

# **Integrovaný systém v budově – systém techniky prostředí ve výrobní hale**

The integrated system in the building – the system within the manufacturing hall

Bc. Tomáš Malušek

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš MALUŠEK**  
Osobní číslo: **A10353**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**

Téma práce: **Integrovaný systém v budově – Systém techniky prostředí ve výrobní hale**

### Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte specifika prostředí ve strojírenských provozovnách typu výrobních linek, zahrnující technologii tvorby vnitřního prostředí.
2. Na základě výše uvedené analýzy popište požadavky na mikroklimatické požadavky, tepelně-technické vlastnosti budovy, osvětlení s aplikací strojírenské provozovny.
3. Uvedte možnosti řešení systémů techniky prostředí, včetně jejich řízení, monitorování a komunikace u strojírenských provozoven.
4. Zjistěte tepelně-technické parametry konkrétní budovy a navrhnete jejich případné zlepšení tak, aby jejich vlastnosti odpovídali legislativním předpisům.
5. Pro takto upravenou budovu navrhnete vhodný systém techniky prostředí se zvážením možností využití obnovitelných zdrojů energie.
6. Navrhnete vhodný systém řízení, monitorování a komunikace navrženého systému techniky prostředí s vizualizací SCADA s případnou vazbou na management budovy.
7. V případě návrhu využití obnovitelných zdrojů energie provedte technicko-ekonomické hodnocení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. CHYSKÝ, Jaroslav. Větrání a klimatizace. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
2. LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001, 208 s. Sešit projektanta – pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-020-1466-9.
3. DANIELS, Klaus a Tomáš SUCHÁNEK. Technika budov: příručka pro architekty a projektanty. 1. čes. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 519 s. Sešit projektanta – pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-889-0563-X.
4. JELÍNEK, Vladimír a Tomáš SUCHÁNEK. Technická zařízení budov: podklady pro projekty : určeno pro stud. fak. stavební. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1991, 29 s. Sešit projektanta – pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-010-0586-0.
5. MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. Sešit projektanta – pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 978-802-4723-679.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Martin Zálešák, CSc.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

**24. února 2012**

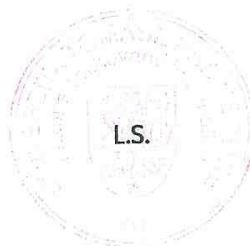
Termín odevzdání diplomové práce:

**6. června 2012**

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá problematikou návrhu integrovaných systémů v budovách, tzv. inteligentní budovy. Cílem této práce je navrhnout tyto integrované systémy do průmyslové haly a díky tomu tak co nejvíce zmenšit provozní náklady. Návrh těchto integrovaných systémů do průmyslové haly zahrnuje vytápěcí systém, systém pro ohřev pitné vody, větrání budovy, návrh osvětlení a celkové ekonomické zhodnocení. Součástí návrhu je také možnost využití alternativních zdrojů energie. Systémy použité v této práci byly vybrány s ohledem na současné trendy v jednotlivých odvětvích a vytváří komfortní prostředí pro pracovníky průmyslové haly.

Klíčová slova: inteligentní budova, infračervený plynový zářič, solární kolektor, vytápění, tepelné ztráty, SCADA

## **ABSTRACT**

This thesis deals with questions of designing integrated systems in buildings, so called intelligent buildings. The aim of this thesis is to design such an integrated system into industrial hall, which minimizes operating costs. Design of these integrated systems into industrial hall includes heating system, drinking water heating, ventilation of the building, lighting design and overall economic assessment. Possibility of using alternative energy is also a part of the design. All systems used in this thesis were chosen with consideration of modern trends in each branch of industry and creates a comfortable environment for workers of industrial hall.

Keywords: intelligent building, infrared gas heater, solar collector, heating, heat loss, SCADA

Tímto děkuji Ing. Martinu Zálešákovi, CSc. za cenné rady a odborné vedení při tvorbě této diplomové práce.

Poděkování patří i mým rodičům a mé sestře za velkou podporu po čas celého studia na vysoké škole a také při tvorbě této diplomové práce.

*"Ten, kdo nedělá žádné chyby, nedělá ani žádné pokroky."*

(Theodore Roosevelt)

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÚVOD .....</b>                                         | <b>10</b> |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>                            | <b>11</b> |
| <b>1 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV .....</b>                    | <b>12</b> |
| 1.1 TEPELNÉ PARAMETRY PROSTŘEDÍ .....                     | 12        |
| 1.1.1 Tepelná pohoda .....                                | 12        |
| 1.1.2 Operativní teplota .....                            | 13        |
| 1.1.3 Relativní vlhkost vzduchu .....                     | 14        |
| 1.1.4 Rychlost proudění vzduchu .....                     | 15        |
| 1.1.5 Index PMV a PPD .....                               | 15        |
| 1.2 HYGIENICKÉ PARAMETRY PROSTŘEDÍ .....                  | 17        |
| 1.2.1 Chemické škodliviny .....                           | 17        |
| 1.2.2 Radon .....                                         | 18        |
| 1.2.3 CO <sub>2</sub> .....                               | 19        |
| 1.2.4 NPK a PEL .....                                     | 19        |
| 1.3 AKUSTICKÉ PARAMETRY PROSTŘEDÍ .....                   | 20        |
| 1.4 SVĚTELNĚ-TECHNICKÉ PARAMETRY PROSTŘEDÍ .....          | 21        |
| 1.4.1 Přirozené osvětlení .....                           | 21        |
| 1.4.2 Umělé osvětlení .....                               | 22        |
| 1.5 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA .....                 | 22        |
| <b>2 ZDROJE ENERGIE .....</b>                             | <b>24</b> |
| 2.1 OBNOVITELNÉ ZDROJE .....                              | 24        |
| 2.1.1 Solární energie .....                               | 24        |
| 2.1.2 Větrná energie .....                                | 24        |
| 2.1.3 Vodní energie .....                                 | 25        |
| 2.1.4 Biomasa .....                                       | 25        |
| 2.2 NEOBNOVITELNÉ ZDROJE .....                            | 26        |
| <b>3 INTELIGENTNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA .....</b>               | <b>27</b> |
| <b>4 VYTÁPĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH OBJEKTŮ .....</b>              | <b>28</b> |
| 4.1 TEPLOVZDUŠNÉ VYTÁPĚNÍ .....                           | 28        |
| 4.1.1 Vířivé ventilátory .....                            | 29        |
| 4.2 SÁLAVÉ VYTÁPĚNÍ .....                                 | 30        |
| 4.2.1 Vodní sálavé vytápění .....                         | 30        |
| 4.2.2 Elektrické infrazářiče .....                        | 32        |
| 4.2.3 Plynové Infrazářiče .....                           | 33        |
| 4.3 STUPEŇ HOSPODÁRNOSTI .....                            | 39        |
| <b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>                            | <b>41</b> |
| <b>5 PODKLADY TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOVY (TZB) .....</b> | <b>42</b> |

|          |                                                       |            |
|----------|-------------------------------------------------------|------------|
| 5.1      | POSTUP PŘI NAVRHOVÁNÍ TZB .....                       | 42         |
| 5.2      | POPIS OBJEKTU .....                                   | 43         |
| 5.3      | OKRAJOVÉ PODMÍNKY .....                               | 44         |
| 5.4      | SLOŽENÍ PŮVODNÍCH KONSTRUKCÍ.....                     | 45         |
| 5.5      | VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT .....                         | 47         |
| 5.5.1    | Tepelná ztráta prostupem tepla .....                  | 49         |
| 5.5.2    | Tepelná ztráta větráním .....                         | 51         |
| 5.5.3    | Celková tepelná ztráta.....                           | 53         |
| 5.5.4    | Tepelná ztráta objektu před rekonstrukcí.....         | 54         |
| 5.5.5    | Kondenzace vodní páry v původním objektu.....         | 57         |
| 5.5.6    | Energetický štítek obálky původní budovy.....         | 58         |
| <b>6</b> | <b>NÁVRH TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOVY (TZB) .....</b>  | <b>61</b>  |
| 6.1      | NÁVRH TEPELNÉ IZOLACE BUDOVY.....                     | 61         |
| 6.2      | SLOŽENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ PO REKONSTRUKCI .....   | 65         |
| 6.3      | TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU PO REKONSTRUKCI .....          | 67         |
| 6.4      | SROVNÁNÍ TEPELNÝCH ZTRÁT PŘED A PO REKONSTRUKCI ..... | 72         |
| 6.5      | KONDENZACE VODNÍ PÁRY V OBJEKTU PO REKONSTRUKCI.....  | 76         |
| 6.6      | ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY PO REKONSTRUKCI..... | 78         |
| 6.7      | CELKOVÝ NÁVRHOVÝ TEPELNÝ VÝKON .....                  | 80         |
| 6.8      | TEPELNÁ ZÁTĚŽ BUDOVY.....                             | 81         |
| <b>7</b> | <b>OHŘEV TEPLÉ VODY .....</b>                         | <b>83</b>  |
| 7.1      | POPIS OBJEKTU .....                                   | 83         |
| 7.2      | STANOVENÍ POTŘEBY TEPLÉ VODY .....                    | 84         |
| 7.3      | STANOVENÍ POTŘEBY TEPLA .....                         | 87         |
| 7.4      | STANOVENÍ KŘIVKY ODBĚRU TEPLÉ VODY.....               | 88         |
| 7.5      | STANOVENÍ KŘIVKY ODBĚRU A DODÁVKY TEPLA.....          | 90         |
| 7.6      | STANOVENÍ OBJEMU ZÁSOBNÍKU.....                       | 92         |
| 7.7      | STANOVENÍ TEPELNÉHO VÝKONU PRO OHŘEV VODY .....       | 95         |
| 7.8      | DIMENZOVÁNÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ .....                 | 97         |
| 7.9      | ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ .....                          | 102        |
| 7.10     | REGULACE SYSTÉMU .....                                | 107        |
| 7.11     | HYDRAULICKÉ ZAPOJENÍ SYSTÉMU .....                    | 109        |
| <b>8</b> | <b>VYTÁPĚNÍ OBJEKTU .....</b>                         | <b>111</b> |
| 8.1      | ZPŮSOB VYTÁPĚNÍ.....                                  | 111        |
| 8.2      | VÝBĚR ZÁŘIČE .....                                    | 113        |
| 8.3      | ZÓNOVÁNÍ BUDOVY .....                                 | 116        |
| 8.4      | ROZMÍSTĚNÍ ZÁŘIČŮ.....                                | 118        |
| 8.5      | STANOVENÍ VÝKONU ZÁŘIČŮ.....                          | 120        |
| 8.6      | KONTROLA INTENZITY SÁLÁNÍ.....                        | 122        |
| 8.7      | ODVOD SPALIN.....                                     | 123        |
| 8.8      | DOPLŇKOVÉ ZDROJE TEPLA .....                          | 125        |
| 8.8.1    | Teplovzdušná kondenzační jednotka.....                | 125        |

|           |                                                |            |
|-----------|------------------------------------------------|------------|
| 8.8.2     | Vratová clona .....                            | 129        |
| 8.9       | REGULACE VYTÁPĚCÍCH ZDROJŮ.....                | 130        |
| 8.9.1     | Regulace světlyých zářičů.....                 | 130        |
| 8.9.2     | Regulace teplovzdušných jednotek .....         | 132        |
| <b>9</b>  | <b>VĚTRÁNÍ OBJEKTU.....</b>                    | <b>133</b> |
| 9.1       | VĚTRÁNÍ V ZIMNÍM OBDOBÍ.....                   | 133        |
| 9.2       | VĚTRÁNÍ V LETNÍM OBDOBÍ.....                   | 135        |
| <b>10</b> | <b>OSVĚTLENÍ OBJEKTU.....</b>                  | <b>136</b> |
| <b>11</b> | <b>SCADA VIZUALIZACE .....</b>                 | <b>138</b> |
| <b>12</b> | <b>FACILITY MANAGEMENT.....</b>                | <b>140</b> |
| <b>13</b> | <b>EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PROJEKTU.....</b>      | <b>141</b> |
| 13.1      | CELKOVÁ POTŘEBA TEPLA .....                    | 141        |
| 13.2      | ZATEPLENÍ BUDOVY .....                         | 142        |
| 13.3      | TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOVY .....                | 143        |
| 13.4      | DOSAŽENÁ ÚSPORA .....                          | 144        |
| 13.5      | CELKOVÉ HODNOCENÍ PROJEKTU .....               | 145        |
|           | <b>ZÁVĚR.....</b>                              | <b>146</b> |
|           | <b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>                 | <b>147</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>         | <b>148</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b> | <b>152</b> |
|           | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>                     | <b>153</b> |
|           | <b>SEZNAM TABULEK .....</b>                    | <b>156</b> |
|           | <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>                     | <b>158</b> |

## ÚVOD

V současné době se požadavky bydlení a na kvalitu pracovní prostředí čím dál více zvyšují. S rostoucím komfortem také ale úměrně vzrůstají celkové náklady. Nároky kladené v současné době na moderní veřejné budovy vycházejí ze dvou základních okruhů podmínek. Musí být respektovány požadavky na úsporu nákladů (investičních, provozních atd.) a přitom musí být také splněno očekávání pracovníků, kteří vyžadují kvalitní pracovní prostředí přispívající k vysoké produktivitě práce. Budovu, která zajišťuje dostatečný komfort a zároveň neplýtvá energiemi, označujeme jako inteligentní budovu.

Termín inteligentní budova má svůj původ v USA, kde byl poprvé použit na počátku 90. let. Inteligentní budovy jsou objekty se sjednocenými systémy řízení (technika prostředí, komunikace, energetika), zabezpečení (kontrola přístupu, požární ochrana, bezpečnostní systém) a správy budovy (údržba, plánování, pronájem, inventář) Optimalizací těchto složek a vzájemných vazeb mezi nimi je zabezpečeno produktivní a nákladově efektivní prostředí.

Koncepce inteligentní budovy klade důraz na to, aby jednotlivé systémy budovy, z nichž každý musí samozřejmě bezchybně plnit jemu příslušné funkce, byly navíc vzájemně provázány. Klíčovým prvkem v koncepci inteligentní budovy je sdílení informací mezi jednotlivými systémy řízení, zabezpečení a správy objektu. Nástrojem, který toto sdílení informací zprostředkuje, je integrace systémů. Integrací systémů zde rozumíme jejich propojení obousměrnou datovou komunikací.

Pokud chceme mít takovouto inteligentní budovu (v našem případě inteligentní průmyslovou halu) musíme všechny tyto požadavky splnit. V následujících řádcích je popsán postup návrhu inteligentní průmyslové haly, který se zakládá na reálném projektu.

Nejdříve budou zkompletovány teoretické požadavky na toto prostředí, které budou následně aplikovány při návrhu integrovaných systémů do průmyslové haly. Všechny získané poznatky se budeme snažit aplikovat tak, aby bylo dosaženo pokud možno co nejlepšího výsledku z hlediska úspor. Nikdy ovšem nebude snížen komfort pro pracovníky, který by mohl negativně ovlivnit jejich produktivitu práce.

Systémů pro zajištění těchto požadavků existuje mnoho, způsobu řešení se tedy také velké množství. Ve výsledku se budeme snažit vybrat takový integrovaný systém, který nám zajistí označení inteligentní průmyslová budova.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV

Vnitřní parametry prostředí mají velký vliv na zdraví a celkovou pohodu člověka. Parametry vnitřního prostředí do jisté míry také ovlivňují pracovní výkon zaměstnanců. Je proto velmi důležité udržovat tyto parametry v optimálních hodnotách. Základní parametry vnitřního prostředí tvoří tyto složky: [1]

- Tepelné parametry
- Světelně-technické parametry
- Akustické parametry
- Elektromagnetická kompatibilita
- Hygienické parametry

## 1.1 Tepelné parametry prostředí

V této kapitole budou uvedeny základní parametry a veličiny, které nejvíce ovlivňují tepelnou pohodu ve vnitřním prostředí.

### 1.1.1 Tepelná pohoda

Na základě biologických pochodů člověk neustále produkuje teplo, které odevzdává do svého okolí. Stav, kdy prostředí odebírá tělu tolik tepla, kolik právě produkuje, označujeme jako tepelná rovnováha. Teplo, které člověk vydává do okolí, závisí na teplotním spádu (na rozdílu teplot mezi povrchem těla a teplotou okolí). Toto teplo se rozvádí po celém těle z velké části prouděním krve (podobně jako topná voda od kotle rozvádí teplo potrubím do celé budovy). V případě, že prostředí je příliš chladné a odebírá tělu více tepla, než produkuje, nastává podchlazení. Organismus se tomu brání fyzikální termoregulací (omezí průtok krve do některých částí těla), které tak pomocí snížení své povrchové teploty sníží výdej tepla do okolí. Pokud to nestačí, může se aktivovat chemická termoregulace, tj. přímá výroba tepla. Takovým procesem je i svalový třes. Svalová práce má však malou účinnost (svalový výkon se z velké části mění na teplo). Povrchová teplota kůže je tak výsledkem neustálé interakce mezi člověkem a okolím, kterému se tak snaží přizpůsobit. [2]

Tepelná pohoda označuje takový stav prostředí, ve kterém je splněna podmínka tepelné rovnováhy mezi organismem člověka a okolím a význam má i způsob a rovnoměrnost, s jakou člověk do okolí teplo vydává. V případě nedodržení optimálních podmínek je člověk před nadměrným teplem chráněn pocením, ale před nadměrným chladem chráněn není. Pro tepelnou pohodu místnosti to znamená, že množství tepla, které člověk vydá do okolí konvekcí, má být minimálně stejné, pokud možno větší, než teplo předané do okolí sáláním. Z této podmínky plyne maximální přípustný rozdíl mezi teplotou vzduchu a stěn (o kolik mohou být obvodové stěny a otvorové výplně chladnější než vzduch v místnosti). V prostoru to znamená, že ochlazování nohou se nemá příliš lišit od ochlazování hlavy a proudění vzduchu by mělo být rovnoměrné, jinak vzniká průvan. Teplotní rozdíl mezi kotníky a hlavou by neměl být vyšší než 3 K. [2] [1]

### 1.1.2 Operativní teplota

Operativní teplota je jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by tělo sdílelo radiací a konvekcí stejně tepla, jako ve skutečném nehomogenním prostředí. Operativní teplota je hodnotícím kritériem pro tepelnou pohodu v prostoru. Kromě teploty vzduchu respektuje i střední radiační teplotu a proudění vzduchu. Operativní teplotu vypočítáme podle vztahu 1. [1]

$$\Theta_o = \Theta_r + A \cdot (\Theta_a - \Theta_r) \quad (1)$$

$\Theta_o$  – operativní teplota [°C]

$A$  – funkce relativního proudění vzduchu  $v_{ar}$  [m/s] (tabulka 1)

$\Theta_a$  – teplota vzduchu [°C]

$\Theta_r$  – střední radiační teplota [°C]

Tab. 1 Závislost koeficientu  $A$  na rychlosti proudění vzduchu

| $v_{ar}$ [m/s] | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,8  | 1,0  |
|----------------|------|------|------|------|------|
| $A$            | 0,50 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 1,00 |

Pokud je rychlost proudění vzduchu menší než 0,2 m/s, můžeme operativní teplotu zanedbat a nahradit jí teplotou, měřenou kulovým teploměrem.

### 1.1.3 Relativní vlhkost vzduchu

Vlhkost je základní vlastnost vzduchu a udává, jaké množství vody v plynném stavu (vodní páry) obsahuje dané množství vzduchu. Množství vodní páry je časově velice proměnlivé a liší se také od místa k místu. Relativní vlhkost vzduchu udává poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Udává se v procentech. Relativní vlhkost se též někdy označuje jako poměrná vlhkost. [3]

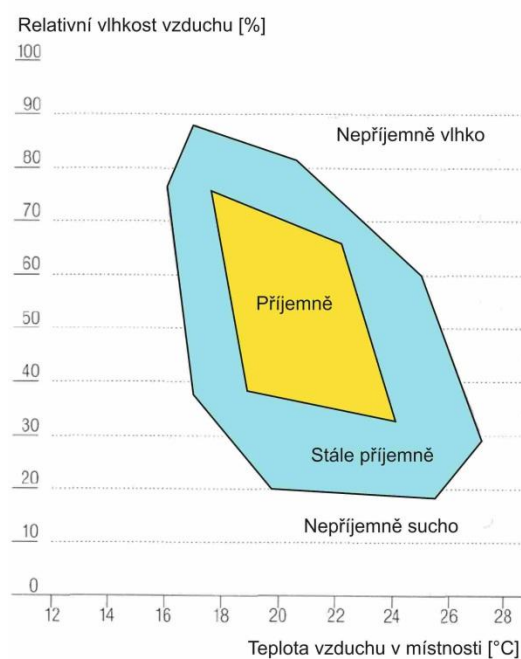
$$\varphi = \frac{m}{M} \cdot 100 \quad (2)$$

$\varphi$  – relativní vlhkost vzduchu [%]

$m$  – hmotnost vodní páry nacházející se ve vzduchu [kg]

$M$  – hmotnost vodních par nasyceného vzduchu [kg]

Při relativní vlhkosti vzduchu pod 35 % se projevuje zvýšená prašnost a pod hodnotou 45 % se může vytvářet elektrostatický náboj, především na površích plastových materiálů, vysoká relativní vlhkost však může vést k šíření plísni. Tolerance člověka k relativní vlhkosti je poměrně vysoká. Rozmezí, ve kterém by se měla pohybovat relativní vlhkost, je od 30 % do 70 %. Optimální hodnota relativní vlhkosti je asi 50 %. [1]



Obr. 1 Oblast tepelné pohody

### 1.1.4 Rychlost proudění vzduchu

Na pocit tepelné pohody má významný vliv také rychlost proudění vzduchu, kdy proudění vzduchu v místnosti o rychlosti vyšší než 0,2 m/s je často pocíťováno jako průvan. S rostoucí rychlostí proudění vzduchu v místnosti se zmenšuje tepelný odpor oblečení a zvyšuje se pocit chladu, což může mít za následek zdravotní problémy. Na druhou stranu, nízká rychlost proudění vzduchu může vyvolat dojem stojatého vzduchu a může vést k přehřívání organismu. [1]

### 1.1.5 Index PMV a PPD

Index PMV je ukazatelem středního tepelného pocitu větší skupiny osob. Je jedním ze základních veličin, které popisují tepelnou pohodu osob. Můžeme jej vypočítat na základě tepelného odporu oblečení, energetického výdeje člověka a změřením faktorů prostředí. Výsledný tepelný pocit se popisuje stupnicí od -3 do +3. Výpočet indexu PMV se řídí normou ČSN EN ISO 7730. [4]

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L \quad (3)$$

M – energetický výdej člověka [W]

L – rozdíl energetického výdeje a odvedeného tepla [W]

Při posuzování tepelného stavu prostředí (index PMV) se používá sedmistupňová stupnice. Hodnoty pro index PMV jsou stanoveny v tabulce 2. Doporučuje se používat ukazatel PMV v rozmezí od -2 do +2. [1]

Tab. 2 tepelný pocit člověka

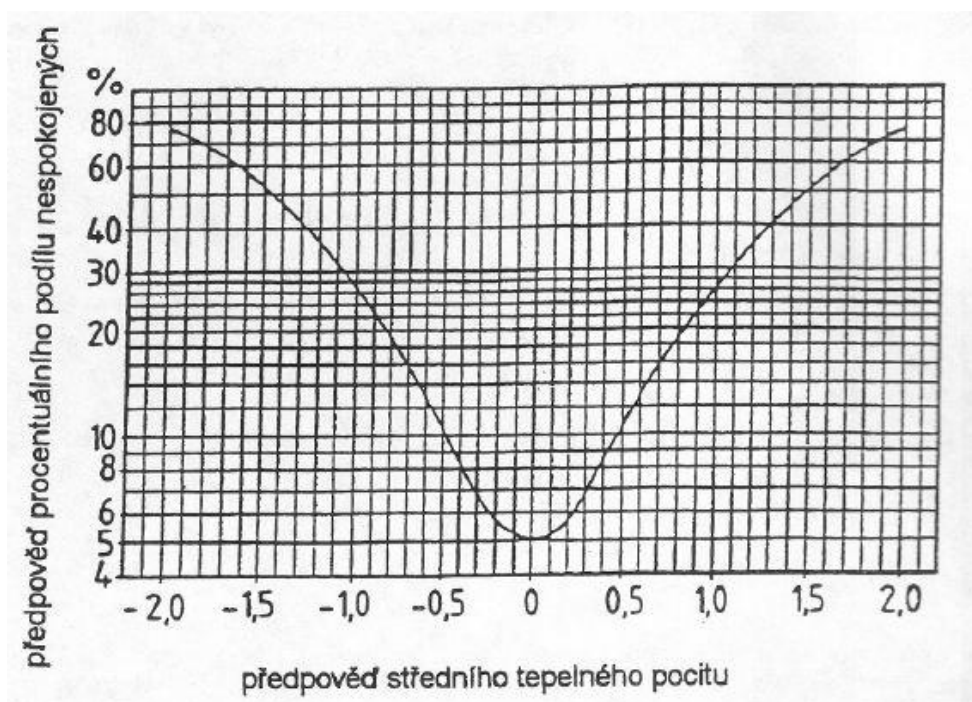
| PMV | Pocit         |
|-----|---------------|
| 3   | Horko         |
| 2   | Teplo         |
| 1   | Mírně teplo   |
| 0   | Neutrálně     |
| -1  | Mírně chladno |
| -2  | Chladno       |
| -3  | Zima          |

Každý člověk vnímá teplotu jiným způsobem a není možné zajistit, aby všichni lidé v místnosti měli stejný tepelný pocit. Vždy se najde člověk, který bude mít jiný tepelný pocit než ostatní lidé. Tuto skutečnost popisuje index PPD, který nám udává kolik procent lidí z celkové skupiny je nespokojených s tepelnými podmínkami v místnosti.

Tento index bude vždy minimálně 5 %, protože vždy bude minimálně 5 % lidí nespokojených, ať už bude tepelná pohoda v místnosti jakákoliv. Doporučuje se nepřekračovat hranici 20 %. Čím vyšší bude tento index, tím větší počet zaměstnanců bude nespokojen, ale za to ušetříme více nákladů na vytápění nebo chlazení. Musíme proto zvážit, která možnost se nám více vyplatí, popřípadě udělat kompromis. Výpočet indexu PPD se opět řídí normou ČSN EN ISO 7730. [4]

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)] \quad (4)$$

Vzájemnou závislost indexu PMV a indexu PPD popisuje graf, který je zobrazen na obrázku 2.



Obr. 2 Závislost PPD na PMV

## 1.2 Hygienické parametry prostředí

Hygienické parametry jsou většinou vztaženy ke kvalitě vzduchu, resp. vlivu různých faktorů na pohodu v místnosti. Mezi nejdůležitější hygienické parametry patří:

- Chemické škodliviny
- Radon
- CO<sub>2</sub>
- Biologické faktory

### 1.2.1 Chemické škodliviny

Koncentrace chemických škodlivin uvnitř budov je závislá na více faktorech. Základní faktory jsou: [1]

- Koncentrace chemických škodlivin ve větracím vzduchu
- Vnitřní zdroje škodlivin (výrobní činnosti)
- Aktivita obyvatel
- Stavební materiál
- Zařízení bytu
- Úklid, čištění, údržba

Škodliviny se většinou do interiéru přenášejí větráním a jsou obsaženy ve větracím vzduchu. Mezi základní škodliviny, se kterými se běžně setkáváme, jsou například tyto:

**CO** - hlavním zdrojem je nedokonalé spalování za spotřebovávání kyslíku: kamna na pevná paliva, otopná tělesa na plyn bez odtahu, krby, špatně větrané kuchyně a kuchyňské kouty s plynovým sporákem, případně garáže v blízkosti bytů. [1]

**Formaldehyd** – hlavním zdrojem mohou být samy stavební materiály, použité v konstrukci budov, nábytek, podlahoviny, koberce, tapety, těsnicí tmely a různé nátěry. Formaldehyd dráždí dýchací cesty štiplavým zápachem, způsobuje bolesti hlavy, nevolnost, únavu. Je potenciálním karcinogenem. [1]

**NO<sub>x</sub>** – oxidy dusíku (směs, zejména oxid dusnatý NO a oxid dusný N<sub>2</sub>O). Zdrojem je zemní plyn, spalovaný při vaření, vytápění a ohřevu teplé vody. Dlouhodobé vdechování snižuje imunitu organismu, pro malou rozpustnost ve vodě NO<sub>x</sub> snadno pronikají do dolních dýchacích cest a místem jejich působení jsou plíce. [1]

**SO<sub>2</sub>** – oxid siřičitý – nesouvisí s užíváním stavby, vniká dovnitř netěsnostmi stavby z venkovního prostředí. Působí dráždivě na horní cesty dýchací. Neutralizuje se na zásaditých omítkách. Jiné sloučeniny síry, zejména sirouhlík a síra samotná se mohou v objektu vyskytovat ze špatně provedené odpadové instalace nebo po její rekonstrukci. Nepříjemný zápach pak obtěžuje a působí stres. [1]

**Azbest** – byl používán pro své protipožární a tepelně izolační vlastnosti v širokém spektru stavebních materiálů a výrobků. Vzhledem k možným zdravotním důsledkům při vdechování respirabilních azbestových vláken, uvolňovaných z těchto materiálů do ovzduší (azbest je registrován jako karcinogen), se od masivního používání výrobků obsahujících azbest upouští a hledají se vhodné zdravotně nezávadné materiály s podobnými vlastnostmi. Pokud jsou azbestové materiály používány, podléhají přísné kontrole a jejich použití je limitováno. [1]

### 1.2.2 Radon

Další škodlivinou je radon, tato škodlivina se vyskytuje všude kolem nás. Uvolňuje se z půdy a škodlivý je pro člověka jen v určitém množství. Radon se po vdechnutí rozpouští v tělních tekutinách, ale v žádné tkáni se nekonzcentruje. Jeho dceřiné prvky se však zachytávají v dýchacích cestách, kde ozařují při svém rozpadu tkáň a její buňky se mohou měnit, vzniká zhoubný nádor. Ionizující záření může vnikat do budovy z podloží, nebo se může uvolňovat ze stavebních materiálů, pokud bylo k jejich výrobě použito surovin s vyšším obsahem radonu.

Ve vzduchu ve volné přírodě je běžná koncentrace radonu 15 - 20 Bq/m<sup>3</sup>. V obydlích ČR je průměrná koncentrace 120 Bq/m<sup>3</sup>, zatímco nejvyšší naměřené koncentrace jsou až několik tisíc Bq/m<sup>3</sup>. Více radonu je v půdním vzduchu, a to běžně 20 - 80 kBq/m<sup>3</sup>. Nejvyšší zjištěná koncentrace radonu v půdním vzduchu je několik milionů Bq/m<sup>3</sup>. [1]

### 1.2.3 CO<sub>2</sub>

Oxid uhličitý je běžnou součástí zemské atmosféry, přičemž jeho koncentrace (průměrně 0,038 %) v ovzduší kolísá v závislosti na místních podmínkách, na výšce nad povrchem a relativní vlhkosti vzduchu v ovzduší. Koncentrace oxidu uhličitého dává přírůstek vydechaného CO<sub>2</sub> a sama o sobě by neměla podstatný význam, kdyby obsah oxidu uhličitého nebyl mírou zhoršení kvality vzduchu místnosti vlivem zapáchajících látek a výparů, hlavně v malých a příliš obsazených místnostech. Při zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> zvýší nad 0,1 %, se hovoří o špatném vzduchu (0,1 % = 1 000 ppm). Škodlivé působení CO<sub>2</sub> nastává při obsahu více než 0,25 %. V příliš obsazených a nedostatečně větraných místnostech může nastat tento stav již po relativně krátké době, místnost je pak třeba vyvětrat pokud možno intenzivní výměnou vzduchu. [1]

### 1.2.4 NPK a PEL

Z hlediska škodlivin lze prostředí posuzovat podle těchto dvou kritérií, která dovolené hodnoty těchto škodlivin.

**PEL** – přípustný expoziční limit je vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší, jimž mohou být podle současného stavu znalostí vystaveni zaměstnanci při osmihodinové pracovní době, aniž by u nich došlo i při celoživotní pracovní expozici k poškození zdraví. PEL platí za předpokladu, že zaměstnanec je zatěžován prací, při které jeho průměrná plicní ventilace nepřekračuje 20 l.min<sup>-1</sup> a doba výkonu práce nepřesahuje 8 h.

Koncentrace chemických látek a prachu v pracovním ovzduší, jejichž zdrojem není technologický proces, nesmí překračovat 30 % hodnoty jejich přípustných expozičních limitů. [5]

**NPK** – nejvyšší přípustná koncentrace chemické látky v pracovním ovzduší. Je to koncentrace, které nesmí být zaměstnanec v žádném časovém úseku pracovní směny vystaven. Při hodnocení pracovního ovzduší lze porovnávat s nejvyšší přípustnou koncentrací dané chemické látky časově vážený průměr koncentrací této chemické látky po dobu nejvýše 10 minut. [5]

### 1.3 Akustické parametry prostředí

Zvuk představuje mechanické kmitání a vlnění média (v našem případě vzduchu). Jestliže se zvuk nachází ve frekvenčním rozsahu 16 Hz až 20 kHz, pak hovoříme o slyšitelném zvuku (tyto hodnoty jsou orientační a záleží na citlivosti lidského ucha). Běžně přijímáme zvuk ze vzduchu, lze však slyšet i pod vodou a zvuk se šíří i pevnými látkami. Ve vzduchu se zvuk šíří výhradně podélným vlněním, kdy částice hmoty kmitají ve směru shodném se směrem postupu vlnění.

Základní veličinou, která charakterizuje zvuk v místě jeho příjmu je hladina akustického tlaku  $L$ , kterou určíme ze vztahu 5. Hladina akustického tlaku je veličinou relativní. V logaritmické míře vyjadřuje, kolikrát je hodnocený akustický tlak vyšší než stanovená prahová hodnota. [1]

$$L = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (5)$$

$L$  – hladina akustického tlaku [dB]

$p$  – hodnocený akustický tlak [Pa]

$p_0$  – prahová hodnota akustického tlaku (nejnižší hodnota, která dokáže vyvolat zvukový vjem a její velikost je  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa) [Pa]

Aby bylo možné spektrum popsat, byl celý kmitočtový rozsah slyšitelného zvuku rozdělen na 11 dílčích intervalů (oktáv). Oktáva je interval mezi dvěma kmitočty, kde druhý je dvojnásobek prvního. Každá oktáva se nazývá podle svého středního kmitočtu. Střední kmitočty oktávových pásem jsou uvedeny v tabulce 3. [1]

Tab. 3 Střední kmitočty oktávových pásem

|                |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>f [Hz]</b>  | 16    | 32    | 63    | 125   | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 16000 |
| <b>KA [dB]</b> | -56,7 | -39,4 | -26,2 | -16,1 | -8,6 | -3,2 | 0    | +1,2 | +1,0 | -1,1 | -6,6  |

Při hodnocení hlukové zátěže je rozhodující, zejména veličina hladina akustického tlaku  $L_A$ , která má v sobě zahrnutý všechny frekvence a uvažuje s použitím váhového filtru A. Podle normy ČSN EN 15 251 je běžná hodnota 25 až 40 dB, pro obytné prostory a všeobecně kolem 45 dB. V průmyslovém prostředí je se zvýšenou hladinou zvuku již uvažováno. [6, 26]

## 1.4 Světelně-technické parametry prostředí

Při osvětlování vnitřních prostorů musí být zajištěna vizuální pohoda, ta vzniká tehdy, když může v lidském mozku nerušeně probíhat proces zrakového vnímání. Nežádoucími jevy pro vizuální pohodu jsou například nesprávné rozložení jasů, oslňování, nesprávné zobrazování barev, nevhodné uspořádání místností atd. Při nerušeném vnímání jsou naopak optimalizovány základní schopnosti oka, jako zrakový výkon, rychlost vnímání a schopnost rozeznávat detaily a různé úrovně jasů (kontrastnost). Maxima pracovního výkonu se dosáhne tehdy, jsou-li při pracovní činnosti - se zřetelem k poměrům jasů, resp. osvětlení na pracovišti (interní jas) - správně přizpůsobeny poměry jasů okolí pracovního předmětu (externí jas). Na pracovištích s vysokými požadavky na zrak (práce na PC) by měla být jako kritérium na určení oblasti stabilního vnímání použita schopnost rozeznávat detaily (kontrastnost). [1, 6]

Vizuální pohoda závisí i na tom, zda je v oblasti zrakového úkolu dostatečná intenzita osvětlení a zda je tu bráněno vzniku oslnění, ať už přímého, nepřímého, či oslnění denním světlem. Dalšími kritérii jsou barvy světla a teploty chromatičnosti světelných systémů osvětlujících místnost. V osvětlovaných místnostech mají být kromě toho dostatečně zachovány podmínky pro vytváření stínů, aby byla zvýšena plastičnost těles a předmětů. Posledním z hlavních znaků vizuální pohody je vizuální kontakt s vnějším světem, případně i pohled zvenku dovnitř. Dlouhodobý nedostatek světla negativně ovlivňuje zvláště vyvíjející se organismy, potlačuje dokonce normální vývoj některých orgánů a ovlivňuje chování jedinců ve skupinách. [1]

Existují tři základní druhy osvětlení. Osvětlení přirozené, osvětlení umělé a osvětlení sdružené, které vzniklo kombinací přirozeného a umělého osvětlení. Požadavky na světelně-technické parametry jsou uvedeny v normě ČSN EN 15 251. [6, 26]

### 1.4.1 Přirozené osvětlení

Zdrojem přirozeného neboli denního osvětlení je slunce. Denní osvětlení je základním faktorem životního prostředí člověka a má značný vliv na jeho zdravotní, ale především psychický stav. Kvalita denního osvětlení v interiéru závisí na hladině osvětlení, rozložení světelného toku a na směru osvětlení, rovnoměrnosti denního osvětlení a kontrastu, rozložení jasů ploch v zorném poli, oslnění (z přílišného jasu, z kontrastů v zorném poli apod.). [1, 6]

Denní osvětlení se stanoví na základě poměru osvětlenosti ve venkovním prostoru a osvětleností daného místa v interiéru – tzv. činitele denní osvětlenosti,  $e$  (jednotkou jsou %). Mimo jiné platí, že minimální hodnota činitele denní osvětlenosti ve všech bodech obytné místnosti musí být 0,5 % a průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti musí být nejméně 2 %.

#### 1.4.2 Umělé osvětlení

Naopak zdrojem umělého osvětlení není slunce, ale jsou technická zařízení (tzv. světelné zdroje). V době, kdy k vytvoření světelného klimatu denní světlo nestačí, je třeba použít osvětlení umělé. Požadavky na umělé osvětlení uvádí norma ČSN 36 0452 Umělé osvětlení obytných budov. Tato norma stanoví základní rozsahy intenzit osvětlení a jejich nejnižší přípustné hodnoty pro různé druhy činností a různé typy vnitřních prostorů. Je specifikováno, kde musí být celkové a kde místní osvětlení a jaké typy světelných zdrojů lze v obytném prostředí použít. Základní veličinou osvětlení je osvětlenost (intenzita osvětlení), značí se  $E$  (jednotkou je lx). Nejnižší intenzita osvětlení pro průmyslové prostředí (naš případ) má hodnotu 200 lx. [1, 7]

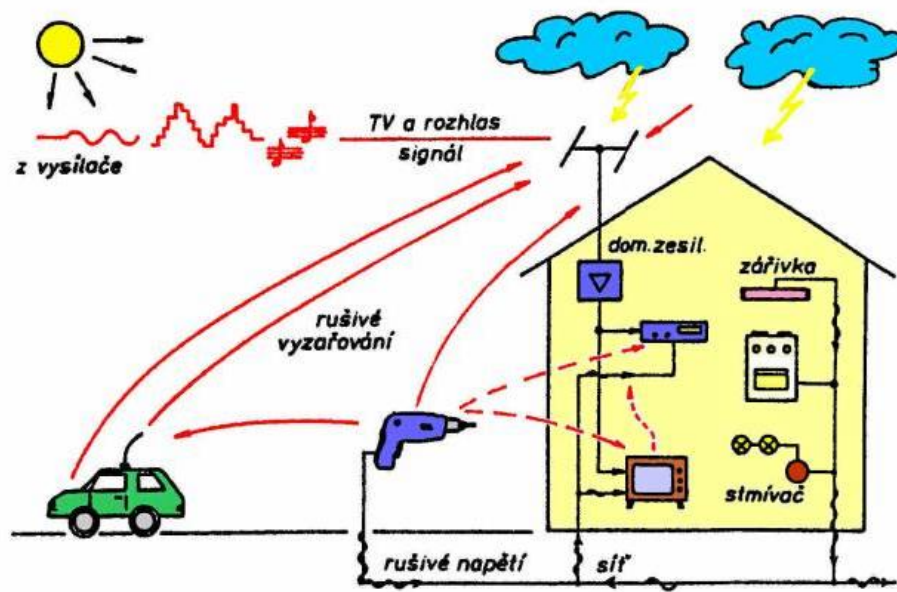
### 1.5 Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) je schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů a naopak svou vlastní "elektromagnetickou činností" nepřípustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení. Zjednodušeně řečeno vyjadřuje schopnost technických zařízení neovlivňovat svou činností ostatní technická zařízení. Dělíme ji na EMS a EMI.

**EMI** – elektromagnetická interference je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. EMI se tedy zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest. EMI se týká hlavně příčin rušení a jejich odstraňování.

**EMS** – elektromagnetická susceptibilita (odolnost) vyjadřuje schopnost zařízení pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá především technickými opatřeními, která zvyšují u objektu jeho elektromagnetickou imunitu, tedy jeho odolnost proti vlivu rušivých signálů. EMS se týká spíše odstraňování důsledků rušení, bez odstraňování jejich příčin.

Elektromagnetické magnetické rušení (EMI) se v běžném životě vyskytuje všude kolem nás, aniž bychom si to uvědomovali. Je proto velmi důležité, aby přístroje, které vyzařují elektromagnetické záření, neovlivňovali ostatní přístroje (splňovali EMC). Na obrázku 3 je znázorněno elektromagnetické záření, vysílané přístroji běžného života.



Obr. 3 Elektromagnetická kompatibilita

## 2 ZDROJE ENERGIE

Energetické zdroje můžeme rozdělit na dvě základní skupiny, obnovitelné zdroje a neobnovitelné zdroje energie. V současné době cena neobnovitelných zdrojů stále více stoupá, je proto velkým trendem používat obnovitelné zdroje energie.

### 2.1 Obnovitelné zdroje

Obnovitelný zdroj energie je zdroj, v jehož čerpání lze teoreticky pokračovat další tisíce až miliardy let. Toto označení se používá pro některé vybrané, na Zemi přístupné formy energie, získané primárně především z termojaderného spalování vodíku v nitru Slunce. Dalšími zdroji jsou teplo zemského nitra a setrvačnost soustavy Země-Měsíc. Lidstvo je čerpá ve formách např. sluneční záření, větrné energie, vodní energie, energie přílivu, geotermální energie, biomasy a dalších. [8]

#### 2.1.1 Solární energie

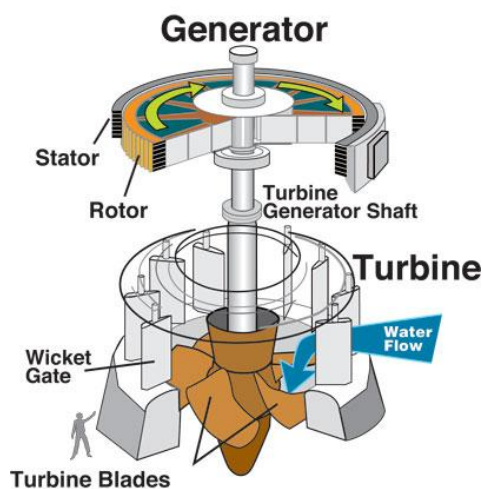
Solární energie je v současné době jednou z nejvyužívanějších obnovitelných zdrojů v naší republice. Sluneční energie představuje drtivou většinu energie, která se na Zemi nachází a využívá. Sluneční energie je energií elektromagnetického záření. Vzniká jadernými přeměnami v nitru Slunce. Vzhledem k tomu, že vyčerpání zásob vodíku na Slunci je očekáváno až v řádu miliard let, je tento zdroj energie označován jako obnovitelný. Energie ze slunečního záření se nejvíce využívá v solárních panelech. V našich podmínkách může činit roční úhrn sluneční energie dopadající na 1 m<sup>2</sup> zhruba 1250 kWh.

#### 2.1.2 Větrná energie

Větrná energie je označení pro oblast technologie zabývající se využitím větru jako zdroje energie. Nejobvyklejším využitím jsou dnes větrné elektrárny, které využívají síly větru k roztočení vrtule (větrná turbína). K ní je pak připojen elektrický generátor. Teoreticky získatelný výkon je přímo úměrný třetí mocnině rychlosti proudící vzdušné masy. Protože rychlost větru značně kolísá, nedosahují větrné elektrárny po většinu doby nominálních hodnot generovaného výkonu. V historii se místo převodu na elektřinu přímo konala nějaká mechanická práce. Větrný mlýn například mlel obilí, větrnými stroji se čerpala voda, lisoval olej, atd. Vítr se také používá k pohonu dopravních prostředků, nejvíce u lodí (plachetnice). [9]

### 2.1.3 Vodní energie

Vodní energie je technicky využitelná potenciální, kinetická nebo tepelná energie veškerého vodstva na Zemi. Energie se z vodních toků převážnou většinou získává ve vodních elektrárnách. Převážnou většinu obnovitelných zdrojů se u nás získává nikoli díky solárním farmám či polím osázeným větrnými elektrárnami, ale pomocí vodních elektráren. V současné době činí zisk z vodních elektráren zhruba 83 % obnovitelné energie v naší republice. [10]



Obr. 4 Vodní turbína

### 2.1.4 Biomasa

Biomasa je souhrn látek tvořících těla všech organismů, jak rostlin, bakterií, sinic a hub, tak i živočichů. Tímto pojmem často označujeme rostlinnou biomasu využitelnou pro energetické účely. Energie biomasy má svůj původ ve slunečním záření a fotosyntéze, proto se jedná o obnovitelný zdroj energie. Energetická hodnota biomasy je stanovena buď spálením v joulometru, nebo na základě podílu proteinů, cukrů a tuků. Ekologie definuje biomasu jako celkovou hmotu jedinců určitého druhu, skupiny druhů nebo všech druhů společenstva na určité ploše. U rostlin se vyjadřuje v hmotnosti sušiny, u živočichů také v čerstvé hmotnosti (v joulech). Biopalivo vzniká cílenou výrobou či přípravou z biomasy. Představuje tedy jedno z možných využití biomasy, kterou lze jinak použít jako surovinu pro výstavbu. V současnosti je energie z biopaliv uvolňována hlavně jejich spalováním. [11]

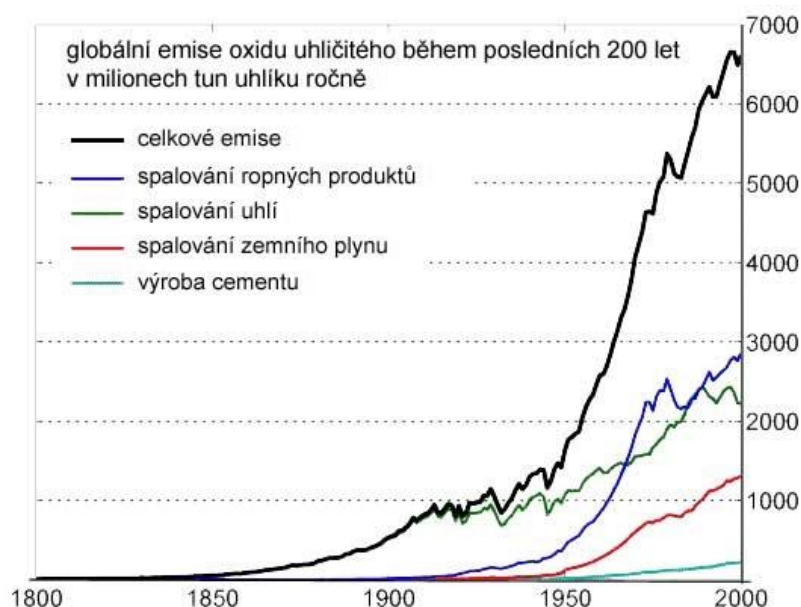
## 2.2 Neobnovitelné zdroje

Za neobnovitelný zdroj energie je obvykle považován takový zdroj energie, jehož vyčerpání je očekáváno v horizontu maximálně stovek let, ale jeho případné obnovení by trvalo mnohonásobně déle. Typickými příklady neobnovitelných zdrojů energie především fosilní paliva. Fosilní palivo je nerostná surovina, která vznikla v dávných dobách přeměnou odumřelých rostlin a těl za nepřístupu vzduchu. Mezi typické příklady fosilních paliv patří:

- Uhlí
- Ropa
- Zemní plyn
- Rašelina

Dalšími neobnovitelnými zdroji energie jsou také jaderné zdroje (uran). Obrovskou nevýhodou neobnovitelných zdrojů energie je jejich vysoká ekologická zátěž na životní prostředí, způsobená hlavně těžbou, přepravou a spalováním. [12]

Při spalování většiny neobnovitelných zdrojů vznikají různé škodliviny (zejména  $\text{CO}_2$ ). Světová produkce těchto škodlivin se zvyšuje každým rokem. Z ekologického hlediska je tedy výhodnější zvážit využití obnovitelných zdrojů energie.



Obr. 5 Světová produkce škodlivin

### 3 INTELIGENTNÍ PRŮMYSLOVÁ HALA

Budova může být označena jako inteligentní jen tehdy, když využívá přírodních obnovitelných zdrojů. energii slunce, světla, či větru, vzduchových proudů nebo vody, či země jako zdroje tepla, aby zabezpečila požadavky na budovu, pokud jde o vytápění, ochlazování a osvětlení

Kromě dosažení odpovídajících mikroklimatických podmínek v pracovní oblasti (nikoliv jen vytápění) přicházejí v úvahu i podmínky technologické a to jak v samotném výrobním procesu, tak i při realizaci energetických soustav a následně i náročnosti obsluhy a údržby. To vše s minimálními spotřebami všech druhů energií vyrobených v jakémkoliv zdroji. Z tohoto pohledu by mělo být obsahem návrhu stavby všech zúčastněných profesí zaměřeno na: [13]

- Dosažení optimálních mikroklimatických podmínek v zóně pobytu člověka
- Dispoziční a konstrukční provedení objektu
- Snižování spotřeb tepla na vytápění a větrání
- Minimální nároky na obsluhu a údržbu zařízení

Při návrhu inteligentních průmyslových hal tedy musíme brát ohled zejména na úspornost použitých systémů, ekologický dopad na životní prostředí a automatizované řízení všech technických zařízení.



*Obr. 6 Inteligentní průmyslová hala*

## 4 VYTÁPĚNÍ PRŮMYSLOVÝCH OBJEKTŮ

Existuje mnoho způsobů jak vytápet průmyslové objekty. Vždy však záleží na konkrétních případech (parametry objektu, dostupné technologie atd.). Mezi nejčastější způsoby vytápění průmyslových objektů patří:

- Teplovzdušné vytápění
- Sálavé vytápění

### 4.1 Teplovzdušné vytápění

Teplovzdušné vytápění je založeno na principu ohřevu vzduchu, který se pak následně distribuuje do vnitřního prostoru budovy. Vytápění velkoprostorových objektů pomocí teplovzdušných jednotek s teplotou vody je značně rozšířené, avšak převážná většina soustav pracuje velice neekonomicky. Kromě velkých spotřeb tepla se nedosahuje požadované teploty v oblasti pobytu člověka. Tato situace nastává hlavně v zimních špičkách, kdy vysoké teploty otopné vody ohřejí vypouštěný vzduch ze soupravy rovněž na vyšší teplotu. Obraz proudění se podstatně změní, neboť vypouštěný vzduch se rychle obrací vzhůru a dochází k vytváření teplého polštáře pod střešou (27 až 30 °C) a tím k velkým ztrátám a při podlaze je pak chladno (12 až 14 °C v extrémních případech pod 10 °C). [14]

Přímotopné plynové jednotky pracují na jiném principu. Výkon je konstantní, teplota vypouštěného vzduchu rovněž. Tím je během celé otopné sezóny přibližně stejný obraz proudění a je možno osadit jednotky tak, aby docházelo k jednak rovnoměrnému vytápění a jednak k nízkým teplotám vzduchu pod střešou. [14]

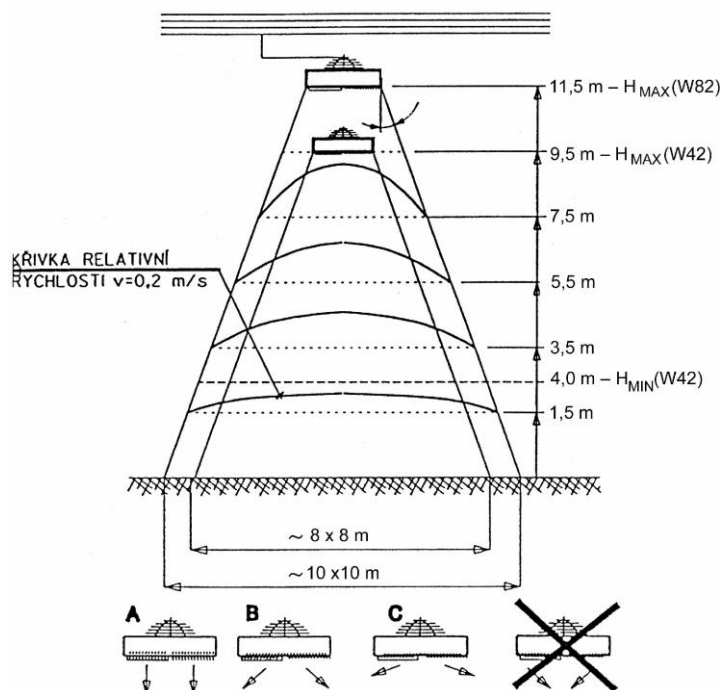


Obr. 7 Ohřev vzduchu teplovzdušnou jednotkou

#### 4.1.1 Vířivé ventilátory

Pro zvýšení účinnosti teplovzdušných systémů se používají vířivé ventilátory, někdy také označované jako destratifikátory. Velice důležitým požadavkem při používání vířivých ventilátorů je zajištění maximální rychlosti ve výši 1,5 m nad podtlakem ( $v_{\max} = 0,2 \text{ m/s}$ ). K tomuto účelu slouží nastavitelné žaluzie na spodní části konstrukce skříně ventilátoru. Žaluzie jsou seřazeny do čtyř polí pootočených vždy o  $90^\circ$  s možností nastavení žaluzií v libovolném úhlu. [14]

Jedním z největších problémů hal je vytvoření optimálního prostředí i v období letním. Hlavně při navrhování infravytápění se tento problém mnohdy neřeší. V halách dochází k nadměrně vysokým teplotám a tím k nepříznivým mikroklimatickým podmínkám. Ke zlepšení prostředí může přispět kombinovaný vířivý ventilátor, který je řešen jak pro zimní, tak i pro letní provoz. V zimním období pracuje jako ventilátor s tím, že z prostoru pod střešním pláštěm vrací teplý vzduch zpět k podlaze. V období letním odvádí teplý vzduch mimo objekt. Přívod vzduchu se předpokládá žaluziemi v obvodovém plášti nebo jinými netěsnostmi. Ventilátor se uvádí do chodu automaticky, pokud teplota v okolí ventilátoru dosáhne hodnoty nastavení na termostatu instalovaném na skříni ventilátoru. Zde je rovněž umístěn hlavní vypínač. [14]



Obr. 8 Zóny zaplavení vířivými ventilátory

## 4.2 Sálavé vytápění

U sálavého vytápění se většina tepelného toku sdílí do vytápěného prostoru sáláním. Znamená to, že se od sálající plochy ohřívají plochy osálané a teprve od sálajících a osálaných ploch se ohřívá okolní vzduch, což je ta druhá konvekční složka z celkového tepelného toku. Vyplývá z toho skutečnost, že vnitřní povrchové teploty stavebních konstrukcí jsou vyšší, než je teplota vzduchu. Tepelné záření jsou vlastně elektromagnetické vlny s vlnovou délkou 0,78 až 400  $\mu\text{m}$ , což je v infračervené části spektra elektromagnetických vln, které se šíří rychlostí 300 000 km/s. V současnosti můžeme sálavé vytápění rozdělit následovně: [14]

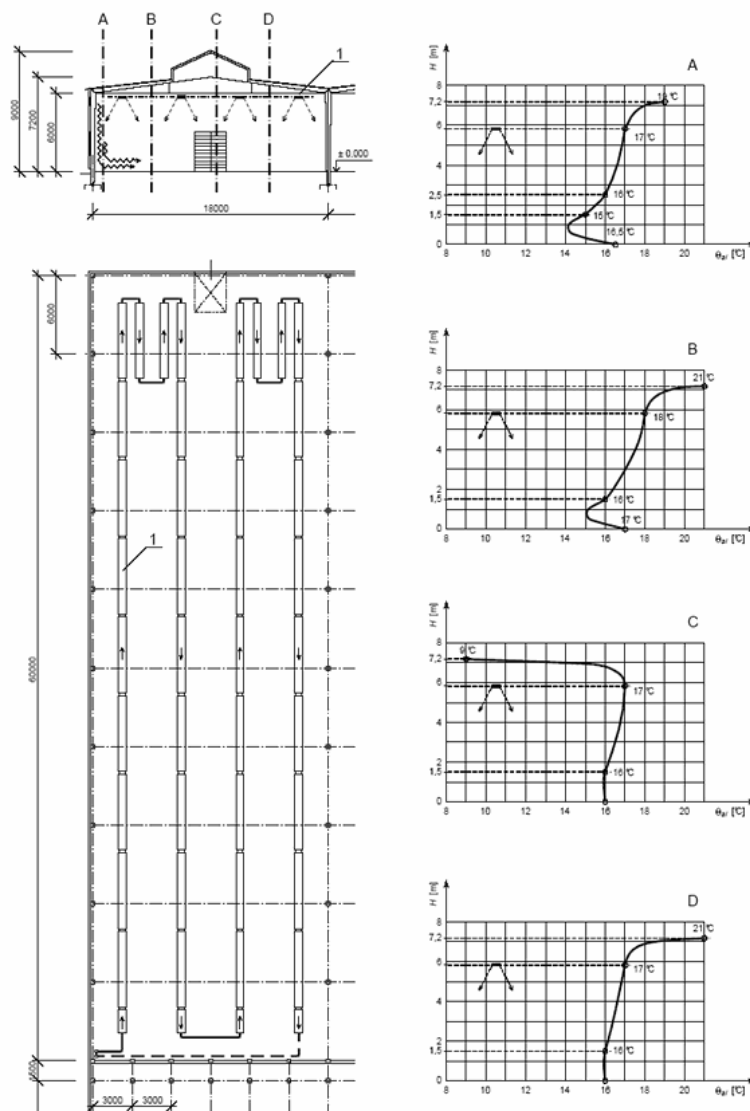
- Velkoplošné vytápění (stropní, stěnové a podlahové)
- Celkové vytápění zavěšenými sálavými panely
- Lokální vytápění zavěšenými sálavými panely
- Vytápění tmavými a světlými zářiči

Podle zdroje tepla může sálavé systémy také rozdělit na systémy se zdrojem:

- Plynovým (tmavé a světlé plynové zářiče)
- Vodním nebo parním (vodní závěsné sálavé panely, podlahové vytápění)
- Elektrickým (elektrické infrazářiče)
- Teplovzdušným (podlahové nebo stěnové systémy)

### 4.2.1 Vodní sálavé vytápění

Sálavé panely se sestavují do pásů, které se zapojují za sebou. Zpravidla se pro jednu výrobní loď sestaví jedno otopné těleso, které může být až 500 m dlouhé. Při teplotním rozdílu otopné vody 130/70  $^{\circ}\text{C}$  je zřejmé, že výkon, resp. dodávka tepla na začátku a na konci takto vytvořené otopné plochy, bude rozdílná. Jak ovlivňují jednotlivé zdroje tepla nebo chladu teplotu vzduchu a jeho cirkulaci ukáže nejlépe příklad. Na obrázku 9 je znázorněna krajní výrobní loď průmyslové haly vytápěné zavěšenými sálavými panely (voda 130/70  $^{\circ}\text{C}$ ). Panely jsou sestavené do pásů tak, že respektují vlivy chladných ploch venkovní stěny. U stěny jsou navrženy teplejší pásy, uvnitř pak pásy chladnější. Tímto způsobem je nahrazena větší tepelná ztráta okrajové části objektu. [15]



Obr. 9 Umístění sálavých panelů

Teplonosnou látkou pro tyto sálavé panely bývá obvykle teplá voda (do 110 °C), horká voda (do 140 °C) nebo pára (do 180 °C). Regulace spočívá většinou použitím dvoucestného nebo třicestného ventilu a čerpadla. V případě potřeby je možné sálavé panely doplnit o osvětlovací techniku. Osvětlení je umístěno při v sálavém panelu (uprostřed nebo po okrajích).

Tepelné ztráty nových objektů se stále snižují, k vytápění postačuje daleko nižší tepelný výkon i nižší sálavý výkon u sálavých spotřebičů. Povrchová teplota do 100° je již postačující (pro nové průmyslové objekty).

O staré haly s velkou tepelnou ztrátou již není zájem, dnešním trendem jsou nové kompaktní haly a nízkou tepelnou ztrátou. Nové výrobní haly se stavějí obvykle na minimálně dvousměnný provoz a jsou celoplošně využívány. Odpadá potřeba zónového vytápění (dříve jednoznačná přednost plynových infrazářičů). Výhodou je naopak dlouhodobé udržování stálé přesně definované teploty (opět výhoda teplovodních panelů). Další výhodou teplovodních panelů je možnost využití sekundárních zdrojů tepla, jako jsou například solární kolektory. [16]



*Obr. 10 Závěsné sálavé panely se zabudovaným osvětlením*

#### **4.2.2 Elektrické infrazářiče**

Teplu se do okolí předává opět sáláním. Elektrický infrazářič je vhodný zejména pro vytápění rozlehlých, špatně izolovaných nebo nepravidelně využívaných objektů. Vyrábí se v mnoha variantách. Existují průmyslové verze i modely pro obytné budovy. U modelu pro obytné budovy se tyto panely dají umístit na strop nebo přímo na stěnu. Většina výrobců také poskytuje možnost vytvoření vlastního návrhu designu tohoto panelu. Elektrický infrazářič pak může na první pohled vypadat jako obraz nebo fotografie. Existují také přenositelné verze infrazářičů, zejména pro lokální vytápění ve vnějším prostředí.

Protože cena elektrické energie je vysoká, jsou tyto zářiče vhodné spíše jako doplňkové zdroje tepla. Uplatnění nacházejí zejména přenositelné modely těchto elektrických infrazářičů.

Na obrázku 11 je zobrazen elektrický infrazáříč s vlastním motivem. Záříč je umístěn na stěně a na první pohled vypadá jako fotografie.



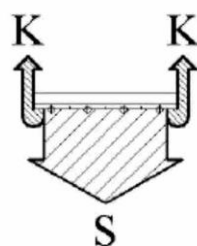
Obr. 11 Elektrický infrazáříč

#### 4.2.3 Plynové Infrazáříče

Plynové infrazáříče se dělí podle způsobu spalování plynu a jejich vnějšího vzhledu při provozu na tmavé a světlé. Podle měření (Gaswärmeinstitut Essen-Německo) účinnosti vytápění tmavých a světlých infrazáříčů - (srovnatelná výška zavěšení  $h = 5$  m) - se účinnost tmavých záříčů ve výšce 10 m snižuje proti světlým o 15 % ve výšce  $h = 15$  m pak již o 27 %. Z těchto důvodů je méně vhodné používat tmavé záříče do vysokých hal.

Dalším velice důležitým aspektem, který podstatně ovlivňuje ekonomickou efektivnost zařízení, je konstrukční řešení samotných záříčů. Jelikož základním principem dodávky tepla do objektu při vytápění infračervenými záříči je sálání, je nutné posuzovat právě tuto složku. Sálavá účinnost závisí převážně na konstrukci reflexní plochy a způsobu odvodu spalin. [14]

Sálavá účinnost ( $\eta$ ) je u sálavých panelů dána podílem tepelného výkonu sdíleného do okolí sáláním ( $Q_S$ ) a celého tepelného výkonu předaného do okolí ( $Q_K$ ).



$$\eta = \frac{Q_S}{Q_S + Q_K} \cdot 100 \quad [\%]$$

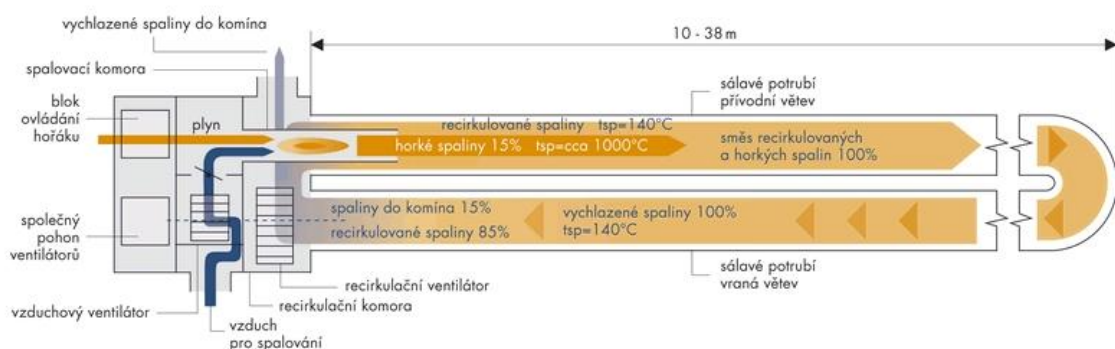
Obr. 12 Rozdělení celkového výkonu panelu na sálavou a konvekční složku

### a) Tmavé zářiče

Tmavý zářič je zařízení, kde se do otopné trubice přivádějí spaliny z hořáku, umístěném v řídicí skříňce. Tmavé zářiče docilují potřebného výkonu spalováním plynu v hořácích, odkud jsou spaliny vedeny do trubíc. Trubice se vyrábějí ve tvaru U nebo I. Teplota povrchu při vstupu spalin se pohybuje okolo 500°C ; na výstupu pak 180 až 220 °C. Střední teplota je tudíž cca 350 °C. Nad otopnou trubicí je umístěn reflexní zákryt, který zabraňuje úniku tepla pod střešní plášť. Zákryt je buď izolovaný nebo neizolovaný - podle potřeby provozu nebo přání zákazníka. U zářičů tvaru U se dodává dvojí provedení - rozdílný úhel rozptylu a tím pokrytí různé šířky objektu. Spaliny ze zářiče jsou pomocí ventilátoru a kouřovodu odváděny mimo vytápěný prostor. [17]

Některé typy zářičů (krátké s menšími průměry trubíc) dosahují vysoké výkony, avšak s malou účinností - teplota spalin při výstupu ze zářiče až 250 °C. Oblast použití tmavých zářičů je v rozmezí výšky haly 5 až 8 m pod střešní plášť. Účinnost zvyšují vířivé ventilátory. [17].

TS 2000 - Schéma funkce recirkulační jednotky



Obr. 13 Princip tmavého zářiče

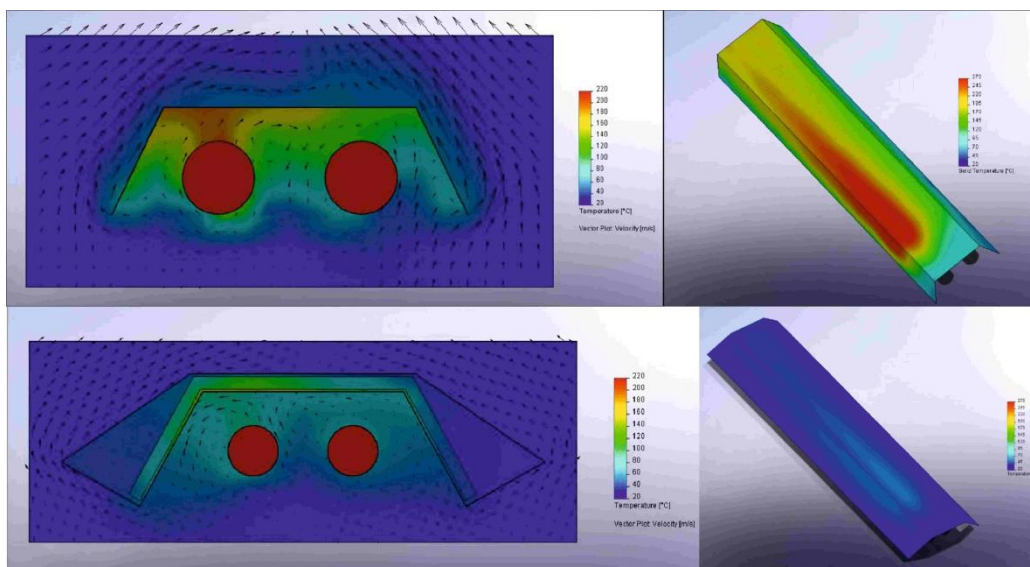
Tmavé zářiče většinou obsahují jen reflexní kryt v různých provedeních. Izolace se instalovala pouze na světlé zářiče. V současné době je ovšem trendem izolovat i tmavé zářiče a tím snížit tepelnou ztrátu a samozřejmě zvýšit sálavou účinnost. Jako první přišla s touto inovativní myšlenkou německá firma Schwank a představila nový tepelně izolovaný tmavý zářič, s názvem Super Tube.

Na obrázku 14 je zobrazen klasický tmavý zářič (bez tepelné izolace) a nový tmavý zářič Super Tube s tepelnou izolací. Oba zářiče jsou výrobky firmy Schwank.



*Obr. 14 Tmavé zářiče Schwank*

Jak si můžeme všimnout, klasický tmavý zářič obsahuje pouze ocelový reflexní kryt, zářič Super Tube má reflexní kryt zaizolován. Sálavá účinnost klasického zářiče je 70,2 %, zatím co sálavá účinnost zářiče Super Tube je 77,5 %. Izolací tedy dosáhneme zlepšení sálavé účinnosti až 7,3 %, což bude při větším počtu použitých tmavých zářičů znamenat výraznou úsporu energie. Rozložení teplot u obou typů zářičů můžeme vidět na termosnímku, který je zobrazen na obrázku 15. V horní části je zobrazen klasický zářič, ve spodní je zářič Super Tube.



*Obr. 15 Rozložení teploty a proudění tmavých zářičů*

**b) Světlé zářiče**

Světlé zářiče s činnou otopnou plochou z keramických destiček mají povrchovou teplotu 850 až 950 °C a při provozu svítí (odtud světlé). Přes rozpálené keramické destičky je vysíláno infračervené záření, které směřuje do vytápěného prostoru. Funguje to prostřednictvím homogenního spalování plynu v asi 3500 spalovacích kanálcích na jedné keramické desce hořáku. Jejich použití lze stanovit pro výšky pět a více metrů. Pro vysoké haly jsou nezastupitelné. Zářiče lze zavěšovat šikmo nebo rovně pod strop až do výše kolem 20 m. Podstatnou roli pro hodnocení a vhodnost použití v daném případě hraje konstrukce, materiál reflexního zákrytu a způsob odvodu spalin. [14, 18]

Podle konstrukce můžeme rozdělit světlé zářiče na těchto 5 základní druhy:

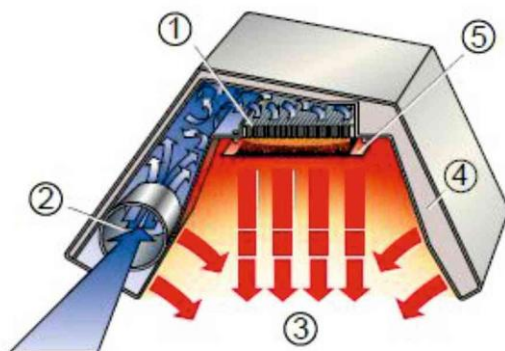
- Zářič s otevřenou komorou
- Zářič s otevřenou komorou a doplňkovou sálavou mřížkou
- Zářič se sálavou mřížkou a předeřevem spalovací směsi, izolovaný reflexní zákryt
- Kombinovaný zářič s uzavřenou deltovitou komorou
- Kombinovaný zářič s uzavřenou deltovitou komorou plně izolovaný



*Obr. 16 Kombinovaný zářič s uzavřenou deltovitou komorou plně izolovaný*

Nejnižší sálavé účinnosti dosahují světlé zářiče s otevřenou komorou (kolem 58 %). Nejvyšší účinnost dosahují plně izolované světlé zářiče uzavřenou deltovitou komorou (sálavá účinnost kolem 82 %).

Účinnost těchto zářičů je tak vysoká, právě díky unikátní delta komoře a ostatním speciálním konstrukčním prvkům. Řez světlym zářičem s uzavřenou deltovitou komorou je zobrazen na obrázku 17.



- 1 - Keramická deska
- 2 - Směšovací komora
- 3 - Kombinované záření
- 4 - Keramická izolace
- 5 - Sálavá mřížka

Obr. 17 Řez světlym zářičem

Povrch keramické desky (takzvaná struktura s hloubkovým efektem) se podobá stejnoměrně uspořádané voštině. Jejím prostřednictvím se zvětšuje specifický povrch a tím také plocha přenosu tepla a účinnost zářiče. [18]

Delta směšovací komora je konstruktivní změna pláště (krytu) s výhodou efektivního a čistého spalování. Tato technologie navzájem směšuje plyn se vzduchem a předeřívá současně tuto směs na 300 °C. Vnitřní strana směšovací komory Delta tvoří totiž současně stranu clony reflektoru. Dostane-li se horký plynový exhalát přes tento reflektor, vznikne přestup tepla do směšovací komory. [18]

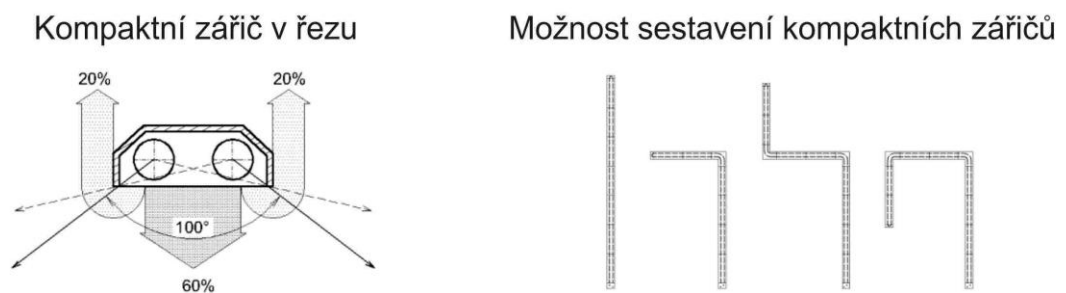
Takzvané kombinované záření se skládá z přímo viditelného infračerveného záření keramických desek (jasné záření) a přenosu tepla na reflektory, které dodává neviditelné infračervené záření (temné záření). Toto je umožněno zvláštní konstrukcí světlych zářičů. Neboť tak může být dokonce odpadní teplo cíleně přeměněno na tepelné záření: reflektory se zahřejí až na 500°C a takto navíc získané záření zvýší účinnost. [18]

Keramický tepelně izolační materiál použitý v reflektoru dosahuje přes svou menší tloušťku materiálu čtyřnásobné izolační účinnosti oproti tradičním materiálům. Vysoká teplotní stálost (přes 1000°C) přitom zajišťuje velmi vysoký a konstantní činitel vyzařování a dlouhou životnost. [18]

Vysokoteplotní sálavá mřížka soustřeďuje tepelné záření a tak zvyšuje výkon a ušetří až 20 % energie. [18]

### c) Kompaktní zářiče

Kompaktní (někdy označovány jako nízkoteplotní) zářiče by měly být pouze podskupinou zářičů tmavých, protože srovnávací parametry prolínají s těmito zářiči. Výrobci je však, díky celkové odlišné konstrukci (délkám zářičů), určili jako samostatnou skupinu. Svým výkonem od 1 do 6 kW/m trubky je zářič vhodný zejména pro vytápění hal lépe izolovaných s výškou od 4,0 m. Obvyklá délka sálavých pasů od 3 do 50 m, výkon zářičů až 200 kW. Teplota povrchu trubic od 200 do 300 °C. [19]



Obr. 18 Kompaktní zářič

Kompaktní zářiče pracují na stejném principu jako tmavé zářiče, liší se pouze tím, že mají nižší povrchovou teplotu sálavých trubic a menší úhel jádrového sálání. Výhodou těchto zářičů je jejich tvarovatelnost. Kompaktní zářiče se dají sestavovat do různých tvarů podle potřeby. Na obrázku 19 je zobrazen průmyslový objekt, ve kterém jsou nainstalovány kompaktní zářiče. [19]



Obr. 19 Příklad použití kompaktních zářičů

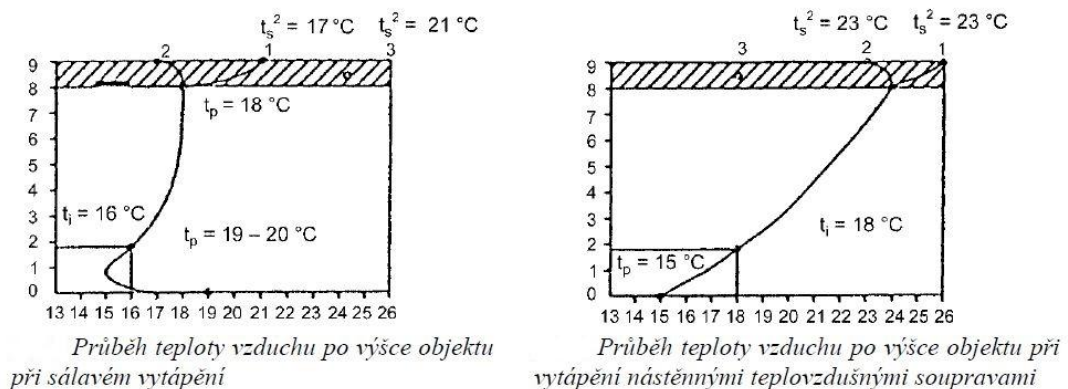
### 4.3 Stupeň hospodárnosti

Hospodárnější provoz proti tradičním způsobům teplovzdušného vytápění spočívá v principu dodávky tepla do vytápěného prostoru. Tepelná pohoda v místě pobytu člověka je určována výslednou teplotou ( $t_g$ ), která je ovlivněna jednak teplotou vzduchu ( $t_i$ ) a jednak teplotou ploch ohraničujících vytápěný prostor ( $t_s$ ) - podlaha, střešní plášť, okna, stěny, panely. Při sálavém vytápění je teplota vzduchu nižší než teplota okolí, při teplovzdušném vytápění je tomu naopak. Patrné je to z následujícího příkladu (vztah 6 a 7). [14]

Sálavé: 
$$t_g = \frac{t_i + t_s}{2} = \frac{16 + 18}{2} = 17 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

Teplovzdušné: 
$$t_g = \frac{t_i + t_s}{2} = \frac{18 + 16}{2} = 17 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

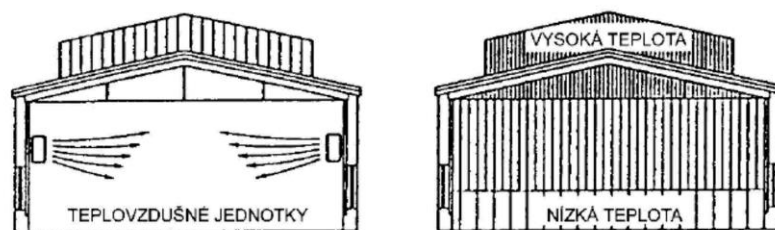
Rozhodující vliv na spotřebu tepla má teplota vzduchu pod střešním pláštěm. Po výšce objektu stoupá jeho teplota při teplovzdušném vytápění rychleji než při vytápění sálavém. Průběh při sálavém vytápění je znázorněn na obrázku 20. [14]



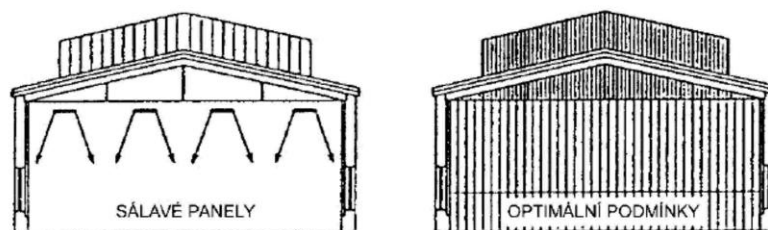
Obr. 20 Průběh teplot při sálavém a teplovzdušném vytápění

Nad rovinou panelů se vytváří teplejší polštář vzduchu, jehož teplota je závislá na kvalitě izolace střechy a světlíků. Při dobře izolované střeše je teplota v místě styku vyšší ( $t_1 = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), při špatně izolované střeše nižší ( $t_2 = 17 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). U teplovzdušného vytápění nástěnnými teplovzdušnými soupravami se tyto hodnoty podstatně liší ( $t_1 = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Uváděný teplotní rozdíl má vliv na spotřebu tepla vytápěného objektu, nehledíc na spotřebu elektrické energie pro pohon ventilátorů nástěnných teplovzdušných souprav. [14]

Rozvrstvení teplot ve vytápěném velkoprostorovém objektu při teplovzdušném a sálavém vytápění je patrné z obrázku 21.



*Rozložení teplot v hale vytápěné nástěnnými teplovzdušnými soupravami*



*Rozložení teplot v hale vytápěné sálavými panely*

*Obr. 21 Rozložení teplot při sálavém a teplovzdušném vytápění*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 PODKLADY TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOVY (TZB)

Tato část diplomové práce bude věnována popisu a návrhu technických zařízení pro konkrétní průmyslový objekt. Navrhovaný systém bude využívat moderní technologie, vyhovující současným platným technickým normám. Současným trendem je šetrnost k životnímu prostředí, využití obnovitelných zdrojů energie a co největší energetická úspornost systému. Tento systém bude navržený tak, aby pokud možno co nevíce vyhověl těmto trendům.

Prioritou při navrhování tohoto systému bude co nejvíce snížit provozní náklady průmyslové haly, ale pouze jen do té míry, aby nebyly negativně ovlivněny pracovní podmínky zaměstnanců. Další důraz bude také kladen na to, aby bylo zajištěno inteligentní ovládání a komunikace technických zařízení.

### 5.1 Postup při navrhování TZB

Při navrhování technických zařízení je vhodné si práci rozčlenit do určitých bodů, pro usnadnění práce a zvýšení přehlednosti. V tomto případě bylo rozčlenění práce zvoleno takto:

- Popis navrhovaného systému (okrajové podmínky, výkresová dokumentace)
- Výpočet tepelných ztrát objektu (tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcemi, větráním a tepelných ztrát při přerušovaném vytápění)
- Výpočet tepelných zisků objektu (zisky ze slunečního oslunění)
- Návrh ohřevu teplé vody
- Návrh vytápění objektu (návrh primárního zdroje tepla pro vytápění v objektu)
- Návrh vzduchotechniky (odvod spalin, přívod čerstvého vzduchu)
- Návrh zařízení s obnovitelnými zdroji energie
- Návrh osvětlení objektu
- Návrh inteligentního ovládání technických zařízení
- Vizualizace ovládání technických zařízení pomocí SCADA systému
- Ekonomické zhodnocení projektu (celkové náklady, náklady na provoz objektu, celková úspora nákladů)

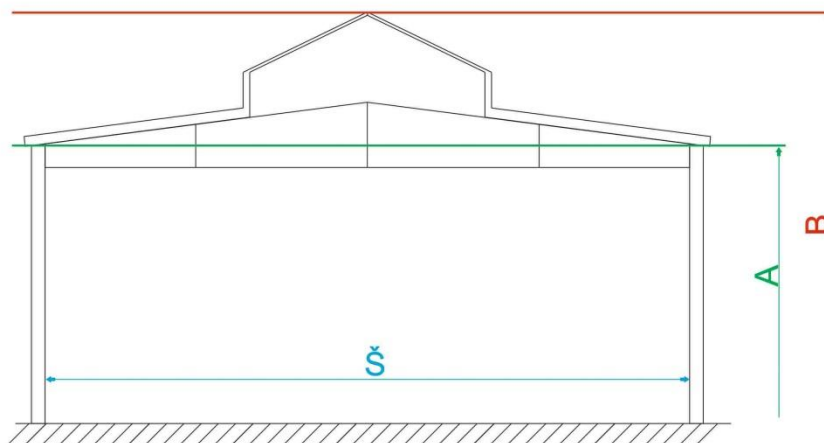
## 5.2 Popis objektu

Celý návrh tohoto projektu vychází z reálného objektu průmyslové haly, která byla postavena v roce 1975. Budova je tudíž velmi zastaralá a nevyhovuje současným energetickým požadavkům a normám. Cílem této diplomové práce bude navrhnout taková opatření, aby tepelně technické parametry budovy odpovídaly legislativním předpisům. Zároveň však musíme brát do úvahy, aby celkové náklady na rekonstrukci budovy nepřevýšily nebo se téměř nepřiblížily k nákladům na stavbu nového průmyslového objektu.

Základní parametry našeho průmyslového objektu jsou popsány v tabulce 4.

Tab. 4 Základní rozměry objektu

|                    |         |
|--------------------|---------|
| Šířka              | 26,4 m  |
| Délka              | 110,1 m |
| Základní výška (A) | 12,3 m  |
| Celková výška (B)  | 14,8 m  |



Obr. 22 Schéma průmyslové haly (nárys)

Výkresová dokumentace je uložena na CD. Přesné umístění výkresové dokumentace je popsáno v příloze P I.

### 5.3 Okrajové podmínky

Nejdříve musíme určit tzv. okrajové podmínky, které jsou rozdílné pro typ objektu (rodinný dům, administrativní budova, průmyslová hala), umístění objektu a mnohé další parametry. Tyto hodnoty můžeme nalézt v normě ČSN EN 12 831. Požadavky na tepelnou ochranu budov jsou uvedeny v normě ČSN 73 0540-2. Průmyslová hala se nachází v Jihomoravském kraji, ve městě Veselí nad Moravou. [29, 31]

Tab. 5 Okrajové podmínky

| Město                                                 | Veselí n. Mor. |
|-------------------------------------------------------|----------------|
| Nadmořská výška [m n. mořem]                          | 181            |
| Roční průměrná venkovní teplota $\Theta_{m,e}$ [°C]   | 3,6            |
| Výpočtová teplota venkovního vzduchu $\Theta_e$ [°C]  | -12            |
| Průměrná denní venkovní teplota $\Theta_{np,e}$ [°C]  | 13             |
| Počet dnů otopného období [dny]                       | 233            |
| Zatížení v krajině větrem                             | Zvýšené        |
| Návrhová vnitřní teplota $\Theta_i$ [°C]              | 16             |
| Relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i$ [%]   | 49             |
| Předpokládaný počet osob                              | 6 až 8         |
| Celková zastavěná plocha [m <sup>2</sup> ]            | 2906,7         |
| Celková plocha vytápěných místností [m <sup>2</sup> ] | 2820,5         |
| Celkový vytápěný prostor [m <sup>3</sup> ]            | 35015          |

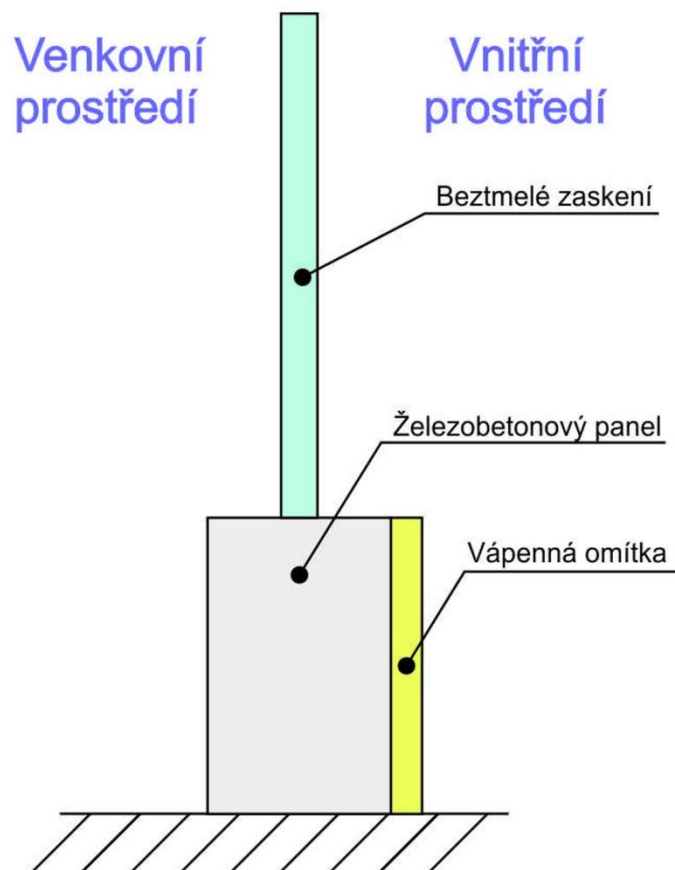
V této průmyslové budově je umístěna výrobní linka, která zabírá asi polovinu půdorysné plochy budovy. Ostatní části budovy slouží, jako dočasný sklad výrobního materiálu, hotových ocelových trubek a k pohybu zaměstnanců. Výrobní linka vyrábí ocelové trubky. Součástí výrobního procesu je tedy tvarování materiálu, svařování, řezání a výsledná komplementace trubek.

## 5.4 Složení původních konstrukcí

Jak již bylo zmíněno, tato průmyslová budova pochází z 80. let 20. století. Skladba konstrukce této budovy je tedy velmi jednoduchá. V dřívějších dobách totiž ještě nebylo zvykem brát ohled na energetickou úspornost budovy. Složení konstrukcí této průmyslové budovy je popsáno v následujících tabulkách (tabulky 6 až 9).

Tab. 6 Složení obvodových stěn

| Kód | Složení obvodových stěn  | d [mm] | $\lambda$ [W/(m.K)] |
|-----|--------------------------|--------|---------------------|
|     | Vápenná omítka           | 15     | 0,87                |
| 2   | Panel normální keramický | 245    | 1,23                |
| 4   | Beztlmé zasklení         | 6      | 0,76                |



Obr. 23 Složení obvodových stěn

Tab. 7 Složení stropu

| Kód | Složení stropu                                | d [mm] | $\lambda$ [W/(m.K)] |
|-----|-----------------------------------------------|--------|---------------------|
|     | Dvojnásobný vápenný pačok                     | 6      | 0,87                |
| 1   | Střešní panel železobeton                     | 240    | 1,43                |
|     | Perlitbeton                                   | 30     | 0,091               |
| 3   | Desky KSD                                     | 50     | 0,034               |
|     | Živičná krytina (Hp, IPA 400, ASTPS, IPA 400) | 5,4    | 0,21                |
|     | Posyp křemíkem                                | 5      | 0,19                |

Tab. 8 Složení podlahy

| Kód | Složení podlahy | d [mm] | $\lambda$ [W/(m.K)] |
|-----|-----------------|--------|---------------------|
|     | Betonová deska  | 300    | 1,23                |

Tab. 9 Tabulka prefabrikátů

| Tabulka Prefabrikátů |                                         |              |           |                 |
|----------------------|-----------------------------------------|--------------|-----------|-----------------|
| Kód                  | Název                                   | Rozměry [cm] | Váha [kg] | Materiál        |
| 1                    | Střešní panel předpjatý SZD 34p-150/600 | 149/596/24   | 1038      | Železobeton     |
| 2                    | Panel normální keramický NOV 4-806      | 148/597/24,5 | 3680      | Beton           |
| 3                    | Desky KSD                               | 90/200/5     | /         | Sklovláknobeton |
| 4                    | Beztmelé zasklení                       | 180/75/0,6   | /         | Stavební sklo   |

d – tloušťka vrstvy konstrukce [mm]

$\lambda$  – součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]

## 5.5 Výpočet tepelných ztrát

Důležitým parametrem při navrhování TZB systémů jsou údaje o tepelných vlastnostech konstrukčních prvků budov. Teplo proniká z budovy a do budovy jakoukoliv konstrukční částí. Složení stavebních konstrukcí je tedy významným parametrem pro výpočet tepelných ztrát budovy. Při výpočtu tepelných ztrát budeme postupovat podle návodu uvedeného v normě ČSN 12 831. [29]

Důležitou veličinou při výpočtu tepelných ztrát je součinitel přestupu tepla,  $U_k$ . Hodnota tohoto součinitele závisí na materiálu všech částí stavební konstrukce budovy. Součinitel přestupu tepla můžeme vypočítat ze součinitele tepelné vodivosti materiálu ( $\lambda$ ) nebo z tepelného odporu materiálu ( $R$ ). Tyto hodnoty většinou uvádí výrobce nebo je můžeme najít v normě ČSN 73 0540-3. Součinitel prostupu tepla tedy můžeme vypočítat ze vztahu 8 nebo 9. [32]

$$U_k = \frac{1}{h_i + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + h_e} \quad (8)$$

$$U_k = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \quad (9)$$

$$R_j = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (10)$$

$U_k$  – součinitel prostupu tepla [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$h_i$  – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$h_e$  – součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$d_i$  – tloušťka vrstvy  $i$ -té části konstrukce [m]

$\lambda_i$  – součinitel tepelné vodivosti  $i$ -té části konstrukce [ $W/(m \cdot K)$ ]

$R_{si}$  – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

$R_{se}$  – odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

$R_j$  – odpor při přestupu tepla na  $j$ -té části konstrukce [ $(m^2 \cdot K)/W$ ]

Protože složení obvodové stěny není sourodé po celé ploše, musíme uvažovat jako by se skládala ze dvou různých stěn, navzájem postavených na sobě. Budeme tedy uvažovat jednu stěnu, složenou z železobetonu a druhou stěnu, složenou ze skla, která je umístěna na ní. Podobný způsob musíme použít i u stropu, který je složen z různých vrstev a skleněného světlíku. Při výpočtu tepelných ztrát musíme zohlednit i otvory nebo výplně, jako jsou například vrata, dveře nebo okna. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty těchto součinitelů pro náš případ.

*Tab. 10 Součinitel prostupu tepla pro konstrukční prvky  $U_k$*

| Název konstrukce  | Plocha [m <sup>2</sup> ] | $U_k$ [W/(m <sup>2</sup> .K)] |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Obvodové stěny    | 790                      | 2,6                           |
| Beztmelé zasklení | 2376                     | 5,6                           |
| Strop             | 2190                     | 0,46                          |
| Skleněný světlík  | 815                      | 5,6                           |
| Podlaha           | 2820,5                   | 0,24                          |

Dalšími důležitými veličinami při výpočtu tepelných ztrát jsou vnitřní výpočtová (návrhová) teplota  $\Theta_i$  a vnější výpočtová teplota  $\Theta_e$ . Vnitřní výpočtovou teplotu můžeme najít pro obytné domy v normě ČSN 12 831 a pro jiné typy budov ji lze najít v normě ČSN 73 0540-3. V našem případě (průmyslová hala) je vnitřní výpočtová teplota rovna  $\Theta_i = 16^\circ\text{C}$ . Vnější výpočtová teplota závisí například na lokalitě umístění budovy, povětrnostních podmínkách a nadmožské výšce. Druh budovy zde nehraje roli. Jak již bylo uvedeno v okrajových podmínkách, vnější výpočtová teplota je rovna  $\Theta_e = -12^\circ\text{C}$ . [29, 32]

### 5.5.1 Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelná ztráta prostupem tepla  $\Phi_T$ , vzniká všude tam, kde konstrukce obklopující místnost sdílí teplo. Jedná se o tepelné ztráty, které jsou způsobeny vedením tepla do vnějšího prostředí. Hodnota tepelné ztráty prostupem tepla závisí tedy především na složení konstrukcí a jejich tepelně izolačních schopnostech. Tepelná ztráta prostupem tepla se určí podle normy ČSN 12 831, ze vztahu 11. [29]

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \quad (11)$$

$\Phi_{T,i}$  – tepelná ztráta prostupem tepla *i*-té konstrukce [W]

$H_{T,ie}$  – součinitel tepelné ztráty prostupem tepla z vytápěného prostoru (*i*) do venkovního prostředí (*e*), pláštěm budovy [W/K]

$H_{T,iue}$  – součinitel tepelné ztráty prostupem tepla z vytápěného prostoru (*i*) do venkovního prostředí (*e*), nevytápěným prostorem [W/K]

$H_{T,ig}$  – součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (*i*) do zeminy (*g*), v ustáleném stavu [W/K]

$H_{T,ij}$  – součinitel tepelné ztráty prostupem tepla z vytápěného prostoru (*i*) do sousedního prostoru (*j*), vytápěného na výrazně jinou teplotu, např. sousedící místnost uvnitř funkční části budovy [W/K]

$\Theta_i$  – výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (*i*) [°C]

$\Theta_e$  – výpočtová venkovní teplota [°C]

V našem případě se vzorec omezí pouze na tvar v rovnici 12.

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig}) \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \quad (12)$$

Součinitel tepelné ztráty do venkovního prostředí  $H_{T,ie}$  zahrnuje tepelné mosty a všechny stavební části, které oddělují vytápěný prostor od venkovního prostředí (stěny, strop, okna, dveře atd.). Vypočítáme jej zjednodušenou metodou pro stanovení lineárních tepelných ztrát ze vztahu 13.

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_{kc} \quad (13)$$

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad (14)$$

$H_{T,ie}$  – součinitel tepelné ztráty prostupem tepla z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e), pláštěm budovy [W/K]

$A_k$  – plocha stavební části (k) [m<sup>2</sup>]

$U_{kc}$  – korigovaný součinitel prostupu tepla stavební části (k), zahrnuje lineární tepelné mosty [W/(m<sup>2</sup> · K)]

$\Delta U_{tb}$  – korekční součinitel, závisící na druhu stavební části [W/(m<sup>2</sup> · K)]

Hodnoty korekčního součinitele  $\Delta U_{tb}$  najdeme v normě ČSN 12 831, příloha D.4.1. [29]

Součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy  $H_{T,ig}$  závisí na více činitelích. Zahrnuje ztráty podlahami, základovými stěnami s přímým nebo nepřímým stykem se zemínou.

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum A_k \cdot U_{ekviv}) \cdot G_w \quad (15)$$

$$f_{g2} = \frac{\Theta_i - \Theta_{m,e}}{\Theta_i - \Theta_e} \quad (16)$$

$H_{T,ig}$  – součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g), v ustáleném stavu [W/K]

$A_k$  – plocha stavební části (k) [m<sup>2</sup>]

$f_{g1}$  – korekční činitel zohledňující vliv ročních změn teploty (najdeme ho v normě ČSN 12 831, příloha D.4.3) [29]

$f_{g2}$  – teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou

$U_{ekviv}$  – ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k), zaleží na typu podlahy [W/(m<sup>2</sup> · K)]

$G_w$  – korekční činitel zohledňující vliv spodní vody (v našem případě roven 1)

### 5.5.2 Tepelná ztráta větráním

Další významnou složkou z hlediska tepelných ztrát budovy je tepelná ztráta větráním. Velikost tepelné ztráty větráním v dobře izolovaných objektech je mnohdy stejná nebo dokonce větší, než tepelná ztráta prostupem tepla stavebními konstrukcemi budovy. Snížení tepelné ztráty prostupem tepla přes stavební konstrukce lze docílit poměrně snadno, a to tím, že použijeme kvalitnější tepelnou izolaci, popřípadě navýšíme vrstvu tepelné izolace. Snížení tepelných ztrát větráním již není tak jednoduché. Tepelné ztráty větráním nemůže snížit tím, že zmenšíme intenzitu výměny vzduchu v budově. Toto snížení nemůžeme provést, protože každá budova má své hygienické limity na intenzitu větrání a budovu (zejména obytné nebo pracovní prostory) je tedy nutné provětrávat.

Hodnotu velikosti tepelné ztráty větráním ovlivňuje způsob a systém větrání. V případě, že v budově není nainstalována vzduchotechnická jednotka, jedná se o větrání přirozené. Pokud je budova opatřena vzduchotechnickou jednotkou, jedná se o větrání nucené. Metoda výpočtu tepelné ztráty větráním potom závisí na druhu větrání, ve vztahu 17 je uvedena intenzita větrání pro náš případ, přirozené větrání.

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \quad (17)$$

$\Phi_{V,i}$  – tepelná ztráta větráním  $i$ -té konstrukce [W]

$\dot{V}_i$  – výměna vzduchu ve vytápěném prostoru ( $i$ ) [m<sup>3</sup>/h]

$\Theta_i$  – výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru ( $i$ ) [°C]

$\Theta_e$  – výpočtová venkovní teplota [°C]

Konstanta 0,34 ve vztahu 17 slouží jako zjednodušení při výpočtu, pokud je větrací médium vzduch. V jiném případě se nahrazuje veličinami hustotou a měrnou tepelnou kapacitou. U přirozeného větrání tedy platí následující vztahy

$$\dot{V}_i = \text{Max}(\dot{V}_{inf,i} ; \dot{V}_{min,i}) \quad (18)$$

$\dot{V}_{inf,i}$  – množství vzduchu infiltrací ve vytápěném prostoru (i), (např. spárami) [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$\dot{V}_{min,i}$  – minimální požadované množství vzduchu ve vytápěném prostoru (i) [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$$V_{inf,i} = 2 \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \cdot V_i \quad (19)$$

$n_{50}$  – intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřkem a vnějškem budovy a zahrnující účinky přívodů vzduchu [1/h]

$e_i$  – stínící činitel

$\varepsilon_i$  – výškový korekční činitel

$V_i$  – objem vzduchu ve vytápěné místnosti [ $\text{m}^3$ ]

Vztah 19 je vynásoben konstantou 2, protože hodnota  $n_{50}$  je dána pro celou budovu. Při výpočtu musíme uvažovat nejhorší případ, a to ten, kdy všechen infiltrovaný vzduch vstupuje do budovy pouze na jedné straně. Hodnota  $\dot{V}_{inf,i}$  by se měla nabývat hodnot větších nebo rovno nule.

Minimální množství vzduchu určíme ze vztahu 20. Tento vztah platí, pouze pokud nejsou známy hodnoty minimálního množství čerstvého vzduchu. Minimální množství čerstvého vzduchu se dá i určit podle několika dalších vztahů (např. podle počtu osob, podle půdorysné plochy budovy, podle množství vznikajících škodlivin atd.). Proto je velmi důležité zvolit vhodný vztah na minimální množství čerstvého vzduchu.

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (20)$$

$\dot{V}_{min,i}$  – minimální požadované množství vzduchu ve vytápěném prostoru (i) [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$n_{min}$  – minimální intenzita výměny venkovního vzduchu [1/h]

$V_i$  – objem vzduchu ve vytápěné místnosti [ $\text{m}^3$ ]

V případě průmyslové haly (obecně) uvádí doporučený standard technický minimální přívod čerstvého vzduchu  $0,8 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , který se vztahuje na podlahovou plochu budovy. V přepočtu na intenzitu větrání nám pak vyjde číslo  $0,41 \text{ h}^{-1}$ . Jiné technické dokumenty (např. topenářská příručka) doporučují volit intenzitu větrání od  $0,3$  do  $0,6 \text{ h}^{-1}$ , v závislosti na druhu vytápění, množství vznikajících škodlivin atd. V tomto případě byl zvolen kompromis obou možností, intenzita větrání byla zvolena  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Skutečná intenzita je tedy o něco menší, ale s ohledem na stáří budovy a vzhledem k tomu, že systém navrhujeme na nejhorší možné podmínky, bude lepší mít jakousi rezervu.

### 5.5.3 Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta vytápěného objektu (i) se pak vypočítá podle vztahu 21.

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (21)$$

$\Phi_i$  – celková tepelná ztráta í-té konstrukce [W]

$\Phi_{T,i}$  – tepelná ztráta prostupem tepla í-té konstrukce [W]

$\Phi_{V,i}$  – tepelná ztráta větráním í-té konstrukce [W]

Tento vzorec (21) však platí pouze pro budovy s maximální výškou stropu 5m. V našem případě máme výšku stropu vyšší, proto musíme do vztahu začlenit výškový korekční součinitel  $f_{h,i}$ , jeho hodnoty jsou uvedeny v normě ČSN 12 831 (příloha B.1). Tento součinitel závisí na výšce objektu a způsobu vytápění. K celkovému výpočtu tepelných ztrát tedy použijeme vztah 22. [29]

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{h,i} \quad (22)$$

$f_{h,i}$  – výškový korekční součinitel

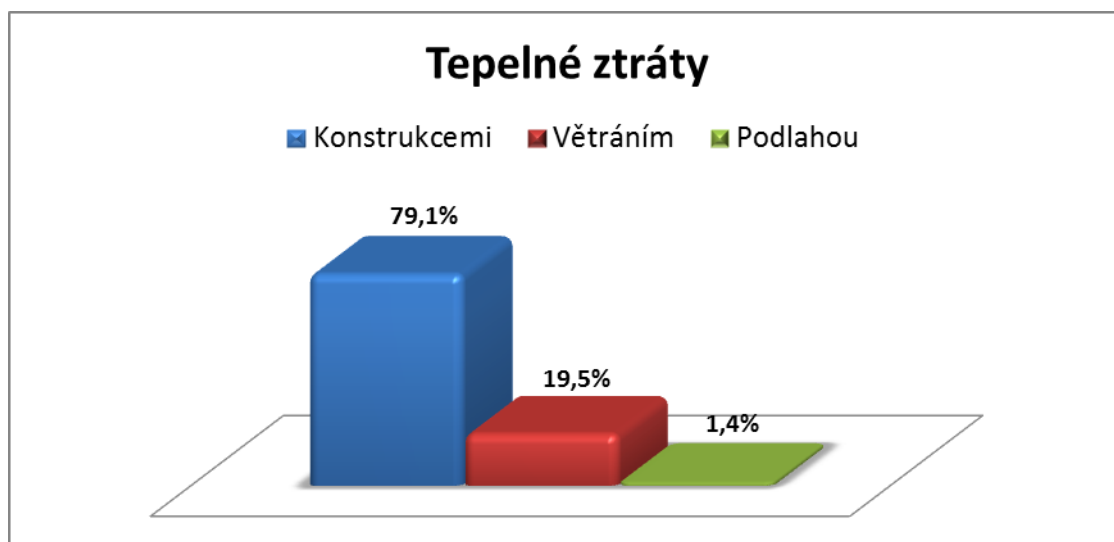
#### 5.5.4 Tepelná ztráta objektu před rekonstrukcí

V této části jsou popsány tepelné ztráty původní průmyslové haly, postavené v roce 1975. V tabulce 11 jsou uvedeny jednotlivé tepelné ztráty původního objektu.

Tab. 11 Tepelné ztráty původní haly

| Druh tepelné ztráty    | Tepelná ztráta [W] |
|------------------------|--------------------|
| Prostupem konstrukcemi | 678 064            |
| Prostupem podlahou     | 12 175             |
| Větráním               | 166 671            |
| <b>Celková</b>         | <b>856 910</b>     |

Největší tepelné ztráty budovy tvoří tepelná ztráta prostupem konstrukcemi, jak můžeme vidět z následujícího grafu (obrázek 24). Z toho vyplývá, že budova je nedostatečně tepelně zaizolována.



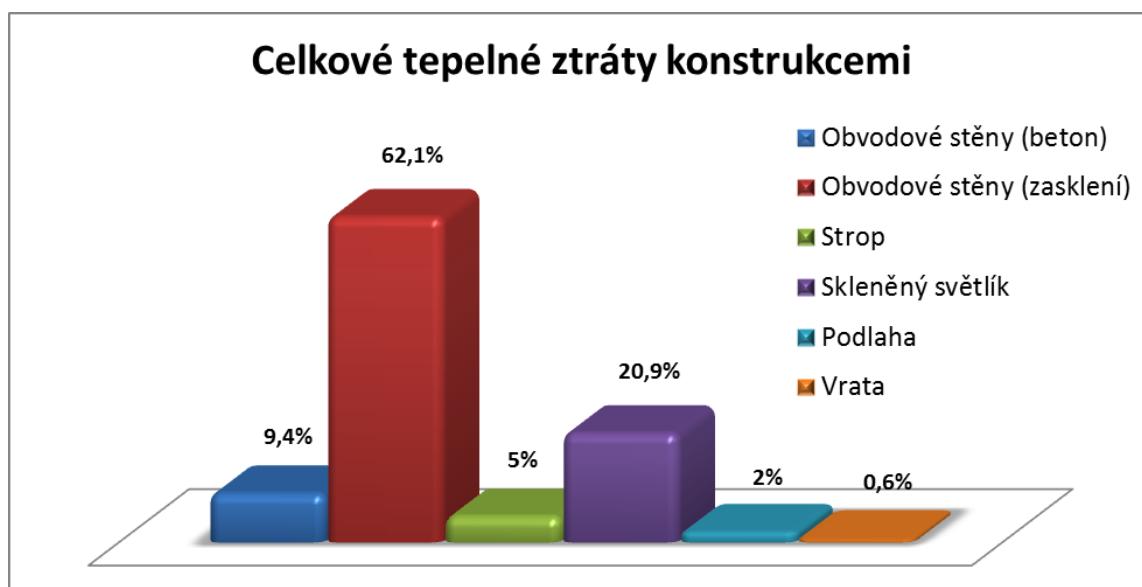
Obr. 24 Graf tepelných ztrát

Nejvyšší ztráty jsou tedy tvořeny prostupem tepla konstrukcemi. Nyní je potřeba zjistit, které části konstrukcí tvoří nejvyšší ztrátu tepla. V následující tabulce (tabulka 12) jsou tyto ztráty uvedeny.

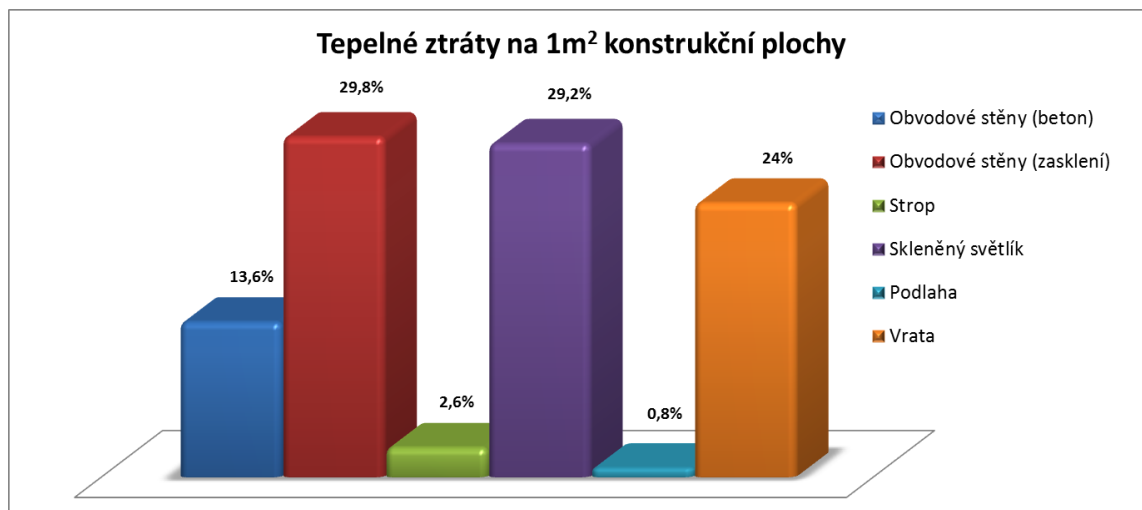
Tab. 12 Tepelné ztráty konstrukcemi

| Název konstrukce          | Plocha [m <sup>2</sup> ] | Tepelná ztráta na 1m <sup>2</sup> [W] | Celková tepelná ztráta [W] |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Obvodové stěny (beton)    | 790                      | 72,8                                  | 57 512                     |
| Obvodové stěny (zasklení) | 2376                     | 159,6                                 | 379 209                    |
| Strop                     | 2190                     | 14,0                                  | 30 660                     |
| Skleněný světlík          | 815                      | 156,8                                 | 127 792                    |
| Podlaha                   | 2820,5                   | 4,3                                   | 12 175                     |
| Ocelová vrata             | 27,9                     | 128,8                                 | 3 593                      |

V následujícím grafu (obrázek 25) jsou tyto hodnoty vyneseny pro lepší představivost. Jak je vidět tak největší tepelnou ztrátu objektu tvoří zasklené plochy a části obvodových stěn z železobetonu. Mezi zanedbatelné ztráty patří například tepelná ztráta podlahou. Pozornost je třeba věnovat i tepelným ztrátám přes ocelová vrata. Na první pohled se může ztráta přes tento otvor zdát vůči ostatním konstrukcím zanedbatelná. Každopádně tepelná ztráta tohoto otvoru vztažená na 1 m<sup>2</sup> patří k nejvyšším, jak je patrné z obrázku 26.



Obr. 25 Tepelné ztráty konstrukcemi



Obr. 26 Tepelné ztráty konstrukčních částí vztažené na 1m<sup>2</sup>

Výpočet tepelných ztrát byl proveden dvěma výpočty. Nejdříve byl výpočet proveden ručně podle normy ČSN 12 831 a následovně v programech Tepelné techniky (Teplo 2010, Ztráty 2010). Vypočtené hodnoty tepelných ztrát oběma způsoby se liší jen velmi minimálně. Nicméně pro další výpočty budeme využívat výsledky z programu Tepelná technika. Výpočty v těchto programech jsou přesnější než ruční metoda a zohledňují některé parametry, které jsme při ručním výpočtu zanedbali. V následující tabulce (tabulka 13) jsou uvedeny rozdíly těchto dvou metod. [29]

Tab. 13 Srovnání výpočtových metod

|                                                                                 | <b>Ruční metoda</b> | <b>Teplo 2010</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em}$ [W/m <sup>2</sup> .K] | /                   | 2,43              |
| Tepelná ztráta prostupem [W]                                                    | 690 239             | 701 250           |
| Tepelná ztráta větráním [W]                                                     | 166 671             | 164 290           |
| Celková tepelná ztráta [W]                                                      | 856 910             | 865 540           |
| <b>Celkový rozdíl metod [W]</b>                                                 | <b>8 630</b>        |                   |

### 5.5.5 Kondenzace vodní páry v původním objektu

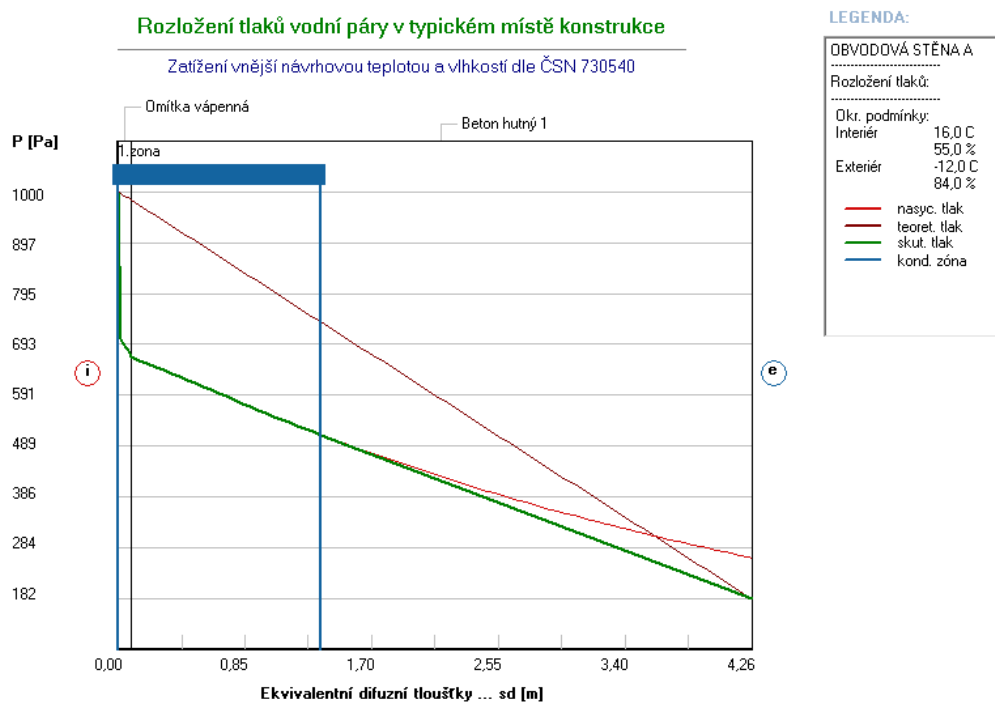
Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry je důležitým parametrem, který je potřeba brát do úvahy při posuzování konstrukcí budovy. Touto problematikou se zabývá například norma ČSN 73 0540. Požadavky na dovolené množství zkondenzované vodní páry se liší např. podle typu konstrukce budovy, způsobu odvětrávání atd. Pro stavební konstrukci, u které kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce neohrozí její funkci, se požaduje omezení ročního množství zkondenzované vodní páry. Roční množství zkondenzované vodní páry musí vyhovovat vztahu 23. [31, 32]

$$M_c \leq M_{ev} \quad (23)$$

$M_c$  – roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce [kg/(m<sup>2</sup>. rok)]

$M_{ev}$  – roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce [kg/(m<sup>2</sup>. rok)]

V programu Teplo 2010 byl proveden výpočet množství zkondenzované vodní páry v obvodové stěně. Hodnota  $M_c$  vyšla v programu 2,327 kg/(m<sup>2</sup>. rok), hodnota  $M_{ev}$  je 7,227 kg/(m<sup>2</sup>.rok). Tyto hodnoty vyhovují vztahu 23. Z toho vyplývá, že množství zkondenzované vodní páry se stihne vypařit a vše je tudíž v pořádku.



Obr. 27 Kondenzace vodní páry v obvodové stěně

### 5.5.6 Energetický štítek obálky původní budovy

Energetický štítek obálky budovy a protokol k tomuto štítku jsou technické dokumenty, kterými lze doložit, že byl splněn požadavek na energetickou náročnost budovy, vyplývající z normy ČSN 73 0540. Tyto dokumenty musí být součástí každého projektu novostavby nebo rekonstrukce objektu. [31, 32]

Energetický štítek obálky budovy hodnotí především tepelně-izolační schopnost budovy a její energetickou hospodárnost. Energetický štítek obálky budovy klasifikuje budovy do několika tříd, podle prostupů tepla (třídy A až G). Do třídy A spadají budovy nejvíce energeticky úsporné (pasivní dům), naopak do třídy G jsou zařazeny budovy velmi nevhodné. [31, 32]

Třída C se dále dělí na třídy C<sub>1</sub> a C<sub>2</sub>. V grafickém hodnocení se však tyto třídy nerozlišují, jestli objekt patří do podkategorie C<sub>1</sub> nebo C<sub>2</sub> je uvedeno v protokolu energetického štítku. Třída C<sub>1</sub> vyhovuje doporučené hodnotě součinitele prostupu tepla, třída C<sub>2</sub> vyhovuje jen požadované hodnotě součinitele prostupu tepla. V následující tabulce jsou popsány všechny klasifikační třídy energetické náročnosti budov, hodnoty můžeme najít v normě ČSN 73 0540. [31, 32]

Tab. 14 Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy

| Třída          | Slovní vyjádření třídy | Průměrný součinitel prostupu tepla                         |
|----------------|------------------------|------------------------------------------------------------|
| A              | Velmi úsporná          | $U_{em} \leq 0,5 \cdot U_{em,req}$                         |
| B              | Úsporná                | $0,5 \cdot U_{em,req} < U_{em} \leq 0,75 \cdot U_{em,req}$ |
| C              | Vyhovující             | $0,5 \cdot U_{em,req} < U_{em} \leq U_{em,req}$            |
| C <sub>1</sub> | Vyhovující             | $U_{em} \leq U_{em,rec}$                                   |
| C <sub>2</sub> | Vyhovující             | $U_{em} \leq U_{em,req}$                                   |
| D              | Nevyhovující           | $U_{em,req} < U_{em} \leq 1,5 \cdot U_{em,req}$            |
| E              | Nehospodárná           | $1,5 \cdot U_{em,req} < U_{em} \leq 2 \cdot U_{em,req}$    |
| F              | Velmi nevhodná         | $2 \cdot U_{em,req} < U_{em} \leq 2,5 \cdot U_{em,req}$    |
| D              | Mimořádně nevhodná     | $U_{em} > 2,5 \cdot U_{em,req}$                            |

Hlavním kritériem pro hodnocení energetické náročnosti budovy je tzv. průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em}$ . Tento součinitel se pak porovnává s požadovaným součinitelem prostupu tepla obálkou budovy  $U_{em,req}$ , který je určený normou ČSN 73 0540. Aby byla dosažena požadovaná energetická úspornost budovy, musí být splněn vztah 24. [31, 32]

$$U_{em} \leq U_{em,req} \quad (24)$$

$U_{em}$  – průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy [W/(m<sup>2</sup>. K)]

$U_{em,req}$  – požadovaný součinitel prostupu tepla obálkou budovy [W/(m<sup>2</sup>. K)]

$U_{em,rec}$  – doporučený součinitel prostupu tepla obálkou budovy [W/(m<sup>2</sup>. K)]

Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy vypočítáme ze vztahu 25. Měrnou ztrátu prostupem tepla stanovíme ze vztahu 26.

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad (25)$$

$$H_T = \sum A_i \cdot U_i \cdot b_i \quad (26)$$

$H_T$  – měrná ztráta prostupem tepla [W/K]

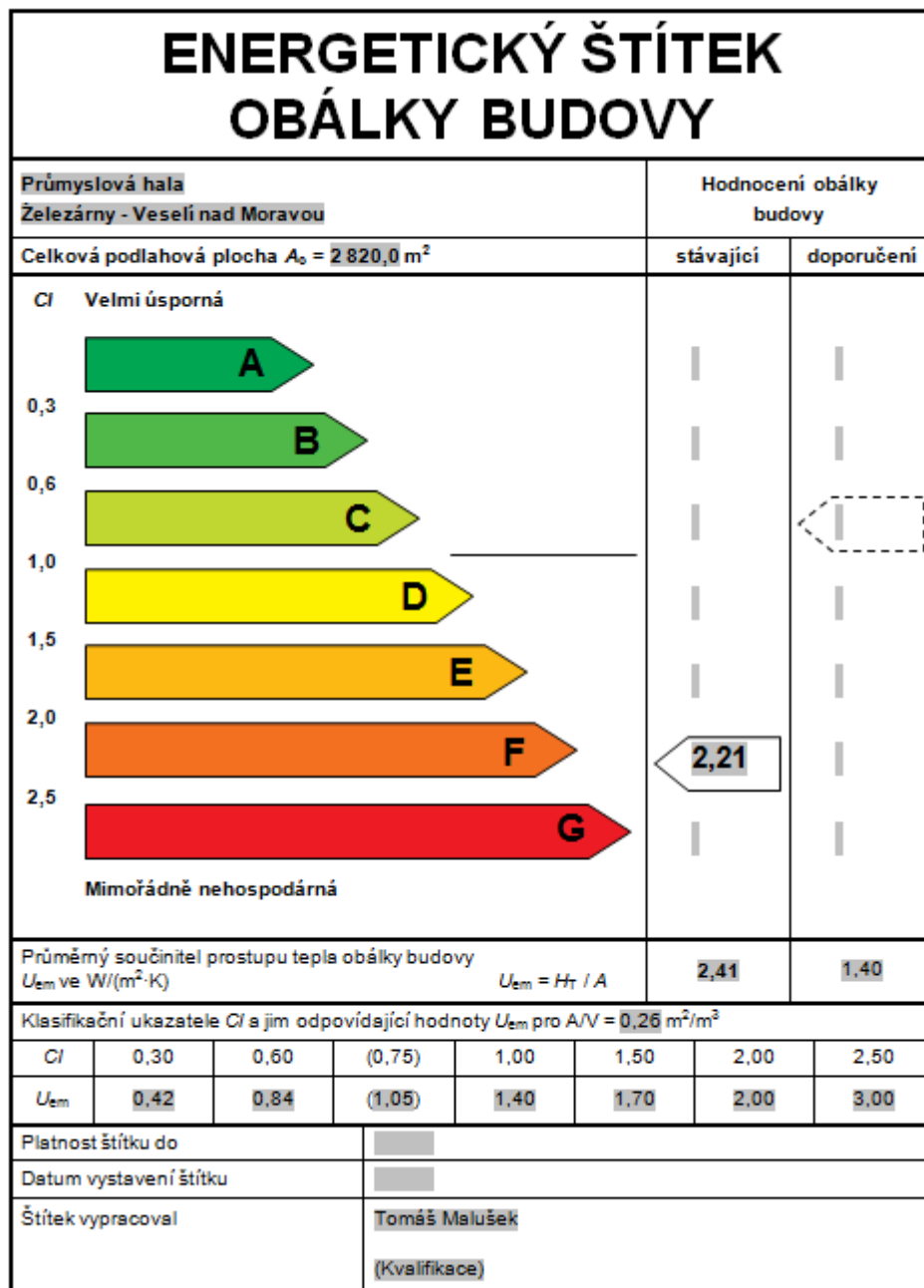
$A$  – celková plocha obálky budovy (součet ploch  $A_i$ ) [m<sup>2</sup>]

$U_i$  – součinitel prostupu tepla konstrukcí (i) [W/(m<sup>2</sup>. K)]

$b_i$  – činitel teplotní redukce konstrukce (i) [-]

V našem případě nám vyšla měrná ztráta prostupem tepla 21 728 W/K. Dosazením do vztahu 25 pak vyjde průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy 2,41 W/(m<sup>2</sup>. K). Požadovaný součinitel prostupu tepla obálkou budovy je dle normy 1,4 W/(m<sup>2</sup>. K), doporučený součinitel 1,05 W/(m<sup>2</sup>. K). Naše budova tudíž spadá do kategorie F - velmi nevhodná a nevyhovuje legislativním požadavkům na energetickou úspornost budovy. Minimální požadovaná kategorie je kategorie C, bude tudíž nutné zvážit tepelné zaizolování budovy.

V programu Ztráty 2010 byl proveden výpočet tepelných ztrát budovy a sestaven energetický štítek obálky budovy. Štítek je uveden na následujícím obrázku, celý protokol včetně štítku je přiložen v příloze P II. Elektronická forma tohoto protokolu je uložena na CD.



Obr. 28 Energetický štítek původní budovy

## 6 NÁVRH TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOVY (TZB)

Tato část diplomové práce se bude zabývat návrhem technických zařízení pro průmyslovou budovu. Jelikož stavebnictví zasahuje do našeho studijního oboru jen velmi okrajově, budou navrhovány pouze takové prvky, které nebudou nijak ovlivňovat funkci původní stavební konstrukce průmyslové haly. Původní konstrukce průmyslové haly tedy zůstane zachována, my se budeme pouze snažit zlepšit její tepelně-izolační vlastnosti (např. izolací budovy).

Při navrhování těchto technických zařízení se budeme snažit, aby byl návrh co nejvíce podobný situaci v reálném životě. Vzhledem ke stáří průmyslové budovy budeme tedy muset zvažovat ekonomické zhodnocení. Nemůžeme si totiž dovolit, aby naše navrhované zlepšení stálo přibližně stejně, jako postavení nové průmyslové haly. V takovém případě by tato diplomová práce ztrácela v reálném životě význam.

Důraz bude také kladen na to, aby provozní náklady průmyslové haly byly co nejmenší. Současným trendem je totiž neustálé zdražování energií. Čím menší provozní náklady se nám podaří navrhnout, tím rychlejší bude návratnost pořizovacích nákladů na technická zařízení. Docílit toho bude možné například použitím zařízení, které využívají obnovitelné zdroje energie (sluneční kolektory, fotovoltaické panely atd.)

### 6.1 Návrh tepelné izolace budovy

Původní složení obvodových stěn v průmyslové hale je z hlediska tepelně-izolačních vlastností nedostatečné. Součinitel přestupu tepla obvodové stěny, složené z železobetonu je  $2,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Tuto hodnotu je potřeba snížit. Toho docílíme vhodnou izolací a omítkou z vnější strany konstrukce obvodové stěny.

Materiálů vhodných na tepelnou izolaci je velké množství (minerální vlna, extrudovaný polystyren, pěnový polystyren atd.). Minerální vlna výborný tepelný izolant, navíc je z nehořlavého materiálu, nicméně stejně jako extrudovaný polystyren má vysokou pořizovací cenu pro náš účel. Jako tepelná izolace byl tedy zvolen pěnový polystyren, jako takový kompromis mezi cenou a tepelně-izolačními vlastnostmi. Tento materiál je sice hořlavý, ale pro naše podmínky postačující. Naše průmyslová hala se nenachází blízkosti nebezpečných zdrojů tepla a riziko požáru je zde minimální.

Pěnový polystyren byl zvolen od firmy Isover, jeho tepelná vodivost je  $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  a jeho tepelný odpor činí  $4,2 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W}$ . Tloušťka pěnového polystyrenu je 14 cm. Při této tloušťce nekondenzuje v konstrukci obvodové stěny žádná vodní pára a je zajištěna dostatečná tepelná izolace. Zvyšování tloušťky polystyrenu nemá v tomto případě smysl. Tepelně izolační vlastnosti konstrukce by se příliš nezměnily, pořizovací náklady by se zvýšily a navíc by v konstrukci začala kondenzovat vodní pára.



*Obr. 29 Izolace z pěnového polystyrenu*

Jako vnější omítka na tuto pěnovou izolaci byla zvolena vodoodpudivá, vápenocementová omítka Baumit FeinPutz Aussen. Tato omítka má součinitel tepelné vodivosti  $0,45 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  a nejvyšší třídu reakce na oheň (třída A1 - nehořlavá). Doporučená minimální tloušťka omítky je 3 mm, v našem případě bylo zvoleno 5 mm.

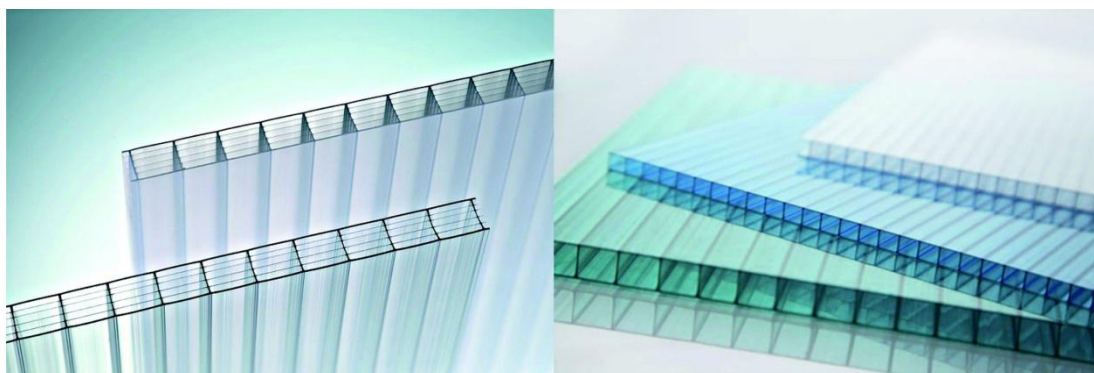


*Obr. 30 Vnější štuková omítka*

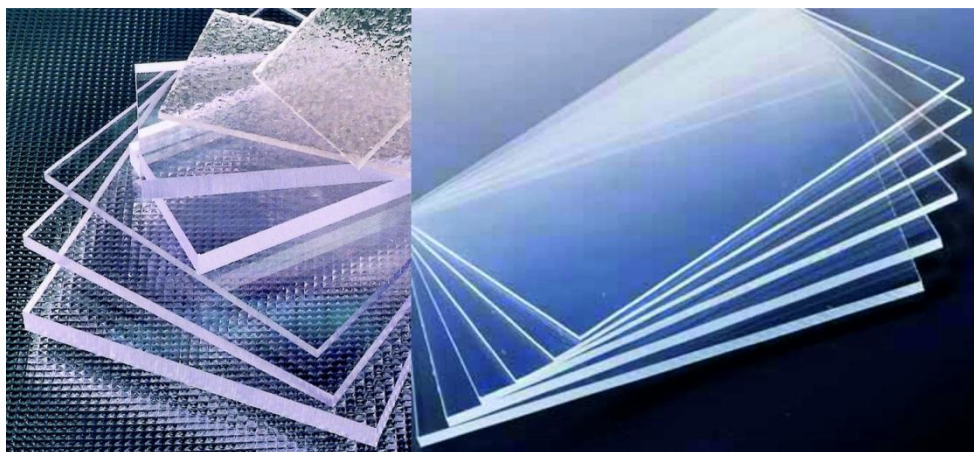
Největší tepelná ztráta prostupem tepla vznikla u všech zasklených ploch (beztmelé zasklení v obvodových stěnách, skleněný světlík). Tepelná ztráta těchto prosklených ploch tvoří téměř 62% z celkových tepelných ztrát prostupem budovy. Zaizolování těchto ploch je tudíž nezbytně nutné.

K izolaci těchto ploch byl zvolen polykarbonát. Tento materiál je pro náš účel velmi výhodný, pomůže nám zlepšit tepelně-izolační vlastnosti konstrukce a zároveň také propouští světlo. Takže ušetříme za zvýšené náklady, které bychom museli zaplatit za umělé osvětlení uvnitř budovy, v případě že bychom na izolaci použili materiál, který nepropouští světlo.

Jako zateplovací materiál prosklených ploch byly zvoleny polykarbonátové desky od firmy Makrolon. Polykarbonátové desky se vyrábějí buď plné, nebo dutinové (někdy také označovány jako komůrkové). Dutinové desky mají lepší tepelně izolační vlastnosti, proto zvolíme tuto možnost. Zvolené desky mají tloušťku 1,4 cm, součinitel tepelné vodivosti 0,12 W/(m. K) a světelnou propustnost téměř 65%.



*Obr. 31 Dutinové polykarbonátové desky*



*Obr. 32 Plné polykarbonátové desky*

Tepelné zateplení podlahy nemá v našem případě smysl. Tepelná ztráta prostupem tepla přes podlahu činí 2,2 % z celkových ztrát prostupem tepla konstrukcemi. Tato hodnota je v porovnání ztrátami na dalších konstrukcích zanedbatelná. Tepelnou izolaci podlahy nelze provést také z jiných důvodů.

Prvním důvodem by byla příliš vysoká cena pořizovacích nákladů na tepelné zateplení podlahy, vzhledem k tomu, že úspora tepelných ztrát by byla v celkovém hledisku minimální. Dalším důvodem proč toto opatření není vhodné provést, je to, že některé stroje výrobní linky váží řádově jednotky tun. Proto by bylo obtížné s nimi manipulovat, nemluvě o tom, že některé těžší stroje jsou zapuštěny pod úroveň podlahy. Z těchto důvodů bylo od izolace podlahy upuštěno.

Z podobných důvodů jako u tepelné izolace podlahy bylo částečně upuštěno i u tepelné izolace stropu. Střecha v této průmyslové hale se skládá z pevné konstrukce, která již byla popsána v kapitole 5.4 a ze skleněného světlíku, který je umístěn uprostřed střechy. Z hlediska tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí činí tepelná ztráta střechy (pevné konstrukce) pouhých 5 %, na druhé straně tepelná ztráta skleněného světlíku je téměř 21 % z celkových tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcemi.

Po zhodnocení těchto statistik bylo rozhodnuto, pevnou konstrukci střechy neizolovat a zaizolovat pouze prosklenou část střechy, tedy skleněný světlík. Od tepelné izolace pevné konstrukce střechy se upustilo z důvodu, že by náklady na tepelnou izolaci byly příliš vysoké a celková úspora přes tuto konstrukci by byla z celkového hlediska tepelných ztrát jen velmi malá.

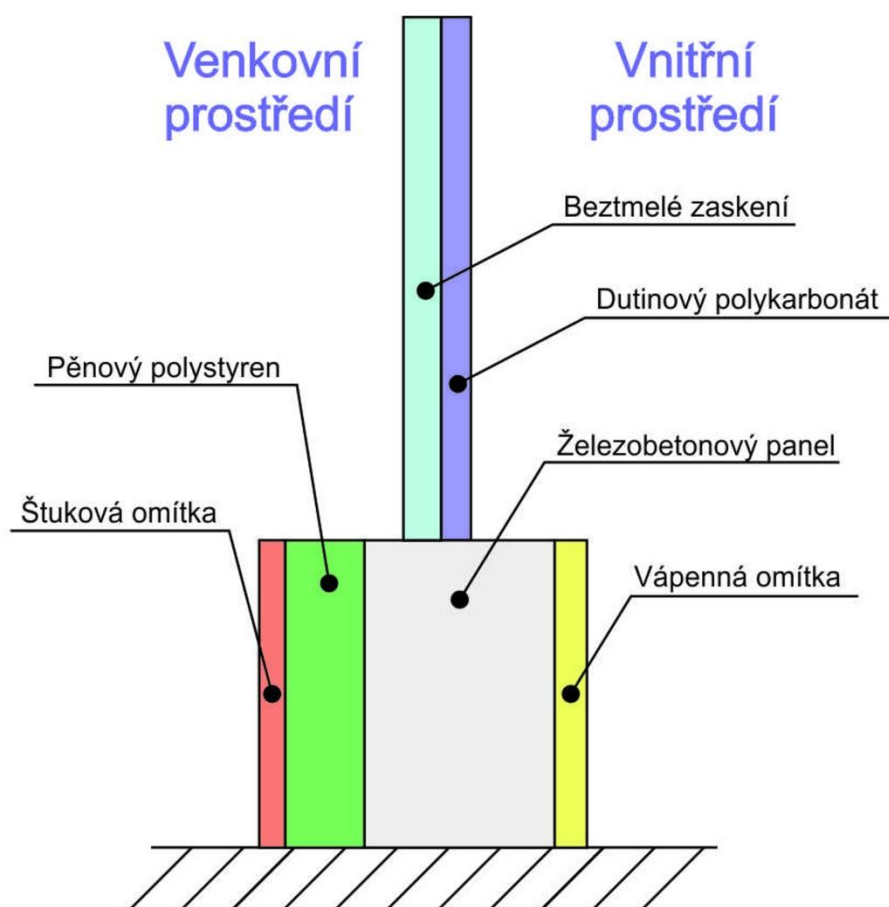
Jak již bylo řečeno, tepelná ztráta přes skleněný světlík je vysoká, tvoří téměř 81 % tepelných ztrát prostupem tepla přes střechu (celek). Protože je světlík vyroben ze stejného skla jako prosklení u obvodových stěn, byl jako tepelná izolace této části opět vybrán polykarbonát. Znovu byla zvolena firma Makrolon a dutinové polykarbonátové desky o tloušťce 1,4 cm, se stejnými vlastnostmi jako u tepelné izolace prosklených ploch, u obvodových stěn.

## 6.2 Složení stavebních konstrukcí po rekonstrukci

V této části diplomové práce jsou popsány stavební konstrukce průmyslové budovy po tepelně-izolační rekonstrukci budovy. Jsou zde popsány druhy použitých izolačních materiálů a jejich vlastnosti. V následujících tabulkách (tabulka 15 až 18) jsou uvedeny veškeré stavební prvky konstrukčních částí budovy.

Tab. 15 Složení obvodových stěn po rekonstrukci

| Kód | Složení obvodových stěn  | d [mm] | $\lambda$ [W/(m.K)] |
|-----|--------------------------|--------|---------------------|
|     | Vápenná omítka           | 15     | 0,87                |
| 2   | Panel normální keramický | 245    | 1,23                |
| 5   | Pěnový polystyren        | 140    | 0,037               |
| 6   | Štuková omítka           | 5      | 0,45                |
| 4   | Beztmelé zasklení        | 6      | 0,76                |
| 7   | Dutinový polykarbonát    | 14     | 0,12                |



Obr. 33 Složení obvodových stěn po rekonstrukci

Tab. 16 Složení stropu po rekonstrukci

| Kód | Složení stropu                                | d [mm] | $\lambda$ [W/(m.K)] |
|-----|-----------------------------------------------|--------|---------------------|
|     | Dvojnásobný vápenný pačok                     | 6      | 0,87                |
| 1   | Střešní panel železobeton                     | 240    | 1,43                |
|     | Perlitbeton                                   | 30     | 0,091               |
| 3   | Desky KSD                                     | 50     | 0,034               |
|     | Živičná krytina (Hp, IPA 400, ASTPS, IPA 400) | 5,4    | 0,21                |
|     | Posyp křemíkem                                | 5      | 0,19                |

Tab. 17 Složení podlahy po rekonstrukci

| Kód | Složení podlahy | d [mm] | $\lambda$ [W/(m.K)] |
|-----|-----------------|--------|---------------------|
|     | Betonová deska  | 300    | 1,23                |

Tab. 18 Tabulka prefabrikátů

| Tabulka Prefabrikátů |                                         |              |           |                 |
|----------------------|-----------------------------------------|--------------|-----------|-----------------|
| Kód                  | Název                                   | Rozměry [cm] | Váha [kg] | Materiál        |
| 1                    | Střešní panel předpjatý SZD 34p-150/600 | 149/596/24   | 1038      | Železobeton     |
| 2                    | Panel normální keramický NOV 4-806      | 148/597/24,5 | 3680      | Beton           |
| 3                    | Desky KSD                               | 90/200/5     | /         | Sklovláknobeton |
| 4                    | Beztmelé zasklení                       | 180/75/0,6   | /         | Stavební sklo   |
| 5                    | Pěnový polystyren                       | 100/50/1,4   | /         | Polystyren      |
| 6                    | Štuková omítka Baunit FeinPutz Aussen   | /            | 25        | Vápenocementová |
| 7                    | Dutinová polykarbonátová deska          | 210/600/1,4  | /         | Polykarbonát    |

d – tloušťka vrstvy konstrukce [mm]

$\lambda$  – součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]

### 6.3 Tepelné ztráty objektu po rekonstrukci

Postup při výpočtu tepelných ztrát je uveden v kapitole 5.5. Tento postup je stejný i pro výpočet konstrukce, která je tepelně zaizolována, proto již zde nebude znovu uveden. Tato kapitola bude obsahovat pouze výsledky jednotlivých tepelných ztrát pro stavební konstrukce po zateplení a dílčí poznámky k nim. V tabulce 19 jsou uvedeny součinitele prostupu tepla konstrukcemi průmyslové haly po rekonstrukci.

Tab. 19 Součinitel prostupu tepla po rekonstrukci budovy  $U_k$

| Název konstrukce  | Plocha [m <sup>2</sup> ] | $U_k$ [W/(m <sup>2</sup> .K)] |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Obvodové stěny    | 790                      | 0,203                         |
| Beztmelé zasklení | 2376                     | 3,27                          |
| Strop             | 2190                     | 0,46                          |
| Skleněný světlík  | 815                      | 3,27                          |
| Podlaha           | 2820,5                   | 0,24                          |

V tabulce 20 jsou uvedeny jednotlivé tepelné ztráty konstrukcemi průmyslové haly po rekonstrukci. Je zde uvedena celková tepelná ztráta prostupem tepla jednotlivých stavebních konstrukcí, ale i tepelná ztráta přepočtená na 1 m<sup>2</sup> plochy jednotlivých stavebních konstrukcí.

Tab. 20 Tepelné ztráty konstrukcemi po rekonstrukci budovy

| Název konstrukce          | Plocha [m <sup>2</sup> ] | Tepelná ztráta na 1 m <sup>2</sup> [W] | Celková tepelná ztráta [W] |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------|----------------------------|
| Obvodové stěny (beton)    | 790                      | 5,7                                    | 4 490                      |
| Obvodové stěny (zasklení) | 2376                     | 91,6                                   | 217 546                    |
| Strop                     | 2190                     | 14                                     | 30 660                     |
| Skleněný světlík          | 815                      | 91,6                                   | 74 621                     |
| Podlaha                   | 2820,5                   | 4,3                                    | 12 175                     |
| Ocelová vrata             | 27,9                     | 16,8                                   | 469                        |

V případě ocelových vrat bylo použito jen dočasné zateplení. Ze zbytků polystyrenových panelů, které byly použity na zateplení obvodových zdí, byly vytvořeny panely o tloušťce 5 cm. Tyto polystyrenové panely se v zimním období dočasně připevní z vnitřní strany na ocelová vrata a tím nám pomůžou snížit tepelnou ztrátu prostupem tepla přes tuto konstrukci. V letním období se tyto panely opět zdělají pryč, aby se objekt zbytečně nezahřival.

Toto řešení nám umožní snížit součinitel prostupu tepla z původních  $5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  na  $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Tepelná ztráta prostupem tepla přes tuto konstrukci bude téměř o 87 % menší než původní. Tento způsob zateplení byl zvolen proto, že cena nových vrat by byla příliš vysoká a pro naše účely by toto řešení nebylo příliš vhodné. Toto zateplení je však jen provizorní a neřeší tepelné ztráty vzniklé otevíráním vrat. Tato tepelná ztráta bude vyřešena umístěním vzduchotechnických clon v místě vrat.

V následující tabulce (tabulka 21) jsou uvedeny celkové tepelné ztráty průmyslové haly po rekonstrukci.

*Tab. 21 Tepelné ztráty průmyslové haly po rekonstrukci*

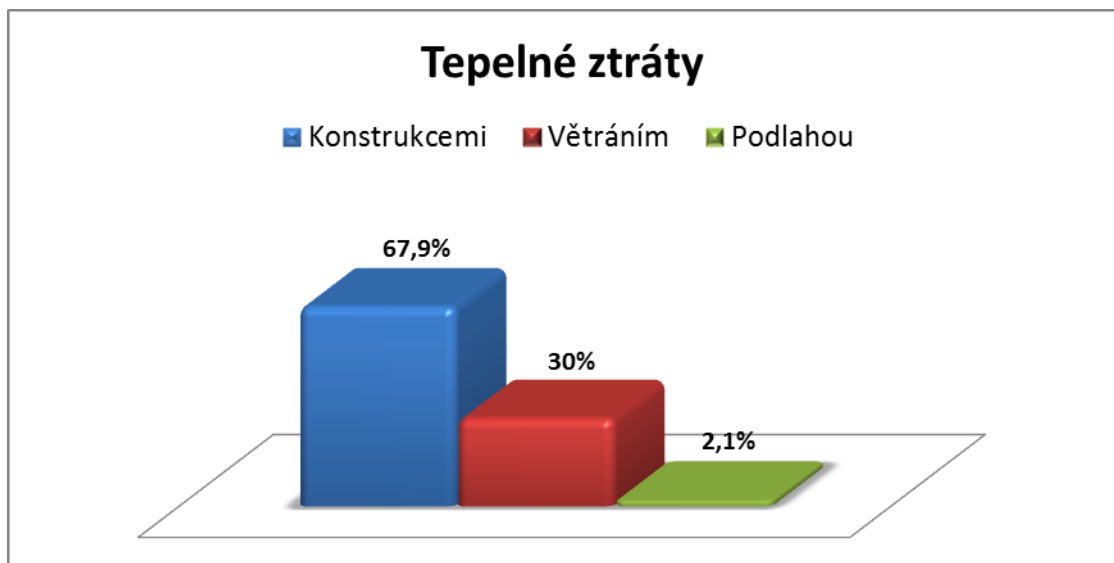
| <b>Druh tepelné ztráty</b> | <b>Tepelná ztráta [W]</b> |
|----------------------------|---------------------------|
| Prostupem konstrukcemi     | 376 869                   |
| Prostupem podlahou         | 12 175                    |
| Větráním                   | 166 671                   |
| <b>Celková</b>             | <b>555 715</b>            |

Vypočet tepelných ztrát průmyslové budovy po rekonstrukci byl opět proveden dvěma způsoby, ručním výpočtem a výpočtem v programech tepelné techniky (Teplo 2010, Ztráty 2010). Pro další výpočty (navrhování tepelných zdrojů atd.) budeme pracovat s výsledky z programů tepelné techniky, protože jsou tyto výsledky přesnější. V tabulce 22 jsou uvedeny výsledky obou výpočtových metod a jejich porovnání.

Tab. 22 Srovnání výpočtových metod

|                                                                                 | <b>Ruční metoda</b> | <b>Teplo 2010</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em}$ [W/m <sup>2</sup> .K] | /                   | 1,39              |
| Tepelná ztráta prostupem [W]                                                    | 389 044             | 398 067           |
| Tepelná ztráta větráním [W]                                                     | 166 671             | 164 290           |
| Celková tepelná ztráta [W]                                                      | 555 715             | 562 327           |
| <b>Celkový rozdíl metod [W]</b>                                                 | <b>6 612</b>        |                   |

Jak můžeme vidět v tabulce 22, výsledky obou výpočtových metod se příliš neliší. Celkový rozdíl tepelných ztrát mezi oběma metodami je 6 612 W, což je v porovnání s celkovou výší tepelných ztrát zanedbatelná hodnota.



Obr. 34 Tepelné ztráty průmyslové haly po rekonstrukci

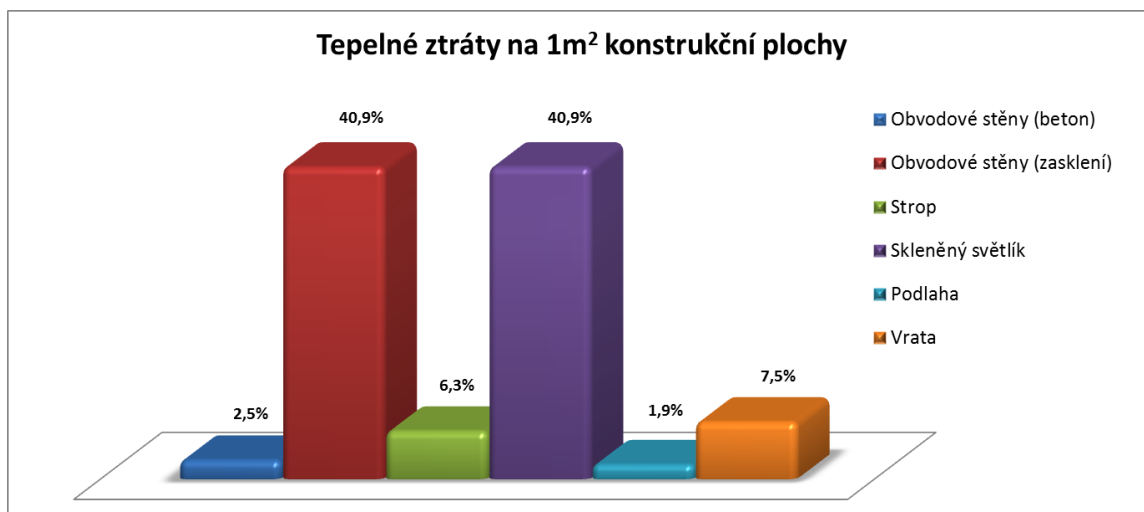
Jak si můžeme všimnout v grafu (obrázek 34), tak tepelná ztráta větráním se v důsledku celkových tepelných ztrát, po tepelném zaizolování objektu zvýšila. Toto zvýšení je však jen zdánlivé, ve skutečnosti je tepelná ztráta větráním pořád stejná. Změnil se pouze poměr mezi ztrátami prostupem tepla a ztrátami větráním. Poměr mezi tepelnými ztrátami prostupem a ztrátami větráním byl v původní průmyslové hale 1 : 3,7. Po zateplení tohoto objektu je nyní poměr výrazně menší a to 1 : 2,3. Z těchto statistik vyplývá, že se nám podařilo zlepšit tepelně-izolační vlastnosti budovy.



Obr. 35 Celkové tepelné ztráty konstrukcemi průmyslové haly po rekonstrukci

Podle grafu na obrázku 35 se může zdát, že jsme žádné výrazné tepelné úspory nedocílili. To je však velmi zavádějící, procentuální srovnání tepelných ztrát je sice téměř stejné jako před tepelnou izolací budovy, ale to jsme předpokládali. Tepelná ztráta bude vždy nejvyšší u zasklených ploch, i po zateplení. Ve výsledku, jak bude uvedeno v kapitole 6.4, si můžeme všimnout, že celkové tepelné ztráty se nám zateplením průmyslové haly podařilo snížit téměř o 35 %.

Na obrázku 36 jsou uvedeny ztráty prostupem tepla jednotlivých konstrukcí, vztažené na  $1 \text{ m}^2$  jejich plochy. Tyto ztráty jsou procentuální a vyjadřují jakou část z celkových ztrát prostupem tepla (vztaženou na  $1 \text{ m}^2$ ), tvoří jednotlivé konstrukce.



*Obr. 36 Tepelné ztráty konstrukčních částí vztažené na  $1 \text{ m}^2$  po rekonstrukci*

V předchozích grafech (obrázek 35 a 36) by bylo vhodné si povšimnout mimo jiné, zejména procentuální vyjádření tepelných ztrát vrat. V původním nezatepleném objektu byla tepelná ztráta vrat, vztažená na  $1 \text{ m}^2$  24 %. Nyní po zateplení klesla tepelná ztráta na 7,5 %. Z toho vyplývá, že i provizorní zateplení vrat má svůj účinek z hlediska tepelných ztrát objektu.

## 6.4 Srovnání tepelných ztrát před a po rekonstrukci

V této kapitole budou shrnuty a porovnány všechny důležité prvky, z hlediska tepelných ztrát průmyslové haly před a po tepelné izolaci. Výsledky tepelných úspor, budou porovnány v několika tabulkách a grafech.

Tab. 23 Srovnání součinitelů prostupu tepla

| Název konstrukce | Plocha<br>[m <sup>2</sup> ] | U <sub>k</sub> [W/(m <sup>2</sup> · K)] |                 |          |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------|----------|
|                  |                             | Původní                                 | Po rekonstrukci | Zlepšení |
| Obvodové stěny   | 790                         | 2,6                                     | 0,203           | 92,2%    |
| Beztlmé zasklení | 2376                        | 5,6                                     | 3,27            | 41,6%    |
| Strop            | 2190                        | 0,46                                    | 0,46            | 0%       |
| Skleněný světlík | 815                         | 5,6                                     | 3,27            | 41,6%    |
| Podlaha          | 2820,5                      | 0,24                                    | 0,24            | 0%       |
| Ocelová vrata    | 27,9                        | 5,8                                     | 0,6             | 89,6%    |

V tabulce 23 jsou uvedeny součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí, průmyslové haly před a po tepelné izolaci. Čím nižší je hodnota tohoto součinitele, tím menší je tepelná ztráta prostupem tepla přes tuto konstrukci. Ve třetím sloupci je uvedeno procentuální zlepšení součinitele prostupu tepla. Tato hodnota nám udává, o kolik se ve skutečnosti zlepšil (zmenšil) součinitel prostupu tepla po tepelné izolaci.

Jak si můžeme všimnout, nejlepší zlepšení bylo dosaženo u obvodových stěn (železobeton) a také u ocelových vrat, téměř 90 %. Procentuální zlepšení součinitele u těchto ploch je sice vysoké, nicméně tyto konstrukční prvky tvoří příliš velkou část povrchu budovy. Nemalé zlepšení součinitele prostupu tepla nastalo i u prosklených ploch, téměř 42 %. Tato hodnota je pro nás nejvíce zajímavá, protože prosklené plochy tvoří téměř 70 % povrchu naší průmyslové haly.

V tabulce 24 je uvedeno srovnání celkových tepelných ztrát prostupem tepla jednotlivými konstrukcemi, před a po zateplení průmyslové haly.

*Tab. 24 Srovnání tepelných ztrát prostupem tepla*

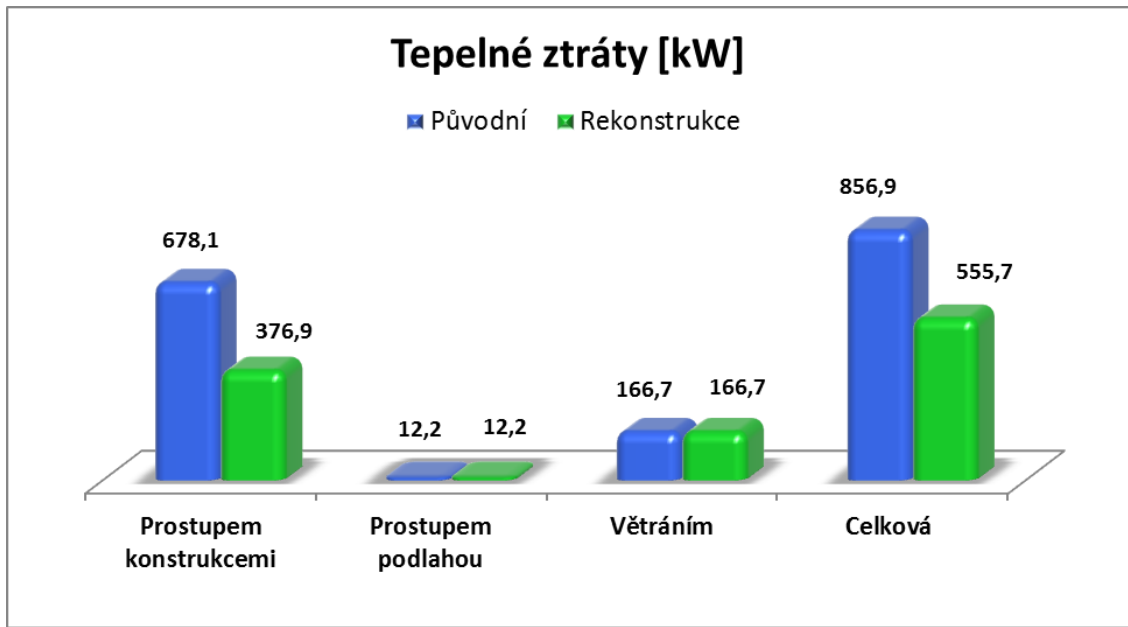
| Název konstrukce  | Plocha<br>[m <sup>2</sup> ] | Celková ztráta prostupem [W] |                 |          |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|----------|
|                   |                             | Původní                      | Po rekonstrukci | Zlepšení |
| Obvodové stěny    | 790                         | 57 512                       | 4 490           | 92,2%    |
| Beztmelé zasklení | 2376                        | 379 209                      | 217 546         | 42,6%    |
| Strop             | 2190                        | 30 660                       | 30 660          | 0%       |
| Skleněný světlík  | 815                         | 127 792                      | 74 621          | 41,6%    |
| Podlaha           | 2820,5                      | 12 175                       | 12 175          | 0%       |
| Ocelová vrata     | 27,9                        | 3 593                        | 469             | 87%      |

V třetím sloupci této tabulky (tabulka 24) je uvedeno procentuální vyjádření tepelných ztrát jednotlivých konstrukcí. Tato hodnota udává, o kolik procent se zmenšila tepelná ztráta konstrukce po zateplení. Pokud se pozorně podíváme a srovnáme procentuální statistiky z tabulek 23 a 24, zjistíme, že jsou téměř shodné. To jasně potvrzuje, že součinitel prostupu tepla ve velké míře ovlivňuje tepelnou ztrátu prostupem tepla konstrukcemi.

*Tab. 25 Srovnání celkových tepelných ztrát budovou*

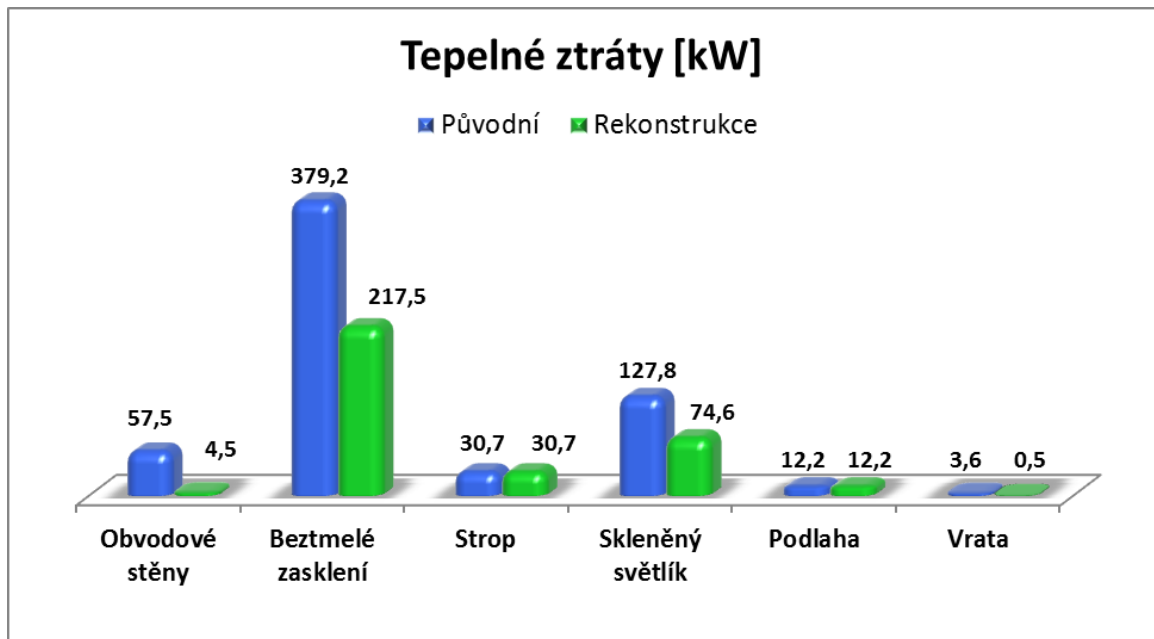
|                                                                                 | Původní | Po rekonstrukci | Zlepšení |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------|----------|
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy $U_{em}$ [W/m <sup>2</sup> .K] | 2,43    | 1,36            | 44%      |
| Tepelná ztráta prostupem [W]                                                    | 690 239 | 389 044         | 44%      |
| Tepelná ztráta větráním [W]                                                     | 166 671 | 166 671         | 0%       |
| Celková tepelná ztráta [W]                                                      | 856 910 | 555 715         | 35%      |

V tabulce 25 jsou uvedeny celkové tepelné ztráty průmyslové haly před a po zateplení. Pokud srovnáme procentuální hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy a tepelné ztráty prostupem, zjistíme, že jsou totožné. Což se pochopitelně dalo předpokládat.



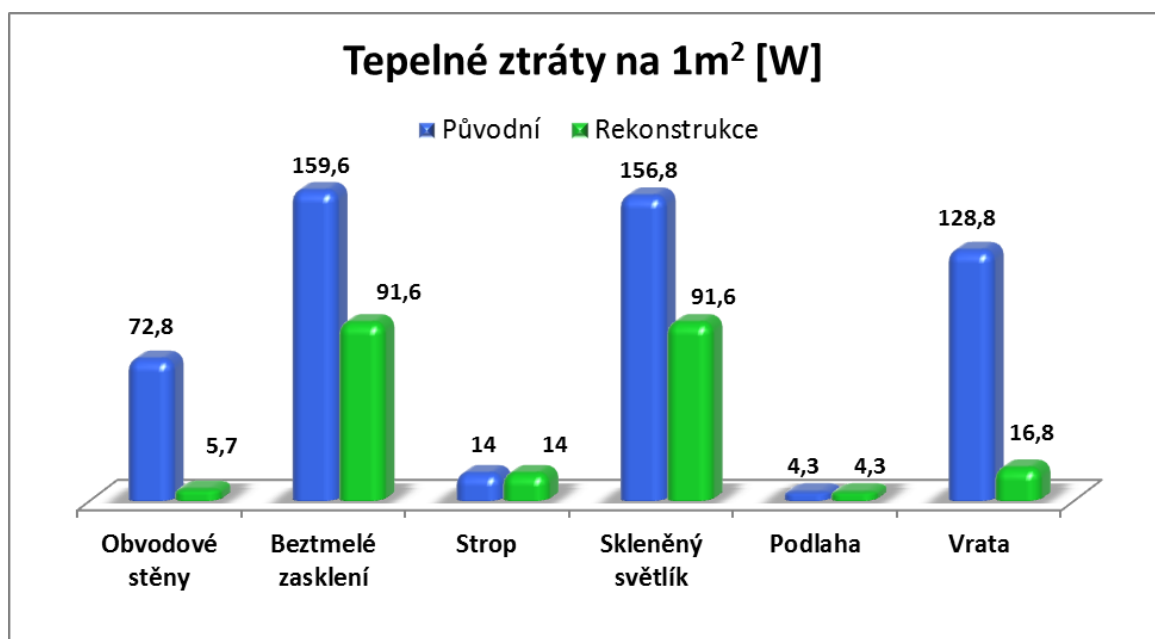
Obr. 37 Srovnání tepelných ztrát průmyslové haly

Na obrázku 37 je uvedeno srovnání tepelných ztrát průmyslové haly. Modře jsou vyznačeny tepelné ztráty budovy před zateplením, zelenou barvou jsou vyznačeny ztráty po zateplení. Hodnoty těchto ztrát jsou v kW. Jak můžeme vidět, největší úspora z hlediska tepelných ztrát vznikla u prostupu tepla konstrukcemi. Protože se od tepelné izolace podlahy upustilo, tepelná ztráta přes tuto konstrukci je tudíž stejná.



Obr. 38 Srovnání tepelných ztrát jednotlivými konstrukcemi

Na těchto grafech (obrázek 38 a 39) jsou uvedeny tepelné ztráty postupem jednotlivými konstrukcemi. Opět jsou modře vyznačeny tepelné ztráty budovy před zateplením a zeleně ztráty po zateplení. Jak si můžeme všimnout, tak ušetřená energie z pohledu tepelných je poměrně velká. Z toho vyplývá, že zateplení budovy bylo úspěšné a vyplatí se nám. Ekonomická návratnost zateplení budovy bude dokázána v pozdějších kapitolách.

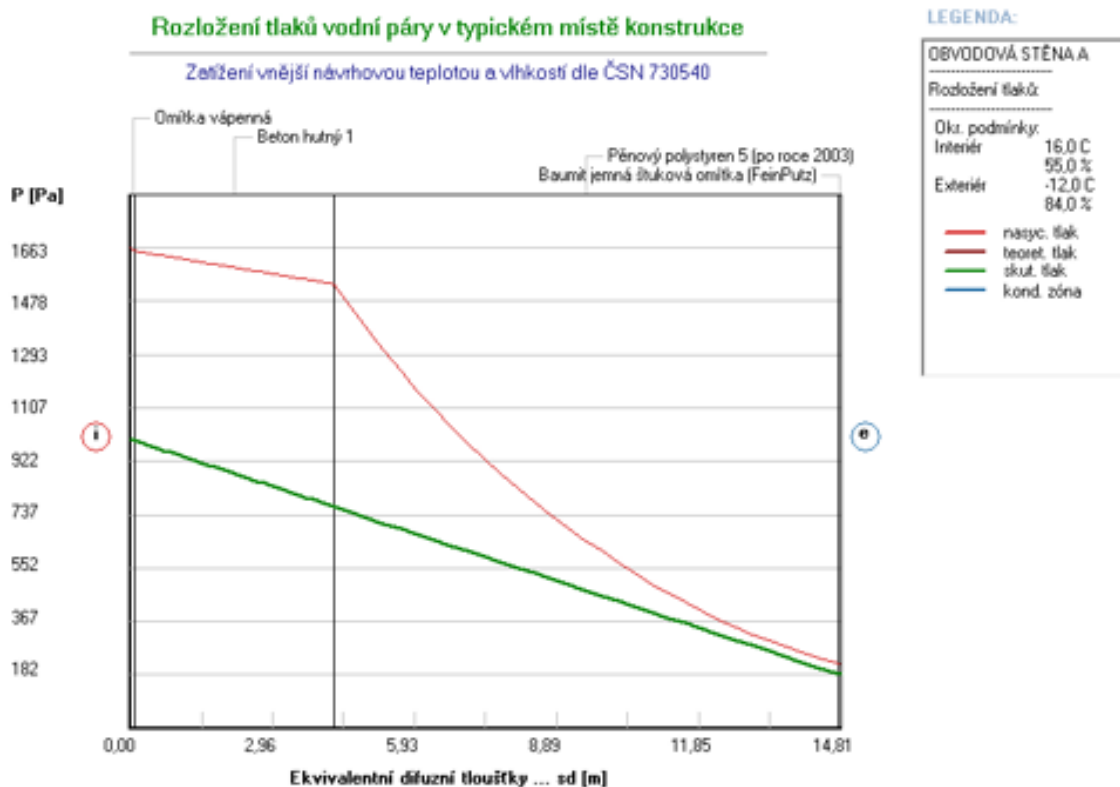


Obr. 39 Srovnání tepelných ztrát (vztažených na 1m<sup>2</sup>) jednotlivými konstrukcemi

## 6.5 Kondenzace vodní páry v objektu po rekonstrukci

Postup pro výpočet roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry již byl uveden v kapitole 5.5.5. Tento postup je naprosto stejný i u zateplené budovy, proto je zbytečné jej zde znovu uvádět. V programu Teplo 2010 byly provedeny výpočty množství zkondenzované vodní páry ve všech jednotlivých konstrukcích, průmyslové haly po zateplení.

U všech konstrukcí (kromě prosklených ploch) zateplené průmyslové haly ke kondenzaci vodní páry vůbec nedochází, nebo se zkondenzované množství vodní páry stihne vypařit (tj. vyhovuje vztahu 23). Pro obvodové stěny, zateplené průmyslové haly nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry. Na obrázku 40 je grafické znázornění kondenzace vodní páry v obvodových stěnách.



Obr. 40 Kondenzace vodní páry v obvodové stěně (po zateplení)

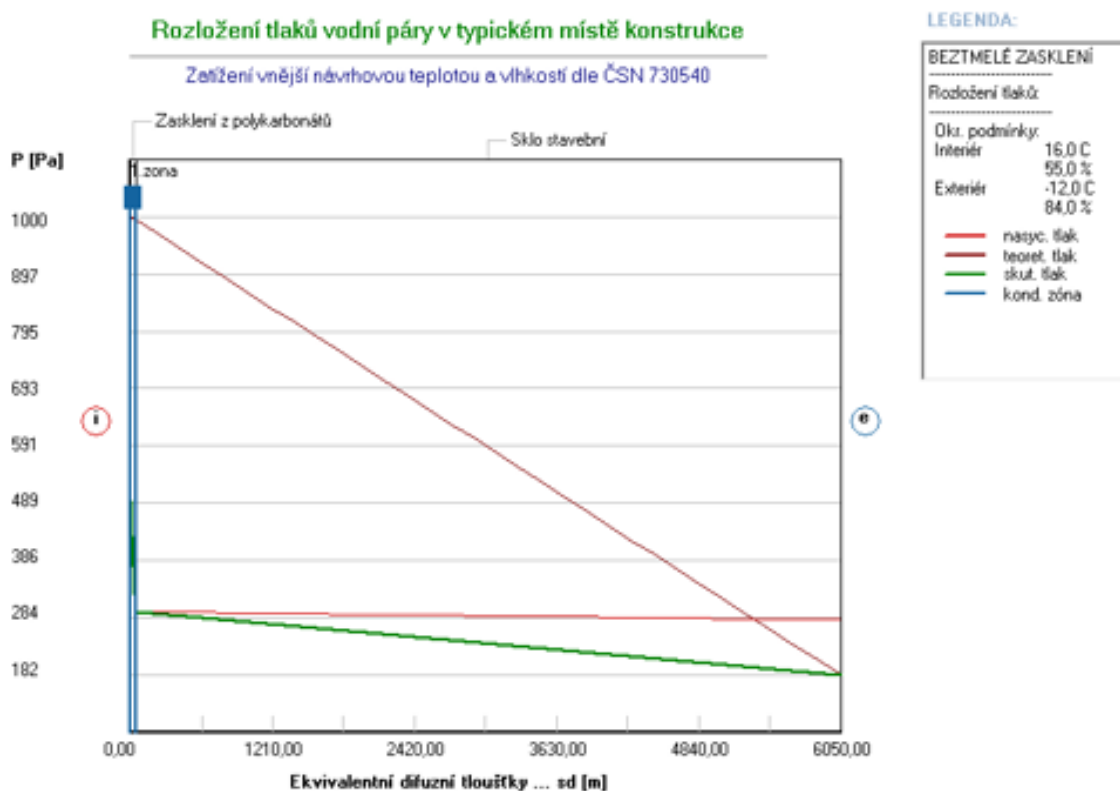
V případě prosklených ploch to již tak jednoduché není. V programu Teplo byl proveden výpočet i pro tuto konstrukční část. Hodnota  $M_c$  vyšla v programu 16,118 kg/(m<sup>2</sup>. rok), hodnota  $M_{ev}$  je 0,032 kg/(m<sup>2</sup>.rok). Tyto hodnoty nevyhovují vztahu 23. Z toho vyplývá, že množství zkondenzované vodní páry se nestihne vypařit a je nutné navrhnout řešení.

$$M_c \leq M_{ev} \quad (23)$$

$M_c$  – roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce [kg/(m<sup>2</sup>. rok)]

$M_{ev}$  – roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce [kg/(m<sup>2</sup>. rok)]

S kondenzací vodní páry se ovšem počítalo, zabránit jí bohužel ale nelze. Proto bylo navrženo řešení v podobě malé odvodňovací lišty. Pod všechny prosklené plochy bude nainstalována malá lišta (U-profil), která bude mít za úkol odvádět zkondenzovanou vodní páru. Zkondenzovaná vodní pára zteče po prosklených plochách dolů a tato lišta ji bude odvádět mimo ostatní konstrukční prvky. Na obrázku 41 je grafické znázornění kondenzace vodní páry na prosklených plochách.



Obr. 41 Kondenzace vodní páry zasklených ploch (po zateplení)

## 6.6 Energetický štítek obálky budovy po rekonstrukci

Základní postup pro stanovení energetického štítku obálky budovy již byl uveden v kapitole 5.5.6. Postup je naprosto stejný i pro zateplenou průmyslovou budovu, proto je zbytečné jej zde znovu uvádět. V programu Ztráty 2010 byl proveden výpočet tepelných ztrát budovy a sestaven energetický štítek obálky budovy.

V případě zateplené budovy nám vyšla měrná ztráta prostupem tepla 12 312 W/K. Dosazením do vztahu 25 pak vyjde průměrný součinitel prostupu tepla obálkou zateplené budovy 1,36 W/(m<sup>2</sup> · K). Součinitel prostupu tepla obálkou původní budovy byl 2,43 W/(m<sup>2</sup> · K). Z toho vyplývá, že zateplením průmyslové budovy jsme dosáhli zlepšení 44 %.

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad (25)$$

$$H_T = \sum A_i \cdot U_i \cdot b_i \quad (26)$$

$U_{em}$  – průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy [W/(m<sup>2</sup> · K)]

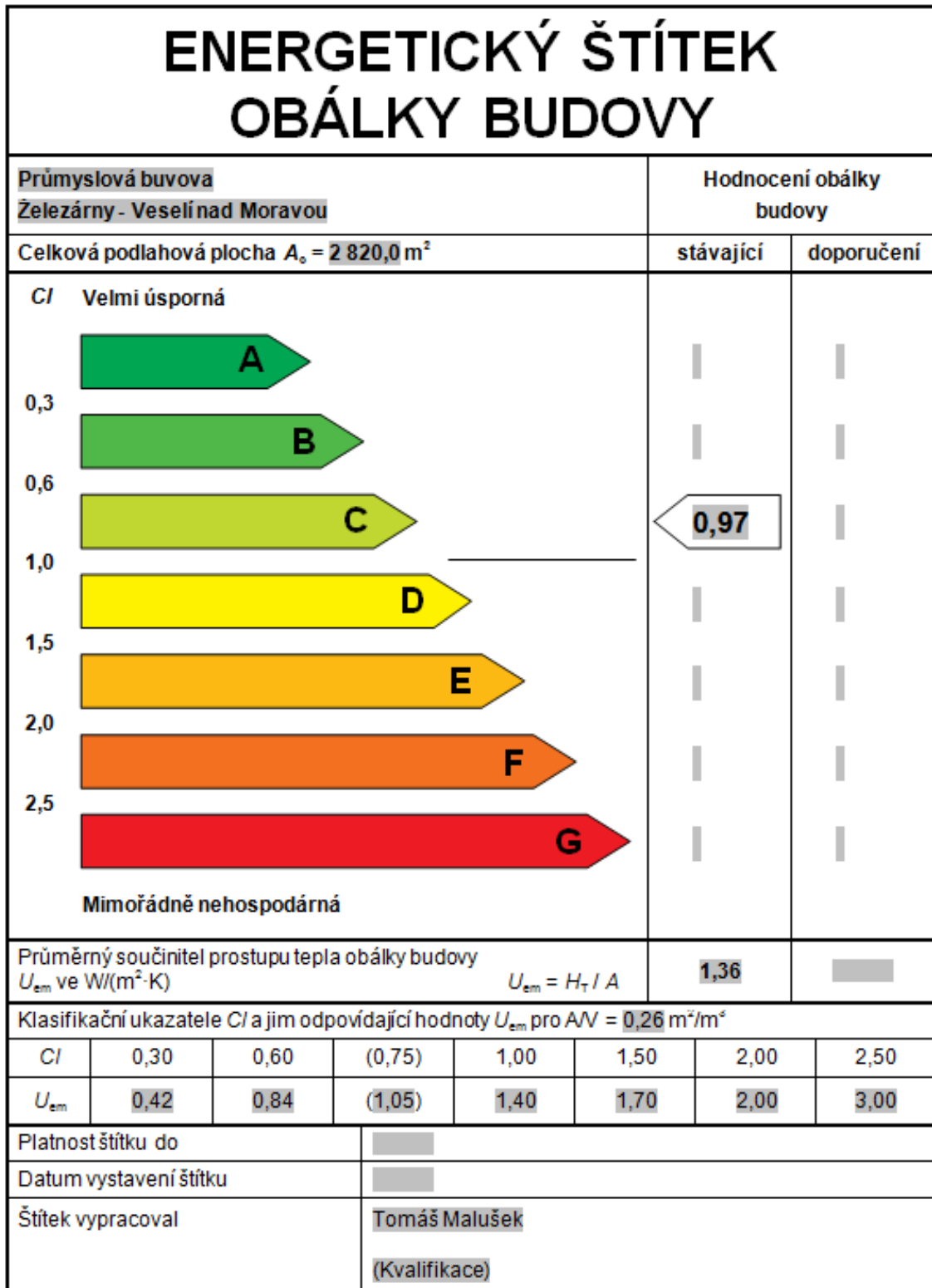
$H_T$  – měrná ztráta prostupem tepla [W/K]

$A$  – celková plocha obálky budovy (součet ploch  $A_i$ ) [m<sup>2</sup>]

$U_i$  – součinitel prostupu tepla konstrukcí (i) [W/(m<sup>2</sup> · K)]

$b_i$  – činitel teplotní redukce konstrukce (i) [-]

Požadovaný součinitel prostupu tepla obálkou budovy je dle normy 1,4 W/(m<sup>2</sup> · K), doporučený součinitel 1,05 W/(m<sup>2</sup> · K). Naše budova tudíž nyní spadá do kategorie C – vyhovující, přesněji je budova v podtřídě C<sub>2</sub>. Budova sice jen těsně a vyhovuje legislativním požadavkům na energetickou úspornost budovy, nicméně pro naše podmínky je to postačující. Štítek je uveden na následujícím obrázku (obrázek 42), celý protokol včetně štítku je přiložen v příloze P III.



Obr. 42 Energetický štítek zateplené budovy

## 6.7 Celkový návrhový tepelný výkon

Celkový návrhový tepelný výkon je důležitým parametrem z hlediska stanovení tepelného výkonu pro vytápění. Podle celkového návrhového výkonu navrhujeme parametry otopných těles, výměníků a jiných zdrojů tepla. Jedná se o součet celkových tepelných ztrát objektu a zátopového výkonu. Celkový návrhový tepelný výkon, stanovíme podle normy ČSN EN 12 831 ze vztahu 27. [29]

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i} \quad (27)$$

$\Phi_{HL}$  – celkový návrhový tepelný výkon [W]

$\Phi_{T,i}$  – tepelná ztráta prostupem tepla  $i$ -té konstrukce [W]

$\Phi_{V,i}$  – tepelná ztráta větráním  $i$ -té konstrukce [W]

$\Phi_{RH,i}$  – zátopový tepelný výkon  $i$ -té konstrukce, pro vyrovnání vlivu přerušovaného vytápění [W]

V našem případě můžeme zanedbat zátopový tepelný výkon. Vzorec pro výpočet celkového návrhového tepelného výkonu se tedy změní na vztah 28.

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} \quad (28)$$

Po dosazení našich hodnot do vztahu 28, nám celkový tepelný návrhový výkon vyjde 562 327 W. Podle této hodnoty, budeme navrhovat parametry vytápěcích zařízení pro naši průmyslovou budovu.

## 6.8 Tepelná zátěž budovy

V této kapitole bude popsán výpočet tepelné zátěže pro naši průmyslovou budovu. V zimním období se při dimenzování vytápění (popř. zateplení budovy) vychází z výpočtu tepelných ztrát budovy. Stejně tak se v letním období při návrhu chlazení budovy vychází z výpočtu tepelné zátěže budovy. Tepelná zátěž budovy se někdy také označuje jako tepelné zisky budovy.

Výpočet této tepelné zátěže slouží jako základní podklad při navrhování chlazení budovy. Tepelná zátěž se dělí na dvě základní skupiny, tepelné zisky z vnitřního prostředí a tepelné zisky z vnějšího prostředí (např. přechod tepla z venkovního prostředí pláštěm budovy). Při výpočtu vycházíme z postupů uvedených v normě ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. [31, 32]

Při výpočtu tepelné zátěže budovy se uvažuje s nejhorsími možnými podmínkami. To znamená, že výsledkem bude hodnota pro nejteplejší den a hodinu v roce. Tím tedy získáme maximální možnou hodnotu tepelných zisků, podle které se pak dimenzuje větrací a klimatizační systém. Tím zajistíme, že výkon chladicí soustavy bude dostatečný pro celý rok. Základní podklady pro výpočet jsou uvedeny níže.

- Maximální venkovní výpočtová teplota  $\Theta_{e,max} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$
- Vnitřní výpočtová teplota vzduchu  $\Theta_i = 26^\circ\text{C}$
- Intenzita výměny vzduchu v místnosti  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$
- Celková plocha podlahy  $A = 2820,5 \text{ m}^2$

Jak již bylo řečeno, tepelná zátěž budovy se dělí na zisky z vnitřního prostředí a zisky z vnějšího prostředí. Nyní zde uvedeme druhy zisků, které byly při výpočtu brány do úvahy v našem případě.

### Vnitřní zisky

- Produkce tepla od lidí
- Produkce tepla od svítidel
- Produkce tepla od elektromotorů
- Produkce tepla elektrických zařízení
- Produkce tepla ventilátory
- Produkce tepla jiných zdrojů

Při výpočtu tepelných zisků od lidí se uvažovala zejména produkce citelného tepla, ale i s produkce vodní páry na osobu. Tato hodnota tepelného zisku závisí na mnoha faktorech, zejména na intenzitě práce. Hodnota citelného tepla na osobu v našem průmyslovém prostředí se uvádí zhruba 65 W, hodnota vyprodukované vodní páry asi 244 g/h. Požadavek na osvětlení v naší průmyslové hale je 120 lx. Tomu odpovídá zhruba hodnota 20 až 30 W/m<sup>2</sup> pro klasické žárovky nebo 7 až 9 W/m<sup>2</sup> pro zářivky. V případě technologických zařízení (soustruhy, frézky, elektromotory, svařovací technika atd..) se počítá se štítkovým výkonem zařízení. Počítá se tedy s tím, že celý příkon stroje se mění na teplo. Ve skutečnosti tomu tak není a je potřeba tento fakt zohlednit různými koeficienty (např. vodní chlazení, odvod spalin atd.), které jsou v normě také uvedeny.

### Vnější zisky

- Zisk tepla okny (zisk konvekcí a zisk sluneční radiací)
- Zisk tepla stěnami
- Zisk tepla infiltrací venkovního vzduchu

Tepelné zisky okny jsou v případě lehkých staveb s velkými zasklenými plochami velmi důležité. Tvoří totiž velkou část z celkových tepelných zisků budovy. Zasklené plochy, jejich orientace a stínění mají podstatný vliv na tepelnou pohodu v objektu. Prostup tepla stěnami, podlahou a stropem má v případě velkých zasklených ploch jen malý význam, nicméně byl do výpočtu také zahrnut. Při tomto výpočtu musíme brát do úvahy jak těžká je konstrukce každé stěny (lehká, střední, těžká). V letních měsících se při maximálních teplotách vnikání vzduchu nápořem větru do klimatizovaných prostorů neuvažuje. Do úvahy bereme pouze vnikání vzduchu do objektu otevíráním dveří (pokud není použita vzduchová clona).

K výpočtu byl použit program na výpočet tepelné zátěže budov od firmy Q<sub>pro</sub>. Výpočet byl proveden pro každou denní hodinu ve 12 měsících. Výsledkem je tabulka, která je umístěna v příloze P IV. Jak můžeme vidět, maximální hodnota byla vypočtena pro 15:00 hodin v měsíci červenci. V tento čas sice pracovní směna končí, ale i tak použijeme tuto hodnotu, protože chceme získat maximální možnou tepelnou zátěž. Pokud by se totiž pracovní směna v budoucnu změnila na dvousměnnou, nemusel by výkon případného klimatizačního systému postačovat (v případě, že bychom použili nižší hodnotu). Celková hodnota tepelné zátěže pro naši průmyslovou halu je tedy přibližně 209 kW.

## 7 OHŘEV TEPLÉ VODY

V této kapitole se budeme zabývat ohřevem teplé vody pro náš objekt průmyslové haly. Bude zde uveden popis současných podmínek a návrh řešení ohřevu teplé vody. Budeme se řídit normou ČSN 06 0320. Veškeré vzorce a hodnoty v této kapitole pocházejí právě z této normy. [28]

### 7.1 Popis objektu

V naší průmyslové hale se nenacházejí žádné umývárny nebo sprchy, jak jste si mohli všimnout z plánu budovy. V současnosti je to řešeno tak, že se zaměstnanci chodí sprchovat do nedaleké budovy, kde již tyto zařízení jsou. Není tedy potřeba se zabývat tímto tématem. Po konzultaci bylo rozhodnuto, že bude lepší i tuto část zahrnout do diplomové práce, diplomant tímto získá nové zkušenosti.

Bohužel se nepodařilo sehnat vhodné plány takovéhoho samostatného objektu, v blízkosti naší haly. Bylo tedy rozhodnuto, že vytvoříme imaginární objekt sousedící přímo s naší halou. Tento objekt bude zaměstnancům sloužit jako umývárna. Počet zaměstnanců, využívajících tento objekt byl stanoven na 20 osob. Pro tuto imaginární budovu budeme tedy navrhovat systém pro ohřev teplé vody. V tabulce 26 jsou popsány základní informace o tomto objektu.

*Tab. 26 Základní parametry umývárny*

| UMÝVÁRNA       |    |
|----------------|----|
| Počet osob     | 20 |
| Počet sprch    | 6  |
| Počet umyvadel | 6  |

## 7.2 Stanovení potřeby teplé vody

Než přejdeme k návrhu samotného systému je zapotřebí stanovit různé parametry. Jedním ze základních parametrů je potřebné množství teplé vody. V tabulce 27 jsou uvedeny hodnoty, se kterými budeme následně počítat.

Tab. 27 Hodnoty pro výpočet množství teplé vody

| UMÝVÁRNA                                                       |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| Počet osob                                                     | 20  |
| Perioda ohřevu [h]                                             | 24  |
| Teplota teplé vody $\Theta_2$ [°C]                             | 55  |
| Teplota studené vody $\Theta_1$ [°C]                           | 10  |
| Teplota teplé vody před<br>výtokovou armaturou $\Theta_3$ [°C] | 55  |
| Poměrná ztráta tepla při ohřevu a<br>distribuci vody [-]       | 0,5 |

Při navrhování potřebného množství teplé vody sčítáme různé potřeby vody, které jsou v daném objektu (mytí rukou, mytí nádobí, sprchování, úklid atd.). Potřebné množství vody pro tyto činnosti je uvedeno v normě ČSN 06 320. Tyto hodnoty však závisí na mnoha parametrech, například počet osob, typ objektu (restaurace, škola), druh prostředí (špinavé, čisté), plocha budovy atd. Potřebné množství teplé vody pro sprchování určíme z následujících vztahů (29 a 30). [28]

$$V_0 = n_i \cdot \sum V_d \quad (29)$$

$$\sum V_d = \sum (n_d \cdot U_3 \cdot t_d \cdot p_d) \quad (30)$$

$V_0$  – potřeba teplé vody pro mytí osob v dané periodě [ $m^3$ ]

$V_d$  – objem dávky [ $m^3$ ]

$U_3$  – objemový průtok teplé vody o teplotě vody  $\Theta_3$  do výtoku [ $m^3/h$ ]

$p_d$  – součinitel prodloužení doby dávky [-]

$t_d$  – doba dávky [h]

$n_i$  – počet osob

$n_d$  – počet dávek

V našem případě máme počet zaměstnanců roven 20. Zaměstnanci pracují v průmyslové hale jednosměnným provozem, z toho předpokládáme, že se každý osprchuje jednou za směnu (den). Počet dávek ( $n_d$ ) je tedy roven 1. Ostatní hodnoty jsou tabulkové a lze je vyčíst z normy ČSN 06 320. [28]

Hodnota objemového průtoku teplé vody pro náš případ činí  $0,23 m^3/h$  a doba dávky je  $0,11h$ . Z tabulek však lze vyčíst přímo i objem dávky v našem případě (sprchování) je  $0,025 m^3$ . Součinitel doby prodloužení dávky se vztahuje k čistotě prostředí, pro náš případ má velikost  $1,5$  (špinavý provoz).

$$\sum V_d = \sum(1 \cdot 0,23 \cdot 0,11 \cdot 1,5) \quad (31)$$

$$\sum V_d \doteq 0,04 m^3/osoba \quad (32)$$

$$V_0 = 20 \cdot 0,04 \quad (33)$$

$$V_0 = 0,8 m^3 \quad (34)$$

Po dosazení těchto hodnot nám vyšla celková potřeba teplé vody (pro 20 osob) na sprchování rovna  $0,8 m^3$ .

Výpočet pro mytí rukou je zcela analogický s výpočtem na sprechování, proto již zde nebude uveden. Pouze tabulkové hodnoty jsou odlišné. Při výpočtu se uvažovalo, že každý zaměstnanec si během dne může 10x umýt ruce (počet dávek). Celková potřeba teplé vody na mytí rukou nám vyšla 0,6 m<sup>3</sup>.

Jelikož v naší průmyslové hale není žádné stravovací zařízení, potřebu teplé vody na mytí nádobí může vypustit. Zbývá nám vypočítat potřebu teplé vody na úklid (mytí podlah), ta se vypočítá podle vztahu 35.

$$V_u = n_u \cdot \sum V_d \quad (35)$$

$V_u$  – potřeba teplé vody pro úklid a pro mytí podlah v dané periodě [m<sup>3</sup>]

$V_d$  – objem dávky [m<sup>3</sup>]

$n_u$  – počet (výměr) ploch objektu [100 m<sup>2</sup>]

Plocha objektu  $n_u$  je vztažena k 100 m<sup>2</sup> podlahové plochy. Naše hala má plochu 2 820 m<sup>2</sup>, hodnota  $n_u$  bude tedy 28,2. Počet dávek nyní nemusíme počítat, ale určíme jej z tabulky v normě ČSN 06 320. V našem případě je tato hodnota 0,02. [28]

$$V_u \doteq 28,2 \cdot 0,02 \quad (36)$$

$$V_u \doteq 0,6 \text{ m}^3 \quad (37)$$

Po dosazení těchto hodnot je celková potřeba teplé vody (na 2820 m<sup>2</sup>) na úklid a mytí podlah rovna 0,6 m<sup>3</sup>. Tato hodnota je ovšem trochu zavádějící. V našem případě je podlaha tvořená pouze z betonu, klasické mytí tohoto povrchu je tedy téměř nemožné. Úklid se provádí pouze zametením tohoto povrchu, tudíž bychom tuto hodnotu na úklid mohli úplně zanedbat. My však potřebné množství teplé vody na úklid snížíme na třetinu, tím si zajistíme jakousi rezervu a náš systém bude tedy mírně předimenzován. Upravená hodnota potřebného množství teplé vody na úklid a mytí podlah rovna 0,2 m<sup>3</sup>.

Celkové množství potřeby teplé vody pro celý objekt je součtem všech potřeb teplé vody (mytí rukou, sprchování, úklid atd.) a určíme ho ze vztahu 38.

$$V_{2p} = V_0 + V_m + V_u \quad (38)$$

$V_{2p}$  – celková potřeba teplé vody v dané periodě [ $m^3$ ]

$V_0$  – potřeba teplé vody pro mytí osob v dané periodě [ $m^3$ ]

$V_0$  – potřeba teplé vody pro mytí rukou v dané periodě [ $m^3$ ]

$V_u$  – potřeba teplé vody pro úklid a pro mytí podlah v dané periodě [ $m^3$ ]

$$V_{2p} = 0,8 + 0,6 + 0,2 \quad (39)$$

$$V_{2p} = 1,6 \text{ m}^3 \quad (40)$$

Dosazením vypočtených hodnot do vztahu 38 získáme celkové množství potřeby teplé vody za 24 h, které má hodnotu  $1,6 \text{ m}^3$ .

### 7.3 Stanovení potřeby tepla

Potřebné množství teplé vody máme již vypočítáno, nyní můžeme přistoupit ke stanovení potřeby tepla. To znamená, že bude určovat množství tepla, které je potřebné pro ohřev vody za 24 h. Vycházet budeme opět z normy ČSN 06 320. [28]

Nejdříve určíme teoretické teplo, které musíme odebrat z ohříváče v době periody (24 h). To se vypočítá ze vztahu 41.

$$Q_{2t} = c \cdot V_{2p} \cdot (\Theta_2 - \Theta_1) \quad (41)$$

$Q_{2t}$  – teoretické teplo odebrané z ohříváče v dané periodě [kWh]

$c$  – měrná tepelná kapacita vody ( $c = 1,163$ ) [kWh .  $m^3$  .  $K^{-1}$ ]

$V_{2p}$  – celková potřeba teplé vody (TV) v dané periodě [ $m^3$ ]

$\Theta_2$  – teplota teplé vody [ $^{\circ}C$ ]

$\Theta_1$  – teplota studené vody [ $^{\circ}C$ ]

Po dosazení hodnot je velikost teoretického tepla  $Q_{2t} = 83,7$  kWh. Dalším krokem je určení tepla, ztraceného při ohřevu a distribuci teplé vody, to se vypočítá ze vztahu 42.

$$Q_{2z} = Q_{2t} \cdot z \quad (42)$$

$Q_{2z}$  – teoretické teplo odebrané z ohříváče v dané periodě [kWh]

$Q_{2t}$  – teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody v dané periodě [kWh]

$z$  – poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci teplé vody ( $z = 0,5$ ) [kWh]

Hodnota ztraceného tepla je po dosazení  $Q_{2z} = 41,9$  kWh. Posledním krokem je určení celkového tepla odebraného z ohříváče, to je dáno součtem teoretického tepla a ztraceného tepla. Vypočítáme ho ze vztahu 43.

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} \quad (43)$$

$Q_{2p}$  – celkové teplo dodané ohříváčem do teplé vody v dané periodě [kWh]

$Q_{2t}$  – teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody v dané periodě [kWh]

$Q_{2z}$  – teoretické teplo odebrané z ohříváče v dané periodě [kWh]

Celkové teplo dodané ohříváčem do teplé vody je po dosazení  $Q_{2p} = 125,6$  kWh.

## 7.4 Stanovení křivky odběru teplé vody

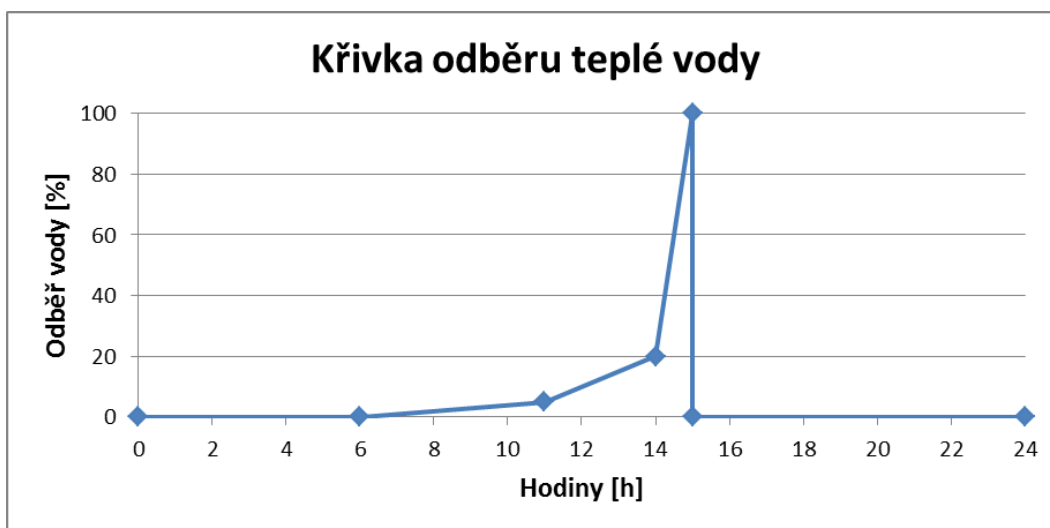
Křivka odběru vody vyjadřuje závislost odběru objemu teplé vody na čase během jedné periody (24 h). Křivku můžeme určit měřením (v případě existující stavby) nebo časovým rozbořem odběru (budova ještě není postavena nebo nemáme dostatečné informace). Další variantou je použití standardní křivky odběru teplé vody podle typu budovy. [28]

V našem případě byl proveden časový rozbor odběru teplé vody. Zaměstnanci v průmyslové hale pracují jednosměrným provozem od 6:00 do 14:00. Podle toho byl navrhován předpokládaný odběr teplé vody. V průmyslových budovách tohoto typu můžeme předpokládat, že ze začátku dne bude odběr vody jen minimální (občasné mytí rukou některých zaměstnanců apod.).

Mírně zvýšený odběr teplé vody můžeme očekávat kolem 11:00 hodiny, kdy je doba oběda a většina zaměstnanců se jde umýt. Nejvyšší odběr vody bude ovšem ke konci pracovní doby (tj. mezi 14-15 hodinou), kdy se všichni zaměstnanci jdou před odchodem domů osprchovat, popřípadě se provádí drobný úklid na pracovištích. Procentuální hodnoty těchto odběrů jsou vyneseny v tabulce 28. Podle těchto předpokladů byla navržena křivka odběru teplé vody (obrázek 43).

Tab. 28 Předpokládaný odběr teplé vody

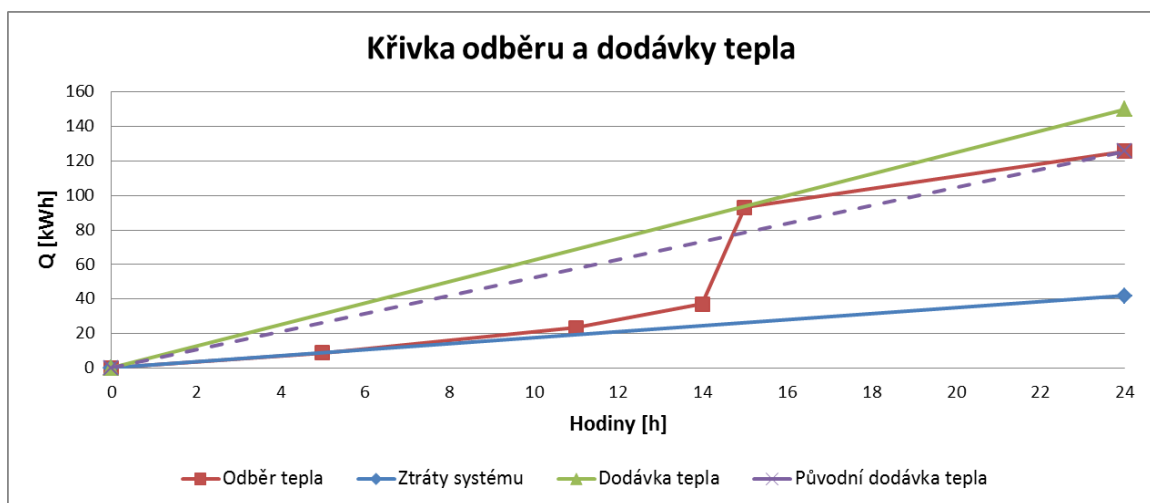
| Časový interval [h] | Odběr teplé vody [%] |
|---------------------|----------------------|
| 0:00 – 6:00         | 0                    |
| 6:00 – 11:00        | 5                    |
| 11:00 – 14:00       | 15                   |
| 14:00 – 15:00       | 80                   |
| 15:00 – 24:00       | 0                    |



Obr. 43 Časový průběh odběru teplé vody

## 7.5 Stanovení křivky odběru a dodávky tepla

Křivka odběru tepla vyjadřuje závislost odběru tepla z ohřívače na čase během periody (24 h). Stanovíme ji z křivky odběru teplé vody. Křivka dodávky tepla naopak vyjadřuje závislost dodávku tepla do ohřívače na čase během periody (24 h). Je dána tepelným výkonem zdroje tepla a dobou dodávky tepla. Při nulovém výkonu je průběh křivky vodorovný, při největší strmosti je naopak výkon maximální. Postup stanovení obou křivek je uveden v normě ČSN 06 320. [28]



Obr. 44 Dodávka a odběr tepla

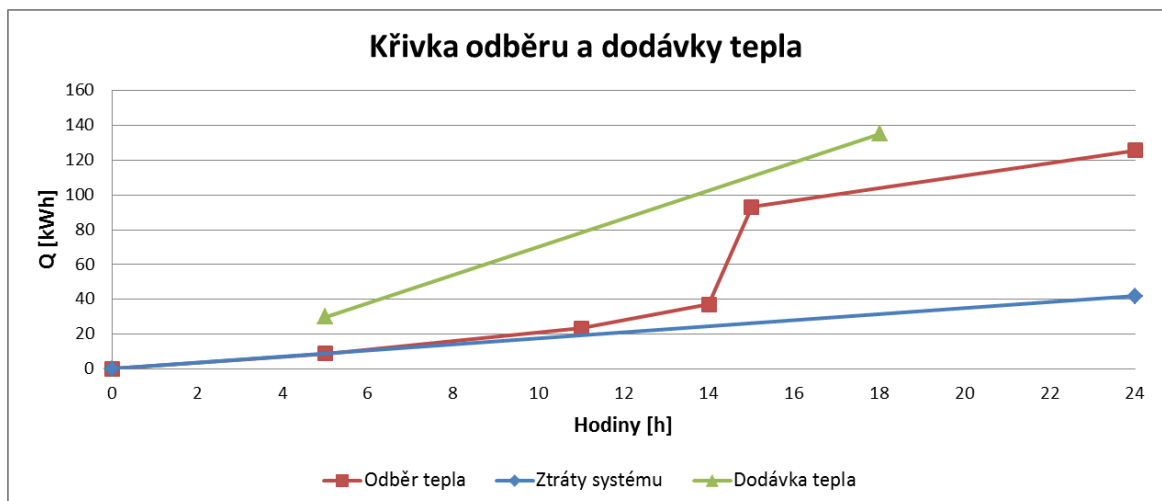
Modře je na obrázku 44 zobrazena křivka ztrát systému, ta vyjadřuje tepelné ztráty při distribuci vody. Červenou křivkou je zobrazen odběr tepla ze systému (včetně ztrát systému). Fialovou přerušovanou barvou je znázorněna křivka dodávky tepla do systému.

Tato křivka je navržena na naši vypočtenou hodnotu 125,6 kWh (množství tepla odebrané z ohřívače). Křivka dodávky tepla by však měla být vždy nad křivkou odběru tepla, jinak bychom nebyli schopni zajistit dodávku tepla. Naše křivka tuto podmínku nesplňuje, protože máme téměř maximální odběr teplé vody, v krátkém časovém úseku (14:00 – 15:00). To způsobí, že v tomto okamžiku není náš systém schopný dodat potřebné množství teplé vody.

Abychom byli schopni tento problém vyřešit, musíme zvýšit požadované množství tepla dodaného ohřívačem na 155 kWh. Tím se naše křivka posune a bude nad křivkou odběru tepla. Tato křivka je znázorněna zelenou barvou (obrázek 44).

Řešení dodávky tepla na obrázku 44 ovšem není úplně optimální pro náš případ. Dodávka tepla by v tomto případě byla nepřetržitá celý den a množství dodaného tepla by se muselo navýšit téměř o 25 kWh. Což pro náš případ není moc vhodné, nepotřebujeme nepřetržitou dodávku tepla. Jelikož zaměstnanci chodí do práce na 6:00 a odcházejí kolem 15 hodiny, postačí nám dodávka tepla od 5:00 do 18:00.

Snížením časového plánu dodávky tepla pro naši průmyslovou halu nám umožní snížit dodávku tepla přibližně na 135 kWh. Další výhodou proti nepřetržitě dodávce tepla je to, že velikost zásobníku teplé vody bude o něco menší. Nevýhodou je ovšem to, že náš zdroj tepla musí mít vyšší výkon, aby byl schopen rychleji reagovat. To znamená, že pořizovací náklady na zdroj tepla budou o něco vyšší než u nepřetržité dodávky tepla. V celkovém hledisku je však toto řešení výhodnější.



Obr. 45 Dodávka a odběr tepla 2

Dodávka tepla do systému tedy začíná již o hodinu dříve, než do práce dorazí zaměstnanci (tj. v 5:00). Jak si můžeme všimnout hodnota křivky dodávky tepla (obrázek 45) v 5:00 nezačíná na nule. To je způsobeno tím, že v zásobníku teplé vody je k dispozici teplo z předchozí periody.

## 7.6 Stanovení objemu zásobníku

Objem zásobníku na teplou vodu určíme z křivek odběru a dodávky tepla (obrázek 45). Z grafu odečteme největší možný rozdíl mezi křivkami odběru a dodávky tepla ( $Q_1$  a  $Q_2$ ). Tento rozdíl představuje nutnou zásobu tepla. Celková velikost zásobníku se tedy stanoví ze vztahu 44.

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c \cdot (\theta_2 - \theta_1)} \quad (44)$$

$V_z$  – objem zásobníku [ $m^3$ ]

$\Delta Q_{max}$  – největší možný rozdíl tepla mezi křivkami  $Q_1$  a  $Q_2$  [kWh]

$c$  – měrná tepelná kapacita vody ( $c = 1,163$ ) [kWh ·  $m^3$  ·  $K^{-1}$ ]

$\theta_2$  – teplota teplé vody [ $^{\circ}C$ ]

$\theta_1$  – teplota studené vody [ $^{\circ}C$ ]

$$V_z = \frac{63,5}{1,163 \cdot (55 - 10)} \quad (45)$$

$$V_z = 1,21 \text{ m}^3 \quad (46)$$

Z grafu odečteme největší možný rozdíl tepla mezi křivkami odběru a dodávky tepla, v našem případě je  $\Delta Q_{max} = 63,5$  kWh. Po dosazení do vztahu 44 je potom velikost zásobníku teplé vody  $V_z = 1,21 \text{ m}^3$ .

Akumulační zásobník by tedy měl mít minimální kapacitu 1210 l. Sehnat zásobník, který by přesně splňoval tento požadavek, není na trhu jednoduché. Obvyklé kapacity zásobníků v litrech jsou 1000, 1500 a 2000. Pro nás bude nejvhodnější zásobník s objemem 1500 l. Nyní nastává otázka, zda je výhodnější použít dva menší zásobníky nebo jeden velký.

V případě použití dvou menších zásobníků zvýšíme tepelnou ztrátu systému než při použití jednoho většího zásobníku. Pořizovací cena dvou zásobníků je také vyšší než cena jednoho většího zásobníku.

Po zvážení těchto parametrů byl zvolen stratifikační zásobník R2BC 1500 (obrázek 46) od firmy Regulus. Obsah nádrže tohoto zásobníku je 1500 l.



*Obr. 46 Akumulační zásobník Regulus*

Tento akumulční zásobník využívá tzv. stratifikaci (vrstvení). Teplotní stratifikací se rozumí vrstvení objemu zásobníku podle teploty. Voda se zde řízeně ukládá do vrstev o stejné nebo podobné teplotě. Výsledkem je, že voda o výrazně vyšší teplotě se shromažďuje v horních vrstvách zásobníku a studená voda je uložena ve spodní části zásobníku. Základní parametry tohoto zásobníku jsou uvedeny v tabulce 29.

Tab. 29 Parametry akumulčního zásobníku

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Celkový objem zásobníku              | 1500 l        |
| Objem horního topného hada           | 14 l          |
| Objem dolního topného hada           | 26,5 l        |
| Maximální provozní teplota zásobníku | 95°C          |
| Maximální provozní tlak v zásobníku  | 6-10 bar      |
| Hmotnost prázdné nádrže              | 302 kg        |
| Počet topných hadů                   | 2             |
| Snímatelná izolace                   | ano           |
| Tloušťka izolace                     | 100 mm        |
| Výška x průměr (včetně izolace)      | 2,3 m x 1,2 m |

Vnitřní povrch tohoto zásobníku i jeho topná tělesa (hadi) jsou smaltované, což zajišťuje vysokou ochranu a celkovou životnost. Smaltování je provedeno dle normy DIN 4753. Další zlepšení zajišťují dvě magnéziové anody, které jsou součástí zásobníku. Tyto anody chrání vnitřní části zásobníku proti korozi. Je tu o všem i možnost vyměnit magnéziové anody za anody elektrické, které jsou z hlediska kontrol a údržby méně náročné. Tak tomu bylo i v našem případě.

Zásobník obsahuje také dva smaltované topné hady. Na jedno topné těleso je napojen deskový solární kolektor a na druhé připojíme kotel pro případné dohřívání vody. Izolace tohoto zásobníku je vyrobena z polyuretanu a její tloušťka je 10 cm. Izolace se ze zásobníku dá sejmout, což je velmi výhodné v případě, že máme větší zásobník. Sejmutí izolace ze zásobníku nám umožní dočasně zmenšit jeho velikost a se zásobníkem pak můžeme lépe manipulovat (např. průchod úzkými dveřmi, atd.). Podle výrobce se doporučuje v zásobníku udržovat teplota v rozmezí od 60 °C do 65 °C. Tato teplota nám tak zaručuje zamezení vzniku bakterie *Legionella pneumophila*.

## 7.7 Stanovení tepelného výkonu pro ohřev vody

Posledním krokem je stanovení jmenovitého tepelného výkonu pro ohřev vody v zásobníku. Velikost jmenovitého tepelného výkonu určíme ze vztahu 47.

$$\Phi_{1n} = \left( \frac{Q_1}{t} \right)_{max} \quad (47)$$

$\Phi_{1n}$  – jmenovitý tepelný výkon ohřevu [W]

$Q_1$  – teplo dodané ohřivačem do teplé vody v čase  $t$  od počátku periody [kWh]

$t$  – čas [h]

$\left( \frac{Q_1}{t} \right)_{max}$  – maximální sklon křivky dodávky tepla  $Q_1$  v čase  $t$  během periody

Dosažením hodnot do vztahu 47 nám vyjde velikost jmenovitého tepelného výkonu pro ohřev vody rovna přibližně 10,4 kW

Akumulační zásobník je vyhříván ze dvou zdrojů tepla, ze solárních kolektorů a plynového kotle. Výkon plynového kotle však musí být tak velký, aby byl kotel schopen ohřívat vodu v akumulacním zásobníku i v tom případě, že solární systém bude mít nulový výkon. Výkon plynového kotle musí být navržen tedy tak, jako kdyby byl jediným zdrojem tepla pro akumulacní zásobník.

Jako zdroj tepla pro zásobníkový ohřev byl zvolen plynový kotel Vitogas 200-F od firmy Viessmann (obrázek 47). Tento kotel má jmenovitý tepelný výkon 29 kW. Minimální velikost jmenovitého tepelného výkonu nám vyšla 10,4 kW. Náš vybraný plynový kotel je tedy schopen tuto hodnotu pokrýt téměř třikrát.



*Obr. 47 Plynový kotel Viessmann*

Plynový kotel od firmy Vitogas se předsměšovací hořákem se vyznačuje velmi malou hodnotou emisí a nízkou spotřebou. Tento kotel vyhovuje švýcarským požadavkům na kvalitu ovzduší a splňuje požadavky ekologické značky Modrý anděl. V závislosti na vnější teplotě se v kotli přizpůsobí teplota vody skutečné potřebě tepla, což výrazně šetří energii. Výchřevné plochy tohoto kotle jsou vyrobené ze speciální šedé litiny, dimenzované tak, aby zátěž topných ploch byla co nejmenší. Tím se zvýší provozní bezpečnost kotle. V níže uvedené tabulce (tabulka 30) jsou popsány základní parametry použitého plynového kotle.

*Tab. 30 Parametry plynového kotle*

|                                                     |                    |
|-----------------------------------------------------|--------------------|
| Jmenovitý tepelný výkon                             | 29 kW              |
| Objem kotlové vody                                  | 11,7 l             |
| Přípustný provozní tlak                             | 3 bar              |
| Pohotovostní ztráty (při teplotě kotlové vody 60°C) | 1,1 %              |
| Výška x šířka x délka (celková) [m]                 | 0,89 x 0,65 x 0,76 |
| Celková hmotnost                                    | 148 kg             |

## 7.8 Dimenzování solárních kolektorů

Návrh parametrů solárního systému se dá určit několika způsoby. Obecným výpočtem podle potřeby teplé vody, velikosti zásobníku teplé vody, intenzity slunečního svitu a mnoha dalších parametrů. Nebo můžeme postupovat podle projekčních podkladů, které uvádí výrobce (grafy, tabulky a zjednodušené výpočty). V těchto podkladech jsou již zahrnuty obecné výpočty, navíc jsou zde zohledněny zkušenosti a doporučení výrobce. Proto je velmi důležité vybrat si kvalitního výrobce, pokud možno s co největší dobou působení na trhu.

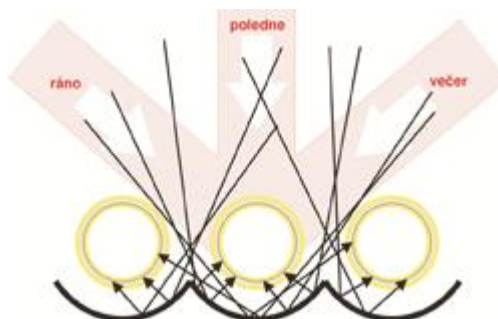
V našem případě bylo rozhodnuto zvolit solární kolektory od firmy Viessmann. Tato firma patří nejen na našem trhu mezi hlavní prodejce vytápěcích zařízení, solárních systémů a dalších technických zařízení. Tato firma vyrábí dva základní typy solárních kolektorů, deskový a trubicový. Nejdříve bylo rozhodnuto použít vakuový trubicový kolektor (obrázek 48) Vitosol 300-T.



*Obr. 48 Trubicový solární kolektor*

Vakuové trubicové kolektory pracují na nové technologii, která spočívá v tom, že přes kolektor již neprochází teplotně médium. Teplotně médium cirkuluje ve speciálním absorbéru (obvykle tenká měděná trubička), kde se vypařuje a předává teplo ve výměníku tepla solárnímu médiu. Tento systém má tak větší účinnost než deskový kolektor a zároveň menší tepelné ztráty. Výhodou tohoto systému je i to, že když praskne některá z trubic, tak systém může bez problémů fungovat dál se zbývajícím trubicemi.

Vakuový trubicový systém je tak účinný díky speciálnímu zrcadlu, které směřuje dopadající sluneční záření i na zadní stranu trubic. Zvýší se tak absorpční plocha kolektoru a tím i jeho účinnost. Princip tohoto zrcadla je uveden na obrázku 49.



Obr. 49 Odraz světla

Po důkladnějším nastudování tohoto tématu bylo však od trubicového solárního kolektoru upuštěno. Vyšší účinnost dosahují tyto kolektory právě díky reflexnímu parabolickému zrcadlu. Bez tohoto zrcadla je účinnost pořád o něco vyšší než u deskových kolektorů, ale je zde výrazný nepoměr účinnosti a pořizovací ceny. Hlavním problémem je to, že i při mírném znečištění této plochy dochází k velkému poklesu odrazivosti, a tím i k snížení účinnosti kolektoru. Problém tak nastává zejména v zimním období, když sněží. Trubice jsou na horní straně zahřáté a sníh může stéct dolů.

Reflexní zrcadlo je však většinou vyrobeno z kovového materiálu a je umístěno pod trubicemi, teplota tedy není dostatečná k roztopení sněhu. Další nevýhodou může být například menší odolnost trubic vůči přírodním vlivům (krupobití atd.). Je proto na zvážení zda tento systém použít nebo ne. Záleží to samozřejmě i na lokalitě a přírodních podmínkách (jak dlouho trvá zima, jakou část roku se bude solární systém používat aj.). Trubicový systém slouží hlavně k ohřevu na vyšší teploty, je tedy vhodný zejména pro vytápění.

V našem případě využíváme solární systém pouze k ohřevu teplé vody. Po zvážení všech těchto výhod a nevýhod bylo rozhodnuto použít deskový solární kolektor Vitosol 200-F (obrázek 28). Tento deskový kolektor vyhrál několik srovnávacích testů v Německu a Rakousku. Teplonosná látka proudí přes kolektor, absorpční plocha je tudíž mírně zahřátá, což stačí k roztopení sněhu. To ale znamená větší tepelnou ztrátu než u trubicového kolektoru.



*Obr. 50 Deskový solární kolektor*

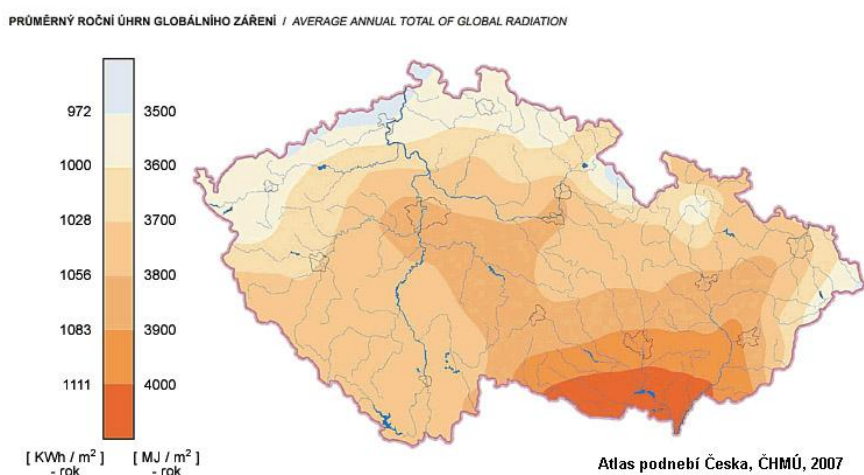
V následující tabulce (tabulka 31) jsou uvedeny základní technické parametry použitého deskového solárního kolektoru Vitosol 200-F.

*Tab. 31 Parametry solárního kolektoru Viessmann*

|                                    |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
| Plocha kolektoru                   | 2,33 m <sup>2</sup>        |
| Plocha absorbéru                   | 2,32 m <sup>2</sup>        |
| Objem kapaliny (teplonosné médium) | 1,83 l                     |
| Optická účinnost                   | 79,3 %                     |
| Přípustný provozní tlak            | 6 bar                      |
| Maximální klidová teplota          | 202 °C                     |
| Celková hmotnost                   | 51 kg                      |
| Koeficient ztráty tepla $k_1$      | 3,95 W/m <sup>2</sup> .K   |
| Koeficient ztráty tepla $k_2$      | 0,0122 W/m <sup>2</sup> .K |

Nyní můžeme přistoupit k samotnému dimenzování solárního kolektoru. Solární kolektory budou umístěny na střeše naší průmyslové haly. Vzhledem k tomu, že je střecha rovná a je na ní dostatek místa můžeme si zvolit sklon a orientaci solárních kolektorů tak, jak nám to bude nejlépe vyhovovat.

Výrobce udává nejlepší možnou orientaci panelu na jih. Optimální sklon panelu je pro ohřev teplé vody  $30^\circ$  až  $45^\circ$ . V našem případě zvolíme sklon  $40^\circ$ . K výpočtu celkové plochy solárních kolektorů budeme potřebovat hodnotu slunečního svitu v naší lokalitě. Ta se dá učit z tabulek nebo orientačně z grafu (obrázek 51).



Obr. 51 Průměrný roční úhrn slunečního záření

V našem případě byla ovšem hodnota slunečního svitu určena z internetové aplikace Solargis. Kde je možné najít si hodnotu pro přesnou lokalitu, a hodnoty pocházejí z roku 2011. V tabulce 32 jsou popsány základní hodnoty pro dimenzování našeho solárního systému.

Tab. 32 Hodnoty pro dimenzování solárního kolektoru

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| Celková spotřeba teplé vody za den $V_{2p}$ [m <sup>3</sup> ] | 1,6        |
| Objem zásobníku teplé vody [l]                                | 1500       |
| Hodnota slunečního svitu za rok [kWh/m <sup>2</sup> ]         | 1192       |
| Orientace kolektoru                                           | Jih        |
| Sklon kolektoru                                               | $40^\circ$ |

Nyní můžeme přejít k výpočtu celkové absorpční plochy solárních kolektorů, potřebné pro náš systém. Veškeré vzorce a vztahy byly použity z topenářské příručky a z projekčních podkladů výrobce. [14]

$$Q_A = H \cdot \eta \quad (48)$$

$Q_A$  – energie zachycená absorpční plochou 1 m<sup>2</sup> za průměrný den [kWh/m<sup>2</sup>. den<sup>-1</sup>]

$H$  – energie dopadajícího slunečního svitu na kolektor za den [kWh/m<sup>2</sup>]

$\eta$  – účinnost solárního kolektoru [%]

Po dosazení hodnot vyjde  $Q_A$  rovno 2,62 kWh/m<sup>2</sup>. den<sup>-1</sup>. Protože jsme zvolili možnost vytápění jen po určitý časový úsek, potřeba tepla se nám tak navýšila na 135 kWh, jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách. Nyní vypočítáme celkovou potřebnou plochu solárních kolektorů.

$$S_k = \frac{(1+p) \cdot Q_{\text{spoř}}}{Q_A} \quad (49)$$

$S_k$  – celková absorpční plocha solárních kolektorů [m<sup>2</sup>]

$p$  – součinitel zvýšení potřeby tepla o tepelné ztráty v rozvodech [%]

$Q_{\text{spoř}}$  – celkové potřebné teplo pro ohřev vody [kWh]

$Q_A$  – energie zachycená absorpční plochou 1 m<sup>2</sup> za průměrný den [kWh/m<sup>2</sup>. den<sup>-1</sup>]

Obvyklá hodnota součinitele  $p$  se volí 10%. Náš systém už je ale dostatečně předimenzován, takže tuto hodnotu můžeme ze vzorce vypustit. Po dosazení našich hodnot nám vyjde celková absorpční plocha kolektorů 51,5 m<sup>2</sup>. Z toho vyplývá, že dostatečný počet kolektorů je 22,2. Nyní se můžeme rozhodnout buď z hlediska pořizovacích nákladů (22 kolektorů), nebo z hlediska energetického (24 kolektorů). Zvolíme možnost 24 solárních kolektorů.

## 7.9 Zabezpečovací zařízení

V této kapitole budeme navrhovat pojistná zařízení, která jsou nezbytná pro správnou a bezpečnou činnost systému pro ohřev teplé vody. Na každém výstupu ze zdroje tepla musím být umístěno pojistné zařízení, které chrání soustavu proti nedovolenému přetlaku. Toto zařízení musí být umístěno vždy ve vzdálenosti 20krát průměr potrubí od výstupu na zdroji tepla, dále je také potřeba stanovit průměr pojistného potrubí. S pojistným ventilem by měl být instalován tlakoměr a teploměr.

Každý okruh systému musí být také vybaven expanzní nádobou, která umožňuje změny objemu teplotnosné kapaliny vlivem tepelné objemové roztažnosti. V našem případě použijeme pro solární okruh otevřený expanzní systém. V tomto systému je nahrazena klasická expanzní nádoba, nádobou vyrovnávací. V případě, že dojde v soustavě k přetlaku (např. vlivem tepelné roztažnosti kapaliny), projeví se to pouze tak, že se zvýší hladina v této nádrži.

Toto řešení nám v případě, že bude zapotřebí odstavit solární systém (přehřátí systému v době nečinnosti, zamrznání teplotnosné kapaliny, atd.) zajistí, že můžeme vypustit teplotnosnou kapalinu z celého systému (kolektory, potrubí, výměník) do této nádrže. Je však velmi důležité, aby byl konec přívodní teplé vody do této nádrže vždy ponořen, tím se předejde spoustě nepříjemností. Velikost této nádrže tedy budeme muset navrhnout minimálně na velikost objemu celé teplotnosné kapaliny, která proudí solárním systémem. Velikost expanzních nádrží stanovíme podle postupu, uvedeného v normě ČSN 06 830. [30]

Tab. 33 Parametry vyrovnávací nádrže

| Typ                                         | Objem média [l] |
|---------------------------------------------|-----------------|
| Objem média v kolektorech                   | 51,2            |
| Objem média v potrubí                       | 10,9            |
| Objem média ve výměníku                     | 27,3            |
| Rezerva kapaliny (5%)                       | 4,5             |
| Expanzní objem                              | 3,6             |
| Minimální potřebný objem vyrovnávací nádrže | 97,5            |
| Zvolený objem vyrovnávací nádrže            | 100             |

Celkový objem teplotnosného média v solárním systému je 97,5 l. Objem Vyrovnávací nádrže byl tedy zvolen 100 l.

Obdobně se vypočte i velikost objemu uzavřené expanzní nádoby pro druhý okruh (dohřívání plynovým kotlem). V tabulce 34 jsou uvedeny základní hodnoty expanzních nádrží.

Tab. 34 Parametry expanzních nádrží

|                                     | Objem kapaliny<br>v soustavě [l] | Velikost expanzní<br>nádrže [l] |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Primární okruh (plynový kotel)      | 24                               | 5                               |
| Sekundární okruh (solární kolektor) | 97,6                             | 100                             |

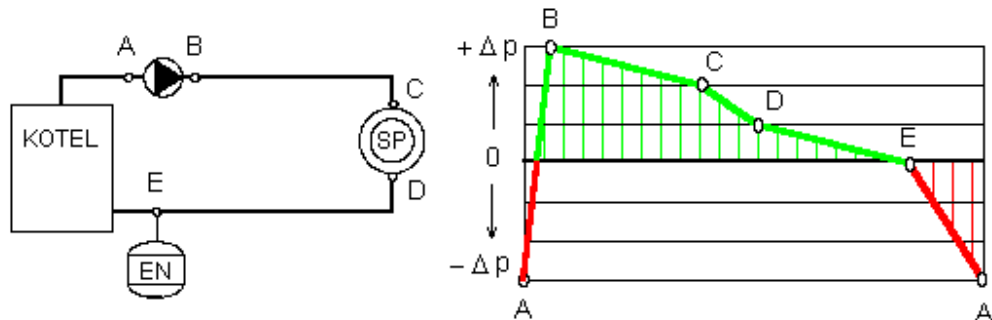
Expanzní nádoba většinou zabírá asi 5 % z celkového množství teplotné kapaliny v celém okruhu. Minimálně však musí mít velikost 2 l, velikost uzavřené expanzní nádoby pro primární okruh by tedy stačila 2 l nebo 3 l. Protože jsou však menší expanzní nádoby pro pitnou vodu dražší, zvolíme velikost expanzní nádoby 5 l. Vybrána byla expanzní nádoba HYB 5, od firmy Regulus. Tato nádoba má přednastavený tlak 3 bar a maximální pracovní tlak 10 bar.



Obr. 52 Expanzní nádoba Regulus

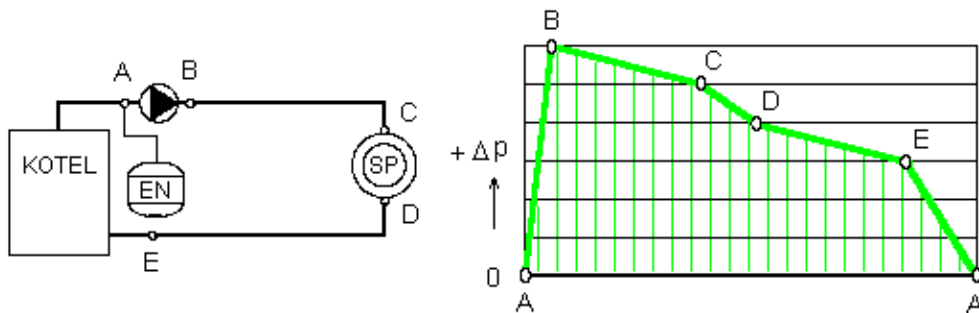
V případě tlakové expanzní nádoby hraje důležitou roli zapojení této nádoby do hydraulického okruhu. V našem případě používáme tlakovou expanzní nádoby v primárním okruhu (u plynového kotle). V následujících případech si ukážeme, zda je lepší umístit čerpadlo na výstup nebo na přívod do kotle a zda je lepší umístit tlakovou expanzní nádoby před nebo za čerpadlo.

V grafech je znázorněn průběh dynamických tlaků v jednotlivých bodech topného systému. Zelené čáry znázorňují oblast relativního přetlaku dynamického tlaku oproti tlaku statickému (tlak při stojícím čerpadle), červené čáry pak úseky relativního podtlaku. Naší snahou by mělo pochopitelně být, aby co největší část systému byla v přetlaku (zelená čára). Jako první případ zvolíme zapojení kotel-čerpadlo-spotřebiče-expanze (obrázek 53). Toto zapojení není špatné, ale také není úplně vyhovující (část systému je totiž v podtlaku).

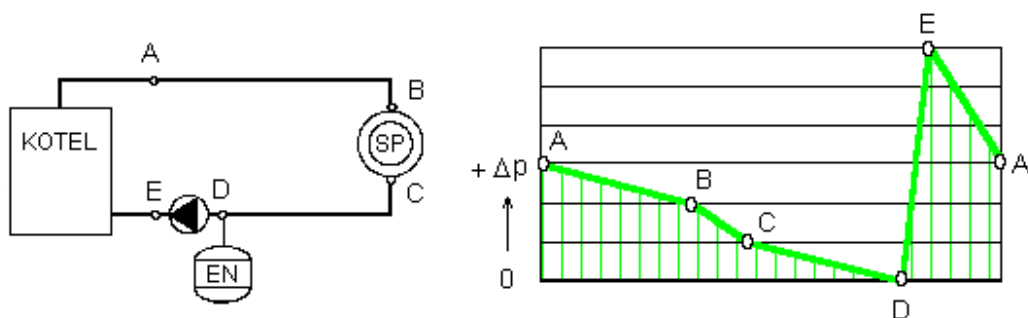


Obr. 53 Zapojení A

Dalšími případy jsou zapojení kotel-expanze-čerpadlo-spotřebiče (obrázek 54) a zapojení kotel-spotřebiče-expanze-čerpadlo (obrázek 55). Tyto zapojení se jeví jako zcela vyhovující (sytém je celou dobu v přetlaku).

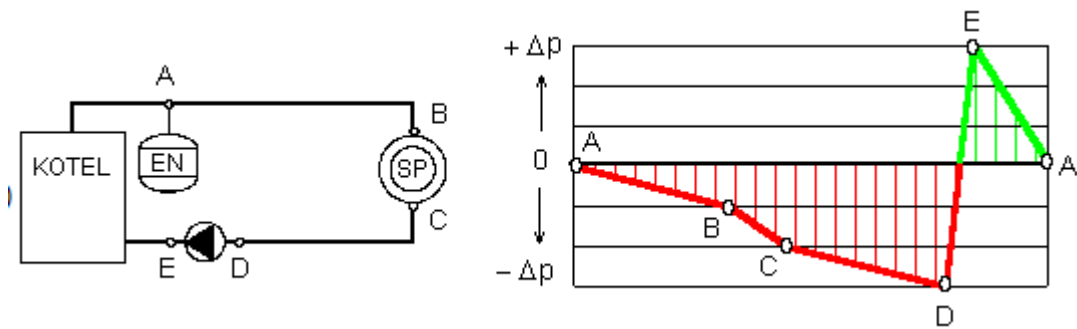


Obr. 54 Zapojení B

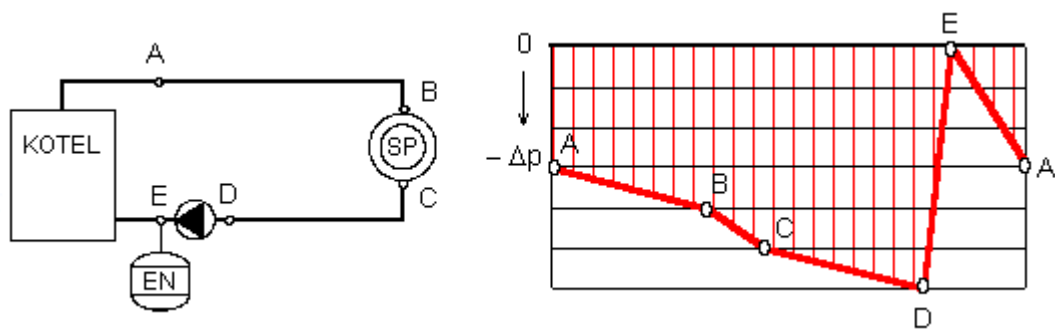


Obr. 55 Zapojení C

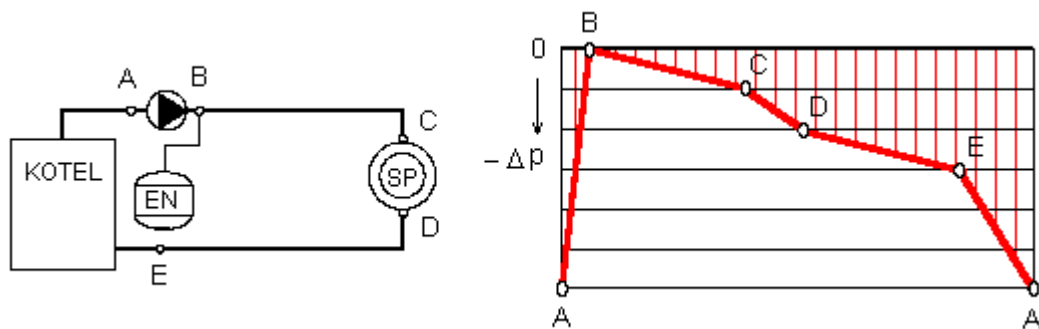
Zbývají nám zapojení kotel-expanze-spotřebiče-čerpadlo (obrázek 56), kotel-spotřebiče-čerpadlo-expanze (obrázek 57) a zapojení kotel-čerpadlo-expanze-spotřebiče (obrázek 36). Jak můžeme vidět, tyto zapojení jsou z hlediska tlaku v soustavě velmi nevhodná.



Obr. 56 Zapojení D



Obr. 57 Zapojení E



Obr. 58 Zapojení F

Z uvedených grafů vyplývá, že umístění tlakové expanzní nádrže má zásadní vliv na tlak v soustavě. Zapojení expanzní nádoby za čerpadlo vyvolá v soustavě podtlak, zatímco umístění nádoby před čerpadlo způsobí v soustavě požadovaný přetlak. Vhodné jsou tedy zapojení B a C (obrázek 54 a 55). Tyto grafy byly použity z článku pana Milana Bechyně. [20]

Naopak umístění čerpadla na přívod nebo na výstup kotle nemá na tlak v soustavě zásadní vliv. Doporučuje se však umísťovat čerpadlo na vstup do kotle (vratná větev). Důvodem je to, že čerpadlo pracuje v oblasti nižší teploty a zároveň je sníženo riziko vylučování vzduchových bublin v čerpadle. Vylučování vzduchu v místě nejnižšího tlaku na sání čerpadla může způsobit snižování výkonu čerpadla až po jeho úplný výpadek. [20]

Při kombinaci s vyšší teplotou otopné vody a nízkým statickým tlakem v systému, dochází k zastavení nuceného oběhu a následnému růstu teploty vody v kotli, vzniku parních bublin, rychlému poklesu odběru tepla a nakonec může dojít až k havarijnímu přehřátí kotle. Pokud je však systém dobře zabezpečen, nemusí k takovýmto stavům vůbec docházet. Po zvážení všech těchto poznatků bylo zvoleno zapojení C (Obrázek 55). [20]

Hodnota jmenovitého tlaku v solárním systému má velikost asi 4 bar. Pojistný ventil pak bude mít hodnotu 5 bar. Provozní tlak v solárních systémech se většinou pohybuje od 3 do 5 bar. Provozní tlak je většinou 90% z tlaku jmenovitého. V našem systému byla hodnota provozního tlaku stanovena na 3,6 bar. V tabulce 35 jsou uvedeny hodnoty otevíracích přetlaků pro pojistné ventily, umístěné v různých místech soustavy. [20]

*Tab. 35 Parametry pojistných ventilů*

|                     | Pojistný ventil [bar] |
|---------------------|-----------------------|
| Solární okruh       | 5                     |
| Plynový kotel       | 2                     |
| Zásobník teplé vody | 8                     |

## 7.10 Regulace systému

Pro řízení primárního okruhu (dohřívání plynovým kotlem) byla zvolena regulace Vitotronic 200 (obrázek 59), od firmy Viessmann. V našem případě máme ovšem i solární kolektory od stejného výrobce. Můžeme si tedy dokoupit rozšiřovací solární modul a vše ovládat přes regulaci Vitotronic, která tyto funkce podporuje. Regulace Vitotronic je většinou umístěna přímo na kotli, je však snímatelná a dá se přemístit. Standardní délka kabelu je 5 m, můžeme si tedy tento panel umístit například na stěnu nebo na jiné vyhovující místo.



Obr. 59 Regulace Vitotronic 200

Tato regulace je vybavena českým jazykem a uživatelské prostředí je velmi přehledné. Další výhodou této regulace je i to, že umí vytvářet různé statistiky a grafy (např. topnou charakteristiku nebo zisk ze solárního kolektoru za poslední týden). Na obrázku 60 je uveden graf dopadajícího slunečního záření na solární kolektory v posledním týdnu.



Obr. 60 Graf zisku solárního záření

Pokud bychom potřebovali regulovat z jiného vzdálenější místa, je možné dokoupit kabelový nebo bezdrátový ovládací modul Vitotrol 200. Tento modul můžeme umístit, kdekoliv nám to vyhovuje a vzdáleně s ním můžeme ovládat nebo nastavovat celou regulaci. Další možností je i ovládání regulace přes mobilní telefon (modul TeleControl). Pro naše využití nám však úplně stačí ovládání přímo na kotli, popřípadě umístění ovládacího displeje ve stěně. Na obrázku 61 je zobrazen bezdrátový ovládací modul pro vzdálenou regulaci celého systému Vitotrol 200.

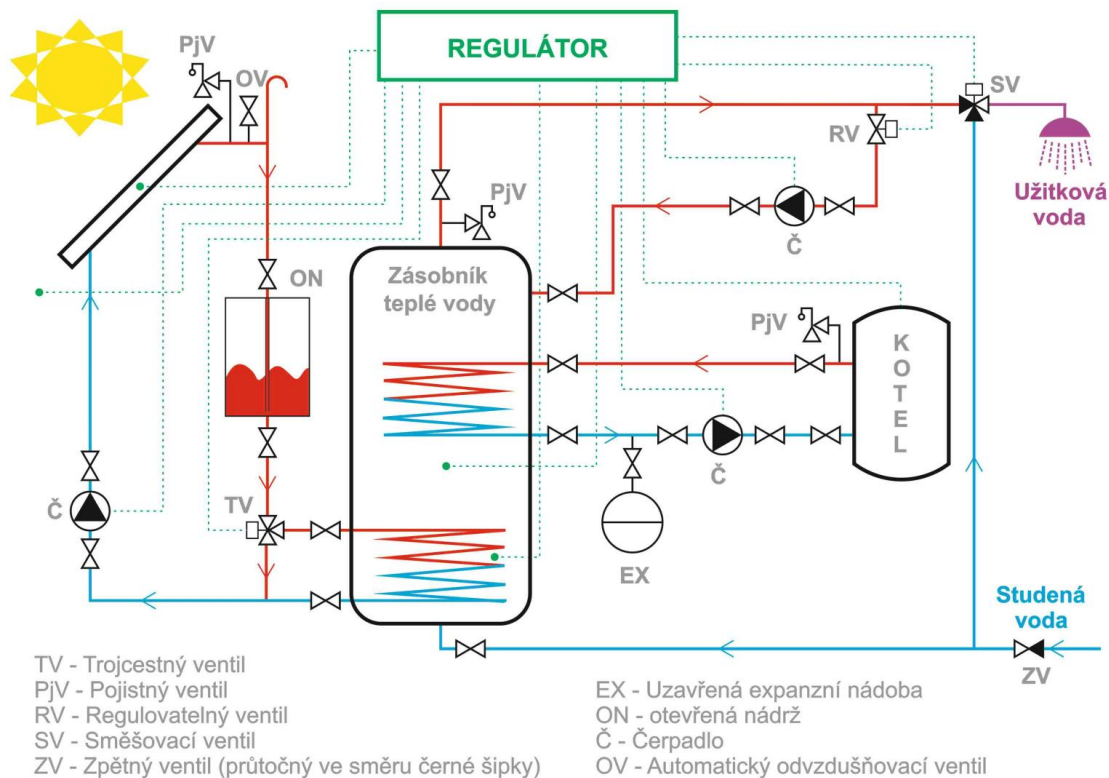


*Obr. 61 Vitotrol 200*

Všechna čidla, měřidla a ventily potřebné k regulaci celého systému (venkovní teploty, vnitřní teploty, teploty kapaliny v potrubí, tlaku v potrubí, průtoková měřidla apod.) lze dokoupit podle potřeby na internetových stránkách výrobce.

## 7.11 Hydraulické zapojení systému

Hydraulické schéma pro ohřev teplé vody je uvedeno na obrázku 40. Pro ohřev teplé vody v našem případě byl použit zásobníkový ohřev vody. Celé hydraulické schéma je složeno ze dvou základních okruhů, primárního a sekundárního. V primárním okruhu je pro ohřev vody v zásobníku použit plynový kotel. Sekundární okruh používá pro ohřev vody v zásobníku solární kolektory. Celý okruh ovšem funguje tak, aby se co nejméně plýtvalo energií. Jako hlavní zdroj pro ohřev vody je využit solární kolektor. Pouze v případě, že kolektor není schopen dodat požadované množství tepla do zásobníku teplé vody (např. při špatném počasí), využijeme plynový kotel pro dohřívání vody. Celý systém je opatřen regulací Vitotronic, která řídí jeho činnost. Obrázek 62 v původní velikosti je v příloze P V.



Obr. 62 Hydraulické schéma pro ohřev teplé vody

Jak již bylo řečeno, v primárním okruhu je použit jako zdroj tepla plynový kotel. Pokud má voda v zásobníku dostatečnou teplotu, kotel je vypnutý. V opačném případě regulátor vyhodnotí situaci a zapne plynový kotel pro dohřátí vody na postačující teplotu. Plynový kotel je navržený tak, aby byl schopný sám zajistit dostatečné množství tepla pro celý zásobník (např. při odstavení solárních kolektorů atd.).

Tento okruh obsahuje čerpadlo, uzavřenou expanzní nádobu, pojistný ventil a několik klasických ventilů. Čerpadlo je řízeno regulátorem a zajišťuje cirkulaci vody. Expanzní nádoba zde umožňuje změny objemu teplotně expandující kapaliny vlivem tepelné objemové roztažnosti.

Solární systém se používá jako primární zdroj pro ohřev vody v zásobníku. Ohřev vody tímto zdrojem nás nestojí žádné peníze, je tudíž pro nás velmi výhodný. Solární kolektor ohřívá nejstudenější vodu, která je poté ve stratifikačním zásobníku rozvedena výše. Solární okruh je opatřen pojistným ventilem, automatickým odvzdušňovacím ventilem, otevřenou přepouštěcí nádobou, čerpadlem a trojcestným ventilem. V případě, že regulátor vyhodnotí, že teplota kapaliny procházející solárními kolektory není dostatečná, pošle signál na trojcestný ventil a ten uzavře cestu do zásobníku. Kapalina tedy proudí pouze přes okruh kolektorů a do zásobníku se nedostane. To se děje až do té doby, než je její teplota dostatečná na ohřev vody v zásobníku. V případě, že se zvětší objem kapaliny vlivem tepelné roztažnosti, zvedne se pouze velikost hladiny v nádrži. Velikost této nádrže je dostatečná na celkový objem kapaliny proudící v solárním systému. Pokud tedy nastane případ, kdy solární systém nebude moci pracovat (např. příliš nízká teplota média v solárním systému), kapalina se přepustí do této nádrže a regulátor vypne čerpadlo.

Na vstupu studené vody je použit zpětný ventil, který propouští kapalinu jen v požadovaném směru (zamezuje zpětnému proudění kapaliny). Na výstup ze zásobníku teplé vody je zařazeno cirkulační potrubí, které zajišťuje vždy dostatečně teplou vodu pro uživatele. Tento okruh tak zabraňuje, aby se teplá voda v potrubí ochladila, vlivem nulového odběru teplé vody. V tomto okruhu je zařazeno cirkulační čerpadlo, které je řízeno regulátorem. Toto čerpadlo je v provozu pouze v době předpokládaného odběru teplé vody. Spínání a vypínání cirkulačního čerpadla regulátor také řídí podle výstupní teploty teplé vody na konci potrubí (před směšovacím ventilem). Pokud je tato teplota dostatečná regulátor vypne cirkulační čerpadlo a zároveň uzavře ventil na přívod vody do tohoto potrubí.

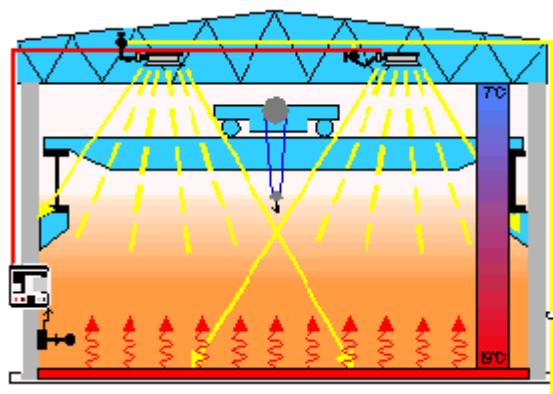
Na konci tohoto systému je zařazen směšovací ventil, který je řízen regulátorem. Přes tento ventil směšujeme přiváděnou studenou vodu a teplou vodu, přivázenou ze zásobníku. Na výstupu z tohoto ventilu je již užitková voda.

## 8 VYTÁPĚNÍ OBJEKTU

V této kapitole budeme navrhovat vhodný vytápěcí systém pro naši průmyslovou halu. Systému pro vytápění průmyslových hal se nabízí mnoho. Centrální vytápění, teplovzdušné vytápění, sálavé vytápění a podlahové vytápění. Podlahové vytápění se využívá spíše ojediněle a nejčastěji se instaluje přímo při stavbě průmyslové haly. Vzhledem k tomu že naše průmyslová hala je již postavena, bylo by příliš nákladné instalovat tento systém, možnost podlahového vytápění tedy zavrhneme. Ze zbylých vytápěcích systémů je nejvhodnější sálavé vytápění a teplovzdušné.

### 8.1 Způsob vytápění

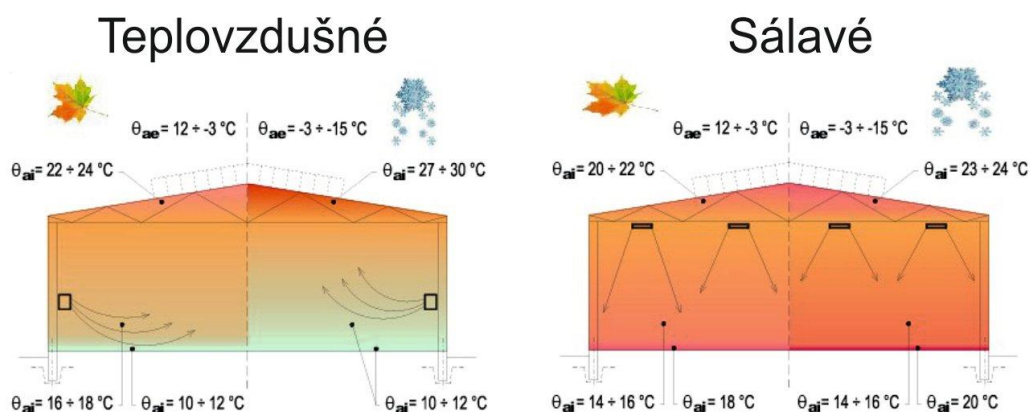
Princip sálavého vytápění spočívá v tom, že energie vyzářená ze zářiče neohřívá přímo vzduch. Sálavá energie nejdříve dopadá na zem a okolní plochy (stroje, lidé atd.), těmto plochám předá teplo a až následně od těchto ploch se ohřívá okolní vzduch. Nejdříve se tedy ohřívají lidé a okolní plochy. Tento způsob předávání tepla je velmi výhodný, protože nedochází k tak výrazným tepelným ztrátám jako u teplovzdušného vytápění. Princip sálavého vytápění je zobrazen na obrázku 63.



Obr. 63 Sálavé vytápění

U teplovzdušného vytápění nejdříve ohříváme vzduch, který ventilátorem směrujeme do prostoru. Od ohřátého vzduchu se následně ohřívají okolní plochy a lidé. Tento způsob má však proti sálavému vytápění jednu zásadní nevýhodu. Teplý vzduch, jak je známo stoupá vzhůru, a studený vzduch se zdržuje na spodu budovy. Takže náš ohřátý vzduch stoupá vzhůru ke stropu průmyslové haly a tam se koncentruje. To samozřejmě způsobí větší tepelnou ztrátu přes strop a skleněný světlík, než u sálavého vytápění.

Na obrázku 64 je zobrazen průběh teplot v průmyslové hale při sálavém a teplovzdušném vytápění. Modrá barva zobrazuje vzduch s nízkou teplotou, barva červená vzduch teplý. Čím tmavší je červená barva, tím teplejší je vzduch. Obrázek 64 byl použit z internetového článku Ing. Kotrbatého. [13]



Obr. 64 Teplotní rozložení při rozdílném způsobu vytápění

U každého druhu vytápění je uveden podzimní stav (vlevo) a stav v zimě (vpravo). Pokud se podíváme na teplovzdušné vytápění, můžeme si všimnout, že teplý vzduch se hromadí zejména u stropu budovy. Zatímco vzduch ve spodní části budovy, kde se pohybují lidé má výrazně nižší tepotu. V případě sálavého vytápění je teplota vzduchu téměř rovnoměrně rozložena v celé oblasti průmyslové budovy. Srovnáním teplot vzduchu u stropu průmyslové haly zjistíme, že teplota u teplovzdušného vytápění je vždy vyšší o 3 až  $4^\circ\text{C}$  oproti sálavému vytápění. To jasně vypovídá o tom, že teplovzdušné vytápění má větší ztráty tepla než vytápění sálavé. Volba vytápění pro náš případ je tedy jasná, zvolíme možnost sálavého vytápění.

Sálavých systému je mnoho. Existují vodní sálavé systémy, elektrické systémy a plynové systémy. Vzhledem k cenám energií a existující plynové přípojce v naší průmyslové hale, zvolíme plynové sálavé zářiče.

## 8.2 Výběr zářiče

Plynové infrazářiče mají spoustu výhod proti jiným zdrojům tepla. Neohřívají zbytečně vzduch a tím tak zmenšují ztracenou energii. Směřují svoji energii do pracovní oblasti, tím je možné ohřívát pouze některá pracovní stanoviště. Z hygienického hlediska jsou také výhodné, protože nevíří prach jako teplovzdušné soustavy. V případě potřeby je možné je úplně vypnout během několika minut. Nevýhodou je ovšem to, že tyto zářiče musí být umístěny poměrně vysoko. Tím bohužel odpadá využití v rodinných domech. Také musí být zajištěn odvod spalin z těchto zářičů.

Existují dvě základní varianty plynových infrazářičů, světlé a tmavé zářiče. Tmavé zářiče jsou levnější a konstrukčně jednodušší. Mají však menší účinnost proti světlým zářičům. Tmavé zářiče se běžně nepoužívají v budovách s vyšší výškou než 8 m. Už ve výšce 10 m mají totiž o 15 % menší účinnost než světlé zářiče. Ve výšce 15 m je účinnost menší dokonce o 27 %. Produkce spalin u tmavého zářiče je vyšší než u zářiče světlého. V případě světlého zářiče stačí řízené odvádění vzduchu například přes otvory ve stěnách. U tmavého zářiče musí být zajištěn odvod spalin z budovy spalinovým potrubím. Další výhodou světlých zářičů je menší spotřeba zemního plynu. V tabulce 36 je uveden přehled spotřeby plynu pro různé typy plynových zdrojů tepla.

*Tab. 36 Spotřeba paliva plynových soustav*

| <b>Typ soustavy</b>                                   | <b>Spotřeba plynu [%]</b> |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|
| Teplovzdušné agregáty, plynová parní kotelna          | 100                       |
| Teplovzdušné agregáty, plynová teplovodní kotelna     | 89                        |
| Sálavé panely, plynová parní kotelna                  | 80                        |
| Sálavé panely, plynová teplovodní kotelna             | 71                        |
| Tmavé zářiče neizolované s odvodem spalin mimo objekt | 67                        |
| Tmavé zářiče neizolované s odvodem spalin do objektu  | 59                        |
| Tmavé zářiče izolované s odvodem spalin mimo objekt   | 64                        |
| Tmavé zářiče izolované s odvodem spalin do objektu    | 57                        |
| Světlé zářiče neizolované                             | 50                        |
| Světlé zářiče izolované                               | 46                        |
| Nízkoteplotní cirkulační zářiče                       | 40                        |

Světlý plynový zářič má jednu z nejnižších spotřeb plynu. Rozdíl proti tmavému zářiči je téměř 11 %. Posledním důvodem proč zvolit světlý zářič je doba náběhu. U tmavého zářiče je doba náběhu do plného výkonu 15 až 20 min. Zatímco světlému zářiči stačí na dosažení plného výkonu 3 až 7min. Na základě těchto poznatků byl zvolen světlý infrazářič.

Nyní zbývá zvolit vhodný typ a výrobce světlého infrazářiče. Bylo rozhodováno mezi dvěma výrobci, firmou Kotrbatý a firmou Schwank. Firma Kotrbatý je česká firma a patří na našem trhu mezi hlavní výrobce plynových zářičů. Firma Schwank je německého původu a patří k mezi nejkvalitnější a největší výrobce plynových zářičů na světovém trhu. Světlé zářiče od firmy Schwank jsou sice dražší, ale mají o něco větší účinnost než světlé zářiče od firmy Kotrbatý. Po důkladném zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých zářičů bylo rozhodnuto zvolit německou firmu Schwank. Jedním z rozhodujících kritérií bylo i to, že Pan Schwank je vynálezcem principu světlého zářiče. Dalším rozhodujícím kritériem bylo to že, námi zvolenému modelu světlého zářiče byla v roce 2008, díky své vysoké účinnosti udělena cena Industriepreis.

Světlé zářiče od firmy Schwank se vyrábějí ve 3 základních variantách. Varianty EcoSchwank, PrimoSchwank a SupraSchwank. V každé z těchto 3 řad světlých zářičů si můžeme pochopitelně ještě vybrat některou z 5 výkonových verzí. Všechny tyto typy světlých zářičů mají společné, že jejich celková účinnost otopného zařízení je 95 %. Liší se však v sálavé účinnosti. Sálavá účinnost nám udává, kolik sálavého tepla se dostane až k podlaze pracovního prostoru. V tabulce 37 jsou popsány sálavé účinnosti pro jednotlivé typy těchto světlých zářičů.

*Tab. 37 Srovnání světlých zářičů*

| <b>Typ světlého zářiče</b> | <b>Sálavá účinnost [%]</b> |
|----------------------------|----------------------------|
| EcoSchwank                 | 50,4                       |
| PrimoSchwank               | 69,5                       |
| SupraSchwank               | 80,9                       |

Čím je vyšší sálavá účinnost světlého zářiče, tím je složitější jeho konstrukce a samozřejmě i jeho cena.

Pro vytápění naší průmyslové byla zvolena řada světlých zářičů SupraSchwank. Tato řada je sice nejdražší, ale za to má největší sálavou účinnost a výrazně šetří náklady na provoz. Pořizovací náklady budou tedy vyšší, ale z hlediska úspor při provozu se nám toto řešení vyplatí. Na obrázku 65 je zobrazen světlý zářič SupraSchwank.



*Obr. 65 Světly zářič SupraSchwank*

Jak již bylo řečeno tento světlý zářič má velmi vysokou otopnou i sálavou účinnost. Toho je dosaženo především díky kvalitní konstrukci. Mezi hlavní přednosti a výhody tohoto zářiče patří:

- Účinnost více jak 80 %
- Úspora energie až o 50 % ve srovnání se standardními přístroji
- Keramická izolace pro zvýšení využití energie
- Patentovaná delta mísící komora pro účinné a čisté hoření
- Mřížka z kvalitní oceli pro zvýšení tepelného výkonu
- Efektivní keramické desky Schwank
- Možnost dvoustupňového nebo plynule modulovaného výkonu
- Kombinované sálání pro vyšší sálavou účinnost
- Rychlé doby ohřevu
- Dlouhá životnost a vysoký komfort

V následujícím obrázku 66 je uvedena tabulka, která obsahuje základní technické parametry všech modelů světlych zářičů z řady SupraSchwank.

|                                |                         | supraSchwank 10               | supraSchwank 15               | supraSchwank 20               | supraSchwank 30               | supraSchwank 40               |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Jmenovitý tepelný příkon* [kW] | zemní plyn H            | 7,7                           | 11,5                          | 15,4                          | 23,1                          | 30,8                          |
|                                | propan                  | 7,7                           | 11,5                          | 15,4                          | 23,1                          | 30,8                          |
| Spotřeba plynu **              | zemní plyn H            | 0,77 / 0,90 m <sup>3</sup> /h | 1,15 / 1,34 m <sup>3</sup> /h | 1,54 / 1,80 m <sup>3</sup> /h | 2,32 / 2,70 m <sup>3</sup> /h | 3,08 / 3,59 m <sup>3</sup> /h |
|                                | propan                  | 0,60 kg/h                     | 0,90 kg/h                     | 1,20 kg/h                     | 1,80 kg/h                     | 2,40 kg/h                     |
| Hmotnost [kg]                  | zářič                   | 17,0                          | 22,4                          | 29,0                          | 38,0                          | 46,0                          |
|                                | regulace                | 1,4                           | 1,4                           | 1,4                           | 1,4                           | 2,3                           |
| Rozměry [mm]                   | délka L2                | 629                           | 906                           | 1184                          | 1738                          | 1181                          |
|                                | rozměry pro zavěšení L1 | 553                           | 830                           | 1108                          | 1662                          | 1108                          |
| CE-identifikace                |                         | CE-0085AU0376                 |                               |                               |                               |                               |

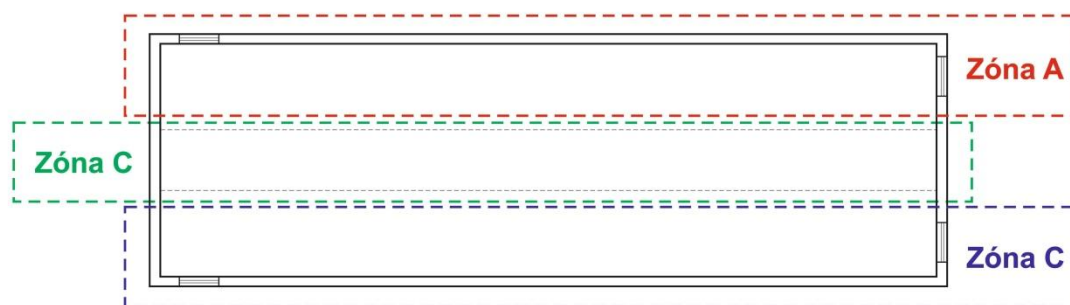
\* Jmenovitý výkon je vztažen na výhřevnost  $H_{in}$  použitého plynu

\*\* Vztaženo na výhřevnost: zemní plyn H:  $H_{in} = 9,97 \text{ kWh/m}^3$  propan:  $H_{in} = 12,87 \text{ kWh/kg}$  (při 0°C / 1013 mbar)

Obr. 66 Parametry světlyho zářiče SupraSchwank

### 8.3 Zónování budovy

Než přistoupíme k rozmístění jednotlivých zářičů, je důležité provést tzv. zónování budovy. Tím máme na mysli rozdělení budovy z hlediska tepelných ztrát na jednotlivé zóny (úseky). Podle velikosti tepelných ztrát v jednotlivých zónách potom budeme vycházet při rozmístování zářičů v budově. V našem případě uvažujeme pouze horizontální zónování objektu. Vertikální zónování (po výšce objektu) nemá v případě použití sálavých zářičů velký význam. Budovu jsme tedy rozdělili na 3 základní zóny (A, B a C). Na obrázku 67 je zobrazeno rozdělení těchto zón.



Obr. 67 Rozdělení zón v objektu (půdorys)

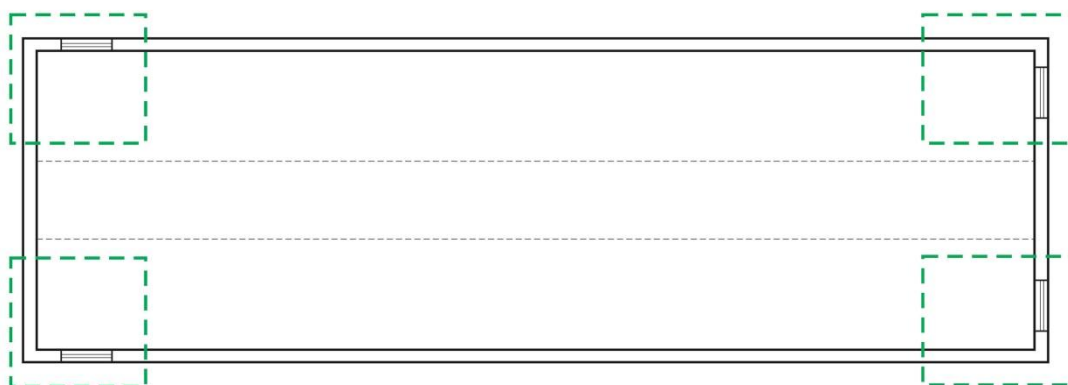
Zóny jsou zde označeny barevně. Otvory ve zdech znázorňují ocelová vrata a dveře. Dvě černé, čárkované čáry uprostřed půdorysu průmyslové haly znázorňují umístění střešního skleněného světlíku.

Největší předpoklad tepelné ztráty můžeme očekávat v zónách A a C. Tyto dvě zóny mají totiž nejvíce prvků, které sousedí s vnějším okolím (stěny, prosklené části, ocelová vrata, strop, atd.). Naopak u zóny C se dá očekávat menší tepelná ztráta. Tato zóna má minimum ploch sousedících s venkovním prostředím. Jedinou větší ztrátu v této zóně tak bude tvořit skleněný světlík. V tabulce 38 jsou uvedeny tepelné ztráty jednotlivých zón naší průmyslové haly.

Tab. 38 Tepelné ztráty jednotlivých zón

| Zóna        | Tepelná ztráta [kW] | Tepelná ztráta [%] |
|-------------|---------------------|--------------------|
| Celá budova | 562,4               | 100                |
| Zóna A      | 240,2               | 42,7               |
| Zóna B      | 82                  | 14,6               |
| Zóna C      | 240,2               | 42,7               |

Jak můžeme vidět, tepelná ztráta v zóně B činí jen necelých 15 %. Při rozmísťování světelných zářičů bychom na to měli brát ohled. Zářiče by měli být soustředěny tak, aby směr jejich jádrového (hlavního) sálání byl soustředěn spíše do zón A a C. Na obrázku 68 je rozdělení budovy do sektorů.

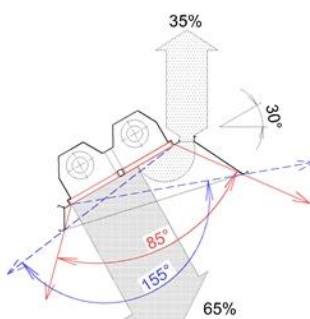


Obr. 68 Sektory průmyslové haly (půdorys)

Pozornost bychom také měli věnovat oblastem, kde je možnost zvýšeného úniku tepla. Proto byly v budově vyčleněny tyto sektory. Jsou to místa, kde se nachází vrata nebo dveře. Častým otevíráním vrat může v těchto místech vznikat výrazná tepelná ztráta, která může způsobit nedostatečnou teplotu v pracovním prostředí. Řešením bude to, že v těchto sektorech umístíme zářiče s vyšším výkonem než v ostatních místech budovy. Zářič s vyšším výkonem tak bude schopen rychleji zareagovat na změnu teploty ve vytápěném prostoru.

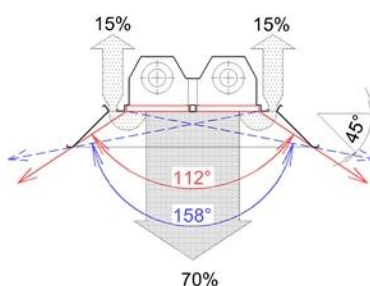
## 8.4 Rozmíst'ování zářičů

V této kapitole budeme částečně vycházet ze zón, na které byl náš objekt rozdělen. Stavíme zde výšku zavěšení panelu, odstup panelů od stěn a jiné vzdálenosti. Tyto parametry budou pak součástí výpočtu tepelného výkonu zářičů. Nejdříve si musíme rozmyslet, jaký bude sklon zářiče. Při naklonění zářičů se většinou doporučuje volit úhel  $30^\circ$ . Nakloněním zářiče však mírně zmenšíme dosah sálání a taky zvýšíme ztrátu tepla. Následující procentuální hodnoty, uvedené na obrázcích 69 a 70 nejsou shodné s naším typem světlého zářiče. Nicméně k poklesu dochází u všech světlých zářičů, jen se liší hodnota poklesu.



Obr. 69 Šikmé umístění

Pokud umístím zářič ve vodorovné poloze. Hodnota sálavé intenzity a úhlu jádrového sálání se bude rovnat tabulkovým hodnotám výrobce. Na obrázku 70 je světlá zářič ve vodorovné poloze.

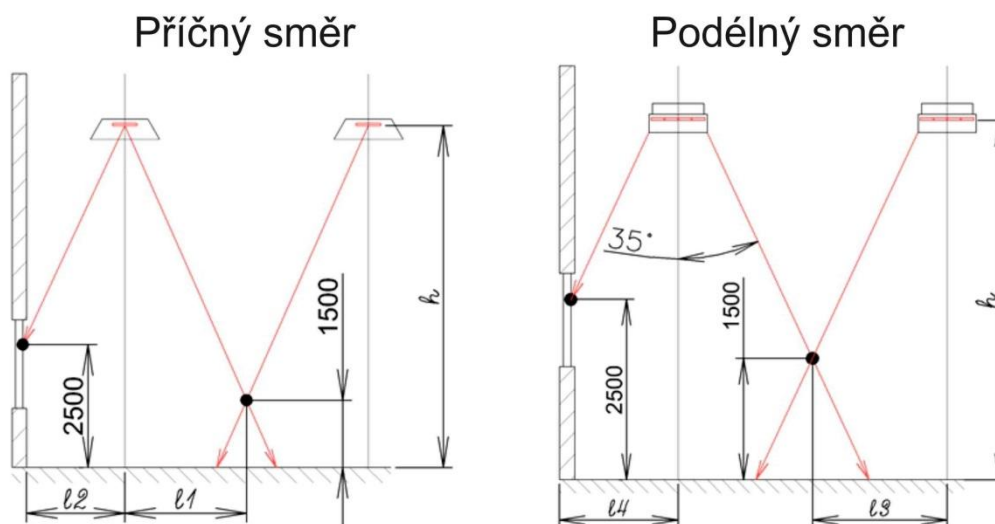


Obr. 70 Vodorovné umístění

Jak může vidět hodnota účinnosti jádrového sálání pro tento typ zářiče, se pouhou změnou zavěšení zvýšila o 5 %. Tato hodnota se nejeví jako příliš závratná. To je však pouze zdání, při větším počtu zářičů můžeme dosáhnout výrazné úspory energie.

Při volbě sklonu zářičů se nemůžeme řídit jen podle procentuálních vyjádření. Musíme také zvážit jiné aspekty. Pokud se lidé v pracovním prostředí příliš nepohybují (např. lidé u pásu), je výhodné zvolit šikmé zavěšení zářičů. Záření ze šikmého zářiče totiž dopadá na větší část povrchu člověka, a tím ho víc zahřívá. Pokud se však lidé v pracovním prostředí často pohybují, je výhodnější zvolit vodorovné zavěšení zářiče. Protože tím pokryjeme větší pracovní plochu. Volba sklonu zářiče se nedá jednoznačně určit podle tabulkových hodnot nebo procentuálního vyjádření. Vždy závisí na konkrétním případě, záleží tedy na rozhodnutí projektanta. Variantu šikmého umístění jsme se rozhodli zamítnout kvůli jeřábové dráze a již zmíněné nižší účinnosti. V našem případě zvolíme vodorovné zavěšení světlych zářičů.

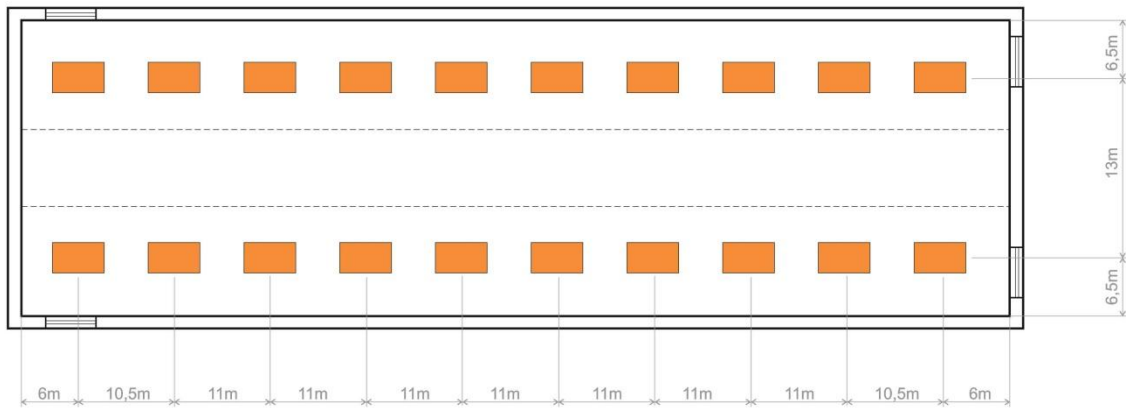
Nyní můžeme přistoupit k samotnému rozmístování zářičů v naší hale. Návodů i různých programů na rozmístění zářičů existuje mnoho. My použijeme návod rozmístění podle výrobce. Rozmístování zářičů se řídí podle geometrie jejich sálání. Na obrázku 71 je zobrazen princip rozmístování zářičů.



Obr. 71 Geometrie rozmístování zářičů

Vzdálenost jádrového sálání zářiče by měla vždy dosahovat do 2,5 m výšky obvodové zdi. V našem případě dosahuje záření na obvodové stěny do výšky 2,7 m. Další podmínkou je, aby se záření od jednotlivých zářičů setkávala v minimální výšce 1,5 m. Pro naši průmyslovou halu jsme zvolili 2 řady zářičů, umístěných v zónách A a C (u obvodových stěn).

Sálání těchto řad se v našem případě setkává ve výšce téměř 2 m. Zářiče jsou zavěšeny ve výšce 10 m. Rozmístění a celkové vzdálenosti jednotlivých zářičů jsou uvedeny na obrázku 72.



Obr. 72 Rozmístění světelných zářičů

## 8.5 Stanovení výkonu zářičů

Nyní můžeme přistoupit k určení potřebného výkonu světelných zářičů. Při výpočtu se budeme řídit vztahy, uvedenými v topenářské příručce. [14]

$$Q_{instal} = \frac{C_1 \cdot (t_g + t_{ev}) \cdot A \cdot Q_{celk}}{0,014 \cdot \varepsilon_k \cdot (t_g + t_{ev}) \cdot A + f \cdot Q_{celk}} \quad (50)$$

$Q_{instal}$  – potřebný instalovaný výkon světelných zářičů [kW]

$Q_{celk}$  – celková potřeba tepla [kW]

$t_g$  – výsledná teplota ve vytápěném prostoru [°C]

$t_{ev}$  – venkovní výpočtová teplota [°C]

$A$  – podlahová plocha objektu [m<sup>2</sup>]

$C_1$  – koeficient druhu zářiče (v našem případě je to hodnota 0,0098) [-]

$\varepsilon_k$  – součinitel využití spalin (nepřímý odvod  $\varepsilon = 0,95$ ) [-]

$f$  – součinitel závislý na typu zářiče a jeho umístění (zavěšení) [-]

$$f = \eta_s \cdot \Phi \cdot A_s \cdot K \quad (51)$$

$f$  – součinitel závislý na typu zářiče a jeho umístění (zavěšení) [-]

$\eta_s$  – sálavá účinnost zářiče (v našem případě 0,82) [-]

$A_s$  – absorpce (v našem případě 0,85) [-]

$K$  – konstanta zářiče (v našem případě 0,7) [-]

$\Phi$  – střední sálavý účinek závislý na poloze zářiče (v našem případě 0,4)

Dosazením do vztahů 50 a 51 získáme hodnotu minimálního potřebného instalovaného výkonu světlych zářičů ( $Q_{instal}$ ). Pro naši průmyslovou halu je tato hodnota 377,6 kW. Abychom dostali minimální výkon pro jeden zářič, musíme tuto hodnotu podělit počtem navržených zářičů.

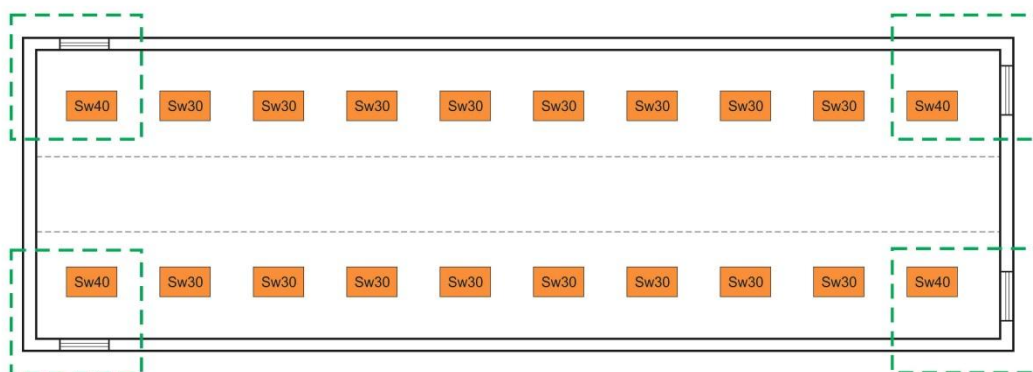
$$Q_{zářič} = \frac{Q_{instal}}{n} \quad (52)$$

$Q_{instal}$  – potřebný instalovaný výkon světlych zářičů [kW]

$Q_{zářič}$  – potřebný instalovaný výkon jednoho světlyho zářiče [kW]

$n$  – navržený počet zářičů ( $n = 20$ )

Minimální výkon světlyho zářiče je tedy 18,88 kW. Podle této hodnoty musíme vybrat z katalogu výrobce vhodné zářiče. V katalogu jen zřídka kdy najdeme zářič přesně se stejným výkonem, jaký jsme vypočetli. Snažíme se proto vždy vybrat zářič, který má o něco málo vyšší výkon, než který jsme vypočetli. V žádném případě však nesmíme vybrat zářič s nižším výkonem, mohlo by pak dojít k nedostatečnému vytápění objektu. Pro naši průmyslovou halu jsme z katalogu vybrali 16 zářičů Supraschwank 30, s výkonem 20,8 kW a 4 zářiče Supraschwank 40, s výkonem 27,8 kW. Skutečný instalovaný výkon světlych zářičů v hale je tedy 444 kW. Na obrázku 73 je konečné rozmístění světlych zářičů v naší průmyslové budově.



Obr. 73 Konečné rozmístění světlych zářičů

Zářiče byly tedy instalovány ve dvou řadách po 10 kusech do zón A a C. Do sektorů (zelená oblast na obrázku 73) u vrat byly umístěny zářiče Supraschwank 40, které mají vyšší výkon.

## 8.6 Kontrola intenzity sálání

Intenzita sálání popisuje výměnu tepla sáláním mezi plochami prostoru a lidským tělem. Udává nám množství sálavé energie, které dopadne na jednotku podlahové plochy ( $1 \text{ m}^2$ ). Zejména při použití sálavých systému je nutné ověřit, zda naše hodnota vyhovuje hygienickým požadavkům. Intenzita sálání na temeno hlavy člověka v uzavřených prostorech by neměla překročit  $200 \text{ W}$  na jeden metr plochy. Je to maximální intenzita, které může být člověk trvale vystaven. Měří se v úrovni ramen, tedy zhruba ve výšce  $1,5 \text{ m}$  nad podlahou. Výpočet intenzity sálání se provede podle vztahu 53 a 54.

$$I_s = \frac{f \cdot Q_{skut} \cdot 1000}{A} \quad (53)$$

$I_s$  – intenzita sálání [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$Q_{skut}$  – skutečný výkon světlych zářičů, instalovaných v hale [kW]

$f$  – součinitel zohledňující osazení zářiče v prostoru [-]

$A$  – plocha

$$f' = \eta_s \cdot \Phi \cdot A_s \quad (54)$$

$f'$  – součinitel zohledňující osazení zářiče v prostoru [-]

$\eta_s$  – sálavá účinnost zářiče (v našem případě 0,82) [-]

$A_s$  – absorpce (v našem případě 0,85) [-]

$\Phi$  – střední sálavý účinek závislý na poloze zářiče (v našem případě 0,4)

Intenzita sálání v naší průmyslové hale má hodnotu 45 W/m<sup>2</sup>. V některých místech bude intenzita sálání ještě o něco větší, protože záření jednotlivých zářičů se překrývají. Nicméně naše hodnota splňuje hygienické požadavky. V případě, že by intenzita sálání tomuto požadavku nevyhovovala, je možné intenzitu snížit pouhým zvětšením výšky zavěšení zářičů.

## 8.7 Odvod spalin

Světlé infrazářiče produkují menší množství spalin než zářiče tmavé. Přímý odvod spalin proto není nutný. Musíme však zajistit nepřímý odvod spalin. V projekčních podkladech výrobce najdeme technické parametry k jednotlivým zářičům. Z těchto parametrů musíme určit celkovou produkci spalin a minimální množství odváděného vzduchu. V tabulce 39 jsou uvedeny základní podklady k výpočtu.

Tab. 39 Parametry zářičů

| Veličina                             | Hodnota                 |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Spotřeba zemního plynu 1 zářiče SW30 | 2,32 m <sup>3</sup> /h  |
| Spotřeba zemního plynu 1 zářiče SW40 | 3,08 m <sup>3</sup> /h  |
| Celková spotřeba zemního plynu       | 49,44 m <sup>3</sup> /h |
| Celková produkce spalin              | 544 m <sup>3</sup> /h   |
| Maximální produkce CO                | 6528 mg/h               |
| Maximální produkce NO <sub>x</sub>   | 4352 mg/h               |

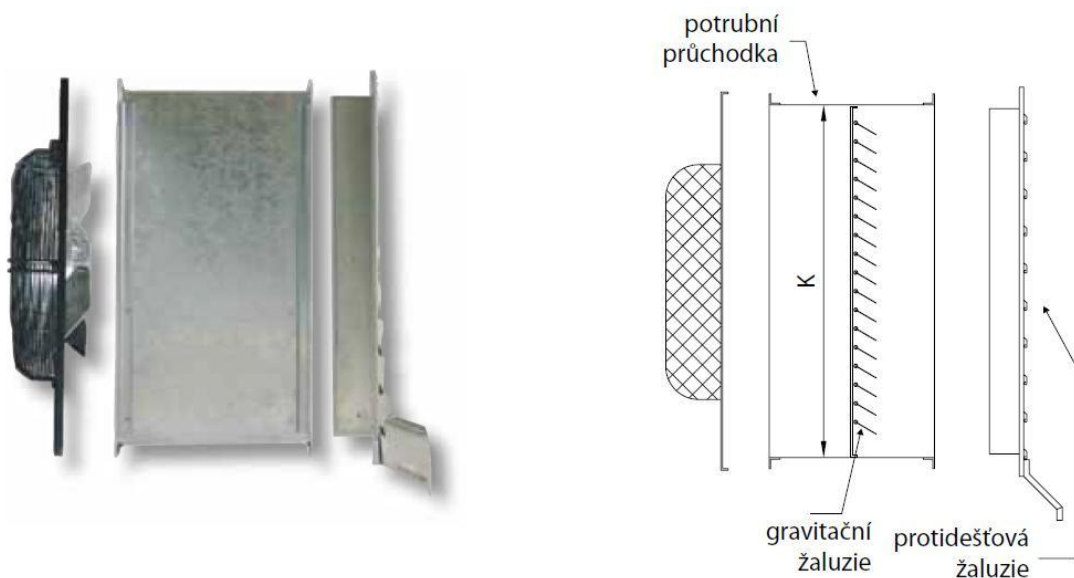
Podle těchto parametrů bylo stanoveno minimální množství vzduchu. Potřebného pro odvod spalin na 4440 m<sup>3</sup>/h.

Při správném odvětrávání může v prostoru haly podle výrobce zůstat maximálně 5 % z celkového množství spalin. Nyní je potřeba zjistit zda naše hodnoty vyhovují vyhlášce MZD č.6/2003 Sb. Zbytkové množství škodlivin musí vyhovovat vztahům 55 a 56. Množství CO musí vyhovovat vztahu 55 a množství NO<sub>x</sub> vztahu 56.

$$CO_{uvnitř} + CO_{venkovní} \leq 5 \text{ mg/m}^3 \quad (55)$$

$$NO_{x\_uvnitř} + NO_{x\_venkovní} \leq 0,1 \text{ mg/m}^3 \quad (56)$$

Zbytková hodnota škodlivin v naší hale má hodnotu 0,673 mg/m<sup>3</sup> pro CO a 0,07 mg/m<sup>3</sup> pro NO<sub>x</sub>. Obě hodnoty tedy tyto požadavky splňují. Odvod spalin je zajištěn 14 axiálními ventilátory od firmy Lersen. Pro odvod spalin od světlych zářičů se doporučuje umísťovat ventilátory v nejvyšších místech budovy. V našem případě jsou ventilátory rovnoměrně rozmístěny v obou stěnách světlíku.



Obr. 74 Axiální ventilátor Lersen

Tento ventilátor má regulovatelné otáčky. Průtočné množství vzduchu přes jeden ventilátor je 1 350 m<sup>3</sup>/h. Celkově je tedy možné z haly odvádět až 18 900 m<sup>3</sup>/h vzduchu. V případě potřeby můžeme tedy odvádět až čtyřnásobné množství spalin. Pokud by se v budoucnu měl do haly instalovat nový stroj s velkou produkcí spalin, náš odvětrávací systém bude dostačující. Počet ventilátorů je dimenzován na odvod vzduchu v letním období.

## 8.8 Doplnkové zdroje tepla

V případě, že použité vytápění není dostatečné nebo v případě poruchy je výhodné mít dodatečný zdroj tepla. Zaměstnancům je nutné zajistit vyhovující pracovní podmínky. V případě poruchy primárního zdroje tepla nebo extrémně nízkých teplot nemusíme přerušit výrobu, stačí nám uvést do chodu sekundární zdroj tepla. V této kapitole jsou popsány doplňkové zdroje tepla, které byly vybrány pro naši průmyslovou halu.

### 8.8.1 Teplovzdušná kondenzační jednotka

Světlé zářiče jsou sice pro vytápění v naší hale dostatečné, ale je potřeba zajistit doplňkový (nebo rezervní) zdroj tepla. Jako doplňkový zdroj tepla byla vybrána teplovzdušná kondenzační jednotka Robur G30. Tato jednotka obsahuje unikátní výměník tepla a tím tak dosahuje účinnost až 105 %.



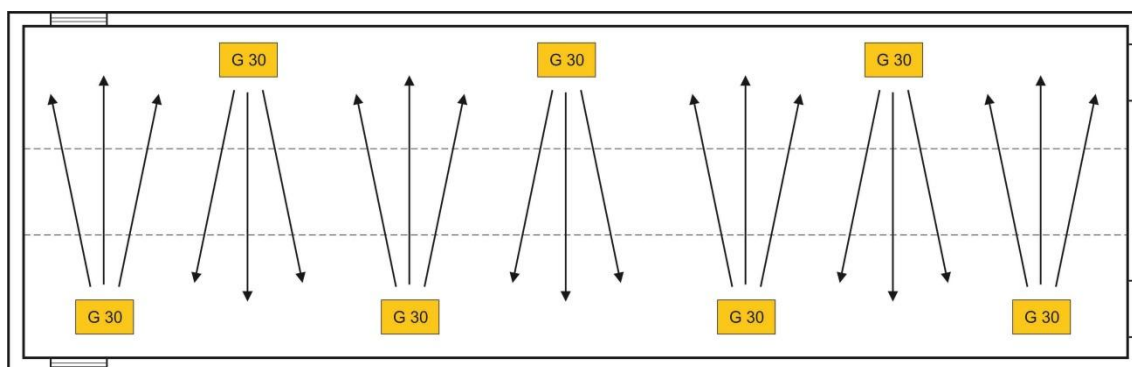
Obr. 75 Teplovzdušná jednotka Robur G30

Technické parametry této jednotky jsou uvedeny v tabulce 40.

Tab. 40 Technické parametry jednotky Robur G30

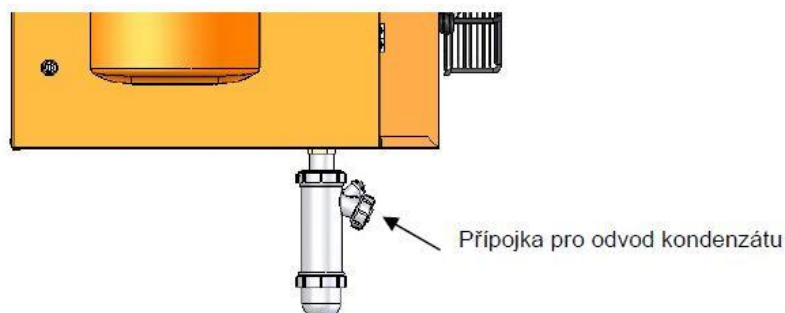
|                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| Tepelný výkon            | 29,2 kW                |
| Účinnost                 | 105,3 %                |
| Spotřeba zemního plynu   | 3,17 m <sup>3</sup> /h |
| Maximální průtok vzduchu | 2700 m <sup>3</sup> /h |
| Hlučnost                 | 59 dB                  |
| Dosah proudu vzduchu     | 18 m                   |
| Hmotnost                 | 55 kg                  |

Tato teplovzdušná jednotka byla vybrána díky své vysoké účinnosti a jednoduché konstrukci. Dosah této jednotky je 18 m. Vzhledem k tomu, že maximální šířka naší průmyslové haly je 16 m, rovnoměrné rozmístování jednotek (proti sobě na stejné úrovni), na obou obvodových stěnách nemá smysl. Pro naše účely postačí střídavé rozmístění jednotek na obou obvodových stěnách. Celkově bylo použito 7 teplovzdušných jednotek Robur G30. Každá jednotka byla instalovaná ve výšce 2,9 m, s odstupem 0,7 m od obvodových stěn. Konečné rozmístění těchto jednotek je na obrázku 76.



Obr. 76 Rozmístění teplovzdušných jednotek Robur (půdorys)

Tato jednotka je kondenzační, je proto nutné zajistit odvod kondenzátu. Kondenzační agregát vyžaduje trvalý odvod kondenzátu. Kondenzát od spalin zemního plynu má kyselost odpovídající pH 5 (hodnota shodná s dešťovou vodou). Z ekologického hlediska tedy žádné nebezpečí nehrozí. Kondenzát z jednotlivého agregátu lze napojit přímo na kanalizační síť bez dalšího opatření. Každá jednotka je na spodní straně vybavena sifonem pro odvod kondenzátu. V našem případě budeme tedy kondenzát odvádět plastovým potrubím (měď a železo nejsou vhodné pro odvod kondenzátu) přes tento sifon přímo do kanalizace.



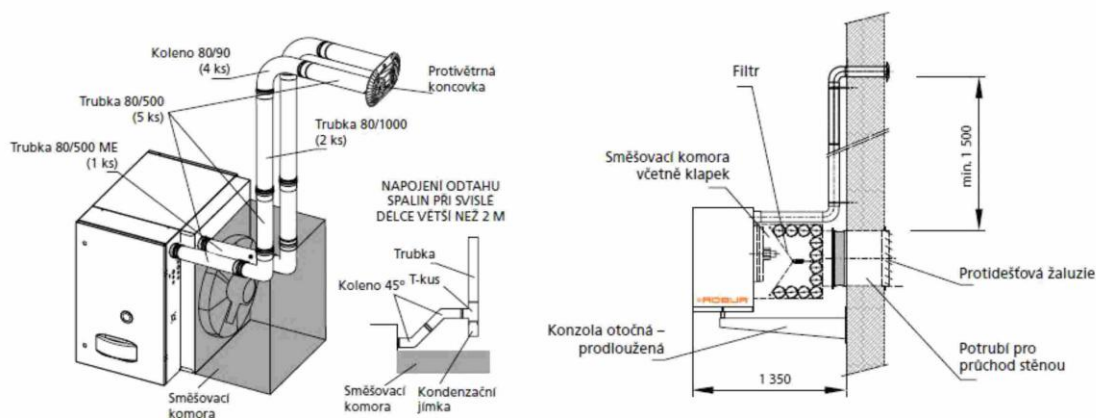
Obr. 77 Odvod kondenzátu

Palivem pro tuto teplovzdušnou jednotku je zemní plyn. Spalováním zemního plynu vznikají škodliviny. Podle množství vzniklých škodlivin je nutné zvážit, zda je možné použít nenucený odvod vzduchu nebo musíme použít nucený odvod. Zemní plyn obvykle obsahuje zhruba 98,5 % metanu ( $\text{CH}_4$ ). Spalování zemního plynu si tedy můžeme zjednodušeně představit jako spalování metanu. Rovnice spalování tedy vypadá následovně vztah 57.



Spalujeme tedy metan ( $\text{CH}_4$ ) spolu se vzduchem ( $\text{O}_2 + \text{N}_2$ ). Výstupem je tedy směs oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ), vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a dusíku ( $\text{N}_2$ ). Provedením hmotnostní bilance zjistíme, že pro spálení 1 kg zemního plynu je zapotřebí 17,9 kg vzduchu a vzniká přibližně 16,6 kg spalin a 2,22 kg vlhkosti. Tyto hodnoty jsou však závislé na parametrech přístroje. Přesné množství spalin obvykle udává výrobce.

Spotřeba zemního plynu jedné teplovzdušné jednotky je v našem případě  $3,17 \text{ m}^3/\text{h}$ , produkce spalin je tedy  $52,6 \text{ kg/h}$ . Výrobce udává hodnotu  $52 \text{ kg/h}$ , výpočet je tedy správný. Celková produkce spalin všech teplovzdušných jednotek je  $368 \text{ kg}$  za hodinu. Z tohoto výpočtu jasně vyplývá, že není možné použít nenucený odvod spalin. Využijeme tedy nucený odvod spalin přes stěnu. Ke každé jednotce je dokoupena směšovací komora, která je zobrazena na obrázku 78.



Obr. 78 Přívod vzduchu a odvod spalin

Díky této komoře můžeme splnit i požadavky na přívod čerstvého vzduchu. Tato komora je vybavena regulační klapkou, pomocí které můžeme řídit poměr cirkulačního a čerstvého vzduchu. Spaliny jsou odváděny vývodem s protidešťovou žaluzií, přímo přes stěnu. Čerstvý vzduch je nasáván pomocí potrubí, které musí být umístěno minimálně 1,5 m od vývodu spalin.

Jak již bylo zmíněno, při teplovzdušném vytápění se teplý vzduch hromadí u stropu budovy a vznikají tepelné ztráty. Tyto ztráty však můžeme snížit použitím podstropního destratifikátoru. Tyto jednotky se používají zejména v objektech s vysokou výškou stropu. Destratifikátor vrací ohřátý vzduch od stropu haly zpět do pracovního prostoru. Pod střechou se teplota snižuje a tím se zmenšují tepelné ztráty.

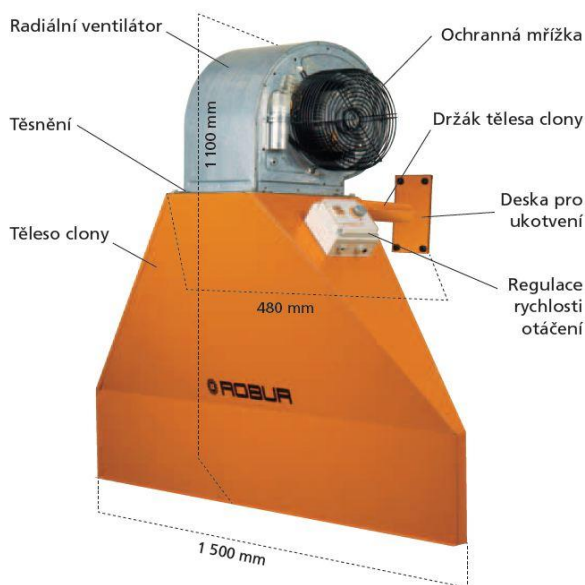


*Obr. 79 Podstropní destratifikátor Lersen*

Do naší průmyslové haly bylo instalováno 10 těchto jednotek Lersen AM 5500. Tyto destratifikátory byly rovnoměrně umístěny po celé délce, doprostřed haly (zóna B). Každá jednotka je zavěšená ve vzdálenosti 2,2 m od stropu haly. Jedna jednotka pokryje 81 m<sup>2</sup> plochy, celkově tedy je v naší hale pokryto 810 m<sup>2</sup>. Není nutné, abychom pokryli celou plochu haly. Proudění z destratifikátoru lze směřovat, stačí tedy, abychom toto proudění nasměrovali přímo na pracoviště. V letním období lze s těmito zařízením možno i větrat a ochlazovat halu.

### 8.8.2 Vratová clona

Posledním teplovzdušným zdrojem, který je potřeba do naší haly instalovat jsou vratové clony. Pokud se totiž v zimním období budou vrata často otvírat, může docházet k výrazným ztrátám tepla. Tato vratová clona uniku tepla z budovy zamezí. Vybrána byla vratová clona R4S, od firmy Robur.



Obr. 80 Vratová clona Robur

Tato clona obsahuje výkonný ventilátor s regulovatelnými otáčkami, jehož způsob zapínání je možno zvolit podle potřeby (např. při každém otevření vrat). Ventilátor nasává vzduch z horních vrstev vyhřívaného prostoru a pomocí dlouhé úzké trysky ho vhání do vstupního prostoru vrat. Polohovací konzola umožňuje nastavit úhel výstupní trysky podle charakteru vrat. Pokud máme vrata větších rozměrů (naš případ) lze použít více těchto clon. Maximální průtok vzduchu přes jednu clonu je až 3200 m<sup>3</sup>/h, při čemž tato clona může vyvinout rychlost vzduchu až 94 km/h.

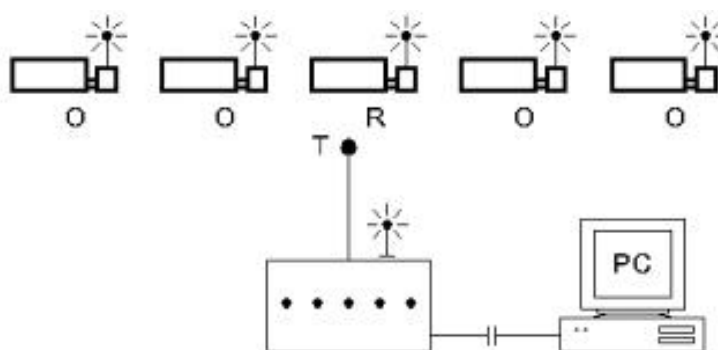
## 8.9 Regulace vytápěcích zdrojů

Regulace je jednou z nejdůležitějších částí návrhu vytápěcího systému. Pokud použijeme špatný druh regulace, můžeme i z dobře navrženého systému vytvořit velmi neekonomický systém. V naší průmyslové hale jsou instalovány 2 vytápěcí systémy, sálavý a teplovzdušný. Systém je tedy předimenzován, v běžném provozu by byl použit pouze jeden systém.

### 8.9.1 Regulace světlych zářičů

V případě světlych zářičů byla použita bezdrátová regulace. Každý zářič obsahuje bezdrátový přijímač, vysílač je umístěn v obslužném místě pracovního prostředí. Není proto nutné instalovat kabelové rozvody k zářičům. Bezdrátová regulace má proti kabelovým rozvodům výhodu, že můžeme ovládat jakýkoliv zářič (ne jen jednotlivé sekce). Tento způsob by byl možný i u kabelové regulace, ale byl by poněkud nákladnější.

Celkově je tedy možné bezdrátově ovládat všech 20 zářičů. Obvykle se určí jeden zářič jako referenční. Pod tímto zářičem je umístěno čidlo, které vyhodnocuje výslednou teplotu a účinnost dopadající energie. Tento zářič však nesmí být odstaven, nebyla by zajištěna regulace systému. V našem případě použijeme 2 referenční zářiče. Pokud tedy budeme chtít část zářičů vypnout kvůli úspoře tepla a referenční zářič bude mezi nimi, zůstane nám ještě druhý referenční zářič, který zajistí regulaci zbytku systému.



Obr. 81 Schéma bezdrátové regulace

Čidla, které snímají výslednou teplotu vzduchu, jsou také umístěna u každých vrat. Pokud tedy teplota v těchto sektorech poklesne, regulátor dá pokyn světlym zářičům umístěným u těchto vrat ke zvýšení výkonu. V případě, že jsou spuštěny světlé zářiče, automaticky se spouští i obvodové ventilátory pro odvod spalin. Otáčky těchto ventilátorů se dají regulovat, podle toho kolik světlych zářičů je v provozu.

Regulace světlych zářičů v naší průmyslové hale je zajištěná regulátorem Thermo Control Plus, opět od firmy Schwank. Ovládání je možné ručně přes obslužný panel (obrázek 82), který je umístěn přímo v hale nebo ze vzdálenějšího místa, pomocí počítače.



*Obr. 82 Ovládací panel Schwank*

Tento ovládací panel je konstruován tak aby odolal základním škodlivým vlivům (nečistoty, prach atd.), vyskytujících se v průmyslovém prostředí. Je také vybaven bezpečnostními dvířkami na klíč. Tím je zabezpečeno, že ovládat světlé zářiče můžou jen oprávněné osoby (osoby s klíčem). Pomocí tohoto panelu můžeme zapínat a vypínat jednotlivé zářiče, nastavovat jejich výkon a mnohé další. Je zde také různé množství přednastavených funkcí (časovač vypnutí zářičů, režim noc a den, automatická regulace pomocí teploty prostředí atd.)

### 8.9.2 Regulace teplovzdušných jednotek

V případě teplovzdušných jednotek je regulace provedena pomocí kabelových rozvodů. Jednotky jsou umístěny v dostupné výšce a jejich počet není vysoký, proto je použito liniového rozvodu. Každou jednotku je tedy možné ovládat samostatně. Tyto jednotky mohou být použity samostatně nebo v kombinaci se světlymi zářiči. Pokud jsou použity jako primární zdroj pro vytápění, automaticky se spouští podstropní destratifikátory, které zajistí lepší účinnost celého teplovzdušného systému. Pokud jsou ovšem použity jako doplňkový zdroj ke světlym zářičům, nesmí být podstropní destratifikátory zapnuty. Mohla by totiž nastat kolizní situace při odvodu vzduchu s odťahovými ventilátory. Spaliny od světlych zářičů, odváděné odťahovými ventilátory by mohly být svedeny zpět do pracovního prostoru, právě díky podstropním destratifikátorům.

Regulace vzduchotechnických clon u vrat sousedících s venkovním prostředím je velmi jednoduchá. Sleduje se venkovní teplota a otevírání vrat. Pokud je venkovní teplota nízká, regulátor zařídí spuštění vratových clon vždy při otevření vrat. V závislosti na těchto parametrech je také zvolena intenzita proudění z této clony. Jediné co nelze regulovat je teplota nasávaného vzduchu, ta je stejná jako teplota vzduchu v průmyslové hale.

Řízení všech teplovzdušných jednotek v naší průmyslové hale zabezpečuje regulační systém od firmy Robur. Přimo v hale je umístěn ovládací panel (obrázek 83), přes který je možné tyto prvky ovládat. Tento panel obsahuje dotykový LCD displej, přes který se celý systém ovládá. Na jeden ovládací panel můžeme připojit až 64 jednotek. Komunikace probíhá přes kabel RS 485.



Obr. 83 Ovládací panel Robur

## 9 VĚTRÁNÍ OBJEKTU

Do každého objektu je z hygienických důvodů nutné přivádět určité množství čerstvého vzduchu. Množství vzduchu se liší podle typu objektu, způsobu vytápění, počtu lidí, množství vznikajících škodlivin atd. V našem objektu se průměrně pohybuje asi 4 až 6 pracovníků. Minimální množství větracího vzduchu pro pracovníky stanovíme ze vztahu 58. [21]

$$V_p = n \cdot V_{osoba} \quad (58)$$

$V_p$  – minimální množství větracího vzduchu pro osoby [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$V_{osoba}$  – dávka čerstvého vzduchu pro 1 osobu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$n$  – počet osob

Z důvodu rezervy stanovíme počet osob na 10. V případě, že dojde k dočasnému zvýšení počtu osob na pracovišti, nebudeme muset zvyšovat průtok čerstvého vzduchu. Dávka vzduchu na osobu činí  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , toto je ovšem pouze obecná hodnota. Množství větracího vzduchu závisí na činnosti pracovníka a také na jeho oblečení. Pro zaměstnance v naší průmyslové hale je hodnota čerstvého vzduchu  $70 \text{ m}^3/\text{h}$ . V případě, že je dovoleno kouření (náš případ), je nutné dávku zvýšit o  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ . Konečná dávka na jednu osobu v naší průmyslové hale tedy činí  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ . Po dosažení těchto hodnot je celkové minimální množství čerstvého vzduchu pro pracovníky rovno  $800 \text{ m}^3/\text{h}$ . [21]

### 9.1 Větrání v zimním období

V zimním období se snažíme do objektu přivádět pouze minimální požadované množství čerstvého vzduchu. Čerstvý vzduch se přivádí z vnějšího (venkovního) prostředí a to má v zimním období nižší teplotu vzduchu než je teplota vnitřního vzduchu. Z toho vyplývá, že přívodem tohoto čerstvého vzduchu ochlazujeme vzduch v hale. Pokud do budovy přivádíme vzduch, musíme stejné množství vzduchu také odvádět, aby byl v budově zachován normální tlak. V zimním období vzduch odvádíme přes odtahové ventilátory, umístěné ve střešním světlíku.

V horní části budovy tedy odvádíme teplý vzduch a v dolní části přivádíme vzduch studený (čerstvý). Čím menší bude množství přiváděného čerstvého vzduchu, tím menší bude tepelná ztráta budovy a menší množství energie na vytápění. Není proto dobré zbytečně větrací systém předimenzovat. Hygienické limity však musí být za každou cenu splněny.

V našem objektu je vytápění realizováno především světlymi zářiči, které při svém provozu produkují škodliviny. Množství těchto škodlivin bylo vypočteno v kapitole 8.7. Potřebné množství větracího vzduchu pro odvod těchto spalin je asi 4 500 m<sup>3</sup>/h. Celkové množství přiváděného čerstvého vzduchu vypočteme ze vztahu 59.

$$V_{zima} = V_{škodliviny} + V_{osoby} \quad (59)$$

$V_{zima}$  – celkové potřebné množství čerstvého vzduchu v zimním období [m<sup>3</sup>/h]

$V_{škodliviny}$  – minimální množství větracího vzduchu potřebného pro odvod spalin [m<sup>3</sup>/h]

$V_{osoby}$  – minimální množství větracího vzduchu pro osoby [m<sup>3</sup>/h]

Dosazením našich hodnot zjistíme, že celkové potřebné množství čerstvého vzduchu v zimním období je 5 300 m<sup>3</sup>/h. Pokud bude ovšem vytápění realizováno pouze teplovzdušnými jednotkami, stačí pouze 800 m<sup>3</sup>/h čerstvého vzduchu.

V zimním období je přívod čerstvého vzduchu realizován teplovzdušnými jednotkami Robur. Přes tuto jednotku může být přiváděn pouze čerstvý vzduch (bez vytápění) nebo lze vzduch směřovat v směšovací komoře s cirkulačním vzduchem a následně jej ohřívat. To zaleží na tom, jaká bude potřeba na vytápění. Primárně budou vytápění zajišťovat světly zářiče a přes teplovzdušnou jednotku bude přiváděn pouze čerstvý vzduch (bez ohřevu). Pouze v případě poruchy světly zářičů nebo extrémně nízkých teplot bude v této teplovzdušné jednotce probíhat směšování a následně i ohřev přiváděného vzduchu.

Odvod vzduchu je realizován pomocí střešních odtahových ventilátorů, bez ohledu na to jaká vytápěcí soustava je použita. Mění se pouze množství odváděného vzduchu.

## 9.2 Větrání v letním období

Protože klimatizační jednotky jsou velmi drahé a v průmyslových budovách našeho typu se používají jen zřídka, bylo rozhodnuto od klimatizace upustit. Hlavní důvod proč odstoupit od klimatizace v našem objektu byl hlavně ekonomický. Chlazení pro naši budovu se proto pokusíme vyřešit aspoň provizorně tak, abychom museli vynaložit co nejméně nákladů.

V letním období má venkovní vzduch zpravidla menší teplotu, než je teplota vzduchu uvnitř budovy. Přívodem venkovního čerstvého vzduchu můžeme tedy do jisté míry ochlazovat budovu a zároveň tak splníme hygienické požadavky na výměnu vzduchu. Protože v letním období není halu potřeba vytápět, nevznikají v budově žádné škodliviny od světlych zářičů. Množství potřebného přiváděného čerstvého vzduchu se nám tak zmenší pouze na potřebné množství čerstvého vzduchu pro pracovníky. Celkové minimální množství přiváděného čerstvého vzduchu v letním období je tedy  $800 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Čerstvý vzduch bude v letním období do budovy přiváděn primárně teplovzdušnými jednotkami Robur. Tyto jednotky umožňují letní režim, při kterém je možné přivádět do budovy pouze čerstvý vzduch (bez ohřevu). Sekundární přívod vzduchu bude zajištěn otevřením všech 4 ocelových vrat, čerstvý vzduch tak bude do budovy alespoň částečně vnikat přes tyto otvory. Množství přivedeného vzduchu přes tyto otvory bude hlavně záležet na teplotním rozdílu venkovního a vnitřního vzduchu a na rychlosti proudění větru. Odvod vzduchu je v letním období zajištěn odtahovými ventilátory, umístěnými v konstrukci skleněného světlíku. Větrání (a částečné chlazení) budovy bude tedy zajištěno aerací. To znamená, že čerstvý studený vzduch je přiváděn do spodního prostoru budovy (místo pobytu pracovníků) a použitý vzduch je odváděn přes horní část budovy.

Při dimenzování vytápěcích systémů a systému odvodu spalin byl brán ohled i na možnost použití těchto jednotek v letním období. Celkově lze přes 7 teplovzdušných jednotek přivádět do budovy až  $18\,900 \text{ m}^3/\text{h}$  čerstvého vzduchu. Pomocí 14 odtahových ventilátorů můžeme odvádět také až  $18\,900 \text{ m}^3/\text{h}$  použitého vzduchu.

Tento větrací (chladicí) systém bude regulován podle rozdílu venkovní a vnitřní teploty vzduchu. Čím vyšší bude tento rozdíl, tím bude zvýšen i průtok vzduchu (regulace pomocí otáček ventilátorů). Vždy však bude dodrženo minimální množství přiváděného čerstvého vzduchu ( $800 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

## 10 OSVĚTLENÍ OBJEKTU

Stávající osvětlení v naší průmyslové hale je z hlediska světelných podmínek sice dostatečné, ale z hlediska úspory energie je velmi nevhodné. Životnost tohoto osvětlení se už také blíží ke konci. Nabízí se proto použití novějšího, úspornějšího řešení v podobě LED osvětlení. LED osvětlení je v dnešní době velmi populární díky své účinnosti a vysoké úspornosti. Na rozdíl od klasických zdrojů světla produkuje při své činnosti jen minimální množství tepla, téměř všechna energie se přeměňuje na světlo. Jedinou nevýhodou LED osvětlení je vysoká pořizovací cena jednotlivých zařízení.

Ve stávající hale je použito zhruba 80 závěsných lamp s výbojkou (400 W). Tyto lampy jsou umístěny na ocelové nosníky ve výšce zhruba 10 m. Na každém nosníku jsou umístěny 4 lampy. Vzhledem ke stávající elektro instalaci se nabízí možnost, vyměnit tyto výbojkové lampy za nové lampy s LED technologií. Vybrány byly lampy od českého výrobce Fedatex. Na obrázku 84 je zobrazena vybraná lampa.



*Obr. 84 Závěsná LED lampa*

Tato lampa má příkon 120 W a účinnost 0,95%. Svými vlastnostmi dokáže plně nahradit původní výbojky, s příkonem 400 W. Úspora energie bude tedy značná.

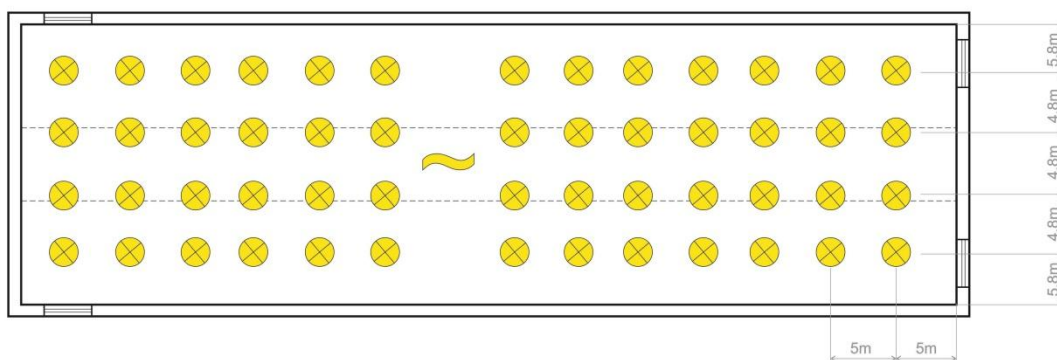
Technické parametry této závěsné lampy jsou uvedeny v tabulce 41.

Tab. 41 Parametry závěsné lampy Fedatex

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| Jmenovitý příkon   | 120 W          |
| Účinnost           | 95%            |
| Úhel paprsku       | 120°           |
| Světelný tok       | 9000 lm        |
| Barevná teplota    | 5000 až 6000 K |
| Životnost          | 50 000 h       |
| Světelná degradace | Max 25%        |

Rozmístění těchto lamp v naší průmyslové hale je tedy stejné jako původní. Liší se pouze v rozestupech na jednotlivých nosnících. Podle normy ČSN EN 12 464-1 je požadavek na osvětlení v našem průmyslovém prostředí 200 lx. Průměrná hodnota intenzity osvětlení, po instalaci nového osvětlení byla podle tokové metody vypočtena na hodnotu 255 lx. Minimální hodnotu osvětlení tedy splňujeme. [35]

Zařízení jsou zapojena tak, že v případě potřeby je možné je po částech odstavit a šetřit tak energii. Odstavení je možné však pouze po jednotlivých nosnících (4 lampy), není možné odpojit pouze jednu lampu. V případě potřeby (např. při rozšíření na dvousměnný provoz) lze dokoupit stmívač. Toto zařízení schopné podle světelných podmínek v hale regulovat intenzitu osvětlení. Touto regulací lze také dosáhnout energetických úspor. V našem případě je provoz pouze jednosměnný. Provozní doba v hale končí mezi 15 a 16 hodinou, nemá tedy pro nás velký význam toto zařízení pořizovat.



Obr. 85 Schématické rozmístění osvětlovacích lamp

## 11 SCADA VIZUALIZACE

Vizualizace obecně vytváří příjemné uživatelské prostředí a umožňuje uživateli rychlé a jednoduché ovládání regulovatelného systému. U rodinných domů, administrativních budov, bank a jiných zařízení se dbá na reprezentativnosti ovládání. To znamená, že samotný ovládací panel (obvykle LCD displej) musí mít moderní vzhled a uživatelské prostředí musí být graficky také velmi propracované. Ovládací panel je totiž obvykle umístěn v prostoru pobytu nebo výskytu osob.

U vizualizace v průmyslových budovách se klade důraz na úplně jiné parametry, nezáleží příliš na vzhledu ovladače nebo uživatelského prostředí. Ovládací panel pro regulaci systému by měl být hlavně odolný proti nečistotám a teplotním vlivům. Vizualizace uživatelského prostředí by měla být jednoduchá, snadno a rychle ovladatelná a hlavně přehledná. Animace a různé grafické efekty se ve vizualizaci, v průmyslovém prostředí nepoužívají.



Obr. 86 Uživatelské prostředí pro ohřev vody

Vizualizace uživatelského prostředí pro ohřev teplé vody je zobrazena na obrázku 86. Přes toto rozhraní můžeme ovládat celý systém pro ohřev vody (solární systém a plynový kotel). Jak můžeme vidět vizualizace uživatelského prostředí je tvořena pouze černou a bílou barvou, celkově tak budí velmi přehledný a jednoduchý dojem.

Protože vytápění je realizováno dvěma výrobci, každý druh vytápění (sálavé a teplovzdušné) má své vlastní uživatelské prostředí. V případě světlych zářičů je vizualizace uživatelského prostředí velmi jednoduchá a přehledná. V tomto prostředí si můžeme vytvořit vlastní nákres budovy. Každý zářič lze ovládat jednotlivě nebo si můžeme vytvořit skupiny světlych zářičů, které budeme ovládat společně. Ovládání zářičů lze přepínat do různých druhů (tabulkové nebo grafické).



Obr. 87 Uživatelské prostředí světlych zářičů Schwank

V případě teplovzdušných jednotek a vratových clon je uživatelské prostředí Robur podobné uživatelským prostředím pro programovatelné automaty (PLC). Graficky je prostředí složeno z více barev a jednoduchých obrázků. Ovládání je realizováno pomocí postranních tlačítek. Toto prostředí poskytuje menší uživatelskou volnost než prostředí od firmy Schwank. Jednoduchost tohoto prostředí je ovšem tak velká, že ovládat teplovzdušné jednotky může i člověk, bez naprosto žádných technických znalostí.

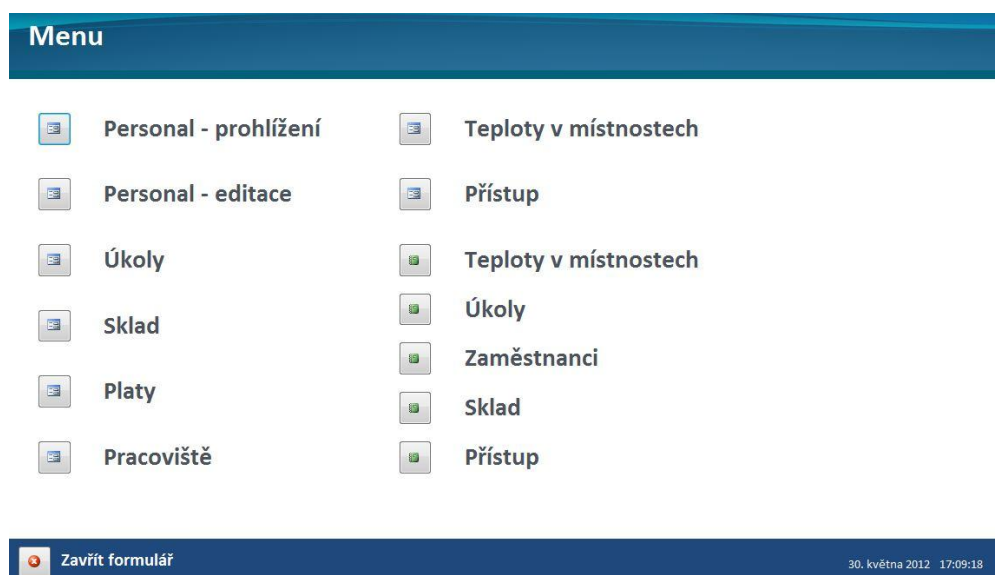


Obr. 88 Uživatelské prostředí Robur

U osvětlovací techniky není použito žádné vizualizace. Protože systém nastavujeme pouze do stavů zapnuto a vypnuto, není nutné používat další vizualizační prostředí. Ovládání osvětlení je tedy pouze manuální (tlačítka).

## 12 FACILITY MANAGEMENT

V rámci předmětu management budov bylo za úkol vytvořit databázi, která by měla navazovat na téma naší diplomové práce. Cílem vytvoření této databáze bylo dosažení efektivnosti v celé výrobní hale (automatická evidence zaměstnanců, kalendář údržby a oprav technických zařízení atd.). Databáze byla vytvořena zhruba půl roku před tím, než začala práce na této diplomové práci, v určitých místech proto není úplně přesná. Celkově však demonstruje systém managementu budov v průmyslové hale. Databáze byla vytvořena v programu MS Access. Náhled na úvodní obrazovku databáze je zobrazen na obrázku 89.



*Obr. 89 Uživatelské prostředí databáze*

Součástí úkolu bylo vytvořit esej, která popisuje vytvořenou databázi a systém managementu budov. Tato esej je i souborem s vytvořenou databází je umístěna na CD. Spoluautorem tohoto programu je Alexander Minx. Podrobné informace o umístění jsou uvedeny v příloze P I.

## 13 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PROJEKTU

V této kapitole provedeme ekonomické zhodnocení námi navržených technických zařízení pro průmyslovou halu. Zjistíme, jaké dosáhneme energetické úspory proti původní hale. Při navrhování těchto systémů jsme se řídili hlavně účinností, úsporností, životností jednotlivých zařízení a dopadem na životní prostředí. Pořizovací náklady byly ovšem také velmi důležitým faktorem, někdy byl ale tento parametr z hlediska dlouhodobé úspory zanedbán. K ekonomickým výpočtům byl použit program, vytvořený panem Ing. Martinem Zálešákem, CSc.

### 13.1 Celková potřeba tepla

Abychom mohli provést ekonomické zhodnocení, musíme zjistit roční potřebu tepla. Roční potřebou tepla se rozumí množství celkového tepla, které je potřeba do budovy dodat za jedno otopné období. Veškeré provedené výpočty v této kapitole jsou v souladu s normou ČSN 06 0210 a ČSN 06 0320. Roční potřebu tepla stanovíme ze vztahu 60. [28]

$$Q_r = Q_{vyt} + V_{tuv} \quad (60)$$

$Q_r$  – celková roční potřeba tepla [kWh/rok]

$Q_{vyt}$  – potřeba tepla na vytápění [kWh/rok]

$Q_{tuv}$  – potřeba tepla na ohřev vody [kWh/rok]

Roční potřebu tepla na vytápění stanovíme ze vztahu 61.

$$Q_{vyt} = 24 \cdot Q_{ztr} \cdot f_1 \cdot 3,6 \cdot \frac{D}{(t_{is} - t_e)} \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} \quad (61)$$

$Q_{ztr}$  – celková tepelná ztráta objektu ( $Q_{ztr} = 562,4\text{kW}$ ) [kW]

$D$  – počet denostupňů [d K]

$t_{is}$  – průměrná vnitřní teplota ( $t_{is} = 16^\circ\text{C}$ ) [ $^\circ\text{C}$ ]

$t_e$  – výpočtová venkovní teplota ( $t_{es} = -12^\circ\text{C}$ ) [ $^\circ\text{C}$ ]

$\eta_0$  – účinnost regulace soustavy ( $\eta_0 = 1$ )

$\eta_r$  – účinnost vytápěcí soustavy ( $\eta_r = 0,98$ )

$\varepsilon$  – opravný součinitel ( $\varepsilon = 0,512$ )

Počet denostupňů se stanoví podle délky vytápěcího období. Vzorec pro výpočet je uveden ve vztahu 62.

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad (62)$$

$D$  – počet denostupňů ( $D = 2889 \text{ K} \cdot \text{den}$ ) [d K]

$d$  – počet dnů vytápěcího období ( $d = 233$  dní)

$t_{is}$  – průměrná vnitřní teplota ( $t_{is} = 16^\circ\text{C}$ ) [ $^\circ\text{C}$ ]

$t_{es}$  – průměrná venkovní teplota ( $t_{es} = 3,6^\circ\text{C}$ ) [ $^\circ\text{C}$ ]

Dosažením našich hodnot nám vyjde potřeba tepla na vytápění naší průmyslové haly rovna 727,6 MWh/rok. Potřebu tepla pro ohřev vody jsme již částečně vypočítali v kapitole 7.3 a v kapitole 7.5 ji zvýšili. Potřebné množství tepla pro ohřev vody je 155 kWh na jeden den. Potřeba tepla pro ohřev vody na jeden rok je tedy potom 40,3 MWh. Celková roční potřeba tepla je dána součtem těchto dvou hodnot a činí asi 768 MWh. Celkové náklady na vytápění a ohřev vody činí ročně přibližně 1 265 000 Kč.

### 13.2 Zateplení budovy

Nyní provedeme ekonomické zhodnocení rekonstrukce budovy, při kterém zjistíme, jaké úspory jsme dosáhli zateplení budovy. V původní hale byl vytápěcí systém již starý a více 60 % zařízení nefungovalo. Výměna vytápěcího zařízení byla tedy nutná. Při výpočtu budeme tedy uvažovat jako by i v původní hale byl instalován náš nový systém. Tím získáme skutečnou hodnotu úspor, které nám přinese zateplení budovy (hodnota nebude zkrácená jinou vytápěcí soustavou). Do výpočtu tedy zahrneme pouze pořizovací náklady na zateplení a náklady na provoz vytápěcí soustavy.

Tab. 42 Náklady na zateplení průmyslové haly

| Stavební prvek                    | Celkové náklady     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Vápenocementová omítka            | 18 200 Kč           |
| Pěnový polystyren Isover EPS 100F | 130 400 Kč          |
| Dutinový polykarbonát             | 1 347 200 Kč        |
| Manuální práce                    | 1 200 000 Kč        |
| Ostatní výdaje                    | 100 000 Kč          |
| <b>Celkové výdaje</b>             | <b>2 795 800 Kč</b> |

Dobu návratnosti zjednodušeně zjistíme tak, že celkové pořizovací výdaje vydělíme ziskem, který zateplením ušetříme. V našem případě je zisk (tzv. cash flow) roven úspoře na vytápění průmyslové haly. Výdaje na vytápění a ohřev teplé vody v původní průmyslové hale jsou přibližně 2 128 000 Kč za rok. Výdaje na vytápění a ohřev teplé vody v zateplené hale činí 1 265 000 Kč za rok. Roční energetická úspora tedy činí 863 000 Kč. Výdaje na zateplení budovy se nám vrátí už za necelých 3,5 roku provozu, životnost zateplení je přibližně 20 let. Zateplením budovy tedy ušetříme (za 20 let) asi 14 240 000 Kč.

### 13.3 Technická zařízení budovy

U technických zařízení budovy je to s ekonomickým hodnocením trochu složitější. Některá zařízení totiž v původní budově nebyla vůbec instalována a některým zařízení už pomalu končila životnost. Jedinou úsporu v našem objektu tvoří energetická úspora na zateplení budovy, úspora ze svítidel a úspora na ohřev teplé vody přes solární kolektor. Nemůžeme tedy přesně počítat dobu návratnosti. Můžeme jediné náš systém porovnat s jiným a říct jaké jsme dosáhli úspory použitím našeho systému.

*Tab. 43 Náklady na technická zařízení*

| Skupina technických zařízení    | Celkové Náklady     |
|---------------------------------|---------------------|
| Ohřev teplé vody                | 1 161 800 Kč        |
| Vytápění infrazářiči            | 1 290 000 Kč        |
| Vytápění teplovzdušným systémem | 1 119 350 Kč        |
| Vratové clony                   | 652 200 Kč          |
| Vzduchotechnické prvky          | 203 800 Kč          |
| Osvětlení                       | 1 059 600 Kč        |
| Ostatní zařízení                | 85 000 Kč           |
| <b>Celkové výdaje</b>           | <b>5 571 750 Kč</b> |

Celkové náklady na technická zařízení do naší průmyslové haly činí 5 571 750 Kč. V této částce je zahrnuta cena jednotlivých zařízení, regulace, použitá čidla, potrubní rozvody a cena instalace těchto zařízení do naší haly. Ceny těchto zařízení byly odečteny z jednotlivých katalogů, které poskytují výrobci. Tato částka je ovšem pouze orientační, protože celková cena závisí na konkrétním případě.

### 13.4 Dosažená úspora

V našem případě můžeme porovnat 3 druhy úspor, které jsme dosáhli rekonstrukcí průmyslové haly. Nejvýraznější úspory jsme dosáhli zateplením budovy, dalšími úsporami je ušetřená energie pro ohřev vody (díky solárním kolektorům) a úspora elektrické energie, dosažená výměnou osvětlení. Ostatní použitá zařízení jsou velmi moderní a také nám výrazně šetří energii. Nemůžeme je ovšem srovnávat s původním systémem, protože některá zařízení v původní hale ani naistalovány nebyly (teplovzdušné jednotky a větrací systém) a některá zařízení byla pro svůj účel naprosto nedostatečná (tmavé plynové zářiče). Výměna těchto zařízení byla tedy nutná. Dosažené úspory pro naši rekonstruovanou halu jsou uvedeny v tabulce 44.

*Tab. 44 Tabulka úspor*

|                             | <b>Zateplení</b>    | <b>Ohřev vody</b> | <b>Osvětlení</b> |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| Původní hala                | 2 128 000 Kč        | 71 500 Kč         | 224 640 Kč       |
| Hala po rekonstrukci        | 1 265 000 Kč        | 25 025 Kč         | 67 392 Kč        |
| Úspora za 1 rok             | 863 000 Kč          | 46 475 Kč         | 157 250 Kč       |
| Požizovací náklady          | 2 795 800 Kč        | 478 800 Kč        | 1 059 600 Kč     |
| Doba návratnosti            | 3,5 let             | 10,5 let          | 6,7 let          |
| <b>Celková roční úspora</b> | <b>1 066 725 Kč</b> |                   |                  |

Úspora u zateplení byla počítána z hlediska uspořené energie na vytápění původního a zatepleného objektu. V případě ohřevu vody byla úspora stanovena porovnáním systému bez solárních kolektorů a se solárními kolektory. Při výpočtu úspory na osvětlení jsme porovnávali náklady na elektrickou energii. Porovnávali jsme spotřebu energie starých 400 W výbojek a nových 120 W LED zářivek. Jak můžeme vidět, nejvyšší úspora byla dosažena zateplením budovy. Tato úspora je tak velká, protože původní budova měla velmi špatné tepelné vlastnosti (z hlediska úspory tepla).

### 13.5 Celkové hodnocení projektu

Zhodnocení celého projektu nám přinese představu o tom, jaká bude celková úspora našich opatření a jaká bude doba návratnosti. Zjistíme také, zda doba návratnosti projektu nepřekračuje jeho životnost. Ekonomické hodnocení projektu by se mělo počítat vždy před zahájením realizace projektu.

*Tab. 45 Ekonomické zhodnocení projektu*

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| Celkové náklady         | 8 367 550 Kč |
| Roční zisk              | 1 066 725 Kč |
| Doba hodnocení projektu | 20 let       |

Výpočet byl proveden v programu, který vytvořil Ing. Martin Zálešák, CSc. Prostá doba návratnosti našeho projektu vyšla na 7,8 let, diskontovaná doba návratnosti je 8,9 let. Životnost většiny technických zařízení, instalovaných do naší haly je minimálně 20 let. Celkový zisk z projektu můžeme tedy zjednodušeně vypočítat tak, že spočítáme úsporu po době návratnosti (tj.  $20 - 8,9$ ). Prvních 9 let je zisk z projektu nulován pořizovacími náklady technických zařízení. Za následujících 11 let získáme skutečný zisk, který ušetříme realizací tohoto projektu.

Uskutečněním tohoto projektu tedy za 20 let ušetříme přibližně 11 841 000 Kč s tím, že pořizovací náklady na technická zařízení jsou již splaceny. Realizace tohoto projektu bude jistě správná volba.

Soubory s výpočtem ekonomického hodnocení projektu a jednotlivé ceny všech použitých zařízení jsou přiloženy na CD. Detailní informace o umístění jsou uvedeny v příloze P I.

## ZÁVĚR

Výsledkem této práce je návrh integrovaných systémů v průmyslové hale, který se odvíjel od existujícího stavebního projektu. Návrh průmyslové haly obsahuje nejmodernější technologie, využívající obnovitelné zdroje energie. Návrh byl zaměřený na co nejvyšší možný komfort pracovního prostředí pro zaměstnance, při zachování co nejnižších provozních nákladů. Tuto práci tvoří dvě hlavní části, teoretická část a praktická část, která je poněkud rozsáhlejší.

V teoretické části jsou uvedeny zejména předpoklady, které by měla budova splňovat. To se týká hlavně konstrukčního návrhu, tvorby vnitřního mikroklimatu a použitých technologií na docílení požadovaného stavu vnitřního prostředí. Uvedeny jsou zde i principy činnosti technických zařízení, které se v současné době používají.

Podstatou této práce byl ovšem návrh inteligentní průmyslové haly, který je popsán v praktické části. Proto je praktická část více rozsáhlá než teoretická část. Návrh probíhal v několika krocích.

Základ praktické části tvoří výpočet tepelných ztrát průmyslového objektu v zimním období a výpočet tepelných zisků v letním období. Podle výpočtu tepelných ztrát byl vybrán vhodný systém vytápění pro náš průmyslový objekt. Jako hlavní vytápěcí zdroj byl v průmyslové hale použit infračervený plynový zářič. Jako doplňkový zdroj tepla byly použity horkovzdušné jednotky. Ohřev teplé vody je zajištěn plynovým kondenzačním kotlem. V případě pěkného počasí je podporován solárními kolektory. Do této části je také zařazen popis funkce regulace technických zařízení, které jsou použity v naší průmyslové hale.

Na konci praktické části této práce je uvedeno technicky ekonomické hodnocení projektu. Celkové investice vložené do tohoto projektu mají rozumnou návratnost (zhruba 9 let). Realizace tohoto projektu se tedy vyplatí.

Všechny body zadání se podařilo úspěšně splnit. Do této práce byly nakonec zařazeny i některé části, které zadání neobsahuje, diplomová práce tím ale získala komplexnější dojem.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The result of this thesis is a design of integrated systems in industrial hall and this design is based on existing architectural project. Industrial hall contains the latest technologies which use renewable energy sources. This design was made to achieve the highest possible working comfort for employees maintaining the price of operational costs on the lowest possible level. Thesis consists of two main parts. Of a theoretical part and a practical part which is more extensive.

The theoretical section contains assumptions which the building should have. This applies especially on architectural-construction design, on internal microclimate and on technologies used to achieve the desired state of the internal environment. There is a description of working principles of the most common technical devices which are in present mainly used.

The merit of this thesis was designing an intelligent industrial hall, which is described in practical part. The design proceeded in several steps.

Practical part of the thesis is based on calculating the heat loss of the industrial building in the winter season and heat gain in summer. According to calculated heat loss was chosen a suitable heating system for our industrial object. As the main heating source was used in an industrial hall infrared gas heater. As an additional heat source were used hot-air units. Primarily is heating of hot water ensured by a gas condensing boiler. In case of a nice weather is supported by solar collectors. This chapter also contains description of regulation of technical devices which are used in our industrial hall.

At the end of the practical part of this thesis is indicated technical and economic evaluation of the project. Total investments entered in this project have a reasonable return (about 9 years). Realization of this project is worthwhile.

All entry points were successfully achieved. In this thesis were finally included some parts that are not in entering, this work thus gained more complex impression.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ZÁLEŠÁK, Martin. Vnitřní prostředí. Zlín, 2011.
- [2] RUBINOVÁ, Olga a Aleš RUBIN. Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka. [online]. 2005 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>
- [3] Vlhkost vzduchu. [online]. 2012 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Vlhkost\\_vzduchu](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vlhkost_vzduchu)
- [4] ČSN EN ISO 7730. Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] LAJČÍKOVÁ, Adriana. Vládní nařízení č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. [online]. 2001 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/692-vladni-narizeni-c-178-2001-sb-kterym-se-stanovi-podminky-ochrany-zdravi-zamestnancu-pri-praci>
- [6] ČSN EN 15251. Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [7] ČSN 36 0452. Umělé osvětlení obytných budov. Praha: Československý normalizační institut, 1986.
- [8] Obnovitelný zdroj energie. [online]. 25. 4. 2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%BD\\_zdroj\\_energie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%BD_zdroj_energie)
- [9] Větrná energie. [online]. 25. 4. 2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%9Btrn%C3%A1\\_energie](http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%9Btrn%C3%A1_energie)
- [10] Vodní energie. [online]. 17. 5. 2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD\\_energie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_energie)
- [11] Biomasa. [online]. 17. 5. 2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Biomasa>

- [12] Neobnovitelný zdroj energie. [online]. 17. 10. 2011 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Neobnoviteln%C3%BD\\_zdroj\\_energie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Neobnoviteln%C3%BD_zdroj_energie)
- [13] KOTRBATÝ, Miroslav. Inteligentní průmyslové haly. [online]. 2010 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/6136-inteligentni-prumyslove-haly-cast-1>
- [14] Topenářská příručka: Svazek 1. 120 let topenářství v Čechách a na Moravě. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 1122 s. ISBN 80-861-7682-7.
- [15] KOTRBATÝ, Miroslav a Ondřej HOJER. Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů. [online]. 2006 [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3416-vytapeni-prumyslovyh-a-velkoprostorovyh-objektu-vii>
- [16] BRÁT, Vladimír. Teplovodní panely se vracejí. [online]. 2006 [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3525-teplovodni-panely-se-vraceji>
- [17] Tmavý infračervený plynový zářič. KOTRBATÝ, Miroslav. [online]. [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: <http://kotrbaty.cz/?page=product-2&lang=cz>
- [18] Princip světlého zářiče. SCHWANK, Günther. SCHWANK S.R.O. [online]. [cit. 2012-06-03]. Dostupné z: <http://www.schwank.cz/cz/produkty/produktovara-da/svetle-zarice/princip-svetleho-zarice.html>
- [19] KOTRBATÝ, Miroslav a Ivana SCHŮRKOVÁ. Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů: Kombinované infrazářičové soustavy. [online]. 2006 [cit. 2012-06-03]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3717-vytapeni-prumyslovyh-a-velkoprostorovyh-objektu-xi-1-cast>
- [20] BECHYNĚ, Milan. Kam umístit expanzní nádobu a čerpadlo v systému ústředního vytápění?. [online]. 2000 [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/219-kam-umistit-expanzni-nadobu-a-cerpadlo-v-systemu-ustredniho-vytapeni>
- [21] CHYSKÝ, Jaroslav. Větrání a klimatizace. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matice technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.

- [22] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001, 208 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-020-1466-9.
- [23] DANIELS, Klaus a Tomáš SUCHÁNEK. Technika budov: příručka pro architekty a projektanty. 1. ces. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 519 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-889-0563-X.
- [24] JELÍNEK, Vladimír a Tomáš SUCHÁNEK. Technická zařízení budov: podklady pro projekty: určeno pro stud. fak. stavební. 1. vyd. Praha: CVUT, 1991, 29 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-010-0586-0.
- [25] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 978-802-4723-679.
- [26] ČSN EN 15251. Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [27] ČSN EN 12828. Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních tepelných soustav. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [28] ČSN 06 0320. Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody: Navrhování a projektování. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [29] ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [30] ČSN 06 0830. Tepelné soustavy v budovách – Zabezpečovací zařízení. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [31] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

- [32] ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [33] ZÁLEŠÁK, Martin. Integrované systémy řízení v budovách. Zlín, 2011.
- [34] TZB-Info. CENTRUM ENERGETICKÉHO PORADENSTVÍ PRE. Solární ohřev vody [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/8526-solarni-ohrev-vody>
- [35] ČSN EN 12464-1. Osvětlení pracovních prostorů: Vnitřní pracovní prostory. Praha: Český normalizační institut, 2004.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|       |                                           |
|-------|-------------------------------------------|
| LCD   | Liquid Crystal Display.                   |
| PLC   | Programmable Logic Controller.            |
| SCADA | Supervisory Control And Data Acquisition. |
| PC    | Personal Computer.                        |
| PMV   | Predicted Mean Vote.                      |
| PPD   | Predicted Percentage of Dissatisfied.     |
| ppm   | Parts Per Million                         |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Obr. 1</i> Oblast tepelné pohody .....                                            | 14 |
| <i>Obr. 2</i> Závislost PPD na PMV .....                                             | 16 |
| <i>Obr. 3</i> Elektromagnetická kompatibilita .....                                  | 23 |
| <i>Obr. 4</i> Vodní turbína .....                                                    | 25 |
| <i>Obr. 5</i> Světová produkce škodlivin.....                                        | 26 |
| <i>Obr. 6</i> Inteligentní průmyslová hala .....                                     | 27 |
| <i>Obr. 7</i> Ohřev vzduchu teplovzdušnou jednotkou .....                            | 28 |
| <i>Obr. 8</i> Zóny zaplavení vířivými ventilátory .....                              | 29 |
| <i>Obr. 9</i> Umístění sálavých panelů .....                                         | 31 |
| <i>Obr. 10</i> Závěsné sálavé panely se zabudovaným osvětlením.....                  | 32 |
| <i>Obr. 11</i> Elektrický infrazářič .....                                           | 33 |
| <i>Obr. 12</i> Rozdělení celkového výkonu panelu na sálavou a konvekční složku.....  | 33 |
| <i>Obr. 13</i> Princip tmavého zářiče .....                                          | 34 |
| <i>Obr. 14</i> Tmavé zářiče Schwank.....                                             | 35 |
| <i>Obr. 15</i> Rozložení teploty a proudění tmavých zářičů .....                     | 35 |
| <i>Obr. 16</i> Kombinovaný zářič s uzavřenou deltovitou komorou plně izolovaný ..... | 36 |
| <i>Obr. 17</i> Řez světlým zářičem.....                                              | 37 |
| <i>Obr. 18</i> Kompaktní zářič .....                                                 | 38 |
| <i>Obr. 19</i> Příklad použití kompaktních zářičů.....                               | 38 |
| <i>Obr. 20</i> Průběh teplot při sálavém a teplovzdušném vytápění .....              | 39 |
| <i>Obr. 21</i> Rozložení teplot při sálavém a teplovzdušném vytápění.....            | 40 |
| <i>Obr. 22</i> Schéma průmyslové haly (nárys) .....                                  | 43 |
| <i>Obr. 23</i> Složení obvodových stěn .....                                         | 45 |
| <i>Obr. 24</i> Graf tepelných ztrát.....                                             | 54 |
| <i>Obr. 25</i> Tepelné ztráty konstrukcemi .....                                     | 55 |
| <i>Obr. 26</i> Tepelné ztráty konstrukčních částí vztahované na $1m^2$ .....         | 56 |
| <i>Obr. 27</i> Kondenzace vodní páry v obvodové stěně .....                          | 57 |
| <i>Obr. 28</i> Energetický štítek původní budovy.....                                | 60 |
| <i>Obr. 29</i> Izolace z pěnového polystyrenu.....                                   | 62 |
| <i>Obr. 30</i> Vnější štuková omítka .....                                           | 62 |
| <i>Obr. 31</i> Dutinové polykarbonátové desky .....                                  | 63 |
| <i>Obr. 32</i> Plně polykarbonátové desky .....                                      | 63 |

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Obr. 33 Složení obvodových stěn po rekonstrukci .....</i>                                           | 65  |
| <i>Obr. 34 Tepelné ztráty průmyslové haly po rekonstrukci .....</i>                                    | 69  |
| <i>Obr. 35 Celkové tepelné ztráty konstrukcemi průmyslové haly po rekonstrukci .....</i>               | 70  |
| <i>Obr. 36 Tepelné ztráty konstrukčních částí vztažené na 1m<sup>2</sup> po rekonstrukci .....</i>     | 71  |
| <i>Obr. 37 Srovnání tepelných ztrát průmyslové haly .....</i>                                          | 74  |
| <i>Obr. 38 Srovnání tepelných ztrát jednotlivými konstrukcemi .....</i>                                | 75  |
| <i>Obr. 39 Srovnání tepelných ztrát (vztažených na 1m<sup>2</sup>) jednotlivými konstrukcemi .....</i> | 75  |
| <i>Obr. 40 Kondenzace vodní páry v obvodové stěně (po zateplení) .....</i>                             | 76  |
| <i>Obr. 41 Kondenzace vodní páry zasklených ploch (po zateplení) .....</i>                             | 77  |
| <i>Obr. 42 Energetický štítek zateplené budovy .....</i>                                               | 79  |
| <i>Obr. 43 Časový průběh odběru teplé vody .....</i>                                                   | 89  |
| <i>Obr. 44 Dodávka a odběr tepla .....</i>                                                             | 90  |
| <i>Obr. 45 Dodávka a odběr tepla 2.....</i>                                                            | 91  |
| <i>Obr. 46 Akumulační zásobník Regulus.....</i>                                                        | 93  |
| <i>Obr. 47 Plynový kotel Viessmann .....</i>                                                           | 96  |
| <i>Obr. 48 Trubicový solární kolektor.....</i>                                                         | 97  |
| <i>Obr. 49 Odraz světla .....</i>                                                                      | 98  |
| <i>Obr. 50 Deskový solární kolektor .....</i>                                                          | 99  |
| <i>Obr. 51 Průměrný roční úhrn slunečního záření .....</i>                                             | 100 |
| <i>Obr. 52 Expanzní nádoba Regulus.....</i>                                                            | 103 |
| <i>Obr. 53 Zapojení A.....</i>                                                                         | 104 |
| <i>Obr. 54 Zapojení B.....</i>                                                                         | 104 |
| <i>Obr. 55 Zapojení C.....</i>                                                                         | 104 |
| <i>Obr. 56 Zapojení D .....</i>                                                                        | 105 |
| <i>Obr. 57 Zapojení E.....</i>                                                                         | 105 |
| <i>Obr. 58 Zapojení F.....</i>                                                                         | 105 |
| <i>Obr. 59 Regulace Vitotronic 200 .....</i>                                                           | 107 |
| <i>Obr. 60 Graf zisku solárního záření.....</i>                                                        | 107 |
| <i>Obr. 61 Vitotrol 200 .....</i>                                                                      | 108 |
| <i>Obr. 62 Hydraulické schéma pro ohřev teplé vody.....</i>                                            | 109 |
| <i>Obr. 63 Sálavé vytápění.....</i>                                                                    | 111 |
| <i>Obr. 64 Teplotní rozložení při rozdílném způsobu vytápění.....</i>                                  | 112 |
| <i>Obr. 65 Světly zářič SupraSchwank .....</i>                                                         | 115 |

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Obr. 66 Parametry světlého zářiče SupraSchwank.....</i>              | 116 |
| <i>Obr. 67 Rozdělení zón v objektu (půdorys) .....</i>                  | 116 |
| <i>Obr. 68 Sektory průmyslové haly (půdorys) .....</i>                  | 117 |
| <i>Obr. 69 Šikmé umístění.....</i>                                      | 118 |
| <i>Obr. 70 Vodorovné umístění .....</i>                                 | 118 |
| <i>Obr. 71 Geometrie rozmístování zářičů .....</i>                      | 119 |
| <i>Obr. 72 Rozmístění světlých zářičů .....</i>                         | 120 |
| <i>Obr. 73 Konečné rozmístění světlých zářičů .....</i>                 | 122 |
| <i>Obr. 74 Axiální ventilátor Lersen .....</i>                          | 124 |
| <i>Obr. 75 Teplovzdušná jednotka Robur G30 .....</i>                    | 125 |
| <i>Obr. 76 Rozmístění teplovzdušných jednotek Robur (půdorys) .....</i> | 126 |
| <i>Obr. 77 Odvod kondenzátu .....</i>                                   | 126 |
| <i>Obr. 78 Přívod vzduchu a odvod spalin .....</i>                      | 127 |
| <i>Obr. 79 Podstropní destratifikátor Lersen .....</i>                  | 128 |
| <i>Obr. 80 Vratová clona Robur .....</i>                                | 129 |
| <i>Obr. 81 Schéma bezdrátové regulace.....</i>                          | 130 |
| <i>Obr. 82 Ovládací panel Schwank.....</i>                              | 131 |
| <i>Obr. 83 Ovládací panel Robur.....</i>                                | 132 |
| <i>Obr. 84 Závěsná LED lampa .....</i>                                  | 136 |
| <i>Obr. 85 Schématické rozmístění osvětlovacích lamp .....</i>          | 137 |
| <i>Obr. 86 Uživatelské prostředí pro ohřev vody.....</i>                | 138 |
| <i>Obr. 87 Uživatelské prostředí světlých zářičů Schwank .....</i>      | 139 |
| <i>Obr. 88 Uživatelské prostředí Robur .....</i>                        | 139 |
| <i>Obr. 89 Uživatelské prostředí databáze .....</i>                     | 140 |

**SEZNAM TABULEK**

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Tab. 1 Závislost koeficientu <math>A</math> na rychlosti proudění vzduchu</i> ..... | 13  |
| <i>Tab. 2 tepelný pocit člověka</i> .....                                              | 15  |
| <i>Tab. 3 Střední kmitočty oktávových pásem</i> .....                                  | 20  |
| <i>Tab. 4 Základní rozměry objektu</i> .....                                           | 43  |
| <i>Tab. 5 Okrajové podmínky</i> .....                                                  | 44  |
| <i>Tab. 6 Složení obvodových stěn</i> .....                                            | 45  |
| <i>Tab. 7 Složení stropu</i> .....                                                     | 46  |
| <i>Tab. 8 Složení podlahy</i> .....                                                    | 46  |
| <i>Tab. 9 Tabulka prefabrikátů</i> .....                                               | 46  |
| <i>Tab. 10 Součinitel prostupu tepla pro konstrukční prvky <math>U_k</math></i> .....  | 48  |
| <i>Tab. 11 Tepelné ztráty původní haly</i> .....                                       | 54  |
| <i>Tab. 12 Tepelné ztráty konstrukcemi</i> .....                                       | 55  |
| <i>Tab. 13 Srovnání výpočtových metod</i> .....                                        | 56  |
| <i>Tab. 14 Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy</i> .....                         | 58  |
| <i>Tab. 15 Složení obvodových stěn po rekonstrukci</i> .....                           | 65  |
| <i>Tab. 16 Složení stropu po rekonstrukci</i> .....                                    | 66  |
| <i>Tab. 17 Složení podlahy po rekonstrukci</i> .....                                   | 66  |
| <i>Tab. 18 Tabulka prefabrikátů</i> .....                                              | 66  |
| <i>Tab. 19 Součinitel prostupu tepla po rekonstrukci budovy <math>U_k</math></i> ..... | 67  |
| <i>Tab. 20 Tepelné ztráty konstrukcemi po rekonstrukci budovy</i> .....                | 67  |
| <i>Tab. 21 Tepelné ztráty průmyslové haly po rekonstrukci</i> .....                    | 68  |
| <i>Tab. 22 Srovnání výpočtových metod</i> .....                                        | 69  |
| <i>Tab. 23 Srovnání součinitelů prostupu tepla</i> .....                               | 72  |
| <i>Tab. 24 Srovnání tepelných ztrát prostupem tepla</i> .....                          | 73  |
| <i>Tab. 25 Srovnání celkových tepelných ztrát budovou</i> .....                        | 73  |
| <i>Tab. 26 Základní parametry umývárny</i> .....                                       | 83  |
| <i>Tab. 27 Hodnoty pro výpočet množství teplé vody</i> .....                           | 84  |
| <i>Tab. 28 Přepokládaný odběr teplé vody</i> .....                                     | 89  |
| <i>Tab. 29 Parametry akumulčního zásobníku</i> .....                                   | 94  |
| <i>Tab. 30 Parametry plynového kotle</i> .....                                         | 96  |
| <i>Tab. 31 Parametry solárního kolektoru Viessmann</i> .....                           | 99  |
| <i>Tab. 32 Hodnoty pro dimenzování solárního kolektoru</i> .....                       | 100 |

---

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Tab. 33 Parametry vyrovnávací nádrže .....</i>           | <i>102</i> |
| <i>Tab. 34 Parametry expanzních nádrží .....</i>            | <i>103</i> |
| <i>Tab. 35 Parametry pojistných ventilů .....</i>           | <i>106</i> |
| <i>Tab. 36 Spotřeba paliva plynových soustav .....</i>      | <i>113</i> |
| <i>Tab. 37 Srovnání světlych zářičů .....</i>               | <i>114</i> |
| <i>Tab. 38 Tepelné ztráty jednotlivých zón .....</i>        | <i>117</i> |
| <i>Tab. 39 Parametry zářičů .....</i>                       | <i>123</i> |
| <i>Tab. 40 Technické parametry jednotky Robur G30 .....</i> | <i>125</i> |
| <i>Tab. 41 Parametry závěsné lampy Fedatex .....</i>        | <i>137</i> |
| <i>Tab. 42 Náklady na zateplení průmyslové haly .....</i>   | <i>142</i> |
| <i>Tab. 43 Náklady na technická zařízení.....</i>           | <i>143</i> |
| <i>Tab. 44 Tabulka úspor.....</i>                           | <i>144</i> |
| <i>Tab. 45 Ekonomické zhodnocení projektu .....</i>         | <i>145</i> |

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I .....Adresářová struktura přiloženého CD
- P II .....Energetický protokol původní haly
- P III .....Energetický protokol zateplené haly
- P IV .....Vyhodnocení tepelných zisků
- P V .....Hydraulické schéma pro ohřev teplé vody

## **PŘÍLOHA P I: ADRESÁŘOVÁ STRUKTURA PŘILOŽENÉHO CD**

Pro lepší orientaci je přiložen stručný popis adresářové struktury CD. Jednotlivé podadresáře mohou obsahovat i další složky, zde jsou uvedeny pouze hlavní adresáře.

- **\Diplomová práce** – tento adresář obsahuje textovou verzi diplomové práce
- **\Ekonomické zhodnocení** – tato složka obsahuje soubory s výpočtem ekonomického hodnocení projektu a jednotlivé ceny všech použitých zařízení
- **\Energetický štítek** – zde jsou umístěny kompletní energetické protokoly průmyslové haly před a po zateplení (v elektronické formě)
- **\Management budov** – v této složce je umístěn program a esej
- **\Tepelná technika** – zde jsou umístěny všechny protokoly a soubory, získané z programů tepelné techniky (Teplo 2010, Ztráty 2010)
- **\Výkresová dokumentace** – zde jsou umístěny výkresy průmyslové haly

# PŘÍLOHA P II: ENERGETICKÝ PROTOKOL PŮVODNÍ BUDOVY

## Protokol k energetickému štítku obálky budovy

### Identifikační údaje

|                                                       |                            |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|
| Druh stavby                                           | Průmyslová                 |
| Adresa (místo, ulice, číslo, PSČ)                     | Veselí nad Moravou, 696 01 |
| Katastrální území a katastrální číslo                 | _____, č.kat. _____        |
| Provozovatel, popř. budoucí provozovatel              | _____                      |
| Vlastník nebo společenství vlastníků, popř. stavebník | Železářny Veselí           |
| Adresa                                                | Veselí nad Moravou, 696 01 |
| Telefon / E-mail                                      | _____ / _____              |

### Charakteristika budovy

|                                                                                                     |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Objem budovy $V$ - vnější objem vytápěné zóny budovy, nezahrnuje lodžie, římsy, atiky a základy     | 35 015,0 m <sup>3</sup>             |
| Celková plocha $A$ - součet vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy     | 9 032,7 m <sup>2</sup>              |
| Objemový faktor tvaru budovy $A / V$                                                                | 0,26 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |
| Typ budovy<br>Poměrná plocha průsvitných výplní dvojně obvodového pláště $f_v$ (pro netařt. budovy) | betonová<br>0,05                    |
| Převažující vnitřní teplota v otopném období $\theta_{in}$                                          | 16 °C                               |
| Venkovní návrhová teplota v zimním období $\theta_{e}$                                              | -15 °C                              |

### Charakteristika energeticky významných údajů ochlazovaných konstrukcí

| Ochlazovaná konstrukce | Plocha<br>$A_i$<br>[m <sup>2</sup> ] | Součinitel<br>(činitel)<br>prostupu tepla<br>$U_i$<br>( $\Sigma \Psi_{v,i,k} + \Sigma_j U_j$ )<br>[W/(m <sup>2</sup> ·K)] | Požadovaný<br>(doporučený)<br>součinitel<br>prostupu tepla<br>$U_{n,i,0}$ ( $U_{n,i,c}$ )<br>[W/(m <sup>2</sup> ·K)] | Činitel<br>teplotní<br>redukce<br>$b_i$<br>[-] | Měrná ztráta<br>konstrukce<br>prostupem tepla<br>$H_{T,i} = A_i \cdot U_i \cdot b_i$<br>[W/K] |
|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stěna AB               | 650,0                                | 2,59                                                                                                                      | _____ (_____)                                                                                                        | 1,00                                           | 1 683,5                                                                                       |
| Stěna CD               | 152,0                                | 2,59                                                                                                                      | _____ (_____)                                                                                                        | 1,00                                           | 393,7                                                                                         |
| Bezrámečné zasklení    | 9 191,0                              | 5,62                                                                                                                      | _____ (_____)                                                                                                        | 1,00                                           | 17 933,4                                                                                      |
| Dveře                  | 1,3                                  | 1,20                                                                                                                      | _____ (_____)                                                                                                        | 1,00                                           | 1,6                                                                                           |
| Vrata                  | 27,9                                 | 5,84                                                                                                                      | _____ (_____)                                                                                                        | 1,00                                           | 162,9                                                                                         |
| Strop                  | 2 190,0                              | 0,46                                                                                                                      | _____ (_____)                                                                                                        | 1,00                                           | 1 007,4                                                                                       |
| Betonová podlah        | 2 820,5                              | 0,24                                                                                                                      | _____ (_____)                                                                                                        | 0,17                                           | 117,7                                                                                         |
| Tepebné vazby          | 0,0                                  | 0,00                                                                                                                      | _____ (_____)                                                                                                        | _____                                          | 427,7                                                                                         |
| _____                  | _____                                | _____                                                                                                                     | _____ (_____)                                                                                                        | _____                                          | _____                                                                                         |
| _____                  | _____                                | _____                                                                                                                     | _____ (_____)                                                                                                        | _____                                          | _____                                                                                         |
| <b>Celkem</b>          | <b>9 032,7</b>                       |                                                                                                                           |                                                                                                                      |                                                | <b>21 727,9</b>                                                                               |

Konstrukce spĺňuj požadavky na součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540-2.

### Stanovení prostupu tepla obálky budovy

|                                                                |                       |          |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|----------|
| Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$                             | W/K                   | 21 727,9 |
| Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{e,ni} = H_T / A$        | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 2,41     |
| Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{e,nrc}$               | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 1,05     |
| Požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{e,nr0}$               | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 1,40     |
| Průměrný součinitel prostupu tepla stavebního fondu $U_{e,nz}$ | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 2,00     |

Požadavek na stavebně energetickou vlastnost budovy **není** splněn.

### Klasifikační třídy prostupu tepla obálky hodnocené budovy

| Hranice klasifikačních tříd | Veličina                           | Jednotka                | Hodnota |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------|
| A – B                       | $0,3 \cdot U_{e,nr0}$              | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 0,42    |
| B – C                       | $0,6 \cdot U_{e,nr0}$              | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 0,84    |
| (C1 – C2)                   | $(0,75 \cdot U_{e,nr0})$           | (W/(m <sup>2</sup> ·K)) | (1,05)  |
| C – D                       | $U_{e,nr0}$                        | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 1,40    |
| D – E                       | $0,5 \cdot (U_{e,nr0} + U_{e,nz})$ | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 1,70    |
| E – F                       | $U_{e,nz} = U_{e,nr0} + 0,6$       | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 2,00    |
| F – G                       | $1,5 \cdot U_{e,nz}$               | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 3,00    |

Klasifikace: **F** - velmi neekonomická

Datum vystavení energetického štítku obálky budovy:

Zpracovatel energetického štítku obálky budovy:

IČ:

Zpracoval: **Tomáš Malušek**

Podpis:.....

Tento protokol a stavebně energetický štítek obálky budovy odpovídá směrnici evropského parlamentu a rady č. 2002/91/ES a prEN 15217. Byl vypracován v souladu s CSN 73 0540-2 a podle projektové dokumentace stavby dodané objednatelem.

# ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY

|                                                                                                         |                                                           |                                           |             |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|------|------|------|------|
| <b>Průmyslová hala</b><br><b>Železářny - Veselí nad Moravou</b>                                         |                                                           | <b>Hodnocení obálky budovy</b>            |             |      |      |      |      |
| Celková podlahová plocha $A_c = 2\,820,0\text{ m}^2$                                                    |                                                           | stávající                                 | doporučení  |      |      |      |      |
| <b>Ci</b> Velmi úsporná                                                                                 | <p style="text-align: center;">Mimořádně ne hospodámá</p> |                                           |             |      |      |      |      |
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy<br>$U_{wn}$ ve $W/(m^2 \cdot K)$                       |                                                           | $U_{wn} = H_t / A$                        | <b>2,41</b> |      |      |      |      |
| Klasifikační ukazatele $C_i$ a jim odpovídající hodnoty $U_{wn}$ pro $A/V = 0,26\text{ m}^3/\text{m}^2$ |                                                           |                                           |             |      |      |      |      |
| $C_i$                                                                                                   | 0,30                                                      | 0,60                                      | (0,75)      | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 |
| $U_{wn}$                                                                                                | 0,42                                                      | 0,84                                      | (1,05)      | 1,40 | 1,70 | 2,00 | 3,00 |
| Platnost štítku do                                                                                      |                                                           | <input style="width: 100%;" type="text"/> |             |      |      |      |      |
| Datum vystavení štítku                                                                                  |                                                           | <input style="width: 100%;" type="text"/> |             |      |      |      |      |
| Štítek vypracoval                                                                                       |                                                           | <b>Tomáš Malušek</b><br><br>(Kvalifikace) |             |      |      |      |      |

# PŘÍLOHA P III: ENERGETICKÝ PROTOKOL ZATEPLENÉ BUDOVY

## Protokol k energetickému štítku obálky budovy

### Identifikační údaje

|                                                                                                                                       |                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Druh stavby<br>Adresa (místo, ulice, číslo, PSČ)<br>Katastrální území a katastrální číslo<br>Provozovatel, popř. budoucí provozovatel | Průmyslová<br>Veselí nad Moravou, 698 01<br>_____, č.kat. _____<br>_____ |
| Vlastník nebo společenství vlastníků, popř. stavebník<br>Adresa<br>Telefon / E-mail                                                   | Železářny Veselí<br>Veselí nad Moravou, 698 01<br>_____/_____            |

### Charakteristika budovy

|                                                                                                     |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Objem budovy $V$ - vnější objem vytápěné zóny budovy, nezahrnuje lodžie, římsy, atiky a základy     | 35 015,0 m <sup>3</sup>             |
| CELKOVÁ PLOCHA $A$ - součet vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy     | 9 032,7 m <sup>2</sup>              |
| Objemový faktor tvaru budovy $A / V$                                                                | 0,26 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> |
| Typ budovy<br>Poměrná plocha průsvitných výplní oken a ovládacího pláště $f_v$ (pro nebytl. budovy) | nebytová<br>0,075                   |
| Převažující vnitřní teplota v otopném období $\theta_{in}$                                          | 16 °C                               |
| Venkovní návrhová teplota v zimním období $\theta_{e}$                                              | -15 °C                              |

### Charakteristika energeticky významných údajů ochlazovaných konstrukcí

| Ochlazovaná konstrukce | Plocha<br>$A_i$<br>[m <sup>2</sup> ] | Součinitel<br>(číselný)<br>prostupe tepla<br>$U_i$<br>( $\sum \Psi_{s,i} + \sum \chi_i$ )<br>[W/(m <sup>2</sup> ·K)] | Požadovaný<br>(doporučený)<br>součinitel<br>prostupe tepla<br>$U_{i,req}$ ( $U_{i,rec}$ )<br>[W/(m <sup>2</sup> ·K)] | Číselný<br>teplotní<br>redukce<br>$b_i$<br>[-] | Měrná ztráta<br>konstrukce<br>prostupem tepla<br>$H_T = A_i \cdot U_i \cdot b_i$<br>[W/K] |
|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stěna AB               | 650,0                                | 0,20                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | 1,00                                           | 130,0                                                                                     |
| Stěna CD               | 152,0                                | 0,20                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | 1,00                                           | 30,4                                                                                      |
| Beztlmé zaskle         | 9 191,0                              | 0,27                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | 1,00                                           | 10 434,6                                                                                  |
| Dveře                  | 1,3                                  | 1,20                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | 1,00                                           | 1,6                                                                                       |
| Vrata                  | 27,9                                 | 5,84                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | 1,00                                           | 162,9                                                                                     |
| Strop                  | 2 190,0                              | 0,46                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | 1,00                                           | 1 007,4                                                                                   |
| Betonová podlah        | 2 820,5                              | 0,24                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | 0,17                                           | 117,7                                                                                     |
| Tepeině vazby          | 0,0                                  | 0,00                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | ____                                           | 427,7                                                                                     |
| ____                   | ____                                 | ____                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | ____                                           | ____                                                                                      |
| ____                   | ____                                 | ____                                                                                                                 | ____ (____)                                                                                                          | ____                                           | ____                                                                                      |
| <b>CELKEM</b>          | <b>9 032,7</b>                       |                                                                                                                      |                                                                                                                      |                                                | <b>12 312,3</b>                                                                           |

Konstrukce splňují požadavky na součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540-2. □

#### Stanovení prostupu tepla obálky budovy

|                                                                |                       |          |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|----------|
| Měrná ztráta prostupem tepla $H_T$                             | W/K                   | 12 312,3 |
| Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{av} = H_T / A$          | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 1,36     |
| Doporučený součinitel prostupu tepla $U_{av,D}$                | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 1,05     |
| Požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{av,O}$                | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 1,40     |
| Průměrný součinitel prostupu tepla stavebního fondu $U_{av,s}$ | W/(m <sup>2</sup> ·K) | 2,00     |

Požadavek na stavebně energetickou vlastnost budovy **je** splněn.

#### Klasifikační třídy prostupu tepla obálky hodnocené budovy

| Hranice klasifikačních tříd | Velikost                          | Jednotka                | Hodnota |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------|
| A – B                       | $0,3 \cdot U_{av,O}$              | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 0,42    |
| B – C                       | $0,6 \cdot U_{av,O}$              | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 0,84    |
| (C1 – C2)                   | $(0,75 \cdot U_{av,O})$           | (W/(m <sup>2</sup> ·K)) | (1,05)  |
| C – D                       | $U_{av,O}$                        | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 1,40    |
| D – E                       | $0,5 \cdot (U_{av,O} + U_{av,s})$ | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 1,70    |
| E – F                       | $U_{av,s} = U_{av,O} + 0,6$       | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 2,00    |
| F – G                       | $1,5 \cdot U_{av,s}$              | W/(m <sup>2</sup> ·K)   | 3,00    |

Klasifikace: **C2 - vyhovující požadované úrovni**

Datum vystavení energetického štítku obálky budovy:

Zpracovatel energetického štítku obálky budovy:

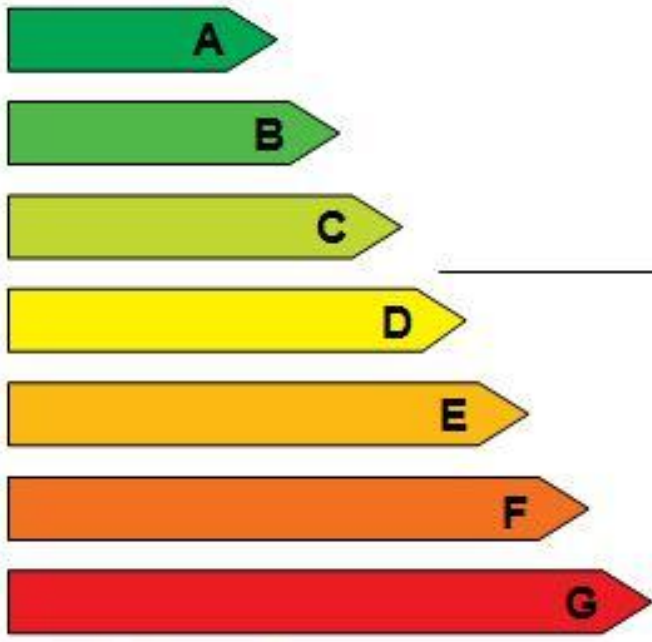
IČ:

Zpracoval: **Tomáš Malušek**

Podpis:.....

Tento protokol a stavebně energetický štítek obálky budovy odpovídá směrnici evropského parlamentu a rady č. 2002/91/ES a prEN 15217. Byl vypracován v souladu s CSN 73 0540-2 a podle projektové dokumentace stavby dodané objednatelem.

# ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY

|                                                                                                                                                                              |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Průmyslová budova<br>Železářny - Veselí nad Moravou                                                                                                                          |                                                                                       | Hodnocení obálky<br>budovy                                                            |                                                                                       |      |      |      |      |
| Celková podlahová plocha $A_c = 2\,820,0\text{ m}^2$                                                                                                                         |                                                                                       | stávající                                                                             | doporučení                                                                            |      |      |      |      |
| <p><b>Cl</b> Velmi úsporná</p>  <p style="text-align: center;">Mimořádně ne hospodámá</p> | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0,97</div> | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0,97</div> | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">0,97</div> |      |      |      |      |
| Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy<br>$U_{em}$ ve $W/(m^2 \cdot K)$ <span style="float: right;"><math>U_{em} = H_T / A</math></span>                           |                                                                                       | <b>1,36</b>                                                                           | █                                                                                     |      |      |      |      |
| Klasifikační ukazatele $Cl$ a jim odpovídající hodnoty $U_{em}$ pro $A/V = 0,26\text{ m}^2/\text{m}^3$                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |      |      |      |      |
| $Cl$                                                                                                                                                                         | 0,30                                                                                  | 0,60                                                                                  | (0,75)                                                                                | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 |
| $U_{em}$                                                                                                                                                                     | 0,42                                                                                  | 0,84                                                                                  | (1,05)                                                                                | 1,40 | 1,70 | 2,00 | 3,00 |
| Platnost štítku do                                                                                                                                                           | █                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |      |      |      |      |
| Datum vystavení štítku                                                                                                                                                       | █                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |      |      |      |      |
| Štítek vypracoval                                                                                                                                                            | Tomáš Malušek<br>(Kvalifikace)                                                        |                                                                                       |                                                                                       |      |      |      |      |

## PŘÍLOHA P IV: VYHODNOCENÍ TEPELNÝCH ZISKŮ

| Vyhodnocení tepelných zisků pro průmyslovou halu [kW] |              |       |      |        |       |        |        |            |       |      |       |          |          |
|-------------------------------------------------------|--------------|-------|------|--------|-------|--------|--------|------------|-------|------|-------|----------|----------|
|                                                       |              | Měsíc |      |        |       |        |        |            |       |      |       |          |          |
|                                                       |              | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec   | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| <b>H<br/>o<br/>d<br/>i<br/>n<br/>a</b>                | <b>1:00</b>  | -283  | -221 | -161   | -102  | -55    | -24    | -17        | -30   | -57  | -97   | -144     | -195     |
|                                                       | <b>2:00</b>  | -291  | -230 | -169   | -110  | -63    | -32    | -25        | -38   | -65  | -105  | -152     | -203     |
|                                                       | <b>3:00</b>  | -295  | -234 | -173   | -114  | -67    | -37    | -30        | -42   | -70  | -110  | -157     | -208     |
|                                                       | <b>4:00</b>  | -297  | -235 | -174   | -115  | -68    | -35    | -30        | -43   | -70  | -110  | -158     | -209     |
|                                                       | <b>5:00</b>  | -291  | -232 | -170   | -107  | -12    | 34     | 12         | -35   | -67  | -108  | -152     | -202     |
|                                                       | <b>6:00</b>  | -228  | -157 | -82    | 3     | 72     | 111    | 109        | 75    | 24   | -32   | -89      | -144     |
|                                                       | <b>7:00</b>  | -214  | -142 | -68    | 8     | 77     | 117    | 114        | 80    | 38   | -18   | -75      | -130     |
|                                                       | <b>8:00</b>  | -197  | -126 | -52    | 25    | 82     | 120    | 122        | 97    | 54   | -2    | -58      | -113     |
|                                                       | <b>9:00</b>  | -179  | -108 | -34    | 42    | 100    | 137    | 140        | 114   | 72   | 16    | -41      | -95      |
|                                                       | <b>10:00</b> | -161  | -90  | -16    | 60    | 118    | 155    | 158        | 132   | 90   | 34    | -23      | -78      |
|                                                       | <b>11:00</b> | -145  | -74  | 0      | 77    | 134    | 172    | 174        | 149   | 106  | 51    | -6       | -61      |
|                                                       | <b>12:00</b> | -131  | -60  | 15     | 91    | 148    | 186    | 189        | 163   | 121  | 65    | 8        | -47      |
|                                                       | <b>13:00</b> | -120  | -49  | 26     | 102   | 159    | 197    | 200        | 174   | 132  | 76    | 19       | -36      |
|                                                       | <b>14:00</b> | -113  | -42  | 32     | 109   | 166    | 204    | 207        | 181   | 139  | 83    | 26       | -29      |
|                                                       | <b>15:00</b> | -111  | -39  | 35     | 111   | 169    | 206    | <b>209</b> | 183   | 141  | 85    | 28       | -27      |
|                                                       | <b>16:00</b> | -113  | -42  | 32     | 109   | 166    | 204    | 207        | 181   | 139  | 83    | 26       | -29      |
|                                                       | <b>17:00</b> | -172  | -112 | -31    | 49    | 115    | 158    | 151        | 121   | 73   | 12    | -33      | -83      |
|                                                       | <b>18:00</b> | -183  | -125 | -67    | 30    | 129    | 170    | 156        | 101   | 35   | 0     | -44      | -94      |
|                                                       | <b>19:00</b> | -197  | -139 | -77    | -13   | 82     | 128    | 106        | 59    | 26   | -14   | -59      | -108     |
|                                                       | <b>20:00</b> | -213  | -151 | -89    | -31   | 17     | 49     | 54         | 41    | 14   | -26   | -74      | -125     |
|                                                       | <b>21:00</b> | -227  | -165 | -104   | -46   | 1      | 32     | 39         | 26    | -1   | -41   | -88      | -139     |
|                                                       | <b>22:00</b> | -242  | -181 | -120   | -61   | -15    | 16     | 23         | 10    | -17  | -57   | -104     | -155     |
|                                                       | <b>23:00</b> | -257  | -196 | -135   | -77   | -30    | 1      | 8          | -5    | -32  | -72   | -119     | -170     |
|                                                       | <b>24:00</b> | -271  | -210 | -149   | -90   | -44    | -13    | -6         | -19   | -46  | -86   | -132     | -184     |

# PŘÍLOHA P V: HYDRAULICKÉ SCHÉMA PRO OHŘEV TEPLÉ VODY

