

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VYTÁPĚNÍ VÝROBNÍ HALY

HEATING OF A PRODUCTION HALL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FILIP POLÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. PAVEL CHARVÁT, PH.D.

BRNO 2014

Vysoké uèení technické v Brnì, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁØSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Poláèek

který/která studuje v **bakaláøském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Øeditel ústavu Vám v souladu se zákonem è.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním øádem VUT v Brnì urèuje následující téma bakaláøské práce:

Vytápìní výrobní haly

v anglickém jazyce:

Heating of a production hall

Struèná charakteristika problematiky úkolu:

Tepelná pohoda prostøedí hraje dùležitou úlohu jak v obytných tak ve výrobních prostorách, pøièemž výrobní prostory mají z hlediska zajištění tepelné pohody prostøedí jistá specifika. Jedná se vùtšinou o rozlehlé prostory s pomìrnì velkou svìtlou výškou, kde je obtížnější zajistit homogenitu tepelného stavu prostøedí. Ve výrobních prostorách se navíc obvykle nachází množství zdrojù tepla, které vstupují do celkové tepelné bilance. Existuje øada zpùsobù vytápìní výrobních prostor od teplovzdušných po sálavé, ale ne všechny zpùsoby jsou použitelné ve všech pøípadech.

Cíle bakaláøské práce:

Cílem práce je zpracovat rešerši zpùsobù vytápìní výrobních prostor s jejich struènou charakteristikou a hlavními výhodami a nevýhodami. V praktické èásti práce bude proveden ideový návrh vytápìní výrobní haly s CNC obrábìcími centry. V rámci tohoto návrhu bude proveden rozbor tepelná bilance vytápìného prostoru a zvolen vhodný zpùsob vytápìní.

Seznam odborné literatury:

Topenářská průručka, 2001, vydavatel: GAS s.r.o.

McQuiston F.C., Parker J.D., Spitler J.D. Heating, Ventilating, and Air-conditioning, Analyses and Design, sixth edition, John Wiley & Sons, Inc., 2005.

ASHRAE Handbooks

Materiály výrobců vytápěcích systémů.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 29.10.2013

L.S.

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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Říkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na možnosti vytápění výrobních hal. Na jejich výhody a nevýhody. Dále se práce zabývá vhodným výběrem způsob vytápění pro konkrétní výrobní halu a výpočtem ideového návrhu vytápění.

Klíčová slova

vytápění, výrobní haly, vnitřní prostředí, sálavé panely, teplovzdušné vytápění,

ABSTRACT

The thesis is focused on different options of heating methods of production halls. On their advantages and disadvantages. Furthermore, the work deals with the selection of a suitable heating method of a specific production hall and the calculation of the ideal designing of the heating system.

Key words

heating, production halls, internal environment, radiant heaters, air heating,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLÁČEK, Filip. *Vytápění výrobní haly*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. 52 s. 12 příloh. Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **VYTÁPĚNÍ VÝROBNÍ HALY** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Filip Poláček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Pavlu Charvátovi, Ph.D za to, že si na mě vždy udělal čas a za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH	8
ÚVOD	10
1 Vnitřní prostředí výrobních hal	11
1.1 Charakteristika výrobních hal	11
1.2 Tepelná pohoda a vnitřní mikroklima	11
1.3 Zóny vlivu na řešení otopných soustav v průmyslových halách	12
2 Vytápění výrobních hal	15
2.1 Závěsné sálavé panely	15
2.2 Vytápění infračervenými plynovými zářiči	16
2.3 Teplovzdušné vytápění	17
2.4 Porovnání teploty prostředí u sálavého a teplovzdušného vytápění	18
2.5 Rozmístění topných prvků	18
2.5.1 Rozmístění sálavých panelů:	18
2.5.2 Infračervené plynové zářiče	19
2.5.3 Teplovzdušné vytápění	20
3 Tepelná bilance	21
3.1 Propozice budovy	21
3.2 Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru	22
3.2.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem	22
3.2.2 Návrhová tepelná ztráta větráním	23
3.3 Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor	24
3.4 Ukázkový výpočet návrhového tepelného výkonu pro dílnu	25
3.4.1 Součinitelé prostupu tepla pro jednotlivé stavební části	25
3.4.2 Plocha jednotlivých stavebních částí	28
3.4.3 Návrhová tepelná ztráta prostupem pro dílnu	28
3.4.4 Návrhová tepelná ztráta větráním pro dílnu	28
3.4.5 Celková návrhová tepelná ztráta pro dílnu	28
3.4.6 Zátopový tepelný výkon pro dílnu	29
3.4.7 Návrhový tepelný výkon pro dílnu	29
3.5 Návrhový tepelný výkon pro celý objekt	29
4 Návrh vytápění v dílně	30
4.1 Tepelný výkon panelu	30

4.1.1 Určení součinitele f_2	30
4.2 Hygienické hledisko intenzity osálení	31
4.2.1 Určení sálavé účinnosti	31
4.3 Výběr panelů	32
4.3.1 Kontrola výkonu panelů.....	32
ZÁVĚR	33
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	34
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	37
SEZNAM obrázků	39
SEZNAM TABULEK.....	40

ÚVOD

Nedílnou součástí nákladů na průmyslovou výrobu nejsou jen náklady na materiál, platy zaměstnanců, ale i cena vstupních energií. To je jedním z důvodů, proč při renovaci starých výrobních hal nebo výstavbě nových výrobních prostorů jsou kladeny požadavky jak na hospodárnost otopných soustav, tak i na vnitřní mikroklima. Při dobrých mikroklimatických podmínkách zaměstnanci pracují s větší efektivností, což se promítne do výrobních nákladů.

V Československu se zasloužili o vývoj v oblasti úpravy vnitřního prostředí především Dr. Ing. Jaroslav Cihelka CSc. a Ing. Miroslav Kotrbatý, kteří přispěli k pokroku v oblasti vytápění velkých objektů. Příkladem může být vývoj sálavých panelů.

Nejen nové metody vytápění, ale také použití nových stavebních materiálů a stavebních postupů, pomůže při snížení energetických nároků budovy.

Nejen cena energie, dopad na životní prostředí, ale především přísnější normy a limity upravující parametry podmínek v pracovní oblasti zajišťují další vývoj v oblasti vytápění.

1 VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ VÝROBNÍCH HAL

1.1 Charakteristika výrobních hal

Průmyslové haly dosahují velkých rozměrů jak do délky tak také do výšky a šířky. Výrobní prostory oproti skladovacím či logistickým mívají nižší světlou výšku. Dají se rozdělit do dvou hlavních skupin:

Jednopodlažní - určeny především pro těžkou výrobu

Vícepodlažní - nutno rozdělit výrobu tak, aby těžké stroje byly v přízemí

1.2 Tepelná pohoda a vnitřní mikroklima

V dnešní době trávíme většinu času v uzavřených prostorách. Nezáleží, zda se jedná o vzdělání, práci či relaxaci. Stalo se pro nás dominantním prostředím. Kvalita vnitřního prostředí značně ovlivňuje *výkonnost a zdraví člověka*. Proto je kvalita vnitřního prostředí jedním z nejdůležitějších parametrů staveb, které jsou určeny pro dlouhodobý pobyt lidí, výrobní haly nevyjímaje. Nejdůležitější složkou je tepelně vlhkostní mikroklima [1][2].

Tepelně vlhkostní stav prostředí:

Tento stav je především charakterizován operativní teplotou vzduchu, relativní vlhkostí a relativní rychlostí proudění [1].

Teplotu a proudění vzduchu člověk vnímá díky volným nervovým zakončením na povrchu těla takřka okamžitě. Proto teplota a relativní vlhkost jsou nejdůležitějšími parametry pro subjektivní posuzování tepelné pohody [1].

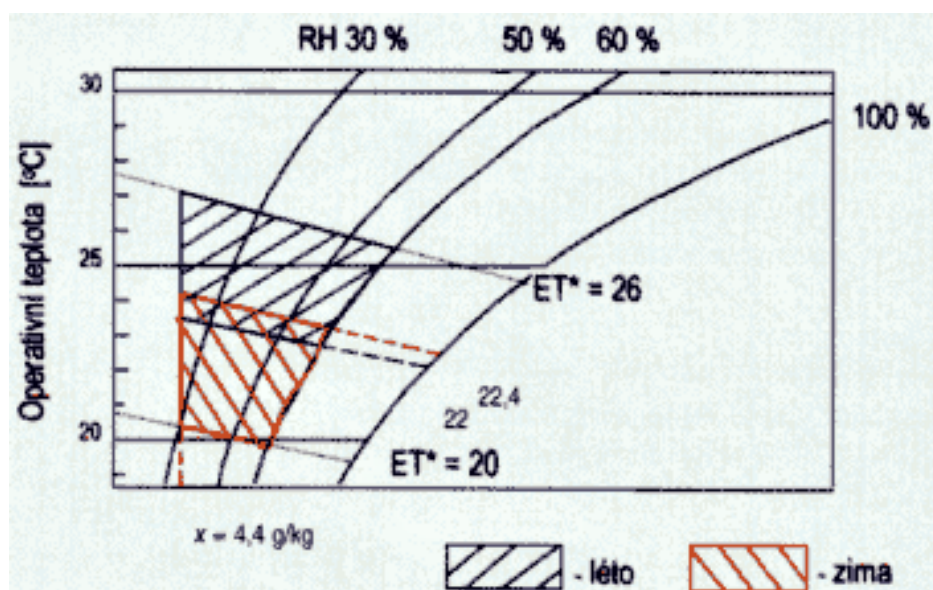
Tepelná pohoda prostředí:

„Tepelná pohoda znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani příliš teplo - člověk se cítí příjemně.“ [4]

Normální teplota zdravého lidského těla je přibližně 36,5 °C. Člověk při svých aktivitách produkuje teplo, které je potřeba odvádět aby nedošlo k přehřátí organismu. Teplo je odváděno sáláním, prouděním, vedením a vypařováním [2][4].

Pocit tepla či chladu je subjektivní pocit proto se nedá tepelná pohoda stanovit tak, aby všichni byli spokojeni. Proto se předpokládá nějaké procento nespokojených.

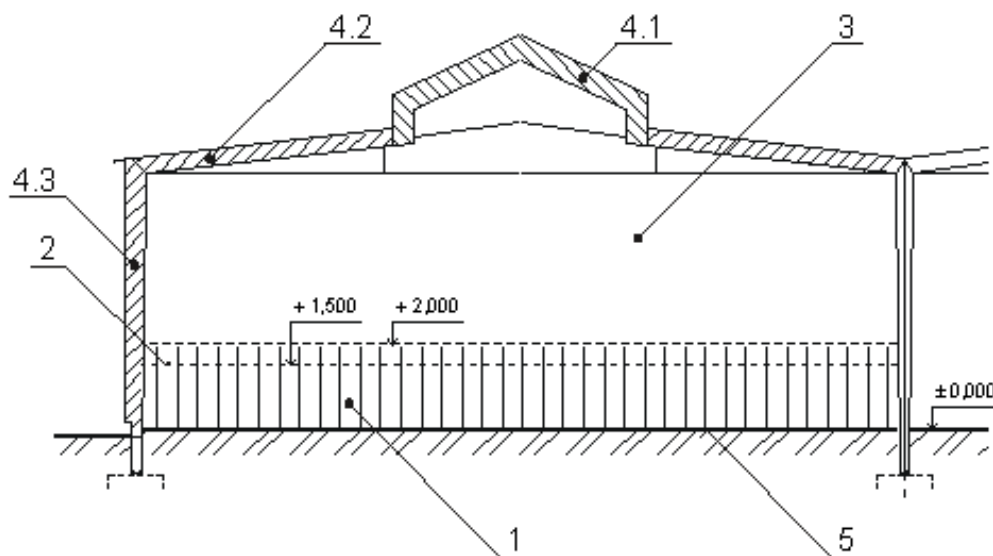
Obrázek 1 znázorňuje oblast tepelné pohody v letním a zimním období pro mírnou aktivitu člověka s 10% nespokojených [4].



Obr. 1 Oblast tepelné pohody v letním a zimním období znázorněná v modifikovaném diagramu vlhkého vzduchu, podle normy ASHRAE 55-1992[4]

1.3 Zóny vlivu na řešení otopných soustav v průmyslových halách

Jak už bylo řečeno, haly jsou rozlehle stavby a teplota hraje velkou roli při stanovování tepelné pohody, která má značný vliv na výkonnost zaměstnanců. Vytápění celé haly na konstantní teplotu by bylo značně nákladné a zbytečné, protože pracovníci se nepohybují v celém prostoru haly, proto se dají haly rozdělit do určitých zón které jsou zobrazeny na obr.2.



Obr. 2 Zóny vlivu na řešení otopných soustav v průmyslové hale [5]

- 1 - zóna pobytu člověka ($\pm 0,0 \div + 2,0$ m), 2 - rovina hodnotících kritérií prostředí (+ 1,5 m),
 3 - neutrální zóna, 4 - zóna energetické náročnosti objektu, 5 - druhotná „otopná“ plocha

1-zóna pobytu člověka

Tato zóna je nejdůležitější, protože v ní zaměstnanci vykonávají svou práci. Mikroklimatické podmínky přímo souvisí s dodržováním teplotní rovnováhy člověka. Při práci člověka probíhají látkové přeměny a vzniká teplo. Čím člověk vykonává fyzicky náročnou práci, tím produkuje více tepla. Pokud nastane stav kdy je tepelný tok od člověka do okolí větší než množství produkovaného metabolického tepla tak nastává pocit chladu. Tepelná rovnováha člověka nastává při výsledné teplotě t_g . Tato teplota zachycuje vliv vlhkosti, rychlosti proudění, teploty vzduchu i teplotu okolních ploch [5].

$$t_g = \frac{t_i + t_s}{2}$$

$$t_g = \frac{t_i + \frac{\alpha_s}{\alpha_k} t_s}{2}$$

t_g (°C) - teplota výsledná

t_i (°C) - teplota vzduchu

t_s (°C) - teplota sálavá (okolních ploch)

α_s ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) - součinitel přestupu tepla na povrchu těla sáláním

α_k ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) - součinitel přestupu tepla na povrchu těla konvekcí

První rovnice popisuje výslednou teplotu bez proudění vzduchu. Pokud vzduch proudí, musíme započítat vliv součinitelů přestupu tepla. První zóna zaujímá přibližně prostor o výšce přibližně 2m. Podlaha je součástí tohoto prostoru. Terén pod podlahou dosahuje konstantní teploty 10°C díky akumulacím vlastnostem půdy. Při zvolení správné vytápěcí metody lze z podlahy vytvořit druhotnou otopnou plochu [5].

3-Neutrální zóna

Dosahované teploty v této zóně nemají přímý vliv na podmínky v zóně pobytu člověka. Ale teplotní gradient v této zóně (0,3 ÷ 0,5 K/m při sálavém a 1 K/m při teplotovzdušném vytápění) má vliv na energetickou náročnost objektu. Protože se podílí na zvyšování teploty pod stropem [5].

4-Zóna energetické náročnosti objektu

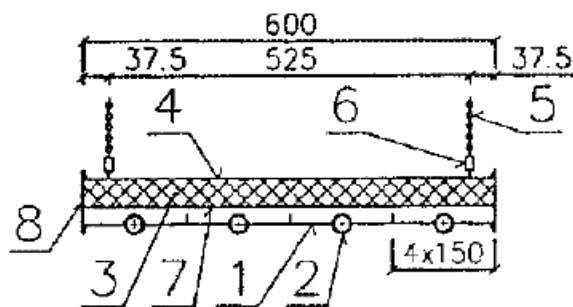
Prostory, které jsou v přímém kontaktu s opláštěním objektu a to zejména se světlíkem (4.1), oknem, střešou (4.2) a stěnami (4.3) ovlivňují tepelné ztráty. Čím je v těchto místech větší teplota, tím je větší energetická náročnost objektu. Při navrhování vytápění by měly dostávat přednost otopné soustavy, které svým principem přenosu tepla minimalizují teplotu v těchto místech [5].

2 VYTÁPĚNÍ VÝROBNÍCH HAL

2.1 Závěsné sálavé panely

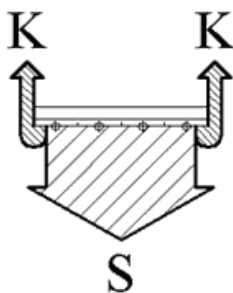
Princip:

U závěsných panelů otopnou plochu tvoří panely, které jsou vyrobeny z plechu a izolace. Jsou ohřívány vodou či parou, která do nich proudí trubkovými registry, které jsou mezi izolací a sálavým plechem. Příčný průřez je na *obr.3*. Panely se zavěšují pod strop budovy. Přenos tepla je složen ze sálavé a konvekční složky. Otopný výkon je složen ze dvou složek jak můžete vidět na *obr. 4*. Sálavá složka (S) tvoří přibližně 75-85% a konvekční složka (K) přibližně 15-25%. Sáláním dochází k přenosu tepla do pracovního prostoru, kde dochází k zahřívání ploch pod panely. Díky tomu je možno dosáhnout tepelné pohody při nižší teplotě vzduchu v pracovním prostoru. Konvekční složka se značně podílí na ztrátách [1][2][6].



Obr. 3 Příčný řez panelem

2.otopná trubka, 3.izolace, 4.hliníková fólie, 5,6 části zavěšení, 7.spojovací nosník [1]



Obr. 4 Rozdělení otopného výkonu sálavého panelu na sálavou a konvekční složku [7]

Výhody:

- Tepelná pohoda při sálavém vytápění, která je z fyziologického hlediska člověku velmi blízká, vzniká na podobném principu, na kterém se tvoří prostředí Země (Slunce nejprve ohřeje zemský povrch a od něj vzduch).
- Primární složka, která se podílí na přenosu tepla, je sálání. Díky tomu je možné dosáhnout tepelné pohody při nižší teplotě vzduchu. A nedochází k tepelným ztrátám pod střechou .
- Sálavá složka nepřispívá k víření prachu, tak jak tomu je u konvekce.
- Chod nezvyšuje hlučnost prostředí
- Možnost vytváření pásů sálavých panelů
- Vysoká životnost, až 40 let, a malé nároky na údržbu [2]

Nevýhody:

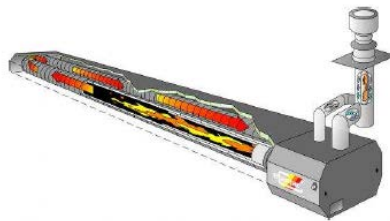
- vyšší pořizovací cena
- velká tepelná setrvačnost z důvodů akumulace tepla do stavebních konstrukcí [2]

2.2 Vytápění infračervenými plynovými zářiči

Princip:

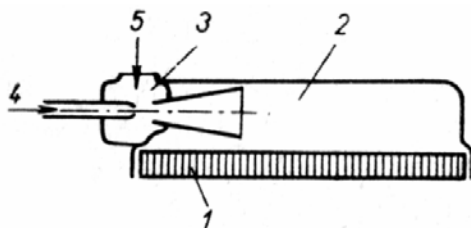
Stejně jako u sálavých panelů teplo do pracovní zóny je přenášeno sáláním. Nejprve se ohřeje podlaha, od které je ohříván vzduch. Jsou dva typy infračervených plynových zářičů.

Tmavé zářiče dosahují potřebného výkonu spalováním plynu v trubici, která při provozu vyzařuje energii na vlnových délkách, které jsou pro oko člověka neviditelné. Teplota spalin na vstupu je okolo 500 °C na výstupu 180 °C. Zářič je opatřen reflexními zákryty. Vyrábí se i menší zářiče, které mají na vstupu teplotu spalin 280 °C na úkor účinnosti [1][2].



Obr. 5 Tmavý infračervený plynový zářič [8]

Světlé zářiče mají jako zdroj sálání plochy z keramických destiček. Teplota destiček dosahuje přibližně 900 °C. Plyn je spalován v komoře zářiče na vnitřní straně destiček které v důsledku vysokých teplot vyzařují část své energie ve spektru pro člověka viditelném [1][2].



Obr. 6 Schéma světlého zářiče

1.keramická deska,2.komora zářiče,3.injektor,4.přívod plynu,5.přívod vzduchu [2]

Výhody:

- Výhody vzniklé způsobem přenosu tepla jsou stejné jako u závěsných sálavých panelů
- Díky spalování plynu přímo v plynovém zářiči odpadají ztráty v trubkách s teplou vodou, které vedou od zdroje k místu použití.

Nevýhody:

- Velká tepelná setrvačnost

2.3 Teplovzdušné vytápění

Princip:

Při teplovzdušném vytápění je do vytápěného prostoru dodáván vzduch o vyšší teplotě, než je teplota vzduchu v prostoru. Teplota vstupního vzduchu je okolo 70°C. Aby bylo dosaženo co největšího dosahu proudu vzduchu (min. 25 m) musí vzduch z vyústky do místnosti vstupovat velkou rychlostí. Existují systémy s centrálním ohřevem vzduchu a následnou distribucí do místností. Lepší variantou je vytápění teplovzdušnými jednotkami s bezpotrubním přívodem vzduchu, které nemají ztráty při přívodu ohřátého vzduchu. Vzduch je nasán přímo v místnosti a následně ohříván [1][2].



Obr.7 Jednotka teplovzdušného vytápění [9]

Výhody:

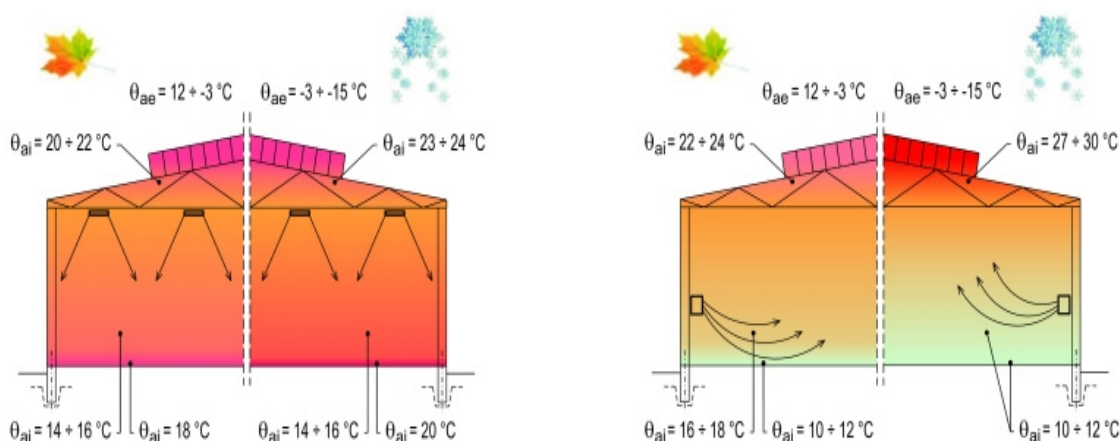
- rychlost provozní pohotovosti

Nevýhody:

- nehospodárnost, teplý a rychlý vzduch stoupá ke stropu, kde tvoří polštář teplého vzduchu a naopak teplota v pracovním prostoru je nízká
- prouděním vzduchu zvedá prach
- vyšší hlučnost oproti sálavým variantám vytápění

2.4 Porovnání teploty prostředí u sálavého a teplovzdušného vytápění

Největší rozdíl je ve způsobu předávání tepla do okolí a homogenitě teplotního pole. Na obr. 7 si můžeme všimnout, že u sálavých panelů se ohřívá podlaha a teplo stoupá stejnoměrně ke stropu. Největší teplota je u podlahy (v pracovním prostoru) a směrem ke stropu se vzduch ochlazuje. Naopak u teplovzdušného vytápění urychlený teplý vzduch stoupá přímo ke stropu a neohřívá pracovní prostor.



Obr. 8 Porovnání sálavého a teplovzdušného vytápění [10]

2.5 Rozmístění topných prvků

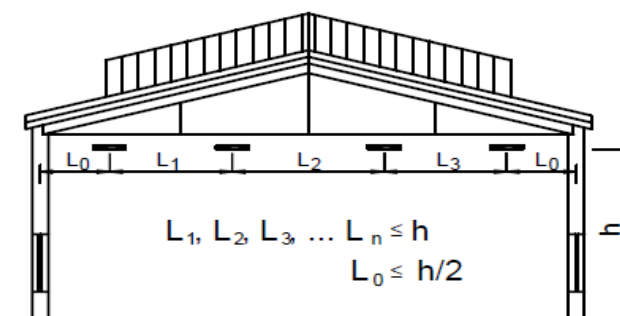
Velký vliv na hospodárnost otopné soustavy všech způsobů vytápění má rozmístění topných prvků. Nesprávným rozmístěním prvků můžeme značně navýšit ztráty a dokonce i potlačit výhody dané metody.

2.5.1 Rozmístění sálavých panelů:

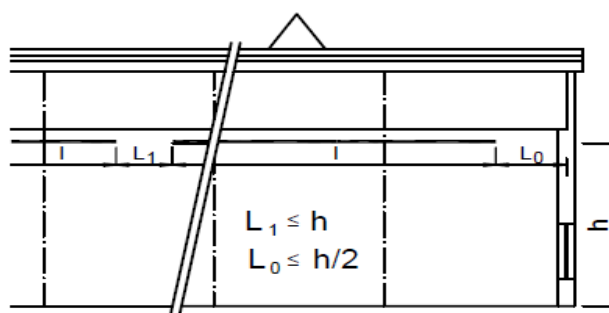
Sápravé panely se rozmisťují pod strop haly. Pro dosažení rovnoměrného vytápění jsou důležité podélné a příčné rozestupy jednotlivých panelů. Výchozími rozměry k určení vzdálenosti v příčném a podélném směru je výška h , ve které jsou panely umístěny a šířka panelu B_p . Od obvodových stěn budovy musí být vzdálenost menší [1][11].

Tabulka 1 Vzdálenosti sálových panelů [11]

Vzdálenosti panelů	
panely nebo pásy o $B_p \leq 0,5 \text{ m}$	$L_1, L_2 \dots L_n = h - 0,5 \text{ m}$
panely nebo pásy o $B_p > 0,5 \text{ m}$	$L_1, L_2 \dots L_n = h$
větší zasklené obvodové stěny	$L_0 = 0,3h$
dobře izolované stěny	$L_0 = 0,5h$



Obr. 9 Vzdálenost panelů v příčném směru [11]

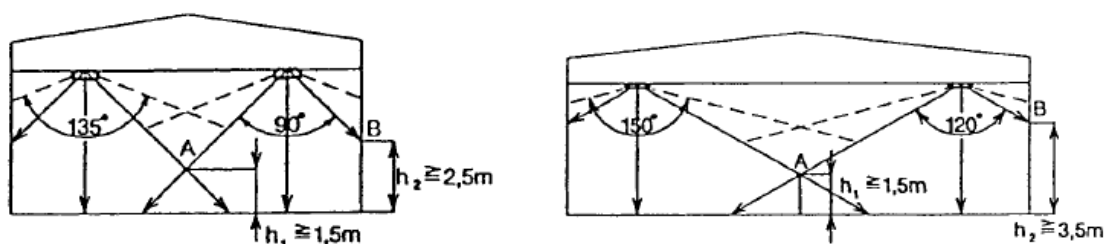


Obr.10 Vzdálenost panelů v podélném směru [11]

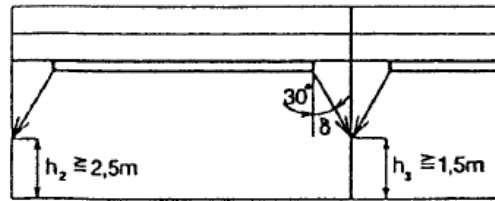
2.5.2 Infračervené plynové zářiče

Tmavé zářiče:

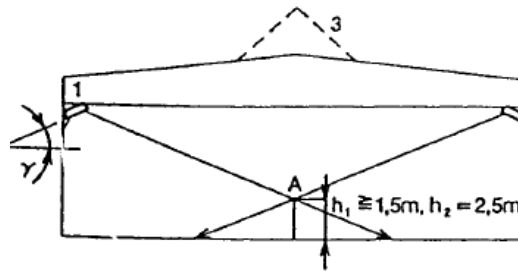
Hlavními rozměry při určování polohy infračerveného zářiče je úhel jádrového sálání (α) a všeobecného sálání (β). Zářiče se vyrábějí ve dvou provedeních. Alfa provedení má úhel jádrového sálání 90° , úhel všeobecného sálání 135° . Beta provedení má úhel jádrového sálání 120° , úhel všeobecného sálání 150° . Zářiče jdou rozmístit nejen vodorovně ale i svisle, ale musí se použít typ alfa h_1 – pod světlíkem h_2 – bez světlíku viz obr.12 [1].



Obr. 11 Příčné rozmístění alfa a beta zářičů [1]



Obr. 11 Rozmístěný v podélném směru [1]



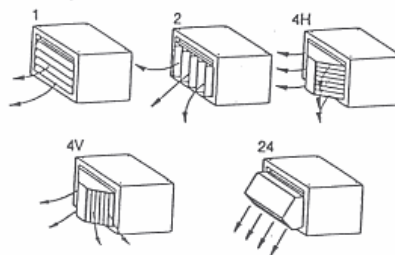
Obr. 12 Šikmé rozmístěný [1]

Světlé zářiče

Při rozmístování světlých infračervených zářičů platí stejné pravidla jako při rozmístování tmavých. Jediný rozdíl je v úhlech. Úhel jádrového sálání 60° , úhel všeobecného sálání 90° [1].

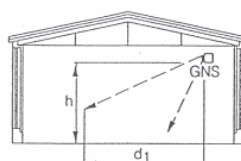
2.5.3 Teplovzdušné vytápění

Jsou dva typy jednotek GNS (s axiálním ventilátorem) a GNC (s radiálním ventilátorem) Hlavním faktorem, který určuje dosah a rozptyl teplého vzduchu v hale je kromě výkonu také zvolená výústka. Na obr. 13 můžeme vidět několik typů vyústek pro GSN [1][12].



Obr. 13 Vyústky pro GNS [1]

Na obr. 14 jsou naznačeny vzdálenosti dosahu proudu. Orientační hodnoty jsou pro každou kombinaci výkonu a vyústky jiné.



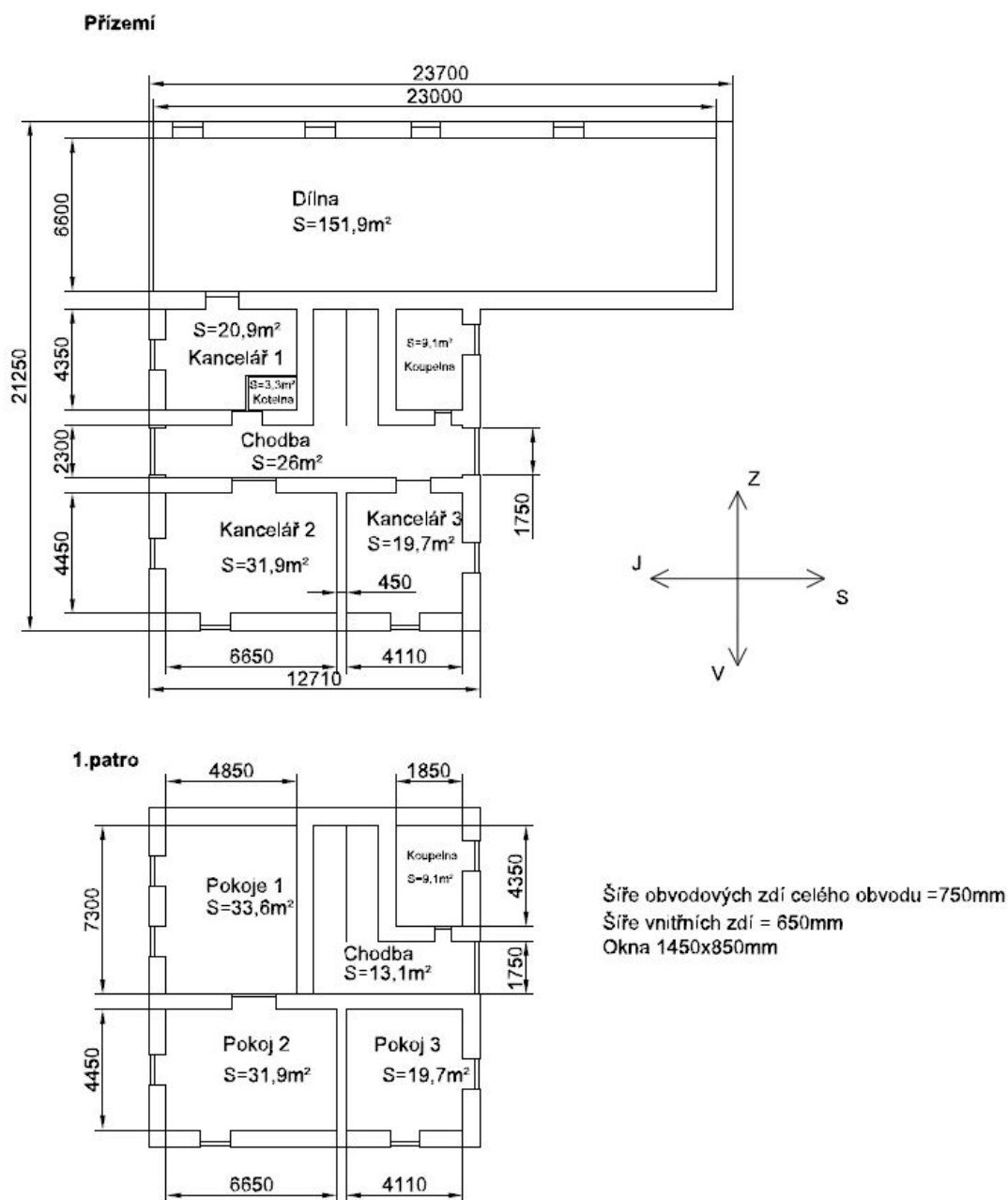
Obr. 14 Dosah proudu u GNS [1][12]

3 TEPELNÁ BILANCE

3.1 Propozice budovy

V následující části bude proveden návrh vytápění výrobní haly. Návrh bude obsahovat ideový návrh tepelného výkonu. Hala patří mezi jednopodlažní. V této hale je umístěna výroba strojních součástí na CNC strojích.

Pro výpočet celkových návrhových tepelných ztrát byla použita zjednodušená metoda výpočtu, která je popsána v normě : ČSN EN 12831[13]



Obr. 15 Propozice budovy

3.2 Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru

Celkové tepelné ztráty Φ_i vytápěného prostoru (i) se stanovují podle vztahu (1)

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) * f_{\Delta\theta,i} \quad (1)$$

$\Phi_{T,i}$... návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru (i) ve wattech (W)

$\Phi_{V,i}$... návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) ve wattech (W)

$f_{\Delta\theta,i}$... teplotní korekční činitel zohledňující dodatečné tepelné ztráty místnosti vytápěných na teplotu vyšší než mají sousední vytápěné místnosti tento činitel se určuje z tabulky 2)

Tabulka 2 Korekční činitel zohledňující vytápění na vyšší teplotu [13]

Vnitřní výpočtová teplota místnosti	$f_{\Delta\theta}$
normální	1,0
vyšší	1,6

3.2.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru se vypočítá podle rovnice (2).

$$\Phi_{T,i} = \sum_k f_k * A_k * U_k * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2)$$

f_k ... teplotní korekční činitel pro stavební část (k) při uvažování rozdílu teploty uvažovaného případu a výpočtové venkovní teploty určuje se z tabulky (číslo tab)

A_k ... plocha stavební části (k) v metrech čtverečních (m²)

U_k ... součinitel prostupu tepla stavební části (k) ve (W/m²K)

Tabulka 3 Teplotní korekční činitel[13]

Tepelná ztráta	f_k	Poznámky
přímo do vnějšího prostředí	1,00	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	1,40	teplené mosty nejsou tepleně izolované
	1,00	pro okna a dveře
nevytápěným prostorem	0,80	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	1,12	teplené mosty nejsou tepleně izolované
zemí	0,30	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	0,42	teplené mosty nejsou tepleně izolované
podkrovím	0,90	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	1,26	teplené mosty nejsou tepleně izolované
zvýšenou podlahou	0,90	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	1,26	teplené mosty nejsou tepleně izolované
do sousední budovy	0,50	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	0,70	teplené mosty nejsou tepleně izolované
do sousední funkční části budovy	0,30	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	0,42	teplené mosty nejsou tepleně izolované

3.2.2 Návrhová tepelná ztráta větráním

Návrhová tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ pro vytápěný prostor (i) se určí pomocí rovnice (3)

$$\Phi_{V,i} = 0,34 * V_{min,i} * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (3)$$

$V_{min,i}$... hygienicky nejmenší požadované množství vzduchu pro vytápěný prostor (i) v (m^3/h) tato hodnota se vypočítá pomocí rovnice (4)

$$V_{min,i} = n_{min} * V_i \quad (4)$$

n_{min} ... nejmenší intenzita výměny venkovního vzduchu za hodinu (h^{-1})

V_i ... objem vytápěného prostoru (i) v krychlových metrech vypočítaný z vnitřních rozměrů prostoru.

3.3 Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor

Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor vypočítám podle vzorce (5)

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i} \quad (5)$$

Φ_i ... návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru (i) ve (W)

$\Phi_{RH,i}$... zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) ve (W) který určíme z rovnice (6)

$$\Phi_{RH,i} = A_i * f_{RH} \quad (6)$$

A_i ... podlahová plocha vytápěného prostoru (i) v (m²)

f_{RH} ... zátopový součinitel závislý na druhu budovy, stavební konstrukci, době zátopu a předpokládaném poklesu vnitřní teploty během útlumu vytápění. (tabulka)

Tabulka 4 Zátopový součinitel[13]

Doba zátopu h	f_{RH} W/m ²								
	Předpokládaný pokles vnitřní teploty během teplotního útlumu ^a								
	2K			3K			4K		
	Hmotnost budovy			Hmotnost budovy			Hmotnost budovy		
	nízká	střední	vysoká	nízká	střední	vysoká	nízká	střední	vysoká
1	18	23	25	27	30	27	36	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

^a v dobře tepelně izolovaných a utěsněných budovách není obvyklý předpokládaný pokles vnitřní teploty o více než 2 K až 3 K. Pokles závisí na klimatických podmínkách a tepelné hmotě budovy.

3.4 Ukázkový výpočet návrhového tepelného výkonu pro dílnu

Pro výpočet budeme potřebovat znát všechny součinitele prostupu tepla jednotlivých stavebních částí.

3.4.1 Součinitelé prostupu tepla pro jednotlivé stavební části

Součinitel prostupu tepla pro složenou stěnu se vypočítá podle rovnice (7)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (7)$$

α_1 ...součinitel přestupu tepla na vnitřní straně ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) $\frac{1}{\alpha_1} = R_{si}$

α_2 ...součinitel přestupu tepla na vnější straně ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) $\frac{1}{\alpha_2} = R_{se}$

δ_i ... šířka dané vrstvy (m)

λ_i ... součinitel tepelné vodivosti ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)

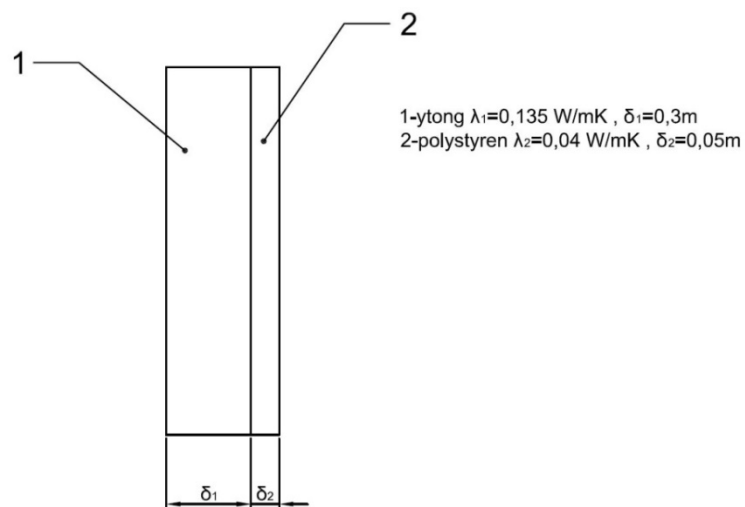
Po úpravě lze rovnice (7) psát ve tvaru:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$

Tabulka 5 Odpor při přestupu tepla na vnitřní, vnější straně konstrukce [14]

Povrch	Účel výpočtu	Konstrukce/povrch	Tepelný odpor při přestupu tepla R_{se} a R_{si} [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
vnější	souč. prostupu tepla, povrchové teploty	jednoplášťová	0,04
		dvouplášťová	stejně jako R_{si}
zemina		styk se zeminou	0
vnitřní	souč. prostupu tepla, tepelné toky	stěna (horizont. tep. tok)	0,13
		střecha (tep. tok vzhůru)	0,1
		podlaha (tepl. tok dolů)	0,17

Severní a jižní stěna dílny:



Obr. 16 Řez severní stěnou a jižní stěnou

Tepelně technické vlastnosti:

$$\delta_1 = 0,3\text{m}$$

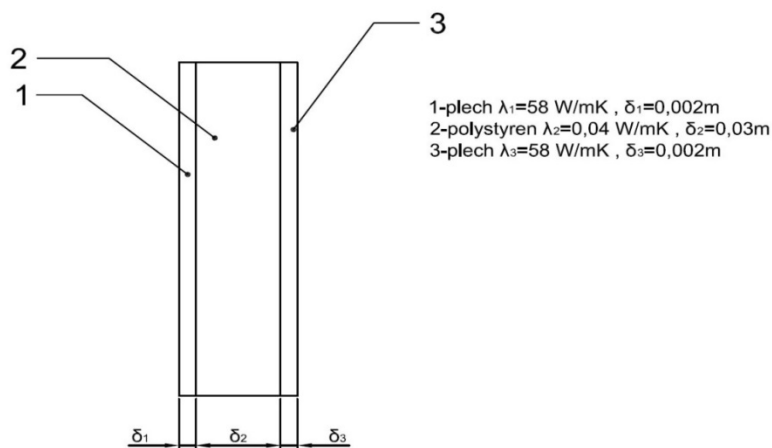
$$\lambda_1 = 0,135 \text{ W/mK} [15]$$

$$\delta_2 = 0,05\text{m}$$

$$\lambda_2 = 0,04 \text{ W/mK} [16]$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,3}{0,135} + \frac{0,05}{0,04} + 0,13} = 0,268 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vrata:



Obr. 17 Řez vraty

Tepelně technické vlastnosti:

$$\delta_1 = \delta_3 = 0,02m$$

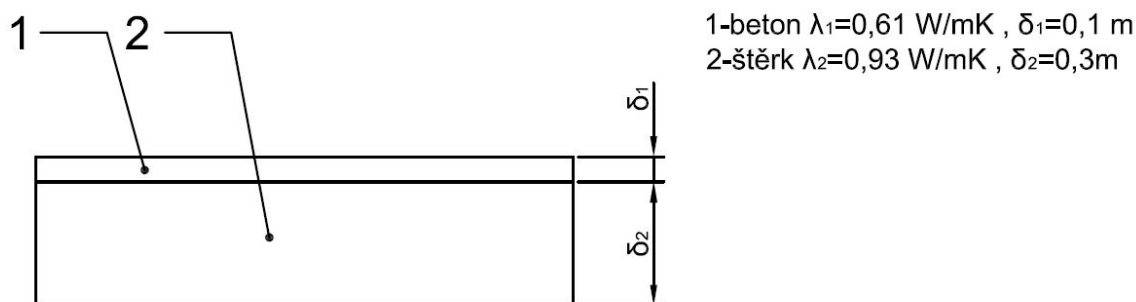
$$\lambda_1 = \lambda_2 = 58 W/mK [16]$$

$$\delta_2 = 0,03m$$

$$\lambda_2 = 0,04 W/mK [16]$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,002}{58} + \frac{0,03}{0,04} + 0,13} = 0,99 W/m^2K$$

Podlaha dílny:



Obr. 18 Řez podlahou dílny

Tepelně technické vlastnosti:

$$\delta_1 = 0,1m$$

$$\lambda_1 = 0,61 W/mK [16]$$

$$\delta_2 = 0,3m$$

$$\lambda_2 = 0,93 W/mK [16]$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,1}{0,61} + \frac{0,3}{0,93}} = 1,523 W/m^2K$$

Obvodová zeď:

Obvodové zdi jsou kamenné u takto složitých zdí je výpočet U velmi komplikovaný. Ve Skotsku mají velké zkušenosti s určováním tohoto součinitele prostupu tepla v publikaci Technical Paper 10 od *Historic Scotland Conservation Group* se lze dočíst hodnoty U pro různé kamenné zdi. Pro kamennou zeď o síle 750 mm se zde uvádí hodnota:

$$U = 1 - 1,4 W/m^2K [17]$$

Okna:

dřevěná okna s jedním sklem $U = 5,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ [18]

dřevěná okna s dvěma skly $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ [18]

Dveře:

venkovní dveře s jedním sklem $U = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ [18]

Strop v dílně:

strop v dílně je zhotoven z kingspan $U = 0,226 \text{ W/m}^2\text{K}$ [19]

3.4.2 Plocha jednotlivých stavebních částí

Severní stěna: $A_1 = (6,6 + 2 * 0,75) * 3 = 24,3\text{m}^2$

Vrata: $A_2 = 3,3 * 3 = 9,9\text{m}^2$

Jižní stěna: $A_3 = A_1 - A_2 = 24,3 - 9,9 = 14,4\text{m}^2$

Východní stěna: $A_3 = 10,9 * 3 = 32,7\text{m}^2$

Okna: $A_4 = 4 * 1,42 * 2,135 = 12,12\text{m}^2$

Západní stěna: $A_5 = 23,7 * 3 = 71,1\text{m}^2$

Podlaha a strop: $A_6, A_7 = 23 * 6,6 = 151,8\text{m}^2$

3.4.3 Návrhová tepelná ztráta prostupem pro dílnu

Dosazením hodnot do rovnice (2) získáme:

$$\begin{aligned}\Phi_{T,1} &= \sum_k f_k * A_k * U_k * (\theta_{int,1} - \theta_e) \\ &= (1 * 24,3 * 0,268 + 1 * 14,4 * 0,268 + 1 * 12,12 * 5,2 + 1 * 32,07 * 1,4 \\ &\quad + 1 * 59,98 * 1,4 + 0,3 * 151,8 * 1,523 + 1,26 * 151,8 * 0,226 + 1 * 9,9 \\ &\quad * 0,99) * 32 = 10372 \text{ W}\end{aligned}$$

$\theta_{int,1}$... vnitřní návrhová teplota 20°C

θ_e ... vnější návrhová teplota -12°C [20]

3.4.4 Návrhová tepelná ztráta větráním pro dílnu

Dosazením hodnot do rovnice (4) a (3) získáme:

$$V_{min} = n_{min} * V_1 = 1,5 * 3 * 151,8 = 683,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Phi_{V,1} = 0,34 * V_{min,i} * (\theta_{int,1} - \theta_e) = 0,34 * 683,1 * 32 = 7432 \text{ W}$$

3.4.5 Celková návrhová tepelná ztráta pro dílnu

Dosazením hodnot do rovnice (1) získáme:

$$\Phi_1 = (\Phi_{T,1} + \Phi_{V,1}) * f_{\Delta\theta,1} = (10372,2428 + 7432,128) * 1 = 17804 \text{ W}$$

3.4.6 Zátopový tepelný výkon pro dílnu

Dosažením hodnot do rovnice (6) získáme:

$$\Phi_{RH,1} = A_1 * f_{RH} = 151,8 * 2 = 303,6 W$$

3.4.7 Návrhový tepelný výkon pro dílnu

Součet Φ_1 a $\Phi_{RH,1}$ nám dá $\Phi_{RH,1} = 18108,1708W = 18,1kW$

3.5 Návrhový tepelný výkon pro celý objekt

Tabulka 6 Přehled návrhových tepelných výkonů pro jednotlivé místnosti

Vytápěný prostor	Návrhový tepelný výkon [W]
Přízemí	
Dílna	18108
Kancelář 1	2567
Kancelář 2	4592
Kancelář 3	3162
Chodba	3846
Kotelna	281
Koupelna	1912
1.patro	
Pokoj 1	4020
Pokoj 2	3766
Pokoj 3	2702
Koupelna	2126
Chodba	1219
Celkový návrhový výkon [W]	48302,7108
Celkový návrhový výkon [kW]	48,3027108

4 NÁVRH VYTÁPĚNÍ V DÍLNĚ

Pro vytápění v dílně je nejvhodnější použít sálové panely

4.1 Tepelný výkon panelu

$$Q_p = Q_z * f_2 = 18,2 * 1 = 18115 \text{ W}$$

Q_p ... tepelný výkon panelů (W)

Q_z ... tepelné ztráty (W)

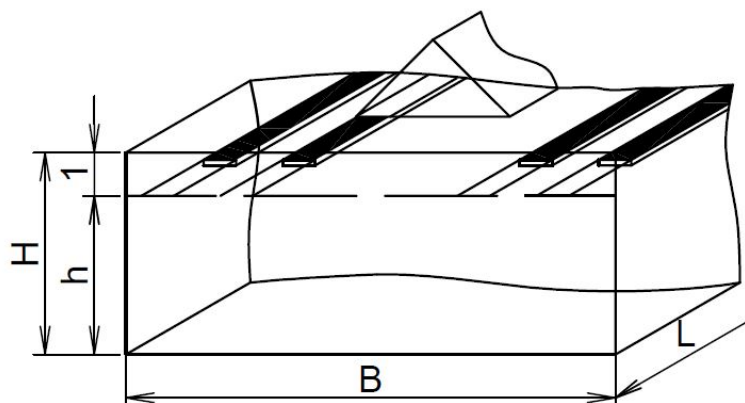
f_2 ... korekční součinitel nižší výšky zavěšení

4.1.1 Určení součinitele f_2

Korekční součinitel se určuje z tabulky č.7

Tabulka 7 Korekční součinitel f_2 [11]

h	L/B (-)		
	2	2-5	5
H-1m			
1,00	1,000	1,000	1,000
0,95	0,967	0,981	0,989
0,90	0,935	0,963	0,979
0,85	0,904	0,944	0,969
0,80	0,874	0,927	0,959
0,75	0,845	0,91	0,949
0,70	0,817	0,889	0,939
0,65	0,790	0,877	0,932
0,60	0,764	0,861	0,926
0,55	0,739	0,845	0,920
0,50	0,715	0,83	0,911
0,45	0,692	0,816	0,893
0,40	0,670	0,802	0,884



Obr. 19 Potřebné údaje pro určení součinitele f_2 [11]

$$\frac{h}{H - 1m} = \frac{2}{3 - 1} = 1$$

$$\frac{L}{B} = \frac{23}{6,6} = 3,49 \Rightarrow \text{rozmezí } 2 - 5$$

$$f_2 = 1$$

4.2 Hygienické hledisko intenzity osálení

V místě pobytu by neměla intenzita osálení z hygienického hlediska překročit intenzitu $l_s \leq 200W/m^2$

$$l_s = \frac{Q_p * \eta_s}{A} = \frac{18115 * 0,7}{151,8} = 83,53W/m^2$$

η_s ...sálavá účinnost (-)

A... plocha podlahy (m^2)

4.2.1 Určení sálavé účinnosti

Účinnost se určuje z tabulky č. 8 podle střední hodnoty teplotnosné látky.

Tabulka 8 Sálavá účinnost [11]

$\Delta\theta$ střední teplota teplotnosné látky (°C)	sálavá účinnost
=80	0,71
<80	0,69-0,71
>80	0,71-,075

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{m1} + \theta_{m2}}{2} - \theta_{int} = \frac{363,15 + 358,15}{2} - 293,15 = 67,5K$$

$\Delta\theta$... střední teplota teplotnosné látky

θ_{m1} ... teplota vody na vstupu $90^\circ C=363,15K$

θ_{m2} ... teplota vody na výstupu $85^\circ C=358,15K$

θ_{int} ... vnitřní navrhovaná teplota $20^\circ C=293,15K$

4.3 Výběr panelů

Volím panel o šířce $B = 750$ mm délka panelu $L = 4000$ mm ,počet panelů $N = 9$ tepelný výkon panelu při střední teplotě teplotonosné látky $67,5$ je $Q_1 = 527 \text{ W/m}$

4.3.1 Kontrola výkonu panelů

$$Q_{pc} = N * L_{pc} * Q_1 = 9 * 4 * 527 = 18972 \text{ W}$$

Q_{pc} ... celkový tepelný výkon panelů (W)

N ... počet panelů (-)

L_p ... délka panel (m)

Q_1 ... tepelný výkon panelu (W/m)

Potřebný výkon jsme vypočítali v kapitole 4.1 a je roven $Q_p = 18115,44 \text{ W}$ celkový výkon navrhovaných panelů je $Q_{pc} = 18972 \text{ W}$

$$Q_{pc} \geq Q_p$$

Navrhované panely dostačují pro dílnu. Ostatní místnosti budovy budou vytápěny ostatními tělesy. Tento návrh není součástí práce.

ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo vypracovat rešeršním způsobem možnosti vytápění výrobních hal, především se zaměřením na princip daného způsobu vytápění, výhody a nevýhody. Na základě rešerše bylo poté nalezeno vhodné řešení vytápění výrobní haly. V první části bakalářské práce bylo vypracováno porovnání nejpoužívanějších metod vytápění výrobních hal. Jedním ze způsobů vytápění je teplovzdušné vytápění. Jak dokázalo mnoho studií tento způsob vytápění je z pohledu mikroklima a efektivity nevhodný. Jednou z výhod jsou malé náklady na vytápění. Další nevýhody jsou hlučnost a prašnost. Naopak vysoce efektivním způsobem je vytápění s použitím sálavých panelů nebo plynových infrazářičů. Výhodou těchto způsobů vytápění je pro člověka přirozené tepelné pole podobné podmínkám ve vnějším prostředí (sluneční záření). Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady.

V druhé části práce byla popsána metodika výpočtu tepelných ztrát podle normy ČSN EN 12831.

V poslední části byl proveden výpočet tepelných ztrát pro jednotlivé místnosti. Byl proveden návrh vytápění sálavými panely. Z výpočtů vyplývá, že pro vytápění celé budovy bude dostačovat zdroj tepla o výkonu 50 kW, který zaručí i malou rezervu výkonu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Topenářská příručka: Svazek 1. 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 1122 s. ISBN 80-861-7682-7.
- [2] *Janotková, E.: Technika prostředí - 1. a 2. část. Elektronická skripta FSI VUT v Brně, Brno 2014*. Dostupné z: <http://studyenergyweb.fme.vutbr.cz/technika-prostredi/technika-prostredi>
- [3] PETRÁŠ, Dušan. *Vytápění velkoprostorových a halových objektů*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2006, 205 s. ISBN 80-8076-040-3.
- [4] Tepelná pohoda a nepohoda. *TZB-info* [online]. 13.12.2000 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [5] Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (III): Komplexní pohled na vytápění průmyslových hal v soustavách CZT. *TZB-info* [online]. 20.3.2006 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3152-vytapeni-prumyslovych-a-velkoprostorovych-objektu-iii>
- [6] Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (VII): Zavěšené sálavé panely a infračervené plynové zářiče v kombinaci s větráním. *TZB-info* [online]. 17.7.2006 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3416-vytapeni-prumyslovych-a-velkoprostorovych-objektu-vii>
- [7] Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (V): Šířka a teplota sálavých panelů mají podstatný vliv na hospodárnost vytápění. *TZB-info* [online]. 15.5.2006 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3286-vytapeni-prumyslovych-a-velkoprostorovych-objektu-v>
- [8] Technologie. *Teplovhale* [online]. 2007 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.teplovhale.cz/technologie/salave-infrazarice-schulte/>
- [9] Teplovzdušná jednotka teplovodní. *Mandik* [online]. 2010 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.mandik.cz/cs/prumyslove-vytapeni/monzun-te-teplovzduzna-jednotka-teplovodni>

- [10] Inteligentní průmyslové haly - část 1. *TZB-info* [online]. 21.12.2009 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/6136-inteligentni-prumyslove-haly-cast>
- [11] KOTRBATÝ. Závěsné sálavé panely. Praha:Kotrbatý,2014. Dostupné z: <http://kotrбаты.cz/data/file/Vyrobky/02-KSP/02-10-KSP-P-03-2014.pdf>
- [12] Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů (VIII) - 1. část: Přímotopné plynové teplovzdušné jednotky. *TZB-info* [online]. 21.8.2006 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3470-vytapeni-prumyslovych-a-velkoprostorovych-objektu-viii-1-cast>
- [13] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [14] Odpor při přestupu tepla. *TZB-info* [online]. 2001-2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/odpor-pri-prestupu-tepla>
- [15] Přesné příčkovky. *Ytong* [online]. XXXX [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.ytong.cz/cs/content/presne-prickovky.php>
- [16] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *TZB-info* [online]. 2001-2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu#t05>
- [17] HISTORIC SCOTLAND CONSERVATION GROUP. *Technical Paper 10: U-values and traditional buildings* [online]. , Edinburgh, 2011 [cit. 16.5.2014]. Dostupné z: <http://www.historic-scotland.gov.uk/hstp102011-u-values-and-traditional-buildings.pdf>
- [18] Součinitel prostupu tepla a součinitel spárové průvzdušnosti oken a dveří dle ČSN 73 0540-3 (1994). *TZB-info* [online]. 2001-2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/32-soucinitel-prostupu-tepla-a-soucinitel-sparove-pruvzdušnosti-oken-a-dveri-dle-csn-73-0540>

- [19] KS1000 AWP - stěnové panely IPN nebo PUR. *Panely.kingspan* [online]. XXX [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://panely.kingspan.cz/stenove-PUR-panely-KS1000-SF-zatepleni-fasad-zatepleni-budov-1751.html>
- [20] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. *TZB-info* [online]. 2001-2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol velká	Jednotka	Popis
A_k	m^2	plocha stavební části (k)
B_p	m	šířka panelu
B	m	šířka budovy
L	m	délka budovy
L_i	m	vzdálenost panelů
L_p	m	délka panelu
N	-	počet panelů
Q_i	W	tepelný výkon panelu
Q_p	W/m	tepelný výkon panelu
Q_z	W	tepelné ztráty
R_{se}	m^2K/W	odpor při přestupu tepla na vnější stranu konstrukce
R_{si}	m^2K/W	odpor při přestupu tepla na vnitřní stranu konstrukce
U_k	$W/m^2 K$	součinitel prostupu tepla
V_i	m^3	objem vytápěného prostoru (i)
$V_{min,i}$	m^3/h	hygienicky nejmenší požadované množství vzduchu pro vytápěný prostor (i)
f_2	-	korekční součinitel nižší výška zvěšení
f_k	-	teplotní korekční činitel
f_{RH}	-	zátopový součinitel
$f_{\Delta\theta_i}$	m	teplotní korekční součinitel prostoru (i)
h	m	výška umístění
l_s	W/m^2	intenzita osálení
$n_{min,i}$	h^{-1}	nejmenší intenzita výměny venkovního vzduchu za hodinu
t_g	$^{\circ}C$	teplota výsledná
t_i	$^{\circ}C$	teplota vzduchu
t_s	$^{\circ}C$	teplota sálavá (okolních ploch)
$\Delta\theta$	K	střední teplota teplonosné látky
Φ_i	W	celkové ztráty vytápěného prostoru (i)
$\Phi_{RH,i}$	W	zátopový tepelný výkon
Φ_{RL}	W	návrhový tepelný výkon
Φ_{ti}	W	ztráty tepla pro prostor (i) přestupem
Φ_{vi}	W	ztráty tepla pro prostor (i) větráním

Symbol velká	Jednotka	Popis
α	$^{\circ}$	úhel jádrového sálání
α_1	W/m^2K	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně
α_2	W/m^2K	součinitel přestupu tepla na vnější straně
α_k	W/m^2K	součinitel přestupu tepla na povrchu těla konvekcí
α_s	W/m^2K	součinitel přestupu tepla na povrchu těla sáláním
β	$^{\circ}$	úhel všeobecné sálání
δ	m	šířka vrstvi
η_s	-	sálavá účinnost
θ_e	K	venokvní teplota
$\theta_{int,i}$	K	teplota uvnitř
θ_{m1}	K	teplota vody na vstupu
θ_{m2}	K	teplota vstupu na výstupu
λ	$W/m K$	součinitel tepelné vodivosti

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Oblast tepelné pohody v letním a zimním období znázorněná v modifikovaném diagramu vlhkého vzduchu, podle normy ASHRAE 55-1992[4]	12
Obr. 2 Zóny vlivu na řešení otopných soustav v průmyslové hale [5]	13
Obr. 3 Příčný řez panelem 2.otopná trubka,3.izolace,4.hliníková fólie,5,6 části zavěšení 7.spojovací nosník [1]	15
Obr. 4 Rozdělení otopného výkonu sálavého panelu na sálavou a konvekční složku [7]....	15
Obr. 5 Tmavý infračervený plynový zářič [8]	16
Obr. 6 Schéma světlého zářiče 1.keramická deska,2.komora zářiče,3.injektor,4.přívod plynu,5.přívod vzduchu [2]	17
Obr.7 Jednotka teplotovzdušného vytápění [9]	17
Obr. 8 Porovnání sálavého a teplotovzdušného vytápění [10]	18
Obr. 9 Vzdálenost panelů v příčném směru [11]	19
Obr.10 Vzdálenost panelů v podélném směru [11]	19
Obr. 11 Příčné rozmístění alfa a beta zářičů [1]	19
Obr. 12 Šikmé rozmístění [1]	20
Obr. 13 Vyústky pro GNS [1]	20
Obr. 14 Dosah proudu u GNS [1][12]	20
Obr. 15 Propozice budovy	21
Obr. 16 Řez severní stěnou a jižní stěnou	26
Obr. 17 Řez vraty	26
Obr. 18 Řez podlahou dílny	27
Obr. 19 Potřebné údaje pro určení součinitele f_2 [11]	30

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Vzdálenosti sálových panelů [11]</i>	19
<i>Tabulka 2 Korekční činitel zohledňující vytápění na vyšší teplotu</i>	22
<i>Tabulka 3 Teplotní korekční činitel</i>	23
<i>Tabulka 4 Zátopový součinitel</i>	24
<i>Tabulka 5 Odpor při přestupu tepla na vnitřní, vnější straně konstrukce [14]</i>	25
<i>Tabulka 6 Přehled návrhových tepelných výkonů pro jednotlivé místnosti</i>	29
<i>Tabulka 7 Korekční součinitel f_2 [11]</i>	30
<i>Tabulka 8 Sálová účinnost [11]</i>	31

Teplotní údaje					
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	°C	-12		
Výpočtová vnitřní teplota	$\Theta_{int,i}$	°C	20		
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	°C	32		
Tepelné ztráty prostupem					
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f \cdot A_k \cdot U_k$
		na jedn.	m ²	W/m ² K	W/K
	venkovní stěna (sever)	1	24,3	0,268	7
	venkovní stěna (jih)	1	14,4	0,268	4
	okna	1	12,12	5,2	63
	venkovní stěna (východ)	1	32,7	1,4	45
	venkovní stěna (západ)	1	58,98	1,4	83
	podlaha	0,3	151,8	1,523	70
	strop	1,26	151,8	0,226	43
	vrata	1	9,9	0,99	10
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem	$H_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k$			W/K	324
Celková tepelná ztráta prostupem	$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	10372
Tepelné ztráty větráním					
Vnitřní objem	V_i	m ³	455,4		
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	h ⁻¹	1,5		
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{V,i} = 0,34 \cdot V_i \cdot n_{min}$			W/K	232
Celková tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	7432
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$			W	17804
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	na jedn.	1		
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$			W	17804
Zátopový tepelný výkon					
Podlahová plocha	A	m ²	151,9		
Zátopový součinitel	f_{RH}	W/m ²	2		
Celkový zátopový tepelný výkon	$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$			W	303
Návrhový tepelný výkon	$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$			W	18108

Teplotní údaje					
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	°C	-12		
Výpočtová vnitřní teplota	$\Theta_{int,i}$	°C	20		
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	°C	32		
Tepebné ztráty prostupem					
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$
		na jedn.	m ²	W/m ² ·K	W/K
	venkovní stěna (jih)	1	15,342	1,4	21
	venkovní stěna (východ)	1	21,6425	1,4	30
	okno 1	1	1,2325	2,8	3
	okno 2	1	1,2325	2,8	3
	podlaha	0,42	31,9	2,54	34
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem	$H_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k$			W/K	93
Celková tepelná ztráta prostupem	$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	2967
Tepebné ztráty větráním					
Vnitřní objem	V_i	m ³	95,7		
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	h ⁻¹	1,5		
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{V,i} = 0,34 \cdot V_i \cdot n_{min}$			W/K	48,807
Celková tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	1562
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$			W	4529
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	na jedn.	1		
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$			W	4529
Zátopový tepelný výkon					
Podlahová plocha	A	m ²	31,9		
Zátopový součinitel	f_{RH}	W/m ²	2		
Celkový zátopový tepelný výkon	$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$			W	64
Návrhový tepelný výkon	$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$			W	4592

Teplotní údaje					
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	°C	-12		
Výpočtová vnitřní teplota	$\Theta_{int,i}$	°C	20		
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	°C	32		
Tepelné ztráty prostupem					
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$
		na jedn.	m ²	W/m ² ·K	W/K
	venkovní stěna sever	1	3,6	1,4	5
	venkovní stěna jih	1	3,6	1,4	5
	dveře sever	1	5,25	4	21
	dveře jih	1	5,25	4	21
	podlaha	0,42	26	2,54	27
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem	$H_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k$			W/K	80
Celková tepelná ztráta prostupem	$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	2554
Tepelné ztráty větráním					
Vnitřní objem	V_i	m ³	76		
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	h ⁻¹	1,5		
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{V,i} = 0.34 \cdot V_i \cdot n_{min}$			W/K	38,76
Celková tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	1240
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$			W	3794
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	na jedn.	1		
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$			W	3794
Zátopový tepelný výkon					
Podlahová plocha	A	m ²	26		
Zátopový součinitel	f_{RH}	W/m ²	2		
Celkový zátopový tepelný výkon	$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$			W	52
Návrhový tepelný výkon	$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$			W	3846

Příloha 6 :Koupelna

Teplotní údaje						
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	°C	-12			
Výpočtová vnitřní teplota	$\Theta_{int,i}$	°C	20			
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	°C	32			
Tepelné ztráty prostupem						
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$	
		na jedn.	m ²	W/m ² K	W/K	
	venkovní stěna (sever)	1	22,9175	1,4	32	
	okno	1	1,2325	2,8	3	
	podlaha	0,42	9,1	2,54	10	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem	$H_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k$			W/K	45	
Celková tepelná ztráta prostupem	$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$				W	1447
Tepelné ztráty větráním						
Vnitřní objem	V_i	m ³	27,3			
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	h ⁻¹	1,5			
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{V,i} = 0.34 \cdot V_i \cdot n_{min}$			W/K	13,923	
Celková tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$				W	445
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$				W	1893
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	na jedn.	1			
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$				W	1893
Zátopový tepelný výkon						
Podlahová plocha	A	m ²	9,1			
Zátopový součinitel	f_{RH}	W/m ²	2			
Celkový zátopový tepelný výkon	$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$				W	18
Návrhový tepelný výkon	$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$				W	1912

Příloha 8 :Pokoj 1

Teplotní údaje						
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	°C	-12			
Výpočtová vnitřní teplota	$\Theta_{int,i}$	°C	20			
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	°C	32			
Tepelné ztráty prostupem						
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$	
		na jedn.	m ²	W/m ² ·K	W/K	
	venkovní stěna (jih)	1	22,66	1,4	32	
	venkovní stěna (západ)	1	17,775	1,4	25	
	okno 1	1	1,232	2,8	3	
	okno 2	1	1,232	2,8	3	
	strop	0,9	33,6	0,285	8	
					0	
					0	
					0	
					0	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem		$H_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k$		W/K	72	
Celková tepelná ztráta prostupem		$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	2308
Tepelné ztráty větráním						
Vnitřní objem	V_i	m ³	100,8			
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	h ⁻¹	1,5			
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním		$H_{V,i} = 0.34 \cdot V_i \cdot n_{min}$		W/K	51,408	
Celková tepelná ztráta větráním		$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	1645
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem		$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$			W	3953
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	na jedn.	1			
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem		$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$			W	3953
Zátopový tepelný výkon						
Podlahová plocha	A	m ²	33,6			
Zátopový součinitel	f_{RH}	W/m ²	2			
Celkový zátopový tepelný výkon		$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$			W	67
Návrhový tepelný výkon		$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$			W	4020

Teplotní údaje						
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	°C	-12			
Výpočtová vnitřní teplota	$\Theta_{int,i}$	°C	20			
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	°C	32			
Tepelné ztráty prostupem						
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$	
		na jedn.	m ²	W/m ² K	W/K	
	venkovní stěna (jih)	1	15,3425	1,4	21	
	venkovní stěna (východ)	1	21,6425	1,4	30	
	okno 1	1	1,235	2,8	3	
	okno 2	1	1,235	2,8	3	
	strop	0,9	31,9	0,285	8	
					0	
					0	
					0	
					0	
					0	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem	$H_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k$			W/K	67	
Celková tepelná ztráta prostupem	$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$				W	2140
Tepelné ztráty větráním						
Vnitřní objem	V_i	m ³	95,7			
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	h ⁻¹	1,5			
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{V,i} = 0.34 \cdot V_i \cdot n_{min}$			W/K	48,807	
Celková tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$				W	1561
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$				W	3701
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	na jedn.	1			
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$				W	3701
Zátopový tepelný výkon						
Podlahová plocha	A	m ²	31,9			
Zátopový součinitel	f_{RH}	W/m ²	2			
Celkový zátopový tepelný výkon	$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$				W	63
Návrhový tepelný výkon	$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$				W	3766

Příloha 10 :Pokoj 3

Teplotní údaje						
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	°C	-12			
Výpočtová vnitřní teplota	$\Theta_{int,i}$	°C	20			
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	°C	32			
Tepelné ztráty prostupem						
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$	
		na jedn.	m ²	W/m ² K	W/K	
	venkovní stěna (sever)	1	15,3425	1,4	21	
	venkovní stěna (výchof)	1	14,0225	1,4	20	
	okno 1	1	1,235	2,8	3	
	okno 2	1	1,235	2,8	3	
	strop	0,9	19,7	0,285	5	
					0	
					0	
					0	
					0	
					0	
					0	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem		$H_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k$		W/K	53	
Celková tepelná ztráta prostupem		$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	1699
Tepelné ztráty větráním						
Vnitřní objem	V_i	m ³	59,1			
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	h ⁻¹	1,5			
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{V,i} = 0,34 \cdot V_i \cdot n_{min}$		W/K	30,141		
Celková tepelná ztráta větráním		$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	965
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem		$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$			W	2663
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	na jedn.	1			
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem		$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$			W	2663
Zátopový tepelný výkon						
Podlahová plocha	A	m ²	19,7			
Zátopový součinitel	f_{RH}	W/m ²	2			
Celkový zátopový tepelný výkon		$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$			W	39
Návrhový tepelný výkon		$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$			W	2702

Příloha 11 :Koupelna

Teplotní údaje					
Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	°C	-12		
Výpočtová vnitřní teplota	$\Theta_{int,i}$	°C	20		
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	°C	32		
Tepebné ztráty prostupem					
Kód	Stavební část	f_k	A_k	U_k	$f_k \cdot A_k \cdot U_k$
		na jedn.	m ²	W/m ² ·K	W/K
	venkovní stěna (západ)	1	8,925	1,4	12
	venkovní stěna (sever)	1	24,042	1,4	34
	okno	1	1,2325	2,8	3
	strop	0,9	9,1	0,285	2
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem	$H_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k$			W/K	52
Celková tepelná ztráta prostupem	$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	1662
Tepebné ztráty větráním					
Vnitřní objem	V_i	m ³	27,3		
Nejmenší intenzita výměny vzduchu	n_{min}	h ⁻¹	1,5		
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{V,i} = 0,34 \cdot V_i \cdot n_{min}$			W/K	13,923
Celková tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$			W	445
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$			W	2108
Korekční činitel na vyšší teplotu	$f_{\Delta\theta}$	na jedn.	1		
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem	$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta}$			W	2108
Zátopový tepelný výkon					
Podlahová plocha	A	m ²	9,1		
Zátopový součinitel	f_{RH}	W/m ²	2		
Celkový zátopový tepelný výkon	$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}$			W	18
Návrhový tepelný výkon	$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i}$			W	2126

