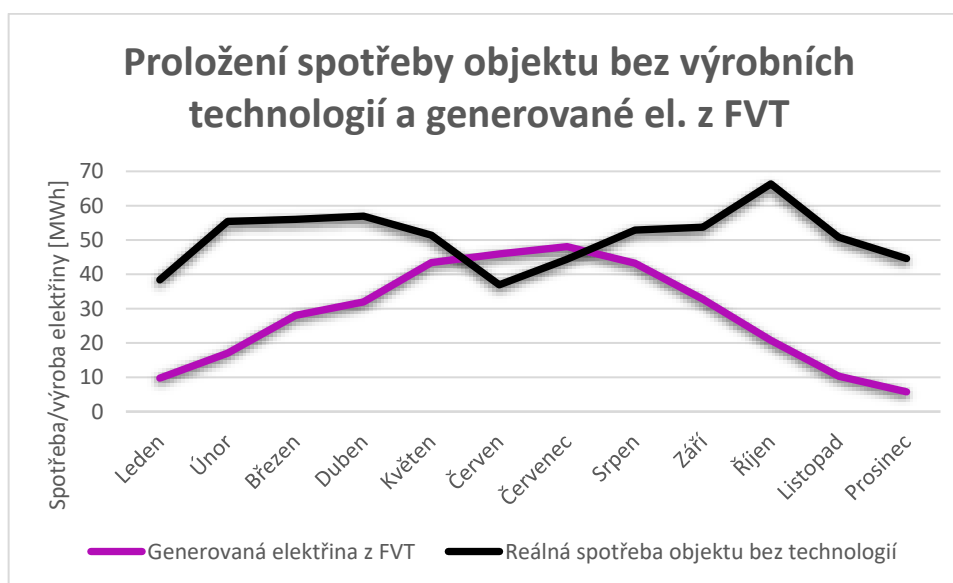
Pro určení výtěžnosti FVT systému využijeme tabulkové hodnoty množství dopadajícího slunečního záření pro danou lokalitu.

Tabulka 8.5.3 (4) Měsíční výtěžnost FVT systému

Měsíc	Počet dní	Denní množství dopadajícího slunečního záření Qsz [kWh/m ²]	Měsíční výkonová výtěžnost [kWh]
Leden	31	35,972	9 754,001
Únor	28	62,721	17 007,118
Březen	31	103,345	28 022,652
Duben	30	117,772	31 934,788
Květen	31	160,217	43 443,844
Červen	30	169,358	45 922,547
Červenec	31	177,252	48 062,993
Srpen	31	159,388	43 219,264
Září	30	120,738	32 738,842
Říjen	31	76,586	20 766,762
Listopad	30	37,935	10 286,340
Prosinec	31	21,217	5 753,142
Celkem	365	1242,5	336 912,292

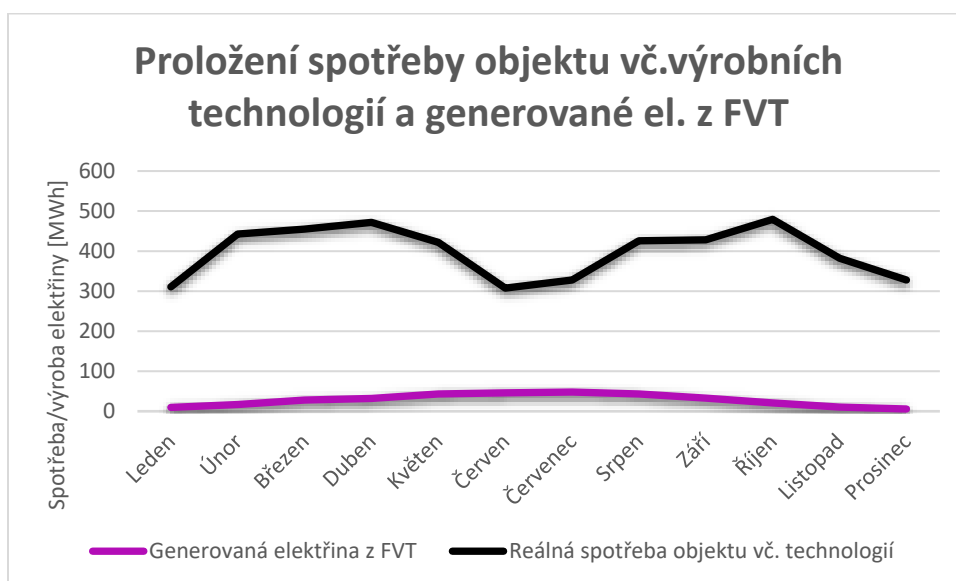
Měsíční pokrytí spotřeby

Celoroční zisk elektrické energie z fotovoltaických panelů dosahuje 337 MWh. Abychom přidali objektivitu navrhovaných opatření, budeme v rámci řešeného objektu uvažovat se dvěma přístupy. První přístup bude brát v potaz pouze objekt samotný bez technologií výroby, druhý přístup včetně technologií výroby.



Obrázek 8.5.3 (2) Graf spotřeby/výroby elektřiny s využitím FVT bez technologií

Pokud bychom řešili běžný objekt se spotřebou pouze odpovídající našeho prvního případu, tak nám fotovoltaika výrazně pomůže s celkovou spotřebou energie. V letních měsících by bylo generovaného výkonu přebytek a chtěli bychom ho posílat do sítě za sjednanou výkupní cenu. Systém by byl v takovém případě v letních měsících značně předimenzovaný, protože očekáváme celodenní provoz, ale elektrickou energii získáváme pouze ve dne. Přes den bychom vždy vyráběli přebytek energie, která by musela být akumulována nebo předána do sítě za výkupní cenu.



Obrázek 8.5.3 (3) Graf spotřeby/výroby elektřiny s využitím FVT vč. technologií

Při porovnání spotřeby elektrické energie z celého provozu nám fotovoltaika pokryje pouze 7,1 % celkové potřeby. Dosahované hodnoty by v žádném časovém intervalu neměly překrývat celkovou potřebu a můžeme veškerou vyrobenou elektřinu využít pro provoz.

Tabulka 8.5.3 (5) Investiční náklady varianty II. [51] [52]

Položka	Cena včetně DPH [Kč]
Instalace fotovoltaického systému	
880 FVT panelů (4373,69 Kč/ks)	3 848 847,20
Konstrukce pro FVT panely (5518 Kč/ks/4panely)	1 213 960,00
21 FVT měničů (87295,24 Kč/ks)	1 833 200,04
DC kabeláž	140 000,00
AC kabeláž	120 050,00
Ostatní elektro prvky a položky	250 000,00
Projekční činnost + legislativní procesy	100 000,00
Celková montáž a instalace	1 500 000,00
Celkem	8 906 257,24

8.6 Nové provozní náklady objektu

Navržená opatření se celkových provozních nákladů dotknout pouze nepatrně. Pokud musíme zachovat veškeré výrobní technologie v původním stavu, tak není moc možností, jak razantně provozní náklady snižovat.

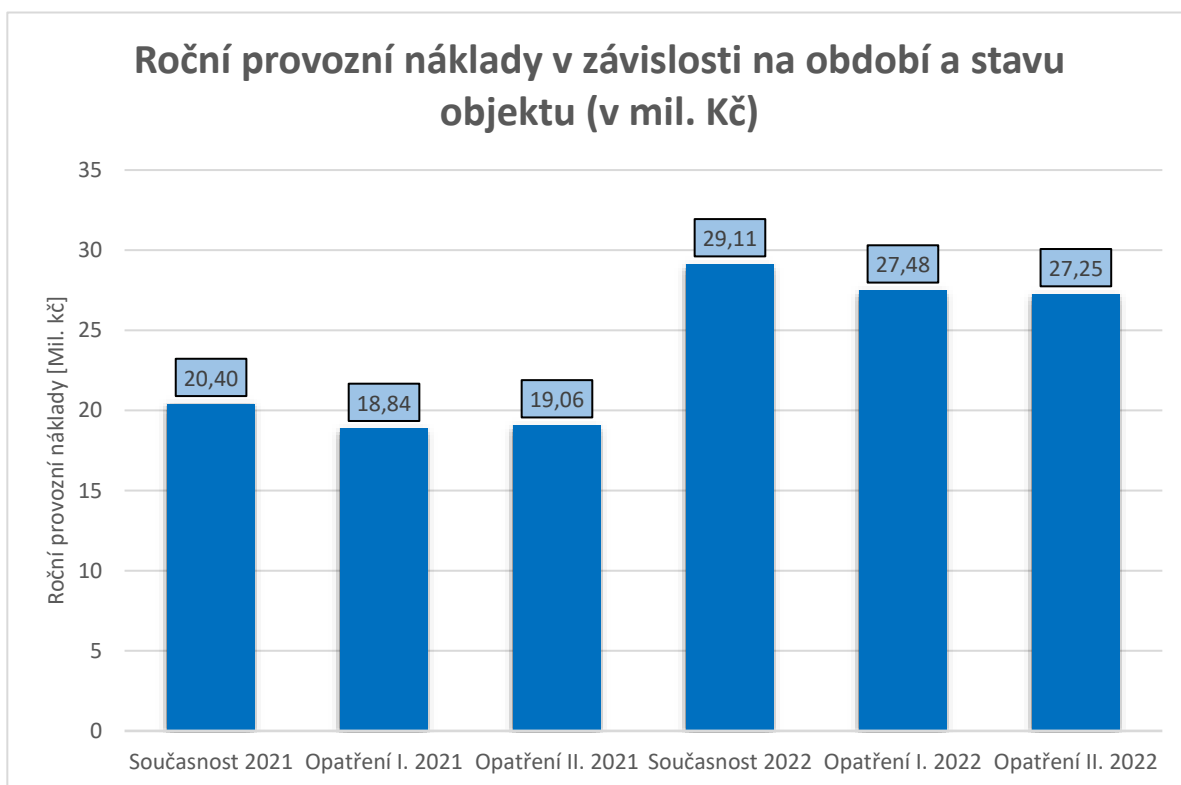
Z tabulek v kapitole 8.3 je patrné, že pro velkoodběratele elektřiny platí pro veškeré uvažované tarify stejné sazby, je tak ve výpočtu uvedena pouze celková spotřeba elektřiny, která je odečtena od elektřiny dodané KGJ nebo fotovoltaikou.

Tabulka 8.6 (1) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2021[48][49]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Varianta I.			
Zemní plyn	1 543,77 [Kč/MWh]	1 873,40	2 892 096,86
Elektřina	3 960,72 [Kč/MWh]	4 026,89	15 949 398,40
Celkem			18 841 495,20
Varianta II.			
Zemní plyn	1 543,77 [Kč/MWh]	947,105	1 462 113,52
Elektřina	3 960,72 [Kč/MWh]	4 443,834	17 600 781,05
Celkem			19 062 893,56

Tabulka 8.6 (2) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2022 [48][49]

Komodita	Jednotková cena (JC)	Spotřeba JC	Σ [Kč]
Varianta I.			
Zemní plyn	2 747,91 [Kč/MWh]	1 873,40	5 147 931,28
Elektřina	5 545,43 [Kč/MWh]	4 026,89	22 330 857,03
Celkem			27 478 788,30
Varianta II.			
Zemní plyn	2 747,91 [Kč/MWh]	947,105	2 602 559,71
Elektřina	5 545,43 [Kč/MWh]	4 443,834	24 642 968,76
Celkem			27 245 528,47



Obrázek 8.6 Graf provozních nákladů

8.7 Návratnost investice

Výše investic nedosahuje ani polovinu ročních provozních nákladů a dá se tak očekávat, že při vhodných navržených opatřeních a relativně malém dopadu na provoz se nám investice vrátí za poměrně krátkou dobu. Návratnost investice kolem 4 let je velice nízká hodnota a investice určitě má smysl. V našem případě hraje velkou roli skutečnost, že veškerou vytvořenou energii zužitkujeme. Pokud bychom vytvořenou energii mařili nebo posílali elektrickou energii do sítě za nízkou výkupní cenu, tak by se investice stávala podstatně nevýhodnou.

Tabulka 8.7 Návratnost investic

Stav	Investice	Provoz	Návratnost [let]
Stávající stav (2021)	0,00	20 397 308,8	/
Stávající stav (2022)	0,00	29 113 852,0	/
Varianta I. (2021)	6 620 000,00	18 841 495,2	4,02
Varianta I. (2022)	6 620 000,00	27 478 788,3	3,83
Varianta II. (2021)	10 057 800,00	19 062 893,6	6,67
Varianta II. (2022)	10 057 800,00	27 245 528,5	4,77



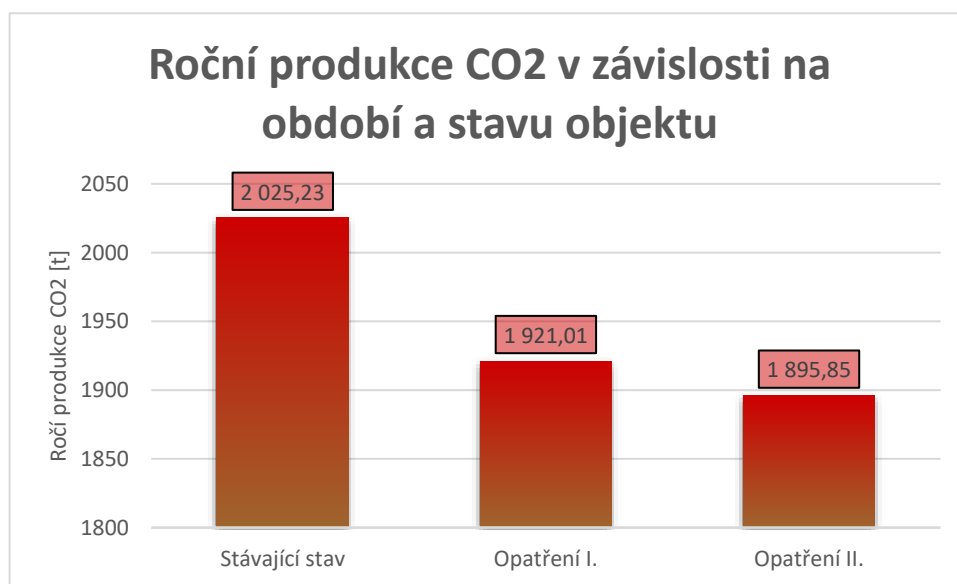
Obrázek 8.7 Graf návratnosti investice

8.8 Uhlíková stopa objektu po aplikaci opatření

Cílená opatření sníží celkovou uhlíkovou produkci pouze o 5 %, respektive 6 %.

Tabulka 8.8 Produkce CO₂ po aplikaci opatření

Komodita	Emisní faktor [t CO ₂ /MWh]	Množství [MWh]	Σ [t CO ₂]
Varianta I.			
Zemní plyn	0,20	1 873,399	374,680
Elektřina	0,384	4 026,894	1 546,327
Celkem			1 921,007
Varianta II.			
Zemní plyn	0,20	947,105	189,421
Elektřina	0,384	4 443,834	1 706,432
Celkem			1 895,853



Obrázek 8.8 Graf produkce CO₂

8.9 Zhodnocení navrhovaných opatření

Jak už bylo několikrát zmíněno, veškerá opatření mají pouze minimální vliv na provoz objektu a produkci CO₂. Výsledky i těchto navrhovaných opatření jsou ale příznivé a vycházejí ze skutečnosti, že veškerou získanou/vyrobenou energii jsme schopni okamžitě využít v objektu.

8.9.1 Zhodnocení varianty I.

Využití KGJ je velice specifické a není jednoduché najít provoz, kde bychom byli schopni využít na 100 % jejich potenciál. V našem případě jejich plný potenciál využíváme, ale z důvodu vysokého nepoměru potřeby tepla a potřeby elektřiny, pokrýváme při plném zajištění potřeb tepla pouze 15 % celkové potřeby elektřiny. U KGJ je nejméně efektivní letní období, kdy nepotřebujeme teplo pro vytápění a tím pádem nevyrábíme ani elektřinu. U některých průmyslových objektů je potřeba tepla pro technologie celoroční a zvyšuje nám to efektivitu KGJ. Řešený objekt ale žádné takové využití nemá a v letních období je proto výroba tepla a elektřiny minimální.

8.9.2 Zhodnocení varianty II.

Varianta druhá spočívala v instalaci FVT panelů na dostupnou plochu objektu. Řešený objekt nám nabízí k instalaci panelů přibližně polovinu střešního prostoru. Bylo instalováno 880 panelů o celkovém výkonu 337 kWp, což je poměrně vysoký výkon, pokud bychom řešili běžný objekt s běžnými spotřebami. Pro takový objekt by byl instalovaný výkon značně předimenzovaný. V řešeném objektu nám však instalovaná technologie přispěje pouze pokrytím 7 % celkové potřeby elektrické energie. Investice do fotovoltaiky se ale určitě jeví jako smysluplná, protože využíváme obnovitelný zdroj energie, který je stále více podporován. V rámci řešeného objektu by určitě mělo smysl fotovoltaickou elektrárnu i rozšířit, kdyby byly k dispozici větší prostory pro instalaci. Opět zde platí fakt, že největší efektivitu dosahujeme pouze do té doby, kdy elektrinu ihned využíváme. Proto bychom maximální instalovaný výkon měli směřovat pouze k hodnotám, kdy v extrému FVT systému jsme schopni veškerý získaný výkon okamžitě využít v provozu.

8.10 Investování do výrobního areálu

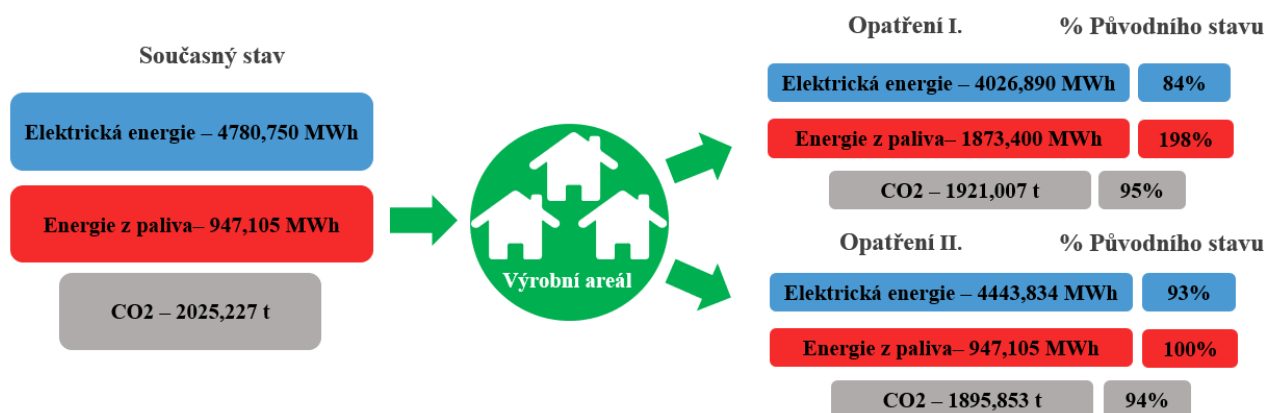
Pro řešený objekt jsou navržena opatření minimální ale dostatečně efektivní. Při své efektivnosti se nám investice vrátí v horizontu 4-6 let. Pokud bychom měli objekt rozebírat opravdu detailně, našli bychom další opatření zaměřující se na odpadní toky energií a větší potenciál využití chladné a teplé vody. Například při aplikaci KGJ dostáváme na výstupu 90 °C vodu a určitě by voda o takové teplotě našla v každém průmyslovém odvětví využití.

V řešeném objektu není velikost investice ani polovina ročních provozních nákladů, což by hypoteticky mělo znamenat, že by prostor pro takové investice neměl být výrazný problém, navíc pokud se nám investice rychle vrátí.

Výrobní areály v takovém rozsahovém měřítku vyvážejí i do zahraničí a u západních zemí mohou narazit na požadavek o uhlíkové stopě podniku. Aby byl možný export do těchto zemí, musely by se konkurenčně rovnat s ostatními výrobními společnostmi. Vzhledem ke geografické poloze a vyspělosti technologií západních států může být boj s konkurencí obtížný.

8.11 Bilanční toky objektu

Abychom byli schopni interpretovat závěry i na základě vstupních a výstupních toků, je k dispozici bilanční schéma. Schéma může být flexibilnější v tom, že vyjadřuje pouze vstupní a výstupní hodnoty bez návaznosti na jejich cenové hladiny. Dle konkrétního časového intervalu a poklesu/nárůstu cen energií pak můžeme jednoduše výsledky porovnávat.



Obrázek 8.11 Zobrazení bilančních toků objektu

9 Celkové hospodářské zhodnocení řešených objektů

Závěry každého samostatného objektu jsou detailně popsány vždy v jednotlivých kapitolách. Poslední kapitola by měla řešené objekty nějakým způsobem porovnat mezi sebou. Závěry se pokusí cílit i na obecná doporučení pro stejně typové objekty.

Tabulka 9.0 (1) Srovnání výsledků všech řešených objektů

OBJEKT	INVESTICE	ROČNÍ ÚSPORA	REDUKCE CO ₂
RODINNÝ DŮM - Varianta I.	537 000 Kč	21 770 Kč	7,495 t
RODINNÝ DŮM - Varianta II.	804 500 Kč	27 496 Kč	7,946 t
ŠKOLNÍ AREÁL – Varianta I.	6 620 000 Kč	265 643 Kč	41,944 t
ŠKOLNÍ AREÁL – Varianta II.	10 057 800 Kč	444 907 Kč	58,452 t
VÝROBNÍ AREÁL – Varianta I.	6 261 200 Kč	1 635 064 Kč	104,22 t
VÝROBNÍ AREÁL – Varianta II.	8 906 257 Kč	1 858 324 Kč	129,38 t

První ze závěrů vychází z investičních nákladů. Cena jednotlivých stavebních částí a strojních technologií je při maloodběru poměrně vysoká, ale s narůstajícím množstvím materiálu a výkonnostními strojními technologiemi cena narůstá poměrně konstantně a ve výsledku nás větší investice vyjdou levněji. Dalším aspektem jsou množstevní ceny, a nižší náklady za montáže a instalace při velkém objemu práce. Vhodným příkladem jsou například investice do TČ v řešených objektech.

Tabulka 9.0 (2) Ceny TČ vztažených na jejich výkon

Tepelné čerpadlo pro objekt	Cena s montáží	Výkon
Rodinný dům	253 000 Kč	6 kW
Školní areál	1 740 000 Kč	200 kW

Z tabulky x je patrné, že cena je sice přibližně 7x vyšší, ale zařízení je 33x výkonnější. Většinou teda platí, že komponenty daných technologií jsou pevně dané a se zvyšujícími parametry roste akorát množství „železa“, za které platíme navíc.

Další závěr vychází ze skutečnosti, že čím je v objektu vyšší energetická náročnost, tím by vhodná opatření měly dávat lepší výsledky. V tomhle případě je vždy klíčové najít ten bod, kdy se do objektu investuje určité množství, ale další investice už by z dlouhodobého hlediska nebyly výhodné. Příkladem může být částečně zateplený objekt s relativně nízkými tepelnými ztrátami, kdy další zateplení by mělo minimální dopad. S konkrétnějším příkladem jsme se setkali v kapitole 8.9.2, kde je zmíněné, že navyšování instalovaného výkonu FVT bude stále výhodné do té doby, než bychom museli část vytvořené elektrické energie posílat do sítě.

Cílená opatření míří na snižování energetické náročnosti i redukci CO₂, proto podobně jako energetická náročnost, tak i množství redukce uhlíkové stopy závisí na celkových spotřebách objektu. Na rodinné domy je už svým způsobem vyvíjen tlak a jsou státem podporované, aby energetickou náročnost snižovali, ale větší areály zůstávají trochu v pozadí. Pokud vezmeme v potaz naše řešené objekty, potřebovali bychom zrekonstruovat přibližně 16 starších domů abychom zredukovali takové množství CO₂, jakého dosáhneme při instalaci fotovoltaiky na 2500 m².

10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo seznámit s řešenou problematikou. Problematika energetické náročnosti je velice všední téma a bylo by vhodné, aby byl s minimálními znalostmi obeznámen každý majitel rodinného domu nebo v případě větších areálů jejich správce. Pod minimálními znalostmi jsou myšleny spotřeby energií, přibližné provozní náklady a technologické vybavení spojené s provozem objektu.

Uvedení do problematiky začíná specifikací energetické náročnosti budov a popisuje dva dokumenty, které jsou s tímto spojené. Jedná se o průkaz energetické náročnosti budov a energetický audit.

Další teoretická kapitola seznamuje s technologiemi, kterými můžeme energetickou náročnost snižovat. Jako primární zástupce zdrojů tepla jsou zde představena kompresorová tepelná čerpadla. Dalším zdrojem je biomasa, která slouží jako doplňkový zdroj v malých objektech nebo jako primární v teplárenství. Dalším způsobem, jak efektivně využít palivo je kombinovaná výroba elektřiny a tepla neboli kogenerace. Následuje využití solární energie. Ze slunce jsme schopni získat energii pomocí solárních panelů, které nám v případě fotovoltaických systémů vytvoří elektřinu a v případě fototermických systémů nám ohřívají médium. Další podkapitola se věnuje stavební obálce objektů. Právě kvůli tepelným ztrátám nám vzniká potřeba vytápět, a proto se snažíme jejich hodnotu minimalizovat tím, že objekt zateplujeme izolačními materiály. Poslední podkapitola krátce představuje systém rekuperace vzduchu. Rekuperační jednotky zajišťují ohřev přiváděného vzduchu a požadovanou hygienickou výměnu vzduchu do místností.

Poslední rešeršní kapitola se zabývá produkcí a snižováním CO₂. Jsou zde zmíněné scénáře klimatické politiky a hlavní zdroje emisí. Hlavním závěrem z této kapitoly by měla být skutečnost, že velká energetika je zodpovědná za přibližně 40 % spotřeby CO₂. Z velké energetiky dostáváme elektřinu a teplo do menších energetických celků a jejich ekologičnost provozu je pak přímo ovlivněn způsobem výroby tepelné a elektrické energie.

Následující kapitola popisuje veškeré výpočetní postupy řešených objektů. Jsou zde uvedené obecné vztahy a přístupy k výpočtům. Samotné řešení objektů obsahuje pouze výsledné vypočtené hodnoty v číselné, tabulkové nebo grafové podobě. Řešené objekty jsou reálné, uvažujeme jejich reálné vstupní parametry, ale nejsou z určitých důvodů konkretizovány.

Prvním typovým objektem k řešení je rodinný dům. Na rodinném domě dokážeme velice názorně interpretovat závěry, protože jejich provoz a přibližné cenové hladiny si většina z nás dokáže představit. Řešený objekt využívá jako zdroj tepla kotel na tuhá paliva. Používané palivo je černé uhlí. Objekt je kompletně nezateplený. Z hlediska spotřeb je objekt charakterizován jako maloodběrový. Obě varianty opatření uvažují se zateplením stavebních konstrukcí a výměnou zdroje tepla. V první variantě opatření aplikujeme pouze základní zateplení a navrhujeme zdroj tepla – tepelné čerpadlo vzduch/voda. Ve variantě druhé máme komplexnější zateplení, stejné TČ jako zdroj tepla a rekuperaci vzduchu. Obě varianty nám sníží provozní hodnoty přibližně na 1/2 původních, produkci CO₂ snížíme na 1/4 původní produkce a návratnost investice je závislá na výši dotací. Bez dotací se pohybujeme v horizontu 20-30 let, s využitím dotací kolem 14-20 let. Druhá řešená varianta vychází technickoekonomicky v konečném součtu hůře z principu využitelnosti vzduchotechniky a nadbytečného množství izolačního materiálu. U rodinných domů se nám opatření projevují opravdu výrazně a má smysl do nich investovat. Na druhou stranu jsou ale technologie a stavební prvky pro malé objekty poměrově drahé, proto je třeba počítat s vysokými investičními náklady.

Druhým řešeným objektem je školní areál. Zdrojem tepla je plynový kotel a budova je nezateplená. Svými spotřebami je objekt charakterizován jako střední odběratel. Obě varianty

opatření opět cílí na zateplení objektu a výměnu zdroje tepla. Ve variantě navrhujeme TČ vzduch-voda, v druhé variantě TČ země-voda. Provozní náklady se nám sníží na 78 % původních, respektive 64 % původních ve variantě druhé. Produkce CO₂ se sníží na 65 % produkce původní, respektive 52 % produkce původní ve variantě druhé. Návratnost se pohybuje v horizontu 22-25 let, přičemž nejsou uvažovány žádné dotace. Zde je však nutné zmínit, že školní objekty nejsou určeny k tomu, aby samy na sobě vydělávaly a investice do školních areálů dotuje stát, případně instituce pod něj spadající. Pokud pomineme vyšší investiční náklady a možné problémy s realizací instalace geotermálních kolektorů, vychází nám druhá varianta podstatně lépe. Dostaneme se na nižší provozní náklady a dostáváme stabilnější systém, který není závislý na venkovní teplotě. Výhodou je také možnost efektivního dosažení vyšší teploty vody.

Poslední řešený objekt je areál potravinářské výroby. Areál je specifický svými vysokými spotřebami a je tak charakterizován jako velkoodběratel. Zdroje tepla jsou plynové kotle a objekt je částečně zateplený. V rámci opatření jsme se zaměřili hlavně na výrobu elektřiny, které je v objektu spotřebováváno velké množství. První varianta uvažuje s návrhem kogenerační jednotky. Pro pohon spalovacího motoru je uvažován zemní plyn. Kogenerační jednotka bude pokrývat veškerou potřebu tepla a vytvořená elektřina bude ihned spotřebována v objektu. Při kogeneraci vytvoříme pro naše potřeby tepla přibližně 16 % celkové potřeby elektrické energie a snížíme produkci CO₂ o 5 %. Druhá varianta navrhuje fotovoltaickou elektrárnu na dostupné střešní prostory. Celkový instalovaný výkon fotovoltaiky je 325,5 kWp, ze které jsme schopni vygenerovat energii, která pokryje 7,1 % celkové spotřeby elektřiny a sníží produkci CO₂ o 6 %. Pokud bychom nebyli limitováni prostorem, vyplatilo by se rozšiřovat fotovoltaickou elektrárnu do přelomového bodu, kdybychom už při maximech své výtěžnosti vytvářeli více energie, než by objekt spotřeboval. Obě navrhované varianty mají pouze minimální dopady na provoz objektu, ale jsou velice efektivní a investice se nám vrátí v řádu 4-6 let. Roční úspory proti původnímu stavu jsou v případě obou variant přibližně 9,5 %, ale roční výnosnost je 25 % ceny investice v první variantě a 21 % ve variantě druhé. Tato vysoká výnosnost investice pramení hlavně z toho, že veškerou elektřinu ihned spotřebujeme. Pokud bychom měli elektřinu akumulovat nebo posílat za nižší sazby do sítě, podstatně by to snižovalo efektivitu.

V současnosti a nejbližších letech se dá očekávat větší zájem o tuhle problematiku z důvodů omezování fosilních paliv, většího využití obnovitelných zdrojů, dostupnosti dotačních programů, a hlavně z důvodu výrazného nárustu cen energií. Při vhodném investičním návrhu můžeme očekávat efektivní výsledky, které nám do dalších let provozu přinesou úspory a přispějí šetrností k životnímu prostředí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Průkaz energetické náročnosti budovy. *Státní energetická inspekce* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.cr-sei.cz/?portofolio=kontrolujeme-penb>
- [2] ČSN EN 15459-1. *Energetická náročnost budov – Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách – Část 1: Výpočtové postupy, Modul M1-14*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [3] Teplárenství. *Tzb-info* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi>
- [4] Energetický audit. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/energeticka-ucinnost-v-praxi/energeticky-audit-a-energeticky-posudek/energeticky-audit>
- [5] ČSN ISO 50002. *Energetické audity– Požadavky s návodem pro použití*. Praha: Technický a zkušební ústav stavební, 2016.
- [6] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: návratnost i za jeden rok*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [7] Historie tepelných čerpadel. *Zogg engineering* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.zogg-engineering.ch/publi/HistoryHP.pdf>
- [8] Vývoj prodeje TČ v ČR. *Tzb-info* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/19284-tepelna-cerpadla-v-letech-1981-2019-druhy-vyvoj-prodeje-vykony-tepelne-faktory>
- [9] HEPBASLI, Arif, KALINCI Yildiz. A review of heat pump water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2009, Volume 13, Issues 6–7, Pages 1211-1229 [cit. 2022-05-17]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032108001032#bib11>
- [10] Absorpční tepelné čerpadlo. *Wikijiii* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://wikijii.com/wiki/Absorption_heat_pump
- [11] MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology* [online]. 2002, Volume 83, Issue 1, Pages 37-46 [cit. 2022-05-17]. ISSN 0960-8524. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001183>
- [12] MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (part 2): overview of biomass. *Bioresource technology* [online]. 2002, Volume 83, Issue 1, Pages 47-54 [cit. 2022-05-17]. ISSN 0960-8524. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001195>

- [13] Kogenerační jednotky. *Ministerstvo obchodu a průmyslu* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni_jednotky_zrizovani_provo_z_2220047233.pdf
- [14] Solární systémy a jejich využití. *Pozorování slunce* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://pozorovanislunce.eu/slunce/energie-ze-slunce/vyuziti-slunecni-energie/solarni-systemy-a-jejich-vyuziti.html>
- [15] Porovnání fotovoltaiky a fototermiky. *Československá společnost pro sluneční energii* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <http://www.solarnispolecnost.cz/cz/fotovoltaika-a-fototermika-porovnani>
- [16] Požadavky na izolační materiály. *E-genius* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/lernfelder/daemmstoffe/alt/daemmstoffe_eigenschaften/cz/Izolacni%20materialy_Zaklady.pdf
- [17] Izolační materiály. *E-genius* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/lernfelder/daemmstoffe/alt/daemmstoffe_praxis/cz/Druhy%20izolacnich%20materialu.pdf
- [18] Minerální vata. *Baushop* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.baushop.cz/mineralni-vata-isover-metac>
- [19] EPS izolace Isover. *Obi* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/penove-izolace/isover-penovy-polystyren-eps-100z-3-cm-bily/p/3093267>
- [20] Dřevovláknitá izolace. *Stavtese* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://stavtese.cz/produkt/pavatex-drevovlaknita-izolace-pavaflex-plus/>
- [21] Vakuová izolace. *Propasiv* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://eshop.propasiv.cz/product/451-vakupro>
- [22] ČSN EN 15665. *Větrání budov-Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Praha: Centrum technické normalizace, 2009.
- [23] Větrání s rekuperací. *Nazeleno* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/rekuperace/vse-co-potrebujete-vedet-o-vetrani-s-rekuperaci-tepla.aspx>
- [24] Scénáře globální klimatické politiky. *Česká národní banka* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/o_cnb/cnblog/Modelovani-dopadu-klimaticke-zmeny-na-svetovou-ekonomiku-Stagflacni-sok-na-obzoru/
- [25] Emise CO₂ v ČR podle sektorů. *Fakta o klimatu* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-detail>

- [26] Výroba elektřiny v ČR podle zdrojů 2020. *ERÚ* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Rocni_zprava_provoz_ES_2020.pdf
- [27] Uhlíková stopa. *Snižujeme CO₂* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://snizujemeco2.cz/cs/uhlikova-stopa>
- [28] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Centrum technické normalizace, 2011.
- [29] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Centrum technické normalizace, 2018.
- [30] Legionella. *Tatramat* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.tatramat.com/cz/blog/nebezpecna-bakterie-legionella-zije-i-ve-vasem-bojleru>
- [31] ČSN EN 12831-3. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3*. Praha: Centrum technické normalizace, 2018.
- [32] Tarifní sazby elektřiny. *Kurzy* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/sazby-elektriny>
- [33] Skladba ceny elektřiny. *ČEZ* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/vsechny-clanky/jak-se-sklada-cena-elektriny-59072>
- [34] Složkové ceny za dodávku zemního plynu. *Tzb-info* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/204-jake-jsou-slozky-celkove-ceny-za-dodavku-zemniho-plynu>
- [35] Emisní faktory CO₂. *Emise* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://emise.cz/uzitecne-podklady/aktualni-podklady/emisni-faktory-co2/>
- [36] Emisní faktory CO₂ výroby elektřiny v ČR. *Tzb-info* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/22337-cesky-emisni-faktor-co2-vyroby-elektriny-v-letech-2010-2020-a-aktualni-stav-v-nemecku>
- [37] Emisní faktory CO₂ paliv. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument6794.html>
- [38] Fotovoltaika. *Tzb-info* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22807-nove-podminky-dotaci-nzu-pro-fotovoltaiku-od-rijna-2021-na-co-mate-narok>
- [39] Roční množství dopadající sluneční energie v ČR. *Moje elektrárna* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <http://mojeelektrarna.cz/energie-ze-slunce.html#prettyPhoto>
- [40] Data výkonové výtěžnosti. *Photovoltaic geographical information system* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP

- [41] Černé uhlí. OKD [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.okd.cz/files_static/katalog_uhli.pdf?v=4
- [42] Ceník sazeb elektřiny. Centropol [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.centropol.cz/ceniky/>
- [43] Tepelné čerpadlo GREE. GREE [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.greeczech.cz/cz/produkty/tepelna-cerpadla-versati-iii/tepelna-cerpadla-split/256-grs-cq6-0pd-nhh-e.html>
- [44] Vzduchotechnická jednotka. Atrea [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.atreaeshop.cz/atrea-rekuperacni-jednotka-duplex-280-ecv5-rd5-cf/42605/produkt>
- [45] Ceníky sazeb elektřiny – střední odběr. ČEZ [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/firmy/cs/podpora/ceniky.html>
- [46] Tepelné čerpadlo HIDROS. HIDROS [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <http://www.hidros.cz/tepelna-cerpadla/>
- [47] Tepelné čerpadlo Clivet. BMKLIMA [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.bmklima.cz/cs/wshn-xsc3>
- [48] Ceníky elektřiny pro velkoodběratele. ČEZ [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.cezesco.cz/cs/produkty/elektrina>
- [49] Ceníky plynu pro velkoodběratele. ČEZ [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.cezesco.cz/cs/produkty/plyn>
- [50] Kogenerační jednotka. Gentec [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://gentec.cz/produkt/ke-mng-350-as-k/>
- [51] Fotovoltaický panel. Argos [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://argos.cz/produkty/detail/3587947837-fve-panel-ameri-solar-as-6m120-hc-370w>
- [52] Solární měnič. Iftech [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/solarni-menice/295-solarni-menic-abb-trio-200-tl-outd-s2f.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Veličina	Jednotka
COP	Topný faktor	—
Q_H	Energie (teplo) pracovní látky vytvořená okolím	$J (kW)$
Q_C	Energie spotřebovaná kompresorem	$J (kW)$
n_E	Účinnost výroby elektrické energie	—
E	Množství vyrobené energie	$J(kW)$
Q_E/Q_{pal}	Teplo dodané v palivu	$J(kW)$
n_T	Účinnost výroby tepla	—
Q_D	Množství vyrobeného tepla	$J(kW)$
n_{KVET}	Účinnost výroby elektrické energie a tepla	—
ΔQ	Úspora paliva při kombinované výrobě	—
e	Teplárenský modul	—
R	Tepelný odpor	$m^2 \cdot K/W$
d_j	Tloušťka j-té vrstvy v konstrukci	m
λ_j	Součinitel tepelné vodivosti j-té konstrukce	$W/m \cdot K$
U	Součinitel prostupu tepla	$W/m^2 \cdot K$
α_{in}	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$W/m^2 \cdot K$
α_{out}	Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$W/m^2 \cdot K$
Φ_T	Celková tepelná ztráta prostupem	W
H_T	Měrný tepelný tok	W/K
t_{IN}	Vnitřní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
t_{out}	Venkovní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
A_k	Plocha stavební části	m^2
U_k	Součinitel prostupu tepla stavební části	$W/m^2 \cdot K$
f_{g1}	Korekční činitel vlivu ročních změn teplot	—
f_{g2}	Korekční činitel rozdílu teplot roční prům. a venkovní	—
f_{GW}	Korekční činitel vlivu spodních vod	—
Φ_V	Celková tepelná ztráta větráním	W
ρ	Hustota vzduchu	m^3/kg
c_p	Tepelná kapacita vzduchu	$J/kg \cdot K$
$q_{v,min}$	Minimální objemový průtok vzduchu místnosti	m^3/h
V_v	Objem místnosti	m^3
V_{os}	Objem vztažený dle počtu osob v místnosti	m^3
V_i	Objem venkovního vzduchu infiltrací spárami	m^3
n	Násobek výměny vzduchu	—
Φ	Celková tepelná ztráta	W
d	Délka otopného období	dny
t_{es}	Střední venkovní teplota za otopné období	$^{\circ}C$

V_{celk}	Průměrná denní spotřeba teplé vody	m^3
V_o	Denní potřeba TV pro mytí osob	m^3
V_j	Denní potřeba TV pro mytí nádobí	m^3
V_u	Denní potřeba TV pro veškerý úklid	m^3
Q_t	Celková teoretická potřeba tepla	kWh
c	Měrná tepelná kapacita	$J/kg \cdot K$
θ_1	Teplota studené vody	$^{\circ}C$
θ_2	Teplota teplé vody	$^{\circ}C$
T_r	Návratnost investice	let
N_i	Veškeré finanční náklady za investici	$Kč$
Np_1	Roční provozní náklady před investicí	$Kč$
Np_2	Roční provozní náklady po pořízení investice	$Kč$
EF_{CO_2}	Emisní faktor elektřiny	$t\ CO_2/MWh$
$EF_{HÚ}$	Emisní faktor hnědého uhlí	$t\ CO_2/MWh$
$EF_{ČÚ}$	Emisní faktor černého uhlí	$t\ CO_2/MWh$
EF_{ZP}	Emisní faktor zemního plynu	$t\ CO_2/MWh$
EF_{LPG}	Emisní faktor LPG	$t\ CO_2/MWh$
n_{panel}	Počet FVT panelů	—
S_A	Využitelná plocha	m^2
S_{panel}	Plocha jednoho panelu	m^2
P_{FVT}	Výkon jednoho panelu	Wp
η_{panel}	Účinnost jednoho panelu	—
I_{MPP}	Intenzita slunečního záření při MPP	W/m^2
P_{IFVT}	Celkový instalovaný výkon	Wp
P_R	Skutečné množství získané sluneční energie	kWh
Q_{SZ}	Množství dopadajícího slunečního záření	kWh/m^2
f_{so}	Koeficient sklonu a orientace	—
PR	Výkonový koeficient	—

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Symbol	Název
CO ₂	Oxid uhličitý
OZE	Obnovitelný zdroje energie
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
TČ	Tepelné čerpadlo
COP	Topný faktor
SCOP	Sezónní topný faktor
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
KGJ	Kogenerační jednotka
FVT	Fotovoltaika
TV	Teplá voda

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Průkaz energetické náročnosti budovy	12
Obrázek 3.1.1 Graf počtu prodaných TČ v RČ v letech 1990-2020.....	15
Obrázek 3.1.2.1 Princip kompresorového TČ.....	16
Obrázek 3.1.6.1 TČ země-voda s horizontálním kolektorem	18
Obrázek 3.1.6.2 TČ země-voda s vertikálním kolektorem	19
Obrázek 3.1.6.3 TČ voda-voda	19
Obrázek 3.1.6.4 (1) TČ vzduch-voda v monoblokovém provedení.....	20
Obrázek 3.1.6.4 (2) TČ vzduch-voda ve splitovém provedení	20
Obrázek 3.1.7 Princip absorpčního TČ	22
Obrázek 3.2 Zdroje biomasy	22
Obrázek 3.4.1 Schéma fotovoltaického systému	27
Obrázek 3.4.2 Schéma fototermického systému	28
Obrázek 3.5.2.1 Minerální vata značky Isover	30
Obrázek 3.5.2.2 EPS izolace značky Isover	31
Obrázek 3.5.3.1 Dřevovláknitá izolace	31
Obrázek 3.5.3.2 Vakuová izolace	32
Obrázek 3.6.2 Princip rekuperace vzduchu.....	34
Obrázek 4.0 Grafické zobrazení vývojových klimatických scénářů	35
Obrázek 4.1 Emise CO ₂ v ČR podle sektorů	36
Obrázek 4.1.1 Výroba elektřiny v ČR podle zdrojů	36
Obrázek 4.3.1 Kategorie GHC Protocolu	38
Obrázek 5.4.1 Graf vývoje emisního faktoru z elektřiny v letech 2010-2020.....	46
Obrázek 5.6.1 Roční množství dopadající sluneční energie	48
Obrázek 6.2 Přibližný půdorys objektu.....	51
Obrázek 6.6 Graf ročních provozních nákladů	59
Obrázek 6.7 Graf návratnosti investice.....	60
Obrázek 6.8 Graf produkce CO ₂	61
Obrázek 6.11 Zobrazení bilančních toků objektu	62
Obrázek 7.2 Přibližný půdorys objektu.....	64
Obrázek 7.6 Graf ročních provozních nákladů	70
Obrázek 7.7 Graf návratnosti investice.....	71
Obrázek 7.8 Graf produkce CO ₂	72
Obrázek 7.11 Zobrazení bilančních toků objektu	74
Obrázek 8.2 Přibližný půdorys objektu.....	76
Obrázek 8.5.2 Graf spotřeby/výroby elektřiny s využitím KGJ	80
Obrázek 8.5.3 (1) Návrh fotovoltaického systému na střešních prostorech	81
Obrázek 8.5.3 (2) Graf spotřeby/výroby elektřiny s využitím FVT bez technologií.....	83
Obrázek 8.5.3 (3) Graf spotřeby/výroby elektřiny s využitím FVT vč. technologií.....	84
Obrázek 8.6 Graf provozních nákladů	85
Obrázek 8.7 Graf návratnosti investice.....	86
Obrázek 8.8 Graf produkce CO ₂	87
Obrázek 8.11 Zobrazení bilančních toků objektu	88

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.2.1 Energetické výnosy vybraných druhů biomasy.....	23
Tabulka 3.3.4 Charakteristické vlastnosti základních druhů kogeneračního zařízení....	26
Tabulka 3.4.1 Vlastnosti fotovoltaických panelů	27
Tabulka 3.4.2 Vlastnosti fototermických panelů.....	28
Tabulka 5.1.3 Vybrané konstrukce se svými hodnotami součinitelů prostupu tepla	40
Tabulka 5.3.1 Sazební tarify elektřiny.....	45
Tabulka 5.4.2 Emisní faktory vybraných paliv	47
Tabulka 6.2 Vstupní parametry řešeného objektu	51
Tabulka 6.2.1 (1) Stavební konstrukce s příslušným součinitelem prostupu tepla	52
Tabulka 6.2.1 (2) Tepelné ztráty objektu	52
Tabulka 6.3 (1) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2021.....	53
Tabulka 6.3 (2) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2022.....	53
Tabulka 6.4 Současná uhlíková stopa objektu.....	53
Tabulka 6.5.2 (1) Návrh zateplení konstrukcí varianty I.....	54
Tabulka 6.5.2 (2) Nový zdroj tepla pro variantu I. i II.	55
Tabulka 6.5.2 (3) Investiční náklady Varianty I.....	56
Tabulka 6.5.3 (1) Návrh zateplení konstrukcí varianty II.	56
Tabulka 6.5.3 (2) Investiční náklady varianty II.	57
Tabulka 6.6 (1) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2021	58
Tabulka 6.6 (2) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2022	58
Tabulka 6.7 Návrh návratnosti investic	59
Tabulka 6.8 Produkce CO ₂ po aplikaci opatření.....	60
Tabulka 7.2 Vstupní parametry řešeného objektu	63
Tabulka 7.2.1 (1) Stavební konstrukce s příslušným součinitelem prostupu tepla	64
Tabulka 7.2.1 (2) Tepelné ztráty objektu	64
Tabulka 7.3 (1) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2021.....	65
Tabulka 7.3 (2) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2022.....	65
Tabulka 7.4 Současná uhlíková stopa objektu.....	65
Tabulka 7.5.2 (1) Návrh zateplení konstrukcí pro variantu I. i II.....	66
Tabulka 7.5.2 (2) Nový zdroj tepla pro variantu I.....	67
Tabulka 7.5.2 (3) Investiční náklady varianty I.....	67
Tabulka 7.5.3 (1) Návrh zateplení konstrukcí pro variantu I. i II.....	68
Tabulka 7.5.3 (2) Nový zdroj tepla pro variantu II.	68
Tabulka 7.5.3 (3) Investiční náklady varianty II.	69
Tabulka 7.6 (1) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2021	69
Tabulka 7.6 (2) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2022	70
Tabulka 7.7 Návrh návratnosti investic	71
Tabulka 7.8 Produkce CO ₂ po aplikaci opatření.....	72
Tabulka 8.2 Vstupní parametry objektu	75
Tabulka 8.2.1 (1) Stavební konstrukce s příslušným součinitelem prostupu tepla	76
Tabulka 8.2.1 (2) Tepelné ztráty objektu	76
Tabulka 8.3 (1) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2021.....	77
Tabulka 8.3 (2) Současné provozní náklady dle ceníkových cen 2022.....	77
Tabulka 8.4 Současná uhlíková stopa objektu.....	78
Tabulka 8.5.2 (1) Navrhovaná KGJ.....	79
Tabulka 8.5.2 (2) Měsíční bilance z KGJ.....	79
Tabulka 8.5.2 (3) Investiční náklady varianty I.....	80

Tabulka 8.5.3 (1) Navrhovaný fotovoltaický panel	81
Tabulka 8.5.3 (2) Navrhovaný solární měnič	82
Tabulka 8.5.3 (3) Parametry navrhovaného FVT systému	82
Tabulka 8.5.3 (4) Měsíční výtěžnost FVT systému	83
Tabulka 8.5.3 (5) Investiční náklady varianty II.	84
Tabulka 8.6 (1) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2021.....	85
Tabulka 8.6 (2) Nové provozní náklady dle ceníkových cen 2022.....	85
Tabulka 8.7 Návratnost investicí	86
Tabulka 8.8 Produkce CO ₂ po aplikaci opatření	87
Tabulka 9.0 (1) Srovnání výsledků všech řešených objektů.....	89
Tabulka 9.0 (2) Ceny TČ vztažených na jejich výkon.....	89