VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

NÁVRH OPATŘENÍ PRO SNÍŽENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI PRODEJNY POTRAVIN

PROPOSAL OF MEASURES FOR REDUCING ENERGY DEMANDS OF FOOD STORES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE BC. PATRICIE JULINOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. DAVID BEČKOVSKÝ, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Patricie Julinová
Název	Návrh opatření pro snížení energetické náročnosti prodejny potravin
Vedoucí diplomové práce	Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ fakulta stavební DĚKANÁT - 1 -

prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Katalogy a odborná literatura. Předpis č. 62/2013 Sb. - Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb. Předpis č. 499/2006 Sb. - Vyhláška o dokumentaci staveb. Předpis č. 20/2012 Sb. - Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Předpis č. 268/2009 Sb. - Vyhláška o technických požadavcích na stavby. Předpis č. 398/2009 Sb. - Vyhláška o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb. Platné ČSN, příp. další podklady……

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Zadání VŠKP: Návrh opatření pro snížení energetické náročnosti prodejny potravin
Cíl práce: Rámcové cíle práce jsou měření parametrů stavebních konstrukcí a návrh opatření pro snížení energetické náročnosti prodejny potravin. Přesné stanovení cílů bude dohodnuto s vedoucím práce na základě odborné rozpravy v průběhu řešení teoretické části práce. Textová i výkresová část bude zpracována s využitím výpočetní techniky (v textovém a grafickém editoru). Výkresy budou opatřeny jednotným popisovým polem a k obhajobě budou předloženy složené do desek z tvrdého papíru potažených černým plátnem s předepsaným popisem se zlatým písmem.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. David Bečkovský, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá opatřením pro snížení energetické náročnosti prodejny potravin. Modelová prodejna potravin je energeticky vyhodnocena dle doporučených hodnot norem a dle skutečných spotřeb. Hodnoty jsou porovnány. Na základě reálných spotřeb dle dodaných faktur a experimentálního měření termovizní kamerou, Blower Door testem těsnosti obálky budovy a měření intenzitou osvětlenosti je prodejna analyzována pro návrhy opatření snížení spotřeb energie. Nejúspornější opatření je rozšířeno na celou modelovou prodejní síť v České republice.

Klíčová slova

Prodejna potravin, energetické hodnocení budov, úspora energie, úsporná opatření, energie, teplota, vytápění, chlazení, osvětlení, součinitel prostupu tepla, výpočtový model, zóny, vzduchotěsnost, Blower door test, termovize, intenzita osvětlenosti

Abstract

The master thesis deals with measures to reduce energy performance of grocery store building. Model of the grocery store is evaluated according to a recommended energy values specified by Czech standards and according to the real values of the actual consumption. These values are compared. Final building analysis for a proposal measures to reduce energy consumption is based on the invoices of the real consumption and on the experimental assignments. Experimental measurements are the Blower door test of the tightness of the building envelope, the measures with the thermovision camera and the measuring of the illumination intensity. The most efficient proposal is extended to the whole model network of the food shops in the Czech Republic.

Keywords

Food shop, energy building assessment, energy-saving, energy saving measures, energy, temperature, heating, cooling, lighting, heat transfer coefficient, computational model, zones, air tightness, Blower door test, thermography, intensity of illuminance

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Patricie Julinová *Návrh opatření pro snížení energetické náročnosti prodejny potravin.* Brno, 2016. 119 s., 88 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. David Bečkovský, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12.1.2016

.....

podpis autora

Bc. Patricie Julinová

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat obzvláště svému vedoucímu práce, Ing. Davidu Bečkovskému, Ph.D., za odborné vedení, cenné připomínky, trpělivost, ochotu a za věnovaný čas pro předávání odborných informací pro zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 12.1.2016 Bc. Patricie Julinová

Obsah

1 ÚVOD 11

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY 12

2.1 NORMOVÉ A LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY 12

2.1.1 Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií 12

2.2 NORMOVÉ A LEGISLATIVNÍ PODKLADY PRÁCE 14

2.3 ZÁKLADNÍ POJMY V HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV 15

3 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI BUDOV 19

3.1 OBÁLKA BUDOVY 19

3.2 APLIKACE TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ V PRAXI 21

3.2.1 Energetický štítek obálky budovy 22

3.2.2 Průkaz energetické náročnosti budovy 24

3.2.3 Energetický audit 26

3.2.4 Energetický posudek 27

3.3 POROVNÁNÍ TECHNICKÝCH PARAMETRŮ OBYTNÝCH BUDOV A PRODEJEN POTRAVIN 28

4 DALŠÍ TECHNICKÉ VLASTNOSTÍ BUDOV 29

4.1 VZDUCHOTĚSNOST 29

4.1.1 Nejrozšířenější metody měření 30

4.1.2 Požadavky na vzduchotěsnost budov 31

4.1.3 Důsledky netěsností 32

4.2 POVRCHOVÁ TEPLOTA 32

4.3 OSVĚTLENÍ 34

4.3.1 Základní pojmy 34

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE 36

5.1 CÍLE 36

5.2 PROSTŘEDKY KE SPLNĚNÍ CÍLŮ 36

5.2.1 Přístrojové a softwarové vybavení 36

5.3 POSTUP K DOSAŽENÍ STANOVENÝCH CÍLŮ 37

6 METODIKA PRÁCE 38

6.1 SPECIFIKACE MODELU PRODEJNY POTRAVIN 38

6.1.1 Popis typizované prodejny potravin 38

6.1.2 Zónování objektu 40

6.2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ 42

6.2.1 Měření hladiny osvětlenosti a teploty vnitřního prostředí 42

6.2.2 Měření těsnosti obálky 44

6.2.3 Termovizní měření 52

7 DÍLČÍ VÝSLEDKY DIPLOMOVÉ PRÁCE 55

7.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY Z EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ 55

7.1.1 Osvětlení 55

7.1.2 Blower Door test 57

7.1.3 Vnitřní teplota 60

7.1.4 Termovizní snímky 61

7.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OBÁLKY BUDOVY 66

7.2.1 Skladby obalových konstrukcí zón 66

7.3 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ PRODEJNY POTRAVIN DLE TNI 73 0331 77

7.4 ENERGETICKÉ VYHODNOCENÍ DLE REÁLNÝCH SPOTŘEB 82

7.4.1 Energetická bilance budovy - výchozí stav 84

7.4.2 Porovnání doporučených a skutečných hodnot 87

8 NÁVRH OPATŘENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU 89

8.1 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU 89

8.2 NÁVRH ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ A JEJICH VYHODNOCENÍ 90

8.2.1 LED osvětlení 90

8.2.2 Zateplení obálky budovy 92

8.2.3 Vzduchotěsnost budovy - OSB desky 96

8.2.4 Fotovoltaické panely 98

8.2.5 Rekuperace 100

8.2.6 Závěrečné vyhodnocení 101

9 ZÁVĚR 105

9.1 NAPLNĚNÍ CÍLŮ 105

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ **108**

SEZNAM TABULEK **111**

SEZNAM OBRÁZKŮ **113**

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ **116**

SEZNAM PŘÍLOH **119**

1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá energetickým hodnocením budov prodejny potravin. Záměrem je zanalyzovat jednu typovou prodejnu potravin, na základě naměřených hodnot navrhnout optimalizace objektu a následně tento přínos daného opatření v rámci energetické náročnosti rozšířit na celou síť prodejen dané společnosti.

První, teoretická část diplomové práce se věnuje legislativním předpisům a směrnicím českého právního řádu. Jsou zde podrobněji rozvedeny požadavky na energetický štítek obálky budovy, průkaz energetické náročnosti budovy a energetický audit. Na hodnocené modelové prodejně proběhlo měření, jehož hlavní součástí byl Blower-door test spolu se snímky pořízenými termovizní kamerou, tudíž se tato část diplomové práce zabývá i přiblížením teorie vzduchotěsnosti a termografie.

Druhá část diplomové práce je zaměřena na metodiku práce na experimentálním objektu prodejny potravin. Je zde přiblížena problematika hodnocené prodejny potravin a její specifikace, jako je její konstrukční stavební systém, zdroje tepla, klimatizační systém, zónování objektu apod. Dále popisuje použité měřicí přístroje, postup měření, ale i programy, které byly k vyhodnocování využity. K experimentu byla použita termovizní kamera pro zjištění tepelně technických vlastností obvodových konstrukcí a tepelných mostů. Následně byl proveden Blower-door test k měření neprůvzdušnosti objektu, měřila se i intenzita osvětlení, rozdílné povrchové teploty a teploty vzduchu v objektu.

Ve třetí části se hodnotí skutečně naměřené hodnoty vzhledem k požadavkům české stavební normy. Naměřené hodnoty se aplikují na prodejnu potravin v programu Energie a vyhodnotí se energetická náročnost objektu. Zároveň je vyhodnocen model prodejny potravin vytvořený dle typických tabulkových hodnot pro výpočet energetické náročnosti budov, dle normy TNI 73 0331. Výsledné varianty vyhodnocení se vzájemně porovnají.

V části čtvrté probíhá vyhodnocení spotřeb energií, tepelných ztrát obálkou budovy a návrh opatření, který bude mít vliv na zlepšení celkové spotřeby budovy. Opatření jsou posuzovány z hlediska technického, ekologického a ekonomického.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V současné době je kladen velký důraz na snižování energetické náročnosti budov. Požadavky se týkají rekonstrukcí stávajících domů s vhodnými opatřeními pro snížení energetické náročnosti objektu, dále pak novostaveb, kde je snaha zavést standart pasivních domů a také domů s téměř nulovou spotřebou energie.

Energetické hodnocením budov se zabývá spotřebovaným množstvím energie na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, úpravu vnitřního vzduchu pomocí větrání nebo klimatizace a osvětlení v budově.

Úkolem energetického hodnocení budov je provedení analýzy a zhodnocení energií, které jsou v objektu využívány a následně na ně navrhnout varianty optimálních řešení posuzované z hlediska energetického, ekonomického a životního prostředí.

2.1 NORMOVÉ A LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY

V zavedené evropské směrnici roku 2010, 2010/31/EU o energetické náročnosti budov - EPBD II., která zrušila a nahradila směrnici č. 91/2002/ES, se 1. dubna 2013 změnily některé legislativní předpisy.

2.1.1 Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií

Od 1. 1. 2013 je účinná změna zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií ve smyslu změnového znění pod č. 318/2012 Sb., která zásadně změnila a upřesnila stávající pohled na problematiku hospodaření s energií. Nejvíce se novelizace projevila ve snižování energetické náročnosti budov a průkazů energetické náročnosti budov. Dále se nově s platností od 10. 4. 2015 zákon v platném znění mění zákonem č. 103/2015 Sb., vydaný Ministerstvem průmyslu a obchodu, který rozšiřuje povinnosti zpracování průkazu energetické náročnosti na další budovy.

Zákon stanovuje opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie a povinnosti fyzických a právnických osob při nakládání s energií, zpravidla pro tvorbu:

- Státní energetické koncepce
- Územní energetické koncepce
- Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie
- Požadavky na ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie

- Požadavky na uvádění spotřeby energie a jiných hlavních zdrojů na energetických štítcích výrobků spojených se spotřebou energie
- Požadavky na informování a vzdělávání v oblasti úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů [1]

K zákonu se vydává soubor prováděcích vyhlášek, které rozpracovávají jednotlivé oblasti zákona a upřesňují způsob jejich provádění. Jedná se o následující vyhlášky:

Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov (nahradila vyhlášku č. 148/2007 Sb.), účinná od 1. 4. 2013

- Novela vyhlášky o kontrole kotlů a rozvodů tepelné energie (nahradí vyhlášku č. 276/2007 Sb.)
- Novela vyhlášky o kontrole klimatizačních systémů (nahradí vyhlášku č. 277/2007 Sb.)

Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a posudku (částka 182, 31. 12. 2012, nahradila vyhlášku č. 213/2001 Sb.)

- Nová vyhláška o energetických specialistech a osobě oprávněné provádět instalaci zařízení vyrábějící energii z OZE (nahradí zkušební řád, části vyhl. 148/2007, 213/2001, 276/2007 a 277/2007 Sb.)
- Novela vyhlášky o vydávání stanovisek k SŘ, ÚŘ,ÚPD, ÚP, RP (novelizuje vyhlášku č.195/2007 Sb.)

Vyhláška č. 441/2012 Sb., o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie (nahradila vyhlášku č. 349/2010 Sb.) [2]

Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Vyhláška se zabývá zpracováváním průkazů energetické náročnosti budov (PENB), neboli certifikací budov dle hodnocení energetické náročnosti budovy. Toto hodnocení probíhá na základě porovnávání s hodnotami referenční budovy definované vyhláškou č.78/2013 Sb.

Stanovuje:

- Nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie
- Metodu výpočtu energetické náročnosti budovy

- Vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie
- Vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy
- Vzor a obsah průkazu a způsob jeho zpracování, a umístění průkazu v budově [3]

Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a posudku

Určuje podrobnosti náležitostí zpracování energetického auditu, který zpracovává oprávněný energetický auditor splňující požadavky zákona č. 406/2000 Sb.

Stanovuje:

- Rozsah energetického auditu a energetického posudku
- Obsah energetického auditu a způsob jeho zpracování
- Obsah energetického posudku a způsob jeho zpracování [4]

2.2 NORMOVÉ A LEGISLATIVNÍ PODKLADY PRÁCE

V diplomové práci se vychází z platných normových a legislativních předpisů roku 2015. Klíčovým předpisem energetického vyhodnocování je zákon 406/2000 Sb., o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů a s tím spojeny již zmiňované vyhlášky. Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov a dále pak vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a posudku.

Další příklady užitých norem a legislativních podkladů pro určení postupů a hodnot ke snížení energetické náročnosti budov:

ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov, Část 1: Terminologie (červen, 2005)

ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, Část 2: Požadavky (říjen, 2011)

ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov, Část 3: Návrhové hodnoty veličin (listopad, 2005)

ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov, Část 4: Výpočtové metod (červen, 2005)

ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov, Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním (únor, 2009)

ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov, Přenos tepla zeminou (únor, 2009)

ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce, Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla (prosinec 2008)

ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov, Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení (říjen, 2009)

TNI 73 0331 Energetická náročnost budov, Typické hodnoty parametrů technických systémů, užívání budov a klimatických dat pro výpočet a hodnocení energetické náročnosti budov (duben, 2013)

ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení, Osvětlení pracovních prostorů, Část 1: Vnitřní pracovní prostory

ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov, Část 1: Základní požadavky

ČSN EN 13829 Tepelné chování budov, Stanovení průvzdušnosti budov, Tlaková metoda

ČSN EN ISO 13788 Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků, Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce, Výpočtové metody

ČSN EN 13187 - Tepelné chování budov, Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov, Infračervená metoda

Všechny použité normy v diplomové práci jsou v platném znění k době zpracování výsledků včetně aktuálních změn a doplňků.

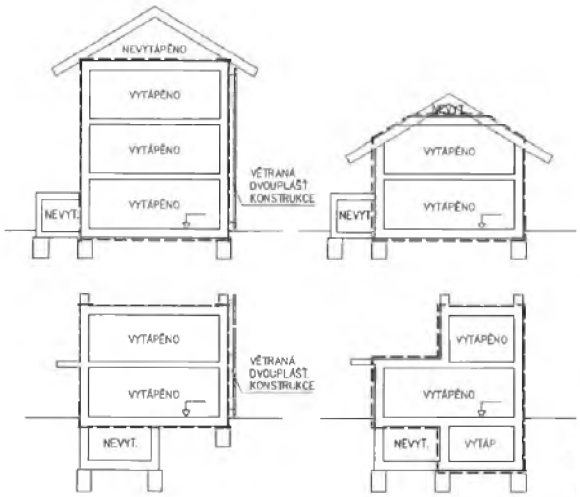
2.3 ZÁKLADNÍ POJMY V HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV

Budova s téměř nulovou spotřebou energie - budova s velmi nízkou, téměř nulovou spotřebou energie, kterou ve značném rozsahu pokrývá energie z obnovitelných zdrojů vyráběná v místě stavby či jeho okolí. Budova zajišťuje vysoký komfort bydlení s nízkým odpadem na životní prostředí.

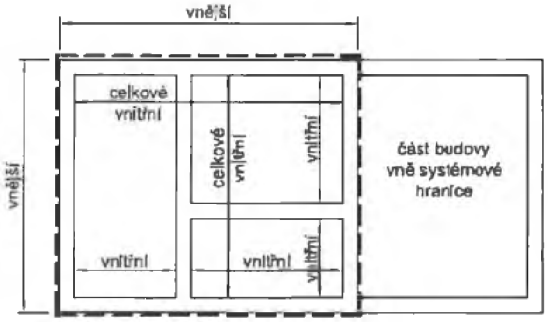
Referenční budova - normou definovaná budova stejného typu jako budova hodnocená, budova stejného geometrického tvaru a velikosti, prosklených ploch, zdrojů, stejné orientace ke světovým stranám, klimatické podmínky apod. avšak hodnotí se u ní referenční hodnoty vlastností konstrukcí.

Celková energeticky vztažná plocha - vnější půdorysná plocha prostorů v celém objektu, ohraničená vnějšími konstrukcemi obálky budovy. Započítávají se plochy prostorů s upravovaným vnitřním prostředím.

Systémová hranice - hranice oddělující vytápěný prostor od prostoru chlazeného neboli hranice oddělující prostory s různými teplotami prostředí. Hranici tvoří vnější povrchy konstrukcí ohraničující jednotlivé zóny, viz obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1 Schéma umístění systémové hranice budovy [5]



Obr. 2 Soustava půdorysných rozměrů a vymezení systémové hranice [5]

Zóna - celá budova nebo její ucelená část s podobnými vlastnostmi vnitřního prostředí nebo režimem užívání a skladbou technických systémů.

Prostředí venkovní - venkovní vzduch, přilehlá zemina, sousední budova a vzduch v přilehlých zónách nevytápěných prostor.

Prostředí vnitřní - prostředí uvnitř budovy či zóny, které je definováno návrhovými hodnotami pro interní mikroklima.

Energonositel - jev nebo hmota, které mohou být použity k výrobě mechanické práce nebo tepla. Rozlišujeme energonositele obnovitelných a neobnovitelných zdrojů energie (např. uhlí, zemní plyn, elektřina, sluneční záření, energie okolí, biomasa apod.)

Potřebná energie - energie dodaná technickým systémům budovy pro zajištění požadované kvality vnitřního prostředí budov (např. vytápění, chlazení, příprava teplé vody apod.). Je to teoretická hodnota, která neuvažuje energetické ztráty v technických systémech a předpokládá 100 % účinnost těchto systémů.

Vypočtená energie - energie stanovená z potřeby energie pro daný jev se zahrnutím účinností všech technických systémů. Vypočte se z potřeby energie a zahrnuje vliv účinnosti zdrojů, sdílení energie a distribuce.

Pomocná energie - energie, která je potřeba pro provoz technických systémů (např. pro provoz čerpadel nebo regulace)

Dodaná energie - energie dodaná do objektu přes systémovou hranici, potřebná k zajištění daného typického užívání. Celková dodaná energie do budovy se stanoví součtem všech dodaných energií. Hodnota dodané energie by se měla blížit celkové skutečné spotřebě v objektu včetně tepelných ztrát.

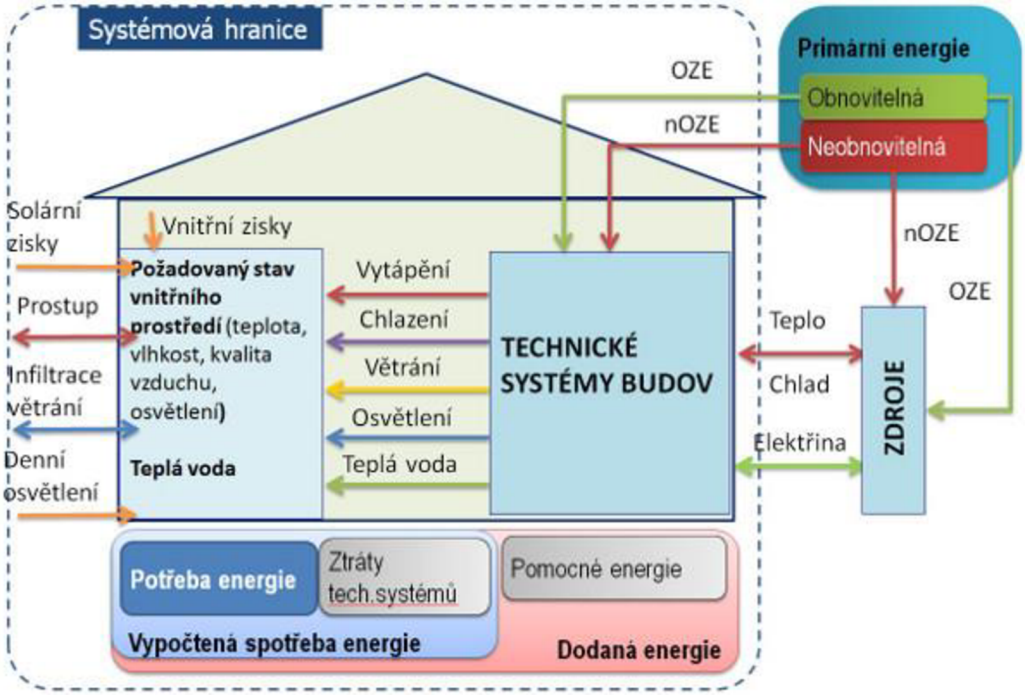
Primární energie - přirozená energie, která neprošla žádným procesem přeměny a je dodávaná jednotlivými energonositeli. Celková primární energie je součtem primární obnovitelné a neobnovitelné primární energie.

Faktor primární energie - koeficient pro násobení složek dodané energie po jednotlivých energonositelích, díky kterému se získá odpovídající množství celkové primární energie.

Faktor neobnovitelné primární energie - koeficient, kterým se násobí složky dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství neobnovitelné primární energie. [3]

Energetická bilance - poměr mezi příjmem a výdejem energie, kde dodávaná energie pokryje spotřebované energetické zásoby, ale také může být přímo přeměněna na energii potřebnou. Pokud je množství spotřebované energie rovno vynaložené energie pak můžeme energetickou bilanci považovat za vyváženou.

Energetická náročnost budov (ENB) - výpočet energetické náročnosti budov je prováděn v souladu s ČSN EN ISO 13 790 a dle principů vyhlášky č. 78/2013 Sb. Výpočtem energetické náročnosti budovy získáme celkovou roční dodanou energii na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, nucené větrání, úpravu vlhkosti vzduchu a osvětlení.



Obr. 3 Princip výpočtu energetické náročnosti budov [6]

Poznámka: OZE - energonositele obnovitelných zdrojů energie (např. sluneční záření, energie okolí, biomasa apod.); eOZE - energonositele neobnovitelných zdrojů energie (např. uhlí, zemní plyn, lehký topný olej, propan); teplo/chlad - tepelná energie obsažená v teplonosné látce (např. otopná voda, pára, chladicí voda). [6]

Na základě porovnávání vypočtených hodnot posuzované budovy s referenční budovou, které probíhá při stanovení stejných vnitřních i vnějších okrajových podmínek pro obě budovy, můžeme budovu dle klasifikačních tříd energetické náročnosti patřičně zařadit.

Tab. 1 Klasifikační třídy energetické náročnosti budovy [3]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U_{em}	
A	0, 5 x E_R	0, 65 x E_R	Mimořádně úsporná
B	0, 75 x E_R	0, 8 x E_R	Velmi úsporná
C	E_R		Úsporná
D	1,5 x E_R		Méně úsporná
E	2 x E_R		Nehospodárná
F	2,5 x E_R		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

3 TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI BUDOV

Materiály a jejich tepelně technické vlastnosti, které tvoří obvodový plášť budovy a jsou důležitými činiteli ovlivňující celkovou energetickou náročnost budov. Největší podíl z celkové spotřeby energií budovy tvoří spotřeba energie na vytápění budovy. Z důvodu ekologického, ale i ekonomického narůstají požadavky na snižování energetické náročnosti budov.

Tepelně technickým vadám nebo poruchám se vyvarujeme dodržováním tepelně technických požadavků a docílí se tak i tepelné pohody interiéru pro uživatele objektu. Důležitou součástí udržování interní pohody prostředí je také zohledňování správného užívání a údržby při provozu budovy.

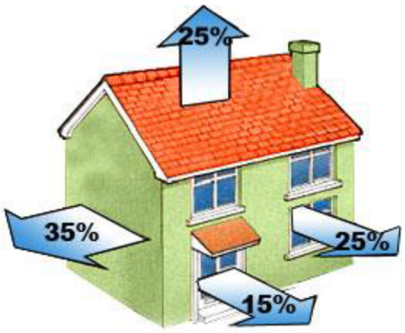
Tepelně technické požadavky zohledňují šíření tepla, vzduchu a vlhkosti konstrukcemi a prostup tepla obálkou budovy. Posuzujeme je tedy u konstrukcí, které jsou ve styku s venkovním prostředím a jsou tak součástí ochlazované obálky budovy. Kvalitně provedenou obálkou budovy včetně použití tepelných izolací, dosáhneme snížení nebo zabránění tepelným ztrátám budovy. [7]

3.1 OBÁLKA BUDOVY

Obálka budov je tvořená obalovými, teplosměnnými konstrukcemi budovy. Teplosměnná plocha obálky budovy je celková plocha všech stavebních prvků obklopujících klimatizované prostory na systémové hranici celé budovy či zóny, přes které se šíří tepelná energie do/z vnějšího prostředí nebo do/z nevytápěných prostorů.

Jsou vystaveny přilehlému prostředí, které tvoří vnější vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budově nebo sousední zóně budovy vytápěné na nižší vnitřní návrhovou teplotu. [9]

Velikost teplosměnné plochy obálky závisí na tom, zda se použijí vnitřní, celkové vnitřní nebo vnější rozměry. Příslušné plochy obálky budovy mohou být váženy redukčním faktorem (pevně stanoveným) v případě jako jsou např. nevytápěné přilehlé prostory a podlahy na terénu. [8]



Obr. 4 Obálka budovy - tepelné ztráty obalovými konstrukcemi [10]

Obr. 5 Obálka budovy s vnějšími vlivy okolí[11]

Součinitel prostupu tepla U [W/m²K]

Součinitelem prostupu tepla se vyjadřují tepelně technické vlastnosti konstrukcí. Vyjadřuje, kolik tepla konstrukce propustí v jednom metru čtverečním plochy konstrukce při rozdílu teplot jejich povrchů jednoho kelvinu. Hodnota se značí jako U [W/m²K]. Čím nižší součinitel prostupu tepla je, tím lepší má konstrukce tepelně technické vlastnosti. Požadované a doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla konstrukcí včetně výpočetních vztahů jsou dány normou ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. [12]

Tab. 2 Tabulka doporučených a požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla 1/2 [9]

Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s obecnou návrhovou vnitřní teplotou					platné od: **11/2011**
20	**Převažující vnitřní návrhová teplota θ_{im} [°C]**	**Součinitel prostupu tepla kontrukce**			
1,00	**e_1 - součinitel typu budovy (pro přepočet $U_{N,20}$)**	**Pomůcka**	**Požadované hodnoty**	**Doporučené hodnoty**	**Doporučené hodnoty pro pasivní budovy**
			U_N	**U_{rec}**	**U_{pas}**
SVISLÉ KONSTRUKCE					
FASÁDA	Stěna vnější těžká	VYT → EXT	**0,30**	**0,25**	0,12 - 0,18
	Stěna vnější lehká	VYT → EXT	**0,30**	**0,20**	0,12 - 0,18
	Stěna k nevytápěné půdě lehká (se střechou bez tepelné izolace)	VYT → NEVYT	**0,30**	**0,20**	0,12 - 0,18
	Stěna k nevytápěné půdě těžká (se střechou bez tepelné izolace)	VYT → NEVYT	**0,30**	**0,25**	0,12 - 0,18
	Stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	VYT → ZEM	**0,45**	**0,30**	0,15 - 0,22
	Stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	VYT → NEVYT	**0,60**	**0,40**	0,20 - 0,30
	Stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	VYT → TEMP	**0,75**	**0,50**	0,25 - 0,38
	Stěna vnější z temperovaného prostoru k exteriéru	TEMP → EXT	**0,75**	**0,50**	0,25 - 0,38
	Stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	TEMP → ZEM	**0,85**	**0,60**	0,30 - 0,45
	Stěna mezi sousedními budovami	VYT → SOU	**1,05**	**0,70**	0,50
	Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10°C včetně	Δ 10°C	**1,30**	**0,90**	---
	Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 5°C včetně	Δ 5°C	**2,70**	**1,80**	---

Tab. 3 Tabulka doporučených a požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla 2/2 [9]

VODOROVNÉ KONSTRUKCE					
PODLAHA (tepelný tok shora dolů)	Podlaha nad exteriérem	VYT → EXT	**0,24**	**0,16**	0,10 - 0,15
	Podlaha vytápěného prostoru na zemině	VYT → ZEM	**0,45**	**0,30**	0,15 - 0,22
	Podlaha vytápěného nad nevytápěným prostorem	VYT → NEVYT	**0,60**	**0,40**	0,20 - 0,30
	Podlaha vytápěného nad temperovaným prostorem	VYT → TEMP	**0,75**	**0,50**	0,25 - 0,38
	Podlaha temperovaného prostoru nad exteriérem	TEMP → EXT	**0,75**	**0,50**	0,25 - 0,38
	Podlaha temperovaného prostoru na zemině	TEMP → ZEM	**0,85**	**0,60**	0,30 - 0,45
	Podlaha nad prostorem chladnějším o max. 10°C včetně	Δ 10°C	**1,05**	**0,70**	---
	Podlaha nad prostorem chladnějším o max. 5°C včetně	Δ 5°C	**2,20**	**1,45**	---
STŘECHA (tepelný tok zdola nahoru)	Střecha strmá se sklonem nad 45°	VYT → EXT	**0,30**	**0,20**	0,12 - 0,18
	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	VYT → EXT	**0,24**	**0,16**	0,10 - 0,15
	Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	VYT → NEVYT	**0,30**	**0,20**	0,10 - 0,15
	Strop vytápěného pod nevytápěným prostorem	VYT → NEVYT	**0,60**	**0,40**	0,20 - 0,30
	Strop vytápěného pod temperovaným prostorem	VYT → TEMP	**0,75**	**0,50**	0,25 - 0,38
	Strop pod prostorem chladnějším o max. 10°C včetně	Δ 10°C	**1,05**	**0,70**	---
	Strop pod prostorem chladnějším o max. 5°C včetně	Δ 5°C	**2,20**	**1,45**	---
OKNA, DVEŘE					
OKNA, DVEŘE	Okna z vytápěného prostoru do exteriéru	VYT → EXT	**1,50**	**1,20**	0,60 - 0,80
	Dveře z vytápěného prostoru do exteriéru	VYT → EXT	**1,70**	**1,20**	0,90
	Okna a dveře z vytápěného do temperovaného prostoru	VYT → TEMP	**3,50**	**2,30**	1,7
	Okna a dveře z temperovaného prostoru do exteriéru	TEMP → EXT	**3,50**	**2,30**	1,7
STŘEŠNÍ OKNA, SVĚTLÍKY					
Výchozí požadavky - odpovídají výpočtu jednotlivých částí dle ČSN EN 6946					
	Střešní okna, světlíky z vytápěného prostoru k exteriéru	VYT → EXT	**1,40**	**1,10**	0,9
	Střešní okna, světlíky z vytápěného do temperovaného prostoru	VYT → TEMP	**3,50**	**2,30**	1,4
	Střešní okna, světlíky z temperovaného prostoru do exteriéru	TEMP → EXT	**2,60**	**1,70**	1,4

3.2 APLIKACE TEPELNĚ TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ V PRAXI

Pro posuzování tepelně technických vlastností a energetické náročnosti objektů se v praxi nejčastěji uplatňují tyto posudky:

- Energetický štítek obálky budovy
- Průkaz energetické náročnosti budovy
- Energetický audit
- Energetický posudek

3.2.1 Energetický štítek obálky budovy

Energetický štítek obálky budovy je jednoduchý přehledný dokument hodnotící budovu z hlediska stavebně-energetických vlastností obalových konstrukcí domu. Energetický štítek budovy se posuzuje dle technické normy ČSN 730540-2/2011. Popisuje tepelné chování budovy a jejich konstrukcí na základě posuzování požadavků na průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy.

Součástí energetického štítku je i protokol k energetickému štítku obálky budovy. Obsahem protokolu k energetickému štítku obálky budovy je základní soubor údajů popisujících tepelné chování budovy a jejich konstrukcí, kdežto energetický štítek obálky budovy obsahuje klasifikaci prostupu tepla obálkou budovy a její grafické vyjádření, viz obr. 6.

Základní soubor údajů protokolu k energetickému štítku obálky budovy je:

a) Identifikace budovy (druh, adresa, katastrální a územní číslo)

b) Identifikace vlastníka nebo společenství vlastníků, popř. stavebníka (název, popř. jméno, adresa)

c) Popis budovy (objem vytápěné zóny V, celková plocha A ochlazovaných konstrukcí obalujících vytápěnou zónu, objemový faktor tvaru budovy A/V)

d) Klimatické podmínky budovy (převažující vnitřní teplota v otopném období θ_{im}, venkovní návrhová teplota v zimním období θ_e)

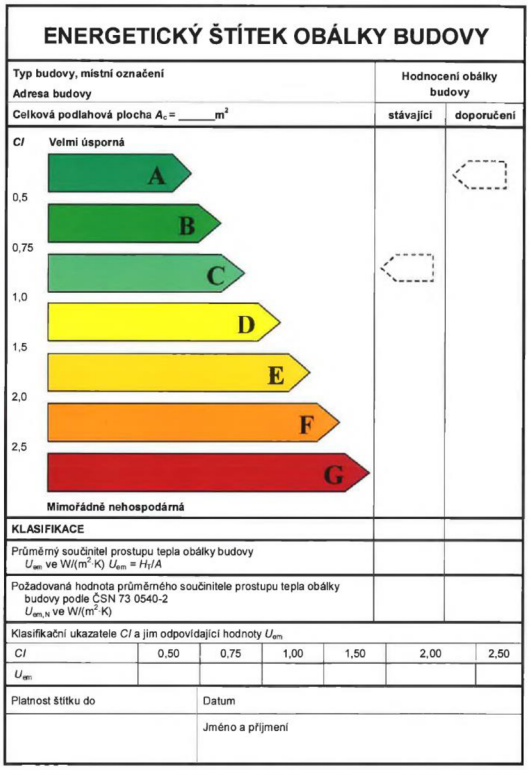
e) Charakteristika energeticky významných parametrů teplosměnných konstrukcí (plochy A_i, součinitele prostupu tepla U_i, lineární a bodové činitele Ψ a χ tepelných vazeb mezi konstrukcemi, činitele teplotní redukce b_i, měrné ztráty prostupem tepla H_{Ti})

f) Údaje o prostupu tepla obálkou budovy (měrná ztráta prostupem tepla H_T, průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}, jeho požadovaná normová hodnota $U_{em,N}$

g) Údaje o zpracování (jméno a adresa zpracovatele, datum, podpis) [9]

Tab. 4 Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy [9]

Klasifikační třídy	Kód barvy (CMYK)	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} [W/(m²·K)]	Slovní vyjádření klasifikační třídy	Klasifikační ukazatel *CI*
A	X0X0	$U_{em} \leq 0{,}5 \cdot U_{em,N}$	Velmi úsporná	⇦ 0,5
B	70X0	$0{,}5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 0{,}75 \cdot U_{em,N}$	Úsporná	⇦ 0,75
C	30X0	$0{,}75 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq U_{em,N}$	Vyhovující	⇦ 1,0
D	00X0	$U_{em,N} < U_{em} \leq 1{,}5 \cdot U_{em,N}$	Nevyhovující	⇦ 1,5
E	03X0	$1{,}5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2{,}0 \cdot U_{em,N}$	Nehospodárná	⇦ 2,0
F	07X0	$2{,}0 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2{,}5 \cdot U_{em,N}$	Velmi nehospodárná	⇦ 2,5
G	0XX0	$U_{em} > 2{,}5 \cdot U_{em,N}$	Mimořádně nehospodárná	



Obr. 6 Příklad energetického štítku obálky budovy [9]

Energetický štítek obálky budovy je nedílnou součástí projektové dokumentace stavby, ale je jen jeden z dílčích výstupů, které jsou podpůrné pro hlavní dokument energetického hodnocení, průkaz energetické náročnosti budovy.

3.2.2 Průkaz energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) je dokument vyhodnocující celkovou energetickou náročnost budovy. Hodnotí provoz jednotlivých systémů (vytápění, teplá užitková voda, mechanické větrání, chlazení, klimatizace, osvětlení). Cílem průkazu je dát vlastníkům domů lepší přehled o jejich způsobech užívání domu ve spojení s náklady na energii.

Definuje jej zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií se změnami určenými zákonem č. 103/2015 Sb., který dále rozšiřuje povinnost zpracování PENB na ostatní budovy:

- *Od 1. ledna 2013:* Při prodeji budovy nebo její ucelené části (např. bytu) a při pronájmu domu
- *Od 1. července 2013:* Budovy užívané orgány veřejné moci (např. krajské, městské a obecní úřady, budovy Policie ČR, městské policie, hasičů, soudy) s celkovou energeticky vztažnou plochou (CEVP) větší než 500 m^2
- *Od 1. ledna 2015:* Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP větší než 1 500 m^2
- *Od 1. července 2015:* Budovy užívané orgány veřejné moci s CEVP větší než 250 m^2
- *Od 1. ledna 2016:* Při pronájmu ucelené části budovy (bytu, nebytového prostoru) včetně družstevních domů
- *Od 1. ledna 2017:* Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP větší než 1 000 m^2
- *Od 1. ledna 2019:* Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP menší než 1 000 m^2
- *Od 1. ledna 2019:* Stávající rodinné domy s CEVP menší než 350 m^2 [2]

Platnost průkazu energetické náročnosti budovy je 10 let od vyhotovení a je součástí projektové dokumentace objektu.

PENB může zpracovávat osoba po absolvování příslušného přezkoušení, což je energetický auditor s osvědčením ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) nebo autorizovaný inženýr či autorizovaný technik s autorizací české komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT).

Požadavky k vypracování průkazu jsou stanoveny vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.

Hodnocení budovy průkazem energetické náročnosti budovy se týká jak hodnocení energetické obálky budovy z hlediska ploch, skladeb konstrukcí aj., tak hodnocení spotřeb energií v rámci užívání domu, které v průkazu znázorňují ukazatelé ENB. Hodnotí stavbu na základě těchto parametrů:

a) Celková primární energie za rok
b) Neobnovitelná primární energie za rok
c) Celková dodaná energie za rok
d) Dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok
e) Průměrný součinitel prostupu tepla
f) Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici
g) Účinnost technických systémů

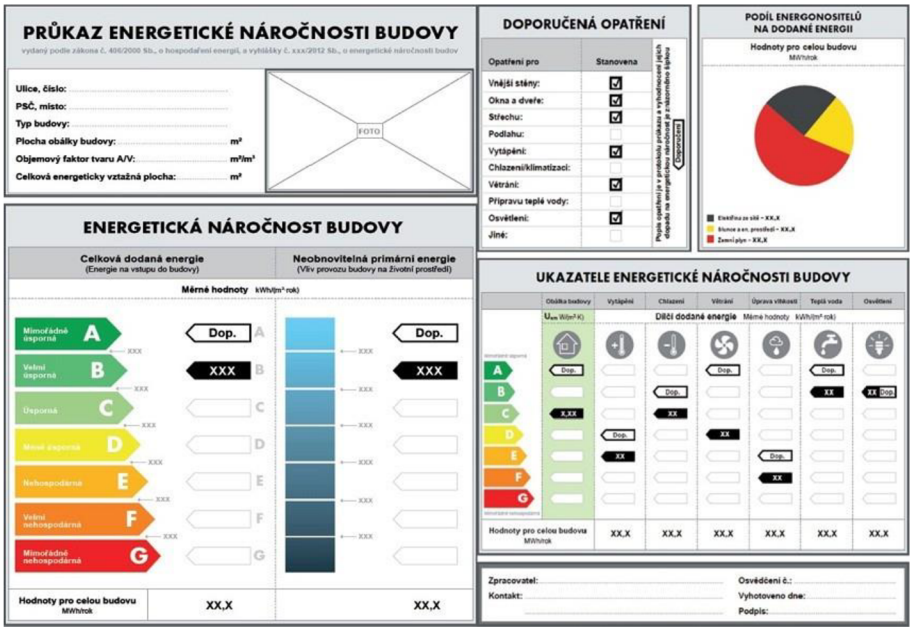
Výstupem průkazu energetické náročnosti budovy je dokument dle vyhlášky č. 78/2013 Sb., který obsahuje protokol PENB a grafické znázornění. Protokol průkazu obsahuje:

a) Účel zpracování průkazu
b) Základní informace o hodnocené budově
c) Informace o stavebních prvcích a konstrukcích a technických systémech
d) Energetickou náročnost hodnocené budovy
e) Posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie

f) Doporučená opatření pro snížení energetické náročnosti budovy, včetně opatření při změně stavebního prvku obálky, nebo technického systému

g) Identifikační údaje energetického specialisty a datum vypracování průkazu

h) Zdroj, kde lze získat informace k průkazu energetické náročnosti budovy zejména možnosti realizace doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy a stanovení nákladů na realizaci těchto opatření a možnosti jejich financování [3]



Obr. 7 Grafické znázornění průkazu [3]

3.2.3 Energetický audit

Energetickým auditem se rozumí komplexní dokument obsahující informace o stávající nebo předpokládané úrovni využívání energie v budovách, v energetickém hospodářství, v průmyslovém postupu a energetických službách s popisem a stanovením technicky, ekologicky a ekonomicky efektivních návrhů na zvýšení úspor energie nebo zvýšení energetické účinnosti včetně doporučení k realizaci. [2]

Energetický audit je zakotven v zákoně č.406/2000 Sb., v platném znění se od 10. 4. 2015 změnil zákonem č 103/2015 Sb. Postup provedení energetického auditu je přesně stanovený vyhláškou č. 480/2012 Sb.

Energetický audit musí zajistit vlastníci budov, kde jejich celková roční energetická spotřeba převyšuje hranice:

- 1 500 GJ/rok v případě org. složek státu, krajů, obcí a příspěvkových org.
- 35 000 GJ/rok pro ostatní právnické a fyzické osoby, např. bytová družstva, sdružení vlastníků, firmy
- Energetický audit se pak musí zpracovávat pouze u těch budov, jejichž celková spotřeba je vyšší než 700 GJ/rok [4]

Energetický audit obsahuje tyto základní údaje:

a) Titulní list
b) Identifikační údaje
c) Popis stávajícího stavu předmětu energetického auditu
d) Vyhodnocení stávajícího stavu předmětu energetického auditu
e) Návrhy opatření ke zvýšení účinnosti užití energie
f) Varianty z návrhu jednotlivých opatření
g) Výběr optimální varianty
h) Doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický audit
i) Evidenční list energetického auditu
j) Kopii dokladu o vydání oprávnění podle § 10b zákona č. 406/2000 Sb. [4]

3.2.4 Energetický posudek

Definice energetického posudku je v zákoně č. 406/2000 Sb. uvedena takto:

Energetickým posudkem je písemná zpráva obsahující informace o posouzení plnění předem stanovených technických, ekologických a ekonomických parametrů určených zadavatelem energetického posudku včetně výsledků a vyhodnocení. [2]

Ve své podstatě je energetický posudek založen na stejném principu jako energetický audit posuzovaný na základě předem stanovených parametrů. Je to zjednodušená varianta prokazující plnění podmínek pro dotační tituly, posouzení proveditelnosti či zprávy udržitelnosti projektu.

3.3 POROVNÁNÍ TECHNICKÝCH PARAMETRŮ OBYTNÝCH BUDOV A PRODEJEN POTRAVIN

V diplomové práci se jedná o návrh opatření snížení energetické náročnosti prodejny potravin. Prodejna potravin spadá dle legislativy do budov pro obchodní účely. Požadavky budov tohoto zařazení se liší od obytných budov. Pro lepší představu těchto odlišností následuje přehledná tabulka rozdílů základních parametrů typických pro užívání budov, požadavků vnitřního prostředí prodejen potravin a obytných budov, prostředí, na které jsou lidé zvyklí a denně vnímají jeho interní klima.

Tab. 5 Porovnání parametrů typických pro užívání budov TNI 73 0331

Rozdílné parametry typického užívání budov		
	Bytové domy - obytné prostory	**Budovy pro obchodní účely - prodejní plochy**
Parametry využití		
Provozní doba užívání zóny [h/den]	17	12
Parametry pro vytápění a chlazení zóny		
Vnitřní teplota pro režim vytápění v režimu útlumu [°c]	18	16
Provozní doba vytápění a chlazení zóny[h/den]	24	12
Parametry pro větrání zóny		
Intenzita větrání [1/h]	0,3	0,5
Doba provozu větracího zařízení [h/den]	17	12
Průměrná produkce vlhkosti [g/h.m2]	1,5	30
Parametry pro vnitřní tepelné zisky		
Měrné tepelné zisky od osob [W/m2]	2	23
Měrné tepelné zisky z vybavení [W/m2]	3	10
Parametry pro osvětlení zóny		
Osvětlenost [lx]	50	300
Doba využití denního světla za rok [h]	1600	2500
Doba využití bez denního světla za rok [h]	1200	2000
Měrná denní potřeba energie na přípravu teplé vody	30 - 40 l na osobu a den	19 l na zaměstnance a den

4 DALŠÍ TECHNICKÉ VLASTNOSTÍ BUDOV

Jelikož součástí diplomové práce je i experimentální měření, obsahuje teoretická část práce informace i o dalších technických vlastnostech budov jako je vzduchotěsnost, povrchová teplota, osvětlenost.

4.1 VZDUCHOTĚSNOST

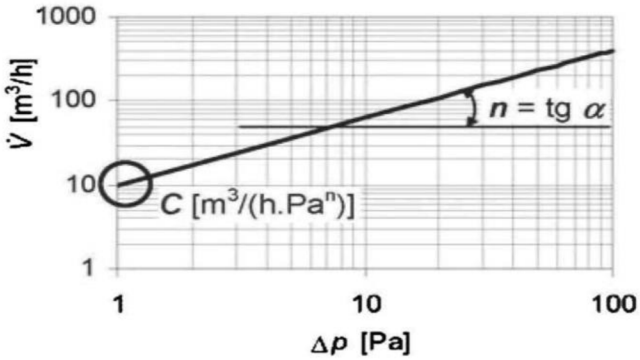
Vzduchotěsnost je jinak označována jako průvzdušnost (při vysoké průvzdušnosti má objekt špatnou úroveň vzduchotěsnosti). Jedná se o schopnost obálky budovy propouštět vzduch. Proudění vzduchu obálkou budovy je stanoveno rozdílem tlaku vzduchu mezi vnitřním a vnějším prostředím a netěsností. Rozdíl tlaku vzduchu působící na obálku budovy bývá vyvolán větrem, rozdílem vnitřní a vnější teploty nebo účinkem mechanických větracích zařízení, či jejich kombinací. Čím větší je tlakový rozdíl, tím větší je průtok vzduchu obálkou budovy. [13]

Vzduchotěsnost obálky budovy se zpravidla popisuje pomocí tzv. empirické rovnice proudění, která pomocí součinitele proudění C a exponentu proudění n vyjadřuje vztah mezi objemovým tokem vzduchu *V* proudícím netěsnostmi v obálce a působícím tlakovým rozdílem Δp.

$$V = C \,.\, \Delta p^n$$

Kde: *V* je objemový tok vzduchu v [m3/h], C je součinitel proudění v [m^3/(h.Pa], Δp je tlakový rozdíl v [Pa], n je exponent proudění (bezrozměrný).

Pro grafické znázornění závislosti objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu se zpravidla používá graf v logaritmickém měřítku. Hodnotu součinitele proudění C lze odečíst přímo z grafu, jako průsečík přímky se svislou osou (pokud svislá osa protíná vodorovnou osu v hodnotě 1 Pa). [16]



Obr. 8 Graf závislosti objemového toku vzduchu netěsnostmi v obálce budovy na tlakovém rozdílu [16]

Pro hodnocení vzduchotěsnosti budov se používají jednočíselné veličiny odvozené z hodnoty celkového objemového toku vzduchu netěsnostmi při smluvně stanoveném tlakovém rozdílu Δpref. Pro vzájemné porovnávání budov různých velikostí, se tyto veličiny vztahují k nějakému charakteristickému rozměru budovy. Nejčastěji je to objem vnitřního vzduchu, plocha obálky budovy a podlahová plocha.

Netěsnosti se na stavbě běžně odhalují pomocí anemometru, termovizní kamerou nebo kouřem. Ve všech případech je potřeba k odhalení netěsnosti tlakové diference mezi interiérem a exteriérem, jinak by se netěsnosti neprojevily. [13]

4.1.1 Nejrozšířenější metody měření

Metoda tlakového spádu s externím ventilátorem

Měří se objemový tok vzduchu při známém tlakovém rozdílu proudící skrz obálku budovy. Velikost tlakových rozdílů se volí vyšší než tlakové rozdíly vyvolané klimatickými vlivy. Obvykle se měří v rozmezí cca 20 až 80 Pa. Tento rozdíl je vyvolán ventilátorem, který se osadí do obvodového pláště (tento ventilátor je součástí měřícího zařízení, nikoli budovy). Výsledkem měření jsou hodnoty, tlakový rozdíl/odpovídající objemový tok vzduchu, které se vynesou jako body do grafu v logaritmickém měřítku v závislosti objemového toku vzduchu na vyvolaném tlakovém rozdílu.

Metoda tlakového spádu s vnitřním ventilátorem

Tato metoda je alternativním postupem k metodě tlakového spádu s externím ventilátorem pro velké budovy vybavené vlastním větracím zařízením. Princip metody a způsob vyhodnocení výsledků je téměř stejný jako u přechozí metody. Rozdíl je v tom, že pro vyvolání tlakového rozdílu se použijí ventilátory větracího zařízení, které jsou součástí budovy.

Metoda harmonicky proměnného tlakového rozdílu

V budově se vyvolá harmonicky proměnný tlakový rozdíl a pozoruje se odezva na tyto změny uvnitř objektu. Na základě vypozorované odezvy se odvozují údaje o vzduchotěsnosti obvodového pláště. Harmonická změna tlakového rozdílu je vyvolána pohybem pístu, který periodicky stlačuje objem vzduchu uvnitř budovy se známou frekvencí. Měří se dvě veličiny: amplituda tlakového rozdílu vyvolaného pístem a fázový posun mezi změnou tlaku v budově a polohou pístu. Metoda není dále rozšířena.

Metoda tlakového impulzu

Měření probíhá zařízením, které vyvolá tlakový impuls a zařízením, které je schopné zaznamenat velmi rychlý pokles tlakového rozdílu (citlivý manometr a zařízení pro sběr dat s vysokou vzorkovací frekvencí). Metoda je rychlá, jednoduchá a nevyžaduje složité měřicí zařízení. Pro měření budov se ale nepoužívá. [16]

V praxi se nejčastěji jedná o metodu tlakového spádu s použitím externího ventilátoru. Nejznámější a nejrozšířenější měřícím metodou je Blower-door test. Postup tohoto měření je detailně propracovaný a standardizovaný. V České republice se měření vzduchotěsnosti řídí normou ČSN EN ISO 13829. Měření se typicky používá pro kontrolu kvality vzduchotěsnicího konstrukčního systému v průběhu výstavby (aby byla ještě možnost opravit nedostatky) a po úplném dokončení budovy pro ověření dosažené úrovně vzduchotěsnosti. Metoda je použita i v této diplomové práci, kde metodika měření Blower-door testem je následně popsána v kapitole Metodika práce.

4.1.2 Požadavky na vzduchotěsnost budov

Obecně platné požadavky na vzduchotěsnost obálky budovy i jejích částí jsou uvedeny v ČSN 73 0540-2. TNI 73 0329 a 73 0330. Vzduchotěsnost obálky budovy se ve všech těchto normativních dokumentech hodnotí pomocí intenzity výměny vzduchu při 50 Pa, n_{50}. Výsledná hodnota má splňovat podmínku:

$$n_{50} \leq n_{50,N}$$

Tab. 6 Doporučené hodnoty intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ dle ČSN 73 0540-2

Větrání v budově	$n_{50,N}$ [h^{-1}]
Přirozené nebo kombinované	4,5
Nucené	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,6

Vzduchotěsnost budovy se hodnotí pro celý objekt se všemi zónami. Proto v případě prodejny potravin v diplomové práci je požadovanou hodnotou na vzduchotěsnost budovy 4,5 h/1 pro kombinované větrání.

4.1.3 Důsledky netěsností

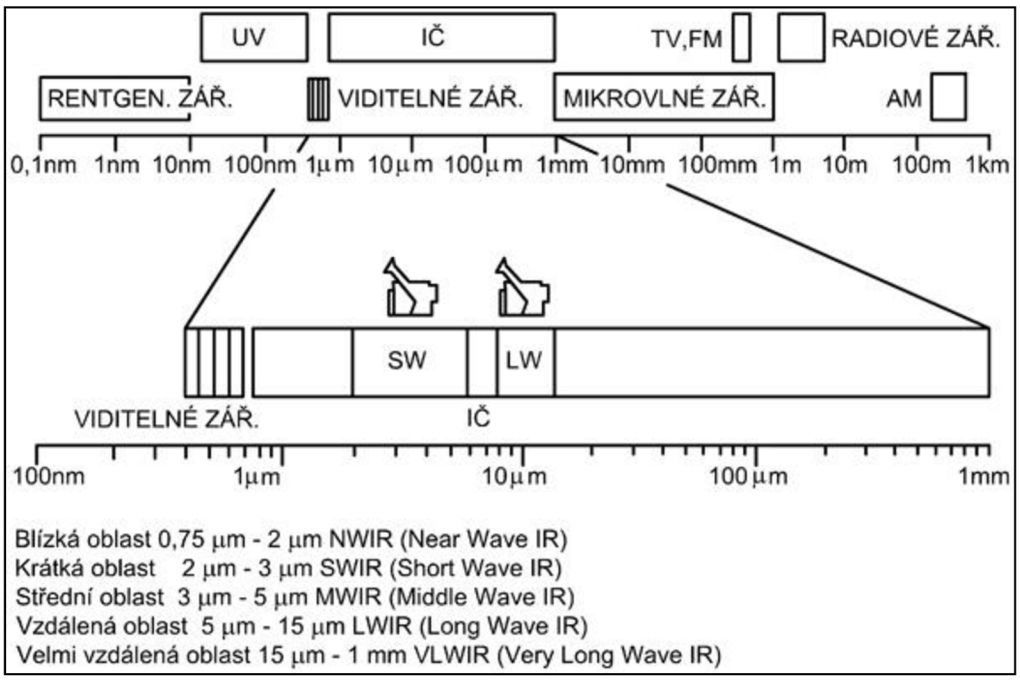
- Snížení účinnosti větracího systému
- Snížení účinnosti procesu zpětného získávání tepla (rekuperace) z odváděného vzduchu
- Zvýšená tepelná ztráta budovy
- Zvýšené riziko kondenzace uvnitř konstrukce způsobené intenzivním transportem vlhkosti skrz netěsnosti
- Urychlení degradačních procesů v okolí netěsnosti a snížení životnosti celé konstrukce
- Snížení kvality vnitřního prostředí vlivem proudícího chladného vzduchu
- Snížení teploty vnitřního povrchu v místě netěsnosti (riziko povrchové kondenzace)
- Zhoršení akustických vlastností konstrukce [13]

4.2 POVRCHOVÁ TEPLOTA

Povrchovou teplotu tělesa zjistíme - termografií. Termografie je zobrazovací technika využívající ke znázornění obrazu změny fyzikálních nebo chemických vlastností tepelně citlivých látek. Zobrazuje emitované infračervené záření (IR) objektů. Při vzrůstajících teplotách roste i intenzita tohoto záření z měřeného objektu. [7]

Základem bezkontaktního měření teploty a infračervené termografie je měření tepelné infračervené radiace. Termovizní kamera, dokáže IR záření v spektrálním rozsahu 7,5 - 13 µm detekovat a transformovat jeho intenzity do termovizního obrazu (termogram). Pro převod na digitální snímek je nutné zohlednit emisivitu povrchu, odražené teploty a atmosférické podmínky.

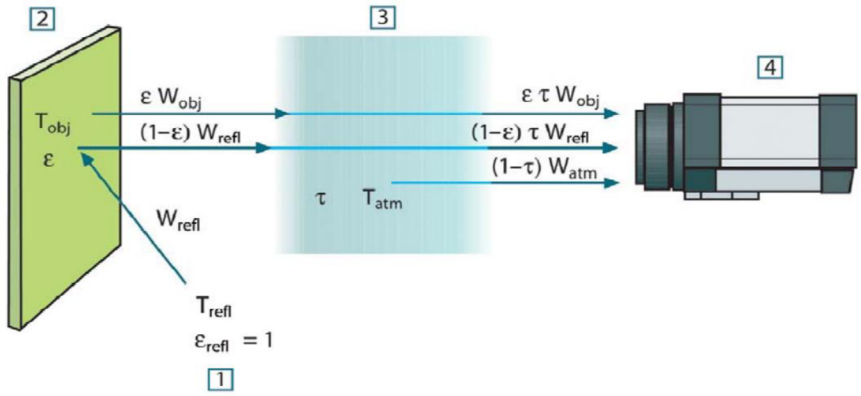
Elektromagnetické spektrum je rozděleno dle několika skupin, vlnových pásem, na základě vlnových délek. Oblast infračerveného záření a její poloha v oblasti celého elektromagnetického spektra je zobrazena na obr 9. [14]



Obr. 9 Elektromagnetické spektrum [7]

Emisivita je nejdůležitější parametr, který musí být správně určen. Je to poměr množství záření emitovaného objektem a záření dokonalého černého tělesa. Černé těleso je definováno jako objekt, který pohlcuje veškeré záření, které na něj dopadá, a to bez ohledu na vlnovou délku záření. Je to těleso blížící se svými vlastnostmi absolutně černému tělesu, kde absolutně černé těleso vyzařuje na všech vlnových délkách při určité teplotě maximální dosažitelnou zářivou energii. Používá se ke kalibraci IČ kamer.

Termovizní měření vykresluje stavbu v barvách, které obecně korespondují s určitou hodnotou teploty. Při analyzování se však musí brát ohled na vlastnosti povrchu, vliv okolí a charakter stavebních konstrukcí. Poté lze zvýšené teploty vyhodnocovat jako nežádoucí únik tepla. Postup metody měření viz následující kapitola Metodika práce. [7]



Obr. 10 Schéma termovizního měření objektu:
1. Okolí; 2. Objekt; 3. Atmosféra; 4. Kamera [15]

Účelem termovizního měření je detekce nežádoucích tepelných mostů, stavebně - konstrukčních vad a netěsností, které po nápravě pomůžou snížení energetické náročnosti stavby.

Mezi nejčastější příčiny tepelných ztrát patří:

- Netěsnosti oken, okenních a dveřních rámů
- Porušení nebo nedostatečná izolace obvodového pláště budov
- Netěsnosti v izolaci střech, půdních prostorech [14]

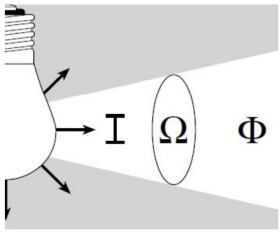
4.3 OSVĚTLENÍ

Světlem rozumíme elektromagnetické záření, které vyvolává v lidském oku světelný vjem, což znamená, že jej lze vidět. Jedná se o záření mezi 380 a 780 nm, tedy pouze o velmi malou část nám známého spektra elektromagnetického záření.

4.3.1 Základní pojmy

Světelný tok Φ [lm]

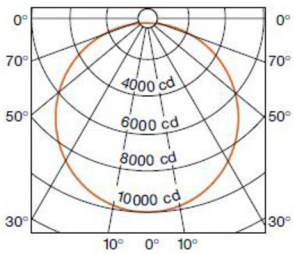
Světelný tok Φ udává celkové množství záření, vydávaného světelným zdrojem. To je posuzováno spektrální citlivostí lidského oka. Svítivost I je mírou světelného toku Φ, který je vyzařován do prostorového úhlu Ω.



Obr. 11 Znázornění světelného toku [17]

Svítivost I [cd]

Světelný zdroj obecně vyzařuje svůj světelný tok Φ různě silně do různých směrů. Vyzařovaný světelný tok určitým směrem je označován svítivostí - prostorový úhel Ω. Jednotkou je Candela.



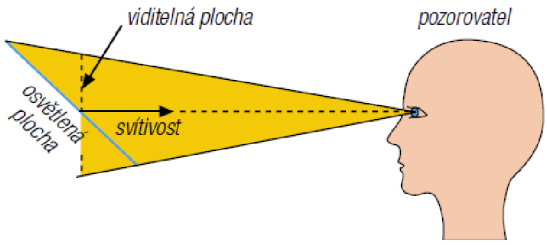
Obr. 12 Úhlový diagram svítivosti [17]

Intenzita osvětlení E [lx]

Intenzita osvětlení E udává poměr dopadajícího světelného toku k osvětlené ploše. Intenzita osvětlení je 1 lx, pokud světelný tok 1 lm dopadá rovnoměrně na plochu 1 m^2.

Jas L [cd/m^2]

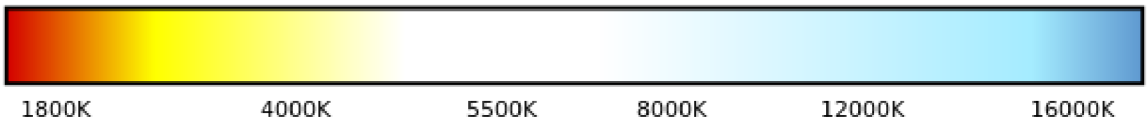
Jas L světelného zdroje nebo osvětlené plochy je klíčový pro vnímání jasnosti světla.



Obr. 13 Vnímání jasnosti světla [17]

Teplota chromatičnosti [K]

Teplota chromatičnosti světelného zdroje se vyjádří porovnáním s tzv. „černým tělesem" a znázorňuje se „Planckovou křivkou". Pokud se zvýší teplota „černého tělesa", vzroste ve spektru podíl modré složky a podíl červené složky se zmenší. Žárovka s teplým bílým světlem má např. teplotu chromatičnosti 2 700 K, zářivka se světlem podobným dennímu cca 6 000 K. [17]



Obr. 14 Barevné spektrum teplot chromatičnosti [17]

Osvětlenost je dána podílem světelného toku dopadajícího na elementární plochu a velikostí této elementární plochy. Měření míry osvětlenosti probíhá luxmetrem. Metodiku a postup měření v rámci diplomové práce viz kapitola Metodika měření.

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

5.1 CÍLE

Hlavním cílem diplomové práce je návrh snížení energetické náročnosti prodejny potravin. Záměrem je aplikování vybraného opatření na jednu z prodejních potravinových sítí v České republice.

Metodikou práce je v podstatě zjednodušený energetický audit budovy. Provede se zhodnocení jednoho modelového objektu prodejny potravin i s návrhy opatření na zlepšení stávajícího stavu energetické spotřeby či náročnosti modelové prodejny potravin a dále pak bude aplikováno na celou prodejní síť.

5.2 PROSTŘEDKY KE SPLNĚNÍ CÍLŮ

Pro dosažení cílů diplomové práce a možnosti zhodnotit prodejnu potravin bylo provedeno experimentální měření na daném objektu. Budova byla měřena za pomocí přístrojového vybavení Ústavu pozemního stavitelství na Fakultě stavební, Vysokého učení technického v Brně.

5.2.1 Přístrojové a softwarové vybavení

K vypracování podkladů diplomové práce bylo použito následující přístrojové a softwarové vybavení Ústavu pozemního stavitelství:

- Přístroj na měření osvětlení ELSEC 765 Enviromental Monitor
- Termovizní kamera FLIR B425
- BlowerDoor Mineapolis Multifan
- Software TECTITE Expres 4.1 a TECLOG3 verze 3.1.0.1 dodávané k přístroji BlowerDoor Mineapolis Multifan

Pro vyhodnocení všech naměřených dat byl použit software Svoboda Energie 2014. Tyto výpočty potřebné ke zpracování diplomové práce byly prováděny na Ústavu pozemního stavitelství na Fakultě stavební, Vysokého učení technického v Brně. Pro grafické zpracování diplomové práce byl použit software AutoCAD a Sketchup.

5.3 POSTUP K DOSAŽENÍ STANOVENÝCH CÍLŮ

Na základě poskytnuté projektové dokumentace, celkové prohlídky prodejny a naměřených hodnot osvětlení, teplot, Blower-door testu neprůvzdušnosti a termovizních snímků se provede zhodnocení stávajícího stavu prodejny potravin.

Během hodnocení budovy bude proveden fyzikální model budovy dle norem ČSN 73 0540 Tepelné ochrany budov, ČSN EN ISO 13790 Energetické náročnosti budov. V modelu bude objekt rozdělen do příslušných zón dle jejich využití a teplotních parametrů v budově. V zónách budou posuzovány obalové konstrukce a jejich tepelně technické vlastnosti, tepelné ztráty, vazby objektu, zdroje tepla, chlazení apod. Výstupem této fáze bude zhodnocení prodejny potravin v podobě průkazu energetické náročnosti budovy.

Následně proběhne návrh úsporných opatření v podobě seznamu variant, které mají za úkol dosáhnout značné energetické úspory a musí být ekonomicky schůdné alespoň z hlediska návratnosti v rámci snížené energetické spotřeby budovy. Varianty by měly splňovat požadavky z pohledu ekonomického a vlivu na životní prostředí. Nejúspornější opatření se rozšíří na prodejní řetězec v ČR a zjistí se komplexní dopad na úspory energií a financí pro celou společnost.

6 METODIKA PRÁCE

Následující část diplomové práce seznamuje s danou modelovou prodejnou. Popisuje konstrukční systém budovy, užívaný systém nuceného větrání, vytápění a chlazení. Vymezuje systémovou hranici objektu a rozčleňuje objekt do zón na základě jednotlivých parametrů, analyzuje a připravuje modelovou prodejnu potravin pro energetické vyhodnocování. Dále tato fáze práce popisuje přístrojové vybavení spolu s odpovídajícím softwarovým vybavením použitým k experimentálnímu měření a vyhodnocování naměřených výsledků.

6.1 SPECIFIKACE MODELU PRODEJNY POTRAVIN

6.1.1 Popis typizované prodejny potravin

Vybraná modelová prodejna je situována ve městě Brně. Objekt je jednopodlažní nepodsklepený. Budova se skládá z pěti hlavních částí - prodejna, přípravna pečiva, mrazicí box, sklad, zázemí zaměstnanců a výkup lahví, kde prostory výkupu lahví, pekárny a mrazicího boxu jsou pozdější přístavbou ke stávajícímu objektu.

Obr. 15 Typická budova prodejny potravin 1 [21]

Obr. 16 Typická budova prodejny potravin 2 [22]

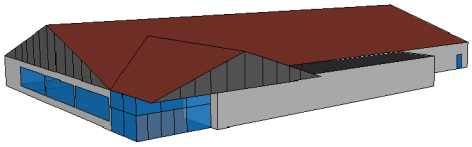
Konstrukční systém typizované prodejny je zděný skelet s výplní ze zdiva Porotherm P+D, tloušťky 365 mm. Střešní konstrukce celého objektu tvoří střecha vazníková s krytinou z betonových tašek Bramac. Podkrovní prostor je nevyužívaný. Dělící stropní konstrukční systém je řešen dřevěnými trámy zateplenými minerální vlnou. Ve stropní konstrukci je volně ložená parotěsnící fólie bez přelepu, pouze s přesahem. V budově je navržen zavěšený podhled s viditelným kovovým roštem a výplní (Kovová konstrukce viditelná, bílá s výplní zavěšených desek z minerálních vláken ARMSTRONG - Prima Casa jemně děrovaný, ve formátu 600x600 mm), kde je zabudováno osvětlení a vyústky

vzduchotechniky. Podlaha na terénu je v prostorách mrazicího boxu celoplošně izolována, ve zbylých částech objektu je podlaha izolována vodorovnými pásy v šířce 1 m po obvodě budovy.

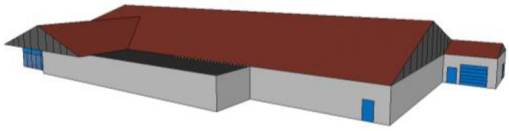
Prodejna je volně propojena s prostorem přípravny pečiva. Zde je výměna vzduchu zajištěna stropními teplovzdušnými jednotkami, stejně jako ve skladu. Nad prostory pekařských pecí je umístěno potrubí s ventilátorem pro odtah teplého vzduchu. Větrání je navrženo dvěma anemostaty, které vzduch odsávají potrubním ventilátorem, umístěným nad podhledem, a vyfukují je nad střechu přes proti dešťovou hlavici. Odvod vzduchu v prostorách výkupu lahví je realizován podtlakovým odtahovým ventilátorem osazeným ve stěně. V zázemí pro zaměstnance je větrání přirozené.

Vytápění objektu probíhá centrální kotelnou jako zdrojem pro topnou vodu s topným médiem zemního plynu. V hlavní prodejně, skladu a zázemí jsou umístěny stropní vzduchotechnické kazetové jednotky s teplovodním výměníkem zajišťující chlazení zóny a v prostorách prodejny a skladu i vytápění zóny. V ostatních prostorách jsou desková ocelová otopná tělesa s termostatickou hlavicí na přívodu.

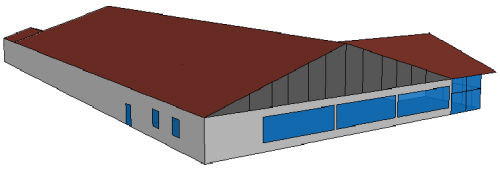
Celková podlahová plocha objektu:	1791 m²
Plocha obálky budovy:	4355 m²
Celkový objem budovy:	6658 m^3



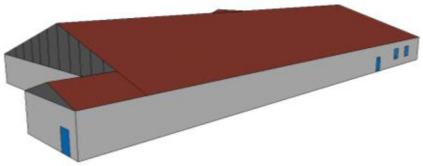
Obr. 17 Jihozápadní pohled



Obr. 18 Jihovýchodní pohled



Obr. 19 Severozápadní pohled

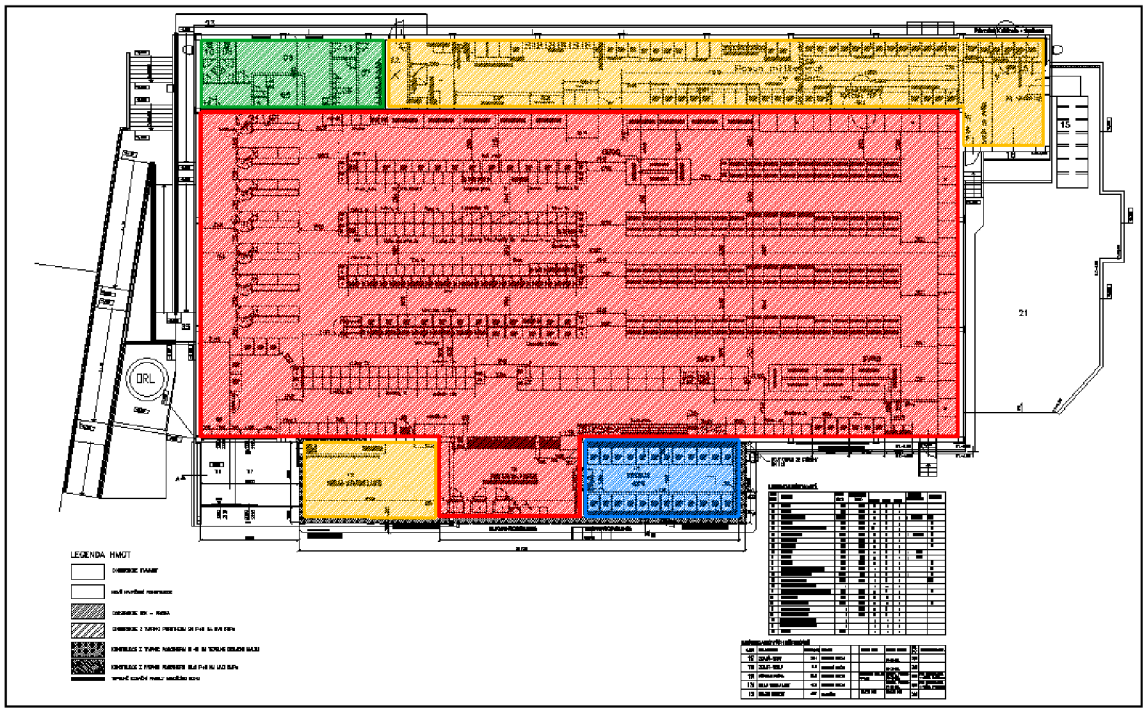


Obr. 20 Severovýchodní pohled

6.1.2 Zónování objektu

Pro výpočet energetické náročnosti budovy byla vymezena systémová hranice prodejny potravin, která rozlišuje prostory vytápěné, ochlazované a temperované. Tyto konstrukce jsou dále posuzovány dle ČSN 73 0540 - 2. Budova je rozdělena do 4 zón - prodejna s přípravnou pečiva, sklad s výkupem lahví, mrazicí box, zázemí pro zaměstnance.

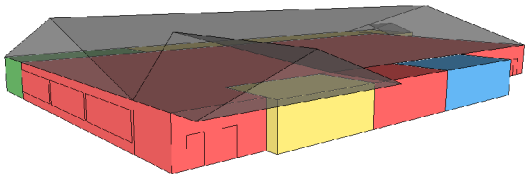
Zónování prostor budovy proběhlo na základě různých provozů a teplot v zónách. Základní zónování je rozvrženo na základě TNI 73 0331 dle doporučených hodnot pro budovy s obchodními účely. V zóně s hlavní prodejnou a přípravnou pečiva je teplota 20 °C, ve skladových prostorách a výkupu lahví teplota 10 °C, zázemí pro zaměstnance 20 °C a pro mrazicí box byla určena teplota -24 °C. Zónování objektu je znázorněno na obr. 21.



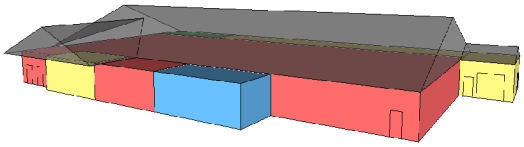
Hlavní prodejna *Sklad* *Mrazicí box* *Zázemí pro zaměstnance*

Obr. 21 Vyznačení zón prodejny potravin

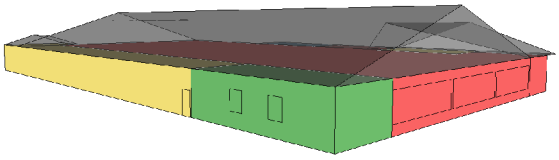
Na obr. 22. - 25. je znázorněno zónování na vytvořeném modelu prodejny potravin. V posuzované budově byl vymezen vytápěný, temperovaný a nevytápěný prostor. Konstrukce na systémové hranici tvoří spojitou, uzavřenou obálku budovy.



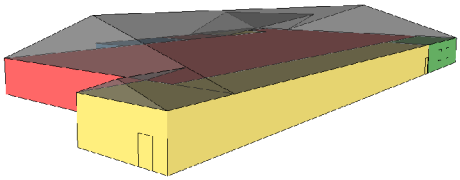
Obr. 22 Zónování - Jihozápadní pohled



Obr. 23 Zónování - Jihovýchodní pohled



Obr. 24 Zónování - Severozápadní pohled



Obr. 25 Zónování - Severovýchodní pohled

Legenda konstrukcí:

- *Zóna 1 - Prodejna*
- *Zóna 2 - Sklad*
- *Zóna 3 - Mrazicí box*
- *Zóna 4 - Zázemí zaměstnanců*
- *Konstrukce mimo vytápěný objem*

Po vymezení systémové hranice a zatřízení zón se posuzují hraniční konstrukce v jednotlivých zónách budovy. Tyto konstrukce jsou rozhodující pro výpočet tepelné ztráty objektu a stanovení spotřeby tepla na vytápění. Jejich tepelné vlastnosti jsou posuzovány dle ČSN 73 0540-2 a rozhodujícím parametrem je součinitel prostupu tepla - U [W/m^2.K]. Vyhodnocují se skladby konstrukcí, výplně otvorů a parametry budovy jako je objem budovy V z vnějších rozměrů, celková vnější podlahová plocha A_c, celková vnitřní podlahová plocha A_c, vzduchový objem z vnitřních rozměrů a objem vzduchu v zóně z celkového objemu [%]. Po vypočtených vlastností obálky budovy se

přejde k samotnému vyhodnocování energetické náročnosti budovy zadáváním parametrů do programu Energie 2014, Svoboda software. Kromě obalových konstrukcí se zde zadávají i informace o systémech vytápění, chlazení a větrání. Energie 2014 je hlavní program využívaný v diplomové práci pro vyhodnocení energetické náročnosti budovy.

Tab. 7 Zónování budovy

Zóna	Název zóny	Vytápění	Chlazení	Teplá voda	Nucené větrání	Osvětlení	Spotřebiče
Z1	Prodejna	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Z2	Sklad	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
Z3	Mrazicí box	NE	ANO	NE	NE	ANO	NE
Z4	Zázemí zaměstnanců	ANO	ANO	ANO	NE	ANO	ANO

6.2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Na modelové prodejně potravin proběhlo experimentální měření, které má značný vliv na energetické hodnocení celé budovy prodejny potravin. Měřily se hodnoty osvětlení, teploty, neprůvzdušnosti objektu a byly vytvořeny snímky termovizní kamerou. Experimentální měření probíhalo v různé denní době během září a října roku 2015. Naměřené hodnoty se následně vyhodnocovaly v odpovídajících softwarech.

6.2.1 Měření hladiny osvětlenosti a teploty vnitřního prostředí

Teorie měření osvětlenosti

Měření osvětlenosti je v praxi velmi častým úkolem, a to jak ve fotometrických laboratořích, tak i při objektivním ověřování rozložení hladin osvětlenosti v různých osvětlovacích soustavách. K měření osvětlenosti se používají objektivní přístroje, luxmetry, které jsou složeny z přijímače s korigovaným fotočlánkem, opatřeným kosinusovým nástavcem a z měřicího systému s digitálním nebo analogovým indikátorem. Intenzita osvětlení se značí E a jednotkou osvětlenosti je lux. S problematikou osvětlení souvisejí normy ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení, Osvětlení pracovních prostorů, Část 1: Vnitřní pracovní prostory a ČSN 73 0580-1 Denní osvětlení budov, Část 1: Základní požadavky.

Před započetím měření je třeba fotočlánky po dobu 5 až 15 min nechat odkryté ve světelném prostředí, ve kterém se bude měřit, aby se čidla daným podmínkám přizpůsobila a stabilizovala se. [18]

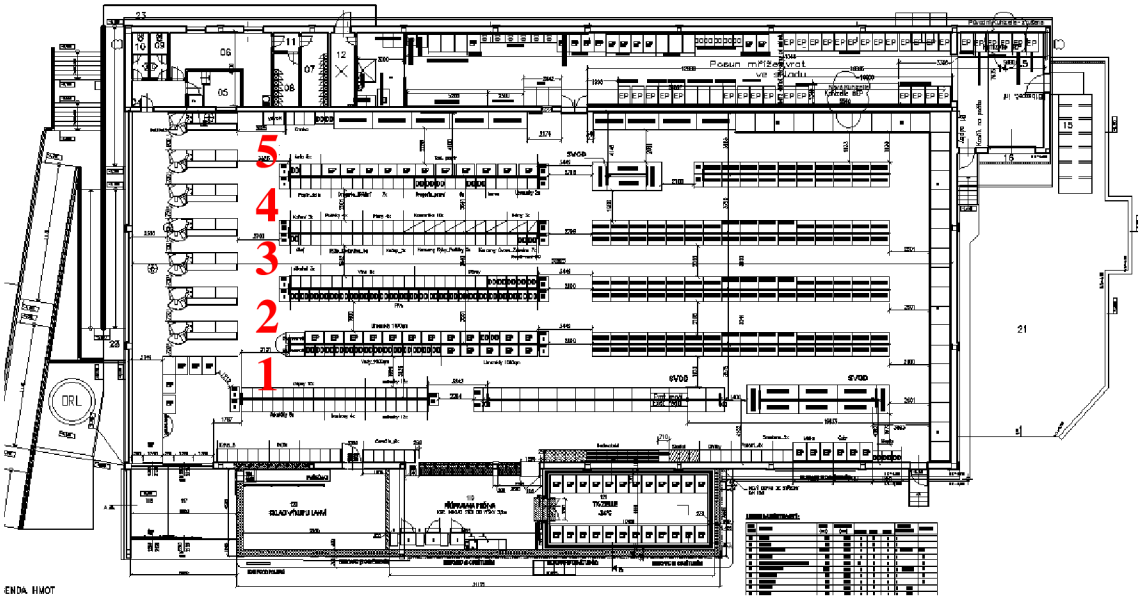
Přístroj pro měření hladiny osvětlenosti a teploty vnitřního prostředí

Měření hladiny osvětlenosti E [lx] a teploty vnitřního prostředí t [°C] proběhlo měřícím zařízením ELSEC 765 Environmental Monitor, který je vhodný pro snímání osvětlenosti a teploty vzduchu v pracovních prostorech, galeriích apod. Přístroj je určený pro měření 4 základních parametrů prostředí:

- Intenzita osvětlení - přesnost 5 %
- UV záření - přesnost 15 % ± 1 zobrazená jednotka
- Teplota vzduchu - přesnost ± 0,5 °C
- Relativní vlhkost vzduchu - přesnost ± 3,5 %

Přístroj nebyl plně využit a použil se tedy pouze pro změření intenzity osvětlení a teploty vzduchu v objektu prodejny potravin. Měřeno bylo 1,6 - 1,7 m nad podlahou ve stanoveném místě zrakového úhlu a v osách každé z jednotlivých uliček včetně skladu prodejen. Tato výška měření byla stanovená kvůli opatření pro potlačení vlivu proměnného barevného pozadí regálů při měření osvětlenosti. Při měření se postupovalo od hlavního vstupu pokladen směrem k zadním chladicím boxům. Teploty vnitřního prostředí byly monitorovány v prostorách skladu a prodejny také po délce jednotlivých koridorů. Měření probíhalo za plného provozu v noční dobu během října 2015.

Obr. 26 ELSEC 765
Environmental Monitor [19]



Obr. 27 Schéma prodejny pro značení koridorů při postupu měření

6.2.2 Měření těsnosti obálky

Těsnost obálky neboli neprůvzdušnost obálky budovy se v experimentálním měření zjistila nejrozšířenější metodou, Blower-door testem.

Postup měření neprůvzdušnosti prodejny potravin a jeho vyhodnocení probíhaly v souladu s požadavky normy ČSN EN 13829 Tepelné chování budov, Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda, která detailně popisuje postup přípravy budovy před měřením, postup měření a způsob zpracování výsledků.

Teorie měření těsnosti obálky budovy Blower Door testem

Termín Blower-door test se běžně používá pro měření vzduchotěsnosti budovy prováděné pomocí zařízení Blower Door. V principu se jedná o metodu tlakového spádu s použitím externího ventilátoru.

Před měřením je v budově potřeba zajistit, aby po vyvolání tlakového rozdílu proudil vzduch pouze těmi netěsnostmi, které jsou předmětem měření, a současně zabezpečit budovu a zařízení v ní před poškozením.

Rozlišují se dvě metody měření, které se v základě liší pouze přípravou před měřením:

- Metoda A - měření budovy v provozním stavu

- Metoda B - měření vzduchotěsnosti obálky budovy

V obou případech je potřeba před měřením:

- Vypnout všechny spotřebiče a zařízení s hořáky (plynové kotle apod.)
- Vypnout mechanické větrací systémy, lokální odtahy vzduchu, atd.
- Otevřít všechny vnitřní dveře a spojit místnosti v budově tak, aby se při měření chovala jako jediná tlaková zóna (zajištění rovnoměrného tlakového rozdílu v celé budově)

Metoda A - Větrací otvory v obálce budovy se uzavřou, ostatní záměrné otvory se ponechají ve stavu typickém pro období, kdy je v provozu systém vytápění nebo chlazení. Vyhodnocení měření metodou A má charakterizovat vzduchotěsnost budovy v provozním stavu.

Metoda B - Větrací otvory v obálce budovy se uzavřou, ostatní otvory se utěsní. Touto metodou lze měřit jak během výstavby, tak po jejím dokončení. Cílem tohoto testu je odhalit defekty v těsnosti a zjistit úspěšnost opatření vzduchotěsnosti budovy. [16]

Obr. 28 Utěsnění nuceného větrání - odvod vzduchu v prodejně

Obr. 29 Utěsnění nuceného větrání - přívodu vzduchu v prodejně

Po utěsnění otvorů vzduchotechniky a uzavření větracích otvorů v obálce budovy se osadí měřící zařízení Blower Door do určeného otvoru.

Toto měřící zařízení se skládá z:

- Teleskopického rámu
- Vzduchotěsné plachty (nebo panelu) s otvorem pro ventilátor
- Ventilátoru s plynule měnitelnými otáčkami

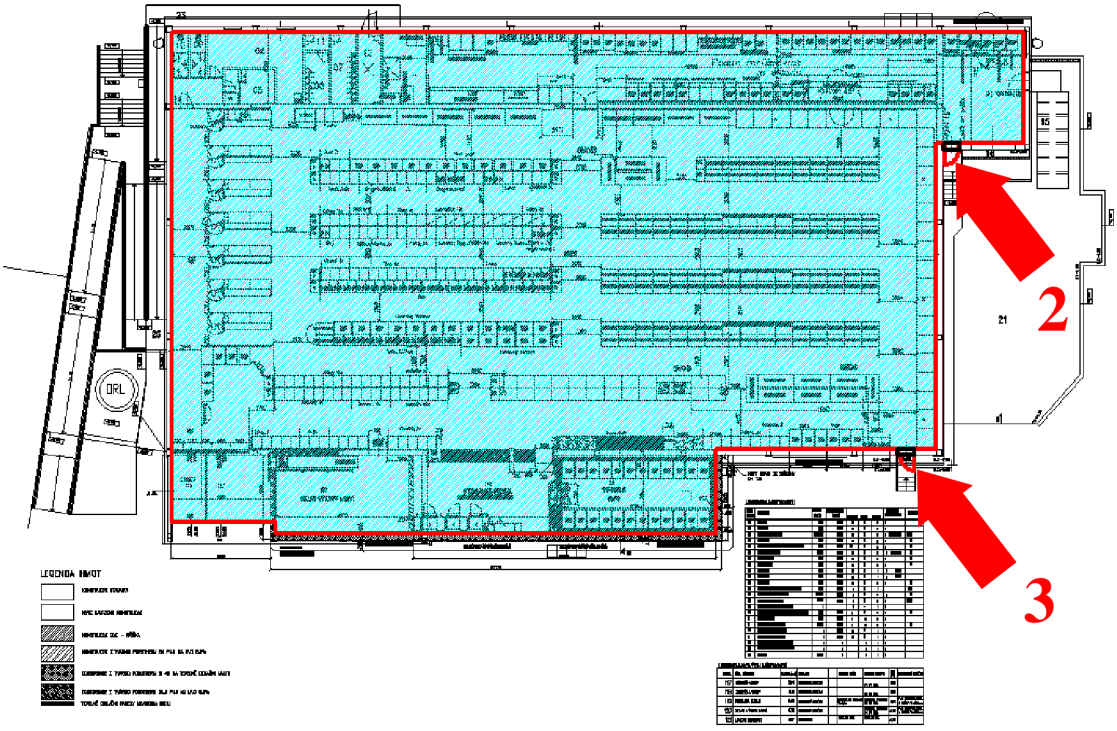
- Regulátoru otáček
- Přístrojů pro měření tlakového rozdílu a objemového toku vzduchu

Do otvoru v plachtě se nasadí ventilátor. Otvor v plachtě je řešen tak, že styk ventilátoru s plachtou je dostatečně těsný. Ventilátor má za úkol vytvořit v budově požadovaný podtlak nebo přetlak, čehož docílíme změnou otáček ventilátoru. Při měření podtlakem vysává ventilátor vzduch z budovy, při měření přetlakem naopak transponuje vzduch dovnitř. Konstrukce ventilátoru většinou umožňuje měnit směr otáčení, čímž docílíme změny směru proudění vzduchu. Postup měření podtlaku a přetlaku je stejný. Předpokládá se, že stejné množství vzduchu, které proudí ventilátorem, protéká i netěsnostmi v obálce budovy. [16]

Obr. 30 Blower-door test - ventilátory 3/5 - interiér (Prodejna)

Obr. 31 Blower-door test - ventilátory 2/5 - interiér (Sklad)

Ventilátory na obr. 30 a obr. 31 jsou umístěny ve dveřích obálky budovy v prostorách prodejny a skladu. Půdorysné schéma viz obr. 32.



Obr. 32 Umístění ventilátorů Blower-door testu v zóně budovy pro měření neprůvzdušnosti

Tlaková zóna budovy, *Hranice tlakové zóny budovy*

Obr. 33 Pohled na umístěné ventilátory za provozu Blower-door testu z exteriéru

Pro měření neprůvzdušnosti se v budově vytvoří pouze jedna zóna ohraničená těsnou obálkou budovy, tlaková zóna. Tato zóna je vyznačená ohraničením objektu na obr. 32. Plocha obálky, podlahová plocha a objem této zóny jsou stanoveny vnitřními rozměry

budovy, čili objemem celé budovy bez tloušťky obvodových stěn a podlahy. Horní hranice se počítá po okraj nosné konstrukce stropu, po parotěsnící vrstvu.

Postup měření se obecně skládá z těchto dílčích kroků:

- *Kontrola klimatických podmínek před měřením* - kontrola tlakových účinků větru a rozdílu teploty vnitřní a vnější. Požadavky a limitní hodnoty jsou stanoveny v normě ČSN EN 13829
- *Osazení měřícího zařízení* - kromě samotného osazení ventilátorů do dveřního otvoru se nejprve zvolí správné otvory pro osazení ventilátorů. Zajistí se volné proudění vzduchu v prostorách před a za ventilátorem, spojení mezi měřícím zařízením a obvodovými konstrukcemi musí být vzduchotěsné. Tlaková čidla musí být chráněna před poškozením
- *Volba posloupnosti tlakových rozdílů* - určuje se nejnižší a nejvyšší úroveň tlakového rozdílu. Každé měření by se mělo skládat alespoň z pěti měřících bodů, z toho několik měřících bodů by mělo být realizováno při tlakovém rozdílu vyšším než 50 Pa, s ohledem na rozsah přístroje a rizika poškození budovy
- *Měření základního tlakového rozdílu před začátkem testu*
- *Měření závislosti objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu* - cílem testu je změřit objemový tok vzduchu proudící netěsnostmi při různých úrovních tlakového rozdílu vyvolaného ventilátorem. Postupuje se od nejvyššího tlakového rozdílu k nejnižšímu. Potřebné otáčky se nastavují buď manuálně, nebo automaticky
- *Měření základního tlakového rozdílu po skončení testu*

Základní tlakový rozdíl - jedná se o přirozený tlakový rozdíl, vyvolaný účinkem větru a rozdílu teplot nezávisle na činnosti měřícího za řízení. Základní tlakový rozdíl se měří těsně před začátkem a po ukončení testu, kde je měřící zařízení již osazeno v konstrukčním otvoru a ventilátory jsou zde dočasně zakryty, viz obr. 34. Z těchto naměřených hodnot se vypočítá průměrná hodnota pro použití ke korekci naměřených hodnot tlakového rozdílu při vyhodnocení výsledků. [16]

Obr. 34 Blower-door test - měření základního tlakového rozdílu (Baseline)

Dnešní moderní zařízení jsou kontrolovány počítačem, takže měření probíhá zcela automaticky. Výsledkem měření je komplex hodnot objemového toku vzduchu změřených při různých tlakových rozdílech. Pomocí rovnice proudění se vypočte objemový tok vzduchu při 50 Pa, V_{50} a z něj se odvodí hodnota N_{50}. [23]

Přístroj pro měření těsnosti obálky - Blower Door test

Měření neprůvzdušnosti obálky proběhlo zařízením Blower Door Minneapolis Multifan. S tímto typem zařízení se třemi ventilátory lze provádět diagnostiku rodinných domů, ale i rozsáhlých objektů průmyslových, administrativních o objemu vnitřního vzduchu budov až 445 000 m^3 a s průtokem vzduchu přes ventilátory až 22 500 m^3/h. Součástí zařízení jsou tlaková čidla DG 700. Kalibrace přístroje proběhla naposledy v říjnu roku 2015.

Měřeno bylo s pěti ventilátory, které byly umístěny v prostorách vstupu do hlavni prodejny a ve vstupu do skladu jak již bylo popsáno v kapitole teorie měření těsnosti obálky budovy u obr. 30, 31, 32. Vstupní údaje pro měření jako je podlahová plocha, plocha obálky a objem měřené zóny byly vypočítány z poskytnuté projektové dokumentace modelové prodejny potravin. Tyto parametry se daly odečíst z řezů a půdorysů projektové dokumentace.

Obr. 35 Základní balení prvků Blower-door testu [24]

Měřící a vyhodnocovací software Blower Door testu TECLOG3 a TECTITE Express Manual, Verze 4.1

TECTITE Express Manual, Verze 4.1 - software se používá při samotném měření Blower-door testu, kde počítačově řídí ventilátory Blower Door Minneapolis Multifan zařízení. Program je používán k provedení testu, ale i k vyhodnocení. Před měřením se v programu musí projít jednotlivými kroky zadávání bližších údajů o měřené budově.

V prvním kroku je třeba zadat vstupní údaje (datum testu, jméno měřícího technika, údaje o objednateli, informace o budově a dimenze budovy, jako je objem budovy, podlahová plocha, ploch a obálky budovy, výšku a stavební neurčitost).

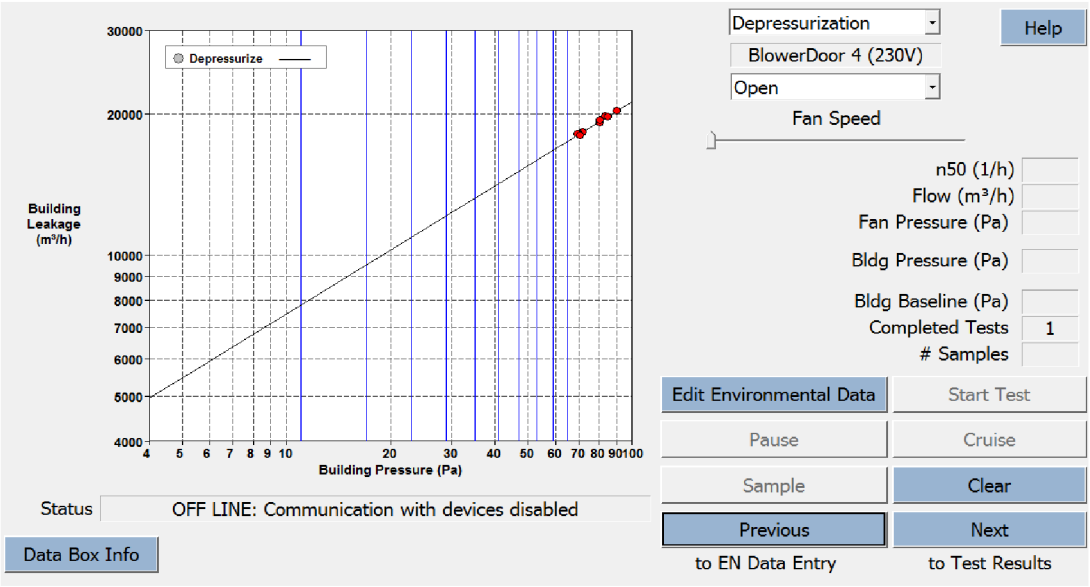
Dalším krokem je nepovinné pole, možnost poznámek, komentářů k budově, např. komentář ke konstrukčnímu systému budovy apod.

Následuje nastavení testu. Zde se vybírá, dle jaké normalizace se bude postupovat (v diplomové práci zvolena norma ČSN 13 829), dále zadávání tlakových rozdílů (automaticky nebo manuálně), parametry auto testu (limit nejvyššího tlakového rozdílu, počet naměřených hodnot, start ventilátoru [%] apod.).

Čtvrtým krokem se přistupuje k zadávání dat dle ČSN EN 13 829. Volí se metoda A nebo B, třída působícího větru, větrná expozice budovy, způsob větrání, vytápění, chlazení budovy, barometrický tlak a volí se zde i limitní intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (N_{50}), která je zvolena doporučenou hodnotou pro budovy kombinovaně větrané 4,5 [1/h].

Další částí je již přistoupeno ke spuštění testu, kde se zvolí, jestli jde o měření podtlaku anebo přetlaku. Před zahájením činnosti ventilátorů se naměří základní tlakový

rozdíl se zakrytým ventilátorem. Po spuštění je na jednotlivých měřících bodech zaznamenáván počet měření. Průměrný objemový tok vzduchu při tlakovém rozdílu je vynesen do grafu viz obr. 20



Obr. 36 Měření a vyhodnocení Blower-door testu softwarem TECTITE Express Manual

TECLOG3 - Monitoruje a uchovává naměřená data z tlakového čidla DG-700. umožňuje sledování grafického zaznamenávání hodnot při měření podtlaku/přetlaku v budově. Při zpětném vyhodnocování naměřených hodnot software dává přehled o naměřených hodnotách v jednotlivých úrovních tlakového rozdílu a dává možnost přehledně měření rozdělit do úseků s cílem přesnějšího vyhodnocení. [24]

Obr. 37 Měření a vyhodnocení Blower-door testu softwarem TECLOG3

6.2.3 Termovizní měření

Teorie termovizního měření

Infračervená kamera měří a zobrazuje objektem vyzařované infračervené záření. Záření přímo závisí na povrchové teplotě objektu a umožňuje kameře tuto teplotu vypočítat a zobrazit.

Radiace změřená kamerou nezávisí pouze na teplotě objektu, ale také na emisivitě. Záření se odráží od objektu a vzniká v okolním prostředí. Záření objektu a odražené záření jsou taktéž ovlivněny pohlcováním při průchodu atmosférou.

K přesnému měření teploty je proto nutné kompenzovat účinky různých zdrojů radiace. Kompenzaci kamera provádí samočinně za provozu. Do kamery je však nutné zadat následující parametry objektu:

- emisivitu objektu
- odraženou teplotu
- vzdálenost mezi objektem a kamerou
- relativní vlhkost

Emisivita objektu je poměr množství záření emitovaného objektem a záření dokonalého černého tělesa. Vyzařování běžných materiálů a upravených povrchů vykazuje emisivitu přibližně v rozsahu od 0,1 do 0,95. Vyleštěný povrch (zrcadlo) má emisivitu nižší než 0,1, kdežto oxidovaný nebo natřený povrch má emisivitu mnohem vyšší. Olejové barvy mají ve viditelném spektru emisivitu, nezávisle na jejich barvě, větší než 0,9. Lidská pokožka má emisivitu blízkou 1. Neoxidované kovy jsou extrémním případem skoro naprosté nepropustnosti a vysoké odrazivosti, která se moc nemění v různých vlnových délkách. Nízká emisivita kovů se zvyšuje pouze s teplotou. Nekovy mají většinou vysokou emisivitu, která se s teplotou snižuje.

Odražená teplota okolí se používá ke kompenzaci záření odraženého od objektu a záření emitovaného atmosférou mezi kamerou a objektem. Je-li emisivita nízká, vzdálenost vysoká a teplota objektu relativně blízká teplotě okolí, je velmi důležité nastavit a kompenzovat hodnotu okolní teploty. [7]

Přístroj pro termovizní měření

Termovizní měření, tp [°C], proběhlo termovizní kamerou FLIR B425. Termovizní měření na prodejně potravin bylo použito k detekci netěsností v budově. Parametry a zobrazovací vlastnosti termovizní kamery jsou:

- Rozlišení 320 x 240 pixelů
- Prostorové rozlišení 1,36 mrad
- Teplotní citlivost 50 mK 30 ^{0}C
- Teplotní rozsah -20 ^{0}C až + 350 ^{0}C ve dvou rozsazích
- Zorné pole / minimální ostřící vzdálenost 25 ^{0} x 19 ^{0} 0,4 m
- Spektrální rozsah 7,5 - 15 µm
- Typ detektoru - nechlazený FPA microbolometer

Termovizní snímkování vnitřního prostředí, vybavení a obálky budovy proběhlo za běžného provozu prodejny potravin a za podtlaku při měření vzduchotěsnosti obálky budovy Blower-door testem.

Pro měření termografie byly zadány tyto parametry objektu:

- Emisivita objektu - ε = 0,95 pro stavební povrch (omítky, podhledy)
  ε = 0,6 pro lesklý povrch regálů, dlažby
- Relativní vlhkost - 60 % pro vnitřní prostředí
  80 % pro exteriér

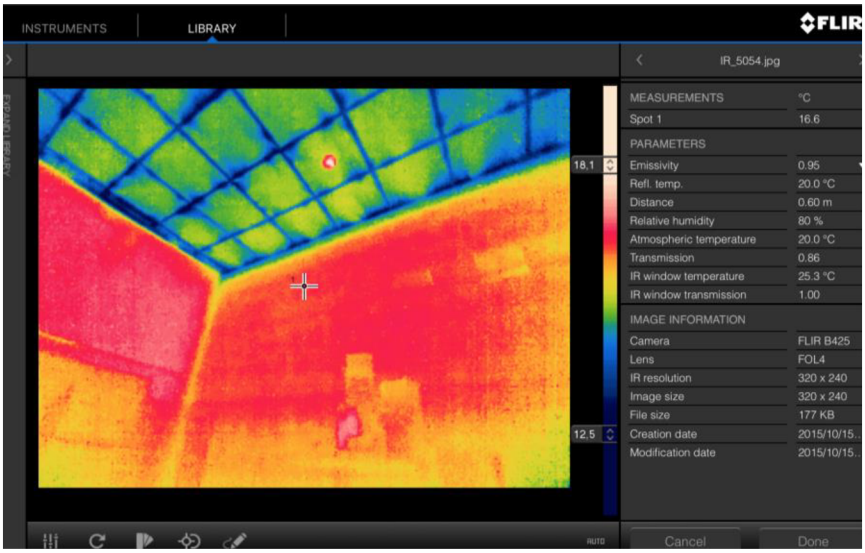
Vzhledem k období zpracování, rozdíl teplot vnitřních a vnějších nebyl výrazný.

Obr. 38 Termovizní kamera FLIR B425 [20]

Vyhodnocovací software termovizního měření FLIR Tools

Software FLIR Tools je základní software, který je součástí termokamery FLIR. Základními funkcemi FLIR Tools je editace snímků z termokamery, tvorba jednoduchých protokolů, záznam a přehrávání radiometrického videa. Editací termogramů je možné:

- zobrazení základních informací o snímku (datum pořízení, model termokamery apod.)
- editace všech pěti parametrů měření, tj. emisivity, zdánlivé odražené teploty, vzdálenosti, teploty atmosféry a vlhkosti atmosféry
- čtení a editace textové poznámky, přečtení geolokace
- přidání libovolného počtu měřicích bodů
- přidání libovolného počtu oblastí včetně zobrazení minim a maxim
- přidání libovolného počtu delta funkcí pro stanovení teplotních rozdílů
- změnit paletu barev
- přidat izotermu (nad, pod, interval, …)
- změnit teplotní rozsah [25]



Obr. 39 Ukázka editace termovizních snímků v softwaru FLIR Tools

7 DÍLČÍ VÝSLEDKY DIPLOMOVÉ PRÁCE

7.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY Z EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

7.1.1 Osvětlení

Výsledná hodnota osvětlenosti je stanovena průměrováním všech naměřených hodnot zvlášť pro prodejnu a zvlášť pro sklad.

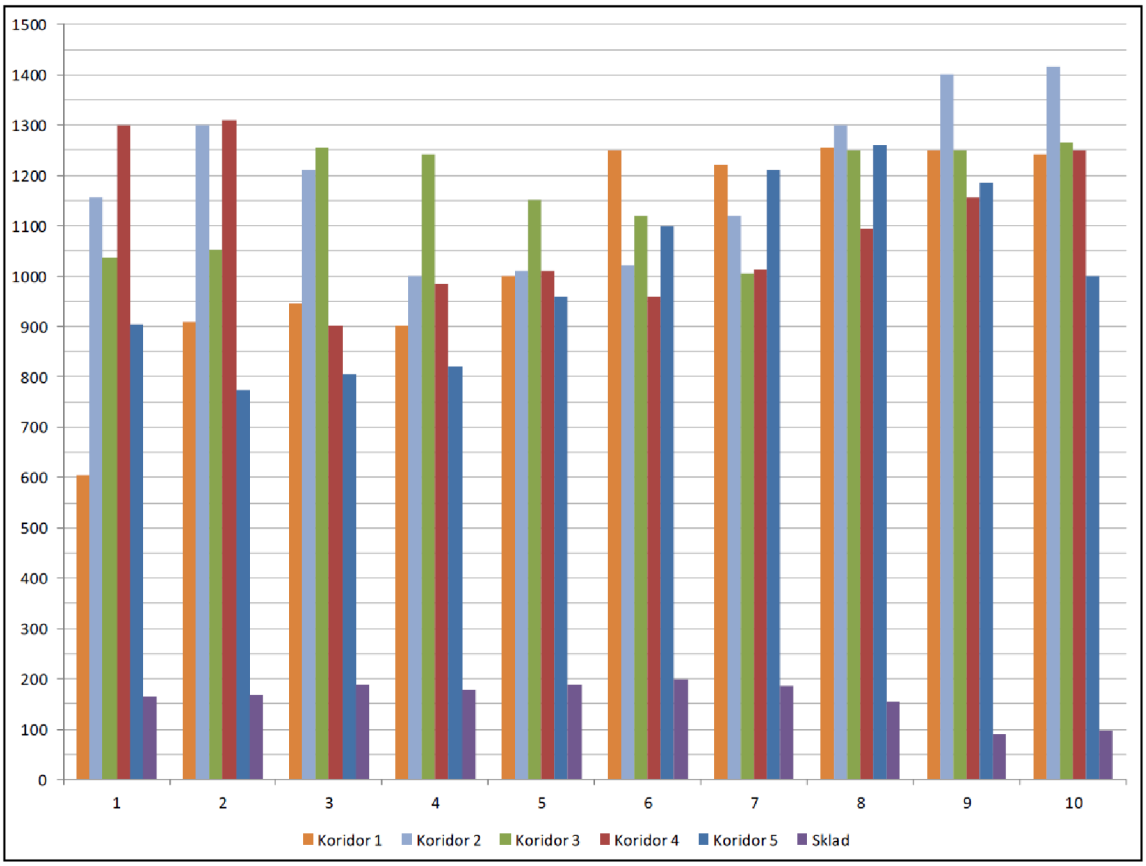
Postup měření osvětlenosti prodejny a skladu viz kapitola 6.2.1. Jde o hodnoty reálného sdruženého osvětlení. Typ svítidel a naměřené hodnoty osvětlenosti jednotlivých koridorů, jsou uvedeny v následujících tabulkách a grafu.

Tab. 8 Typy svítidel v modelové prodejně potravin

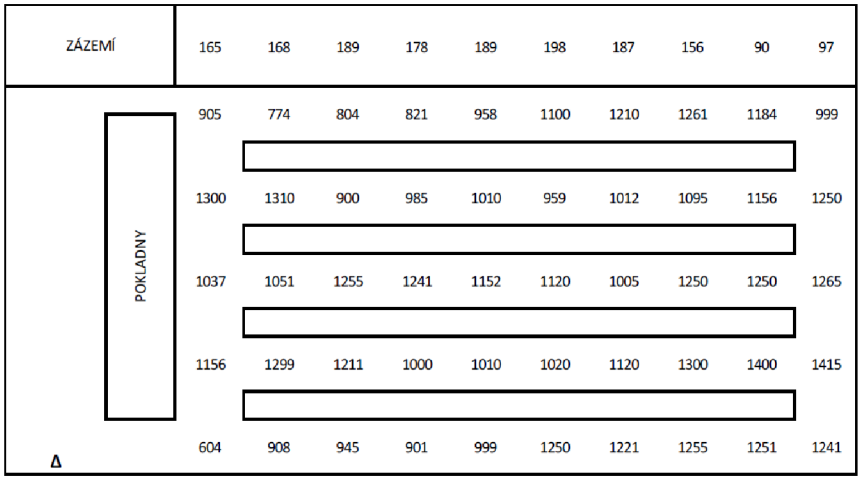
Koridory	RIDI Leuchen GmbH A (AN). Přímozářící lištové svítidlo 16-54W
Uličky u pokladen	RIDI Leuchen GmbH B. Přímozářící lištové svítidlo 54W
Zázemí, zádveří	RIDI Leuchen GmbH A1. Přímozářící samostatné svítidlo 54W
Uličky, O+Z, pečivo	RIDI Leuchen GmbH M1,M2. Bodové svítidlo EBDS WHT 195 70W
Sklady, zásobování	RIDI Leuchen GmbH F (FN, F1) Prachotěsné svítidlo 54W

Tab. 9 Naměřené hodnoty jednotlivých koridorů

[lux]	Kontrolní bod											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Průměr celk.
Koridor 1	604	908	945	901	999	1250	1221	1255	1251	1241	1057,5	1102,5
Koridor 2	1156	1299	1211	1000	1010	1020	1120	1300	1400	1415	1193,1	
Koridor 3	1037	1051	1255	1241	1152	1120	1005	1250	1250	1265	1162,6	
Koridor 4	1300	1310	900	985	1010	959	1012	1095	1156	1250	1097,7	
Koridor 5	905	774	804	821	958	1100	1210	1261	1184	999	1001,6	
Sklad	165	168	189	178	189	198	187	156	90	97	161,7	161,7



Obr. 40 Grafické znázornění naměřených hodnot osvětlenosti

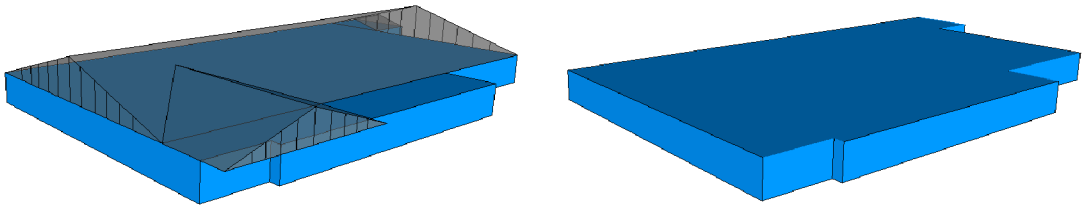


Obr. 41 Schéma rozložení osvětlenosti v prodejně

Pro další postup při vyhodnocování osvětlenosti jsou stěžejní naměřené celkové průměrné hodnoty pro zónu prodejny a zónu skladu. V tomto případě se jedná o hodnotu 1102,5 lx pro zónu 1 (prodejna) a 161,7 lx pro zónu 2 (sklad).

7.1.2 Blower Door test

Postup a metodika měření těsnosti obálky budovy je popsána v kapitole 6.2.2. Vstupními údaji pro měření neprůvzdušnosti na modelové prodejně jsou v první řadě parametry tlakové zóny, což je součet všech *vnitřních* prostorů. Vnitřní objem tlakové zóny zohledňuje prodejní regály umístěné v prodejně odečtením 10 % od celkového vnitřního objemu tlakové zóny:



Obr. 42 Model tlakové zóny prodejny potravin

Vnitřní objem:	6179 m^3
Vnitřní podlahová plocha AF:	1716 m^2
Plocha vnitřní obálky AE:	4097 m^2
Konstrukční výška:	3,6 m

Dále se zvolí metoda měření, kterou je Metoda B dle ČSN 13 829. Síla působícího větru je třída 2, lehký vánek. Větrná expozice budovy zvolena jako částečně chráněná budova a venkovní snímače tlaku jsou dva. Barometrický tlak je 98 000 Pa. Vnitřní teplota 20 °C a venkovní teplota 8 °C.

Při měření podtlaku a přetlaku se stanovil nejprve základní tlakový rozdíl, viz tabulka 10.

Tab. 10 Základní tlakový rozdíl při podtlaku a přetlaku

Podtlak:				
Základní tlakový rozdíl:	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
	0,2	0,0	0,1	-0,1

Přetlak:				
Základní tlakový rozdíl:	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
	1,3	-0,6	0,2	-0,3

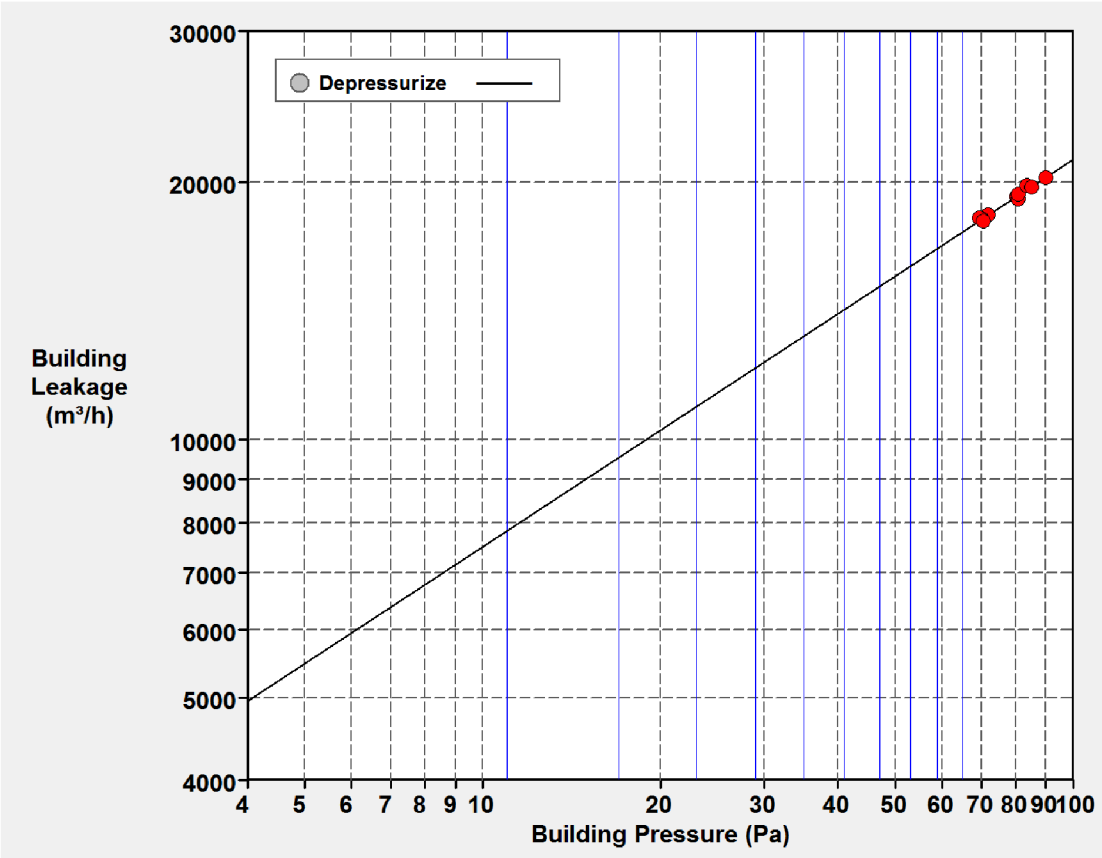
Následuje souhrn naměřených hodnot spolu s grafickým znázorněním.

Podtlak

Tab. 11 Interval spolehlivosti při podtlaku

Correlation Coefficient r:		0,99979	Interval spolehlivosti	
C_{env}	$[m^3/(h.Pa^n)]$		5047,9	**16,5%**
C_L	$[m^3/(h.Pa^n)]$		5077,2	**16,5%**
n	[-]		**0,314**	0,039%

Interval spolehlivosti se běžně pohybuje přibližně kolem hodnoty 3,5 %, při měření podtlaku v prodejně se získala hodnota 16,5 %. Parametr proudění *n* byl naměřen 0,314. Hodnota *n* se řídí limitním intervalem <0,5;1>, kde 0,5 je hraniční hodnota turbulentního proudění a 1 hodnota lineárního proudění. Na základě uvedeného intervalu se může konstatovat, že při měření podtlaku v budově vznikalo turbulentní proudění a naměřená hodnota nevyhovuje požadovaným hodnotám.



Obr. 43 Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při podtlaku na regresní přímce

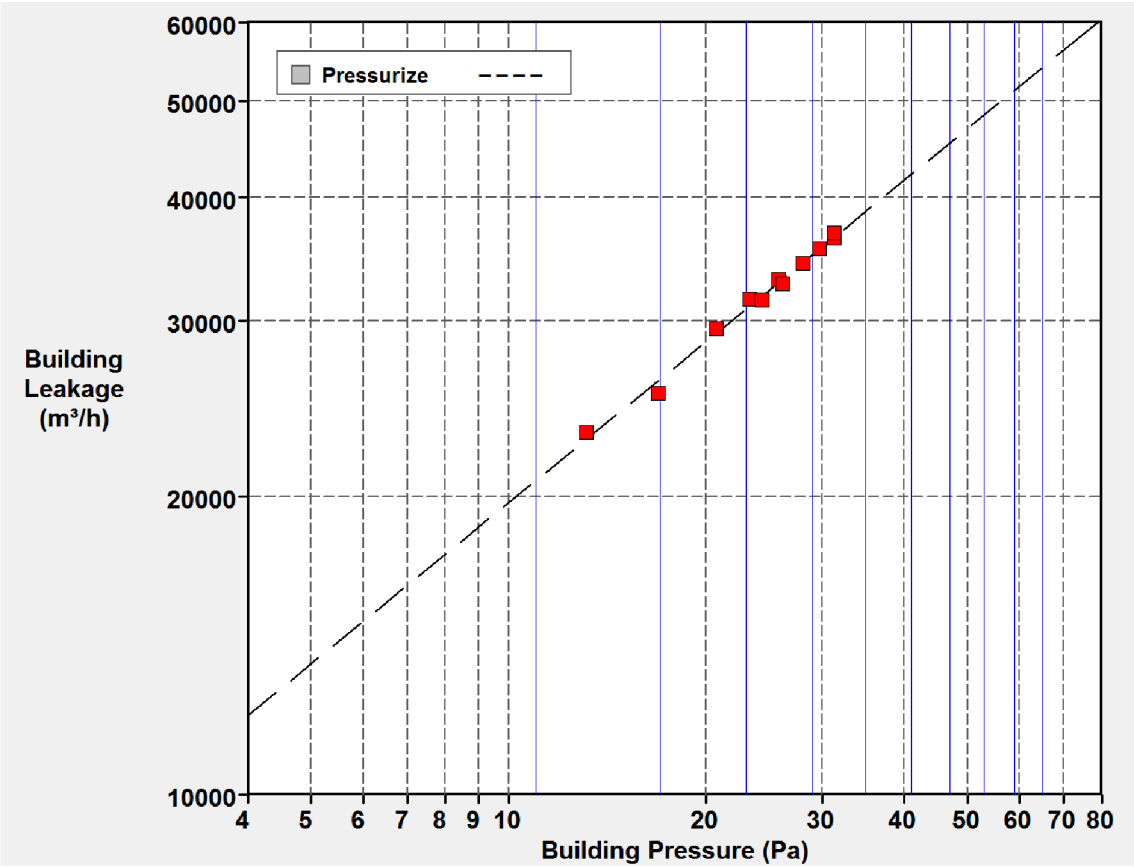
Závislost objemového toku vzduchu V_{env} (m^3/h) a tlakového rozdílu Δp (Pa)

Přetlak

Tab. 12 Interval spolehlivosti při přetlaku

Correlation Coefficient r:		0,99970	Interval spolehlivosti	
C_{env}	$[m^3/(h.Pa^n)]$		6330,6	9,2%
C_L	$[m^3/(h.Pa^n)]$		6228,7	9,2%
n	[-]		0,514	0,029%

Při měření přetlaku v prodejně byla naměřena hodnota 9,2 %. Hodnota proudění *n* je 0,514. Dle limitního intervalu <0,5;1> zjištěná hodnota splňuje požadavky a jelikož se parametr proudění *n* blíží hraniční hodnotě 0,5, potvrzuje tak tvrzení, že proudění při měření přetlaku bylo opět turbulentní.



Obr. 44 Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při přetlaku na regresní přímce

Závislost objemového toku vzduchu V_{env} (m^3/h) a tlakového rozdílu Δp (Pa)

Výsledky celkového vyhodnocení neprůvzdušnosti prodejny potravin viz tab. 13. Nejdůležitější hodnotou celého měření těsnosti obálky budovy pro další vyhodnocení energetické náročnosti budovy je hodnota N_{50}. Hodnotu N_{50} jsme při měření podtlaku získali 2,79 [1/h] a při přetlaku 7,50 [1/h]. Následné energetické vyhodnocování objektu s reálnými spotřebami bude pro zadávání intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa použita průměrná hodnota z měření podtlaku a přetlaku a to sice N_{50} = 5,2 [1/h].

Vzhledem k tomu, že doporučená hodnota neprůvzdušnosti budov dle ČSN 730450-2 pro kombinovaně větrané budovy je N_{50} = 4,5 [1/h], tak zprůměrovaná naměřená hodnota Blower-door testem N_{50} = 5,2 [1/h] nesplňuje požadavky předpisu.

Tab. 13 Přehled celkového vyhodnocení Blower-door testu na prodejně potravin

	V_{50} m^3/h	Nejistota %	n_{50} h^{-1}	Nejistota %	w_{50} $m^3/m^2.h$	Nejistota %	q_{50} $m^3/m^2.h$	Nejistota %
Podtlak	17 332	1,20%	**2,79**		10,06		2,97	
Přetlak	46 497	2,50%	**7,50**		26,99		7,96	
Průměr	31 915		**5,15**		18,53		5,47	

Výsledky nesplňující doporučené hodnoty normy jsou většinou způsobeny špatným provedením obalových konstrukcí. V případě řešené modelové prodejny potravin se pravděpodobně jedná o nedbale provedenou parotěsnící vrstvu ve stropní konstrukci. Prokazují to výrazně rozdílné výsledky mezi přetlakem a podtlakem. Příčinou je, že se při přetlaku parotěsná fólie vyduje a spáry spojů fólie se rozšíří. Při podtlaku se naopak fólie prohne, spáry se dotěsní a dochází ke kontaktu s nosnou konstrukcí kazetového podhledu. Fólie je volně ložená, spoje s přesahy, nelepené. Nevyhovující výsledky měření nevylučují ani chyby v návrhu a provedení stavebních obalových konstrukcí.

7.1.3 Vnitřní teplota

Postup měření a přístroj pro měření vnitřní teploty je popsán v kapitole 6.2.1. Zásadní rozdíl mezi teploty byl naměřen v prostorách prodejních regálů prodejny a v zadní částí u chladicích boxů.

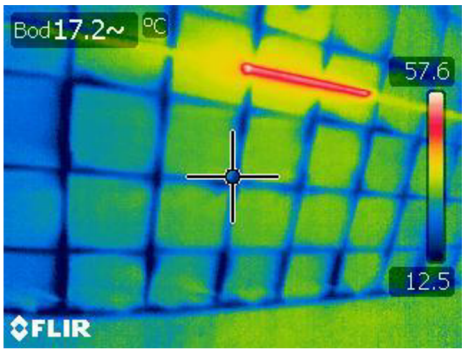
Teplota v prostoru prodejny	<22;23>	°C
Teplota u chladicích boxů v prodejně	<19,5;21>	°C
Teplota ve skladu	<17;19>	°C

Hodnoty jsou závislé na konkrétních podmínkách období, denní doby, ve kterém měření probíhalo a míry návštěvnosti. Ve výpočtu reálných spotřeb a naměřených hodnot jsou použity hodnoty požadovaných teplot 21 °C pro prodejnu a 12 °C pro skladové prostory.

7.1.4 Termovizní snímky

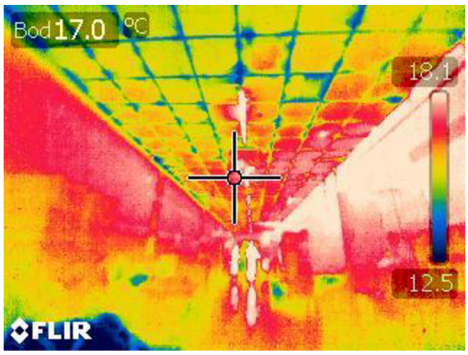
V kapitole 6.2.3. je zmíněn postup měření, měřicí přístroj a vstupní hodnoty pro měření. Na získaných termovizních snímcích je vyhraničena oblast, která zobrazuje nejnižší a nejvyšší povrchovou teplotu, některé snímky jsou doplněny i o kontrolní body. Termogramy jsou uvedeny spolu s reálným snímkem z posuzované oblasti.

První snímky ukazují netěsnosti budovy při měření průvzdušnosti. Jedná se o uměle vyvolaný podtlak ventilátory, díky kterému vzniká možnost pozorovat pronikání chladného vnějšího vzduchu netěsnostmi do interiéru objektu. Vnější vzduch pak ochlazuje okolní konstrukce. Pomocí termovizní kamery byly při měření průvzdušnosti lokalizovány jednotlivé netěsnosti, ty se na snímcích projevují ochlazením mezi pohledovými kazety.



Obr. 45 SDK pohled v prodejně při podtlaku - vykreslení vzduchové netěsnosti

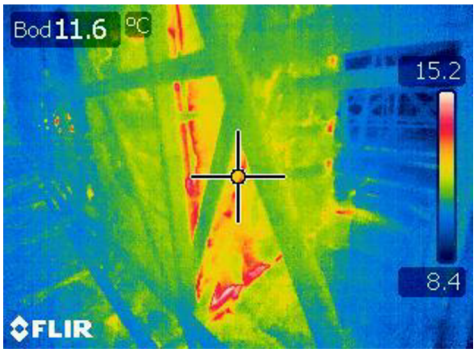
Obr. 46 Reálný snímek z místa vytvoření termogramu - prodejna



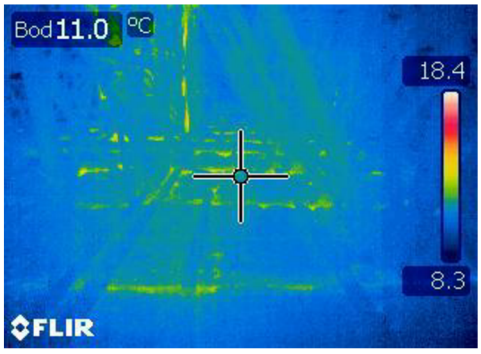
Obr. 47 SDK pohled ve skladu při podtlaku - vykreslení vzduchové netěsnosti

Obr. 48 Reálný snímek z místa vytvoření termogramu - sklad

Z termografických snímků je zřejmá plošná netěsnost na měřené budově. Tyto netěsnosti jsou způsobeny volně loženou parozábranou bez lepených spojů, spoje jsou pouze s přesahem, kterými může vzduch volně proudit.

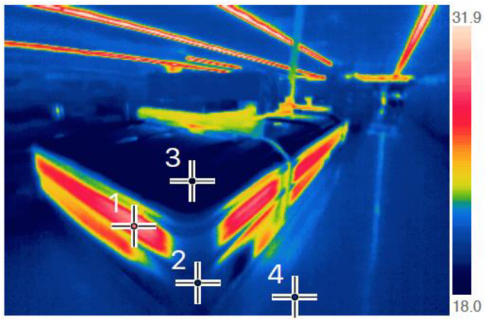


Obr. 49 Odtah vzduchotechnické jednotky v krovním prostoru při přetlaku - vykreslení vzduchové netěsnosti

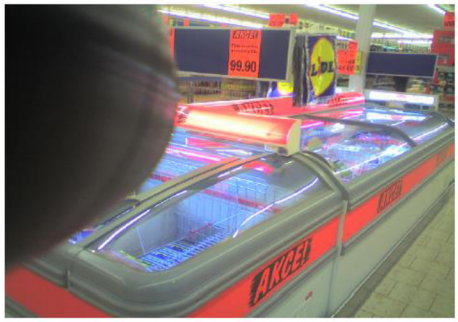


Obr. 50 Prostor krovu při měření přetlaku - vvkreslení vzduchové netěsnosti

Další snímky ukazují termogramy mimo měření průvzdušnosti. Znázorňují úniky tepla a chladu spotřebiči umístěnými v prodejně, skladu a dále konstrukčními nepřesnostmi v obálce budovy.



Obr. 51 Termogram chladicí truhly

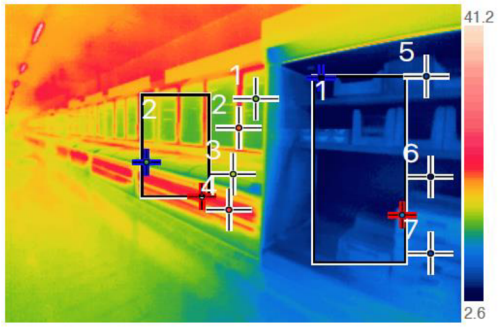


Obr. 52 Reálný snímek chladící truhly

Teplota v kontrolních bodech obr. 51

Bod 1 - 29.4 °C **Bod 3** - 18.2 °C

Bod 2 - 20.0 °C **Bod 4** - 20.5 °C



Obr. 53 Termogram chladicích boxů a chladicích regálů

Obr. 54 Reálný snímek chladicích boxů a chladicích regálů

Teplota v kontrolních bodech obr. 53

Bod 1 - 15.2 °C **Bod 5** - 7.0 °C

Bod 2 - 22.2 °C **Bod 6** - 4.4 °C

Bod 3 - 16.5 °C **Bod 7** - 7.0 °C

Bod 4 - 22.2 °C

Teplota v kontrolních plochách obr. 53

Plocha 1 - Tmin 2.7 °C

Plocha 1 - Tmax 11.4 °C

Plocha 2 - Tmin 12.4 °C

Plocha 2 - Tmax 24.1 °C

V prodejně se vyskytují dva typy chladicích boxů. Uzavřené boxy/skříně a otevřené chladicí regály. Dle termovizních snímků můžeme odhadnout, že mezi otevřenými a uzavřenými chladicími boxy je pravděpodobně výrazný rozdíl v působení na tepelnou bilanci interního klimatu prodejny.

Obr. 55 Termogram pekárny

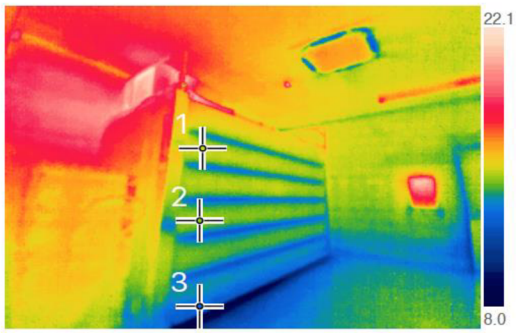
Obr. 56 Reálný snímek pekárny

Teplota v kontrolních bodech obr. 55

Bod 1 - 30.4 °C **Bod 3** - 20.4 °C

Bod 2 - 27.5 °C

V kontrolním bodě č. 2 obr. 56 je vyznačen horký vzduch stoupající nad pekárnou. Tato tepelná energie je vyzařovaná přes obvodovou stěnu budovy.



Obr. 57 Termogram mrazicího boxu v prostorách skladu

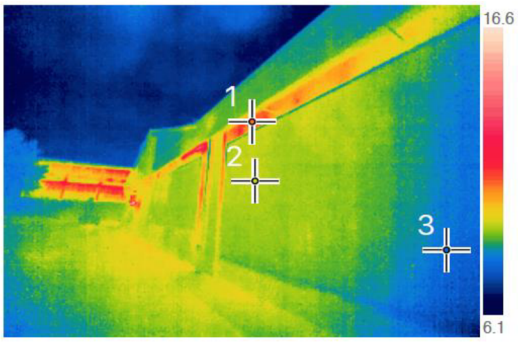
Obr. 58 Reálný snímek mrazicího boxu v prostorách skladu

Teplota v kontrolních bodech obr. 57

Bod 1 - 15.1 °C **Bod 2** - 14.6 °C **Bod 3** - 12.6 °C

Na obr. 58 je znázorněn termogram mrazicího boxu umístěného v prostorách skladu. Tento spotřebič vyzařuje chlad a ochlazuje tak interiér skladu. Ve skladu se objevuje i zboží s různou teplotou, které na sebe vzájemně působí.

Další termogramy navážou na tepelné mosty v obalových konstrukcích budovy, včetně obvodových dveří a zasklených ploch.



Obr. 59 Termogram obvodové stěny prodejny s viditelnými tepelnými mosty konstrukce

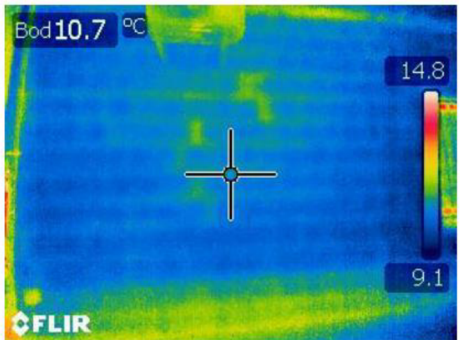
Obr. 60 Reálný snímek obvodové stěny prodejny

Teplota v kontrolních bodech obr. 59

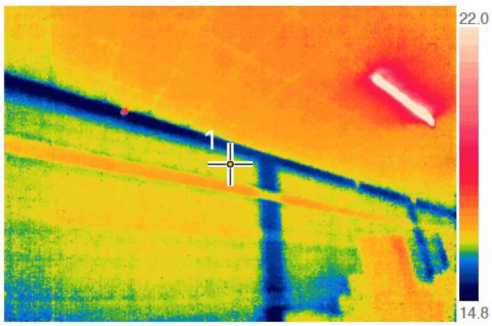
Bod 1 - 11.0 °C **Bod 3** - 8.1 °C

Bod 2 - 9.5 °C

Obr. 59 znázorňuje systémové tepelné mosty v obvodové konstrukci, kde teplý vzduch z interiéru uniká do exteriéru. Obr. 61 vykresluje viditelné spáry jednovrstvé zděné výplně skeletu prodejny.



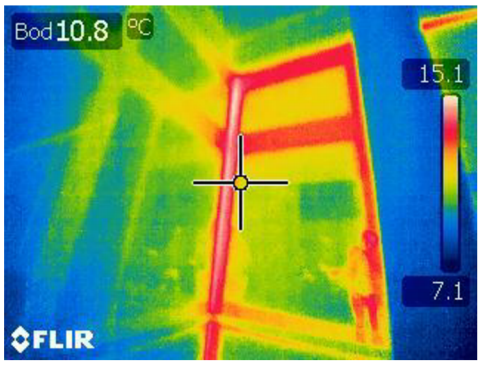
Obr. 61 Termogram obvodové stěny prodejny s viditelnými spáry zděné výplně



Obr. 62 Termovizní snímek při styku obvodové stěny a podhledu

Obr. 63 Snímek styku obvodové stěny a podhledu

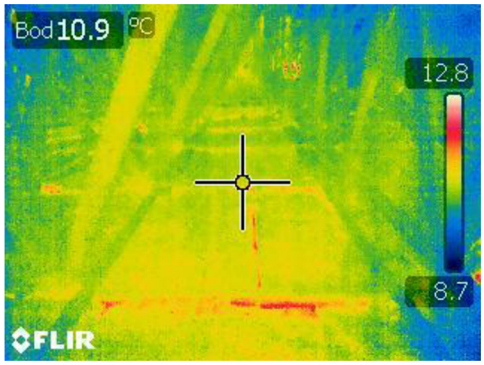
Na obr. 62 je termogram při pohledu na podhled ve skladu prodejny. Snímek ukazuje systematickou netěsnost ve styku s obvodovou stěnou a podhledem.



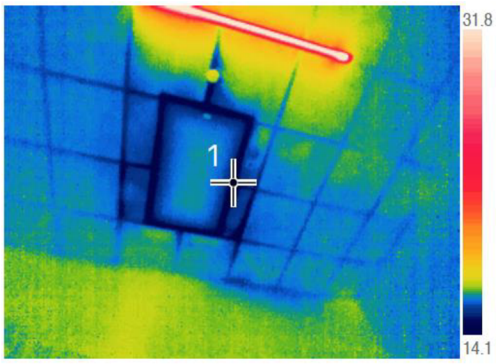
Obr. 64 Termogram styku výplní otvorů

Obr. 65 Styk výplní otvorů

V závislosti na okolních podmínkách proudí teplý vzduch z interiéru do exteriéru netěsnostmi na styku okenní profilů u prosklených ploch při vstupu do prodejny, viz obr. 64.



Obr. 66 Termovizní snímek střešního prostoru

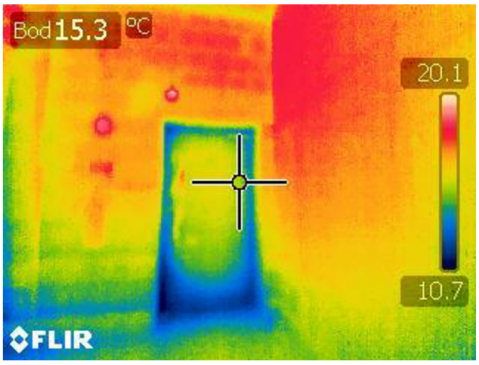


Obr. 67 Termovizní snímek výlezu do půdního prostoru

Na termovizním snímku obr. 66 je znázorněn podkrovní prostor. Ukazuje systematické tepelné mosty. Důvodem těchto tepelných mostů je přerušovaná tepelně izolační vrstva ložená na stropní konstrukci budovy. Lokální netěsnosti v tepelně izolační vrstvě se projevují hlavně u prostupů v podhledu.

U půdních schodů pro výlez na střechu se také projevuje netěsnost, viz obr. 67.

Únikové východy prodejny jsou se značnou netěsností vlivem neseřízených dveří únikového východu a východu ze skladu. Patrno na snímku obr. 68.



Obr. 68 Termovizní snímek únikového východu

7.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OBÁLKY BUDOVY

Následující část práce se detailněji zabývá posuzováním ochlazujících konstrukcí prodejny potravin a hodnocením více zónové obálky budovy.

7.2.1 Skladby obalových konstrukcí zón

V tabulkách jsou vypsány všechny druhy skladeb obvodových konstrukcí. Skladby jsou rozděleny do zón dle zónování objektu, viz kapitola 6.1.2. Všechny skladby jsou uváděny od interiéru k exteriéru.

Svislé konstrukce

Jedná se o všechny konstrukce, tvořící neprůsvitnou fasádu objektu. Konstrukce může být ve styku s vnějším vzduchem, zeminou nebo s nevytápěným prostorem.

Tab. 14 Svislé neprůsvitné konstrukce

Název konstrukce: Porotherm 36,5 P+D_k EXT				**F1**
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Stěna vnější těžká		Návrhová vnitřní teplota:		21 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Omítka vápenná	0,970	-	15
2	Porotherm 36,5 P+D	0,170	-	365
3	Omítka vápennocementová	0,870	-	20
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,13	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	2,186	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,425**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Porotherm 24 P+D_k NEV				F2
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Stěna vnější těžká		Návrhová vnitřní teplota:		12 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Omítka vápenná	0,970	-	15
2	Porotherm P+D	0,170	-	240
3	Omítka vápennocementová	0,870	-	20
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,13	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	1,450	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,617**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Porotherm 40 Profi_k EXT				F3
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Stěna vnější těžká		Návrhová vnitřní teplota:		21 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Omítka vápenná	0,970	-	15
2	Porotherm 40 Profi	0,130	-	400
3	Omítka vápennocementová	0,870	-	20
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,13	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	3,115	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,304**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Porotherm 40 Profi_MB_k EXT				F4
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Stěna vnější těžká		Návrhová vnitřní teplota:		-24 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	**d**
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Tepelná izolace XPS	0,040	-	50
2	Izolační PUR panel	0,038	-	170
3	Vzduchová mezera	0,625	-	100
4	Omítka vápenná	0,970	-	15
5	Porotherm 40 Profi	0,130	-	400
6	Omítka vápennocementová	0,870	-	20
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,13	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	8,999	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,109**	**W/(m^2.K)**

Vodorovné konstrukce - podlaha

Ve vodorovných konstrukcích probíhá tepelný tok shora dolů. Jsou to podlahy k zemině, podlaha k nevytápěnému prostoru či podlaha nad exteriérem.

Tab. 15 Vodorovné konstrukce - podlaha

Název konstrukce: Podlaha na zemině I_k ZEM				P1
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Podlaha vytápěného prostoru na zemině		Návrhová vnitřní teplota:		21 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	**d**
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Vibrolisová keramická dlažba	1,010	-	18
2	Maltové lože	1,230	-	42
3	Betonová deska beton B25	1,340	-	180
4	Hydroizolace	0,210	-	2
5	Pískový podsyp	0,950	-	50
6	Hutněný podsyp	0,650	-	100
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,17	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,00	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	0,402	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**1,747**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Podlaha na zemině II_MB_k ZEM				P2
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Podlaha vytápěného prostoru na zemině		Návrhová vnitřní teplota:		-24 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Vibrolisová keramická dlažba	1,010	-	20
2	Betonová deska beton B25	1,340	-	100
3	Tepelná izolace	0,040	-	200
4	Betonová deska beton B25	1,340	-	150
5	Hydroizolace	0,210	-	2
6	Hutněný podsyp	0,650	-	300
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,17	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,00	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	5,677	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,171**	**W/(m^2.K)**

Vodorovné konstrukce - střechy a stropy

V konstrukcích s probíhajícím tepelným tokem zdola nahoru. Např. strop pod nevytápěnou půdou nebo šikmá či plochá střecha spod.

Tab. 16 Vodorovné konstrukce - strop

Název konstrukce: Strop rovný_k NEV				S1
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)		Návrhová vnitřní teplota:		21 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Zavěšený podhled	0,320	-	20
2	Vzduchová mezera	1,750	-	280
3	Tl: minerální vlna	0,040	-	220
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,10	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	5,723	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,171**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Strop šikmý_k EXT			S2
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°		Návrhová vnitřní teplota:	12 °C
		Návrhová venkovní teplota:	-15 °C
Skladba konstrukce			
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Zavěšený podhled	0,320	-	20
2	Vzduchová mezera	1,750	-	280
3	Minerální vlna	-	0,046	180
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,10	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	4,136	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,234**	**W/(m^2.K)**

Tab. 17 Šikmé konstrukce - střecha

Název konstrukce: Střecha MB_k EXT			S3
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°		Návrhová vnitřní teplota:	-24 °C
		Návrhová venkovní teplota:	-15 °C
Skladba konstrukce			
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Tepelná izolace XPS	0,040	-	50
2	Izolační PUR panel	0,038	-	170
3	Vzduchová mezera	1,875	-	300
4	Zavěšený podhled	0,320	-	20
5	Vzduchová mezera	1,750	-	280
6	Trpezový plech			0
7	Spádové klíny z minerální vlny	0,040	-	40
8	Minerální vlna Spodroct	0,040	-	160
9	Minerální vlna Dachroct	0,040	-	60
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,10	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	12,606	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,078**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Střecha přítavba_k EXT				S4
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°		Návrhová vnitřní teplota:		12 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Zavěšený podhled	0,320	-	20
2	Vzduchová mezera	1,750	-	280
3	Trpezový plech			0
4	Spádové klíny z minerální vlny	0,040	-	40
5	Minerální vlna Spodroct	0,040	-	160
6	Minerální vlna Dachroct	0,040	-	60
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,10	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	6,723	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,146**	**W/(m^2.K)**

Výplně otvorů

Do výplní otvorů se počítají všechny průsvitné konstrukce se solárními zisky ale i vstupní dveře či garážová vrata s plnou výplní. Během výpočtu jsou u výplních otvorů zohledňovány jejich orientace ke světovým stranám.

Okna a hlavní vchodové dveře jsou konstruovány s izolačním dvojsklem a hliníkovým rámem. Ostatní dveře do objektu jsou navrženy plastové s plnou výplní v hliníkovém rámu a sekční dveře ve skladové zóně jsou s plnou výplní s hliníkovým rámem.

Tab. 18 Výplně otvorů - okna, dveře

Okna, dveře				V1 - V4
Typ konstrukce:		Návrhová vnitřní teplota:		20 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
č.	**Název**	**materiál rámu**	A_w	U_w
			[m^2]	W/(m^2.K)
V1	Okno hliníkové_izolační dvojsklo_k EXT	hliník	84,7	1,300
V2	Dveře hliníkové_izolační dvojsklo_k EXT	hliník	5,3	1,500
V3	Dveře plastové_plné_k EXT	plast	2,2	1,500
V4	Dveře sekční_k EXT	hliník	7,5	3,500
	Celková plocha výplní otvorů	**A**	**99,8**	**m^2**

V další části jsou přehledně, tabulkově rozřazeny všechny skladby konstrukcí budovy včetně jejich ploch a vypočtených součinitelů prostupu tepla a dle jednotlivých zón. Vypočtené parametry jsou barevně rozděleny, kde zelená barva znamená splnění normových požadavků a červená barva naopak nesplnění požadavků.

Tab. 19 Tabulka posouzení pro zónu 1

Posouzení ochlazovaných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2: 2011							
Označení zóny:	Z1	Název zóny:	Prodejna				
Převažující návrhová vnitřní teplota ZÓNY θim [°C]	21	Úroveň návrhu:	Stávající stav				
Ochlazované konstrukce		Plocha A_i	Součinitel prostupu tepla konstrukce U_i	Požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,rq}$	Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,rec}$	Činitel teplotní redukce b_i	Měrná ztráta konstrukce protupem tepla $H_{Ti} = A_i.U_i.b_i$
		[m²]	[W/m².K]			[-]	[W/K]
FASÁDA							
F1	Porotherm 36,5 P+D_k EXT	162,5	**0,42**	**0,30**	**0,25**	1,00	69,0
F3	Porotherm 40 Profi_k EXT	39,1	**0,30**	**0,30**	**0,25**	1,00	11,9
FASÁDA CELKEM		201,6					80,9
PODLAHA							
P1	Podlaha na zemině I_k ZEM	1 329,3	**1,75**	**0,45**	**0,30**	0,09	197,7
PODLAHA CELKEM		1 329,3					197,7
STŘECHA							
S1	Strop rovný_k NEV	1 273,4	**0,17**	**0,30**	**0,20**	0,83	180,3
S4	Střecha přítavba_k EXT	55,9	**0,15**	**0,24**	**0,16**	1,00	8,1
STŘECHA CELKEM		1 329,3					188,4
OKNA A DVEŘE							
V1	Okno hliníkové_izolační dvojsklo_k EXT	84,7	**1,30**	**1,50**	**1,20**	1,00	110,1
V2	Dveře hliníkové_izolační dvojsklo_k EXT	5,3	**1,50**	**1,50**	**1,20**	1,00	8,0
V3	Dveře plastové_plné_k EXT	2,2	**1,50**	**1,70**	**1,20**	1,00	3,3
OKNA, DVEŘE CELKEM		92,3					121,4
SOUHRNNÉ HODNOTY HODNOCENÉ ZÓNY							
Celková plocha obálky zóny *A*					m²	**2 952,45**	
Měrná ztráta prostupem tepla bez vlivu tepelných vazeb H_T					W/K	**588,4**	
Vliv tepelných vazeb ΔU_{tb}					W/(m².K)	**0,10**	
Měrná ztráta prostupem tepla tepelnými vazbami					W/K	**295,2**	
Měrná ztráta prostupem tepla H_T					W/K	**883,7**	

Tab. 20 Tabulka posouzení pro zónu 2

Posouzení ochlazovaných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2: 2011							
Označení zóny:	Z2	Název zóny:	Sklady				
Převažující návrhová vnitřní teplota ZÓNY θim [°C]	12	Úroveň návrhu:	Stávající stav				
Ochlazované konstrukce		Plocha A_i	Součinitel prostupu tepla konstrukce U_i	Požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,rq}$	Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,rec}$	Činitel teplotní redukce b_i	Měrná ztráta konstrukce protupem tepla $H_{Ti} = A_i.U_i.b_i$
		[m²]	[W/m².K]			[-]	[W/K]
FASÁDA							
F1	Porotherm 36,5 P+D_k EXT	204,9	**0,42**	0,60	0,50	1,00	87,0
F2	Porotherm 24 P+D_k NEV	79,8	**0,62**	0,60	0,50	0,83	40,9
F3	Porotherm 40 Profi_k EXT	39,1	**0,30**	0,60	0,50	1,00	11,9
FASÁDA CELKEM		323,8					139,8
PODLAHA							
P1	Podlaha na zemině I_k ZEM	323,9	**1,75**	0,90	0,60	0,20	114,1
PODLAHA CELKEM		323,9					114,1
STŘECHA							
S1	Strop rovný_k NEV	49,1	**0,17**	0,60	0,40	0,83	7,0
S2	Strop šikmý_k EXT	231,1	**0,23**	0,48	0,32	1,00	54,1
S4	Střecha přítavba_k EXT	54,9	**0,15**	0,48	0,32	1,00	8,0
STŘECHA CELKEM		335,1					69,0
OKNA A DVEŘE							
V3	Dveře plastové_plné_k EXT	6,6	**1,50**	3,40	2,40	1,00	9,9
V4	Dveře sekční_k EXT	7,5	**3,50**	3,40	2,40	1,00	26,3
OKNA, DVEŘE CELKEM		14,1					36,2

SOUHRNNÉ HODNOTY HODNOCENÉ ZÓNY		
Celková plocha obálky zóny *A*	m²	**996,90**
Měrná ztráta prostupem tepla bez vlivu tepelných vazeb H_T	W/K	**359,1**
Vliv tepelných vazeb ΔU_{tb}	W/(m².K)	**0,10**
Měrná ztráta prostupem tepla tepelnými vazbami	W/K	**99,7**
Měrná ztráta prostupem tepla H_T	W/K	**458,8**

Tab. 21 Tabulka posouzení pro zónu 3

Posouzení ochlazovaných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2: 2011							
Označení zóny:	Z3	Název zóny:	Mrazící box				
Převažující návrhová vnitřní teplota ZÓNY θim [°C]	-24	Úroveň návrhu:	Stávající stav				
Ochlazované konstrukce		Plocha A_i	Součinitel prostupu tepla konstrukce U_i	Požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,rq}$	Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,rec}$	Činitel teplotní redukce b_i	Měrná ztráta konstrukce protupem tepla $H_{Ti} = A_i.U_i.b_i$
		[m^2]	[W/m^2.K]			[-]	[W/K]
FASÁDA							
F4	Porotherm 40 Profi_MB_k EXT	61,9	**0,11**	**-0,17**	**-0,14**	1,00	6,8
FASÁDA CELKEM		61,9					6,8
PODLAHA							
P2	Podlaha na zemině II_MB_k ZEM	64,8	**0,17**	**-0,26**	**-0,17**	0,75	8,3
PODLAHA CELKEM		64,8					8,3
STŘECHA							
S3	Střecha MB_k EXT	64,8	**0,08**	**-0,14**	**-0,09**	1,00	5,1
STŘECHA CELKEM		64,8					5,1

SOUHRNNÉ HODNOTY HODNOCENÉ ZÓNY		
Celková plocha obálky zóny *A*	m^2	**191,50**
Měrná ztráta prostupem tepla bez vlivu tepelných vazeb H_T	W/K	**20,2**
Vliv tepelných vazeb ΔU_{tb}	W/(m^2.K)	**0,10**
Měrná ztráta prostupem tepla tepelnými vazbami	W/K	**19,2**
Měrná ztráta prostupem tepla H_T	W/K	**39,3**

Tab. 22 Tabulka posouzení pro zónu 4

Posouzení ochlazovaných konstrukcí dle ČSN 73 0540-2: 2011							
Označení zóny:	Z4	Název zóny:	Zázemí				
Převažující návrhová vnitřní teplota ZÓNY θim [°C]	21	Úroveň návrhu:	Stávající stav				
Ochlazované konstrukce		Plocha A_i	Součinitel prostupu tepla konstrukce U_i	Požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,rq}$	Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,rec}$	Činitel teplotní redukce b_i	Měrná ztráta konstrukce protupem tepla $H_{Ti} = A_i.U_i.b_i$
		[m²]	[W/m².K]			[-]	[W/K]
FASÁDA							
F1	Porotherm 36,5 P+D_k EXT	64,2	**0,42**	**0,30**	**0,25**	1,00	27,3
FASÁDA CELKEM		64,2					27,3
PODLAHA							
P1	Podlaha na zemině I_k ZEM	72,9	**1,75**	**0,45**	**0,30**	0,22	27,8
PODLAHA CELKEM		72,9					27,8
STŘECHA							
S1	Strop rovný_k NEV	72,9	**0,17**	**0,30**	**0,20**	0,83	10,3
STŘECHA CELKEM		72,9					10,3
OKNA A DVEŘE							
V1	Okno hliníkové_izolační dvojsklo_k EXT	3,8	**1,30**	**1,50**	**1,20**	1,00	4,9
OKNA, DVEŘE CELKEM		3,8					4,9
SOUHRNNÉ HODNOTY HODNOCENÉ ZÓNY							
Celková plocha obálky zóny *A*					m²	**213,75**	
Měrná ztráta prostupem tepla bez vlivu tepelných vazeb H_T					W/K	**70,2**	
Vliv tepelných vazeb ΔU_{tb}					W/(m².K)	**0,10**	
Měrná ztráta prostupem tepla tepelnými vazbami					W/K	**21,4**	
Měrná ztráta prostupem tepla H_T					W/K	**91,6**	

V tabulce č. 23 jsou znázorněny hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro všechny zóny budovy posouzené dle normy.

Tab. 23 Tabulka posouzení průměrného součinitele prostupu tepla více zónovou budovou

Hodnocení obálky budovy				
VÍCEZÓNOVÝ VÝPOČET				
PARAMETRY HODNOCENÉ BUDOVY				
U_{em} **Průměrný součinitel prostupu tepla - vícezónový výpočet**		**0,338**	W/(m^2.K)	
HODNOCENÍ DLE ČSN 73 0540-2: 2011				
$U_{em,N}$ **Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla**		**0,308**	W/(m^2.K)	SPLNĚNO
$U_{em,rec}$ **Doporučená hodnota průměrného součinitele prostupu tepla - $U_{em,rec} = U_{em,N} \cdot 0,75$**		**0,231**	W/(m^2.K)	NESPLNĚNO
Klasifikační třída obálky budovy CI = $U_{em}/U_{em,N}$		1,100		
Klasifikační třída prostupu tepla obálkou budovy dle Přílohy C k ČSN 73 0540-2: 2011		**D**	**Nevyhovující**	
HODNOCENÍ DLE VYHL. Č. 78/2013 Sb.				
$U_{em,R}$ **Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla**	**Dokončená budova a její změna**	**0,308**	W/(m^2.K)	NESPLNĚNO
	Nová budova	**0,246**	W/(m^2.K)	NESPLNĚNO
	Budova s téměř nulovou spotřebou energie	**0,215**	W/(m^2.K)	NESPLNĚNO
Klasifikační třída obálky budovy CI = $U_{em}/U_{em,R}$		1,375		
Klasifikační třída energetické náročnosti budovy dle vyhl. č. 78/2013 Sb.		**D**	**Méně úsporná**	

PARAMETRY HODNOCENÝCH ZÓN

ozn. zóny	Název zóny	Převažující návrhová vnitřní teplota zóny θ_{imj}	Objem zóny V	Plocha obálky zóny A	Měrná ztráta prostupem tepla zóny HT	Požadovaný součinitel prostupu tepla j-té zóny $U_{emN,j}$
		°C	m^3	m^2	W/K	W/(m^2.K)
Z1	Prodejna	21,0	4 799	2 952	884	0,25
Z2	Sklady	12,0	1 362	997	459	0,59
Z3	Mrazící box	-24,0	234	192	39	-0,16
Z4	Zázemí	21,0	263	214	92	0,30
SOUČTY PRO CELOU BUDOVU:			6 658	4 355	1 473	

7.3 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ PRODEJNY POTRAVIN DLE TNI 73 0331

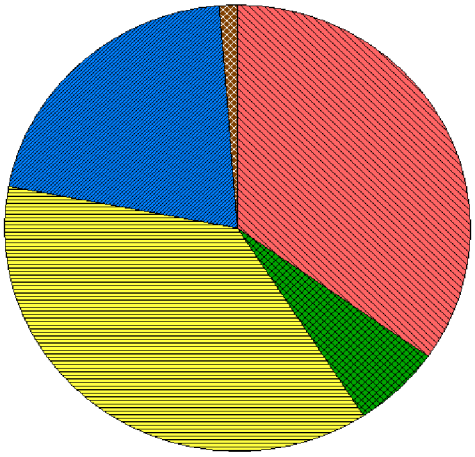
V rámci úvodu do problematiky energetického vyhodnocování byla budova prodejny potravin zhodnocena jako objekt pro obchodní účely dle TNI 73 0331, viz tabulka č. 5 v kapitole 3.3, kde se objekt hodnotí dle typických doporučených hodnot parametrů technických systémů, užívání budov a klimatických dat pro výpočet a hodnocení energetické náročnosti budov v programu Energie.

Vyhodnocení představí příklady kombinací technických systémů s přehledem o rozdělení celkových měrných dodaných energiích do budovy. Vzhledem k měření Blower-door testem na dané modelové prodejně bude vzorové hodnocení energetické náročnosti znázorněno v kombinaci různých úrovní neprůvzdušnosti a *s* nebo *bez* rekuperační jednotky, s kterou může být později uvažováno jako jedno z opatření pro zlepšení energetické náročnosti budovy.

Neprůvzdušnost znázorní hodnota N_{50} - intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa, [1/h]. Hodnoty N_{50} se pohybují v rozmezí 2,8 - 7,50 [1/h] dle naměřených parametrů z Blower-door testu. N_{50} - 2,8 [1/h] je nejnižší hodnota naměřená v budově při podtlaku; 7,5 [1/h] je nejvyšší hodnota naměřená v budově při přetlaku; 4,5 [1/h] je hodnota doporučená dle normy ČSN 730540-2 pro přirozeně a kombinovaně větrané domy a 5,15 [1/h] je průměrná hodnota z naměřených hodnot v podtlaku a přetlaku. Čím nižší je hodnota neprůvzdušnosti, tím je obálka budovy těsnější.

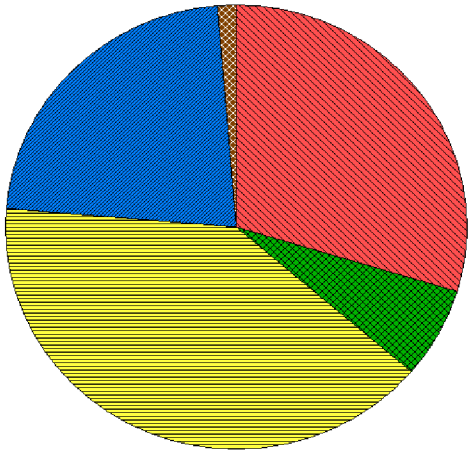
Rekuperační jednotka se zadává účinností zpětného získávání tepla a zvolená byla hodnota 75 %.

Větrání bez rekuperační jednotky



Obr. 69 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 2,8 1/h

Větrání s rekuperační jednotkou



Obr. 70 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 2,8 1/h, s rekuperací

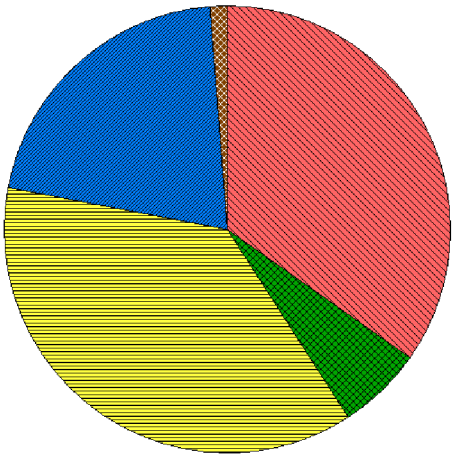
Vytápění *Příprava TV* *Osvětlení* *Chlazení* *Nucené větrání*

Dle grafického hodnocení celkové měrné dodané energie budovy při hodnotě neprůvzdušnosti N_{50} = 2,8 [1/h] se dodané energie dělí takto:

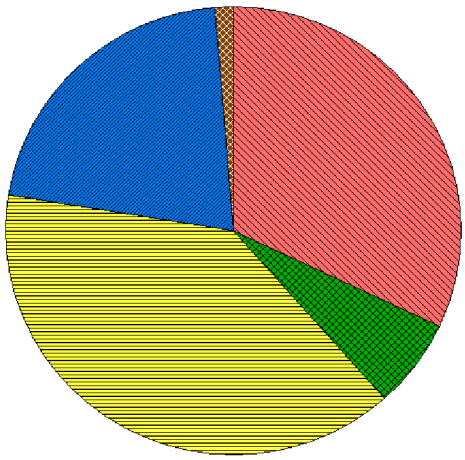
Vytápění:	35 kWh/m^2	27 kWh/m^2
Příprava TV:	6 kWh/m^2	6 kWh/m^2
Osvětlení:	37 kWh/m^2	37 kWh/m^2
Chlazení:	21 kWh/m^2	21 kWh/m^2
Nucené větrání:	1 kWh/m^2	1 kWh/m^2
Celkem:	**99 kWh/m^2**	**92 kWh/m^2**

Hodnocení ukazuje, že při neprůvzdušnosti s hodnotou 2,8 [1/h] v porovnání s nebo bez rekuperační jednotky jsou rozdíly pouze v dodávce energie na vytápění objektu.

Čím těsnější obálka budovy je, tím menší ztráty objekt má. Při přidání rekuperační jednotky pro zpětné získávání tepla se tyto spotřeby energie na vytápění dále velmi výrazně snižují.



Obr. 71 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} – 4,5 1/h

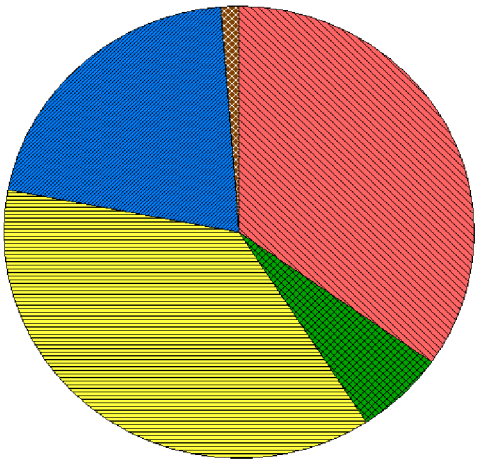


Obr. 72 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} – 4,5 1/h, s rekuperací

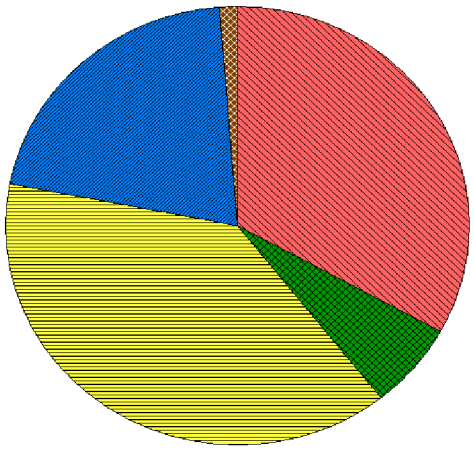
Vytápění *Příprava TV* *Osvětlení* *Chlazení* *Nucené větrání*

Vytápění:	39 kWh/m^2	30 kWh/m^2
Příprava TV:	6 kWh/m^2	6 kWh/m^2
Osvětlení:	37 kWh/m^2	37 kWh/m^2
Chlazení:	20 kWh/m^2	20 kWh/m^2
Nucené větrání:	1 kWh/m^2	1 kWh/m^2
Celkem:	**103 kWh/m^2**	**94 kWh/m^2**

V porovnání celkové měrné dodané energie s naměřenou hodnotou neprůvzdušností N_{50} = 2,8 [1/h] a doporučenou hodnotou normy N_{50} = 4,5 [1/h] se samozřejmě mění potřeba energie na vytápění kvůli větší netěsnosti obálky, ale i potřeba dodané energie na chlazení v letním období. Dále je opět zřejmý rozdíl v energiích mezi budovou s rekuperační jednotkou a bez rekuperační jednotky.



Obr. 73 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} – 5,2 1/h

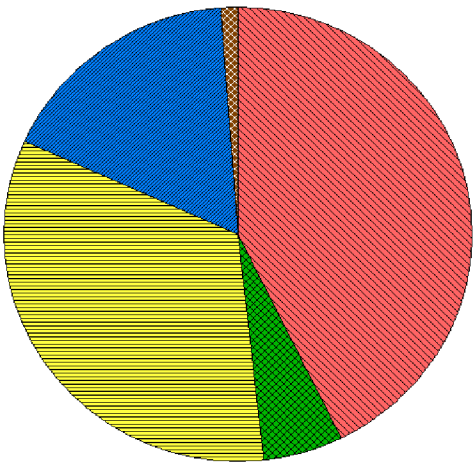


Obr. 74 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} – 5,2 1/h, s rekuperací

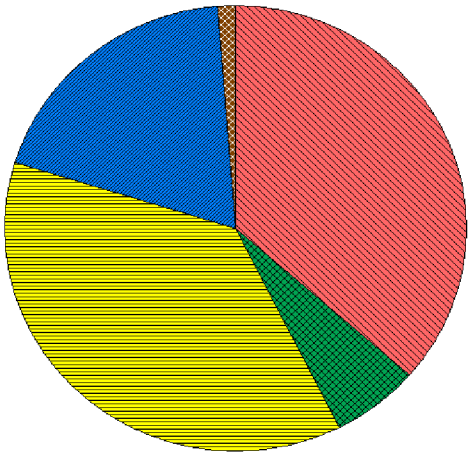
Vytápění *Příprava TV* *Osvětlení* *Chlazení* *Nucené větrání*

Vytápění:	40 kWh/m^2	31 kWh/m^2
Příprava TV:	6 kWh/m^2	6 kWh/m^2
Osvětlení:	37 kWh/m^2	37 kWh/m^2
Chlazení:	20 kWh/m^2	20 kWh/m^2
Nucené větrání:	1 kWh/m^2	1 kWh/m^2
Celkem:	**104 kWh/m^2**	**95 kWh/m^2**

Mezi hodnotami uvedených příkladů s N_{50} = 4,5 [1/h] dle normy a N_{50} = 5,2 [1/h] naměřenou hodnotou, je nepatrný rozdíl u dodaných energií na vytápění. Rozdíl je zřejmý mezi budovou bez rekuperační jednotky a budovou opatřenou rekuperační jednotkou pro zpětné získávání tepla, čímž se dle předchozího příkladu dostáváme na stejný rozdíl v případě vytápění.



Obr. 75 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 7,5 1/h



Obr. 76 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 7,5 1/h, s rekuperací

Vytápění *Příprava TV* *Osvětlení* *Chlazení* *Nucené větrání*

Vytápění:	47 kWh/m^2	36 kWh/m^2
Příprava TV:	6 kWh/m^2	6 kWh/m^2
Osvětlení:	37 kWh/m^2	37 kWh/m^2
Chlazení:	19 kWh/m^2	19 kWh/m^2
Nucené větrání:	1 kWh/m^2	1 kWh/m^2
Celkem:	**110 kWh/m^2**	**99 kWh/m^2**

Skok na hodnotu neprůvzdušnosti N_{50} = 7,5 [1/h] má nejvyšší hodnotu dodané energie na vytápění. Při porovnání netěsností N_{50} = 2,8 [1/h] a N_{50} = 7,5 [1/h] je vidět, v jaké míře se netěsnost promítne v potřebě energií pro udržení stálého klimatu v interiéru prodejny. Po zprůměrování těchto naměřených hodnot dostáváme hodnotu N_{50} = 5,2 [1/h], která v porovnání s doporučovanou hodnotou N_{50} = 4,5 [1/h] dle normy nemá tak velké výkyvy v dodávaných energií.

7.4 ENERGETICKÉ VYHODNOCENÍ DLE REÁLNÝCH SPOTŘEB

Tato část se zabývá výchozím stavem modelové prodejny potravin, čímž se od doporučených hodnot TNI 73 0331 dostáváme ke spotřebám reálným. Hodnoty reálných spotřeb byly poskytnuty spolu s projektovou dokumentací objektu a spolu s naměřenými hodnotami byly posouzeny v programu Energie pro energetické vyhodnocení stávajícího stavu typické prodejny potravin.

Konstrukční systém prodejny je zděný skelet se zděnou výplní. Tento neucelený konstrukční systém je v energetickém hodnocení budovy zohledněn zvýšeným vlivem tepelných vazeb mezi konstrukcemi 0,1 W/m^{2}K. Intenzita výměny vzduchu netěsnostmi při tlakovém rozdílu 50 Pa byla dle měření neprůvzdušnosti prodejny použita hodnota 5,2 1/h. Teploty v jednotlivých zónách se na základě experimentálního měření použily:

Prodejní prostory	21 °C
Sklad	12 °C
Mrazicí box	-24 °C
Zázemí pro zaměstnance	21 °C

Vybraná modelová prodejna potravin má provozní dobu Po - So 7.00 - 21.00 a v Ne 8.00 - 21.00, což je 97 hodin týdně. Uvažuje se, že vytápění zón je přerušované, čímž se redukuje doba vytápění zón na 56 hodin týdně. Počet zákazníků v roce 2014 bylo 1 040 149, z čehož se počet osob průměruje na 20 000 osob týdně, čili asi 205 zákazníků za hodinu, kde jejich tepelné zisky činí 30,8 MWh/rok.

V tabulce č. 24 jsou přehledně seřazeny parametry technických systémů použitých dle jednotlivých zón pro energetické vyhodnocení stávajícího stavu budovy. V zónách jsou použity spotřebiče jako chladicí boxy apod., jejichž příkon a jiné parametry jsou uvedeny v technických listech, které jsou k dispozici v přílohách diplomové práce. Jelikož nemá program Energie pro spotřebiče dostačující rozšíření, jsou ostatní technologie a spotřebiče budovy pro návrh opatření a vypočtení doby návratnosti jednotlivých opatření počítány zvlášť a jsou zahrnuty až ve finálním hodnocení spotřeby celého prodejního řetězce. Stávající stav prodejny potravin je v PENB dle ukazatelů energetické náročnosti zařazen do klasifikační třídy C jako úsporná budova. Kompletní PENB prodejny potravin je doplněn v příloze diplomové práce.

Tab. 24 Hodnoty technických systémů budovy použité pro energetické hodnocení budovy - výchozí stav

Technické systémy budovy	Zóny			
	Z1	Z2	Z3	Z4
	Prodejna	Sklad	Mrazicí box	Zázemí pro zaměstnance
Tepelné vazby	0,1			
Celková podlahová plocha zóny z vnějších rozměrů [m2]	1330	325	65	75
Požadované teploty	21 °C	12 °C	-24 °C	21 °C
Zdroje tepla				
Zdroj tepla pro vytápění	VZT/Centrální kotelna - zemní plyn a Kazetové jednotky	Kazetové jednotky	-	Radiátory/Centrální kotelna - Zemní plyn
Akumulace tepla pro vytápění	-	-	-	-
Účinnost sdílení/distribuce tepla na vytápění [%]	100/89	100/100	-	88/95 (teplovodní systém vytápění s teplotním spádem 70/50 °C)
Příprava teplé vody				
Potřeba teplé vody [m^3/rok]	20,8 (8 l/os/den)	10,2 (4 l/os/den)	-	35 (14 l/os/den)
Zdroj tepla pro přípravu teplé vody	Elektrokotel		-	Elektrokotel
Není využíváno akumulační přípravy teplé vody a není využíváno žádných pomocných čerpadel				
Chlazení zón				
Zdroje chladu	Kazetové jednotky		Chladivový systém	Kazetové jednotky
Větrání zóny				
Intenzita přirozeného větrání v zóně	0,3	0,1	0,1	0,3
Systém větrání zóny	Nucené větrání VZT	Přirozené		
Objem toku přiváděného vzduchu [m3/h]	3600	-		
Intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa [1/h]	5,2	-		
Není zajištěna jiná úprava přiváděného vzduchu a není využito rekuperační jednotky pro zpětné získávání tepla				
Osvětlení				
Min. přípustná osvětlenost [lx]	1100	180	150	200
Typ vnitřního osvětlení	Zářivkové			
Způsob ovládání	Ruční		Pohybové čidla	Ruční
Vnitřní zisky od osob				
Přítomnost osob v zóně [%]	58	-	-	58
Vnitřní zisky od spotřebičů				
Provoz spotřebičů [%]	100	100	-	58
Spotřebiče	Pekárny, Chladící regály, Chladící/mrazicí truhly, Mrazicí skříně	Mrazicí box, Lis	-	Běžná zařízení zázemí pro zaměstnance

7.4.1 Energetická bilance budovy - výchozí stav

Faktury elektrické energie a zemního plynu

V tabulce č. 25 jsou uvedeny skutečné spotřeby energií modelové prodejny potravin z období roku 2012 - 2014. Jsou rozděleny na spotřebu elektrické energie, zemního plynu v MWh/rok a studené vody m3/rok včetně cen za danou jednotku v určitém období. Na základě těchto hodnot získaných z poskytnutých faktur za spotřebované energie se stanoví úspory energie navrženými úspornými varianty.

Tab. 25 Tabulka spotřeb elektrické energie, zemního plynu a studené vody z faktur

Rok	Spotřeba energií modelové prodejny potravin dle faktur					
	Spotřeba elektrické energie [MWh/rok]	Cena elektrické energie [Kč/MWh]	Spotřeba zemního plynu [MWh/rok]	Cena zemního plynu [Kč/MWh]	Spotřeba studené vody [m3/rok]	Cena za studenou vodu [Kč/m3]
2012	444,53	2 865	91,17	883	370,00	56
2013	418,76	2 873	60,89	930	310,00	59
2014	449,51	2 658	73,77	954	264,00	62
Průměr	437,60	2 799	75,28	922	314,67	59

Energetická bilance budovy dle výchozího stavu

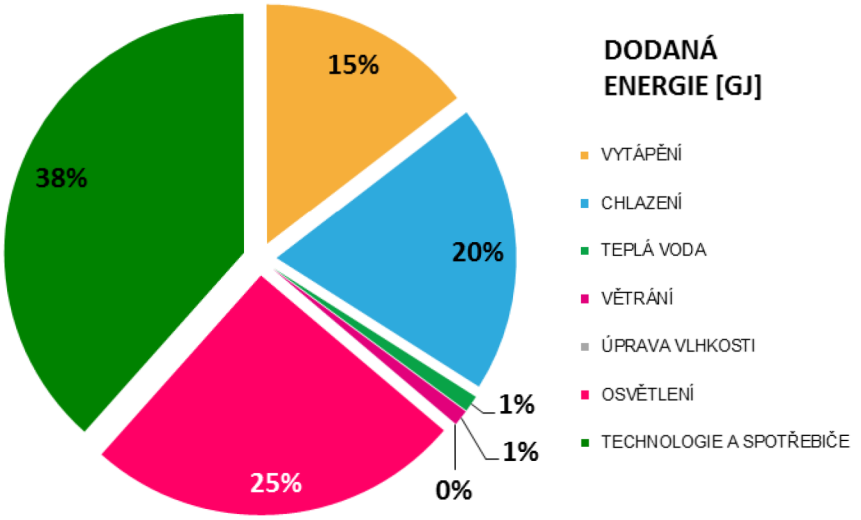
Energetická bilance výchozího stavu je tabulkově zpracována v následujícím přehledu Celkové energetické bilance. Dodané energie jsou rozděleny dle jednotlivých energetických složek pro chod budovy.

K roztřízeným energiím výchozího stavu objektu byly přiřazeny i náklady na energie. Jednotlivé složky spotřeb energií a náklady na energie jsou dále graficky a procentuálně znázorněny.

Tab. 26 Celková energetická bilance pro výchozí stav budovy

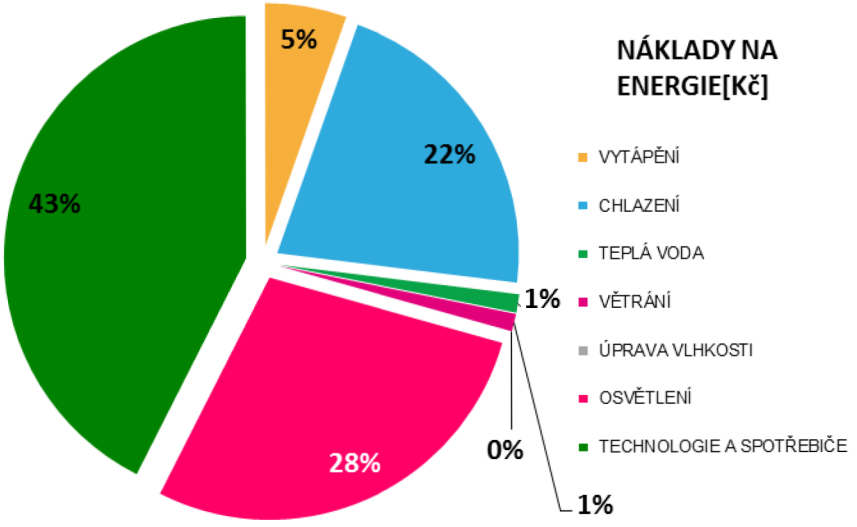
Celková energetická bilance		VÝCHOZÍ STAV		
Tabulka dle Přílohy č. 4 k vyhlášce č. 480/2012 Sb.				
ř.	Ukazatel	Energie		Náklady
		GJ	MWh	tis. Kč
Celková bilance vstupů energie:				
1	Vstupy paliv a energie	1 832,52	509,033	1 286,81
z toho:				
	Elektrická energie	1 567,88	435,523	1 219,03
	Zemní plyn	264,64	73,510	67,78
2	Změna zásob paliv (inventarizace skladu)	0,00	0,000	0,00
3	Spotřeba paliv a energie celkem (ř.1+ř.2)	1 832,52	509,033	1 286,81
4	Prodej energie cizím	0,00	0,000	0,00
Bilance spotřeby předmětu auditu:				
5	Spotřeba paliv a energie v předmětu auditu (ř.3-ř.4)	1 832,52	509,033	1 286,81
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie (z ř.5)	67,77	18,8245	21,47
Rozdělení spotřeby energie v předmětu auditu (z ř.5):				
7	Spotřeba energie na vytápění	267,38	74,273	69,91
8	Spotřeba energie na chlazení	356,58	99,050	277,24
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody	20,30	5,640	15,79
10	Spotřeba energie na větrání	19,48	5,410	15,14
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti	0,00	0,000	0,00
12	Spotřeba energie na osvětlení	465,34	129,260	361,80
13	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy	703,44	195,400	546,92

Grafické zobrazení bilance roční spotřeby v energetických jednotkách vychází z tabulky č. 26 a zobrazuje podíl dodané energie bez ohledu na jednotkovou cenu daných paliv. Graf také znázorňuje významnost jednotlivých spotřeb.



Obr. 77 Graf spotřeb energií

Graf bilance roční spotřeby z hlediska finančních nákladů je taktéž v závislosti na tabulce č. 26 a zobrazuje podíl nákladů na energie opět s ohledem na významnost jednotlivých spotřeb.



Obr. 78 Graf nákladů na energie

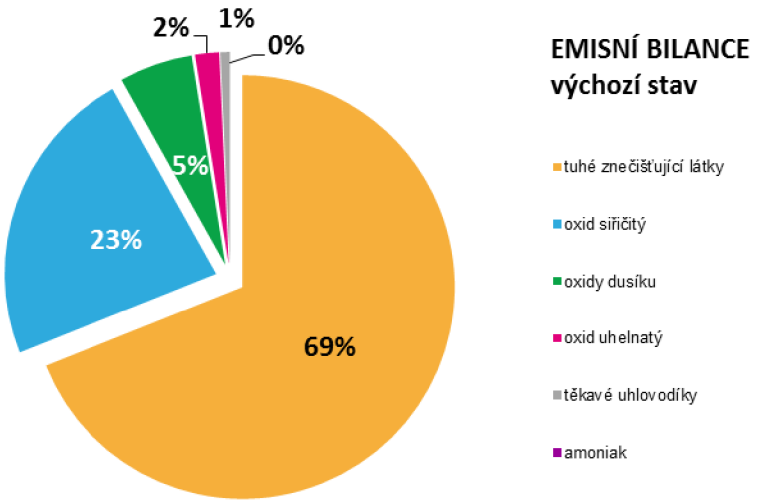
Emisní bilance dle výchozího stavu

Tabulkové a grafické zpracování emisní bilance prodejny potravin. Bilance je roztřízena dle jednotlivých znečišťujících látek.

Tab. 27 Celková emisní bilance pro stávající stav budovy

Emisní bilance		VÝCHOZÍ STAV	
Bilance znečišťujících látek celkem			
EPS	EPS = ((1xTZL)+(0,88xNO_x)+(0,54xSO_2)+(0,64xNH_3))	2,6467	--
TZL	tuhé znečišťující látky	2,1157	t
SO_2	oxid siřičitý	0,7035	t
NO_X	oxidy dusíku	0,1718	t
CO	oxid uhelnatý	0,0561	t
VOC	těkavé uhlovodíky	0,0218	t
NH_3	amoniak	0,0000	t
CO_2	oxid uhličitý	524,2639	t

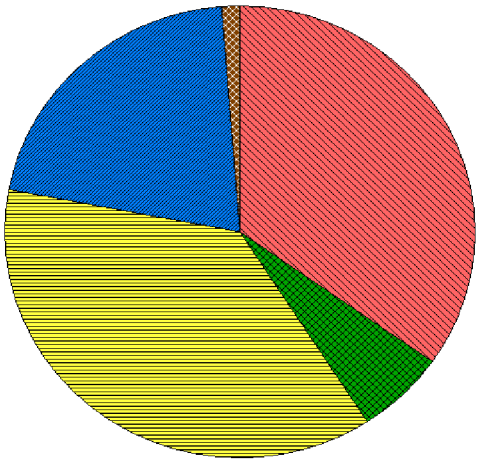
Graf vychází vždy z předchozí tabulky pro danou nájemní jednotku a zobrazuje podíl a tím zároveň významnost jednotlivých znečišťujících látek na celkové emisní bilanci.



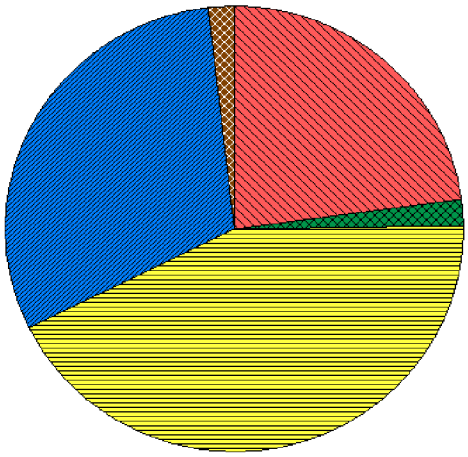
Obr. 79 Grafické znázornění emisní bilance stávajícího stavu budovy

7.4.2 Porovnání doporučených a skutečných hodnot

Při porovnání dodaných energií na budově hodnocené dle doporučených hodnot TNI 73 0331 viz kapitola 7.3 s budovou vyhodnocenou dle reálných a naměřených parametrů je zřejmé, že v tomto případě se doporučené hodnoty výrazně liší od skutečnosti.



Obr. 80 Celková měrná dodaná energie budovy, N50 - 5,2 1/h, TNI 73 0331



Obr. 81 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 5,2 1/h, reálná spotřeba

Vytápění *Příprava TV* *Osvětlení* *Chlazení* *Nucené větrání*

Vytápění:	40 kWh/m^2	39 kWh/m^2
Příprava TV:	6 kWh/m^2	3 kWh/m^2
Osvětlení:	37 kWh/m^2	72 kWh/m^2
Chlazení:	20 kWh/m^2	52 kWh/m^2
Nucené větrání:	1 kWh/m^2	3 kWh/m^2
Celkem:	**104 kWh/m^2**	**169 kWh/m^2**

Porovnávají se budovy s naměřenou hodnotou neprůvzdušnosti N_{50} = 5,2 [1/h] a bez rekuperační jednotky.

Velmi výrazné rozdíly během hodnocení budov byly zřejmé hlavně v případě zadávání parametrů osvětlenosti a chlazení zóny. Místo doporučených 300 luxů v zóně prodejny použily hodnoty vypočtené v závislosti na ploše a na hodnotách z experimentálního měření a to sice 1100 lx. U osvětlení je tedy jednoznačné, že skutečná hodnota je téměř čtyřnásobná a doporučené hodnoty normou se velmi liší od skutečnosti.

Při chlazení zóny byl objemový tok přiváděného a odváděného vzduchu dvakrát větší v reálných spotřebách oproti doporučeným hodnotám. V budově hodnocené dle TNI 73 0331 byl uvažován tok vzduchu 1800 m^3/h s intenzitou 0,5 m^3/h a v reálné budově prodejny 3600 m3/h s intenzitou větrání 0,3 1/h.

V některých případech doporučené hodnoty budovu ani z daleka nepřiblíží skutečnosti a výpočty tak mohou být velmi zkreslené.

8 NÁVRH OPATŘENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

8.1 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

Dle energetické bilance prodejny potravin mají na spotřebě dodaných energií největší podíl technologie a spotřebiče, osvětlení, chlazení, vytápění, teplá voda a nakonec nucené větrání.

Jelikož osvětlení musí být v objektu zajištěno více jak 14 hodin denně a ve stávajícím stavu jsou nainstalovány lineární trubicové zářivky, spotřeba elektrické energie je nejvíce výrazná právě u osvětlení. Návrhem pro snížení spotřeby elektrické energie osvětlením je instalace zářivkového LED osvětlení. LED zářivkou lze ušetřit až 80 % spotřeby energie, dále při svícení zůstává chladná, proto nepřispívá k vytápění zón a má mnohem větší životnost než klasické zářivkové osvětlení.

Kvůli velkému množství spotřebičů v zóně hlavní prodejny a skladových prostorech jako jsou pekárny, chladicí regály, mrazicí truhly a skříně či mrazicí box nemá budova natolik viditelnou spotřebu na vytápění oproti ostatním složkám. Spotřebiče vytápí budovu svým odpadním teplem. Velké spotřeby energií kvůli spotřebičům jsou naopak při chlazení zón v letním období, jelikož nestačí pokrýt odpadní teplo produkované všemi spotřebiči v budově. Návrhem je opatřit spotřebiče odtahem pro vyprodukované teplo nebo toto teplo zpětně využít pro účely vytápění budovy. Dále pro dosažení stabilnějších teplot v různých prostorách zóny 1 - prodejní plochy, kde se teplota vzduchu liší v místech pokladen, u regálů a otevřených chladicích boxů, je vhodné zaopatřit tyto otevřené chladicí boxy zavíracími dvířky, čímž se dosáhne o 2°C vyšší a stabilnější teploty vzduchu.

Jelikož je konstrukční systém prodejny potravin zděný skelet se zděnou výplní, tepelné vazby konstrukčního systému při energetickém hodnocení jsou zohledněny zhoršenou hodnotou 0,1 W/m^2K. V kapitole 7.2 jsou uvedeny skladby konstrukcí budovy, které při posouzení s referenční budovou nesplňují normou stanovené požadavky součinitele prostupu tepla konstrukcemi. Návrhem opatření je zateplení obvodových konstrukcí tepelnou izolací. Tím se zlepší tepelné vazby na hodnotu 0,05 W/m^2K a při porovnání součinitelů prostupu tepla daných skladeb se zateplením budou splňovat požadavky normy, čímž se nepochybně zlepší třída obálky budovy.

Při měření vzduchotěsnosti obálky budovy se projevily velké netěsnosti v místech podhledu. Důvodem je špatná parotěsnící vrstva, kde spoje jsou řešeny pouze s přesahem a bez lepení. Jedním z opatření ke zlepšení vzduchotěsnosti obálky může být provedení vzduchotěsné funkční parozábrany z desek OSB nebo fólie s přelepenými spoji. Další netěsnosti se objevují u provozních výplní otvorů. Tyto nedostatky se poměrně snadno odstraní seřízením a utěsněním výplní otvorů. Řešením můžou být těsnící stěrky či clony dveří.

Dalším opatřením pro zmenšení spotřeb energií je instalace fotovoltaických panelů na střešní konstrukci budovy. Zajistí tak budově vlastní solární elektrárnu a docílí se snížení nákladů na elektrickou energii.

Posledním návrhem je instalace rekuperační jednotky. Rekuperační jednotka zajistí budově zpětné využití odpadního tepla a sníží tak náklady na dodanou energii zemního plynu pro vytápění.

Z návrhů opatření je vybrána nejúspornější varianta a posouzena z hlediska návratnosti. Všechny uvedené ceny na počáteční investice jsou uvedeny pouze na výrobek bez montážních prací.

8.2 NÁVRH ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ A JEJICH VYHODNOCENÍ

8.2.1 LED osvětlení

Prvním návrhem úsporného opatření je náhrada lineárního zářivkového osvětlení za LED zářivky.

Teplota chromatičnosti 5000 K, výkon LED 22 W, světelný tok 2420 lm, vyzařovací úhel 120°, vstupní napětí 230 V AC, stupeň krytí IP 20. Účinnost zdroje více jak 90 %, třída energetické účinnosti je A. Průměrná životnost až 50 000 h, což při 14 hodinách denního provozu osvětlení činí 10 let. [26]

Obr. 82 Detail trubicové LED zářivky [26]

Pro energetické vyhodnocení modelové prodejny potravin s výměnou osvětlení na LED zářivky byl použit měrný výkon světelného zdroje 154 lm/W na místo 100 lm/W při klasickém zářivkovém osvětlení. Použitím LED zářivek se změnila měrná roční

dodaná elektřina na osvětlení pro hodnocenou i referenční budovu a také průměrná účinnost osvětlení v zóně. Změny spotřeb energií jsou znázorněny v tabulce č. 28.

Tab. 28 Přehled dodaných energií při výměně LED zářivek

Přehled dodaných energií při jednotlivých opatřeních						
	Osvětlení [MWh]	**Nucené větrání [MWh]**	**Vytápění [MWh]**	**Teplá voda [MWh]**	**Chlazení [MWh]**	**Celkové roční dodané energie [MWh]**
Skutečný stav	129,26	5,41	74,51	5,64	99,05	313,87
LED	83,92	6,03	97,20	5,64	82,87	275,65

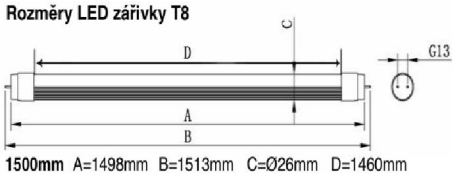
V tabulce č. 29 je přehled vypočtených energií elektřiny a zemního plynu skutečného stavu v porovnání s opatřením LED zářivek včetně ušetřené energie a nákladů za tyto energie. Spotřeba energie a náklady na energie stávajícího stavu se odrážejí od poskytnutých faktur, viz kapitola 7.4.1.

Tab. 29 Porovnání skutečného stavu a LED opatření - roční spotřeba energií a náklady na energie

	Vypočtené energie		**Ušetřená energie / cena**				
	Elektrická energie [MWh]	**Zemní plyn [MWh]**	**Elektrická energie [MWh]**	**Zemní plyn [MWh]**	**Elektrická energie [Kč]**	**Zemní plyn [Kč]**	**Celkem [Kč]**
Skutečný stav	434,81	74,51	-	-	-	-	-
LED	373,90	97,20	63,70	-21,92	178 281	- 20 223	158 059

Opatření LED zářivkami výrazně pomohlo snížit spotřebu elektrické energie na osvětlení, ale jelikož s LED osvětlením nedochází k vyzařování tepla, stoupla spotřeba zemního plynu na vytápění interiéru budovy.

Dle projektové dokumentace a umístění osvětlení ve stávajícím stavu byl vypočten počet kusů a cena, viz tabulka 30. Rozměry LED zářivky uvedeny na obrázku č. 83. Uvažováno bylo se zářivkou délky 1500 mm.



Obr. 83 Rozměry LED zářivky [26]

Tab. 30 Výpočet pořizovacích nákladů na LED osvětlení

	Počáteční investice		
	Cena za kus [Kč]	**Počet kusů [-]**	**Cena celkem [Kč]**
LED	495	250	123 750

8.2.2 Zateplení obálky budovy

Zateplení obálky budovy je navrženo pouze pro neprůsvitné svislé obvodové konstrukce budovy, kde skladby konstrukcí nesplňovaly požadavky norem, viz kapitola 7.2. Je uvažována tepelná izolace Baumit EPS-F z polystyrenu tloušťky 100 mm. Návrh zateplení jednotlivých skladeb konstrukcí je zřejmé z tabulek č. 31.

Tab. 31 Svislé neprůsvitné konstrukce se zateplením

Název konstrukce: Porotherm 36,5 P+D_k EXT				**F1**
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Stěna vnější těžká		Návrhová vnitřní teplota:		21 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Omítka vápenná	0,970	-	15
2	Porotherm 36,5 P+D	0,170	-	365
3	Tepelná izolace	0,040	-	100
4	Omítka vápennocementová	0,870	-	20
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,13	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	4,686	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,206**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Porotherm 24 P+D_k NEV				**F2**
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Stěna vnější těžká		Návrhová vnitřní teplota:		12 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Omítka vápenná	0,970	-	15
2	Porotherm P+D	0,170	-	240
3	Tepelná izolace	0,040	-	100
4	Omítka vápennocementová	0,870	-	20
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,13	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	3,950	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,243**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Porotherm 40 Profi_k EXT				F3
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Stěna vnější těžká		Návrhová vnitřní teplota:		21 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	**d**
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Omítka vápenná	0,970	-	15
2	Porotherm 40 Profi	0,130	-	400
3	Tepelná izolace	0,040	-	100
4	Omítka vápennocementová	0,870	-	20
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,13	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	5,615	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,173**	**W/(m^2.K)**

Název konstrukce: Porotherm 40 Profi_MB_k EXT				F4
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Stěna vnější těžká		Návrhová vnitřní teplota:		-24 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	**d**
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Tepelná izolace XPS	0,040	-	50
2	Izolační PUR panel	0,038	-	170
3	Vzduchová mezera	0,625	-	100
4	Omítka vápenná	0,970	-	15
5	Porotherm 40 Profi	0,130	-	400
6	Omítka vápennocementová	0,870	-	20
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,13	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	8,999	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,109**	**W/(m^2.K)**

Po zateplení obvodových konstrukcí se zlepšily hodnoty součinitele prostupu tepla skladeb konstrukcí, které změní výpočet hodnocení energetické náročnosti budovy hlavně z hlediska tepelných ztrát objektu.

Posouzení průměrného součinitele prostupu tepla pro všechny zóny budovy se zateplením je v přehledu tabulky č. 32.

Tab. 32 Tabulka posouzení průměrného součinitele prostupu tepla více zónovou budovou se zateplením

Hodnocení obálky budovy				
VÍCEZÓNOVÝ VÝPOČET				
PARAMETRY HODNOCENÉ BUDOVY				
U_{em} **Průměrný součinitel prostupu tepla - vícezónový výpočet**		**0,308**	W/(m^2.K)	
HODNOCENÍ DLE ČSN 73 0540-2: 2011				
$U_{em,N}$ **Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla**		**0,308**	W/(m^2.K)	**SPLNĚNO**
$U_{em,rec}$ **Doporučená hodnota průměrného součinitele prostupu tepla - $U_{em,rec} = U_{em,N} \cdot 0,75$**		**0,231**	W/(m^2.K)	**NESPLNĚNO**
Klasifikační třída obálky budovy CI = $U_{em}/U_{em,N}$		1,000		
Klasifikační třída prostupu tepla obálkou budovy dle Přílohy C k ČSN 73 0540-2: 2011		**C**	**Vyhovující**	
HODNOCENÍ DLE VYHL. Č. 78/2013 Sb.				
$U_{em,R}$ **Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla**	**Dokončená budova a její změna**	**0,308**	W/(m^2.K)	**SPLNĚNO**
	Nová budova	**0,246**	W/(m^2.K)	**NESPLNĚNO**
	Budova s téměř nulovou spotřebou energie	**0,215**	W/(m^2.K)	**NESPLNĚNO**
Klasifikační třída obálky budovy CI = $U_{em}/U_{em,R}$		1,250		
Klasifikační třída energetické náročnosti budovy dle vyhl. č. 78/2013 Sb.		**D**	**Méně úsporná**	

PARAMETRY HODNOCENÝCH ZÓN

ozn. zóny	Název zóny	Převažující návrhová vnitřní teplota zóny θ_{imj}	Objem zóny V	Plocha obálky zóny A	Měrná ztráta prostupem tepla zóny HT	Požadovaný součinitel prostupu tepla j-té zóny $U_{emN,j}$
		°C	m^3	m^2	W/K	W/(m^2.K)
Z1	Prodejna	21,0	4 799	2 952	839	0,25
Z2	Sklady	12,0	1 362	997	384	0,59
Z3	Mrazící box	-24,0	234	192	39	-0,16
Z4	Zázemí	21,0	263	214	77	0,30
SOUČTY PRO CELOU BUDOVU:			6 658	4 355	1 340	

Zateplení objektu zlepšilo celkové klasifikační zatřízení prostupu tepla obálkou. Tepelná izolace navržena na svislých neprůsvitných konstrukcích prodejny potravin zlepšila i tepelné vazby konstrukčního systému budovy z hodnoty 0,1 W/m^{2}K na 0,05 W/m^{2}K.

Tab. 33 Přehled dodaných energií při zateplení

Přehled dodaných energií při jednotlivých opatřeních						
	Osvětlení [MWh]	**Nucené větrání [MWh]**	**Vytápění [MWh]**	**Teplá voda [MWh]**	**Chlazení [MWh]**	**Celkové roční dodané energie [MWh]**
Skutečný stav	129,26	5,41	74,51	5,64	99,05	313,87
Zateplení	129,26	5,04	54,85	5,64	98,51	293,30

Díky menším tepelným ztrátám obálky budovy se zmenšila spotřeba dodané energie na vytápění. Méně výrazné je snížení spotřeby energie na nucené větrání v budově a chlazení, což ukazují i hodnoty v tabulce 33, kde se spotřeba elektrické energie nepatrně snížila naproti spotřebě zemního plynu, která je zřetelně snížila.

Tab. 34 Porovnání skutečného stavu a opatření zateplením - roční spotřeba energií a náklady na energie

	Vypočtené energie		**Ušetřená energie / cena**				
	Elektrická energie [MWh]	**Zemní plyn [MWh]**	**Elektrická energie [MWh]**	**Zemní plyn [MWh]**	**Elektrická energie [Kč]**	**Zemní plyn [Kč]**	**Celkem [Kč]**
Skutečný stav	434,81	74,51	-	-	-	-	-
Zateplení	433,91	54,85	3,69	20,43	10 338	18 848	29 187

Dodatečné zateplení fasády objektu je vcelku nákladné v porovnání s ušetřenými energiemi ročně. Návratnost v tomto případě není tedy tak okamžitá, ale životnost kvalitně provedené stavby budovy se výrazně projeví v dlouhodobém užívání.

Pořizovací náklady jsou počítány pouze za materiál tepelné izolace, polystyren tloušťky 100 mm, na celkovou plochu obálky budovy 4 355 m².

Tab. 35 Výpočet pořizovacích nákladů na tepelnou izolaci

	Počáteční investice		
	Cena za m^2 [Kč]	**[m^2]**	**Cena celkem [Kč]**
Zateplení	110	4 355	479 050

8.2.3 Vzduchotěsnost budovy - OSB desky

Při měření vzduchotěsnosti se naměřila hodnota intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa 5,2 1/h, při čemž požadovaná hodnota normou je 4,5 1/h.

Po zhodnocení termovizních snímků při Blower-door testu je právě parotěsnící vrstva ve stropní konstrukci složkou s největším vlivem na velkou výměnu vzduchu v budově. Jednou z možných variant pro zlepšení těsnosti obálky budovy je zlepšení parotěsnící vrstvy nahrazením OSB deskou.

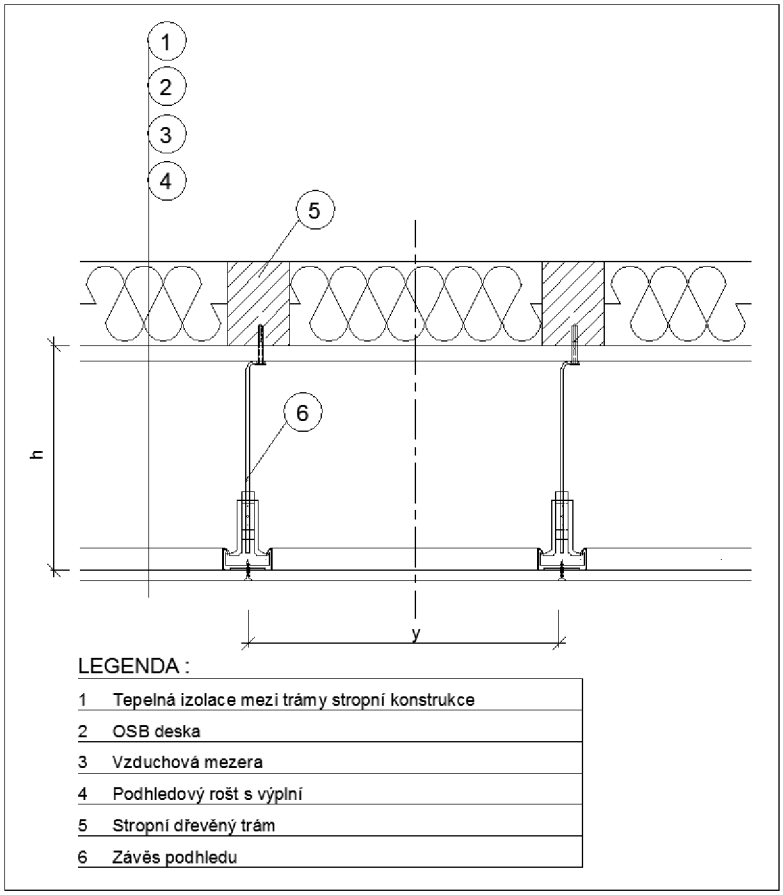
Obr. 84 Zateplení stropní konstrukce mezi trámy

Navržena je OSB deska 3/N 4-PD se spojovacím systémem pero a drážka značky Kronospan. Spoje desek a napojení na přilehlé konstrukce je nutno přelepit parotěsnící páskou či vyplnit pryžovou hmotou pro lepší vzduchotěsnost. Podrobná skladba stropní konstrukce je uvedena v tabulce č. 36. Je zde viditelná původní parotěsnicí vrstva parotěsnicí fólie a nově navržená OSB deska včetně výpočtu součinitele prostupu tepla.

Tab. 36 Skladba stropní konstrukce s výpočtem součinitele prostupu tepla - OSB deska

Název konstrukce: Strop rovný_k NEV				**S1**
Typ konstrukce dle ČSN 730540-2: Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)		Návrhová vnitřní teplota:		21 °C
		Návrhová venkovní teplota:		-15 °C
Skladba konstrukce				
č.	**Název vrstvy**	λ	λ_{ekv}	d
		W/(m.K)	W/(m.K)	mm
1	Zavěšený podhled	0,320	-	20
2	Vzduchová mezera	1,750	-	280
3	Parotěsná fólie	0,180	-	5
4	OSB deska	0,180	-	18
5	TI: minerální vlna mezi dřevěnými trámy stropu	0,040	-	220
	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	0,10	[m^2.K/W]
	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m^2.K/W]
	Návrhový tepelný odpor konstrukce	R	5,850	[m^2.K/W]
	Korekce součinitele prostupu tepla	ΔU	0,000	[W/(m^2.K)]
	Součinitel prostupu tepla	**U**	**0,167**	**W/(m^2.K)**

Skladba stropu s OSB deskou jako vzduchotěsnou vrstvou je znázorněna ve skladbě stropní konstrukce na obrázku č. 85.



Obr. 85 Skladba stropní konstrukce s OSB deskou

Po aplikování lepší vzduchotěsnosti do energetického vyhodnocení objektu hodnotou N_{50} = 3 1/h, se díky menším tepelným ztrátám a větší těsnosti obálky budovy, obdobně jako u opatření zateplením, zmenšila spotřeba dodané energie na vytápění a nucené větrání. Kvůli odpadnímu teplu spotřebičů se zvětšila spotřeba na chlazení, jelikož toto odpadní teplo již samovolně neuniká z těsnější obálky budovy. Vypočtené spotřeby dodaných energií po zlepšení vzduchotěsnosti viz tabulka č. 37.

Tab. 37 Přehled dodaných energií s variantou lepší těsnosti obálky budovy

Přehled dodaných energií při jednotlivých opatřeních						
	Osvětlení [MWh]	**Nucené větrání [MWh]**	**Vytápění [MWh]**	**Teplá voda [MWh]**	**Chlazení [MWh]**	**Celkové roční dodané energie [MWh]**
Skutečný stav	129,26	5,41	74,51	5,64	99,05	313,87
Těsnost	129,26	5,16	64,99	5,64	100,14	305,18

Tab. 38 Porovnání skutečného stavu a opatřením OSB deskou ve stropní konstrukci - roční spotřeba energií a náklady na energie

	Vypočtené energie		Ušetřená energie / cena				
	Elektrická energie [MWh]	Zemní plyn [MWh]	Elektrická energie [MWh]	Zemní plyn [MWh]	Elektrická energie [Kč]	Zemní plyn [Kč]	Celkem [Kč]
Skutečný stav	434,81	74,51	-	-	-	-	-
Těsnost	435,65	64,99	1,95	10,29	5 465	9 493	14 958

Náklady na OSB desky značky Kronospan rozměrů 2500 x 625 mm a tloušťky 18 mm jsou počítány na celkovou plochu stropní konstrukce objektu 1791 m² a bez montážních prací.

Tab. 39 Výpočet pořizovacích nákladů parotěsnící vrstvy OSB desek

	Počáteční investice		
	Cena za m^2 [Kč]	[m^2]	Cena celkem [Kč]
Těsnost	118	1791	211 338

8.2.4 Fotovoltaické panely

Dalším návrhem opatření jsou fotovoltaické panely pro výrobu elektřiny ze solárního záření. Účelem těchto panelů je co největší pokrytí spotřeby elektrické energie prodejny potravin s užitím vyrobené energie pro vlastní účely bez přímého prodeje do veřejné sítě.

Obr. 86 Detail fotovoltaického panelu Canadian [27]

Pro výpočet byly zvoleny fotovoltaické panely Canadian Solar CS6P. Výkon 250 Wp, účinnost 15,54 %. Umístění panelů je navrženo na jižní straně střešní konstrukce ve sklonu 45°. Plocha fotovoltaických panelů zabírá plochu o 400 m^2. [27]

Při přidání fotovoltaiky do energetického výpočtu se potřeba dodané energie na jednotlivé složky spotřeb energie nezměnila. Fotovoltaika přispívá zmenšením nákladů na elektrickou energii díky vlastní výrobě elektřiny solárním zářením.

Získaná elektrická energie solárními panely dle tabulky 40 je 71,32 MWh a je odpočítána od celkové potřebné elektrické energie dodávané ze sítě viz tabulka 41. Tato pomocná energie prostředí je převážně využita na spotřebu dodané elektrické energie na osvětlení což pokryje asi 55 % spotřeby energie na osvětlení.

Tab. 40 Přehled dodaných energií s návrhem fotovoltaických panelů

Přehled dodaných energií při jednotlivých opatřeních						
	Osvětlení [MWh]	**Nucené větrání [MWh]**	**Vytápění [MWh]**	**Teplá voda [MWh]**	**Chlazení [MWh]**	**Celkové roční dodané energie [MWh]**
Skutečný stav	129,26	5,41	74,51	5,64	99,05	313,87
Fotovoltaika	71,32					242,55

Tab. 41 Porovnání skutečného stavu a opatřením fotovoltaických panelů - roční spotřeba energií a náklady na energie

	Vypočtené energie		**Ušetřená energie / cena**				
	Elektrická energie [MWh]	**Zemní plyn [MWh]**	**Elektrická energie [MWh]**	**Zemní plyn [MWh]**	**Elektrická energie [Kč]**	**Zemní plyn [Kč]**	**Celkem [Kč]**
Skutečný stav	434,81	74,51	-	-	-	-	-
Fotovoltaika	363,49	74,51	74,11	0,77	207 429	709	208 139

Náklady na fotovoltaické panely bez montáže jsou uvažovány na panel Canadian o rozměrech 1638,0 × 982,0 × 40,0 mm. Na základě lokality modelové prodejny potravin se dle solární účinnosti daného území určil požadovaný výkon fotovoltaické elektrárny což je 60 kWp odpovídající 400 m^2. Z těchto údajů se určil počet panelů pro umístění na jižní stranu střešní konstrukce prodejny potravin, při čemž má tato strana střechy celkovou plochu přes 700 m^2.

Tab. 42 Výpočet pořizovacích nákladů fotovoltaických panelů

	Počáteční investice		
	Cena za kus [Kč]	**Počet kusů [-]**	**Cena celkem [Kč]**
Fotovoltaika	4656	250	1 164 000

8.2.5 Rekuperace

Rekuperace má za úkol využít teplo z odpadního vzduchu k předehřevu vzduchu z exteriéru přiváděného do interiéru budovy. V tomto případě bude navržena rekuperace jako součást vzduchotechniky pro zjištění přínosu tohoto opatření. Rekuperační jednotka by mohla být použita i pro využití odpadního tepla ze spotřebičů jako jsou chladící regály.

Obr. 87 Detail RRW 400 rotačního regeneračního výměníku [28]

Navržená rekuperační jednotka je RRW 400 rotační regenerační výměník. Průměr kola jednotky je 1000 mm, průtok je zvolen 5090 m^3/h, tepelná ztráta 200 Pa, Účinnost 75 % a rychlost proudění vzduchu 4 m/s. [28]

Tab. 43 Přehled dodaných energií s návrhem rekuperační jednotky

Přehled dodaných energií při jednotlivých opatřeních						
	Osvětlení [MWh]	**Nucené větrání [MWh]**	**Vytápění [MWh]**	**Teplá voda [MWh]**	**Chlazení [MWh]**	**Celkové roční dodané energie [MWh]**
Skutečný stav	129,26	5,41	74,51	5,64	99,05	313,87
Rekuperace	129,26	4,88	37,71	5,64	99,05	276,53

Rekuperace zajistí zpětné využití odpadního tepla a sníží tak budově náklady na dodanou energii na spotřebu pro vytápění čili sníží spotřebu zemního plynu.

Tab. 45 Porovnání skutečného stavu a opatřením rekuperační jednotky - roční spotřeba energií a náklady na energie

	Vypočtené energie		**Ušetřená energie / cena**					**Počáteční investice**
	Elektrická energie [MWh]	**Zemní plyn [MWh]**	**Elektrická energie [MWh]**	**Zemní plyn [MWh]**	**Elektrická energie [Kč]**	**Zemní plyn [Kč]**	**Cena celkem [Kč]**	**Cena celkem [Kč]**
Skutečný stav	434,81	74,51	-	-	-	-	-	-
Rekuperace	434,28	37,71	3,32	37,57	9 300	34 657	43 957	211 338

Je zvolena jedna rekuperační jednotka. Návrh je předběžný pouze pro viditelnost přínosu a pořizovacích nákladů v porovnání s ostatními opatřeními. Přesné navržení by bylo součástí projektu TZB.

Tab. 44 Výpočet pořizovacích nákladů rekuperační jednotky

	Počáteční investice		
	Cena za kus [Kč]	**Počet kusů [-]**	**Cena celkem [Kč]**
Rekuperace	72 662	1	72 662

8.2.6 Závěrečné vyhodnocení

V následujících tabulkách 46 a 47 je přehled všech opatření s dopadem na spotřebu dodaných energií, nákladů na energie a pořizovacích nákladů.

Žluté pole vyznačují nejvýhodnější varianty LED osvětlení a fotovoltaické panely a jejich vliv na celkové roční dodané energie. Pro ušetření energie a ceny za energie je nejprospěšnější návrh fotovoltaických panelů, avšak při ceně počátečních investic je cena panelů několikanásobně vyšší než u výměny osvětlení. Uvedené ceny na pořízení jednotlivých opatření jsou bez montáže prvků.

Tab. 46 Přehled dodaných energií s všech navržených variant

Přehled dodaných energií při jednotlivých opatřeních							
	Osvětlení [MWh]	Nucené větrání [MWh]	Vytápění [MWh]	Teplá voda [MWh]	Chlazení [MWh]	Celkové roční dodané energie [MWh]	Pomocné energie (spotřebiče, zařízení, čerpadla) [MWh]
Skutečný stav	129,26	5,41	74,51	5,64	99,05	313,87	195,45
LED	83,92	6,03	97,20	5,64	82,87	275,65	195,45
Fotovoltaika	71,32					242,55	195,45
Zateplení	129,26	5,04	54,85	5,64	98,51	293,30	195,45
Těsnost	129,26	5,16	64,99	5,64	100,14	305,18	195,45
Rekuperace	129,26	4,88	37,71	5,64	99,05	276,53	195,45

Tab. 47 Porovnání skutečného stavu a jednotlivých opatření - roční spotřeba energií, náklady na energie a pořizovací náklady

	Vypočtené energie		Ušetřená energie / cena					Počáteční investice
	Elektrická energie [MWh]	Zemní plyn [MWh]	Elektrická energie [MWh]	Zemní plyn [MWh]	Elektrická energie [Kč]	Zemní plyn [Kč]	Cena celkem [Kč]	Cena celkem [Kč]
Skutečný stav	434,81	74,51	-	-	-	-	-	-
LED	373,90	97,20	63,70	-21,92	178 281	- 20 223	158 059	123 750
Fotovoltaika	363,49	74,51	74,11	0,77	207 429	709	208 139	1 164 000
Zateplení	433,91	54,85	3,69	20,43	10 338	18 848	29 187	479 050
Těsnost	435,65	64,99	1,95	10,29	5 465	9 493	14 958	211 338
Rekuperace	434,28	37,71	3,32	37,57	9 300	34 657	43 957	211 338

V další části závěrečného vyhodnocení se provede posouzení návratnosti dvou nejefektivnějších opatření. Hodnocení je zpracováno v souladu s vyhláškou č. 480/2012 Sb. Je uplatněn růst ceny energií ve výši 3 % a délka hodnocení projektu je dle vyhlášky stanovena pevně na 20 let. Diskontní sazba byla aplikována s ohledem na charakter subjektu ve výši 3 %. Varianta 1 je návrh výměny LED osvětlení a varianta 2 zastupuje návrh fotovoltaických panelů.

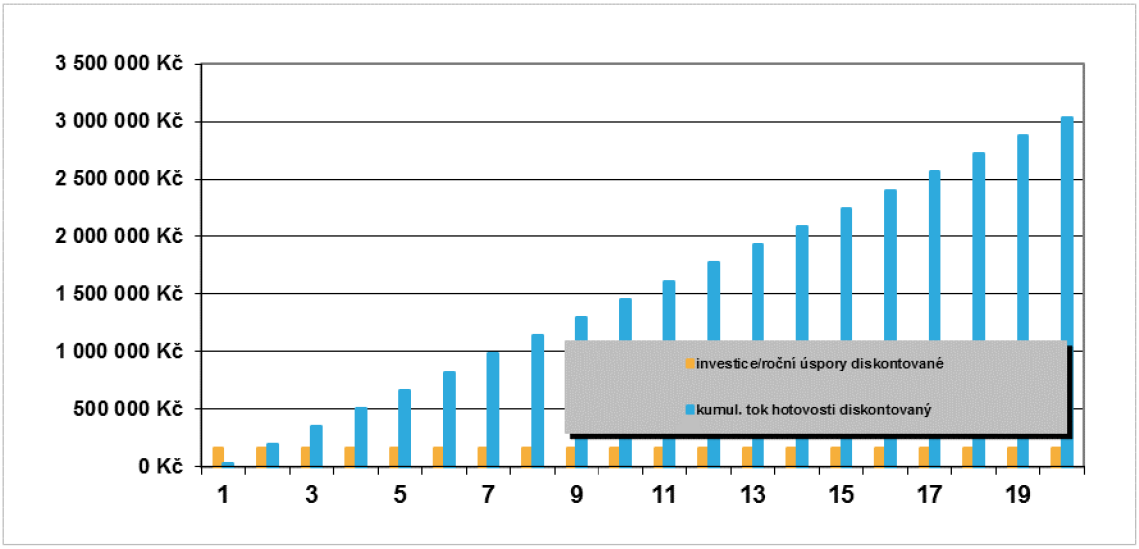
Ekonomické hodnocení Varianta 1 - LED osvětlení

Ekonomické hodnocení v tabulkách ukazuje vypočtenou dobu návratnosti a zisk na konci životnosti projektu (20 let). Doba návratnosti LED osvětlení již za 0,8 let.

Tab. 48 Ekonomické hodnocení - Varianta 1

Ekonomické hodnocení	VARIANTA 1: ZMĚNA DISTRIBUČNÍ SAZBY		
ř.	Parametr	Hodnota	
Investiční výdaje projektu			
1	**Investiční výdaje projektu celkem**	123 750	Kč
z toho:			
2	**Výdaje pro ekonomické hodnocení v auditu**	**123 750**	**Kč**
Přínosy projektu			
3	**Změna nákladů na energie**	**158 059**	**Kč**
5	**Přínosy projektu celkem**	**158 059**	**Kč**
Ekonomické vyhodnocení			
6	Doba hodnocení - životnost projektu	20	let
7	Diskontní míra - hodnota peněz	3,0%	ročně
8	Růst ceny energií	3,0%	ročně
9	Doba návratnosti prostá	0,8	roky
10	Doba návratnosti reálná	0,8	let
9	Čistá současná hodnota NPV - zisk na konci životnosti projektu	3 037 423	Kč
9	Vnitřní výnosové procento IRR	127,7%	

Graf návratnosti nákladů ukazuje diskontované investiční úspory a diskontovaný kumulační tok hotovosti.



Obr. 88 Grafické znázornění návratnosti - Varianta 1

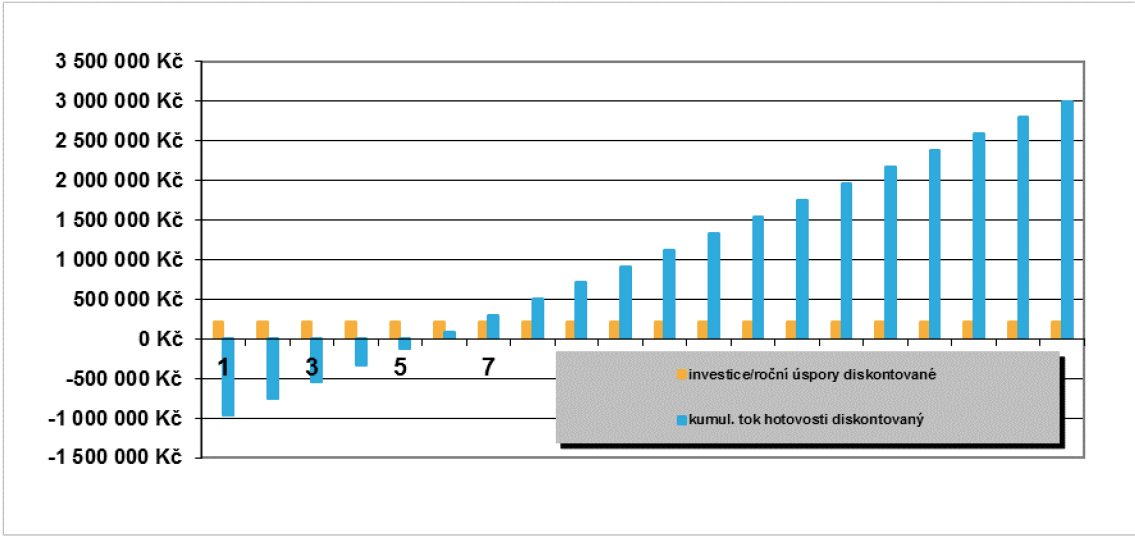
Ekonomické hodnocení Varianta 2 - Fotovoltaické panely

Doba návratnosti fotovoltaických panelů je 5,6 let, což je 7x delší doba než u LED osvětlení. Vnitřní výnosové procento u LED osvětlení je také větší než u varianty 2.

Tab. 49 Ekonomické hodnocení - Varianta 2

Ekonomické hodnocení	VARIANTA 2:	VÝMĚNA OSVĚTLENÍ	
ř.	Parametr	Hodnota	
Investiční výdaje projektu			
1	**Investiční výdaje projektu celkem**	1 164 000	Kč
z toho:			
2	**Výdaje pro ekonomické hodnocení v auditu**	**1 164 000**	**Kč**
Přínosy projektu			
3	**Změna nákladů na energie**	**208 139**	**Kč**
5	**Přínosy projektu celkem**	**208 139**	**Kč**
Ekonomické vyhodnocení			
6	Doba hodnocení - životnost projektu	20	let
7	Diskontní míra - hodnota peněz	3,0%	ročně
8	Růst ceny energií	3,0%	ročně
9	Doba návratnosti prostá	5,6	roky
10	Doba návratnosti reálná	5,6	let
9	Čistá současná hodnota NPV - zisk na konci životnosti projektu	2 998 774	Kč
9	Vnitřní výnosové procento IRR	17,1%	

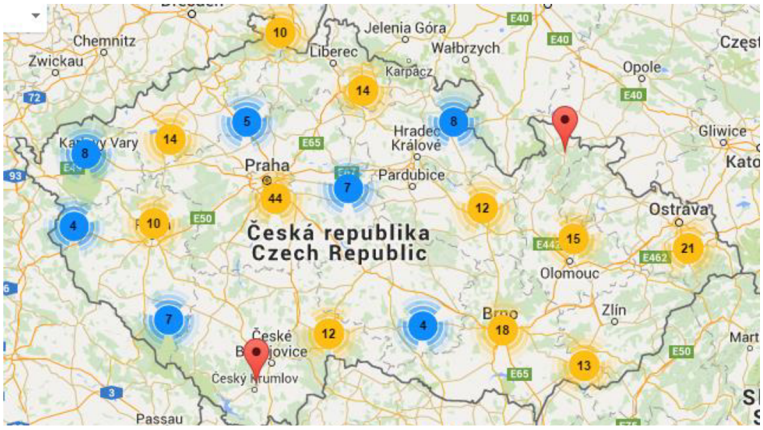
Graf přehledně ukazuje dobu návratnosti po počátečních nákladech na fotovoltaické panely.



Obr. 89 Grafické znázornění návratnosti - Varianta 2

I přes větší vypočítané energetické a finanční přínosy varianty 2, fotovoltaických panelů, se kvůli nižší pořizovací ceně zkrátí i doba návratnosti LED osvětlení a má tak vyšší vnitřní výnosové procento. Nejvýhodnější variantou se tak stává návrh výměny LED osvětlení.

Varianta opatření č. 1 je aplikovaná na celou modelovou prodejní síť v České republice.



Obr. 90 Mapa rozmístění prodejen potravin v České republice [29]

Uvažovaný počet prodejen dané prodejní sítě je 228. Při výměně LED osvětlení ve všech 228 prodejnách jsou hodnoty ušetřené energie a náklady na energii vidět v tabulce č. 50.

Tab. 50 Hodnocení energií a nákladů na energie pro celou prodejní síť

Hodnoty energií a nákladů na energie								
	Vypočtené energie		Ušetřená energie / cena					Počáteční investice
	Elektrická energie [MWh]	Zemní plyn [MWh]	Elektrická energie [MWh]	Zemní plyn [MWh]	Elektrická energie [Kč]	Zemní plyn [Kč]	Cena celkem [Kč]	Cena celkem [Kč]
Hodnoty jedné modelové prodejny								
Skutečný stav	435	75	-	-	-	-	-	-
LED opatření	374	97	64	- 22	178 281	- 20 223	158 059	123 750
Hodnoty celé prodejní sítě								
Skutečný stav	99 137	16 988	-	-	-	-	-	-
LED opatření	85 250	22 162	14 523	- 4 998	40 648 171	- 4 610 798	36 037 373	28 215 000

Pořizovací cena LED osvětlení pro celou společnost prodejen potravin je 28 215 000,- Kč. Ušetřením elektrické energie na osvětlení se náklady na dodanou energii sníží o 36 037 373,- Kč ročně. Z toho plyne, že doba návratnosti je 0,8 let, poté se společnost dostává do fáze šetření energie a financí po dobu životnosti vyměněného LED osvětlení.

9 ZÁVĚR

První, teoretická, část diplomové práce se věnovala legislativním předpisům souvisejících s problematikou diplomové práce. Byly popsány metody energetického hodnocení budov a kvůli experimentálnímu měření v rámci diplomové práce se rozvedly i teorie vzduchotěsnosti budovy a termografie.

V metodice práce byly shromážděny technické konstrukční i systémové informace o prodejně potravin a bylo rozepsáno experimentální měření včetně postupů, vstupních údajů a popisu přístrojů.

Dále se přistoupilo ke zhodnocení dílčích výsledků. Zpracovaly se hodnoty experimentů konaných na objektu, aplikovaly se skutečné spotřeby z poskytnutých faktur na prodejnu a energeticky se vyhodnotil stávající stav budovy. Současně byl vytvořen model prodejny potravin dle doporučených hodnot normou. Obě prodejny, se skutečnými a doporučenými hodnotami, se v závěru této části vzájemně porovnaly.

Na základě vyhodnocování dílčích výsledků ve třetí části se navrhly varianty opatření pro snížení energetické náročnosti budovy. Z pěti možných variant se po energetickém, ekonomickém a ekologickém vyhodnocení vybrala nejúspornější možnost výměna osvětlení. Konečný návrh se aplikoval na celou síť prodejen navržené společnosti.

9.1 NAPLNĚNÍ CÍLŮ

Cílem diplomové práce bylo energetické zhodnocení prodejny potravin, návrhy opatření pro snížení energetické náročnosti budovy a aplikování opatření na celou prodejní síť.

Stávající stav modelové prodejny potravin byl energeticky vyhodnocen na základě poskytnuté projektové dokumentace, technických listů a faktur spotřeb dodaných energií.

Objekt byl rozdělen do čtyř zón dle využití jednotlivých zón a jejich interního klimatu. Obalové konstrukce každé zóny byly posouzeny z hlediska součinitele prostupu tepla, tepelných ztrát a tepelných vazeb. Dále se pokračovalo výpočtem spotřeb dodaných energií, které byly přizpůsobeny dodaným fakturám reálných spotřeb. Zahrnuty byly technické systémy pro jednotlivé zóny, jako je osvětlení, nucené větrání,

chlazení, vytápění a potřeba tepla pro teplou vodu. Výpočet probíhal v programu Energie. Ostatní potřebné energie na technologie a spotřebiče byly počítány zvlášť dle parametrů z technických listů, počtu technologií a spotřebičů v daných zónách. Výstupem tohoto hodnocení je průkaz energetické náročnosti budovy prodejny potravin. Podle ukazatelů energetické náročnosti budovy byla budova zařazena do klasifikační třídy C - úsporná.

Prodejna potravin byla taktéž hodnocena dle normy TNI 73 0331. Poté proběhlo porovnání výsledků spotřeb dodaných energií dle TNI a reálných spotřeb. Rozdíly doporučených hodnot a hodnot skutečných jsou velmi odlišné. Tato část diplomové práce měla ukázat, jak mohou být doporučené hodnoty od skutečných nepřesné a odlišné.

Na hodnoceném objektu proběhlo experimentální měření, které pomohlo důkladněji vyhodnotit stávající stav prodejny a usnadnilo tak určování dílčích návrhů opatření. Bylo zhotoveno měření vzduchotěsnosti obálky budovy Blower-door testem, měřena míra osvětlenosti luxmetrem a zjištěna teplota vzduchu a povrchová teplota termovizní kamerou. Výsledky experimentálního měření byly zanalyzovány pomocí příslušných softwarů a použity pro závěrečné vyhodnocení objektu.

Na základě zjištěných dat experimentálního měření a spotřeb dodaných energií z energetického hodnocení se navrhly varianty opatření. Návrhy, výměna LED osvětlení, zateplení objektu, zlepšení parotěsnicí vrstvy ve stropní konstrukci, fotovoltaické panely a rekuperace, se následně energeticky vyhodnotily dle přínosů na snížení spotřeb dodaných energií a nákladů na energie, ale také dle nákladů na pořízení materiálů daných opatření bez montážních prací. Díky největším úsporám spotřeby dodané energie na elektrickou energii je nevýhodnějším opatřením instalace fotovoltaických panelů a druhým nejvýhodnějším je výměna osvětlení za LED zářivky. Pořizovací cena těchto dvou variant ale ukázala, že doba návratnosti fotovoltaických panelů je 7x delší než u LED zářivek, a proto se definitivním doporučením stala výměna osvětlení za LED zářivky.

U návrhů zateplení a zlepšení těsnosti obálky budovy je důležité si uvědomit, že budovy prodejen potravin mají velké množství spotřebičů, které vydávají odpadní teplo do interiéru. Sice by se těmito opatřeními trvale zlepšila hodnota vzduchotěsnosti N_{50}, tepelné vazby či součinitel prostu tepla obalových konstrukcí a tím by se snížila

spotřeba tepla na vytápění, ale budovy tohoto typu mají převážně problém v letním období s chlazením vnitřních prostorů. Jistá nedokonalost jako je netěsnost obálky budovy, pomáhá budově s úniky nechtěného tepla od spotřebičů. Objekt tedy bez těchto opatření má sice úniky tepla a v zimním období spotřebuje více energie zemního plynu na vytápění, než kdyby tyto opatření byly aplikovány, ale ušetří se na nákladech elektrické energie pro chlazení v letním období. Ceny energií zemního plynu jsou v České republice stále nižší než ceny elektrické energie a to i přesto, že budovy tohoto typu mohou mít snížené sazby za energie. Je také nutné pracovat s cenami za energie v poměru s cenami za plánované opatření a jejich následky.

Výsledná varianta s výměnou osvětlení za LED zářivky se na závěr aplikovala na celou modelovou prodejní síť v České republice. Doba návratnosti vítězného opatření je 0,8 let s vnitřním výnosovým procentem 127,7 %.

Cíle diplomové práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] Energetická náročnost budov. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2001 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz

[2] *Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií: Zákon č. 103/2015 Sb*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.

[3] *Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

[4] *Vyhláška č. 480/2012 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

[5] *ČSN TNI 73 0329: Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Bytové domy*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

[6] *ČSN TNI 73 0331: Energetická náročnost budov, Typické hodnoty parametrů technických systémů, užívání budov a klimatických dat pro výpočet a hodnocení energetické náročnosti budov*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

[7] POZEMNÍ STAVITELSTVÍ III. *Fast10.vsb* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps3/index.html

[8] *ČSN EN 15217: Energetická náročnost budov - Metody pro vyjádření energetické náročnosti a pro energetickou certifikaci budov*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.

[9] *ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

[10] Zateplenie domov a bytov. *Xnabytok* [online]. xNábytok.sk, 2010 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.xnabytok.sk/

[11] Yangın Yalıtımı. *Dekorasyondunyasi* [online]. Dekorasyondunyasi.net [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.dekorasyondunyasi.net/

[12] Tepelně technické vlastnosti konstrukcí. *Panelovedomy.ekowatt* [online]. Praha: EkoWATT o.s. [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.panelovedomy.ekowatt.cz/

[13] KROV, Lubomír. Vzduchotěsnost obálky budovy [online]. Havlíčkův Brod:SPŠ stavební akademika Stanislava Bechyně, [2010], 13 s. [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.stavskola.cz/projektyagranty/opvk-1/opvk-environmental/vystupy-aktivity

[14] Termogafie. *See-more* [online]. Absolutus.cz, 2015 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.see-more.cz/

[15] Termovizní snímkování. *Drevoastavby* [online]. [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.drevoastavby.cz/

[16] NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 203 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-1953-5.

[17] Osvětlení. *Svetelnestudio* [online]. www.fastcentrik.cz [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.svetelnestudio.cz/

[18] Základy světelné techniky. *Odbornecasopisy* [online]. Praha: FCC Public s.r.o., 2014 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/

[19] Environmental Monitors. *Elsec* [online]. Littlemore Scientific, 2011 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.elsec.co.uk/

[20] Termokamery FLIR B425. *Geotronics* [online]. Praha: GEOTRONICS Praha, s. r. o., 2008 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.geotronics.cz/

[21] Js-abacus. *Js-abacus* [online]. VIKTORIN Computers, 2011 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.js-abacus.cz/realizovane-projekty/fotogalerie/

[22] Firmy.cz. *Firmy.cz* [online]. Seznam.cz, a.s., 1996 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.firmy.cz/detail/1952629-lidl-brno-lesna.html

[23] BlowerDoor Test. *Test-blowerdoor* [online]. lonex [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.test-blowerdoor.cz/

[24] MINNEAPOLIS BLOWER DOOR™ SYSTEM. *The Energy Conservatory* [online]. 2016 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://products.energyconservatory.com/minneapolis-blower-door-system/

[25] FLIR TOOLS. *FLIR* [online]. Praha: EXXO.cz, 2016 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.termokamery-flir.cz/software-flir-tools/

[26] LED ZÁŘIVKA. *Ledsviti* [online]. Česká Lípa: ledsviti.cz [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: https://www.ledsviti.cz

[27] Solární panel Canadian. *Solareconomic* [online]. České Budějovice: http://www.eshop-rychle.cz/ [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.solareconomic.cz/

[28] RRW 400 rotační regenerační výměník. *Elektrodesign* [online]. ELEKTRODESIGN ventilátory spol. s r.o, 2003 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.elektrodesign.cz/

[29] Pobočky prodejen v České republice. *Mapaobchodu* [online]. amedio group [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.mapaobchodu.cz/

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Klasifikační třídy energetické náročnosti budovy [3] 18

Tab. 2 Tabulka doporučených a požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla 1/2 [9] 20

Tab. 3 Tabulka doporučených a požadovaných hodnot součinitele prostupu tepla 2/2 [9] 21

Tab. 4 Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy [9] 23

Tab. 5 Porovnání parametrů typických pro užívání budov TNI 73 0331 28

Tab. 6 Doporučené hodnoty intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ dle ČSN 73 0540-2 31

Tab. 7 Zónování budovy 42

Tab. 8 Typy svítidel v modelové prodejně potravin 55

Tab. 9 Naměřené hodnoty jednotlivých koridorů 55

Tab. 10 Základní tlakový rozdíl při podtlaku a přetlaku 57

Tab. 11 Interval spolehlivosti při podtlaku 58

Tab. 12 Interval spolehlivosti při přetlaku 59

Tab. 13 Přehled celkového vyhodnocení Blower-door testu na prodejně potravin 60

Tab. 14 Svislé neprůsvitné konstrukce 66

Tab. 15 Vodorovné konstrukce - podlaha 68

Tab. 16 Vodorovné konstrukce - strop 69

Tab. 17 Šikmé konstrukce - střecha 70

Tab. 18 Výplně otvorů - okna, dveře 71

Tab. 19 Tabulka posouzení pro zónu 1 72

Tab. 20 Tabulka posouzení pro zónu 2 73

Tab. 21 Tabulka posouzení pro zónu 3 74

Tab. 22 Tabulka posouzení pro zónu 4 75

Tab. 23 Tabulka posouzení průměrného součinitele prostupu tepla více zónovou budovou 76

Tab. 24 Hodnoty technických systémů budovy použité pro energetické hodnocení budovy - výchozí stav 83

Tab. 25 Tabulka spotřeb elektrické energie, zemního plynu a studené vody z faktur 84

Tab. 26 Celková energetická bilance pro výchozí stav budovy 85

Tab. 27 Celková emisní bilance pro stávající stav budovy 87

Tab. 28 Přehled dodaných energií při výměně LED zářivek 91

Tab. 29 Porovnání skutečného stavu a LED opatření - roční spotřeba energií a náklady na energie 91

Tab. 30 Výpočet pořizovacích nákladů na LED osvětlení 91

Tab. 31 Svislé neprůsvitné konstrukce se zateplením 92

Tab. 32 Tabulka posouzení průměrného součinitele prostupu tepla více zónovou budovou se zateplením 94

Tab. 33 Přehled dodaných energií při zateplení 95

Tab. 34 Porovnání skutečného stavu a opatření zateplením - roční spotřeba energií a náklady na energie 95

Tab. 35 Výpočet pořizovacích nákladů na tepelnou izolaci 95

Tab. 36 Skladba stropní konstrukce s výpočtem součinitele prostupu tepla - OSB deska 96

Tab. 37 Přehled dodaných energií s variantou lepší těsnosti obálky budovy 97

Tab. 38 Porovnání skutečného stavu a opatřením OSB deskou ve stropní konstrukci - roční spotřeba energií a náklady na energie 98

Tab. 39 Výpočet pořizovacích nákladů parotěsnící vrstvy OSB desek 98

Tab. 40 Přehled dodaných energií s návrhem fotovoltaických panelů 99

Tab. 41 Porovnání skutečného stavu a opatřením fotovoltaických panelů - roční spotřeba energií a náklady na energie 99

Tab. 42 Výpočet pořizovacích nákladů fotovoltaických panelů 99

Tab. 43 Přehled dodaných energií s návrhem rekuperační jednotky 100

Tab. 45 Výpočet pořizovacích nákladů rekuperační jednotky 100

Tab. 44 Porovnání skutečného stavu a opatřením rekuperační jednotky - roční spotřeba energií a náklady na energie 100

Tab. 47 Porovnání skutečného stavu a jednotlivých opatření - roční spotřeba energií, náklady na energie a pořizovací náklady 101

Tab. 46 Přehled dodaných energií s všech navržených variant 101

Tab. 48 Ekonomické hodnocení - Varianta 1 102

Tab. 49 Ekonomické hodnocení - Varianta 2 103

Tab. 50 Hodnocení energií a nákladů na energie pro celou prodejní síť 104

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma umístění systémové hranice budovy [5] 16
Obr. 2 Soustava půdorysných rozměrů 16
Obr. 3 Princip výpočtu energetické náročnosti budov [6] 18
Obr. 4 Obálka budovy - tepelné ztráty obalovými konstrukcemi [10] 20
Obr. 5 Obálka budovy s vnějšími vlivy okolí[11] 20
Obr. 6 Příklad energetického štítku obálky budovy [9] 23
Obr. 7 Grafické znázornění průkazu [3] 26
Obr. 8 Graf závislosti objemového toku vzduchu netěsnostmi v obálce budovy na tlakovém rozdílu [16] 29
Obr. 9 Elektromagnetické spektrum [7] 33
Obr. 10 Schéma termovizního měření objektu: 33
Obr. 11 Znázornění světelného toku [17] 34
Obr. 12 Úhlový diagram svítivosti [17] 34
Obr. 13 Vnímání jasnosti světla [17] 35
Obr. 14 Barevné spektrum teplot chromatičnosti [17] 35
Obr. 15 Typická budova prodejny potravin 1 [21] 38
Obr. 16 Typická budova prodejny potravin 2 [22] 38
Obr. 17 Jihozápadní pohled 39
Obr. 18 Jihovýchodní pohled 39
Obr. 19 Severozápadní pohled 39
Obr. 20 Severovýchodní pohled 39
Obr. 21 Vyznačení zón prodejny potravin 40
Obr. 22 Zónování - Jihozápadní pohled 41
Obr. 23 Zónování - Jihovýchodní pohled 41
Obr. 24 Zónování - Severozápadní pohled 41
Obr. 25 Zónování - Severovýchodní pohled 41
Obr. 26 ELSEC 765 Environmental Monitor [19] 43
Obr. 27 Schéma prodejny pro značení koridorů při postupu měření 44
Obr. 28 Utěsnění nuceného větrání - odvod vzduchu v prodejně 45
Obr. 29 Utěsnění nuceného větrání - přívodu vzduchu v prodejně 45
Obr. 30 Blower-door test - ventilátory 3/5 - interiér (Prodejna) 46
Obr. 31 Blower-door test - ventilátory 2/5 - interiér (Sklad) 46
Obr. 32 Umístění ventilátorů Blower-door testu v zóně budovy pro měření neprůvzdušnosti 47

Obr. 33 Pohled na umístěné ventilátory za provozu Blower-door testu z exteriéru 47
Obr. 34 Blower-door test - měření základního tlakového rozdílu (Baseline) 49
Obr. 35 Základní balení prvků Blower-door testu [24] 50
Obr. 36 Měření a vyhodnocení Blower-door testu softwarem TECTITE Express Manual 51
Obr. 37 Měření a vyhodnocení Blower-door testu softwarem TECLOG3 51
Obr. 38 Termovizní kamera FLIR B425 [20] 53
Obr. 39 Ukázka editace termovizních snímků v softwaru FLIR Tools 54
Obr. 40 Grafické znázornění naměřených hodnot osvětlenosti 56
Obr. 41 Schéma rozložení osvětlenosti v prodejně 56
Obr. 42 Model tlakové zóny prodejny potravin 57
Obr. 43 Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při podtlaku na regresní přímce ... 58
Obr. 44 Grafické vyhodnocení naměřených hodnot při přetlaku na regresní přímce 59
Obr. 45 SDK pohled v prodejně při podtlaku - vykreslení vzduchové netěsnosti 61
Obr. 46 Reálný snímek z místa vytvoření termogramu - prodejna 61
Obr. 47 SDK pohled ve skladu při podtlaku - vykreslení vzduchové netěsnosti 61
Obr. 48 Reálný snímek z místa vytvoření termogramu - sklad 61
Obr. 49 Odtah vzduchotechnické jednotky v krovním prostoru při přetlaku - vykreslení vzduchové netěsnosti 62
Obr. 50 Prostor krovu při měření přetlaku - vykreslení vzduchové netěsnosti 62
Obr. 51 Termogram chladicí truhly 62
Obr. 52 Reálný snímek chladící truhly 62
Obr. 53 Termogram chladicích boxů a chladicích regálů 62
Obr. 54 Reálný snímek chladicích boxů a chladicích regálů 62
Obr. 55 Termogram pekárny 63
Obr. 56 Reálný snímek pekárny 63
Obr. 57 Termogram mrazicího boxu v prostorách skladu 63
Obr. 58 Reálný snímek mrazicího boxu v prostorách skladu 63
Obr. 59 Termogram obvodové stěny prodejny s viditelnými tepelnými mosty konstrukce 64
Obr. 60 Reálný snímek obvodové stěny prodejny 64
Obr. 61 Termogram obvodové stěny prodejny s viditelnými spáry zděné výplně 64
Obr. 62 Termovizní snímek při styku obvodové stěny a podhledu 64
Obr. 63 Snímek styku obvodové stěny a podhledu 64
Obr. 64 Termogram styku výplní otvorů 65
Obr. 65 Styk výplní otvorů 65

Obr. 66 Termovizní snímek střešního prostoru 65
Obr. 67 Termovizní snímek výlezu do půdního prostoru 65
Obr. 68 Termovizní snímek únikového východu 65
Obr. 69 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 2,8 1/h 78
Obr. 70 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 2,8 1/h, s rekuperací 78
Obr. 71 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} – 4,5 1/h 79
Obr. 72 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} – 4,5 1/h, s rekuperací 79
Obr. 73 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} – 5,2 1/h 80
Obr. 74 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} – 5,2 1/h, s rekuperací 80
Obr. 75 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 7,5 1/h 81
Obr. 76 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 7,5 1/h, s rekuperací 81
Obr. 77 Graf spotřeb energií 86
Obr. 78 Graf nákladů na energie 86
Obr. 79 Grafické znázornění emisní bilance stávajícího stavu budovy 87
Obr. 80 Celková měrná dodaná energie budovy, N50 - 5,2 1/h, TNI 73 0331 88
Obr. 81 Celková měrná dodaná energie budovy, N_{50} - 5,2 1/h, reálná spotřeba 88
Obr. 82 Detail trubicové LED zářivky [26] 90
Obr. 83 Rozměry LED zářivky [26] 91
Obr. 84 Zateplení stropní konstrukce mezi trámy 96
Obr. 85 Skladba stropní konstrukce s OSB deskou 97
Obr. 86 Detail fotovoltaického panelu Canadian [27] 98
Obr. 87 Detail RRW 400 rotačního regeneračního výměníku [28] 100
Obr. 88 Grafické znázornění návratnosti - Varianta 1 102
Obr. 89 Grafické znázornění návratnosti - Varianta 2 103
Obr. 90 Mapa rozmístění prodejen potravin v České republice [29] 104

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Ozn.	Veličina	Jednotka
A	Plocha	m2
AE	Celková plocha obálky budovy	m2
AF	Celková podlahová plocha budovy	m2
bi	Činitel teplotní redukce	-
c	Měrná tepelná kapacita	J/kg.K
C	Součinitel proudění	m3/h.Pa
d	Tloušťka vrstvy	mm
E	Intenzita osvětlení	lx
ε	Emisivita objektu	-
HT	Měrné ztráty prostupem tepla	W/K
I	Svítivost	cd [candela]
K	Světelná účinnost	lm/W
L	Jas	cd/m2
n	Exponent proudění	-
nref	Intenzita výměny vzduchu	h/1
n50	Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa	h/1
n50,N	Doporučená/limitní hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při 50 Pa	h/1
P	Výkon	W
Pf	Nominální výkon panelu fotovoltaické sluneční elektrárny	Wp
Q	Průtok	m3.s-1
Q_E	Energie	MWh /GJ
Qs	Spotřeba energie	MWh/rok
R	Tepelný odpor konstrukce	m2.K/W
t	Teplota vnitřního prostředí	°C
Tmin	Minimální teplota v kontrolním bodě	°C
Tmax	Maximální teplota v kontrolním bodě	°C
T_{CH}	Teplota chromatičnosti	K [Kelvin]
U_{EL}	Elektrické napětí	V
U	Součinitel prostupu tepla	W/m2K

v	Rychlost proudění	m.s-1
V	Objem	m3
Vtok	Objemový tok vzduchu	m3/h
V50	Objemový tok vzduchu při 50 Pa	m3/h
Ψ	Lineární a bodový činitel prostupu tepla	W/(m.K)
Δp	Tlakový rozdíl	Pa
Φ	Světelný tok	lm
θim	Vnitřní návrhová teplota	°C
θe	Venkovní návrhová teplota	°C
tp	Teplota termovizního měření provoz/podtlak	°C
λ	Součinitel tepelné vodivosti	W/(m.K)
χ	Tepelné vazby	W/m2K
η	Účinnost	%
-	Spektrální rozsah	μm
-	Rozlišení	px
-	Prostorové rozlišení	mrad

Ozn.	**Název**
CEVP	Celková energeticky vztažná plocha
ČKAIT	Autorizací české komory autorizovaných inženýrů a techniků
ČR	Česká republika
ČSN	Český normalizační institut / Česká stavení norma
EU	Evropská unie
ENB	Energetická náročnost budov
EPBD II.	Energy performance of buildings Directive II. (Směrnice 2010/31/EU)
EPS	Expandovaný pěnový polystyren
IČ kamera	Infračervená kamera
IR záření	Infračervené záření
IRR	Vnitřní výnosové procento
LED	Light Emitting Diode / Dioda emitující světlo
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
NPV	Čistá současná hodnota
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy

TNI	Technické normalizační informace
TV	Teplá voda
TZB	Technická zařízení budov
UV záření	Ultrafialové záření
VZT	Vzduchotechnika

SEZNAM PŘÍLOH

1. Průkaz energetické náročnosti budovy prodejny potravin, viz přiložené CD
2. Technické listy spotřebičů, viz přiložené CD
3. Výkres půdorysu 1.NP prodejny potravin M 1:100
4. Výkres řezu prodejny potravin M 1:100
5. Výkres pohledu J, Z prodejny potravin M 1:200
6. Výkres pohledu S, V prodejny potravin M 1:200