

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Kult Pavel

Studijní program: elektrotechnika, energetika a management
Obor: ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Studie energetické bilance firmy

Pokyny pro vypracování:

- analýza energetické bilance firmy
- návrh opatření, vedoucího ke zlepšení energetické bilance firmy
- ekonomické zhodnocení jednotlivých opatření, porovnání v případě vzájemné výlučnosti
- návrh optimální varianty

Seznam odborné literatury:

Podle pokynů vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Kubů – Tyco Electronics EC Trutnov s.r.o.

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2014/2015



Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry

Pavel Ripka
Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 8.11.2013

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH
VĚD



Magisterská práce

Studie energetické bilance firmy

Bc. Pavel Kult

Vedoucí práce: Ing. Petr Kubů

9. května 2014

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Doc. Jagerovi za cenné rady a ochotný přístup, panu Ing. Petrovi Kubů a paní Šárce Mikyskové za to, že si na mě našli čas, poskytli potřebné informace a umožnili mi tuto práci vůbec psát. Děkuji také svojí rodině za samotnou možnost studovat.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vytvořil samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla a k užití uděluji svolení.

V Praze dne 9. května 2014

.....

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

© 2014 Pavel Kult. Všechna práva vyhrazena.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakulta elektrotechnická. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci

Pavel Kult. *Studie energetické bilance firmy: Magisterská práce.* Praha: ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2014.

Abstract

The aim of this thesis is to design measures to improve company's energy management. This thesis includes the analysis of the current state of the energy sector, finding the weakest spots, austerity measures proposal and assessment their economic efficiency. The result of this thesis is a proposal of such an optimal combination of austerity measures that is the most economically efficient and at the same time does not adversely affect existing production process of the company.

Keywords Energy balance, austerity measures

Abstrakt

Cílem této práce je návrh opatření, vedoucích ke zlepšení energetického hospodaření firmy. Obsahem práce je analýza současného stavu energetického hospodářství, vyhledání jeho nejslabších míst, návrh úsporných opatření a posouzení jejich ekonomické efektivnosti. Výsledkem práce je návrh takové optimální kombinace úsporných opatření, která jsou ekonomicky nejefektivnější a zároveň neovlivňují nepříznivě stávající výrobní proces podniku.

Klíčová slova Energetická bilance, úsporná opatření

Obsah

1 Úvod	17
2 Analýza energetické bilance	19
2.1 Charakteristika firmy a její výrobní technologie	19
2.2 Spotřeba jednotlivých forem energie a dalších komodit	20
2.3 Postup hodnocení současného stavu vytápění budov	26
2.4 Současný stav budov	45
3 Návrh opatření k racionalizaci spotřeby energie	53
3.1 Objekt SO11	54
3.2 Objekt S2	65
3.3 Návrh výstavby kompresorovny	69
4 Ekonomická efektivnost navržených variant řešení	75
4.1 Obecný postup pro výpočet ekonomické efektivity navržených řešení	75
4.2 Objekt SO11	76
4.3 Objekt SO13	79
4.4 Objekt S2	81
4.5 Objekt M1	84
4.6 Výstavba kompresorovny	85
5 Závěr	89
Literatura	91
A Seznam použitých zkratk	93
B Obsah příloženého CD	95

Seznam obrázků

2.1	Struktura spotřeby elektřiny	21
2.2	Spotřeba elektřiny	21
2.3	Platby za elektřinu	22
2.4	Odběry elektřiny a platby za elektřinu v letech 2011-2013	22
2.5	Spotřeba tepla	23
2.6	Odběry tepla a platby za teplo v letech 2011-2013	24
2.7	Platby za stlačený vzduch	25
2.8	Spotřeba elektřiny v kompresorovně v letech 2011-2013	25
2.9	Schéma okenní konstrukce	27
2.10	Profil se zasklením	33
2.11	Profil s izolačním panelem	34
3.1	Řez profilem IDEAL 4000 RL	55
3.2	Nová okna pro SO11	55
3.3	Řez profilem IDEAL 5000 RL	59
3.4	Nové okno pro SO13	61
3.5	Nové okno pro S2	66
3.6	Areál - porovnání struktury tepelné sítě	70
4.1	Kumulovaný DCF - okna, objekt SO11	77
4.2	Kumulovaný DCF - zateplení SO11	79
4.3	Kumulovaný DCF - okna, objekt SO13	80
4.4	Kumulovaný DCF - zateplení SO13	82
4.5	Kumulovaný DCF - okna, objekt S2	82
4.6	Kumulovaný DCF - zateplení S2	84
4.7	Kumulovaný DCF - zateplení M1	85
4.8	Kumulovaný DCF - kompresory	86

Seznam tabulek

2.1	Součinitel tepelné vodivosti	27
2.2	Tabulkové parametry rámu	28
2.3	Vlastnosti plynů	32
2.4	Typické emisivity kovových povrchů	36
2.5	Tepelná vodivost materiálů	38
2.6	Tabulkové hodnoty Rse a Rsi	39
2.7	Tabulkové hodnoty Rs	40
2.8	Odpory při přestupu tepla	41
2.9	Odpor vzduchových vrstev	42
2.10	Odpor podtřešních prostorů	43
3.1	Cena oken SO11 - Varianta A	56
3.2	Cena oken SO11 - Varianta B	58
3.3	Cena oken SO11 - Varianta C	60
3.4	Cena oken SO13 - Varianta A	62
3.5	Cena oken SO13 - Varianta B	63
3.6	Cena oken SO13 - Varianta C	65
3.7	Cena oken S2 - Varianta A	67
3.8	Cena oken S2 - Varianta B	67
3.9	Cena oken S2 - Varianta C	69
3.10	Kompresory - investice varianta A	72
3.11	Kompresory - investice varianta B	72
3.12	Kompresory - investice varianta C	73
5.1	Doporučená úsporná opatření	90

Úvod

Úkolem této práce je vypracování návrhu na zefektivnění energetického hospodářství elektro-průmyslové firmy.

Prvním krokem k úspěšnému řešení bude analýza stávajícího stavu energetického hospodářství firmy. V této části rozeberu jednotlivé aspekty energetického hospodářství firmy po jednotlivých budovách a po jednotlivých typech spotřebičů ve firmě. Také se zaměřím na spotřeby jednotlivých forem energií (teplo, elektřina, stlačený vzduch) v minulých letech a vyhodnotím jejich časový průběh. Následně identifikuji nejslabší místa v energetickém hospodářství firmy.

Nejen Evropskou unií, ale i celým vyspělým světem hýbe v současnosti trend změn, jejichž cílem je mimo jiné snižovat spotřebu energie a zároveň omezovat v maximální možné míře negativní vlivy energetiky na životní prostředí.

V České republice je tento trend vyjádřen státní energetickou koncepcí, která se zabývá změnami struktury a zabezpečením energetických zdrojů, spolehlivosti dopravních cest jednotlivých forem energie, jakož i zásadními opatřeními, vedoucími k energetickým úsporám. Cílem ČR je stále snižovat energetickou náročnost tvorby HDP a usilovat o to, aby po roce 2020 byla energetická náročnost v jednotlivých oborech na úrovni srovnatelných ekonomik v rámci EU. [7]

Tohoto stavu bude možné dosáhnout pomocí zvyšování energetické efektivity a úspor v průmyslu, dopravě, službách, veřejném sektoru i v domácnostech. Nástroji pro toto zvyšování efektivity mají mimo jiné být cílené obměny spotřebičů. Podnětem jsou různé daňové a poplatkové nástroje, aplikované státem. Lze tedy předpokládat, že vlivem ekonomického tlaku ze strany státu budou všechny subjekty donuceny se trendu snižování energetické náročnosti podřídit. [7]

1. ÚVOD

Ke správným výpočtům týkajících se energetického hospodářství je nejprve třeba pochopit principy vzniku energetických ztrát. V další části se proto mimo jiné zaměřím na vysvětlení postupů výpočtů tepelných prostupností oken a dalších stavebních prvků, které se opírají o státní a mezinárodní normy.

V následující kapitole pak navrhnu úsporná opatření, která by měla vést k energetickým úsporám. Pokud to bude možné, pokusím se uvést i několik různých variant těchto opatření s různou pořizovací cenou a různou výší energetických úspor.

Po analýze spotřeb energie se zaměřím na analýzu současného stavu budov. Abych to mohl správně provést, budu se nejprve muset zaměřit na vysvětlení postupu výpočtu tepelných prostupností oken a dalších stavebních prvků. Tyto výpočty se opírají o státní a mezinárodní normy.

Nejdůležitější částí práce bude pak poslední kapitola, kde jednotlivá úsporná opatření ekonomicky zhodnotím, vypočtu hlavní ekonomické ukazatele, jako je NPV, IRR a diskontovaná doba návratnosti, a určím, která opatření se vyplatí realizovat a která ne.

Nakonec, v závěru, navrhnu takovou kombinaci úsporných opatření, která se bude jevit jako ekonomicky nejvýhodnější s ohledem na minimalizaci případných negativních dopadů na vlastní výrobní proces.

Analýza energetické bilance

2.1 Charakteristika firmy a její výrobní technologie

Firma, která je předmětem této práce, je nadnárodní společnost, zabývající se především výrobou elektronických součástek. Společnost má provozy ve více než 150 zemích světa. Její produkty se používají takřka ve všech průmyslových oborech - spotřební elektronika, domácí elektrospotřebiče, počítače, telekomunikace, rozvodné sítě, automobilový průmysl, letectví a astronautika. V České republice má firma několik výrobních závodů.

Technologie výroby

Většina výrobních linek v podniku je plně automatická. Tyto linky jsou poháněny stlačeným vzduchem, který je dodáván z centrálního kompresoru v areálu dodavatele stlašeného vzduchu. Elektricky poháněné jsou spíše řídicí prvky (Simatic), snímače a další specifitější prvky, které jsou přítomny jen na některých výrobních modulech. Těmi jsou například kontrolní měřicí stanice, které kontrolují kvalitu výrobků, moduly pro laserový potisk produktů nebo také elektromotory na navíjecích stanicích, kde jsou navíjeny cívky. Tyto výrobní linky nejsou co do spotřeby elektrické energie příliš náročné a kvůli udržení kvality produkce není možno zavádět nějaká úsporná opatření.

V závodu se nachází také poloautomatizované a ruční přidružené výroby. Tyto výrobní linky jsou ještě méně náročné na elektrickou energii než automatizované linky.

Závod má také vlastní nástrojárnu, která produkuje veškeré náhradní díly pro výrobní linky a je také schopna tvorby nových výrobních linek. Nástrojárna je vybavena moderními speciálními stroji. Energetická náročnost výroby je zde závislá na aktuální vytíženosti jednotlivých strojů. Úsporná opatření nejsou v tomto segmentu možná.

Odpadní materiál

Ve výrobním procesu firmy se velké množství odpadního materiálu z výroby negeneruje. Je zde vytvářeno nevelké množství komunálního odpadu ze sociálních zařízení a kanceláří.

Ve výrobě vzniká odpad především v podobě zmetků. Za jednu směnu je vytvořeno na jedné lince několik stovek zmetků. Vzhledem k tomu, že vyráběné produkty mají poměrně malé rozměry, je objem odpadu minimální.

Odpadní voda je vytvářena téměř výhradně v sociálních zařízeních a ve výrobě vzniká jen minimálně. Ke znečišťování životního prostředí touto cestou nedochází.

I po stránce znečištění ovzduší je firma velice šetrná k životnímu prostředí. Firma přímo negeneruje žádné zplodiny, lze však vnímat její nepřímý vliv na znečištění ovzduší, které vzniká v teplárně při výrobě tepla, které podnik následně odebírá. V jistých výrobních procesech (prvovýroba) může vznikat zápach způsobený tavením plastů. Ten však vzniká pouze v jedné části výroby a jeho množství je malé.

2.2 Spotřeba jednotlivých forem energie a dalších komodit

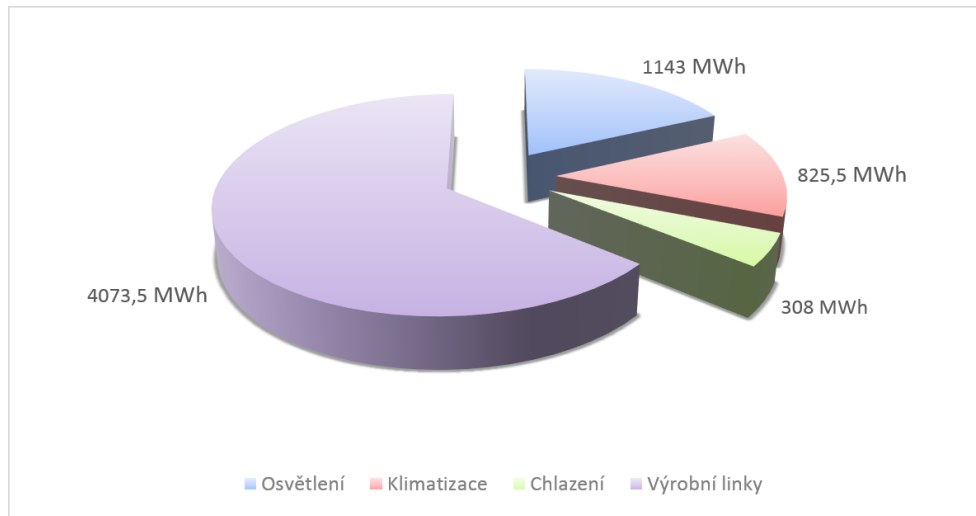
2.2.1 Elektřina

Objekty podniku jsou napájeny kabelovým vedením NN z energobloku dodavatele. Firma vložila investiční prostředky pro zajištění výkonu 2 200 kW. Regulace je zajištěna ze strany dodavatele pomocí přijímačů HDO. [19]

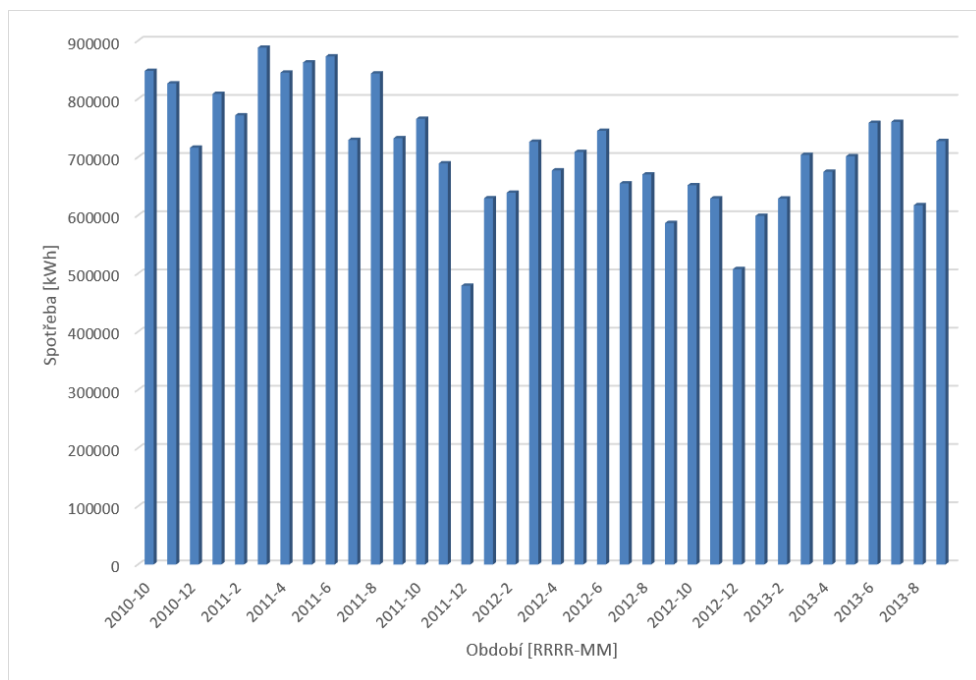
Podnik disponuje také vlastním diesel agregátem s výkonem 800 kVA pro případ výpadku proudu. Vedení firmy určuje, které výrobní procesy budou v případě výpadku proudu tímto agregátem napájeny. [19]

Z energobloku dodavatele jsou kabelovým vedením NN napájeny rozvodny jednotlivých objektů. Rozvodny jsou umístěny na každém patře objektu SO11 (s výjimkou 2.NP), dále na 1. a 2. NP objektu M1 a 1. a 2. NP objektu S2. Elektrická energie je účtována dodavatelem podle fakturačních elektroměrů, které jsou umístěny na každém vývodu z energobloku dodavatele pro jednotlivé objekty podniku. Platby za elektřinu v posledních letech jsou uvedeny v grafu 2.4. Je patrné, že množství odebírané elektřiny a platby za ní se pomalu snižují. Dále je z grafu 2.2 patrné, že spotřeba v jednotlivých měsících nekopíruje nějaký běžný trend. Lze ji totiž odvodit z objemu výroby, která je závislá na množství objednávek. Výjimkou je měsíc prosinec, ve kterém je odběr elektřiny podstatně nižší z důvodu velkého množství státních svátků. [19]

2.2. Spotřeba jednotlivých forem energie a dalších komodit

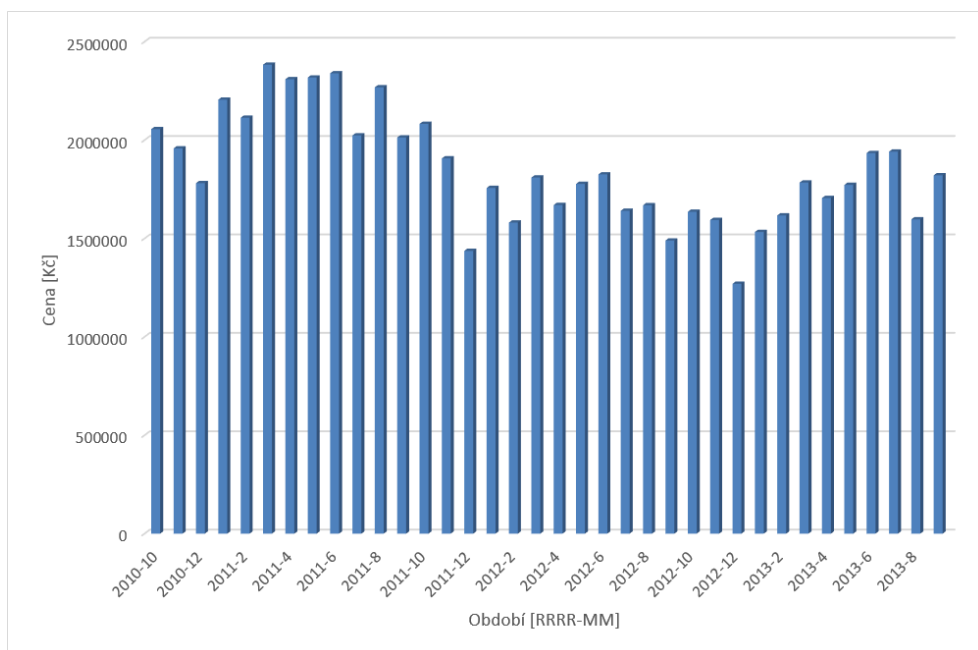


Obrázek 2.1: Struktura roční spotřeby elektřiny [19]

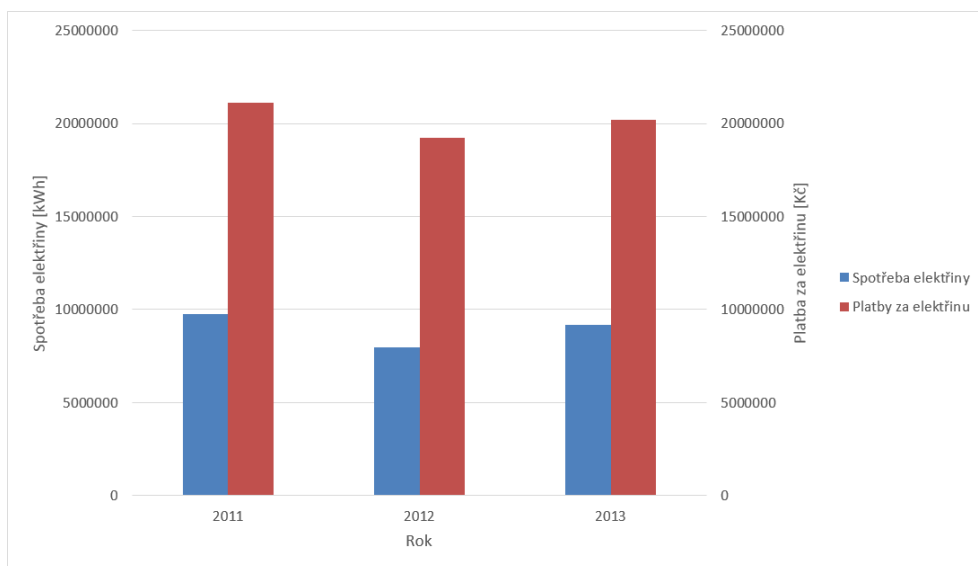


Obrázek 2.2: Spotřeba elektřiny v letech 2010 - 2013 [1][4][8]

2. ANALÝZA ENERGETICKÉ BILANCE

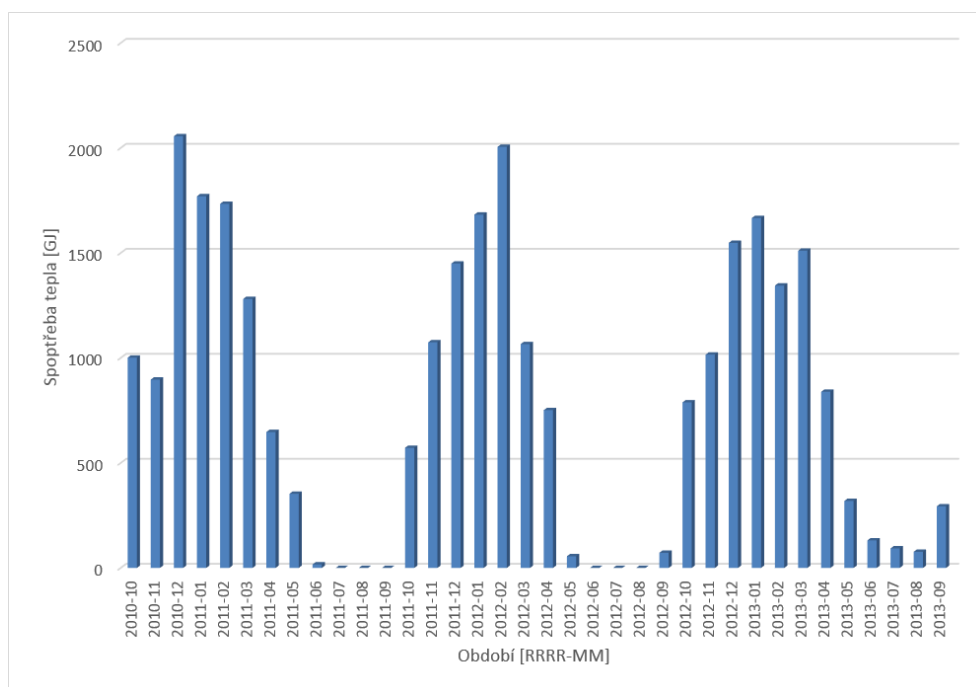


Obrázek 2.3: Platby za elektřinu v letech 2010 - 2013 [1][4][8]



Obrázek 2.4: Odběry elektřiny a platby za elektřinu v letech 2011-2013 [1][4][8]

2.2. Spotřeba jednotlivých forem energie a dalších komodit



Obrázek 2.5: Spotřeba tepla v letech 2010 - 2013 [3][6][10]

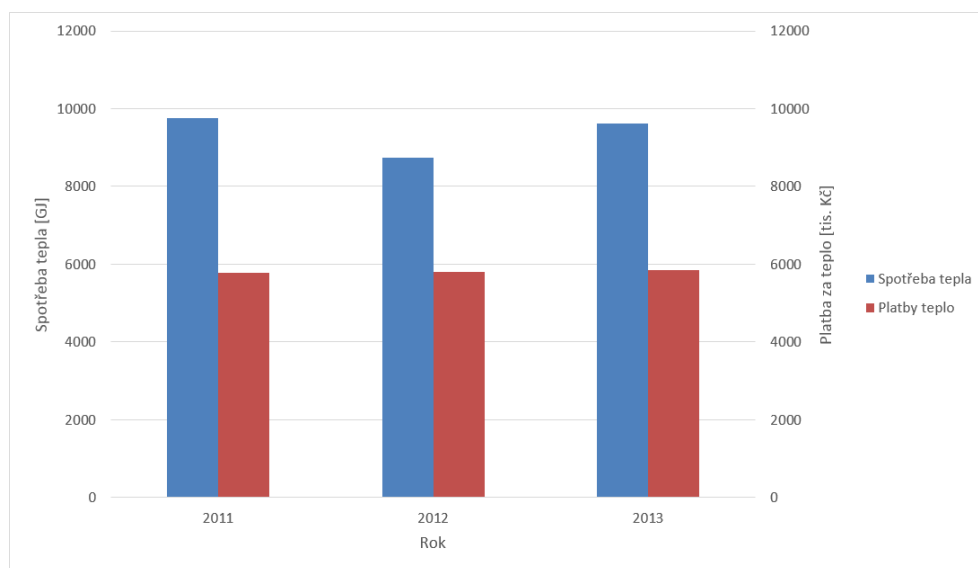
2.2.2 Teplo

Výrobce tepla je elektrárna-teplárna v Poříčí. Vyrobené teplo je po okolí dodáváno parovodním nebo horkovodním potrubím. Centrum města Trutnov je v současnosti zásobováno teplem prostřednictvím horkovodního potrubí, kterým bylo nahrazeno původní parovodní, protože se z důvodu velkých ztrát nevyplácelo.

Teplo z horkovodního potrubí je předáváno ve výměníku v objektu dodavatele. Na vstupu výměníku je horká voda z Poříčí o teplotě 140°C, na výstupu je pak teplá voda o teplotách 110/120°C a 70/80°C. Tato teplá voda je pak distribuována po okolních objektech včetně objektů podniku jako teplo pro vytápění a TUV. Cena TUV se účtuje podle odebraných m^3 .

V posledních letech platí firma za teplo průměrně cca 5 800 000 Kč ročně. Platby v jednotlivých letech jsou uvedeny v grafu 2.6. Je patrné, že množství a platby za odebírané teplo jsou v posledních letech konstantní. Dále je z grafu 2.5 patrné, že spotřeba tepla je nejvyšší v zimních měsících, zatímco v letních je odběr jen minimální nebo nulový. [3][6][10]

2. ANALÝZA ENERGETICKÉ BILANCE



Obrázek 2.6: Odběry tepla a platby za teplo v letech 2011-2013 [3][6][10]

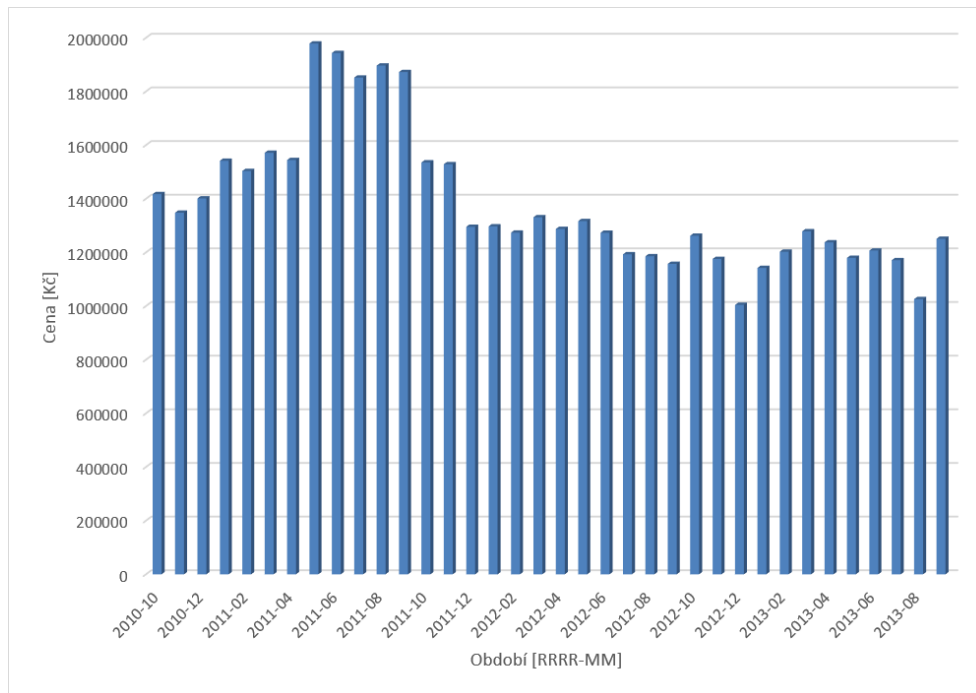
2.2.3 Stlačený vzduch

Stlačený vzduch je podniku dodáván z kompresoru v prostorách dodavatele. Vzduch není účtován v $Kč/m^3$, ale formou paušálního poplatku a úhrady spotřeby elektřiny kompresorů. Platby za stlačený vzduch v posledních třech letech jsou uvedeny v grafu 2.8. Je patrné, že spotřeba stlačeného vzduchu se pomalu snižuje. Dále je z grafu 2.7 patrné, že spotřeba v jednotlivých měsících je s výjimkou roku 2011 více méně konstantní a měsíce prosinec, ve kterém je odběr stlačeného vzduchu podstatně nižší z důvodu velkého množství státních svátků. [2][5][9]

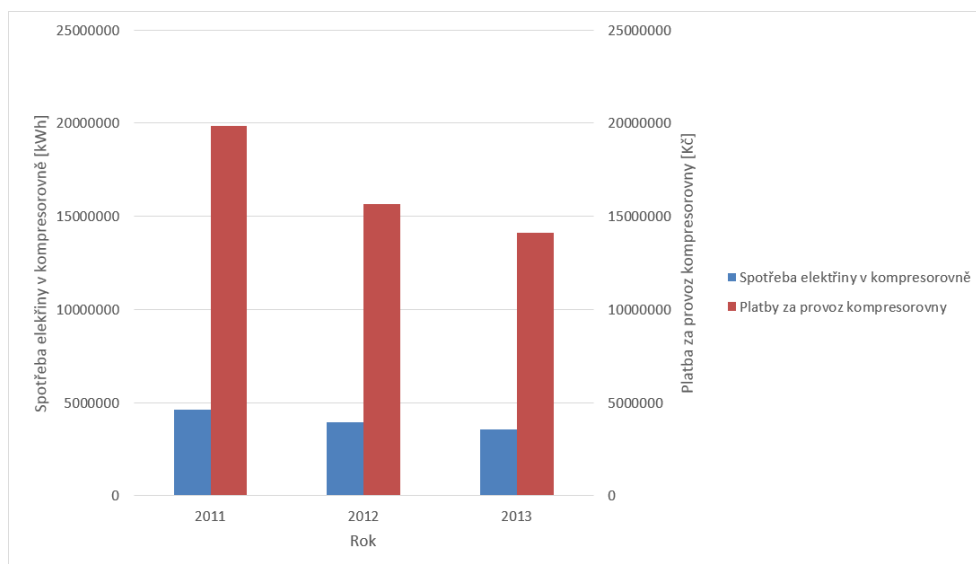
Stávající stav vzduchotechniky

Vzduchotechnika se nachází ve všech objektech. Z důvodů technologických potřeb je přetlaková. V objektu SO11 jsou centrálně větrána požární schodiště a sociální zařízení. Ve všech ostatních objektech je centrální vzduchotechnika pro jednotlivá podlaží. Všeobecně zde vzduchotechnika slouží pro odsávání škodlivin z výrobního procesu, větrání výrobních prostor a větrání sociálních zařízení. [19]

2.2. Spotřeba jednotlivých forem energie a dalších komodit



Obrázek 2.7: Platby za stlačený vzduch v letech 2010 - 2013 [2][5][9]



Obrázek 2.8: Spotřeba elektřiny v kompresorově a platby za provoz kompresorovny v letech 2011-2013 [2][5][9]

2.3 Postup hodnocení současného stavu vytápění budov

2.3.1 Součinitel prostupu tepla oken a dveří

Postup výpočtu součinitele prostupu tepla oken a dveří je definován normami ČSN EN ISO 10077-1 a 2. **Součinitele prostupu tepla** u jednoduchého okna lze stanovit na základě vztahu:

$$U_w = \frac{(A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g)}{(A_g + A_f)} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.1)$$

kde

- $A_g [m^2]$ je plocha zasklení,
- $A_f [m^2]$ je plocha rámu při pohledu na okno,
- $U_g [W/(m^2 \cdot K)]$ je součinitel prostupu tepla zasklením,
- $U_f [W/(m^2 \cdot K)]$ je součinitel prostupu tepla rámu,
- $l_g [m]$ je celkový viditelný obvod zasklení,
- $\psi_g [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ je lineární činitel prostupu tepla v uložení zasklení do rámu.

Pokud není plocha zasklení při pohledu zvenčí a zevnitř stejná, pak se při výpočtu uvažuje se ve výpočtu vždy plocha menší. U plochy rámu se postupuje naopak, tedy ve výpočtu se uvažuje větší plocha. Pokud jsou délky obvodu zasklení různé při pohledu zvenčí a zevnitř, pak uvažujeme větší z obvodů. [15]

Součinitel prostupu tepla zasklení U_g obvykle uvádí výrobce nebo je možné vypočítat ho pomocí normy ČSN EN 673. Součinitel prostupu tepla rámu U_f také uvádí výrobce nebo jej lze spočítat numerickým řešením dvourozměrného teplotního pole podle ČSN EN ISO 10077-2. Při tomto výpočtu je nutno okenní rám modelovat co nejpřesněji, včetně vzduchových dutin. Orientační hodnoty součinitele prostupu tepla rámu jsou uvedeny v tabulce 2.2. [36]

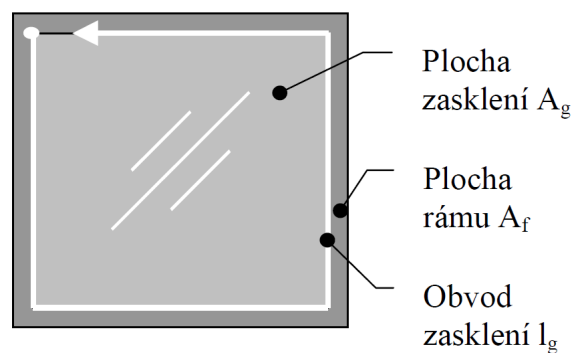
Součinitel prostupu tepla zasklením U_g

První důležitou složkou pro výpočet součinitele prostupu tepla okna, je součinitel prostupu tepla zasklením. Ten můžeme vypočítat podle následujícího vztahu [35]:

$$\frac{1}{U_g} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.2)$$

kde:

2.3. Postup hodnocení současného stavu vytápění budov



Obrázek 2.9: Schéma okenní konstrukce [36]

Tabulka 2.1: Součinitel tepelné vodivosti pro různé látky [13]

Látka	λ při 25C	λ při 20C	λ při 0C
Diamant	895-2300		
Stříbro	429	418	
Měď	386	395	
Zlato	317		
Hliník	237	229	
Železo	80,2	73	
Beton		1,5	
Sklo	1,35	0,60-1,0	
Cihla		0,28-1,2	
Škvárobeton		0,7	
Voda	0,6062	0,6	0,55
Linoleum		0,19	
Polystyren		0,16	
Dřevo	0,04-0,35		
Skelná vata		0,04	
Polystyrenová pěna	0,033	0,035	
Vzduch (při normálním tlaku)	0,0262	0,026	

Tabulka 2.2: Tabulkové parametry rámu a uložení zasklení podle ČSN EN ISO 10077-1 [15]

Typ rámu	Specifikace	$U_f[W/(m^2 \cdot K)]$
Dřevěný	Měkké dřevo tl. 60 mm	2,0
	Měkké dřevo tl. 80 mm	1,7
	Měkké dřevo s PU příložkou	0,7 - 0,9
	Tvrdé dřevo tl. 60 mm	2,3
	Tvrdé dřevo tl. 80 mm	2,0
Plastový	PVC dvoukomorový	2,2
	PVC tříkomorový	2,0
	PVC pětikomorový	1,2 - 1,3
	Dtto s PU vyplněním	0,7 - 0,9
Kovový	Nutno určit individuálně	

- h_e [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla na vnější straně,
- h_i [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla na vnitřní straně,
- h_t [$W/(m^2 \cdot K)$] je celková plošná tepelná prostupnost zasklení.

Celkovou plošnou tepelnou prostupnost zasklení h_t můžeme vypočítat takto [35]:

$$\frac{1}{h_t} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_s} + \sum_{i=1}^M d_j r_j \quad [(m^2 \cdot K)/W], \quad (2.3)$$

kde:

- h_s [$W/(m^2 \cdot K)$] je plošná tepelná propustnost každého plynového meziprostoru,
- N [–] je počet meziprostorů,
- M [–] je počet vrstev materiálu,
- d_j [m] je tloušťka dané vrstvy materiálu,
- r_j [$(m^2 \cdot K)/W$] je měrný odpor dané vrstvy materiálu.

POZN.: Pro sodnovápenaté sklo platí, že $r_j = 1,0m \cdot K/W$.

Plošnou **tepelnou prostupnost** každého plynového meziprostoru h_s vypočítáme takto [35]:

$$h_{s,k} = h_{r,k} + h_{g,k} \quad [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.4)$$

kde:

- $h_{s,k}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla k-tým meziprostorem,
- $h_{r,k}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] je tepelná prostupnost, způsobená sáláním,
- $h_{g,k}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] je hodnota U plynu v daném meziprostoru.

Pro výpočet **tepelné prostupnosti sáláním** h_r pak platí [35]:

$$h_r = 4 \cdot \sigma \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_{1,k}} + \frac{1}{\epsilon_{2,k}} - 1 \right)^{-1} \cdot T_{m,k}^3 \quad [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.5)$$

kde:

- σ [–] je Stefan-Bolzmannova konstanta,
- $T_{m,k}$ [K] je střední absolutní teplota k-tého plynového meziprostoru,
- $\epsilon_{1,k}$ [–] a $\epsilon_{2,k}$ [–] jsou opravené emisivity povrchů, ohraničujících uzavřený prostor mezi tabulemi při teplotě $T_{m,k}$ [K].

Pro sodnovápenkové sklo a sklo s povlaky, které neovlivňují emisivitu platí, že emisivita $\epsilon = 0,837$. Stejná hodnota platí i pro borosilikátové sklo bez povlaku. Pro ostatní povrchy je nutno určit normálovou emisivitu pomocí infračerveného spektrometru podle EN 12898. Opravená emisivita se vypočte z normálové podle normy EN 12898.

Když se vrátíme o úroveň výše, můžeme pomocí následujícího vztahu spočítat **tepelnou prostupnost způsobenou sáláním** h_g [35]:

$$h_g = Nu \cdot \frac{\lambda_k}{s_k} \quad [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.6)$$

kde:

- Nu je Nusseltovo číslo,
- λ_k [$W/(m \cdot K)$] je součinitel tepelné vodivosti k-tého plynu,
- s_k [m] je šířka k-tého meziprostoru.

POZN.: pokud je $Nu < 1$, pak se dosazuje $Nu = 1$. Je-li směr tepelného toku sestupný, musí být konvence považována v praktických případech za potlačenou a dosazuje se $Nu = 1$.

Pro **Nusseltovo číslo** platí následující vztah [35]:

$$Nu = A \cdot (G_r \cdot P_r)^n \quad [–], \quad (2.7)$$

kde:

- A [–] je konstanta (závisí na poloze okna - svislé, vodorovné atd.),

- G_r [-] je Grashofovo číslo,
- P_r [-] je Prandtlovo číslo,
- n [-] je exponent (konst.).

Pro obvyklé svislé zasklení platí, že $A = 0,035$ a $n = 0,38$. Pro vodorovné a svislé zasklení platí, že při vzestupném tepelném toku se zvyšuje přenos konvencí (prouděním). Tuto skutečnost je nutno zohlednit při výpočtu. Pro vodorovné meziprostory platí, že $A = 0,16$ a $n = 0,28$. Pro meziprostory pod úhlem 45° pak $A = 0,1$ a $n = 0,31$. Pro úhly z tohoto rozmezí pak platí lineární interpolace. Musí však být provedena mezi dvěma nejbližšími body [35].

Grashofovo číslo spočítáme [35]:

$$G_r = \frac{9,81 \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2}{T_m \cdot \mu^2} \quad [-], \quad (2.8)$$

kde:

- s [-] je šířka meziprostoru,
- ΔT [K] je tepelný rozdíl mezi povrchy skla, ohraničujícími plynový meziprostor,
- ρ [kr/m^3] je hustota plynu,
- μ [$kg/(m \cdot s)$] je dynamická viskozita plynu,
- T_m [K] je střední teplota plynu v daném meziprostoru.

a **Prandtlovo číslo** spočítáme [35]:

$$P_r = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} \quad [-], \quad (2.9)$$

kde:

- c [$J/(kg \cdot K)$] je měrná tepelná kapacita plynu v meziprostoru,
- μ [$kg/(m \cdot s)$] je dynamická viskozita plynu,
- λ [$W/(m \cdot K)$] je součinitel tepelné vodivosti plynu v meziprostoru.

Nyní můžeme spočítat **součinitele prostupu tepla na vnitřní straně okna** ze vztahu 2.2 [35]:

$$h_i = h_r + h_c \quad [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.10)$$

kde:

- h_r [$W/(m^2 \cdot K)$] je vnitřní tepelná propustnost způsobená sáláním,
- h_c [$W/(m^2 \cdot K)$] je vnitřní tepelná propustnost způsobená konvencí (prouděním).

Dle normy je pro sodnovápenaté sklo bez povlaku $h_r = 4,1 W/(m^2 \cdot K)$. Pokud má vnitřní povrch zasklení nižší emisivitu, **tepelnou propustnost způsobenou sáláním** lze spočítat [35]:

$$h_r = \frac{4,4 \cdot \epsilon}{0,837} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.11)$$

kde ϵ [–] je emisivita povrchu s povlakem.

Pro volné proudění lze počítat s $h_c = 3,6 W/(m^2 \cdot K)$. Pokud je pod nebo nad oknem umístěna teplovzdušná jednotka, bude tato hodnota nižší, pokud bude vzduch proudit přes sklo. Pro svislý povrch sodnovápenatého skla a volné proudění tedy platí, že $h_i = 4,1 + 3,6 = 7,7 W/(m^2 \cdot K)$.

Pro porovnávání U zasklení běžných svislých povrchů se používá normalizované hodnoty $h_e = 25 W/(m^2 \cdot K)$ [35].

Vlastnosti plynu

Pokud je $Nu > 1$, pak dochází k proudění, rozšiřujícímu tepelný tok. Pokud je $Nu < 1$, znamená to, že k tepelnému toku v plynu dochází pouze vedením a Nu je dáno hraniční hodnotou 1.

Pokud je v meziprostoru použita plynová směs, pak v praxi platí, že u všech používaných plynů platí, že vlastnosti směsi jsou v dostatečném přiblížení úměrné objemovým podílům plynů. Platí tedy [35]:

$$P = P_1 \cdot F_1 + P_2 \cdot F_2 + \dots [?], \quad (2.12)$$

kde:

- P_n [?] je hodnota skládané vlastnosti pro danou složku plynu,
- F_n [–] je objemový podíl dané složky ve směsi.

V tabulce 2.3 jsou uvedeny potřebné vlastnosti nejčastěji používaných plynů ve výplních meziprostorů oken. Fluorid sírový (SF_6) je uveden pouze pro historické srovnání. V současnosti je v totiž některých zemích (včetně zemí EU) zakázán [35].

Normalizované okrajové podmínky

Pro objektivní srovnání oken jednotlivých výrobců jsou normou ČSN 673 defnovány podmínky pro výpočet U pro propagační účely [35]:

- $r = 1,0 m \cdot K/W$
- Emisivita povrchu $\epsilon = 0,837$

2. ANALÝZA ENERGETICKÉ BILANCE

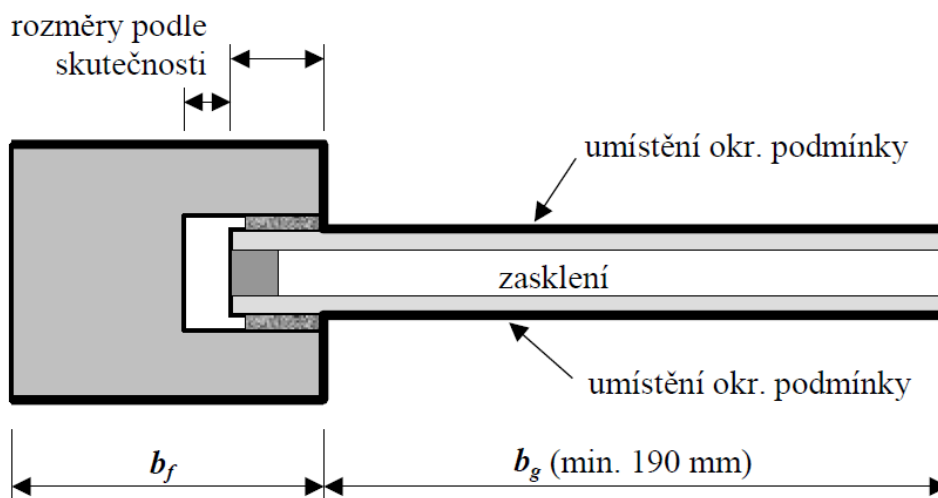
Tabulka 2.3: Vlastnosti běžně používaných plynů ve výplních meziprostorů [35]

Plyn	Teplota [C]	Hustota [kr/m ³]	Dynamická viskozita [kg/(m . s)]	Součinitel tepelné vodivosti [W/(m . K)]	Měrná tepelná kapacita [J/(kg . K)]
Vzduch	-10	1,326	1,661.10 ⁻⁵	2,336.10 ⁻²	1,608.10 ³
	0	1,277	1,711.10 ⁻⁵	2,416.10 ⁻²	
	10	1,232	1,761.10 ⁻⁵	2,496.10 ⁻²	
	20	1,189	1,811.10 ⁻⁵	2,576.10 ⁻²	
Argon	-10	1,829	2,038.10 ⁻⁵	1,584.10 ⁻²	0,519.10 ³
	0	1,762	2,101.10 ⁻⁵	1,634.10 ⁻²	
	10	1,699	2,144.10 ⁻⁵	1,684.10 ⁻²	
	20	1,640	2,128.10 ⁻⁵	1,734.10 ⁻²	
Krypton	-10	3,832	2,260.10 ⁻⁵	0,842.10 ⁻²	0,245.10 ³
	0	3,690	2,330.10 ⁻⁵	0,870.10 ⁻²	
	10	3,560	2,400.10 ⁻⁵	0,900.10 ⁻²	
	20	3,430	2,470.10 ⁻⁵	0,926.10 ⁻²	
Xenon	-10	6,121	2,078.10 ⁻⁵	0,494.10 ⁻²	0,161.10 ³
	0	5,897	2,152.10 ⁻⁵	0,512.10 ⁻²	
	10	5,689	2,126.10 ⁻⁵	0,529.10 ⁻²	
	20	5,495	2,299.10 ⁻⁵	0,546.10 ⁻²	
SF ₆	-10	6,844	1,383.10 ⁻⁵	1,119.10 ⁻²	0,614.10 ³
	0	6,602	1,421.10 ⁻⁵	1,197.10 ⁻²	
	10	6,360	1,459.10 ⁻⁵	1,275.10 ⁻²	
	20	6,118	1,497.10 ⁻⁵	1,354.10 ⁻²	

- Teplotní rozdíl mezi vnějšími povrchy skla $\Delta T = 15 \text{ K}$
- Střední teplota plynového meziprostoru $T_m = 283 \text{ K}$
- Stefan-Boltzmannova konstanta $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
- Součinitel prostupu tepla na vnější straně $h_e = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Součinitel prostupu tepla na vnitřní straně $h_i = 7,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Konstanta $A = 0,035 \text{ [-]}$
- Exponent $n = 0,38 \text{ [-]}$

Součinitel prostupu tepla rámem U_f

Výpočet prostupu tepla rámu se provádí řešením dvojrozměrného teplotního pole v souladu s ISO 10211. Prvky okna musí být rozděleny tak, aby



Obrázek 2.10: Schéma rámu okna se zasklením [36]

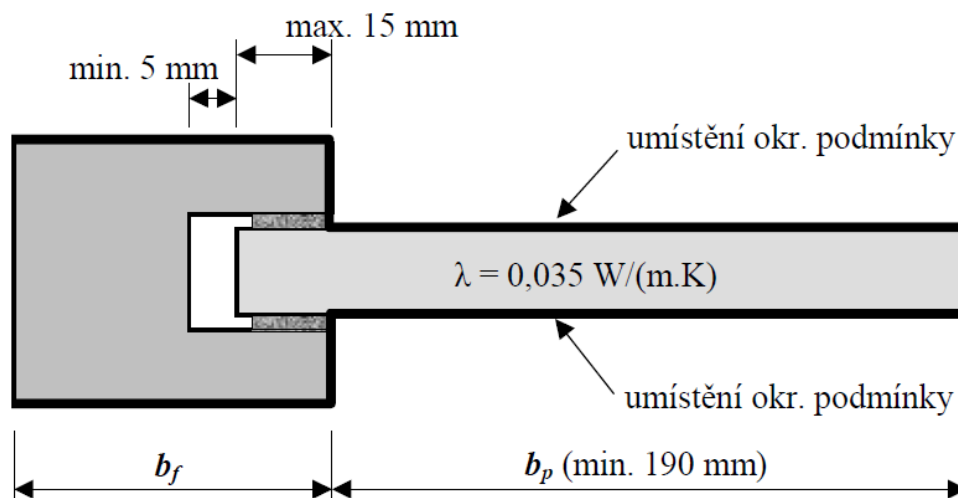
jakékoliv další rozdělení výrazně neovlivnilo výsledek. Přesahy profilů rámu, které překrývají stěnu nebo jiné stavební konstrukce, se neuvažují. [14]

Při výpočtu se zasklení (viz. obrázek 2.10) nahradí náhradní izolační deskou (viz. obrázek 2.11) o tepelné vodivosti $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, vloženou do rámu s vůlí b , ne menší než 5 mm. Hloubka uložení b_2 se rovná hloubce uložení zasklení. Délka izolační desky musí být minimálně 190 mm (měřeno od nejvíce vyčnívající části rámu; těsnění se zanedbávají). Model rámu musí obsahovat všechny materiály, které byly použity k výrobě okna kromě zasklení. Tloušťka izolační desky musí být totožná s tloušťkou zasklení, pokud je rám navržen pro specifickou tloušťku zasklení, nebo 24 mm pro izolační dvojskla nebo 36mm pro izolační trojskla, pokud se jedná o rám s několika možnými tloušťkami zasklení. [14]

$$U_f = \frac{L_b^{20} - U_p \cdot b_p}{b_f \cdot b_p} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})], \quad (2.13)$$

kde:

- L_b^{20} [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$] je tepelná propustnost řezu, znázorněného na obrázku 2.10,
- U_p [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] je součinitel prostupu tepla středové plochy desky,
- b_f [m] je návrhová šířka profilu rámu (bez přečnívajících těsnění),
- b_p [m] je viditelná šířka izolační desky.



Obrázek 2.11: Schéma rámu s izolačním panelem [36]

Lineární činitel prostupu tepla [14]:

$$\psi = L_{\psi}^{20} - U_f \cdot b_f - U_g \cdot b_g \quad [W/(m \cdot K)], \quad (2.14)$$

- L_{ψ}^{20} [$W/(m \cdot K)$] je tepelná propustnost řezu (viz. obrázek 2.10),
- U_p [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla profilu rámu,
- U_f [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla centrální plochy zasklení,
- b_f [m] je návrhová šířka profilu rámu (bez přečnívajících těsnění),
- b_g [m] je viditelná šířka zasklení.

Vzduchové dutiny

Vzduchové dutiny se většinou vyskytují v plastových a kovových rámech oken. Jsou považovány za neodvětrávané, pokud jsou plně uzavřené nebo jsou spojeny s interiérem nebo exteriérem štěrbinou o maximální šířce 2 mm [14].

Ekvivalentní vzduchová vodivost dutiny se spočítá [14]:

$$\lambda_{eq} = \frac{d}{R_s} \quad [W/(m \cdot K)], \quad (2.15)$$

kde:

- d [m] je šířka vzduchové dutiny ve směru tepelného toku,
- R_s [$(m^2 \cdot K)/W$] je tepelný odpor dutiny.

Tepelný odpor dutiny R_s lze spočítat:

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} [(m^2 \cdot K)/W], \quad (2.16)$$

kde:

- h_a [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla prouděním,
- h_r [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla prouděním.

Pokud je šířka dutiny (ve směru kolmém na tepelný tok) menší než 5 mm, pak lze **součinitel prostupu tepla prouděním** h_a spočítat [14]:

$$h_a = \frac{C_1}{d} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.17)$$

kde:

- C_1 [$W/(m \cdot K)$] je konstanta $C_1 = 0,025 W/(m.K)$,
- d [m] je šířka vzduchové dutiny ve směru tepelného toku,

Pokud je šířka dutiny (ve směru kolmém na tepelný tok) 5 mm nebo více, pak lze **součinitel prostupu tepla prouděním** h_a spočítat [14]:

$$h_a = MAX\left\{\frac{C_1}{d}; C_2 \cdot \Delta T^{\frac{1}{3}}\right\} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.18)$$

kde:

- C_1 [$W/(m^2 \cdot K)$] je konstanta $C_1 = 0,025 W/(m.K)$,
- C_2 [$W/(m^2 \cdot K)$] je konstanta $C_2 = 0,73 W/(m^2.K^{\frac{4}{3}})$,
- d [m] je šířka vzduchové dutiny ve směru tepelného toku,
- ΔT [K] je maximální povrchový teplotní rozdíl v dutině.

Není-li přístupná jiná informace, použije se $\Delta T = 10 K$, pro které platí:

$$h_a = MAX\left\{\frac{C_1}{d}; C_3\right\} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.19)$$

kde:

- C_1 [$W/(m^2 \cdot K)$] je konstanta $C_1 = 0,025 W/(m.K)$,
- C_2 [$W/(m^2 \cdot K)$] je konstanta $C_3 = 1,57 W/(m^2.K)$,
- d [m] je šířka vzduchové dutiny ve směru tepelného toku.

Tabulka 2.4: Typické emisivity kovových povrchů [14]

Povrch	Normované ϵ
Mírně oxidované hliníkové povrchy (do 5 μm)	0,1
Kovové povrchy (obecně, včetně pozinkovaných)	0,3
Neupravené hliníkové povrchy	0,3
Eloxované, lakované nebo práškovou barvou potažené povrchy	0,9

Součinitel prostupu tepla prouděním lze vypočítat:

$$h_r = 4 \cdot \sigma \cdot T_m^3 \cdot E \cdot F \quad [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.20)$$

kde:

- σ je Stefan-Boltzmannova konstanta,
- T_m [K] je střední teplota plynového meziprostoru,
- E [-] je součinitel vzájemného sálání,
- F [-] je tvarový činitel pro pravoúhlý profil.

Pokud není k dispozici jiná informace, uvažuje se střední teplota plynového meziprostoru $T_m = 283$ K, pro kterou platí [14]:

$$F = \{C_4 \cdot [1 + \sqrt{1 + (\frac{d^2}{b})} - \frac{d}{b}]\} \quad [-], \quad (2.21)$$

kde:

- C_4 [W/(m² · K)] je konstanta $C_4 = 2,11$ W/(m² · K),
- b [m] je rozměr dutiny kolmý na směr tepelného toku,
- d [m] je rozměr dutiny ve směru tepelného toku.

Pro **součinitel vzájemného sálání** ze vztahu 2.20 platí:

$$E = (\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1)^{-1} \quad [-], \quad (2.22)$$

ϵ_1 [-] a ϵ_2 [-] jsou emisivity povrchů kolmých na tepelný tok. Nejsou-li jiné informace, uvažuje se $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0,9$. Kovové povrchy mají emisivitu nižší (viz. tabulka 2.4) [14].

Tvarový činitel pro pravoúhlý profil ze vztahu 2.20 spočítáme [14]:

$$F = (\frac{1}{2} \cdot [1 + \sqrt{1 + (\frac{d^2}{b})} - \frac{d}{b}]) \quad [-], \quad (2.23)$$

kde:

- b [m] je rozměr dutiny kolmý na směr tepelného toku,
- d [m] je rozměr dutiny ve směru tepelného toku.

Neodvětrávané vzduchové dutiny jiného tvaru než obdélník nahrazujeme obdélníkovou dutinou, jejíž plocha je stejná jako plocha původní dutiny. Její rozměry se určují následovně [14]:

$$b = \sqrt{A' \cdot \frac{b'}{d'}} \quad [m], \quad (2.24)$$

$$d = \sqrt{A' \cdot \frac{d'}{b'}} \quad [m], \quad (2.25)$$

kde:

- b [m] je rozměr dutiny kolmý na směr tepelného toku náhradní dutiny,
- d [m] je rozměr dutiny ve směru tepelného toku náhradní dutiny,
- b' [m] je rozměr dutiny kolmý na směr tepelného toku původní dutiny,
- d' [m] je rozměr dutiny ve směru tepelného toku původní dutiny,
- $A' = A$ [m²] je plocha původní dutiny (stejná jako plocha náhradní dutiny).

Jako **mírně odvětrávané dutiny** považujeme ty, které jsou spojeny s interiérem nebo exteriérem štěrbinou o šířce 2-10 mm. Ekvivalentní tepelná vodivost se pak počítá jako dvojnásobek hodnoty v případě neodvětrávané dutiny [14].

Dvojitá okna

Dvojitá okna mají dva oddělené rámy, přičemž na každém je samostatné křídlo. Součinitel prostupu tepla se pro dvojitě okno spočítá takto [14]:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{w2}}} \quad [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.26)$$

kde:

- U_{w1} [W/(m² · K)] a U_{w2} [W/(m² · K)] jsou součinitele prostupu tepla vnějšího a vnitřního okna jednotlivě vypočítané dle vztahu 2.1,
- R_{si} [(m² · K)/W] je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně vnějšího okna v případě jeho samostatného použití,
- R_{se} [(m² · K)/W] je odpor při přestupu tepla na vnější straně vnitřního okna v případě jeho samostatného použití,

2. ANALÝZA ENERGETICKÉ BILANCE

Tabulka 2.5: Tepelná vodivost materiálů [14]

Skupina	Materiál	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Tepelná vodivost [W/(m.K)]
Rám	Měď	8900	380
	Hliník	2800	160
	Mosaz	8400	120
	Ocel	7800	50
	Korozivzdorná ocel austenitická nebo austenitická-ferritická	7900	17
	Korozivzdorná ocel martenzitická nebo ferritická	7900	30
	PVC	1390	0,17
	Tvrdé dřevo	700	0,18
	Měkké dřevo	500	0,13
	Měkké dřevo	450	0,12
	Skelný laminát	1900	0,4
Sklo	Sodnovápenaté sklo	2500	1,0
	PMMA	1180	0,18
	Polykarbonáty	1200	0,2
Těsnící páska	PCP	1240	0,23
	EPDM	1150	0,25
	Silicon, čistý	1200	0,35
	Silicon, vyplněný	1450	0,5
	PVC, ohebný (40% změkčovadla)	1200	0,14
	Elastomerní pěna	60-80	0,05
Těsnící materiály a materiály okrajů skla	PU	1500	0,40
	Butylkaučuk tuhý, tavený za tepla	1200	0,24
	Polysulfid	1700	0,40
	Silikon čistý	1200	0,35
	Silikon plněný	1450	0,40
	Polyizobutylem	930	0,20
	Polyesterová pryskyřice	1400	0,19
	Silikongel	720	0,13
	Molekulární síto	650-750	0,10
	Silikonová pěna, nízká objemová hmotnost	750	0,12
	Silikonová pěna, střední objemová hmotnost	820	0,17

2.3. Postup hodnocení současného stavu vytápění budov

Tabulka 2.6: Tabulkové hodnoty R_{si} a R_{se} podle ČSN EN ISO 10077-1 [15]

Poloha okna	Vnitřní R_{si} [$m^2 \cdot K/W$]	Vnější R_{se} [$m^2 \cdot K/W$]
Svislé okno nebo okno se sklonem α zasklení od vodorovné osy v rozmezí $90^\circ \geq \alpha \geq 60^\circ$	0,13	0,04
Vodorovné okno se sklonem α zasklení od vodorovné osy v rozmezí $60^\circ \geq \alpha \geq 0^\circ$	0,10	0,04

- R_s [$(m^2 \cdot K)/W$] je tepelný odpor vrstvy vzduchu mezi zaskleními jednotlivých oken.

Zdvojená okna

Zdvojená okna mají dvě oddělená křídla, ale jen jeden rám. Tepelná prostupnost okna se počítá dle vztahu 2.1, tepelná prostupnost zasklení se však počítá pomocí pozměněného vztahu [14]:

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{g2}}} \quad [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.27)$$

- U_{g1} [$W/(m^2 \cdot K)$] a U_{g2} [$W/(m^2 \cdot K)$] jsou součinitele prostupu tepla vnějšího a vnitřního zasklení, vypočítaných jednotlivě,
- R_{si} [$(m^2 \cdot K)/W$] je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně vnějšího zasklení v případě jeho samostatného použití,
- R_{se} [$(m^2 \cdot K)/W$] je odpor při přestupu tepla na vnější straně vnitřního zasklení v případě jeho samostatného použití,
- R_s [$(m^2 \cdot K)/W$] je tepelný odpor vrstvy vzduchu mezi jednotlivými zaskleními.

Hodnoty R_{si} a R_{se} jsou uvedeny v tabulce 2.6, R_s pak v tabulce 2.7.

Tabulka 2.7: Tabulkové hodnoty R_s podle ČSN EN ISO 10077-1 [15]

Tloušťka vzduchové vrstvy [mm]	Tepelný odpor R_s [$m^2 \cdot K/W$]				
	Jednostranné pokovení skla s normálovou emisivitou				Oboustranně nepokovené
	0,1	0,2	0,4	0,8	
6	0,211	0,191	0,163	0,132	0,127
9	0,299	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,377	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,447	0,364	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,336	0,260	0,189	0,179

Lineární činitel prostupu tepla v uložení zasklení do rámu ψ_g

Pomocí lineárního činitele prostupu tepla v uložení zasklení do rámu se hodnotí styk rámu okna a skutečného zasklení včetně distančního rámečku. Lze jej stanovit ze vztahu [14]:

$$\psi_g = L_g - U_f \cdot b_f - U_g \cdot b_g \quad [W/(m \cdot K)], \quad (2.28)$$

kde:

- L_g [$W/(m \cdot K)$] je vypočtená tepelná propustnost výsekem rámu se zasklením,
- U_g [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla zasklení,
- U_f [$W/(m^2 \cdot K)$] je součinitel prostupu tepla rámu,
- b_g [m] je šířka zasklení,
- b_f [m] je šířka rámu.

ψ_g lze při výpočtech považovat za rovný nule, pokud je splněna alespoň jedna z následujících podmínek:

- vnitřní a vnější obložení neprůsvitné výplně jsou z materiálu o tepelné vodivosti menší než $0,5 W/(m \cdot K)$,
- tepelná vodivost jakéhokoli materiálu s tepelným mostem na okraji výplně je menší než $0,5 W/(m \cdot K)$,

V ostatních případech se počítá dle ISO 10077-2.

Distanční profil

Distanční profil je struktura, která se umísťuje mezi jednotlivé desky zasklení. U starších oken se většinou vyráběl z kovu, dnes se používá spíše plast.

Tabulka 2.8: Odpory při přestupu tepla v závislosti na směru tepelného toku [14]

Odpor při přestupu tepla [$m^2 \cdot K/W$]	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Pokud není bližší info o geometrii profilu, pak se počítá, že tloušťka profilu je o 0,5 mm menší než je tloušťka dutiny mezi zasklením. Důvodem 0,5 mm rozdílu je 0,25 mm tlustá vrstva spojovacího tmelu v místech kontaktu profilu se sklem. [14]

2.3.2 Součinitel prostupu tepla zdiva

Při výpočtu tepelné vodivosti zdiva je nejprve třeba vypočítat tepelné vodivosti jednotlivých vrstev zdiva. V ideálním případě jsou si jednotlivé vrstvy zdiva podobné.

Tepelný odpor stejnorodých vrstev

Tepelný odpor stejnorodých vrstev vypočteme následovně: [37]

$$R = \frac{d}{\lambda} [(m^2 \cdot K)/W], \quad (2.29)$$

kde:

- d [m] je tloušťka vrstvy v konstrukci,
- λ [$W/(m \cdot K)$] je návrhová tepelná vodivost materiálu.

Hodnotu návrhové tepelné vodivosti materiálu (λ) můžeme buďto spočítat podle ISO 10456 nebo ji stanovit z tabulkových hodnot. [37]

Odpory při přestupu tepla

Odpory při přestupu tepla na vnější (R_{se}) a vnitřní straně (R_{si}) dle směru tepelného toku jsou uvedeny v tabulce 2.8.

Nevětraná vzduchová vrstva

Za nevětranou vzduchovou vrstvu považujeme takovou vrstvu, která je buďto úplně uzavřená nebo spojená s exteriérem/interiérem mezerou o maximální ploše 500 mm^2 na každý metr délky (ve vodorovném směru) pro svislé vzduchové vrstvy nebo 500 mm^2 na každý m^2 plochy povrchu pro vodorovné vzduchové vrstvy. Tepelné odpory vzduchových vrstev v závislosti na tloušťce a směru tepelného toku jsou uvedeny v tabulce 2.9. [37]

Tabulka 2.9: Odpor vzduchových vrstev v závislosti na tloušťce a na směru tepelného toku [37]

Tloušťka vrstvy [mm]	Tepelný odpor [$m^2 \cdot K/W$]		
	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Slabě větraná vzduchová vrstva

Za slabě větranou vzduchovou vrstvu považujeme takovou vrstvu, která je spojená s exteriérem/interiérem mezerou o ploše 500-1500 mm^2 na každý metr délky (ve vodorovném směru) pro svislé vzduchové vrstvy nebo 500-1500 mm^2 na každý m^2 plochy povrchu pro vodorovné vzduchové vrstvy. Odpor takové vrstvy spočítáme následovně: [37]

$$R_t = \frac{1500 - A_v}{1000} \cdot R_{t,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \cdot R_{t,v} \quad [(m^2 \cdot K)/W], \quad (2.30)$$

kde:

- $R_{t,u}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] je odpor při prostupu tepla konstrukce s nevětranou vzduchovou vrstvou,
- $R_{t,v}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] je odpor při prostupu tepla konstrukce se silně větranou vzduchovou vrstvou (viz. níže),
- A_v [m] je plocha větrací mezery.

Silně větraná vzduchová vrstva

Za silně větranou vzduchovou vrstvu považujeme takovou vrstvu, která je spojená s exteriérem/interiérem mezerou o ploše větší než 1500 mm^2 na každý metr délky (ve vodorovném směru) pro svislé vzduchové vrstvy nebo 1500 mm^2 na každý m^2 plochy povrchu pro vodorovné vzduchové vrstvy. Odpor takovéto vrstvy se získá při zanedbání tepelného odporu této vrstvy a všech

Tabulka 2.10: Odpor podtřešních prostorů [37]

Typ střechy	R_u [$m^2 \cdot K/W$]
Střecha s taškovou krytinou bez lepenky	0,06
Střecha s povlakovou krytinou nebo taškovou krytinou s lepenkou, bedněním nebo podobným podkladem pod taškami	0,2
Dtto 2 (výše) ale s hliníkovou krytinou nebo jiným povrchem s nízkou emisivitou na spodním líci střechy	0,3
Střecha lemovaná bedněním s lepenkou	0,3

dalších vrstev mezi touto vrstvou a exteriérem (pokud je vrstva spojena s exteriérem) nebo interiérem (pokud je vrstva spojena s interiérem). Zahrne se pouze vnější odpor při přestupu tepla, odpovídající klidnému vzduchu. [37]

Podtřešní prostory

U střešní konstrukce, sestávající z rovného izolovaného stropu a šikmé či strmé střechy, se může podtřešní prostor uvažovat za tepelně stejnorodou vrstvu (odpor viz. tabulka 2.10).

Odpor při prostupu tepla stavební konstrukcí složené ze stejnorodých vrstev

Za konstrukci složenou ze stejnorodých vrstev považujeme takovou konstrukci, která se skládá z vrstev, pro které platí, že rozdíl horní a dolní meze odporu v konstrukci je maximálně 1,5 [$(m^2 \cdot K)/W$]. Vzorec nelze použít, pokud tepelně izolační vrstvou prochází kovový tepelný most. [37]

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad [(m^2 \cdot K)/W], \quad (2.31)$$

kde:

- R_{si} [$W/(m^2 \cdot K)$] je návrhový vnitřní odpor při přestupu tepla (viz. tabulka 2.8),
- R_{se} [$W/(m^2 \cdot K)$] je návrhový vnější odpor při přestupu tepla (viz. tabulka 2.8),
- $R_1 - R_n$ [$W/(m^2 \cdot K)$] jsou návrhové tepelné odpory každé vrstvy.

POZN.: Pokud se jedná o vnitřní příčku nebo o zeď, která sousedí s nevytápěným vnitřním prostorem, pak se na obou stranách uvažuje R_{si} , tedy $R_{se} = R_{si}$.

Odpor konstrukce při prostupu tepla

Odpor při prostupu tepla R_t konstrukce složené z tepelně stejnorodých a nestejnorodých vrstev spočteme jako aritmetický průměr horní a dolní meze odporů při prostupu tepla: [37]

$$R_t = \frac{R'_t + R''_t}{2} [(m^2 \cdot K)/W], \quad (2.32)$$

kde:

- $R'_t [(m^2 \cdot K)/W]$ je dolní mez odporu při prostupu tepla,
- $R''_t [(m^2 \cdot K)/W]$ je horní mez odporu při prostupu tepla.

Provádí se tak, že se konstrukce rozdělí na více stejnorodých částí. Každá z částí musí mít následující parametry: podílná plocha f_m , tloušťka d_j , tepelná vodivost ψ_{mj} a tepelný odpor R_{mj} . Podílná plocha f_m je vztažena k celé ploše konstrukce, tím pádem platí, že: [37]

$$f_1 + f_2 + \dots + f_m = 1 [m^2], \quad (2.33)$$

Horní mez odporu při prostupu tepla

Horní mez odporu při prostupu tepla se určuje za předpokladu jednorozměrného tepelného toku, kolmého na povrchy konstrukce. [37]

$$\frac{1}{R'_t} = \frac{f_a}{R_{ta}} + \frac{f_b}{R_{tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{tq}} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.34)$$

kde:

- $R_{ta} [(m^2 \cdot K)/W]$ - $R_{tq} [(m^2 \cdot K)/W]$ je jsou odpory při prostupu tepla z prostředí do prostředí pro jednotlivé stejnorodé výseky konstrukce (lze spočítat dle vztahu 2.31),
- f_a - f_q jsou poměrné plochy jednotlivých výseků.

Dolní mez odporu při prostupu tepla

Určuje se za předpokladu že všechny roviny rovnoběžné s povrchy konstrukce jsou izotermní povrchy. To znamená, že pokud ke vzduchové vrstvě přiléhá nerovinná plocha povrchu, pak by se měl výpočet provést tak, jako by tato plocha byla rovinná. Snížené výseky se rozšíří a přečnávající části se odstraní. [37]

Pro výpočet dolní meze je třeba nejprve spočítat ekvivalentní tepelný odpor R_j pro každou tepelně nestejnorodou vrstvu: [37]

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}} [W/(m^2 \cdot K)], \quad (2.35)$$

kde:

- R_{aj} $[(m^2 \cdot K)/W]$ - R_{qj} $[(m^2 \cdot K)/W]$ je jsou odpory při prostupu tepla z prostředí do prostředí pro jednotlivé stejnorodé vrstvy konstrukce (lze spočítat dle vztahu 2.31),
- f_a $[m^2]$ - f_q $[m^2]$ jsou poměrné plochy jednotlivých výseků.

Dolní mez se pak určí ze vztahu: [37]

$$R_t'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} [(m^2 \cdot K)/W], \quad (2.36)$$

2.3.3 Spotřeba tepla vyvolaná prostupem

Spotřebu tepla, vyvolanou prostupem lze spočítat takto: [19]

$$E_{vp} = \frac{A \cdot U \cdot D_x \cdot 24}{1000} [kWh], \quad (2.37)$$

kde:

- A $[m^2]$ je plocha daného stavebního prvku,
- U $[W/(m^2 \cdot K)]$ je tepelná propustnost daného stavebního prvku,
- D $[-]$ je počet denostupňů - dle 291/2001 Sb. pro 20C je počet denostupňů $D_x = 3920$.

2.4 Současný stav budov

V současnosti se komplex podniku skládá z šesti budov s označením SO11, SO13, M1, M2 (ve vlastnictví společnosti), S2 a M1A (pronajaté prostory). [19]

2.4.1 Objekt SO11

Tento objekt slouží částečně jako administrativní část (převážně 5. NP) a částečně jako výrobní objekt (1. - 4. NP). [19]

Konstrukce

Jedná se o pětipodlažní objekt realizovaný z montovaného skeletu. Přízemí má konstruktivní výšku 4,8 m, ostatní podlaží pak 4,2 m. Půdorysné rozměry objektu jsou 61,2 x 28,4 m. Nosná konstrukce je realizována z montovaného železobetonového skeletu s příčnými rámy. Objem vytápěné části je 35 486 m³. Obvodový plášť je tvořen z keramických panelů o tloušťce 40 cm. Střecha je dvouplášťová, izolovaná 3 x 50 mm minerálních desek a 2 x 50 mm pěnového polystyrenu v úžlabinách. Stropní konstrukce jsou z žebírkových železobetonových panelů. [19]

Vytápění

Vytápění tohoto objektu je rozděleno na dvě samostatné části – 1. – 2. NP a 3. - 5. NP.

První a druhé podlaží je vytápěno teplovodním dvoutrubkovým vytápěním s nuceným oběhem a s vlastní výměňkovou stanicí. Výměníková stanice voda-voda je umístěna v prvním podlaží objektu. Rozvod potrubí pro otopná tělesa je proveden způsobem TICHELMANN, který neumožňuje rozdílné vytápění pro různé části budovy. Jednotlivá otopná tělesa jsou vybavena termostatickými ventily s termostatickými hlavici. Teplota topné vody je regulována ve výměňkové stanici.

Třetí až páté podlaží je vytápěno teplovodním dvoutrubkovým vytápěním s nuceným oběhem, napojeným přímo na centrální předávací stanici v prostorech dodavatele. Rozvod potrubí pro otopná tělesa je proveden způsobem TICHELMANN, který neumožňuje rozdílné vytápění pro různé části budovy. Jednotlivá otopná tělesa jsou vybavena termostatickými ventily s termostatickými hlavici. [19]

Okna

V současnosti jsou v objektu SO11 namontována okna od společnosti STAKO - jednoduchá se sdruženými křídly, dvojitě zasklená, typ PN STK 746262.1 a typ PN STK 746261.1 . Jejich součinitel prostupu tepla je 3,8, což je velmi vysoká hodnota. Oken je v objektu celkem 532 oken z nichž 40 je typu PN STK 746262.1 a 492 typu PN STK 746261.1. Rozměry oken jsou 2,2 m x 1,12 m v případě typu PN STK 746261.1 a 2,2 m x 0,82 m v případě typu PN STK 746262.1. Jedná se vlastně o totožná okna s rozdílnou šířkou, která se projeví pouze na šířce zasklení. [19]

Celková plocha oken je:

$$A_w = 2,2 \cdot 1,12 \cdot 492 + 2,2 \cdot 0,82 \cdot 40 = 1284,448 \text{ m}^2$$

Nyní mám všechny potřebné informace pro výpočet celkové tepla prostupem okny:

$$E_{vp} = \frac{1284,448 \cdot 3,8 \cdot 3920 \cdot 24}{1000} = 459195,298 \text{ kWh}$$

Převedeno na GJ je to $459195,298 \cdot 0,0036 = 1653,103 \text{ GJ}$.

Zdi

Budova v současnosti není zateplena, prostup tepla zdi je $0,97 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Ztráty způsobené prostupem tepla zdi, zvyšují potřebu tepla o 167 GJ.

2.4.2 Objekt SO13

Objekt slouží v prvních dvou podlažích jako výrobní prostory, ve třetím patře jako sociální a průchodové prostory. [19]

Konstrukce

Jedná se o třípodlažní objekt realizovaný z montovaného skeletu. Nosná konstrukce je realizována z montovaného železobetonového skeletu s příčnými rámy. Přízemí má konstruktivní výšku 4,8 m, ostatní podlaží pak 4,2 m. Půdorysné rozměry objektu jsou 30,5 x 16 m. Obvodový plášť je tvořen z keramických panelů o tloušťce 30 cm. Některé prostory v třetím podlaží byly dostavěny později při rekonstrukci a jsou postaveny z lehkých sendvičových konstrukcí. Střecha objektu je dvouplášťová, izolovaná 3 x 50 mm minerálních desek a 2 x 50 mm pěnového polystyrénu v úžlabinách. Stropní konstrukce jsou z žebírkových železobetonových panelů. [19]

Vytápění

Vytápění je realizováno teplovodním dvoutrubkovým vytápěním s nuceným oběhem, napojeným přímo na centrální předávací stanici v prostorách dodavatele. Rozvod potrubí pro otopná tělesa je proveden způsobem TICHELMANN, který neumožňuje rozdílné vytápění pro různé části budovy. Jednotlivá otopná tělesa jsou vybavena termostatickými ventily. [19]

Okna

V současnosti jsou v objektu SO13 namontována okna od společnosti STAKO - jednoduchá se sdruženými křídly, dvojitě zasklená. Jejich součinitel prostupu tepla je 3,8, což je velmi vysoká hodnota. Rozměry těchto oken jsou 2,01 m x 1,12 m, v objektu je 84 těchto oken. V druhém patře na západní straně jsou z důvodu přestavby namontována okna nová, plastová. [19]

Celková plocha oken je:

$$A_w = 2,01 \cdot 1,12 \cdot 84 = 189,101 \text{ m}^2$$

Nyní mám všechny potřebné informace pro výpočet celkové tepla prostupem okny:

$$E_{vp} = \frac{189,101 \cdot 3,8 \cdot 3920 \cdot 24}{1000} = 67604,29 \text{ kWh}$$

Převedeno na GJ je to $459195,298 \cdot 0,0036 = 243,38 \text{ GJ}$.

Zdi

Budova v současnosti není zateplena, prostup tepla zdmi je $1,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Ztráty způsobené prostupem tepla zdmi, zvyšují potřebu tepla o 95,23 GJ.

2.4.3 Objekt M1

Tato budova pochází ze šedesátých let. Slouží jako výrobní budova. [19]

Konstrukce

Objekt má železobetonovou nosnou konstrukci, skládající se z nosných sloupů a kazetových stropních panelů – „H rámy“. Plášť je z keramických parapetních panelů. Okna jsou kovová, meziokenní vložky sendvičové. V letech

1993 a 1994 byl objekt zateplen. Původní střecha je jednoplášťová. Bylo navrženo zateplení nástřikem pěnové hmoty, které se neosvědčilo, bylo odstraněno a následně bylo provedeno vyspárování perlitobetonem, na který byla nanesena vrstva nové izolace ORSIL s ochrannou betovovou mazaninou a hydroizolací. [19]

Vytápění

Vytápění je realizováno teplovodním dvoutrubkovým vytápěním s nuceným oběhem a s vlastní výměňkovou stanicí. Výměňková stanice voda-voda je umístěna v prvním podlaží objektu. Rozvod potrubí pro otopná tělesa je proveden způsobem TICHELMANN, který neumožňuje rozdílné vytápění pro různé části budovy. Současný systém regulace umožňuje nastavení doby plného a tlumeného vytápění. Jednotlivá otopná tělesa jsou vybavena termostatickými ventily s termostatickými hlavicemi. Teplota topné vody je regulována ve výměňkové stanici. [19]

Okna

V objektu M1 byla výměna oken již provedena v minulých letech.

Zdi

V objektu M1 jsou zdi zateplené s prostupem tepla $U = 0,5 [W/(m^2 \cdot K)]$. Ztráty způsobené prostupem tepla zdi, zvyšují potřebu tepla o 224,8 GJ.

2.4.4 Objekt S2

Tato budova pochází ze šedesátých let. Slouží jako výrobní budova.

Okna

V objektu S2 jsou v současné době namontována dřevěná okna. Tato okna jsou složená, každý rám má dvě křídla - velké horní a menší dolní. Horní křídlo je spojeno hřídelí v místě vodorovné osy křídla s rámem, kde je také kluzné ložisko. Při otevření křídla se dolní část vyklopí ven a horní část dovnitř. Dolní křídlo okna je zavěšeno na dolní hraně pomocí pantů. Otevírá se dovnitř. Rám je vyroben z měkkého dřeva. Jeho průměrná tloušťka je 80 mm.

Rám i křídla jsou vyrobena ze dřeva, zasklení je dvojité ze sodnovápenatého skla se vzduchovou výplní. Tloušťka skleněných tabulí je 3 mm a šířka vzduchové mezery je 4,4 cm.

Tepelná propustnost oken

Tepelnou propustnost okna jsem počítal podle vztahu 2.1:

$$U_w = \frac{(A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g)}{(A_g + A_f)} [W/(m^2 \cdot K)]$$

Tepelná propustnost rámem okna z měkkého dřeva U_f s tloušťkou 80 mm lze spočítat:

$$R_f = \frac{d}{\lambda}$$

d [m] je tloušťka materiálu, tedy 80 mm, což je 0,08 m. Tabulková hodnota λ pro měkké dřevo je 0,13.

$$R_f = \frac{0,08}{0,13} = 0,615384 \Rightarrow U_f = \frac{1}{R_f} = \frac{1}{0,615384} = 1,625 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Tepelná propustnost zasklení:

$$\frac{1}{U_g} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i}$$

Dle definice okrajových podmínek ČSN ISO EN 10077-2 platí, že součinitel prostupu tepla na vnější straně $h_e = 25 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$. Součinitel prostupu tepla na vnitřní straně jsem spočítal podle následujícího vztahu:

$$h_i = h_r + h_c$$

Dle stejné normy pro sodnovápenaté sklo bez povlaku lze počítat s $h_r = 4,1 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$. h_c pro volné proudění je $3,6 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$. Potom:

$$h_i = 4,1 + 3,6 = 7,7 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Dále bylo třeba vypočítat h_t :

$$\frac{1}{h_t} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_s} + \sum_{i=1}^M d_j r_j$$

Vzduchový meziprostor je pouze jeden a skleněné desky jsou dvě, obě stejné.

h_s jsem pak spočítal dle vztahu:

$$h_s = h_r + h_g$$

h_r lze pro každý meziprostor spočítat podle následujícího vztahu:

$$h_r = 4 \cdot \sigma \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_{1,k}} + \frac{1}{\epsilon_{2,k}} - 1 \right)^{-1} \cdot T_{m,k}^3$$

Pro běžné sodnovápenaté sklo platí $\epsilon = 0,837$. Dle okrajových podmínek, definovaných v ČSN ISO EN 10077-2 je dále $T_{m,k} = 283 \text{ K}$ a $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(m^2 \cdot K^4)$. Můžu tedy rovnou dosadit:

$$h_r = 4,5 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{1}{0,837} + \frac{1}{0,837} - 1 \right)^{-1} \cdot 283^3 = 3,699543176 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Pro h_g platí vztah:

$$h_g = Nu \cdot \frac{\lambda_k}{s_k}$$

2. ANALÝZA ENERGETICKÉ BILANCE

Součinitel tepelné vodivosti λ je pro vzduchovou výplň při střední teplotě 10°C (definováno normou ČSN ISO EN 10077-2 jako normalizovaná okrajová podmínka) $\lambda = 2,496 \cdot 10^{-2} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (viz. tabulka 2.3). Tloušťka vzduchové mezery je 44 mm. Je tedy třeba ještě dopočítat Nusseltovo číslo:

$$Nu = A(G_r \cdot P_r)^n$$

Pro běžné svislé zasklení platí $A = 0,035$ a $n = 0,38$. Grashofovo číslo:

$$G_r = \frac{9,81 \cdot s^3 \cdot \Delta T \cdot \rho^2}{T_m \cdot \mu^2}$$

Dle normalizovaných okrajových podmínek a tabulky 2.3 platí: $\Delta T = 15 \text{ K}$, $\rho = 1,232 \text{ kg}/\text{m}^3$, $T_m = 283 \text{ K}$ a $\mu = 1,761 \cdot 10^{-5} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$. Šířka vzduchového meziprostoru $s = 0,0044 \text{ m}$. Můžu tedy dosadit:

$$G_r = \frac{9,81 \cdot 0,0044^3 \cdot 15 \cdot 1,232^2}{283 \cdot (1,761 \cdot 10^{-5})^2} = 216787,66$$

Prandtlovo číslo lze spočítat:

$$P_r = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}$$

Dle normalizovaných okrajových podmínek a tabulky 2.3 lze dosadit: $c = 1,608 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $\lambda = 2,496 \cdot 10^{-2} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ a $\mu = 1,761 \cdot 10^{-5} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$. Můžu tedy dosadit:

$$P_r = \frac{1,761 \cdot 10^{-5} \cdot 1,608}{2,496 \cdot 10^{-2}} = 0,000869231$$

Nyní mohu dosadit do vztahu pro výpočet Nusseltova čísla:

$$Nu = 0,035(216787,66 \cdot 0,000869231)^{0,38} = 0,256231521$$

To mohu dosadit do vztahu pro h_g :

$$h_g = Nu \cdot \frac{\lambda_k}{s_k} = 0,256231521 \cdot \frac{2,496 \cdot 10^{-2}}{0,0044} = 0,145353159 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

A to mohu dosadit do vztahu pro h_s :

$$h_s = h_r + h_g = 3,699543176 + 0,145353159 = 3,699543176 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Což mohu dosadit do vztahu pro h_t :

$$\frac{1}{h_t} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_s} + \sum_{i=1}^M d_j r_j = \frac{1}{3,699543176} + 0,003 \cdot 1 + 0,003 \cdot 1 =$$

$$= 0,266085036 (m^2 \cdot K)/W$$

Z toho již mohu spočítat celkovou tepelnou prostupnost zasklením:

$$\frac{1}{U_g} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i} = \frac{1}{25} + \frac{1}{0,266085036} + \frac{1}{7,7} = 0,435955166$$

$$\Rightarrow U_g = \frac{1}{0,435955166} = 2,293813855 W/(m^2 \cdot K)$$

Poslední věcí, kterou potřebuji znát před výpočtem celkového prostupu tepla oknem, jsou plochy zasklení a rámu a obvod zasklení. Celkové rozměry okna jsou 2,15 m x 1,15 m, rozměry horního zasklení jsou 1,28 m x 0,93 m a rozměry dolního zasklení jsou 0,99 m x 0,45 m. Z toho můžu spočítat:

$$A_g = 1,28 \cdot 0,93 + 0,99 \cdot 0,45 = 1,6359 m^2$$

$$A_f = 2,15 \cdot 1,15 - 1,6359 = 0,8366 m^2$$

$$l_g = (1,28 + 0,93) \cdot 2 + (0,45 + 0,99) \cdot 2 = 7,3 m$$

Nyní mohu vypočítat celkový prostup tepla oknem:

$$\begin{aligned} U_w &= \frac{(A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g)}{(A_g + A_f)} = \\ &= \frac{(1,6359 \cdot 2,293813855 + 0,8366 \cdot 1,625 + 7,3 \cdot 0,06)}{(1,6359 + 0,8366)} = \\ &= 2,2446613 W/(m^2 \cdot K) \end{aligned}$$

Potřebu tepla za otopné období prostupem okny lze spočítat dle vztahu:

$$E_{vp} = \frac{A_w \cdot U_w \cdot D_x \cdot 24}{1000}$$

Kde A_w je plocha oken, U_w je prostup tepla oknem a D_x je počet denostupňů. Dle 291/2001 Sb. pro 20C je počet denostupňů $D_x = 3920$. Prostup tepla oknem jsem vypočítal výše - $U_w = 2,2446613 W/(m^2 \cdot K)$. Celková plocha oken je:

$$A_w = w \cdot h \cdot n = 2,15 \cdot 1,15 \cdot 36 = 89,01 m^2$$

Můžu tedy dosadit:

2. ANALÝZA ENERGETICKÉ BILANCE

$$E_{vp} = \frac{2,4725 \cdot 2,2446613 \cdot 3920 \cdot 24}{1000} = 18796,93 \text{ kWh}$$

Převědno na GJ je to $18796,93 \cdot 0,0036 = 67,668748 \text{ GJ}$

Zdi

Budova v současnosti není zateplena, prostup tepla zdmi je $1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Ztráty způsobené prostupem tepla zdmi, zvyšují potřebu tepla o 228,36 GJ.

Návrh opatření k racionalizaci spotřeby energie

V této kapitole navrhuji různá opatření, která vedou k úspoře na různých formách energie a mohou tak vést i k finančním úsporám. U jednotlivých opatření uvádím jejich investiční náklady a předpokládané úspory energie.

Hledat úspory energie v elektřině je v případě tohoto podniku slepou uličkou. Elektřina se ve výrobě využívá jako řídicí nikoliv hnací síla. Všechny výrobní linky jsou poháněny pneumaticky a elektřina se používá hlavně na řízení modulů výrobních linek prostřednictvím průmyslových počítačů. Výrobní linky jsou moderní a efektivní. Velké množství elektřiny, které se spotřebovává při výrobě, nevyplývá ze špatného hospodaření s elektřinou, ale z velkého množství drobných spotřebičů ve výrobním procesu. Jedinými většími spotřebiči jsou zapékací pece, které jsou však také nové, moderní a není zde tedy prostor pro aplikaci úsporných opatření. Z těchto důvodů jsem se rozhodl elektřinou přímo ve výrobním procesu nadále nezabývat.

Jinou kapitolou je pneumatický pohon linek. Pohon zajišťují kompresory, které již jsou poháněny elektřinou. Kompresory jsou poměrně zastaralé a mají o 25 % vyšší spotřebu než kompresory moderní. Alarmující skutečností je, že i když kompresory ze své podstaty přeměňují 75 % svého příkonu na teplo, není u nich využita rekuperace tepla a veškeré odpadní teplo z kompresorů se tak vypouští. Dalším podnětem pro změnu v této oblasti je nutnost platby neúměrně vysokého paušálu za používání kompresorů (přibližně 300 000 Kč měsíčně). Proto jsem se rozhodl se touto problematikou v dalších kapitolách zabývat.

Z minulé kapitoly vyplývá, že krom objektu M1 disponují všechny ostatní objekty velice špatnými tepelně izolačními vlastnostmi. Tepelná propustnost oken ($3,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) a tepelná propustnost zdí (cca $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) jsou nevyhovující hodnoty daleko nad doporučenou hodnotou. Z objektů SO11,

SO13 a S2 se ročně ztrácí prostupem 1 888,94 GJ tepla, což je při současné průměrné ceně tepla 554,43 Kč/GJ přibližně 1 047 305 Kč ročně. To je dle mého názoru velká částka a je třeba ji snížit. Proto jsem se rozhodl se touto problematikou ve následujících kapitolách zabývat.

3.1 Objekt SO11

3.1.1 Okna

Varianta A

Varianta A počítá s výměnou všech 532 oken v objektu novými plastovými. V případě varianty A jsem se rozhodl zvolit model ALUPLAST IDEAL 4000 ROUNDLINE, který je jeden z levnějších, s použitím dvojitého zasklení. Jedná se o pětikomorový profil s dvěma vyměnitelnými těsněními a prostupem tepla $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Profil rámu má stavební hloubku 70 mm a šířku 114 mm. Použité dvojitě zasklení má prostup tepla $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Je nutno použít dva různé typy oken. Pro pořádek jsem tyto dva typy nazva SO11.A (náhrada za PN STK 746261.1 - širší typ) a SO11.B (náhrada za PN STK 746262.1 - užší typ). Rozměry jejich náhrad je možno vidět na obrázku 3.2. Výpočty pro tyto dva typy oken jsou odlišeny pomocí dolních indexů A a B. Řez profilem ALUPLAST IDEAL 4000 ROUNDLINE je možno vidět na obrázku 3.1. [12]

$$A_{gA} = (1,62 - 2 \cdot 0,114) \cdot (1,12 - 2 \cdot 0,114) + (0,58 - 2 \cdot 0,114) \cdot (1,12 - 2 \cdot 0,114) = 1,5556 \text{ m}^2$$

$$A_{gB} = (1,62 - 2 \cdot 0,114) \cdot (0,82 - 2 \cdot 0,114) + (0,58 - 2 \cdot 0,114) \cdot (0,82 - 2 \cdot 0,114) = 1,0324 \text{ m}^2$$

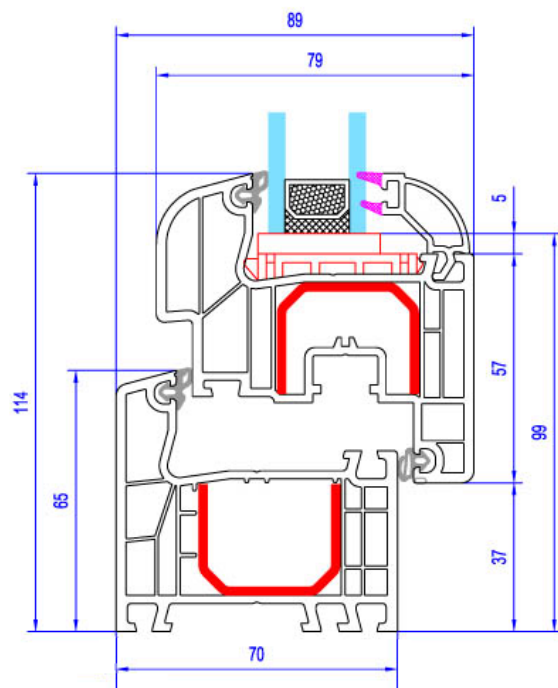
Plocha rámu:

$$A_{fA} = 2,2 \cdot 1,12 - 1,5556 = 0,9084 \text{ m}^2$$

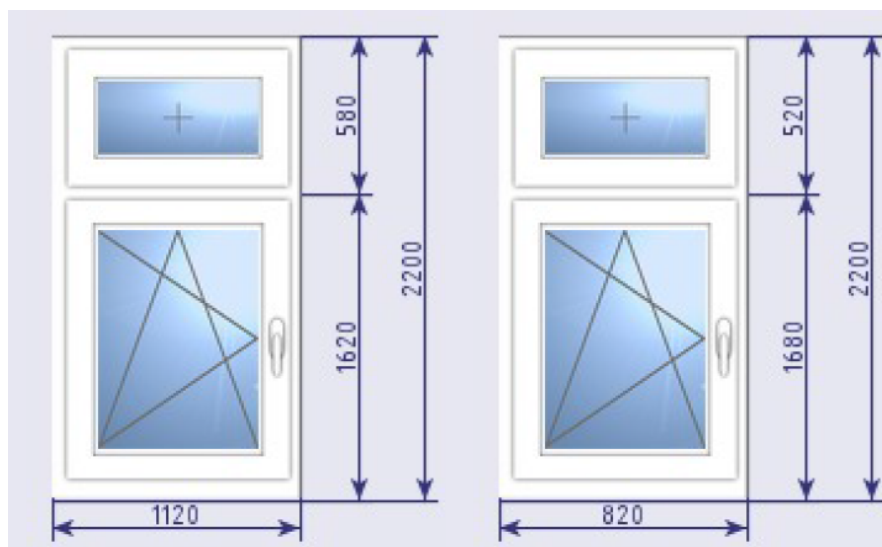
$$A_{fB} = 2,2 \cdot 0,82 - 1,0324 = 0,7716 \text{ m}^2$$

Obvod zasklení:

$$l_{gA} = 2 \cdot (1,62 - 2 \cdot 0,114 + 1,12 - 2 \cdot 0,114) + 2 \cdot (0,58 - 2 \cdot 0,114 + 1,12 - 2 \cdot 0,114) = 7,056 \text{ m}$$



Obrázek 3.1: Řez profilem IDEAL 4000 ROUNDLINE [12]



Obrázek 3.2: Struktura nových oken pro objekt SO11 [27][28]

3. NÁVRH OPATŘENÍ K RACIONALIZACI SPOTŘEBY ENERGIE

Tabulka 3.1: Výměna oken v objektu SO11 (varianta A) - ceny za jednotlivé položky [27][28]

Položka	Částka [Kč]	
	Typ A - 492 ks	Typ B - 40 ks
Okno	3524,40	3167
Parapet vnitřní	355,28	274,50
Parapet venkovní	356,85	287,78
Práce - demontáž	255	186,5
Práce - likvidace	202,50	202,50
Práce - montáž	1070,50	857
Celkem	2 885 348,76	199 011,20
Doplňky	748	0
Doprava	7 200	0
Rozšířená záruka	292 444,80	20 696
Celkem bez DPH	3 405 448,76	

$$l_{gB} = 2 \cdot (1,62 - 2 \cdot 0,114 + 0,82 - 2 \cdot 0,114) + 2 \cdot (0,58 - 2 \cdot 0,114 + 0,82 - 2 \cdot 0,114) = 5,856 \text{ m}$$

Pro zasklení je použit plastový rámeček. Jeho $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Můžu tedy vypočítat prostup oknem:

$$U_{wA} = \frac{(A_{gA} \cdot U_g + A_{fA} \cdot U_f + l_{gA} \cdot \psi_g)}{(A_{gA} + A_{fA})} =$$

$$= \frac{1,5556 \cdot 1,1 + 0,9084 \cdot 1,3 + 7,076 \cdot 0,05}{1,5556 + 0,9084} = 1,3169 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_{wB} = \frac{(A_{gB} \cdot U_g + A_{fB} \cdot U_f + l_{gB} \cdot \psi_g)}{(A_{gB} + A_{fB})} =$$

$$= \frac{1,0324 \cdot 1,1 + 0,7716 \cdot 1,3 + 5,856 \cdot 0,05}{1,0324 + 0,7716} = 1,3478 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Plochy jednotlivých typů oken:

$$A_{wA} = 2,2 \cdot 1,12 \cdot 492 = 1212,288 \text{ m}^2$$

$$A_{wB} = 2,2 \cdot 0,82 \cdot 40 = 72,16 \text{ m}^2$$

Po aplikaci této varianty by mělo celkové teplo, ztracené prostupem okny, být:

$$E_{vp} = \frac{24 \cdot (A_{wA} \cdot U_{wA} + A_{wB} \cdot U_{wB}) \cdot D_x}{1000} =$$

$$= \frac{24 \cdot (1,3178 \cdot 1212,288 + 1,3478 \cdot 98,56) \cdot 3920}{1000} = 162694,4 \text{ kWh}$$

Převedeno na GJ je to $162694,4 \cdot 0,0036 = 585,7 \text{ GJ}$.

Varianta B

Varianta B se liší od varianty A tím, že místo dvojitého zasklení používá zasklení trojité s prostupem tepla $U_g = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Rám je použit stejný. Rozměry okna je možno vidět na obrázku 3.2 a řez rámem okna je možno vidět na obrázku 3.1. Plocha zasklení, plocha rámu, prostup tepla rámem, obvod zasklení a ψ_g je stejná jako v případě varianty A, tedy: [30][31]

- $A_{gA} = 1,5556 \text{ m}^2$; $A_{gB} = 1,0324 \text{ m}^2$,
- $A_{fA} = 0,9084 \text{ m}^2$; $A_{fB} = 0,7716 \text{ m}^2$,
- $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
- $l_g = 7,076 \text{ m}$,
- $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Prostup tepla oknem:

$$U_{wA} = \frac{(A_{gA} \cdot U_g + A_{fA} \cdot U_f + l_{gA} \cdot \psi_g)}{(A_{gA} + A_{fA})} =$$

$$= \frac{1,5556 \cdot 0,8 + 0,9084 \cdot 1,3 + 7,076 \cdot 0,05}{1,5556 + 0,9084} = 1,1275 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_{wB} = \frac{(A_{gB} \cdot U_g + A_{fB} \cdot U_f + l_{gB} \cdot \psi_g)}{(A_{gB} + A_{fB})} =$$

$$= \frac{1,0324 \cdot 0,8 + 0,7716 \cdot 1,3 + 5,856 \cdot 0,05}{1,0324 + 0,7716} = 1,1762 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Plochy jednotlivých typů oken:

$$A_{wA} = 2,2 \cdot 1,12 \cdot 492 = 1212,288 \text{ m}^2$$

$$A_{wB} = 2,2 \cdot 0,82 \cdot 40 = 72,16 \text{ m}^2$$

Po aplikaci této varianty by mělo celkové teplo, ztracené prostupem okny, být:

$$E_{vp} = \frac{24 \cdot (A_{wA} \cdot U_{wA} + A_{wB} \cdot U_{wB}) \cdot D_x}{1000} =$$

3. NÁVRH OPATŘENÍ K RACIONALIZACI SPOTŘEBY ENERGIE

Tabulka 3.2: Výměna oken v objektu SO11 (varianta B) - ceny za jednotlivé položky [30][31]

Položka	Částka [Kč]	
	Typ A - 492 ks	Typ B - 40 ks
Okno	4990	4240,13
Parapet vnitřní	355,28	274,50
Parapet venkovní	356,85	287,78
Práce - demontáž	255	186,5
Práce - likvidace	202,50	202,50
Práce - montáž	1070,50	857
Celkem	3 606 423,96	241 936,40
Doplňky	748	0
Doprava	7 200	0
Rozšířená záruka	364 554,78	24 988
Celkem bez DPH	4 245 851,14	

$$= \frac{24 \cdot (1,1275 \cdot 1212,288 + 1,1762 \cdot 98,56) \cdot 3920}{1000} = 139500,3 \text{ kWh}$$

Převedeno na GJ je to $139500,3 \cdot 0,0036 = 502,2 \text{ GJ}$.

Varianta C

Varianta C počítá s použitím jiného modelu rámu ALUPLAST IDEAL 5000 ROUNDLINE namísto ALUPLAST IDEAL 4000 ROUNDLINE. Tento rám je o 10 mm širší, má stejnou stavební hloubku, avšak má o jedno těsnění navíc a jeho prostup tepla je nižší $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. V rámu je použito trojitě zasklení s $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. [33][34]

$$A_{gA} = (1,62 - 2 \cdot 0,124) \cdot (1,12 - 2 \cdot 0,124) + (0,58 - 2 \cdot 0,124) \cdot (1,12 - 2 \cdot 0,124) = 1,4859 \text{ m}^2$$

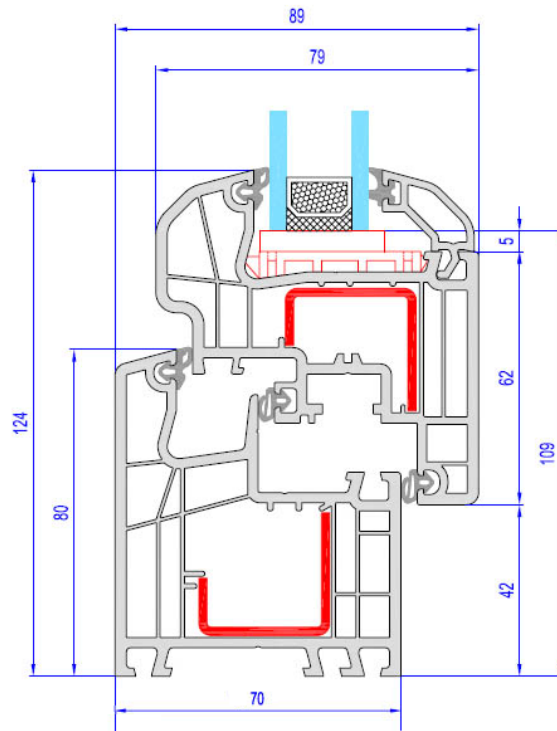
$$A_{gB} = (1,62 - 2 \cdot 0,124) \cdot (0,82 - 2 \cdot 0,124) + (0,58 - 2 \cdot 0,124) \cdot (0,82 - 2 \cdot 0,124) = 0,9747 \text{ m}^2$$

Plocha rámu:

$$A_{fA} = 2,2 \cdot 1,12 - 1,4859 = 0,9781 \text{ m}^2$$

$$A_{fB} = 2,2 \cdot 0,82 - 0,9747 = 0,8293 \text{ m}^2$$

Obvod zasklení:



Obrázek 3.3: Řez profilem IDEAL 5000 ROUNDLINE [12]

$$l_{gA} = 2 \cdot (1,62 - 2 \cdot 0,124 + 1,12 - 2 \cdot 0,124) + 2 \cdot (0,58 - 2 \cdot 0,124 + 1,12 - 2 \cdot 0,124) = 6,896 \text{ m}$$

$$l_{gB} = 2 \cdot (1,62 - 2 \cdot 0,124 + 0,82 - 2 \cdot 0,124) + 2 \cdot (0,58 - 2 \cdot 0,124 + 0,82 - 2 \cdot 0,124) = 5,696 \text{ m}$$

Pro zasklení je použit plastový rámeček. Jeho $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Můžu tedy vypočítat prostup oknem:

$$U_{wA} = \frac{(A_{gA} \cdot U_g + A_{fA} \cdot U_f + l_{gA} \cdot \psi_g)}{(A_{gA} + A_{fA})} = \frac{1,4859 \cdot 1,1 + 0,9781 \cdot 1,2 + 6,896 \cdot 0,05}{1,4859 + 0,9781} = 1,0987 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_{wB} = \frac{(A_{gB} \cdot U_g + A_{fB} \cdot U_f + l_{gB} \cdot \psi_g)}{(A_{gB} + A_{fB})} =$$

3. NÁVRH OPATŘENÍ K RACIONALIZACI SPOTŘEBY ENERGIE

Tabulka 3.3: Výměna oken v objektu SO11 (varianta C) - ceny za jednotlivé položky [33][34]

Položka	Částka [Kč]	
	Typ A - 492 ks	Typ B - 40 ks
Okno	6 047,33	5 190,08
Parapet vnitřní	355,28	274,50
Parapet venkovní	356,85	287,78
Práce - demontáž	255	186,5
Práce - likvidace	202,50	202,50
Práce - montáž	1070,50	857
Celkem	4 126 630,32	279 934,40
Doplňky	748	0
Doprava	7 200	0
Rozšířená záruka	416 571,48	28 788
Celkem bez DPH	4 859 872,20	

$$= \frac{0,9747 \cdot 1,1 + 0,8293 \cdot 1,2 + 5.696 \cdot 0,05}{0,9747 + 0,8293} = 1,1417 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Plochy jednotlivých typů oken:

$$A_{wA} = 2,2 \cdot 1,2 \cdot 492 = 1212,288 \text{ m}^2$$

$$A_{wB} = 2,2 \cdot 0,82 \cdot 40 = 72,16 \text{ m}^2$$

Po aplikaci této varianty by mělo celkové teplo, ztracené prostupem okny, být:

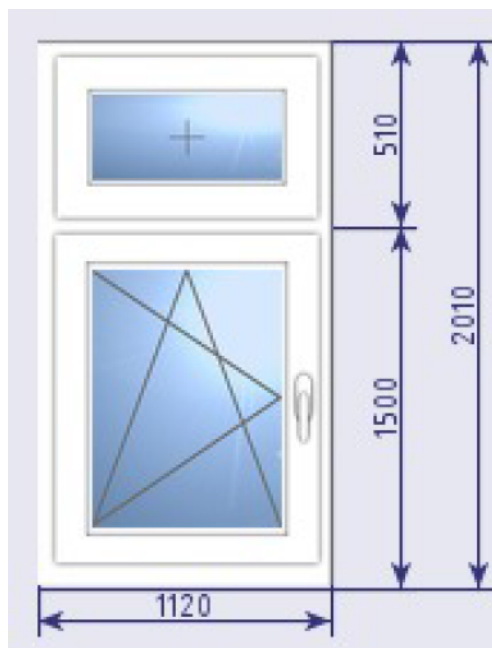
$$E_{vp} = \frac{24 \cdot (A_{wA} \cdot U_{wA} + A_{wB} \cdot U_{wB}) \cdot D_x}{1000} =$$

$$= \frac{24 \cdot (1,099 \cdot 1212,288 + 1,142 \cdot 98,56) \cdot 3920}{1000} = 135898,16 \text{ kWh}$$

Převedeno na GJ je to $135898,16 \cdot 0,0036 = 489,23 \text{ GJ}$.

3.1.2 Zateplení

Toto opatření počítá s instalací 80 mm polystyrenových panelů na zdi budovy. Celková cena za realizaci projektu je 1 645 260 Kč. Po realizaci projektu klesne potřeba tepla, vyvolaná ztrátami prostupem tepla zdmi, na 77,91 GJ. [21]



Obrázek 3.4: Struktura nového okna pro objekt SO13 [26]

3.1.3 Objekt SO13

3.1.4 Okna

Varianta A

Varianta A počítá s výměnou všech 84 kovových oken v objektu novými plastovými. V případě varianty A jsem se rozhodl zvolit model ALUPLAST IDEAL 4000 ROUNDLINE, který je jeden z levnějších, s použitím dvojitého zasklení. Jedná se o pětikomorový profil s dvěma vyměnitelnými těsněními a prostupem tepla $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Profil rámu má stavební hloubku 70 mm a šířku 114 mm. Použité dvojité zasklení má prostup tepla $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Rozměry nového okna je možno vidět na obrázku 3.4. Řez profilem ALUPLAST IDEAL 4000 ROUNDLINE je možno vidět na obrázku 3.1. [26]

$$A_g = (1,5 - 2 \cdot 0,114) \cdot (1,12 - 2 \cdot 0,114) + (0,51 - 2 \cdot 0,114) \cdot (1,12 - 2 \cdot 0,114) = 1,386 \text{ m}^2$$

Plocha rámu:

$$A_f = 2,01 \cdot 1,12 - 1,386 = 0,865 \text{ m}^2$$

Obvod zasklení:

3. NÁVRH OPATŘENÍ K RACIONALIZACI SPOTŘEBY ENERGIE

Tabulka 3.4: Výměna oken v objektu SO13 (varianta A) - ceny za jednotlivé položky [26]

Položka	Částka [Kč]
Okno	3 446,1
Parapet vnitřní	355,28
Parapet venkovní	356,85
Práce - demontáž	232,50
Práce - likvidace	202,50
Práce - montáž	1 069,50
Celkem - 84 Ks	476 417,30
Doplňky	748
Doprava	7 200
Rozšířená záruka	48 361
Celkem bez DPH	532 726,30

$$l_g = 2 \cdot (1,5 - 2 \cdot 0,114 + 1,12 - 2 \cdot 0,114) + 2 \cdot (0,51 - 2 \cdot 0,114 + 1,12 - 2 \cdot 0,114) = 6,676 \text{ m}$$

Pro zasklení je použit plastový rámeček. Jeho $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Můžu tedy vypočítat prostup oknem:

$$U_w = \frac{(A_{gA} \cdot U_g + A_{fA} \cdot U_f + l_{gA} \cdot \psi_g)}{(A_{gA} + A_{fA})} =$$

$$= \frac{1,386 \cdot 1,1 + 0,865 \cdot 1,3 + 6,676 \cdot 0,05}{1,386 + 0,865} = 1,325 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Celková cena za realizaci projektu je **532 726,30 Kč**. Ceny za jednotlivé položky jsou uvedeny v tabulce 3.4.

Po aplikaci této varianty by mělo celkové teplo, ztracené prostupem okny, být:

$$E_{vp} = \frac{24 \cdot A_w \cdot U_w \cdot D_x}{1000} = \frac{24 \cdot 206,976 \cdot 1,325 \cdot 3920}{1000} = 25803,278 \text{ kWh}$$

Převedeno na GJ je to $25803,278 \cdot 0,0036 = 92,89 \text{ GJ}$.

Varianta B

Varianta B se liší od varianty A tím, že místo dvojitého zasklení používá zasklení trojitě s prostupem tepla $U_g = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Rám je použit stejný. Rozměry okna je možno vidět na obrázku 3.4 a řez rámem okna je možno vidět na obrázku 3.1. Plocha zasklení, plocha rámu, prostup tepla rámem, obvod zasklení a ψ_g je stejná jako v případě varianty A, tedy: [29]

Tabulka 3.5: Výměna oken v objektu SO13 (varianta B) - ceny za jednotlivé položky [29]

Položka	Částka [Kč]
Okno	4 785,30
Parapet vnitřní	355,28
Parapet venkovní	356,85
Práce - demontáž	232,50
Práce - likvidace	202,50
Práce - montáž	1 069,50
Celkem - 84 Ks	588 910,12
Doplňky	748
Doprava	7200
Rozšířená záruka	59 610,50
Celkem bez DPH	656 468,62

- $A_g = 1,386 \text{ m}^2$,
- $A_f = 0,865 \text{ m}^2$,
- $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
- $l_g = 6,676 \text{ m}$,
- $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Prostup tepla oknem:

$$U_w = \frac{(A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g)}{(A_g + A_f)} =$$

$$= \frac{(1,386 \cdot 0,8 + 0,865 \cdot 1,3 + 6,676 \cdot 0,05)}{(1,386 + 0,865)} = 1,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Celková cena za realizaci projektu je **656 468,62 Kč**. Ceny za jednotlivé položky jsou uvedeny v tabulce 3.5.

Po aplikaci této varianty by mělo celkové teplo, ztracené prostupem okny, být:

$$E_{vp} = \frac{24 \cdot A_w \cdot U_w \cdot D_x}{1000} = \frac{24 \cdot 206,976 \cdot 1,14 \cdot 3920}{1000} = 22206,28 \text{ kWh}$$

Převedeno na GJ je to $22206,28 \cdot 0,0036 = 79,94 \text{ GJ}$.

Varianta C

Varianta C používá zasklení trojitě s prostupem tepla $U_g = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ stejně jako varianta B, avšak používá jiný rám -

3. NÁVRH OPATŘENÍ K RACIONALIZACI SPOTŘEBY ENERGIE

ALUPLAST IDEAL 5000 ROUNDLINE. Jedná se opět o pětikomorový profil, který disponuje třemi těsněními namísto dvou, a nižším prostupem tepla $U_f = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Stavební hloubka rámu je 70 mm, šířka rámu je 124 mm. Rozměry okna je možno vidět na obrázku 3.4 a řez rámem okna je možno vidět na obrázku 3.3. [32]

$$A_g = (1,5 - 2 \cdot 0,124) \cdot (1,12 - 2 \cdot 0,124) + (0,51 - 2 \cdot 0,124) \cdot (1,12 - 2 \cdot 0,124) = 1,32 \text{ m}^2$$

Plocha rámu:

$$A_f = 2,01 \cdot 1,125 - 1,32 = 0,931 \text{ m}^2$$

Obvod zasklení je:

$$l_g = 2 \cdot (1,5 - 2 \cdot 0,124 + 1,12 - 2 \cdot 0,124) + 2 \cdot (0,51 - 2 \cdot 0,124 + 1,12 - 2 \cdot 0,124) = 6,516 \text{ m}$$

Pro zasklení je použit plastový rámeček. Jeho $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Můžu tedy vypočítat prostup oknem:

$$U_w = \frac{(A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g)}{(A_g + A_f)} = \frac{(1,32 \cdot 0,8 + 0,931 \cdot 1,2 + 6,516 \cdot 0,05)}{(1,32 + 0,931)} = 1,098 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Celková cena za realizaci projektu je **751 978,22 Kč**. Ceny za jednotlivé položky jsou uvedeny v tabulce 3.6.

Po aplikaci této varianty by mělo celkové teplo, ztracené prostupem okny, být:

$$E_{vp} = \frac{24 \cdot A_w \cdot U_w \cdot D_x}{1000} = \frac{24 \cdot 206,976 \cdot 1,11 \cdot 3920}{1000} = 21617,06 \text{ kWh}$$

Převáděno na GJ je to $21617,06 \cdot 0,0036 = 77,82 \text{ GJ}$.

3.1.5 Zateplení

Toto opatření počítá s instalací 80 mm polystyrenových panelů na zdi budovy. Celková cena za realizaci projektu je 436 571,90 Kč. Po realizaci projektu klesne potřeba tepla, vyvolaná ztrátami prostupem tepla zdmi, na 35,33 GJ. [22]

Tabulka 3.6: Výměna oken v objektu SO13 (varianta C) - ceny za jednotlivé položky [32]

Položka	Částka [Kč]
Okno	5 818,95
Parapet vnitřní	355,28
Parapet venkovní	356,85
Práce - demontáž	232,50
Práce - likvidace	202,50
Práce - montáž	1 069,50
Celkem - 84 Ks	675 736,72
Doplňky	748
Doprava	7 200
Rozšířená záruka	68 293,50
Celkem bez DPH	751 978,22

3.2 Objekt S2

3.2.1 Okna

Varianta A

Varianta A počítá s výměnou všech 36 oken v objektu novými plastovými. V případě varianty A jsem se rozhodl zvolit model ALUPLAST IDEAL 4000 ROUNDLINE, který je jeden z levnějších, s použitím dvojitého zasklení. Jedná se o pětikomorový profil s dvěma vyměnitelnými těsněními a prostupem tepla $U_f = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Profil rámu má stavební hloubku 70 mm a šířku 114 mm. Použité dvojitě zasklení má prostup tepla $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Rozměry okna je možno vidět na obrázku 3.5 a řez rámem okna je možno vidět na obrázku 3.1. Plocha zasklení je:[23]

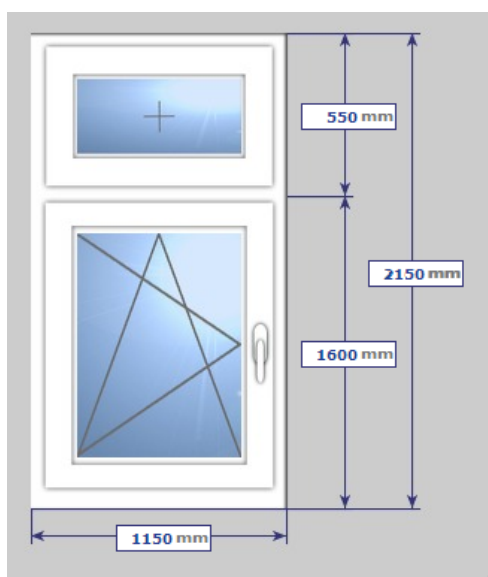
$$A_g = (1,60 - 2,0, 114) \cdot (1,15 - 2,0, 114) + (0,5 - 2,0, 114) \cdot (1,15 - 2,0, 114) = \\ = 1,5618 \text{ m}^2$$

Plocha rámu:

$$A_f = 2,15 \cdot 1,15 - 1,5618 = 0,9106 \text{ m}^2$$

Obvod zasklení je:

$$l_g = 2 \cdot (1,6 - 2,0, 114 + 1,15 - 2,0, 114) + 2 \cdot (0,55 - 2,0, 114 + 1,15 - 2,0, 114) = \\ = 7,076 \text{ m}$$



Obrázek 3.5: Struktura nového okna pro objekt S2 [23]

Pro zasklení je použit plastový rámeček. Jeho $\psi = 0,05 \text{ W}/(m.K)$. Můžu tedy vypočítat průstup oknem:

$$U_w = \frac{(A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g)}{(A_g + A_f)} =$$

$$= \frac{1,5618 \cdot 1,1 + 0,9106 \cdot 1,3 + 7,076 \cdot 0,05}{1,5618 + 0,9106} = 1,3168 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Celková cena za realizaci projektu je **242 503,46 Kč**. Ceny za jednotlivé položky jsou uvedeny v tabulce 3.7.

Varianta B

Varianta B se liší od varianty A tím, že místo dvojitého zasklení používá zasklení trojité s průstupem tepla $U_g = 0,8 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$. Rám je použit stejný. Rozměry okna je možno vidět na obrázku 3.5 a řez rámem okna je možno vidět na obrázku 3.1. Plocha zasklení, plocha rámu, průstup tepla rámem, obvod zasklení a ψ_g je stejná jako v případě varianty A, tedy: [24]

- $A_g = 1,5618 \text{ m}^2$,
- $A_f = 0,9106 \text{ m}^2$,
- $U_f = 1,3 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$,
- $l_g = 7,076 \text{ m}$
- $\psi = 0,05 \text{ W}/(m \cdot K)$.

Tabulka 3.7: Výměna oken v objektu S2 (varianta A) - ceny za jednotlivé položky [23]

Položka	Částka [Kč]
Okno	3 524,4
Parapet vnitřní	363,38
Parapet venkovní	363,83
Práce - demontáž	255,5
Práce - likvidace	202,5
Práce - montáž	1 174,5
Celkem - 36 Ks	212 577,96
Doplňky	748
Doprava	7 200
Rozšířená záruka	21 977,5
Celkem bez DPH	242 503,46

Tabulka 3.8: Výměna oken v objektu S2 (varianta B) - ceny za jednotlivé položky [24]

Položka	Částka [Kč]
Okno	4 995,23
Parapet vnitřní	363,38
Parapet venkovní	363,83
Práce - demontáž	255,5
Práce - likvidace	202,5
Práce - montáž	1 174,5
Celkem - 36 Ks	265525,8
Doplňky	748
Doprava	7 200
Rozšířená záruka	27 272,5
Celkem bez DPH	300 746,3

Prostup tepla oknem:

$$U_w = \frac{(A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g)}{(A_g + A_f)} =$$

$$= \frac{(1,5618 \cdot 0,8 + 0,9106 \cdot 1,3 + 7,076 \cdot 0,05)}{(1,5618 + 0,9106)} = 1,1272 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Celková cena za realizaci projektu je **300 746,30 Kč**. Ceny za jednotlivé položky jsou uvedeny v tabulce 3.7.

Varianta C

Varianta C používá zasklení trojitě s prostupem tepla $U_g = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ stejně jako varianta B, avšak používá jiný rám - ALUPLAST IDEAL 5000 ROUNDLINE. Jedná se opět o pětikomorový profil, který disponuje třemi těsněními namísto dvou, a nižším prostupem tepla $U_f = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Stavební hloubka rámu je 70 mm, šířka rámu je 124 mm. Rozměry okna je možno vidět na obrázku 3.1 a řez rámem okna je možno vidět na obrázku 3.3. [25]

$$A_g = (1,60 - 2 \cdot 0,124) \cdot (1,15 - 2 \cdot 0,124) + (0,55 - 2 \cdot 0,124) \cdot (1,15 - 2 \cdot 0,124) = \\ = 1,4918 \text{ m}^2$$

Plocha rámu:

$$A_f = 2,15 \cdot 1,15 - 1,4918 = 0,9806 \text{ m}^2$$

Obvod zasklení je:

$$l_g = 2 \cdot (1,60 - 2 \cdot 0,124 + 1,15 - 2 \cdot 0,124) + 2 \cdot (0,55 - 2 \cdot 0,124 + 1,15 - 2 \cdot 0,124) = \\ = 6,916 \text{ m}$$

Pro zasklení je použit plastový rámeček. Jeho $\psi = 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Můžu tedy vypočítat prostup oknem:

$$U_w = \frac{(A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g)}{(A_g + A_f)} = \\ = \frac{(1,4918 \cdot 0,8 + 0,9806 \cdot 1,2 + 6,916 \cdot 0,05)}{(1,4918 + 0,9806)} = 1,098 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Celková cena za realizaci projektu je **342 614,1 Kč**. Ceny za jednotlivé položky jsou uvedeny v tabulce 3.9.

3.2.2 Zateplení

Toto opatření počítá s instalací 80 mm polystyrenových panelů na zdi budovy. Celková cena za realizaci projektu je 1 006 639 Kč. Po realizaci projektu klesne potřeba tepla, vyvolaná ztrátami prostupem tepla zdmi, na 91,82 GJ. [20]

Tabulka 3.9: Výměna oken v objektu S2 (varianta C) - ceny za jednotlivé položky [25]

Položka	Částka [Kč]
Okno	6 052,5
Parapet vnitřní	363,38
Parapet venkovní	363,83
Práce - demontáž	255,5
Práce - likvidace	202,5
Práce - montáž	1 174,5
Celkem - 36 Ks	303 587,6
Doplňky	748
Doprava	7200
Rozšířená záruka	31 078,5
Celkem bez DPH	342 614,1

3.3 Návrh výstavby kompresorovny

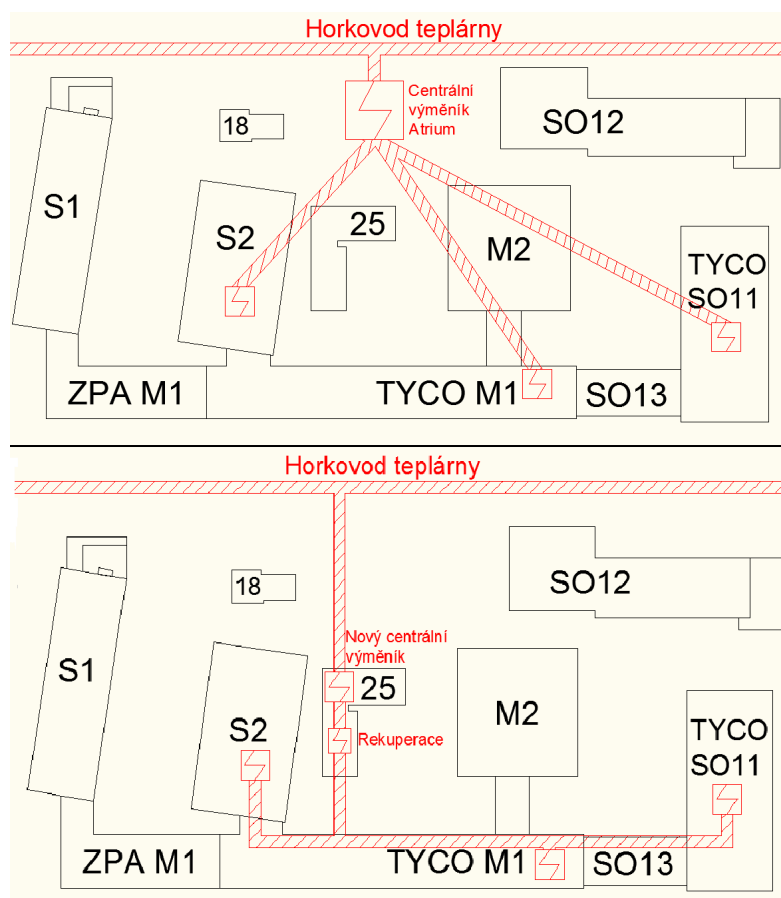
V současnosti používá podnik kompresorovnu v držení externí firmy. Kompresory jsou zastaralé, nemají rekuperaci a externí firma si za ně účtuje nemalý měsíční paušál. Proto by bylo rozumným krokem vystavět si vlastní kompresorovnu.

Po jednání se s dodavatelem stlačeného vzduchu bylo dohodnuto, že dodavatel pronajme podniku prostory objektu 25, ve kterém se nachází současná kompresorovna, která čítá pět 90 kW kompresorů a jeden 50 kW kompresor. Jedná se o menší budovu na dvoře uprostřed komplexu. V těchto prostorách se nainstalují tři nové kompresory (každý o výkonu 160kW) včetně přidružených zařízení. Díky tomu, že se umístění kompresorů téměř nezmění, nebude třeba příliš měnit vzduchotechniku po celém komplexu. Nové kompresory by také umožňovaly použití rekuperace odpadního tepla z kompresorů k ohřevu TUV a teplé vody na vytápění. Pro využití rekuperace by však bylo třeba přestavět i současný systém vytápění.

V současnosti je teplo přiváděno z centrálního výměníku, který je v držení dodavatele, do výměňkových stanic v budovách firmy, které se nacházejí v objektech SO11, S2 a M1. Tento návrh počítá s výstavbou jednoho výměníku v pronajatém objektu 25, do kterého bude teplo přivedeno potrubím přímo z horkovodu teplárny. Z tohoto výměníku se bude teplo distribuovat do jednotlivých výměňkových stanic, přičemž se využije i odpadní teplo z kompresorů.

Z celkového výkonu kompresorů se pouze 22% projeví ve formě stlačeného vzduchu. Zbylých 78% se přemění na teplo, které je možno využít pro rekuperaci. Všechny tři kompresory však nepoběží neustále. Jeden bude určen pro pokrytí základní spotřeby v době denního minima. Další kompresor se bude zapojovat v době běžného zatížení a třetí kompresor bude určen pro pokrývání

3. NÁVRH OPATŘENÍ K RACIONALIZACI SPOTŘEBY ENERGIE



Obrázek 3.6: Porovnání struktury tepelné sítě v areálu podniku - současného stavu (nahore) a nové struktury s přestavěnou kompresorovnou s rekuperací (dole).

špiček. Při předpokládaném chodu kompresorů se měsíčně získá na rekuperaci přibližně 842,5 GJ tepla. Tím se v některých měsících pokryje spotřeba kompletně, v zimních měsících se bude muset teplo dokupovat, zatímco v letních měsících se teplo využije pouze na ohřev teplé vody. Bude tedy potřeba dokoupit pouze 3 155 GJ tepla, což je pouhých 33 % z původní hodnoty. Teplo, které bude třeba dokoupit, se bude odebírat od nového dodavatele za 420 Kč/GJ. [16]

Na projekt výměny kompresoru existují tři varianty, které jsem pro účely této práce nazval A, B a C.

3.3.1 Současný stav

Průměrná roční spotřeba stlačeného vzduchu je 30 000 000 m^3 . Současné kompresory mají energetickou spotřebu na výrobu jednoho m^3 stlačeného vzduchu 0,125 kW. To znamená, že roční spotřeba elektřiny je průměrně 3 750 000 kWh. Při ceně elektřiny 2,50 Kč/kWh, se za výrobu stlačeného vzduchu ročně zaplatí 9 375 000 Kč.

Dále je třeba vzít v úvahu také servis kompresorů, který zajišťuje dodavatel. Servis činí každoročně přibližně 4 200 000 Kč. [2] [5] [9]

Spotřeba tepla a TUV je kompletně pokrývána teplem nakoupeným od teplárný. Ročně se za teplo a TUV utratí přibližně 5 900 000 Kč (průměrně cca 8 600 GJ). [3] [6] [10]

3.3.2 Varianta A

Kompresorovna dle varianty A se skládá ze tří kompresorů o výkonu 160 kW (2x R160ne a 1x R160ie), dále pak filtrů, dvou sušiček vzduchu, nádrže a řídicí jednotky, která šetří elektrickou energií.

Instalaci kompresorů budou muset předcházet stavební úpravy, které budou stát přibližně 3 250 000 Kč. Celková investice do zařízení bude 9 643 986 Kč.

Energetická spotřeba na výrobu jednoho m^3 stlačeného vzduchu je v případě nových kompresorů menší - pouze 0,1 kW. Při výrobě 30 000 000 m^3 ročně a ceně 2,50 Kč/kWh se za spotřebu kompresorů ročně zaplatí 7 500 000 Kč. Díky systému řídicí jednotky by se z této částky mělo ušetřit 493 290 Kč ročně.

Roční servis kompresorů včetně filtrů vyjde přibližně na 560 088 Kč. [16]

3.3.3 Varianta B

Kompresorovna dle varianty B se skládá ze tří kompresorů o výkonu 160 kW, dále pak filtrů, sušiček vzduchu, nádrže a řídicí jednotky, která šetří elektrickou energií.

Instalaci kompresorů budou muset předcházet stavební úpravy, které budou stát přibližně 3 160 000 Kč. Celková investice do zařízení bude 8 682 319 Kč.

Energetická spotřeba na výrobu jednoho m^3 stlačeného vzduchu je v případě nových kompresorů menší - pouze 0,1 kW. Při výrobě 30 000 000 m^3 ročně a ceně 2,50 Kč/kWh se za spotřebu kompresorů ročně zaplatí 7 500 000 Kč. Díky systému řídicí jednotky by se z této částky mělo ušetřit přibližně 493 000 Kč ročně.

Roční servis kompresorů včetně filtrů vyjde přibližně na 579 204 Kč. [17]

3. NÁVRH OPATŘENÍ K RACIONALIZACI SPOTŘEBY ENERGIE

Tabulka 3.10: Rozpis investic, spojených s instalací kompresorů dle varianty A [16]

Položka	Částka
Investice do zařízení	
Celkem vybavení kompresorovny	7 230 870 Kč
Záložní kompresor	1 252 584 Kč
Řídící jednotka	440 532 Kč
Automatická výměňková stanice	820 000 Kč
Celkem	9 743 986 Kč
Další náklady	
VZT, rozvod stl. vzduchu, elektro, MaR	2 600 000 Kč
EPS	100 000 Kč
IT kabeláž	50 000 Kč
Topení - přípojka + napojení na stávající rozvod + projekt	300 000 Kč
Stavební dohled	50 000 Kč
Stavební úpravy	100 000 Kč
BOZP dohled stavby	50 000 Kč
Rozvod tepla do výměňkových stanic	1 260 000
Celkem	4 510 000 Kč

Tabulka 3.11: Rozpis investic, spojených s instalací kompresorů dle varianty B [17]

Položka	Částka
Investice do zařízení	
Celkem vybavení kompresorovny	7 412 310 Kč
Řídící jednotka	450 009 Kč
Automatická výměňková stanice	820 000 Kč
Celkem	8 682 319 Kč
Další náklady	
VZT, rozvod stl. vzduchu, elektro, MaR	2 510 000 Kč
EPS	100 000 Kč
IT kabeláž	50 000 Kč
Topení - přípojka + napojení na stávající rozvod + projekt	300 000 Kč
Stavební dohled	50 000 Kč
Stavební úpravy	100 000 Kč
BOZP dohled stavby	50 000 Kč
Rozvod tepla do výměňkových stanic	1 260 000
Celkem	4 420 000 Kč

3.3. Návrh výstavby kompresorovny

Tabulka 3.12: Rozpis investic, spojených s instalací kompresorů dle varianty C [18]

Položka	Částka
Investice do zařízení	
Celkem vybavení kompresorovny	7 979 389 Kč
Řídící jednotka	230 000 Kč
Automatická výměňiková stanice	820 000 Kč
Celkem	9 029 389 Kč
Další náklady	
VZT, rozvod stl. vzduchu, elektro, MaR	2 838 291 Kč
EPS	100 000 Kč
IT kabeláž	50 000 Kč
Topení - přípojka + napojení na stávající rozvod + projekt	300 000 Kč
Stavební dohled	50 000 Kč
Stavební úpravy	100 000 Kč
BOZP dohled stavby	50 000 Kč
Rozvod tepla do výměňikových stanic	1 260 000
Celkem	4 748 291 Kč

3.3.4 Varianta C

Kompresorovna dle varianty C se skládá ze tří kompresorů o výkonu 160 kW, dále pak filtrů, sušiček vzduchu, nádrže a řídicí jednotky, která šetří elektrickou energií.

Instalaci kompresorů budou muset předcházet stavební úpravy, které budou stát přibližně 3 488 291 Kč. Celková investice do zařízení bude 9 029 389 Kč.

Energetická spotřeba na výrobu jednoho m^3 stlačeného vzduchu je v případě nových kompresorů menší - pouze 0,1 kW. Při výrobě 30 000 000 m^3 ročně a ceně 2,50 Kč/kWh se za spotřebu kompresorů ročně zaplatí 7 500 000 Kč. Díky řídicí jednotce by se z této částky mělo ušetřit přibližně 493 000 Kč ročně.

Roční servis kompresorů včetně filtrů vyjde přibližně na 477 389 Kč. [18]

Ekonomická efektivnost navržených variant řešení

V této poslední kapitole zjišťuji, zda se vyplatí jednotlivá úsporná opatření aplikovat a v případě několika vzájemně se vylučujících variant se snažím vybrat tu, která se dle ekonomických ukazatelů jeví jako nejefektivnější.

Cena tepla není v průběhu roku konstantní, takže jsem ji pro účely této práce určil jako průměr cen tepla za poslední tři roky - **554,44 Kč/GJ**. [3] [6] [10]

Ceny tepla a elektřiny budou dle odhadů v budoucnu vždy růst. Tempo růstu nelze určit přímo, proto jsem se rozhodl nastavit ho na hodnotu inflace, která bude v nejbližších letech dle odhadů ČNB 2,6 %. [11]

Výše diskontu je dána podnikovými směrnicemi na 10,5

4.1 Obecný postup pro výpočet ekonomické efektivity navržených řešení

4.1.1 Čistá současná hodnota

Tato veličina určuje, jaká je současná (diskontovaná) hodnota peněžních toků, které souvisejí s investičním projektem.

Čistá současná hodnota se počítá podle vztahu:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \text{ [Kč]}, \quad (4.1)$$

kde:

- t [-] je konkrétní rok,

- CF_t [Kč] je cash flow za daný rok,
- r [-] je diskont.

4.1.2 Míra výnosnosti

Míra výnosnosti (IRR) nám říká, kolik na dané investici vyděláme s přihlédnutím k časové hodnotě peněz. Z matematického hlediska se jedná o takový diskont, který generuje nulové NPV.

Míru výnosnosti lze získat ze vztahu:

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - IN = 0 \quad [-], \quad (4.2)$$

kde:

- t [-] je konkrétní rok,
- CF_t [Kč] je cash flow za daný rok,
- IN [Kč] jsou investiční náklady.

4.1.3 Diskontovaná doba návratnosti

Diskontovaná doba návratnosti určuje, za jak dlouho se investice vrátí. Na rozdíl od prosté doby návratnosti však bere v potaz i časovou hodnotu peněz.

Počítá se podle následujícího vztahu:

$$0 = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + r)^t} \quad [-], \quad (4.3)$$

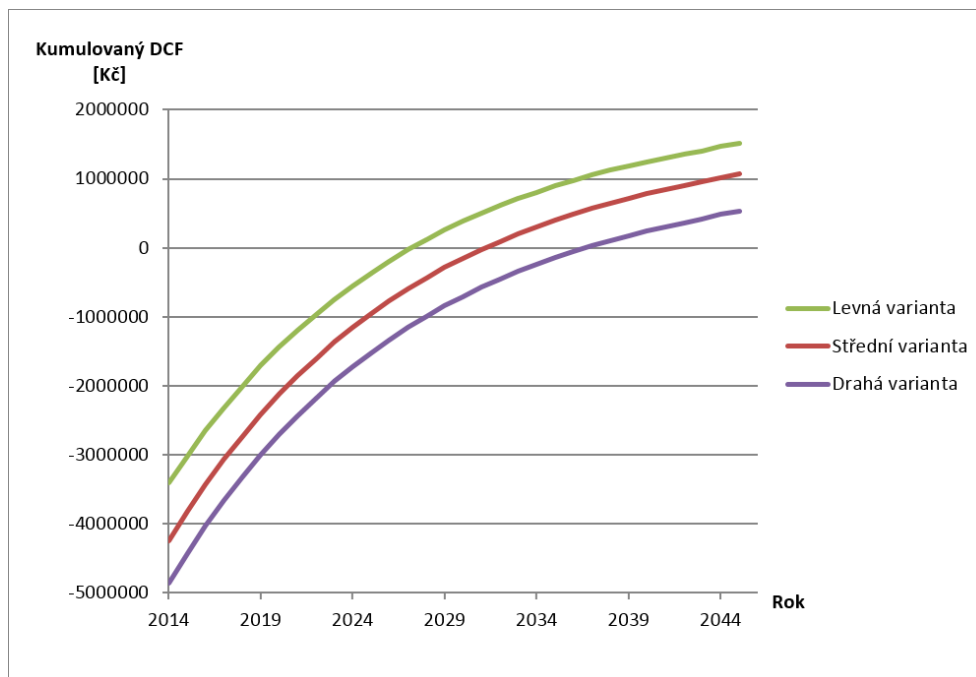
kde:

- T [-] je diskontovaná doba návratnosti,
- t [-] je konkrétní rok,
- CF_t [Kč] je cash flow za daný rok,
- r [-] je diskont.

4.2 Objekt SO11

4.2.1 Okna

Období pro porovnávání jednotlivých variant je 31 let - počínaje rokem 2015 a konče rokem 2045. Toto období je stanoveno předpokladem učinění investice letos (2014) a předpokládaným ukončením odepisování upravované budovy.



Obrázek 4.1: Kumulovaný DCF pro jednotlivé varianty výměny oken v objektu SO11.

Budova je v šesté odpisové skupině, což znamená padesátiletou odpisovou dobu. Byla koupena za částku 86 347 690,38 Kč na začátku roku 1993, takže by se měla odepisovat až do roku 2043. Kvůli učiněným investicím, ale dochází k technickému zhodnocení budov a doba odepisování se tak protáhne o dva roky. Odepisování provádím rovnoměrně.

Prolongace současného stavu

Pokud nebude investice učiněna, bude se nadále ztrácet přes okna každoročně 1 653,1 GJ tepla. Při kupní ceně 554,44 Kč/GJ je cena za toto teplo 916 546,2 Kč.

Pokud tedy budeme počítat s platbou za teplo, vzniklou ztrátami prostupem přes okna, rostoucí každoročně o 2,6 %, pak do roku 2045 tato platba vzroste na 1 979 590 Kč.

Varianta A

Varianta A díky menším prostupům okny sníží ztráty tepla přes okna prostupem na pouhých 540,71 GJ. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 324 735,3 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 591 810,85 Kč až 1 278 215 Kč.

Investice do výměny oken je 3 405 448,76 Kč. Tato investice se bude odepisovat počínaje rokem 2015 až do roku 2045. Firma generuje každoročně zisk, rozhodl jsem se odpisy do výpočtů zavést jako odpisový daňový štít, vzniklý

navýšením ceny budovy. Jedná se o navýšení hodnoty odpisů, vyvolané učiněním unvestice, vynásobené daňovou sazbou pro právnické osoby. Jedná se tedy o rozdíl odpisů s investicí a odpisů investice krát daňová sazba. Je to tedy částka, o kterou budou skutečně daně sníženy. Výše tohoto odpisového daňového štítu za samotná okna bude v letech 2015-2043 rovna 9 659,50 Kč. Díky technickému zhodnocení, vyvolanému investicí, se prodlouží doba odpisování o dva roky, tím pádem budou v těchto dvou letech odpisy zapříčiněny čistě investicí do oken a odpisový daňový štít v těchto letech bude 341 061,9 Kč (2044) a 25 848 Kč (2045).

Celkové NPV tohoto projektu bude **3 112 696,28 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **8 let**. Míra výnosnosti projektu je **20 %**.

Varianta B

Varianta B ušetří více tepla než varianta A. Každoročně se tak ztratí jenom 462,94 GJ tepla. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 278 440,3 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 638 105,85 Kč až 1 378 204 Kč.

Investice do výměny oken je 4 245 851,14 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015-2043 12 843 Kč, v roce 2044 344 255,50 Kč a v roce 2045 89 718,62 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu bude **2 858 047,09 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **9,78 let**. Míra výnosnosti projektu je **18 %**.

Varianta C

Varianta C ušetří ještě více tepla než varianta B. Každoročně se tak ztratí jenom 451,12 GJ tepla. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 271 250,46 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 645 295,70 Kč až 1 393 733 Kč.

Investice do výměny oken je 4 859 872,20 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015-2043 15 186,30 Kč, v roce 2044 346 588,70 Kč a v roce 2045 136 384,20 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu bude **2 397 488,83 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **11,77 let**. Míra výnosnosti projektu je **16 %**.

4.2.2 Zateplení

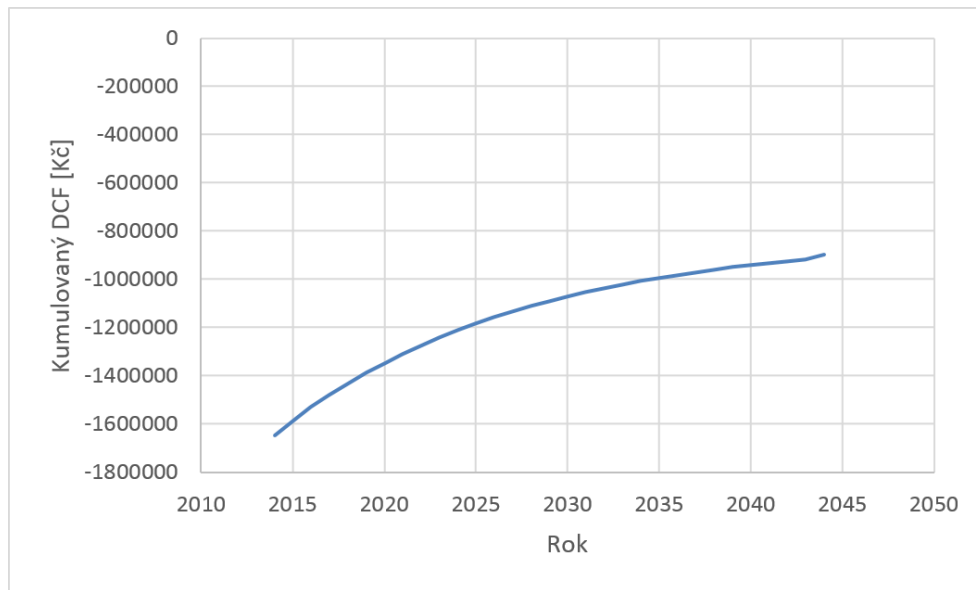
Prolongace současného stavu

Bez zateplení bude v objektu SO11 ročně vznikat kvůli ztrátám přes zdi potřeba 241,37 GJ tepla. Při ceně 544,44 Kč/GJ se za toto teplo zaplatí 133 827,38 Kč. Tato hodnota poroste ročně o 2,6 %.

Se zateplením

Cena za zateplení tohoto objektu je 1 645 259,76 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015-2043 2 970,77 Kč a v roce 2044 226 446,90 Kč.

Zateplením budovy klesne prostup tepla zdmi z $0,97 W/(m^2.K)$ na $0,313 W/(m^2.K)$. Díky tomu se sníží potřeba tepla, vzniklá prostupem tepla zdmi,



Obrázek 4.2: Kumulovaný DCF zateplení objektu SO11.

na 77,91 GJ. Tím se ročně na teple ušetří 90 632,14 Kč. Úspora ročně poroste o 2,6 % ročně vlivem růstu cen tepla.

Celkové NPV tohoto projektu je - **528 416,71 Kč**. Míra výnosnosti projektu je **6 %**. Realizace projektu se tedy **nevyplatí**.

4.3 Objekt SO13

4.3.1 Okna

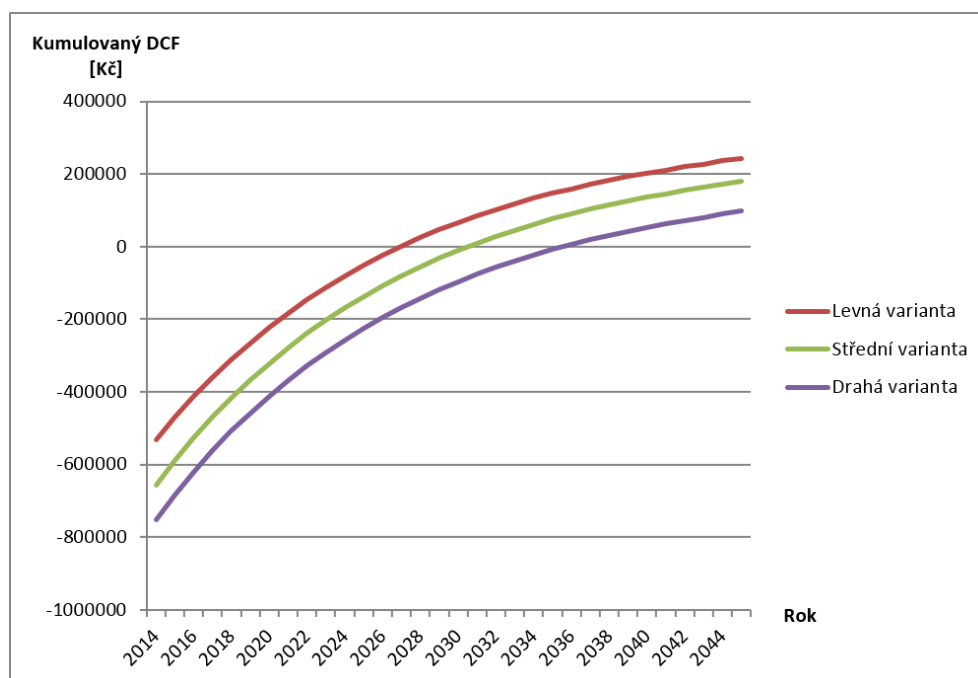
Období pro porovnávání jednotlivých variant je 31 let - počínaje rokem 2015 a konče rokem 2045. Toto období je stanoveno předpokladem učinění investice letos (2014) a předpokládaným ukončením odepisování upravované budovy. Budova je v šesté odpisové skupině, což znamená padesátiletou odpisovou dobu. Byla koupena za částku 9 687 140 Kč na začátku roku 1993, takže by se měla odepisovat až do roku 2043. Kvůli učiněným investicím ale dochází k technickému zhodnocení budov a doba odepisování se tak protáhne o dva roky. Odepisování provádím rovnoměrně.

Prolongace současného stavu

Pokud nebude investice učiněna, bude se nadále ztrácet přes okna každoročně 266,38 GJ tepla. Při kupní ceně 554,44 Kč/GJ je cena za toto teplo 147 692,28 Kč.

Pokud tedy budeme počítat s platbou za teplo, vzniklou ztrátami prostu-

4. EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST NAVRŽENÝCH VARIANT ŘEŠENÍ



Obrázek 4.3: Kumulovaný DCF pro jednotlivé varianty výměny oken v objektu SO13.

pem přes okna, rostoucí každoročně o 2,6 %, pak do roku 2045 tato platba vzroste na 318 991 Kč.

Varianta A

Varianta A snižuje množství tepla, které se ztratí prostupem okny. Každoročně se tak ztratí jenom 92,89 GJ tepla. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 51 502,91 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 96 189,37 Kč až 207 753,3 Kč.

Investice do výměny oken je 531 978,32 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015-2043 1 653,41 Kč, v roce 2044 38 832,65 Kč a v roce 2045 14 294,45 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu bude **525 737,72 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **7,58 let**. Míra výnosnosti projektu je **21 %**.

Varianta B

Varianta B ušetří více tepla než varianta A. Každoročně se tak ztratí jenom 79,94 GJ tepla. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 44 323,36 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 103 368,92 Kč až 223 259,9 Kč.

Investice do výměny oken je 655 720,62 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015-2043 2 123,63 Kč, v roce 2044 39 302,87 Kč a v roce 2045 23 698,86 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu bude **491 983,88 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **9,12** let. Míra výnosnosti projektu je **18 %**.

Varianta C

Varianta C ušetří ještě více tepla než varianta B. Každoročně se tak ztratí jenom 77,82 GJ tepla. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 43 147 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 104 544,98 Kč až 225 800 Kč.

Investice do výměny oken je 751 230,22 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015-2043 2 486,56 Kč, v roce 2044 39 665,81 Kč a v roce 2045 30 957,59 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu bude **420 939,70 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **10,93** roku. Míra výnosnosti projektu je **17 %**.

4.3.2 Zateplení

Prolongace současného stavu

Bez zateplení bude v objektu SO13 ročně vznikat kvůli ztrátám přes zdi potřeba 137,64 GJ tepla. Při ceně 544,44 Kč/GJ se za toto teplo zaplatí 76 313,67 Kč. Tato hodnota poroste ročně o 2,6 %.

Se zateplením

Cena za zateplení tohoto objektu je 436 571,95 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015-2043 1 290,86 Kč, v roce 2044 38 470,11 Kč a v roce 2045 7 043,564.

Zateplením budovy klesne prostup tepla zdmi z $1,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ na $0,344 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Díky tomu se sníží potřeba tepla, vzniklá prostupem tepla zdmi, na 35,33 GJ. Tím se ročně na teple ušetří 56 724,31 Kč. Úspora ročně poroste o 2,6 % ročně vlivem růstu cen tepla.

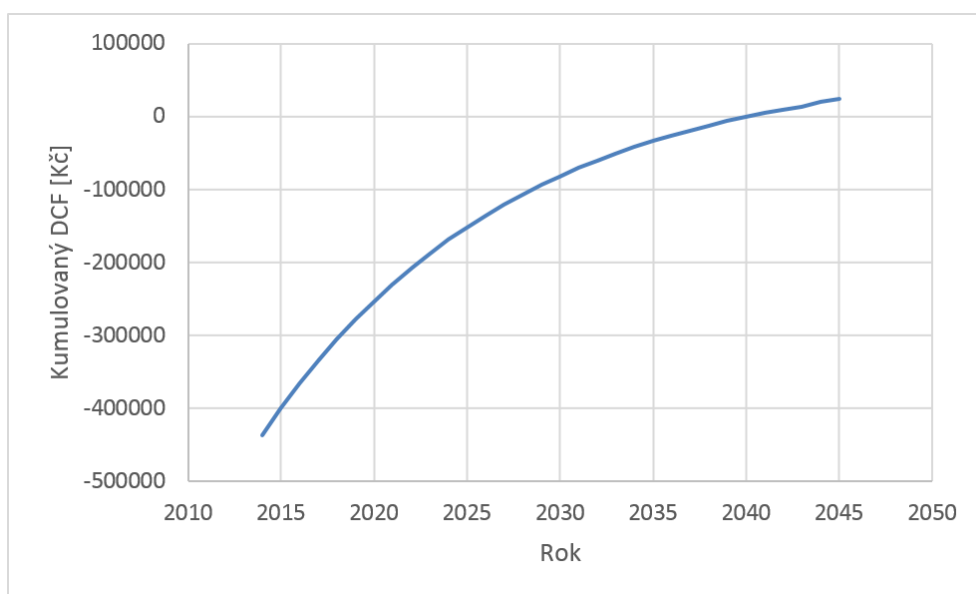
Celkové NPV tohoto projektu je **202 072,78 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **12,2** roku. Míra výnosnosti projektu je **16 %**.

4.4 Objekt S2

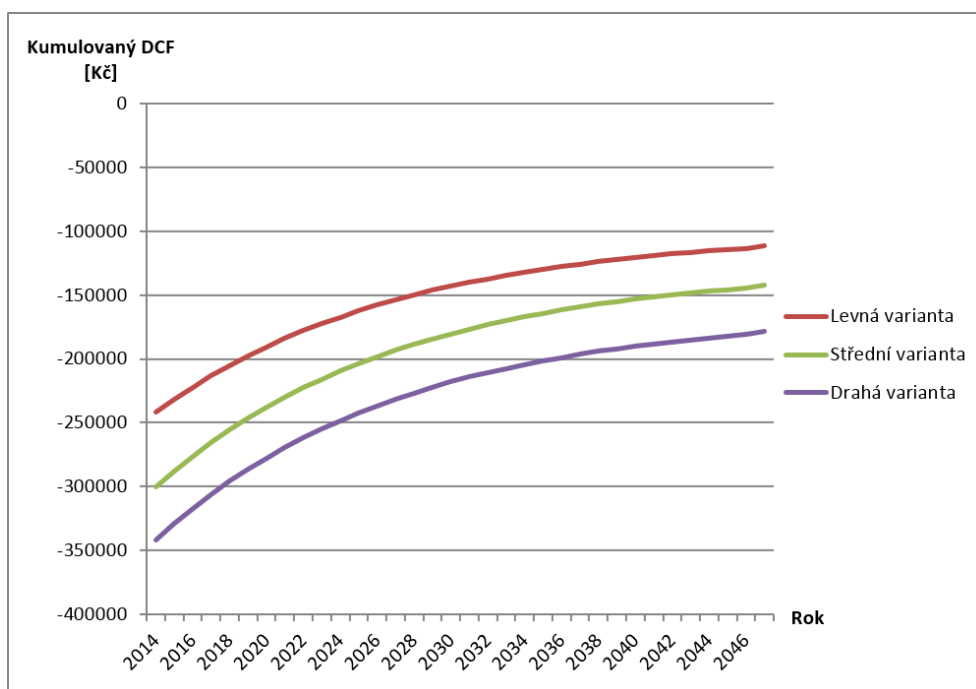
4.4.1 Okna

Období pro porovnávání jednotlivých variant je 33 let - počínaje rokem 2015 a konče rokem 2047. Toto období je stanoveno předpokladem učinění investice letos (2014) a předpokládaným ukončením odepisování upravované budovy v roce. Budova je v šesté odpisové skupině, což znamená padesátiletou odpisovou dobu. Byla koupena za částku 8 896 899 Kč na konci roku 1996, takže by se měly odpisovat až do roku 2046. Kvůli učiněným investicím ale dochází k technickému zhodnocení budov a doba odepisování se tak protáhne o jeden rok. Odepisování provádím rovnoměrně.

4. EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST NAVRŽENÝCH VARIANT ŘEŠENÍ



Obrázek 4.4: Kumulovaný DCF zateplení objektu SO13.



Obrázek 4.5: Kumulovaný DCF pro jednotlivé varianty výměny oken v objektu S2.

Prolongace současného stavu

Pokud nebude investice učiněna, bude se nadále ztrácet přes okna každoročně 67,67 GJ tepla. Při kupní ceně 554,44 Kč/GJ je cena za toto teplo 37 518,34 Kč. Pokud tedy budeme počítat s platbou za teplo, vzniklou ztrátami prostupem přes okna, rostoucí každoročně o 2,6 %, pak do roku 2047 tato platba vzroste na 85 302 Kč.

Varianta A

Varianta A snižuje množství tepla, které se ztratí prostupem okny. Každoročně se tak ztratí jenom 39,7 GJ tepla. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 22 008,88 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 15 509,45 Kč až 35 362,42 Kč.

Investice do výměny oken je 241 753,46 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015 - 2046 580,58 Kč a v roce 2047 27 354,57 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu bude - **50 761,93 Kč**. Míra výnosnosti projektu je **8 %**. Projekt se tedy nevyplatí realizovat.

Varianta B

Varianta B ušetří více tepla než varianta A. Každoročně se tak ztratí jenom 34 GJ tepla. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 18 841,34 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 18 676 Kč až 31 338,52 Kč.

Investice do výměny oken je 299 998,342 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015 - 2046 801,91 Kč a v roce 2047 31 338,52 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu bude - **68 361,53 Kč**. Míra výnosnosti projektu je **8 %**. Projekt se tedy nevyplatí realizovat.

Varianta C

Varianta C ušetří ještě více tepla než varianta B. Každoročně se tak ztratí jenom 33,11 GJ tepla. Při ceně 554,44 Kč/GJ je to celkem 18 360,83 Kč. Takže se v jednotlivých letech na teple ušetří 19 157,51 Kč až 43 556,65 Kč.

Investice do výměny oken je 341 866,06 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015 - 2046 961 Kč a v roce 2047 34 202,27 Kč.

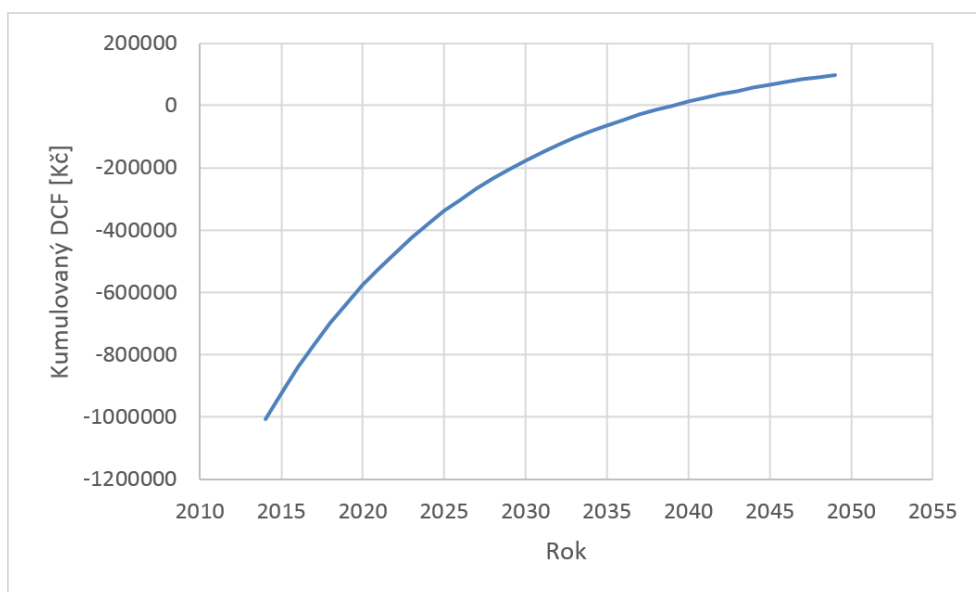
Celkové NPV tohoto projektu bude - **99 811,34 Kč**. Míra výnosnosti projektu je **7 %**. Projekt se tedy nevyplatí realizovat.

4.4.2 Zateplení**Prolongace současného stavu**

Bez zateplení bude v objektu S2 ročně vznikat kvůli ztrátám přes zdi potřeba 330,07 GJ tepla. Při ceně 544,44 Kč/GJ se za toto teplo zaplatí 183 004,18 Kč. Tato hodnota poroste ročně o 2,6 %.

Se zateplením

Cena za zateplení tohoto objektu je 1 645 259,76 Kč. Odpisový daňový štít bude v letech 2015 - 2046 3 487,15 Kč, v letech 2047 a 2048 37 633,44 Kč a v roce 2049 4 405,85 Kč.



Obrázek 4.6: Kumulovaný DCF zateplení objektu S2.

Zateplením budovy klesne prostup tepla zdi z $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ na $0,334 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Díky tomu se sníží potřeba tepla, vzniklá prostupem tepla zdi, na 91,82 GJ. Tím se ročně na teple ušetří 132 093,25 Kč. Úspora ročně poroste o 2,6 % ročně vlivem růstu cen tepla.

Celkové NPV tohoto projektu je **59 613,62 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **11,95 let**. Míra výnosnosti projektu je **16 %**.

4.5 Objekt M1

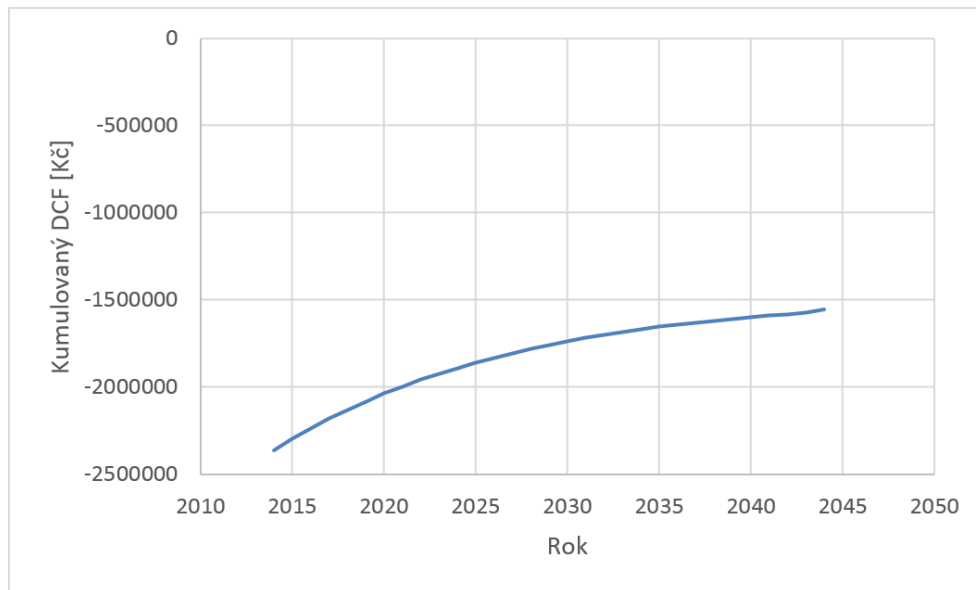
4.5.1 Okna

V objektu M1 byla již výměna oken v nedávné době provedena. Další výměna tak nepřipadá v úvahu.

4.5.2 Zateplení

Prolongace současného stavu

Bez zateplení bude v objektu M1 ročně vznikat kvůli ztrátám přes zdi potřeba 324,92 GJ tepla. Při ceně 544,44 Kč/GJ se za toto teplo zaplatí částka 180 149,71 Kč. Tato hodnota poroste ročně o 2,6 %.



Obrázek 4.7: Kumulovaný DCF zateplení objektu M1.

Se zateplením

Objekt M1 je v současnosti již zateplen. Prostup tepla zdmi je v současnosti $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což je sice vyšší, než doporučená hodnota, nejedná se však o příliš vysokou hodnotu. Za předpokladu, že by bylo stávající zateplení možno kombinovat s novým, pak by prostup tepla klesl na $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Za těchto podmínek by potřeba tepla, vzniklá prostupem tepla zdmi, klesla na $156,1 \text{ GJ}$, což při ceně $544,44 \text{ Kč}/\text{GJ}$ je $126\,614,37 \text{ Kč}$. Za teplo se tak ušetří $93\,584,26 \text{ Kč}$ ročně. Tato hodnota poroste ročně o $2,6 \%$.

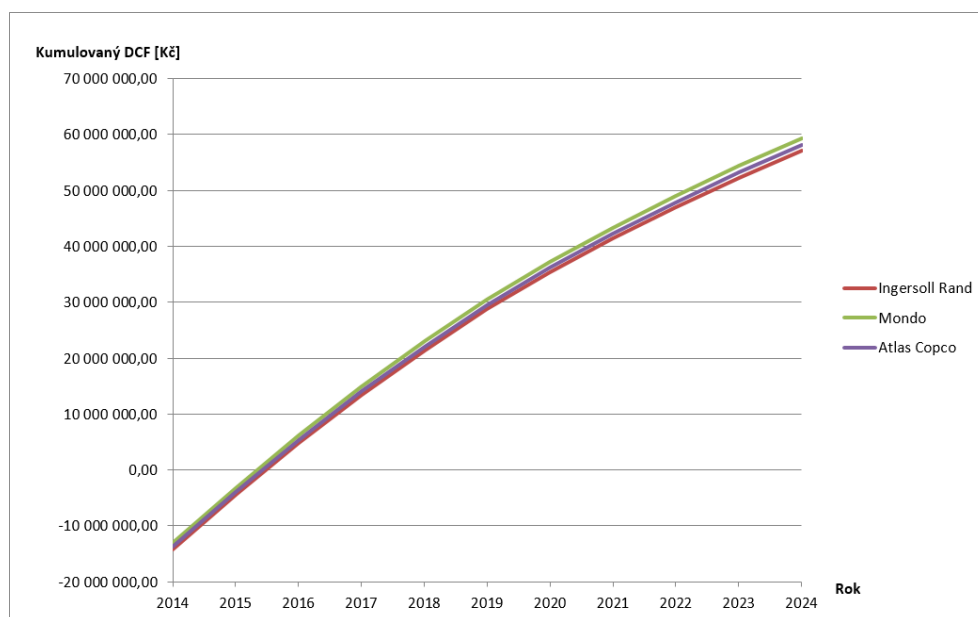
Celkové NPV tohoto projektu je **- 1 111 731,05 Kč**. Míra výnosnosti projektu je **4 %**. Projekt se tedy ani za těchto podmínek nevyplatí realizovat. Tím pádem se nemůže vyplatit ani projekt případné výměny zateplení za modernější.

4.6 Výstavba kompresorovny

Při tomto výpočtu jsem počítal s následujícími hodnotami:

- Růst cen tepla = inflace = $2,6 \%$,
- Růst cen elektřiny = inflace = $2,6 \%$,
- Diskont = $10,5 \%$,
- Sazba daně = 19% ,

4. EKONOMICKA EFEKTIVNOST NAVRŽENÝCH VARIANT ŘEŠENÍ



Obrázek 4.8: Kumulovaný DCF pro jednotlivé verze kompresorovny.

- Cena tepla po přímém napojení na horkovod dodavatele = 420 Kč/GJ,
- Inlace = 2,6 %,
- Cena elektřiny = 2,5 Kč/kWh.

Dobu porovnávání jsem zvolil 5 let, což je doba odepisování investice.

Prolongace současného stavu

Pokud nebude investice provedena, bude se dále platit za používání stávajících kompresorů, jejich spotřebu a za teplo. Počáteční částky pro tyto tři položky pro rok 2015 jsem vypočetl jako jejich průměr za poslední tři roky. Za teplo se v roce 2015 zaplatí 5 816 980 Kč a tato hodnota poroste každoročně o 2,6 %. Za spotřebu a údržbu kompresoru se zaplatí 13 724 600 Kč - hodnota poroste o 2,6 % ročně.

4.6.1 Varianta A

V prvním roce porovnávání - 2014, se provede investice, která bude činit 14 253 986 Kč. Jedná se o strojní zařízení, bude se tedy odepisovat po dobu 5 let. Jelikož tyto projekty negenerují zisk, pouze redukují náklady, odpisy by se ve výpočtech neprojeví. Firma však generuje každý rok zisk, rozhodl jsem se proto promítnout odpisy do výpočtů jako příjem v podobě odpisového daňového

štítu, který činí 19 % výše odpisu. Odpisový daňový štít bude v prvním roce 297 908,31 Kč, ve zbylých čtyřech letech pak 602 587,26 Kč.

Díky rekuperaci klesne množství tepla, které se bude muset odebírat od tepelnárny. V roce 2015 se na teple ušetří 4 492 015 Kč. Tato hodnota ročně poroste o 2,6 %.

Nové kompresory mají také podstatně menší spotřebu. Za elektřinu do kompresorů se v roce 2015 zaplatí přibližně 7 500 000 Kč, cena elektřiny poroste o 2,6 % ročně.

Další úspora plyne z použití řídicí jednotky. Díky tomu se ročně ušetří 493 290 Kč. Výše této úspory bude růst s růstem cen elektřiny, tedy o 2,6 % ročně.

Pronájem prostor bude stát 180 000 Kč, přičemž předpokládám, že výše pronájmu poroste s inflací, tedy 2,6 % ročně, stejně jako cena za servis kompresorů, která bude v prvním roce 560 088 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu je **51 706 444,86 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **1,48** roku. Míra výnosnosti projektu je **79 %**.

4.6.2 Varianta B

V prvním roce porovnávání - 2014, se provede investice, která bude činit 13 102 319 Kč. Odpisový daňový štít bude v prvním roce 273 838,47 Kč, ve zbylých čtyřech letech pak 553 900,54 Kč.

Díky rekuperaci klesne množství tepla, které se bude muset odebírat od tepelnárny. V roce 2015 se na teple ušetří 4 492 015 Kč. Tato hodnota ročně poroste o 2,6 %.

Nové kompresory mají také podstatně menší spotřebu. Za elektřinu do kompresorů se v roce 2015 zaplatí přibližně 7 500 000 Kč, cena elektřiny poroste o 2,6 % ročně.

Další úspora plyne z použití řídicí jednotky. Díky tomu se ročně ušetří 700 137 Kč. Výše této úspory bude růst s růstem cen elektřiny, tedy o 2,6 % ročně.

Pronájem prostor bude stát 180 000 Kč, přičemž předpokládám, že výše pronájmu poroste s inflací, tedy 2,6 % ročně, stejně jako cena za servis kompresorů, která bude v prvním roce 579 204 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu je **53 730 232,15 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **1,33** roku. Míra výnosnosti projektu je **87 %**.

4.6.3 Varianta C

V prvním roce porovnávání - 2014, se provede investice, která bude činit 13 777 680 Kč. Odpisový daňový štít bude v prvním roce 257 439,51 Kč, ve zbylých čtyřech letech pak 582 451,42 Kč.

Díky rekuperaci klesne množství tepla, které se bude muset odebírat od tepelnárny. V roce 2015 se na teple ušetří 4 492 015 Kč. Tato hodnota ročně poroste o 2,6 %.

4. EKONOMICKA EFEKTIVNOST NAVRŽENÝCH VARIANT ŘEŠENÍ

Nové kompresory mají také podstatně menší spotřebu. Za elektřinu do kompresorů se v roce 2015 zaplatí přibližně 7 500 000 Kč, cena elektřiny poroste o 2,6 % ročně.

Další úspora plyne z použití řídicí jednotky. Díky tomu se ročně ušetří 493 000 Kč. Výše této úspory bude růst s růstem cen elektřiny, tedy o 2,6 % ročně.

Pronájem prostor bude stát 180 000 Kč, přičemž předpokládám, že výše pronájmu poroste s inflací, tedy 2,6 % ročně, stejně jako cena za servis kompresorů, která bude v prvním roce 477 389 Kč.

Celkové NPV tohoto projektu je **52 572 043,70 Kč**. Diskontovaná doba návratnosti je **1,42** roku. Míra výnosnosti projektu je **82 %**.

Závěr

Ukolem této práce bylo analyzovat energetické hospodářství firmy, identifikovat jeho nejslabší aspekty, navrhnout úsporná opatření, která povedou k zlepšení jeho efektivity, a nakonec tato opatření posoudit po stránce ekonomické efektivity.

Ve první kapitole jsem zjistil, že nejslabším místem energetického hospodářství firmy je stav a způsob provozu kompresorovny. Dále pak je také velice nevyhovující stav budov - obzvláště oken. Je tedy třeba se na tyto aspekty energetického hospodářství zaměřit podrobněji.

V třetí kapitole jsem zevrubně vysvětlil principy výpočtů tepelných propustností různých stavebních prvků, obzvláště oken. Popsal jsem také, jak se počítají základní ekonomické ukazatele výnosnosti investic.

V předposlední kapitole jsem navrhl opatření, vedoucí ke zlepšení energetického hospodářství firmy. Navrhl jsem tři možné varianty výměny oken pro každý objekt, po jedné variantě zateplení pro každý objekt a také tři různé varianty výstavby nové kompresorovny. U každé z variant jsem uvedl vzniklé úspory elektřiny nebo tepla, které daná varianta vyvolá.

V předposlední kapitole jsem jednotlivé varianty opatření posoudil z hlediska ekonomické efektivity, vzájemně je porovnal a určil jejich pořadí.

Na základě výpočtů, které jsem v této práci provedl, mohu závěrem k realizaci doporučit úsporná opatření, shrnutá v následující tabulce.

Pokud tato opatření zkombinujeme, jejich dílčí ekonomické ukazatele se změní. Po výstavbě kompresorovny dojde ke změně dodavatele tepla. Tím se změní i cena tepla ze současných 554,44 Kč/GJ (průměrná hodnota za poslední tři roky) na 420 Kč/GJ. Vlivem toho klesnou úspory za teplo u jednotlivých opatření. Míra výnosnosti této kombinace je **67 %**, NPV **98 175 593,57 Kč**, diskontovaná doba návratnosti **1,6 roku**.

Celkové NPV projektu s kombinací všech pěti úsporných opatření je **99 190 305,26 Kč** s diskontovanou dobou návratnosti **1,72 roku**. Pokud bychom

Tabulka 5.1: Doporučená úsporná opatření

Název opatření	NPV [Kč]	IRR [-]	Diskontovaná doba návratnosti [Rok]
Výměna oken v objektu SO13 (varianta A)	525 737,72	21 %	7,58
Výměna oken v objektu SO11 (varianta A)	3 112 696,28	20 %	8
Zateplení objektu SO13	202 072,78	16 %	12,2
Zateplení objektu S2	479 106,41	16 %	11,95
Výstavba kompresorovny dle varianty B	53 730 232,15	87 %	1,33

se rozhodli z kombinovaného projektu zateplení vypustit a investovat pouze do kombinace výměny oken v objektech SO11 a SO13, jakož i do výstavby kompresorovny, doba návratnosti tohoto projektu by byla nižší - **1,63 roku** a míra výnosnosti této kombinace **71 %**.

Nicméně vzhledem k tomu, že EU plánuje neustále zpřísnovat předpisy pro energetickou náročnost staveb, lze předpokládat, že po roce 2020 bude zateplení budov nevyhnutelné. Proto doporučuji zvolit možnost se zateplením. Zateplení sice částečně znehodnotí celý projekt, avšak pouze minimálně. Rozhodující součástí kombinovaného projektu je totiž výstavba kompresorovny, která vytváří naprostou většinu úspor. Lze také předpokládat, že v době dalšího zpřísnování energetických předpisů kolem roku 2020 budou vzrůstat ceny zateplení a dalších úsporných opatření.

Co se týče časového harmonogramu procesu úprav, doporučuji začít výstavbou kompresorovny. Ideálním obdobím by byly letní měsíce v době celopodnikových dovolených v příštím roce, protože přípravné práce a objednávky se letos již pravděpodobně nestihnou. Ideálně ve stejnou dobu doporučuji provést výměnu oken, protože se s výstavbou kompresorovny nijak časově nevyklučuje. V případě nedostatku financí doporučuji dát přednost výstavbě kompresorovny a výměnu oken odložit na další léta. Instalaci zateplení doporučuji ponechat na pozdější dobu, ideálně na roky bezprostředně před rokem 2020.

Literatura

- [1] Faktura za elektřinu 2010/2011. 2011.
- [2] Faktura za stlačený vzduch 2010/2011. 2011.
- [3] Faktura za teplo 2010/2011. 2011.
- [4] Faktura za elektřinu 2011/2013. 2012.
- [5] Faktura za stlačený vzduch 2011/2013. 2012.
- [6] Faktura za teplo 2011/2013. 2012.
- [7] Aktualizace státní energetické koncepce České republiky. Září 2013.
- [8] Faktura za elektřinu 2012/2013. 2013.
- [9] Faktura za stlačený vzduch 2012/2013. 2013.
- [10] Faktura za teplo 2012/2013. 2013.
- [11] Inflační očekávání. Duben 2014. Dostupné z WWW:
<<https://www.cnb.cz/cs/statistika/inflace/>>
- [12] Plastová okna - profily plastových oken. Duben 2014. Dostupné z WWW:
<http://www.windowors.cz/index.php?q=plastova-okna_zalohakat=profily>
- [13] Tepelná vodivost. Únor 2014. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_vodivost>
- [14] Al-Hajjar, N.: *Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Všeobecně.*
- [15] Al-Hajjar, N.: *Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 2: Výpočtová metoda pro rámy.* Květen 2011.
- [16] Dodavatel-A: *Nabídka kompresorovny varianty A.* Březen 2014.
- [17] Dodavatel-B: *Nabídka kompresorovny varianty B.* Březen 2014.
- [18] Dodavatel-C: *Nabídka kompresorovny varianty C.* Březen 2014.

LITERATURA

- [19] Ježek, J.: *Energetický audit objektů SO11, SO13, M1 - PÍSEMNÁ ZPRÁVA*. 2003.
- [20] Ondráško, P.: *Nabídka zateplení pro objekt S2*. Duben 2014.
- [21] Ondráško, P.: *Nabídka zateplení pro objekt SO11*. Duben 2014.
- [22] Ondráško, P.: *Nabídka zateplení pro objekt SO13*. Duben 2014.
- [23] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt S2 - varianta A*. Duben 2014.
- [24] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt S2 - varianta B*. Duben 2014.
- [25] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt S2 - varianta C*. Duben 2014.
- [26] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta A*. Duben 2014.
- [27] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta A, model A*. Duben 2014.
- [28] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta A, model B*. Duben 2014.
- [29] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta B*. Duben 2014.
- [30] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta B, model A*. Duben 2014.
- [31] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta B, model B*. Duben 2014.
- [32] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta C*. Duben 2014.
- [33] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta C, model A*. Duben 2014.
- [34] Online-generátor: *Nabídka oken pro objekt SO11 - varianta C, model B*. Duben 2014.
- [35] Stránský, J.: *Sklo ve stavebnictví*. Srpen 2011.
- [36] Svoboda, Z.: Součinitel prostupu tepla. Původní text ze skript „Stavební fyzika 31“ z roku 2004.
- [37] UTMS: *Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Všeobecně*.

Seznam použitých zkratek

BOZP Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

ČNB Česká národní banka

ČR Česká republika

ČSN Česká státní norma

EPDM Terpolymer ethylen–propylén–dién

EPS Elektrická požární signalizace

EU Evropsá unie

HDO Hromadné dálkové ovládání

HDP Hrubý domácí produkt

IRR Internal rate of return

IT Informační technologie

NN Nízké napětí

NP Nadzemní podlaží

NPV Net present value

PCP Polymethylmethakrylát

PMMA Polymethylmethakrylát

PU Polyuretan

A. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

PVC Polyvinylchlorid

TUV Teplá užitková voda

VZT Vzduchotechnika

Obsah přiloženého CD

	readme.txt.....	stručný popis obsahu CD
	text	
	dp_kultpave_2014.pdf.....	text práce ve formátu PDF
	DP_kultpave_2014_vypocty.xlsm.....	výpočty k práci
	zdroje	
	soucinitel_prostupu_tepla.pdf.....	dokument o prostupu tepla ČVUT
	soucinitel_prostupu_tepla.pdf.....	aktualizace státní energetické koncepce