

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**POROVNÁNÍ VYTÁPĚNÍ VÍCEPATROVÉ PRŮMYSLOVÉ HALY
SÁLAVÁMI PANELY A PODLAHOVÝM VYTÁPĚNÍM**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chyba** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **379941**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Porovnání vytápění vícepatrové průmyslové haly sálavými panely a podlahovým vytápěním

Název diplomové práce anglicky:

Comparison of Radiant Panel and Floor Heating for a Multilevel Industrial Hall

Pokyny pro vypracování:

U vícepatrové průmyslové haly se může s výhodou využít efekt dodávky části tepla do vytápěného prostoru podlahou a současně stropem do patra, které se nachází na nižší úrovni. Zpracujte případovou studii vytápění průmyslové vícepatrové budovy dvěma různými otopnými soustavami, vodními závěsnými sálavými panely a podlahovým vytápěním. Zpracujte obě technická řešení až do stupně projektu pro stavební povolení, aby bylo možné do dostatečného detailu porovnat výhody i nevýhody obou soustav. Stanovte a diskutujte faktory, které přispívají k použití spíše jednoho nebo druhého řešení.

Seznam doporučené literatury:

1) Kabele, K., Hojer, O., Kotrbatý, M., Sommer, K., Petráš, D. Energy efficient heating and ventilation of large halls. Rehva guidebook no. 15. REHVA. Bruxelles 2011. ISBN 978-2-930521-06-0

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Ondřej Hojer Ph.D., KOTRBATÝ V.M.Z., s.r.o.

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **20.04.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **30.06.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace

Zadáním diplomové práce bylo porovnat dva způsoby vytápění vícepatrové průmyslové haly a to teplovodním podlahovým vytápěním nebo vodními závěsnými sálavými panely. V práci jsou popsány jednotlivé způsoby výpočtů pro obě soustavy vytápění potřebné k návrhu. Obě technická řešení jsou zpracována až do stupně projektu pro stavební povolení. Pro oba systémy vytápění je k práci přiložená vytvořená výkresová dokumentace. Pokud využijeme nízkoteplotní zdroj tepla, je soustava vodních sálavých panelů nákladnější, než soustava podlahového vytápění.

Annotation

The objective of this thesis was to compare two ways of heating a multi-storey industrial hall with warm-water underfloor heating or water-based radiant panels. In the thesis are described individual methods of calculation for both heating systems needed for the design. Both technical solutions are processed up to the building permit design stage. Both drawings are attached to both heating systems. If we use a low heat source, the water radial panel system is more expensive than the underfloor heating system.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Porovnání vytápění vícepatrové průmyslové haly sálavými panely a podlahovým vytápěním“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Hojera, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 26.06.2017

Bc. Michal Chyba

.....

Poděkování

Rad bych tímto poděkoval Ing. Ondřeji Hojerovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, trpělivost a cenné rady s vypracováním diplomové práce.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ..... | 9 |
| 1. ÚVOD..... | 13 |
| 2. SÁLAVÉ VYTÁPĚNÍ..... | 14 |
| 2.1 Podlahové vytápění..... | 14 |
| 2.1.1 Teplovodní podlahové vytápění..... | 15 |
| 2.2 Vodní závěsné sálavé panely..... | 17 |
| 2.2.1 Sálavá účinnost panelů..... | 18 |
| 3. POPIS OBJEKTU..... | 20 |
| 3.1 Základní údaje..... | 20 |
| 3.2 Skladba stavebních konstrukcí..... | 21 |
| 3.3 Návrhové parametry objektu..... | 22 |
| 4. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT..... | 24 |
| 4.1 Teorie a postup výpočtu..... | 24 |
| 4.2 Výsledky..... | 27 |
| 5. NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ..... | 28 |
| 5.1 Výpočet teplovodního podlahového vytápění..... | 29 |
| 5.2 Hydraulický výpočet podlahového vytápění..... | 33 |
| 5.3 Volba patrového rozdělovače/sběrače..... | 36 |
| 5.4 Hydraulické vyvážení otopných hadů na rozdělovači..... | 37 |
| 6. NÁVRH VODNÍCH SÁLAVÝCH PANELŮ..... | 38 |
| 6.1 Výpočet vodních sálavých panelů..... | 38 |
| 6.2 Hydraulický výpočet sálavých panelů..... | 40 |
| 7. HYDRAULICKÝ VÝPOČET POTRUBNÍ SÍTĚ..... | 42 |
| 7.1 Podlahové vytápění..... | 42 |
| 7.1.1 Hydraulický výpočet potrubní sítě..... | 42 |
| 7.1.2 Vyvážení jednotlivých úseků..... | 43 |
| 7.2 Vodní sálavé panely..... | 45 |
| 7.2.1 Hydraulický výpočet potrubní sítě..... | 45 |
| 7.2.2 Vyvážení jednotlivých úseků..... | 46 |
| 8. CENTRÁLNÍ ROZDĚLOVAČ..... | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 8.1 Podlahové vytápění..... | 47 |
| 8.1.1 Oběhová čerpadla..... | 47 |
| 8.1.2 Rotační ventily..... | 48 |
| 8.1.3 Centrální rozdělovač..... | 49 |
| 8.2 Vodní sálavé panely..... | 50 |
| 8.2.1 Oběhová čerpadla..... | 50 |
| 8.2.2 Rotační ventily..... | 51 |
| 8.2.3 Centrální rozdělovač..... | 51 |
| 9. ZDROJ TEPLA..... | 52 |
| 9.1 Výkon zdroje tepla..... | 52 |
| 9.2 Bod bivalence..... | 54 |
| 9.3 Akumulační nádrž..... | 55 |
| 9.4 Oběhová čerpadla..... | 55 |
| 10. VZDUCHOTECHNIKA..... | 57 |
| 11. PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY..... | 59 |
| 12. POJISTNÉ A ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ..... | 62 |
| 12.1 Pojistný ventil..... | 62 |
| 12.2 Tlaková expanzní nádoba..... | 63 |
| 13. REGULACE..... | 66 |
| 13.1 Regulace zdroje tepla..... | 66 |
| 13.2 Regulace otopné soustavy..... | 66 |
| 13.2.1 Regulace podlahového vytápění..... | 67 |
| 13.2.2 Regulace vodních sálavých panelů..... | 68 |
| 14. POROVNÁNÍ OBOU SOUSTAV VYTÁPĚNÍ..... | 69 |
| 14.1 Podlahové vytápění..... | 69 |
| 14.2 Vodní sálavé panely..... | 73 |
| 14.3 Výhody a nevýhody obou soustav..... | 74 |
| 14.3.1 Podlahové vytápění..... | 75 |
| 14.3.2 Vodní sálavé panely..... | 75 |
| 15. CENA..... | 77 |
| 16. ZÁVĚR..... | 80 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 82 |

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 86 |
| SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE..... | 86 |

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

| | | |
|-------------|-----------------------|---|
| B' | [m] | charakteristický parametr |
| I | [1/h] | intenzita větrání |
| L | [m] | délka panelů |
| L_{600} | [m] | celková délka pasů šířky 600 mm |
| L_{900} | [m] | celková délka pasů šířky 900 mm |
| O | [m] | obvod |
| O_P | [m ²] | skutečný obvod podlahové otopné plochy |
| P_V | [-] | autorita ventilu |
| $P_{V,S}$ | [-] | skutečná autorita ventilu |
| Q_{inst} | [W] | instalovaný tepelný výkon |
| Q_k | [W] | konvekční výkon |
| Q_N | [kW] | jmenovitý výkon zdroje tepla |
| Q_O | [W] | výkon okrajové zóny |
| $Q_{o,18}$ | [W] | výkon ohříváče |
| Q_p | [W] | tepelný výkon podlahové otopné plochy nahoru |
| Q_{PC} | [W] | celkový tepelný výkon instalované podlahové otopné plochy |
| $Q_{pož}$ | [W] | požadovaný výkon |
| Q_{P1} | [kW] | pojistný výkon |
| Q_s | [W] | sálavý výkon |
| $Q_{TČ}$ | [W] | výkon tepelného čerpadla |
| Q_{TZ} | [W] | tepelná ztráta |
| Q_{zdroj} | [kW] | tepelný výkon ohříváče |
| Q'_p | [W] | tepelný výkon podlahové otopné plochy dolů |
| Q_{2P} | [kWh/den] | potřeba tepla dodaného ohříváčem TV |
| R | [m ² ·K/W] | tepelný odpor |
| Re | [-] | Reynoldsovo číslo |
| R_t | [Pa/m] | měrná tlaková ztráta |
| R_{str} | [m ² ·K/W] | tepelný odpor stropní konstrukce |
| R_{zem} | [m ² ·K/W] | tepelný odpor zeminy |
| S | [m ²] | plocha |

| | | |
|-----------|--------------------------|--|
| S_o | [mm ²] | průřez sedla |
| S_p | [m ²] | skutečná podlahová plocha otopného hadu |
| U | [W/m ² ·K] | součinitel prostupu tepla |
| V | [m ³ /h] | objemový průtok |
| V_A | [l] | objem akumulční nádrže |
| V_{et} | [l] | objem tlakové expanzní nádoby |
| V_m | [m ³] | objem |
| V_o | [l] | objem vody v otopné soustavě |
| V_{os} | [m ³ /den] | potřeba teplé vody pro mytí osob |
| V_p | [m ³ /h] | pojistný průtok |
| V_{vzt} | [m ³ /h] | objemový průtok vzduchu |
| V_z | [m ³] | velikost zásobníku teplé vody |
| V_{2P} | [m ³ /os·den] | potřeba teplé vody na osobu |
| a | [m] | tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami |
| b | [m] | tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami |
| c | [J/kg·K] | měrná tepelná kapacita teplotonosné látky |
| c_v | [kWh/m ³ ·K] | měrná tepelná kapacita pro TV |
| d | [m] | vnější průměr trubek |
| d_i | [m] | vnitřní průměr potrubí |
| d_v | [mm] | vnitřní průměr pojistného potrubí |
| f_2 | [-] | korekční součinitel, výška zavěšení - pozitivní vliv |
| g | [m/s ²] | tíhové zrychlení |
| h | [m] | výška |
| h_v | [m] | výška vodního sloupce |
| k | [-] | konstanta |
| k_v | [m ³ /h] | jmenovitý průtok armaturou |
| k_{vs} | [m ³ /h] | jmenovitý průtok armaturou |
| l | [m] | rozteč trubek |
| l_p | [m] | délka potrubí |
| m | [1/m] | charakteristické číslo podlahy |
| m_{PV} | [kg/s] | hmotnostní průtok otopným hadem |
| m_{VSP} | [kg/s] | hmotnostní průtok pasů |

| | | |
|--------------------|-----------------------|--|
| n | [-] | součinitel zvětšení objemu |
| n_i | [-] | počet uživatelů |
| p_B | [kPa] | barometrický tlak |
| $p_{d,dov,A}$ | [kPa] | nejnižší dovolený absolutní tlak |
| $p_{h,dov,A}$ | [kPa] | nejvyšší dovolený absolutní tlak |
| p_{otv} | [kPa] | otevřací přetlak pojistného ventilu |
| q | [W/m ²] | měrný tepelný tok směrem nahoru |
| q_0 | [W/m] | požadovaný jmenovitý tepelný výkon |
| q' | [W/m ²] | měrný tepelný tok směrem dolů |
| s | [m] | šířka |
| t_i | [°C] | vnitřní výpočtová teplota |
| t_m | [°C] | střední teplota otopné vody |
| t_{max} | [°C] | maximální projektovaná teplota v otopné soustavě |
| t_{min} | [°C] | minimální napouštěcí teplota otopné soustavy |
| t_p | [°C] | střední povrchová teplota |
| t_{SV} | [°C] | teplota studené vody |
| t_{TV} | [°C] | teplota teplé vody |
| t_{w1} | [°C] | teplota přiváděné vody |
| t_{w2} | [°C] | teplota odváděné vody |
| t_z | [°C] | teplota zeminy |
| w | [m/s] | rychlost v potrubí |
| z | [-] | poměrná ztráta rozvodu |
| α_p | [W/m ² ·K] | celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy |
| α'_p | [W/m ² ·K] | celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně plochy |
| η | [-] | normovaný stupeň využití expanzní nádoby |
| η_s | [%] | sálavá účinnost |
| θ_e | [°C] | venkovní výpočtová teplota |
| $\theta_{int,i}$ | [°C] | výpočtová vnitřní teplota |
| $\theta_{m,e}$ | [°C] | průměrná venkovní teplota za otopné období |
| θ_p | [°C] | teplota přiváděného vzduchu |
| $\theta_{ztt\ 18}$ | [°C] | teplota za výměníkem tepla |
| λ | [W/m·K] | tepelná vodivost |

| | | |
|--------------------|-----------------------|--|
| λ_a | [W/m·K] | součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami |
| λ_b | [W/m·K] | součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod trubkami |
| λ_d | [W/m·K] | součinitel tepelné vodivosti vrstvy, do které jsou zality trubky |
| λ_t | [-] | součinitel tření |
| ξ | [-] | součinitel místního odporu |
| ρ | [kg/m ³] | hustota vody |
| ν | [m ² /s] | kinematická viskozita |
| τ_i | [h] | čas |
| Δp_0 | [kPa] | tlaková ztráta 100 kPa |
| Δp_{ok} | [kPa] | tlaková ztráta okruhu |
| Δp_{RV} | [kPa] | tlaková ztráta ventilu |
| $\Delta p_{RV,S}$ | [kPa] | skutečná tlaková ztráta ventilu |
| Δp_z | [Pa] | celková tlaková ztráta |
| Δp_λ | [Pa] | tlaková ztráta třením |
| Δp_ξ | [Pa] | tlaková ztráta místními odpory |
| Δt | [K] | pracovní rozdíl teplot |
| Δt_{max} | [°C] | maximální rozdíl teplot |
| ΔQ_{max} | [kWh] | maximální rozdíl mezi odběrem a dodávkou tepla |
| ΔQ_S | [kWh] | největší dodávka tepla |
| ΔU_{tb} | [W/m ² ·K] | korigovaný součinitel tepelné ztráty |
| Λ_a | [W/m·K] | propustnost tepla vrstvami nad trubkami |
| Λ_b | [W/m·K] | propustnost tepla vrstvami pod trubkami |
| ϕ | [%] | faktor zpětného získání tepla |
| $\phi_{\tau,i}$ | [W] | návrhová tepelná ztráta prostupem |
| $\phi_{\nu,i}$ | [W] | návrhová tepelná ztráta větráním |

1. ÚVOD

Vytápění průmyslových objektů je dnes nepostradatelnou složkou v technickém zařízení budov. Rozvoj v oblasti úpravy vnitřního prostředí průmyslových hal a jiných velkoprostorových objektů byl zaznamenán někdy v druhé polovině minulého století. V Československu to byl především doc. Jaromír Cihelka a Ing. Miroslav Kotrbatý, kteří se zasloužili o technický pokrok v oblasti sálavého vytápění. Vyvíjeným prvkem byly hlavně dnes již běžně používané vodní sálavé panely, plynové infrazářiče a jiné. Teplovodní podlahové vytápění je známo již skoro 150 let, ale o velkém rozmachu se dá hovořit až v dnešní době, kdy je používáno i na vytápění průmyslových hal. Stává se z něho moderní soustav vytápění, která je díky dobrým tepelně technickým vlastnostem budov velmi často využívána jako primární zdroj tepla. Podlahové vytápění se považuje za nízkoteplotní na rozdíl od vodních sálavých panelů. Dnes ale lze využít i vodní sálavé panely jako otopnou plochu v nízkoteplotní otopné soustavě. Je to především díky rozmachu moderních kondenzačních plynových kotlů, obnovitelných a alternativních zdrojů tepla, kterými jsou například tepelná čerpadla. Nízkoteplotní otopné soustavy se dnes zaměřují spíše na oblast rodinných a bytových domů a průmyslové haly jsou spíše stranou zájmu, neboť provozování teplovodního podlahového vytápění a vodních sálavých panelů s nízkoteplotními zdroji tepla není tak běžné. Haly jsou dnes běžně zásobovány centrálními zdroji tepla a provozovány na vyšší provozní teploty otopné vody. Některými z těchto problémů se například zabývá publikace *Hospodaření teplem v průmyslu* [8]. V dnešní době již najdeme řadu firem, které se zabývají převážně sálavým vytápěním velkoplošných objektů různými způsoby, jako jsou například závěsné sálavé panely tak i teplovodní podlahové vytápění.

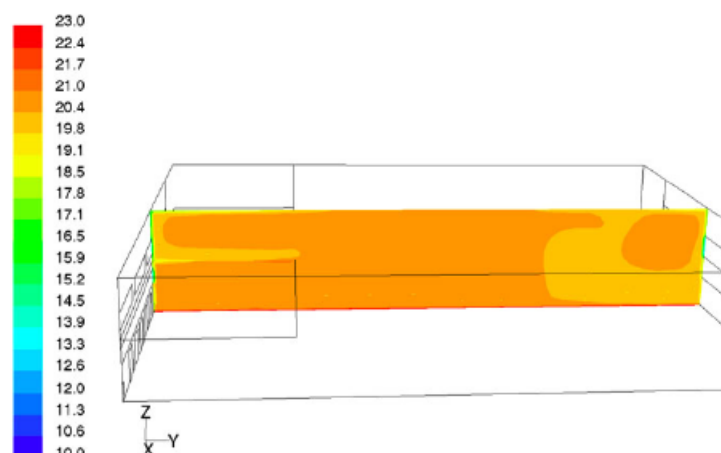
2. SÁLAVÉ VYTÁPĚNÍ

Převážně sálavé vytápění v dnešní době patří mezi soustavy, které se běžně navrhují pro vytápění objektu. Můžeme se setkat s podlahovým, stěnovým, stropním zabudovaným vytápěním i vytápěním zavěšenými sálavými panely. Teplo se ve výše jmenovaných soustavách sdílí do okolí převážně sáláním. Při sdílení tepla do okolí sáláním, se od sálající plochy přenáší teplo na ostatní plochy, tím se zvýší jejich teplota a od těchto ploch se posléze ohřívá okolní vzduch, tímto způsobem vzniká celkový tepelný tok. Tato práce se zabývá teplovodním podlahovým vytápěním a vytápěním vodními sálavými panely. V dalších odstavcích jsou popsány tyto dvě soustavy vytápění.

2.1 Podlahové vytápění

Dle literatury [6] se za vynálezce podlahového vytápění považuje Sergius Orata z 1. stol. před Kristem. Ve 30. letech 20. století se začalo s ukládáním trubek do stropů a podlah, čímž se vytvářely velkoplošné otopné plochy.

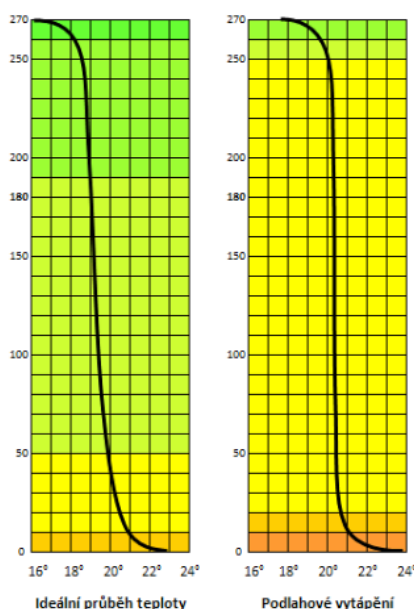
U podlahového vytápění je při sdílení tepla podíl sálavé složky jen o málo větší, než je podíl složky konvekční 55 : 45 %. Tímto se vhodně využívá obou způsobů sdílení tepla. Otopná plocha tvoří téměř celou plochu podlahy, čímž vytváří teplotně homogenní prostředí jak ve vertikálním, tak i horizontálním směru [4]. Proudění vzduchu je tak rovnoměrně rozloženo po celé místnosti, jak je vidět na obrázku 2-1.



Obr. 2-1 Vertikální distribuce teploty vzduchu ve středu haly (CFD) [1]

2.1.1 Teplovodní podlahové vytápění

Úkolem vytápění je zajistit takovou tepelnou pohodu ve vytápěném prostoru, aby se v něm člověk cítil tepelně neutrálně. To znamená, necítil chlad ani nadměrné teplo. Tepelnou pohodu ovlivňují dva faktory a to osoby a prostředí. Aby nebyla narušena tepelná pohoda, byly stanoveny limity pro povrchovou teplotu podlahy, ta by obecně neměla překročit 29 °C. Rovněž důležité je prostorové rozložení teplot v horizontálním i vertikálním směru. U podlahového vytápění je vertikální rozložení teplot téměř ideální. Teplota v úrovni hlavy je o 2 až 3 °C nižší než v oblasti kotníků, tím považujeme podlahové vytápění téměř za ideální, jak uvádí literatura [2].

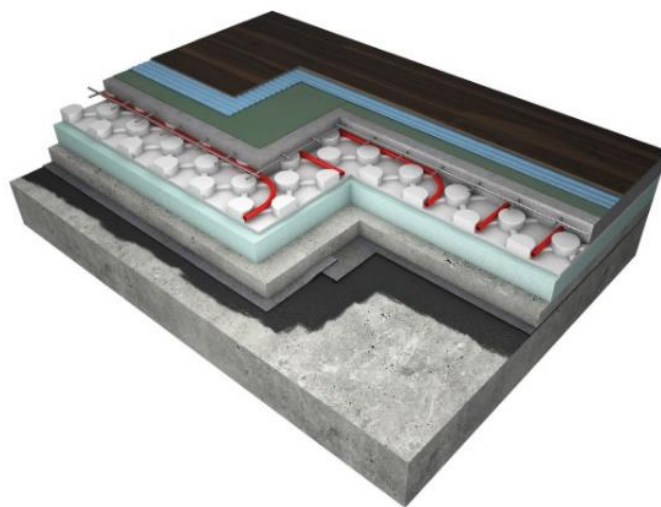


Obr. 2-2 Vertikální průběh teplot [18]

Konstrukce podlahové otopné plochy vychází z termínu plovoucí podlaha. Značí to, že vlastní konstrukce otopné plochy není pevně spojena s nosnou částí podlahy, ale jakoby na ní plave tak, aby jí byly umožněny veškeré dilatační změny [3].

Otopnou plochu dělíme dle konstrukce, provedení pokládky a tvarování otopného hada. Konstrukce podlahové plochy záleží převážně na projektantovi, protože čítá několik variant. Dále provedení pokládky otopného hada se rozděluje na suchý způsob, mokřý způsob, přes modulové klima desky a kapilární rohože. Poslední rozdělení je

podle tvarování otopného hadu ve tvaru meandru a spirály. Otopný had je tak zhotoven z nerez, mědi, plastu, nebo vícevrstvé trubky. Rozteč trubek pak závisí na měrném tepelném výkonu podlahové otopné plochy. Jak již bylo řečeno, existuje dneska několik variant jak utvořit podlahovou otopnou plochu a konkrétními způsoby se v této práci nebudu dále zabývat. Pro ukázkou jedné takové možné skladby slouží obr. 2-3. Kde je otopný had pokládán do systémové klima desky, která leží na podkladovém betonu a posléze zalit betonovou mazaninou na kterou se umístí nášlapná vrstva.



Obr. 2-3 Skladba podlahové otopné plochy [19]

Teplovodní podlahové vytápění je považováno za vytápění nízkoteplotní, proto umožňuje i využití energetických zdrojů jako jsou například tepelná čerpadla. Záleží na způsobu provedení otopné plochy. Jak se uvádí v literatuře [2], přírodní teplota otopné vody pro suchý způsob je v rozmezí 40 až 70 °C a mokrý způsob 35 až 55 °C.

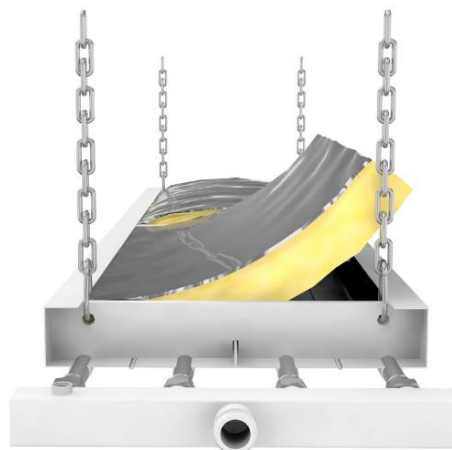
Pokud zvolíme vhodný tepelný zdroj, můžeme soustavu využít i mimo otopné období a to k chlazení objektu, kde je důležité hlídat teplotu rosného bodu, aby nedocházelo k případné kondenzaci.

V závěru této kapitoly se ještě vrátím k tepelné pohodě. Teplovodní podlahové vytápění může zajišťovat tepelnou pohodu ve vytápěném prostoru jako základní zdroj tepla, nebo může sloužit pouze jako doplňková otopná plocha. V dnešní době díky dobrým tepelně technickým vlastnostem objektu slouží převážně jako základní zdroj.

2.2 Vodní závěsné sálavé panely

Sálavými panely nazýváme zařízení, které otopnou plochu vytváří z rozvodných trubek, okolo kterých jsou „našity“ kovové lamely. Teplo je předáváno do okolí převážně sáláním. Sálavé panely se nejčastěji zavěšují pod strop vytápěného objektu [5].

Vytápění závěsnými sálavými panely se výhradně používá pro vytápění velkých prostorů, jako jsou například průmyslové haly, sportovní haly, apod. Panely se umísťují dle potřeby do výšky 4 až 20 m. Konstrukce panelu je tvořena z rozvodných trubek pro rozvod otopné vody, okolo trubek tvoří otopnou plochu kovové lamely. Lamely jsou přišroubovány na příčníky, na kterých je pro uchycení panelu ke stropní konstrukci přišroubován stavěcí šroub s řetízkem. Pro snížení tepelných ztrát, je panel z vrchní části opatřen tepelnou izolací s reflexním povrchem. Ze strany je pak izolace zakryta bočnicí.



Obr. 2-4 Závěsný sálavý panel [20]

Nejmenší šířka panelu bývá 300 mm, tu tvoří dvě lamely. Celková šířka jednoho panelu může dosahovat až 1500 mm, a je tvořena z více lamel. Panely jsou na stavbu dodávány v modulech, které se pak mohou skládat vedle nebo za sebe dle potřeby. Jak můžeme vidět z obr. 2-4, pasy se zapojují do soustavy pomocí registrů. Spojování sálavých panelů do pasů se provádí lisovacími fitinkami nebo svařováním, panely tak tvoří kompaktní pás.

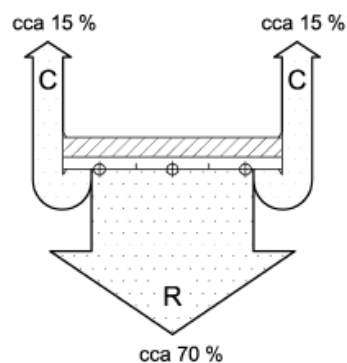
Výhodou sálavých panelů je možnost pracovat s průtokem jednotlivými částmi panelů, tedy volit, zda budou jednotlivé lamely zapojeny sériově (had) nebo paralelně (registr).

Volba přímo ovlivňuje teplotu sálavého panelu. Závisí na teplotním spádu, tlakových podmínkách v síti a rozměrech objektu, resp. počtu pasů [5].

Pro rozmísťování sálavých panelů platí jednoduché pravidlo pro určení vzdálenosti. Vzdálenost mezi jednotlivými pasy by neměla být větší, než je výška zavěšení. Vzdálenost mezi ochlazovanou konstrukcí a pasem by neměla překročit polovinu výšky zavěšení a to jak v příčném řezu, tak i v podélném.

2.2.1 Sálavá účinnost panelů

Sálavá účinnost panelů je podle definice dána podílem tepelného výkonu sdíleného do okolí sáláním a celkovým tepelným výkonem. Na obrázku níže je vidět rozložení obou výkonů u panelu.



Obr. 2-5 Rozdělení celkového výkonu sálavého panelu na sálavou a konvekční složku [1]

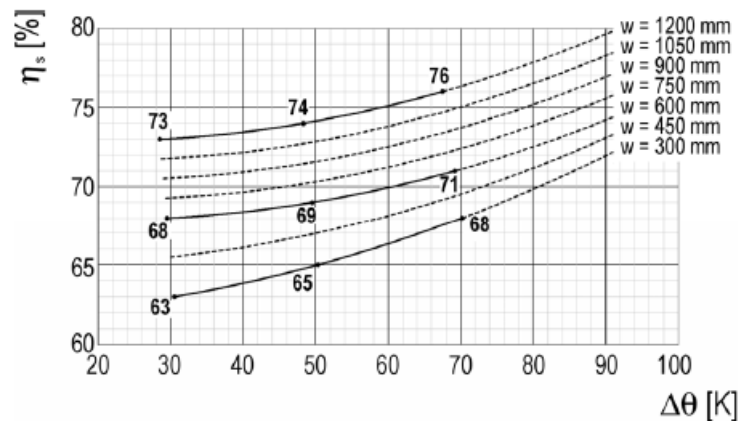
- Sálavá účinnost [%]

$$\eta_s = \frac{Q_s}{Q_s + Q_k} \quad (2.1)$$

kde

Q_s [W] je sálavý výkon,
 Q_k [W] konvekční výkon.

Účinnost [5] je závislá na dvou parametrech a to na pracovním rozdílu teplot a šířce panelu, jak je již patrné z obr. 2-6. Můžeme tedy říct, že sálavá účinnost roste se stoupajícím pracovním teplotním rozdílem a šířkou panelu. Pracovní teplotní rozdíl charakterizuje střední teplotu teplonosné látky, od které odečítáme teplotu okolí.



Obr. 2-6 Závislost sálavé účinnosti na pracovním teplotním rozdílu a šířce sálavého panelu [1]

Výkon a výška zavěšení jsou limitující faktory s ohledem na osálení temene stojící osoby. Hygienické požadavky podle vyhlášky č. 361/2007 Sb. doporučují, že intenzita osálení temeny hlavy by neměla překročit 200 W/m^2 . I když je zvolena výška zavěšení i tepelný výkon, je zapotřebí provést kontrolu intenzity sálání, aby nedošlo k překročení hygienického limitu. Pokud dojde k překročení hygienického limitu, je zapotřebí provést změnu návrhu.



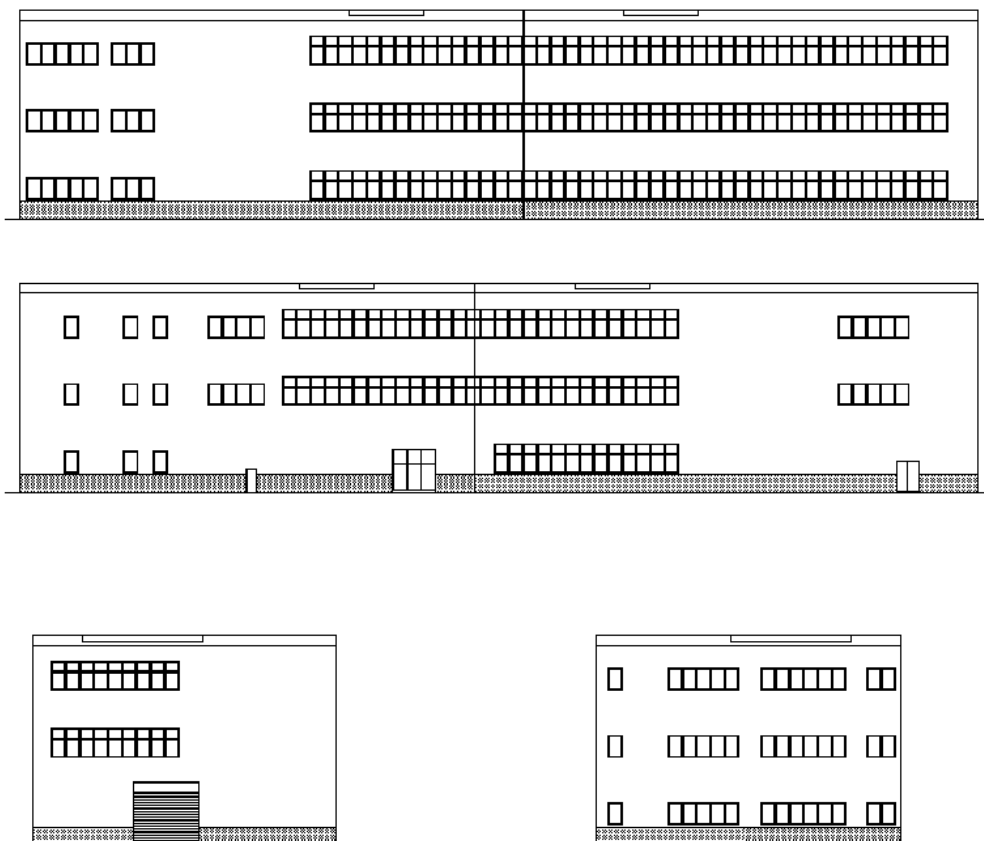
Obr. 2-7 Závěsné sálavé panely v prostorách výrobní haly [21]

3. POPIS OBJEKTU

Pro návrh obou soustav vytápění, byl zvolen níže uvedený objekt. Budova se nachází na adrese Mírová 87/2, Adamov. Adamov je město v okrese Blansko v Jihomoravském kraji, 12 km severně od Brna, na soutoku Svitavy a Křtinského potoka v lesnatém údolí. Celý komplex se nachází na rovinném terénu.

3.1 Základní údaje

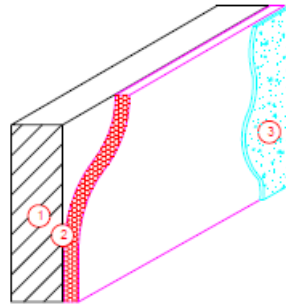
Celková plocha činní 2115 m², půdorys tvoří obdélníkový tvar 81,3 x 26 m. Budova má celkem tři nadzemní podlaží. Jedná se převážně o výrobní halu s administrativní částí, kterou tvoří kanceláře, kuchyňka, toalety, šatna, atd. Všechna podlaží mají stejné rozmístění místností, kromě technické místnosti, která se nachází pouze v prvním nadzemním podlaží. V celém komplexu pracuje celkem 80 zaměstnanců. Z toho 55 pracuje v hale a 25 v kancelářích. Směna je osmihodinová.



Obr. 3-1 Hala Adamov

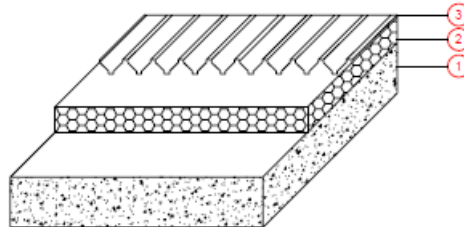
3.2 Skladba stavebních konstrukcí

Výstavba objektu byla provedena z typických stavebních materiálů. Veškerá skladba jednotlivých konstrukcí je uvedena v kapitole 4. Spolu se skladbou jsou tam uvedeny i jednotlivé tepelně technické vlastnosti potřebné k výpočtu tepelných ztrát. Pro představu skladby jednotlivých konstrukcí jsou uvedeny níže dva obrázky.



Obr. 3-2 Konstrukce obvodové stěny

1 – cihla CD TYN, 2 – tepelná izolace, 3 – vnější omítka „fasáda“.



Obr. 3-3 Konstrukce střechy

1 – panelová deska, 2 – tepelná izolace, 3 – střešní krytina z vlnitého plechu.

Další konstrukce jsou uvedeny v kapitole 5. NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ, kde je spolu se skladbou nakreslen i otopný had.

Okna a dveře jsou taktéž součástí objektu. Tvoří je dva druhy oken, dva druhy vnitřních dveří, tři druhy venkovních dveří a velká vysouvací vrata. Veškeré rozměry a tepelně technické vlastnosti jsou stejně jako konstrukce uvedeny v kapitole 4.

3.3 Návrhové parametry objektu

Podle lokality objektu byly zjištěny následující výpočtové parametry venkovního prostředí [23], [24].

- Lokalita: Brno
- Venkovní výpočtová teplota: $\theta_e = -12 \text{ °C}$
- Průměrná venkovní teplota za otopné období: $\theta_{m,e} = 5 \text{ °C}$

Dle požadovaných hodnot byly stanoveny následující výpočtové vnitřní teploty, které jsou uvedeny v tabulce. Spolu s nimi jsou i uvedeny názvy místností, plocha, obvod a objem.

Tab. 3-1 Tabulka návrhových hodnot prvního nadzemního podlaží

| Místnost | Popis | Výpočtová vnitřní teplota | Obvod | Plocha | Objem |
|----------|----------------|-------------------------------|-------|---------------------|----------------------------------|
| - | - | $\theta_{int,i} \text{ [°C]}$ | O [m] | S [m ²] | V _m [m ³] |
| 101 | Dílna | 18 | 200 | 1526 | 8088 |
| 102 | Chodba | 15 | 51 | 76 | 403 |
| 103 | Kancelář | 20 | 33 | 45 | 239 |
| 104 | Kancelář | 20 | 21 | 27 | 143 |
| 105 | Zasedací m. | 20 | 26 | 42 | 223 |
| 106 | Kuchyně | 20 | 31 | 57 | 302 |
| 107 | WC Muži | 20 | 15 | 13 | 69 |
| 108 | WC Ženy | 20 | 15 | 13 | 69 |
| 109 | Sklad | 15 | 13 | 10 | 53 |
| 110 | Chodba | 15 | 51 | 55 | 292 |
| 111 | WC Muži | 20 | 17 | 17 | 90 |
| 112 | Šatny a sprchy | 24 | 22 | 25 | 133 |
| 113 | Výtah | - | - | - | - |
| 114 | Výtah | - | - | - | - |
| 115 | Technická m. | 15 | 33 | 60 | 318 |

Tab. 3-2 Tabulka návrhových hodnot druhého nadzemního podlaží

| Místnost | Popis | Výpočtová vnitřní teplota | Obvod | Plocha | Objem |
|----------|----------------|---------------------------|-------|---------------------|----------------------------------|
| - | - | $\theta_{int,i}$ [°C] | O [m] | S [m ²] | V _m [m ³] |
| 201 | Dílna | 18 | 200 | 1591 | 8432 |
| 202 | Chodba | 15 | 51 | 76 | 403 |
| 203 | Kancelář | 20 | 33 | 45 | 239 |
| 204 | Kancelář | 20 | 21 | 27 | 143 |
| 205 | Zasedací m. | 20 | 26 | 42 | 223 |
| 206 | Kuchyně | 20 | 31 | 57 | 302 |
| 207 | WC Muži | 20 | 15 | 13 | 69 |
| 208 | WC Ženy | 20 | 15 | 13 | 69 |
| 209 | Sklad | 15 | 13 | 10 | 53 |
| 210 | Chodba | 15 | 51 | 55 | 292 |
| 211 | WC Ženy | 20 | 17 | 17 | 90 |
| 212 | Šatny a sprchy | 24 | 22 | 25 | 133 |
| 213 | Výtah | - | - | - | - |
| 214 | Výtah | - | - | - | - |

Tab. 3-3 Tabulka návrhových hodnot třetího nadzemního podlaží

| Místnost | Popis | Výpočtová vnitřní teplota | Obvod | Plocha | Objem |
|----------|----------------|---------------------------|-------|---------------------|----------------------------------|
| - | - | $\theta_{int,i}$ [°C] | O [m] | S [m ²] | V _m [m ³] |
| 301 | Dílna | 18 | 200 | 1591 | 8432 |
| 302 | Chodba | 15 | 51 | 76 | 403 |
| 303 | Kancelář | 20 | 33 | 45 | 239 |
| 304 | Kancelář | 20 | 21 | 27 | 143 |
| 305 | Zasedací m. | 20 | 26 | 42 | 223 |
| 306 | Kuchyně | 20 | 31 | 57 | 302 |
| 307 | WC Muži | 20 | 15 | 13 | 69 |
| 308 | WC Ženy | 20 | 15 | 13 | 69 |
| 309 | Sklad | 15 | 13 | 10 | 53 |
| 310 | Chodba | 15 | 51 | 55 | 292 |
| 311 | WC Muži | 20 | 17 | 17 | 90 |
| 312 | Šatny a sprchy | 24 | 22 | 25 | 133 |
| 313 | Výtah | - | - | - | - |
| 314 | Výtah | - | - | - | - |

4. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Tato kapitola je věnována výpočtem tepelných ztrát prostupem a větráním.

4.1 Teorie a postup výpočtu

Výpočet tepelných ztrát byl proveden podle normy ČSN EN 12 831 takzvanou zjednodušenou metodou. To znamená, že pro součinitele tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí byl stanoven korigovaný součinitel tepelné ztráty a pro součinitele tepelné ztráty prostupem zeminou byl stanoven ekvivalentní součinitel stavební části. Nepočítalo se s lineárním činitelem prostupu tepla.

Volba korigovaného součinitele tepelné ztráty:

- Stěna: $\Delta U_{tb} = 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Okno: $\Delta U_{tb} = 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Dveře: $\Delta U_{tb} = 0,10/0,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Vrata: $\Delta U_{tb} = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Strop: $\Delta U_{tb} = 0,05/0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Jedná se o starší objekt, z toho důvodu byla volba ΔU_{tb} poměrně vysoká.

Součinitel prostupu tepla všech konstrukcí, kromě podlahy, byl vypočítán dle normy ČSN EN 73 0540, je uveden v tab. 4-1 spolu se skladbou a dalšími tepelně technickými vlastnostmi potřebnými k výpočtu. Součinitel prostupu tepla přilehlou zeminou dle normy ČSN EN ISO 13 370 je uveden v tab. 4-2. Poslední součinitel přestupu tepla oken, dveří a vrat je uveden v tab. 4-3.

Tab. 4-1 Součinitelé prostupu tepla stěn, stropů a střechy

| X | číslo vrstvy | materiál | tepelná vodivost | šířka | tepelný odpor | součinitel prostupu tepla |
|------------------|--------------|-------------------|-------------------|--------|------------------------|---------------------------|
| | - | - | λ [W/m·K] | s[m] | R[m ² ·K/W] | U[W/m ² ·K] |
| STĚNA OBVOD | 1 | vnější omítka | 0,130 | 0,0150 | 0,12 | 0,26 |
| | 2 | polystyren | 0,034 | 0,1000 | 2,94 | |
| | 3 | cihla | 0,530 | 0,3000 | 0,57 | |
| | 4 | vnitřní omítka | 0,130 | 0,0100 | 0,08 | |
| STĚNA VNITŘEK | 1 | vnitřní omítka | 0,130 | 0,0100 | 0,08 | 1,67 |
| | 2 | cihla | 0,640 | 0,1750 | 0,27 | |
| | 3 | vnitřní omítka | 0,130 | 0,0100 | 0,08 | |
| STĚNA VNITŘEK | 1 | vnitřní omítka | 0,130 | 0,0100 | 0,08 | 0,59 |
| | 2 | cihla | 0,360 | 0,4900 | 1,36 | |
| | 3 | vnitřní omítka | 0,130 | 0,0100 | 0,08 | |
| PODLAHA | 1 | šterk | 1,500 | 0,3500 | 0,23 | - |
| | 2 | podkladový beton | 1,430 | 0,2000 | 0,14 | |
| | 3 | hydroizolace | 0,210 | 0,0035 | 0,02 | |
| | 4 | fólie | 0,200 | 0,0020 | 0,01 | |
| | 5 | betonová mazanina | 1,230 | 0,1500 | 0,12 | |
| | 6 | nášlapná vrstva | - | - | 0,01 | |
| STROP | 1 | panelová deska | 1,430 | 0,2500 | 0,17 | 0,37 |
| | 2 | tepelná izolace | 0,038 | 0,0800 | 2,11 | |
| | 3 | fólie | 0,200 | 0,0020 | 0,01 | |
| | 4 | betonová mazanina | 1,230 | 0,1500 | 0,12 | |
| | 5 | nášlapná vrstva | - | - | 0,10 | |
| STŘECHA | 1 | plech | 50,000 | 0,0050 | 0,00 | 0,26 |
| | 2 | tepelná izolace | 0,040 | 0,1400 | 3,50 | |
| | 3 | panelová deska | 1,430 | 0,2000 | 0,14 | |

Veškeré podklady potřebné k určení tepelně technických vlastností konstrukcí jsou uvedeny v příloze na CD, literatuře [22] a ČSN 73 0540.

Tab. 4-2 Součinitelé prostupu tepla přilehlou zeminou

| místnost | plocha podlahy | obvod podlahy vytápěný | charakteristický parametr | součinitel prostupu tepla |
|----------|--------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| - | S[m ²] | O[m] | B´[m] | U[W/m ² ·K] |
| 101 | 1526 | 126 | 24,22 | 0,19 |
| 102 | 76 | 7 | 21,71 | 0,21 |
| 103 | 45 | 11 | 8,18 | 0,40 |
| 105 | 42 | 13 | 6,46 | 0,46 |
| 106 | 57 | 6 | 19,00 | 0,23 |
| 107 | 13 | 7 | 3,71 | 0,62 |
| 108 | 13 | 3 | 8,67 | 0,39 |
| 110 | 55 | 6 | 18,33 | 0,24 |
| 111 | 17 | 8 | 4,25 | 0,58 |
| 112 | 25 | 8 | 6,25 | 0,47 |
| 115 | 60 | 11 | 10,91 | 0,33 |

Tab. 4-2 Součinitelé prostupu tepla oken, dveří a vrat

| výplně | šířka | výška | obvod | plocha | součinitel prostupu tepla |
|---------------|-------|-------|-------|--------------------|---------------------------|
| - | b[m] | h[m] | O[m] | S[m ²] | U[W/m ² ·K] |
| okno | 1,20 | 1,85 | 6,10 | 2,22 | 2,30 |
| okno | 1,20 | 2,45 | 7,30 | 2,94 | 2,30 |
| dveře vnitřní | 0,90 | 2,00 | 5,80 | 1,80 | 2,00 |
| dveře vnitřní | 1,55 | 2,00 | 7,10 | 3,10 | 2,00 |
| dveře vstupní | 1,90 | 2,70 | 9,20 | 5,13 | 4,00 |
| dveře vstupní | 3,70 | 3,70 | 14,80 | 13,69 | 4,00 |
| dveře vstupní | 0,85 | 2,00 | 5,70 | 1,70 | 4,00 |
| vrata | 5,50 | 5,30 | 21,60 | 29,15 | 3,50 |

Intenzita větrání byla zvolena na základě normy ČSN EN 15 665.

Volba intenzity větrání:

- Hala, toalety, sprchy: $I = 0,5$ 1/h
- Kanceláře: $I = 0,3$ 1/h

4.2 Výsledky

Vzhledem k rozsáhlému výpočtu zde nejsou uvedeny veškeré vzorce a tabulky s jednotlivými výpočty. Výsledky návrhové tepelné ztráty prostupem a návrhové tepelné ztráty větráním jsou uvedeny v tabulce.

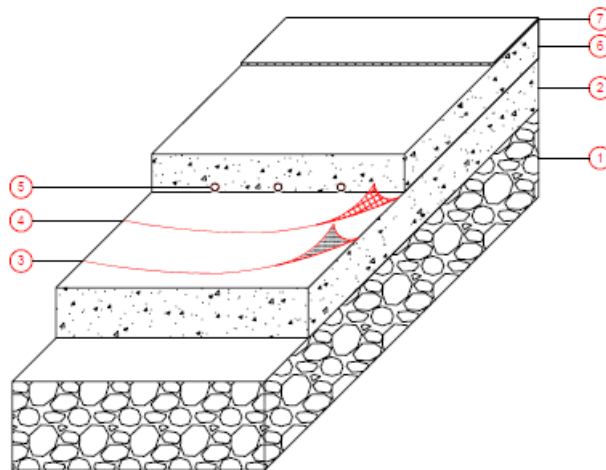
Tab. 4-1 Výpočet tepelných ztrát prostupem a větráním dle ČSN EN 12 831.

| ☰ | 1.NP | | 2.NP | | 3.NP | |
|----------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Místnost | Návrhová tepelná ztráta prostupem | Návrhová tepelná ztráta větráním | Návrhová tepelná ztráta prostupem | Návrhová tepelná ztráta větráním | Návrhová tepelná ztráta prostupem | Návrhová tepelná ztráta větráním |
| - | $\phi_{T,i}$ [W] | $\phi_{V,i}$ [W] | $\phi_{T,i}$ [W] | $\phi_{V,i}$ [W] | $\phi_{T,i}$ [W] | $\phi_{V,i}$ [W] |
| x01 | 29796 | 41248 | 26485 | 43005 | 58525 | 43005 |
| x02 | -196 | 0 | -410 | 0 | 231 | 0 |
| x03 | 2804 | 778 | 2648 | 778 | 3097 | 778 |
| x04 | 457 | 467 | 457 | 467 | 683 | 467 |
| x05 | 2439 | 727 | 2247 | 727 | 2734 | 727 |
| x06 | 1454 | 986 | 1255 | 986 | 1825 | 986 |
| x07 | 989 | 375 | 884 | 375 | 1035 | 375 |
| x08 | 601 | 375 | 547 | 375 | 677 | 375 |
| x09 | 184 | 146 | 184 | 146 | 255 | 146 |
| x10 | -964 | 0 | -608 | 0 | -144 | 803 |
| x11 | 952 | 490 | 823 | 490 | 1020 | 490 |
| x12 | 2416 | 811 | 2216 | 811 | 2497 | 811 |
| x15 | 461 | 876 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Z tabulky je vidět, že některé hodnoty nabývají záporných hodnot. Je to z toho důvodu, že výpočtová teplota v dané místnosti bude o něco větší než původně zvolená, díky ziskům z okolních místností. Výpočet byl proveden pro všechny místnosti, v tabulce najdeme i místnosti, které se nebudou vytápět. Celková tepelná ztráta objektu činí **294 953 W** z toho **144 400 W** větráním a **150 553 W** prostupem. Celkový výpočet je uveden na příloženém CD.

5. NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ

První způsob vytápění průmyslové haly je podlahové vytápění. V této kapitole je popsán kompletní návrh podlahového vytápění po patrový rozdělovač. Rozvodem otopné vody k jednotlivým patrovým rozdělovačům v objektu se zabývá další kapitola. Prvotní předpoklad spočíval ve využití dodávky tepla u vícepatrové průmyslové haly do vytápěného prostoru podlahou současně stropem do patra, které se nachází na nižší úrovni. Toto technické řešení se nakonec nepoužilo a do podlahy byla instalována tepelně zvuková izolace. Veškeré vysvětlení proč se tak stalo je ve zhodnocení celé práce. V hale byl zvolen mokrý způsob pokládky, který pracuje s měrným tepelným výkonem nad 50 W/m^2 . Skladba podlah je uvedena na obrázcích níže.

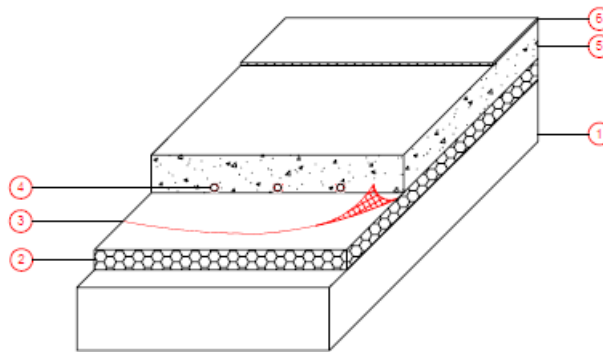


Obr. 5-1 Skladba podlahy v 1. NP

1 – štěrkové lože, 2 – podkladový beton, 3 – hydroizolace GLSTEK AL 40 MINERAL, 4 – parotěsná fólie IVAR.FR, 5 – otopný had IVAR.PE-Xa, 6 – betonová mazanina, 7 – nášlapná vrstva

Jelikož se jedná o rekonstrukci, tak podlaha v 1. NP nemá v konstrukci uvedenou tepelnou izolaci. Otopný had je kladen meandrovým způsobem do lišty, která je položena na parotěsné fólii. Lišta je v několika velikostech, protože průměr trubky otopného hada se různě mění dle výpočtu. Následně je otopný had zalit do betonové

mazaniny s plastifikátory pro lepší zatékání mazaniny pod a kolem trubek. Nášlapná vrstva se liší podle druhu místnosti, je uvedena na výkresech.



Obr. 5-2 Skladba podlahy ve 2. NP a 3. NP

1 – panelová deska, 2 – zvukově tepelná izolace, 3 – parotěsná fólie IVAR.FR,
4 – otopný had IVAR.PE-Xa, 5 – betonová mazanina, 6 – nášlapná vrstva

V tomto případě podlahy je už zabudována tepelně zvuková izolace. Na ní je následně položena parotěsná fólie, která zamezí průniku vody a vlhkosti do tepelné izolace, čímž nedochází ke snížení tepelně technických vlastností daného materiálu. Jako v předchozím případě je otopný had kladen meandrovým způsobem a upevňován pomocí lišty nebo spon k podlaze a následně zalit do betonové mazaniny. Nášlapná vrstva se taktéž liší podle druhu místnosti, je uvedena na výkresech.

Před pokládkou betonové mazaniny je zapotřebí umístit do místností ke stěnám dilatační pás, kolem sloupů taktéž. Na výkresech jsou naznačeny dilatace ve výrobní hale, které se musí předem připravit. Dilatační pás byl zvolen MIRELON [32]. V následujících kapitolách je uveden celkový návrh teplovodního podlahového vytápění spolu s vyvážením jednotlivých otopných hadů. Dále jsou uvedeny pro ukázkou výpočty dle literatury [1] a [2] v místnost 103, která se nachází v prvním nadzemním podlaží.

5.1 Výpočet teplovodního podlahového vytápění

Při výpočtu podlahové otopné plochy se vychází z předpokladu, že střední povrchová teplota podlahy nepřekročí hygienicky přípustné hodnoty a tepelný výkon podlahové

otopné plochy bude krýt tepelné ztráty místnosti. Hlavním výkonovým parametrem je měrný tepelný výkon q při fyziologicky přípustné střední povrchové teplotě podlahové plochy t_p [2].

- Propustnost tepla vrstvami nad trubkami [W/m·K]

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}} = \frac{1}{\sum \frac{0,002}{0,25} + \frac{0,13}{1,23} + \frac{1}{9,32}} = 4,53 \text{ W/m} \cdot \text{K} \quad (5.1)$$

kde

- a [m] je tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami,
- λ_a [W/m·K] součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami,
- α_p [W/m²·K] celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy.

- Propustnost tepla vrstvami pod trubkami [W/m·K]

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha'_p}} = \frac{1}{R_{str} + R_{zem}} = \frac{1}{0,4 + 1,11} = 0,66 \text{ W/m} \cdot \text{K} \quad (5.2)$$

kde

- b [m] je tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami,
- λ_b [W/m·K] součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod trubkami,
- α'_p [W/m²·K] celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně plochy,
- R_{str} [m²·K/W] tepelný odpor stropní konstrukce,
- R_{zem} [m²·K/W] tepelný odpor zeminy.

- Charakteristické číslo podlahy [1/m]

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a - \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (4,53 - 0,66)}{\pi^2 \cdot 1,23 \cdot 0,025}} = 5,05 \text{ 1/m} \quad (5.3)$$

kde

λ_d [W/m·K] je součinitel tepelné vodivosti vrstvy, do které jsou zality trubky,
 d [m] vnější průměr trubek.

- Střední povrchová teplota [°C]

$$t_p = \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{\operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}} = \frac{4,53}{9,3} \cdot (16,5) \cdot \frac{\operatorname{tgh}\left(5,05 \cdot \frac{0,25}{2}\right)}{5,05 \cdot \frac{0,25}{2}} = 26,5 \text{ °C} \quad (5.4)$$

kde

t_m [°C] je střední teplota otopné vody,
 t_i [°C] vnitřní výpočtová teplota,
 l [m] rozteč trubek.

Tady je dobré se pozastavit, protože pro jeden rozdělovač resp. sběrač musí být přibližně stejná střední teplota otopné vody všech okruhů. Tím se může měnit pro každou místnost střední povrchová teplota i rozteč potrubí. V tomto uvedeném případě je střední teplota otopné vody 35,5 °C.

- Měrný tepelný tok směrem nahoru [W/m²]

$$q = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) = 9,3 \cdot (26,5 - 20) = 61 \text{ W/m}^2 \quad (5.5)$$

- Měrný tepelný tok směrem dolů [W/m²]

$$q' = \alpha'_p \cdot (t_p - t_z) = 9,3 \cdot (26,5 - 5) = 14 \text{ W/m}^2 \quad (5.6)$$

kde

t_z [°C] je teplota zeminy.

- Tepelný výkon podlahové otopné plochy nahoru [W]

$$Q_P = S_P \cdot q = 39,7 \cdot 60,58 = 2405 \text{ W} \quad (5.7)$$

kde

S_P [m²] je skutečná podlahová plocha otopného hadu.

- Tepelný výkon podlahové otopné plochy dolů [W]

$$Q'_P = S_P \cdot q' = 39,7 \cdot 14,24 = 565 \text{ W} \quad (5.8)$$

- Výkon okrajové zóny [W]

$$Q_O = Q_P \cdot \frac{O_P}{S_P} \cdot \frac{0,448 \cdot l}{\operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)} = 2405 \cdot \frac{31,2}{39,7} \cdot \frac{0,118 \cdot 0,25}{\operatorname{tgh}\left(5,05 \cdot \frac{0,25}{2}\right)} = 375 \text{ W} \quad (5.9)$$

kde

O_P [m²] je skutečný obvod podlahové otopné plochy.

- Celkový tepelný výkon instalované podlahové otopné plochy [W]

$$Q_{PC} = Q_P + Q'_P + Q_O = 2405 + 565 + 375 = 3345 \text{ W} \quad (5.10)$$

Je důležité si uvědomit při návrhu podlahové otopné plochy pár důležitých věcí ohledně hrazení tepelných ztrát místností podlahovou otopnou plochou. Konkrétním případem je výše vypočtená místnost 103, nad kterou se nachází další místnost 203. Obě dvě jsou vytápěny na stejnou teplotu. Celkový tepelný výkon instalované podlahové otopné plochy nehradí tepelnou ztrátu místnosti. Do celkového tepelného výkonu patří výkon podlahové otopné plochy směrem dolů, který je pro danou místnost ztrátový. Z toho důvodu tepelnou ztrátu místnosti hradí převážně tepelný výkon podlahové otopné plochy směrem nahoru. Může být i zahrnut tepelný výkon okrajové zóny. Pokud máme nad vytápěnou místností 103 další vytápěnou místnost

203, tak z této místnosti uvažovaný tepelný tok směrem dolů je pro místnost 103 brán jako „bonusový“ a do celkového výpočtu se v tomto případě nezahrnuje. Pro hrazení tepelných ztrát místnosti 103 platí tedy:

$$Q_{TZ} \approx Q_P + Q_O \rightarrow 2804 \text{ W} \approx 2405 \text{ W} + 375 \text{ W} \quad (5.11)$$

Výše uvedený výpočet podlahové otopné plochy byl následně proveden pro všechny vytápěné místnosti v objektu. Pro návrh byl použit MS Excel [25]. Vypočtené jednotlivé místnosti a následně celá patra jsou uvedena na příloženém CD.

5.2 Hydraulický výpočet podlahového vytápění

Při hydraulickém výpočtu podlahového vytápění rozeznáváme tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory. Před hydraulickým výpočtem, bylo zapotřebí vypočítat hmotností průtok otopným hadem, ze kterého se následně získala rychlost teplotné látky uvnitř potrubí. Rychlost v potrubí otopného hadu by měla být $\leq 0,4 \text{ m/s}$. Při volbě délky potrubí byla snaha volit délku potrubí na jeden rozdělovač přibližně stejnou. Zabrání se tak provozním potížím, které by při vysokém zaškrcení jednoho otopného hada mohly nastat.

- Hmotnostní průtok otopným hadem [kg/s]

$$m_{PV} = \frac{Q_{PC}}{c \cdot \Delta t} = \frac{3345}{4187 \cdot 6,9} = 0,12 \text{ kg/s} \quad (5.12)$$

kde

c [J/kg·K] je měrná tepelná kapacita teplotné látky,
 Δt [K] rozdíl teplot.

- Rychlost v potrubí [m/s]

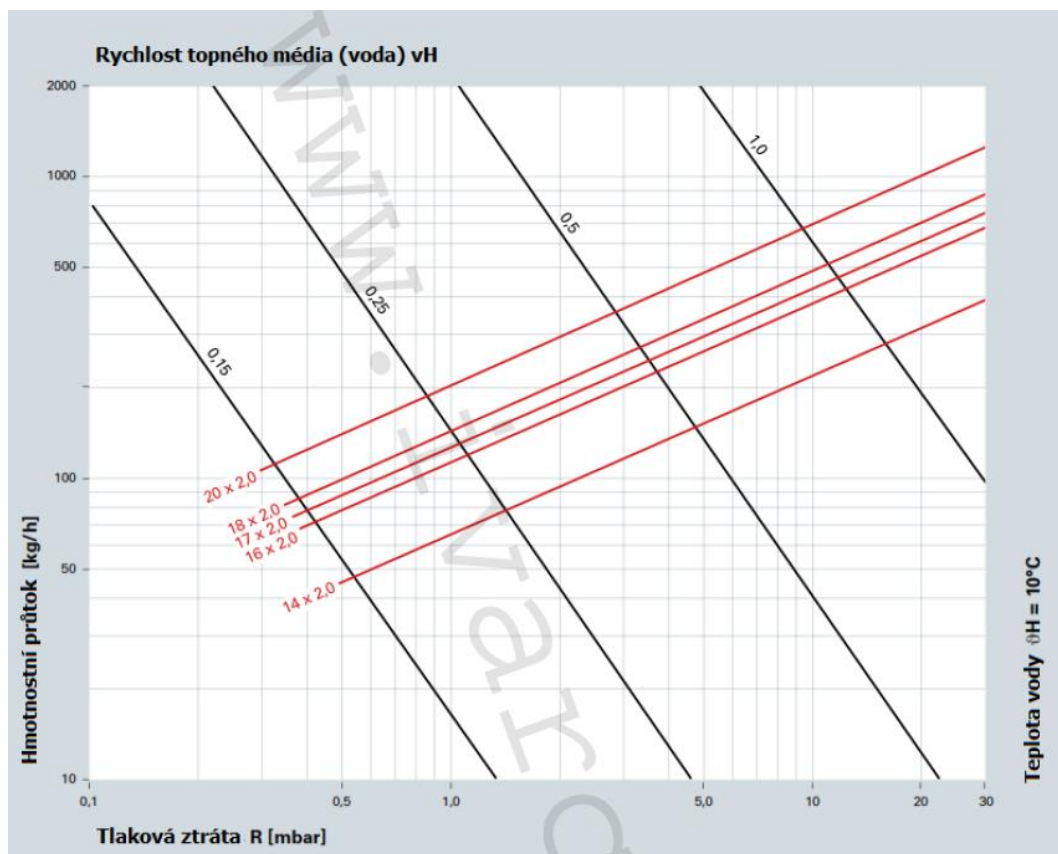
$$w = \frac{\dot{m}}{\frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot \rho} = \frac{0,12}{\frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \cdot 1000} = 0,37 \text{ m/s} \quad (5.13)$$

kde

d_i [m] je vnitřní průměr potrubí.

ρ [kg/m³] hustota vody.

Při výpočtu tlakové ztráty třením jsem počítal s měrnou takovou ztrátou. Měrná tlaková ztráta byla pro každý otopný had odečtena z grafu. Výrobce Ivar uvádí na svých internetových stránkách diagram měrné tlakové ztráty v závislosti na hmotnostním průtoku. Odečet probíhal následovně. Z předem vypočteného hmotnostního průtoku se zvolil průměr trubky a odečetla se příslušná měrná tlaková ztráta.



Obr. 5-3 Diagram tlakové ztráty potrubí IVAR.PE-Xa [34]

- Tlaková ztráta třením [Pa]

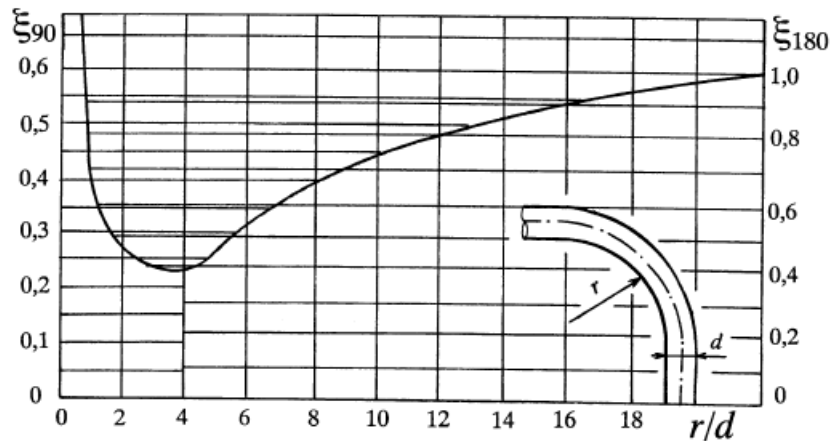
$$\Delta p_{\lambda} = R_t \cdot l_p = 142 \cdot 170 = 24140 \text{ Pa} \quad (5.14)$$

kde

R_t [Pa/m] je měrná tlaková ztráta,

l_p [m] délka potrubí.

Tlaková ztráta místními odpory je u podlahového vytápění tvořena pouze oblouky otopného hada. Součinitel měrné tlakové ztráty závisí na poloměru zakřivení.



Obr. 5-4 Součinitel místního odporu pro oblouk 90° a 180° [5]

- Tlaková ztráta místními odpory [Pa]

$$\Delta p_{\lambda} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 6,9 \cdot \frac{0,37^2}{2} \cdot 1000 = 469 \text{ Pa} \quad (5.15)$$

kde

ξ [-] je součinitel místního odporu.

- Celková tlaková ztráta [Pa]

$$\Delta p_z = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi = 24140 + 469 = 24609 \text{ Pa} \quad (5.16)$$

Postupně byly zpracovány všechny smyčky otopných hadů.

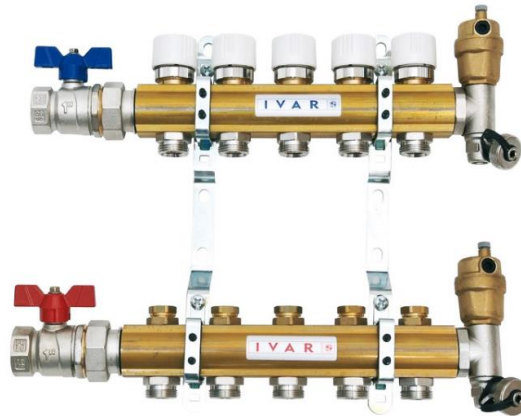
Jak již bylo řečeno na začátku, je dobré, když jsou délky otopných hadů na jeden rozdělovač stejné z důvodu regulace otopných hadů. V hale došlo například k vytápění dvou místností jedním otopným hadem nebo k rozdělení výrobní haly na několik topných okruhů vzhledem k velkému prostorovému rozložení. Vyvážení otopných hadů na rozdělovači je uvedeno v kapitole 5.4.

5.3 Volba patrového rozdělovače/sběrače

Pro podlahové vytápění byl vybrán rozdělovač od firmy Ivar [34]. Celkem je v objektu 14 rozdělovačů IVAR.CS 553 – 5/4“, katalogový list je uveden na přiloženém CD.

- 2 x IVAR.CS 553 – 12 cestný
- 1 x IVAR.CS 553 – 11 cestný
- 1 x IVAR.CS 553 – 10 cestný
- 1 x IVAR.CS 553 – 9 cestný
- 1 x IVAR.CS 553 – 8 cestný
- 2 x IVAR.CS 553 – 6 cestný
- 3 x IVAR.CS 553 – 4 cestný
- 3 x IVAR.CS 553 – 2 cestný

Všechny rozdělovače jsou uloženy ve skříni, která je zabudována ve stěně. Přívod a odvod otopné vody je zajištěn měděným potrubím od centrálního rozdělovače. Pro připojení otopného hada, slouží svěrné šroubení. Na obrázku 5-5 je vidět, které armatury se nachází v sestavě rozdělovače.



Obr. 5-5 Rozdělovač/sběrač osazený regulačním šroubením, uzavíracími ventily, ventily na vstupu a výstupu, odvzdušňovací a napouštěcí sadou [34].

5.4 Hydraulické vyvážení otopných hadů na rozdělovači

Další důležitou částí při návrhu podlahového vytápění je regulace otopných hadů na rozdělovači. Pokud chceme docílit rovnoměrného zatékání otopné vody do otopných hadů, musíme použít vhodné vyvážení. V první řadě jsem vybral větev s nejvyšší tlakovou ztrátou a do této hodnoty byly následně doškrceny ostatní větve, pomocí regulačního šroubení osazeném na rozdělovači. Ve výkresové dokumentaci jsou uvedeny příslušné otáčky regulačních šroubení jednotlivých okruhů na patrovém rozdělovači. Graf regulačního šroubení a tabulka s jednotlivým zaregulováním je uvedena na přiloženém CD.

6. NÁVRH VODNÍCH SÁLAVÝCH PANELŮ

Druhým způsobem vytápění průmyslové haly jsou vodní sálavé panely. V této kapitole je popsán kompletní návrh vodních sálavých panelů. Pro návrh jsem použil panely od firmy KOTRBATÝ. Panely slouží k vytápění průmyslové haly a administrativní části. Dle potřeby jsou složeny do jednotlivých pasů nebo samostatně, podélně i příčně. Dále jsou umístěny ve výšce 4,5 m nad podlahou a zavěšeny pomocí závěsných řetízků. Jako ukázka návrhu slouží místnost 101, výpočty byly provedeny dle vzorců uvedené v literatuře [5], [8] a programu Sálavé panely od firmy KOTRBATÝ [37].

6.1 Výpočet vodních sálavých panelů

Tepelná ztráta místnosti činí 29,8 kW, tu je potřeba uhradit požadovaným tepelným výkonem sálavých panelů. Jak je již známo, tak na výkon sálavých panelů má vliv výška zavěšení a to jak pozitivně tak i negativně. Proto je potřeba provést korekci u výpočtu, která byla provedena následovně.

- Výpočet požadovaného výkonu [W]

$$Q_{pož} = Q_{TZ} \cdot f_2 = 29\,800 \cdot 1 = 29\,800 \text{ W} \quad (6.1)$$

kde

f_2 [-] je korekční součinitel, výška zavěšení - pozitivní vliv.

Ze vzorce pro tento případ je vidět, že požadovaný tepelný výkon je roven tepelné ztrátě místnosti.

Vzhledem k rozměrům haly 68,3 x 22,2 m a rozmístěním sálavých panelů vychází celková délka panelů 291 m. Panely jsou v hale rozmístěny dle pravidla uvedené v literatuře [5]. Aby docházelo k rovnoměrnému rozložení teplot v hale, byla zvolena vzdálenost mezi jednotlivými pásy 4,5 m. Podle dostupnosti byl zvolen předběžný návrh na délky pasů v hale 2 x 30 m, 1 x 42 m, 1 x 9 m a 3 x 60 m.

- Požadovaný jmenovitý tepelný výkon [W/m]

$$q_0 = \frac{Q_{TZ}}{L} = 102 \text{ W/m} \quad (6.2)$$

kde

L [m] je délka panelů.

Aby bylo možné porovnávat oba dva systémy vytápění, byl zvolen teplotní spád 40/30 °C.

- Pracovní rozdíl teplot [K]

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i = \frac{40 + 30}{2} - 18 = 17 \text{ K} \quad (6.3)$$

kde

t_{w1} [°C] je teplota přiváděné vody,

t_{w2} [°C] teplota odváděné vody,

t_i [°C] vnitřní návrhová teplota.

Vzhledem k nízké pracovní teplotě nelze z tabulek určit potřebnou šířku panelů. Z tohoto důvodu byla provedena interpolace při volbě šířky panelu a vybrána takto. Šířka 900 mm má měrný výkon 120 W/m a 600 mm má 83 W/m. Pasy jsou v hale rozmístěny tak, aby širší pásy byly převážně umístěny k chladným konstrukcím. Zpětný přepočítání instalovaného tepelného výkonu pro oba druhy pásů.

- Instalovaný tepelný výkon [W]

$$Q_{inst} = (q_0 \cdot L_{900}) + (q_0 \cdot L_{600}) = 120 \cdot 99 + 83 \cdot 192 = 29\,294 \text{ W} \quad (6.4)$$

kde

L_{900} [m] je celková délka pásů šířky 900 mm,

L_{600} [m] celková délka pásů šířky 600 mm.

I když je instalovaný tepelný výkon menší o 506 W, tak v tomto velkém objektu je tento rozdíl zanedbatelný.

I když je zvoleno vhodné rozložení pásů, tak to neznamena, že hala bude rovnoměrně vytápěna. Dalším důležitým faktorem je zapojení pásů do topných okruhů. V hale jsou pásy zapojeny následovně. K ochlazovaným stěnám je vedena nejteplejší voda, aby docházelo k rovnoměrnému vytápění ve vnitřním prostoru stavby. Stejným způsobem byl proveden návrh u všech vytápěných místností v objektu. Veškeré výpočty jsou uvedeny na přiloženém CD.

6.2 Hydraulický výpočet sálavých panelů

Dalším důležitým faktorem je hydraulický výpočet sálavých panelů, který závisí na způsobu hydraulického zapojení jednotlivých pásů. Když vezmeme v úvahu, že šířka jedné lamely s trubkou je 150 mm, tak pro šířku panelu například 900 mm je 6 trubek. Vhodnou volbou zapojení pásů nebo panelů pomocí registru docílím určité tlakové ztráty a tím i rozdělení otopné vody. Nejprve bylo zapotřebí vypočítat hmotnostní průtok.

- Hmotnostní průtok pásů [kg/s]

$$\dot{m}_{VSP} = \frac{Q_{inst}}{c \cdot \Delta t} = \frac{29\,294}{4187 \cdot 10} = 0,70 \text{ kg/s} \quad (6.5)$$

Celkový průtok byl rozdělen dle topných úseků. V hale jsou dva topné úseky spojené do jednoho okruhu. Pro ukázkou je uveden úsek číslo 1 s průtokem 1033 kg/h. Nyní následovala vhodná volba registru. Registr byl zvolen na základě rychlosti proudění dle vzorce 5.13, aby bylo dosaženo rychlosti proudění vody v panelu w_1 takové, že bude zajištěn potřebný výkon sálavého panelu. To nelze zaručit pro rychlost proudění otopné vody $w_1 \leq 0,15$ m/s, neboť tehdy není jistota, že je splněna podmínka turbulentního proudění, při kterém byl zkušebnou naměřen jmenovitý výkon sálavého

panelu, jak je uvedeno v BP [10]. Rychlost proudění otopné vody v jedné trubce je označena jako w_1 . Pro splnění této podmínky, jsem volil například registr u šířky panelu 900 mm na tři trubky. To znamená, že průtok jednou trubkou činí 344 kg/h a rychlost vody 0,2 m/s. Po této volbě registru následoval výpočet tlakové ztráty třením 5.14, tlaková ztráta třením je v programu počítána iteračním způsobem a následně vyhodnocena hodnota měrné tlakové ztráty, a místními odpory 5.15. V tomto případě je součinitel místního odporu tvořen registrem a nabývá hodnoty jedna. Tímto způsobem se dále pokračovalo u všech navržených panelů. Nejprve probíhala volba registru a následně výpočet celkové tlakové ztráty 5.16. Jednotlivé panely jsou pak následně mezi sebou spojeny lisovacími fitinkami a tvoří jeden ucelený pás. Zapojení panelů do registru bylo provedeno tak, jak uvádí literatura [8].

7. HYDRAULICKÝ VÝPOČET POTRUBNÍ SÍTĚ

Potrubní síť otopných soustav slouží k dopravě teplotnosné látky ke spotřebiči a zpět od spotřebiče ke zdroji tepla [7]. V tomto případě je teplotnosnou látkou voda a jednotlivými spotřebiči jsou podlahové vytápění a vodní sálavé panely. V předchozích dvou kapitolách je popsán návrh obou soustav bez potrubní sítě. Hydraulický výpočet pro obě soustavy je proveden v této kapitole. Níže použité vzorce a hodnoty jsou uvedeny v literatuře [7], [26].

7.1 Podlahové vytápění

7.1.1 Hydraulický výpočet potrubní sítě

Rozvod potrubní sítě v objektu je z mědi a izolován izolací TUBEX [38]. Slouží k rozvodu otopné vody od centrálního rozdělovače topných okruhů k jednotlivým patrovým rozdělovačům. V objektu se nachází celkem čtrnáct patrových rozdělovačů. Hydraulický výpočet potrubní sítě je uveden pro úsek číslo 2.1. Ve výpočtu rychlosti otopné vody v potrubní síti dle vzorce 5.13, byl kladen požadavek na $w \leq 0,7$ m/s. Tomu odpovídá příslušná volba dimenze potrubí. Následoval výpočet tlakové ztráty.

- Reynoldsovo číslo [-]

$$Re = \frac{w \cdot d_i}{\nu} = \frac{0,47 \cdot 0,032}{0,727 \cdot 10^{-6}} = 20\,803 \quad (7.1)$$

kde

ν [m²/s] je kinematičká viskozita.

V tomto případě je zajištěn požadavek na vyvinuté turbulentní proudění.

- Součinitel tření [-]

$$\lambda_t = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{20\,803^{0,25}} = 0,026 \quad (7.2)$$

Dle podkladu [30] je vzorec 7.2 pro měděné potrubí podle Blasiova vztahu. Je bráno v úvahu hydraulicky hladké potrubí.

- Tlaková ztráta třením [Pa]

$$\Delta p_\lambda = \lambda \cdot \frac{l_p}{d_i} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 0,026 \cdot \frac{0,4}{0,032} \cdot \frac{0,47^2}{2} \cdot 1000 = 447 \text{ Pa} \quad (7.3)$$

Vzorec pro výpočet tlakové ztráty třením, je stejný jako 5.14 s tím rozdílem, že přímo nepočítám s měrnou tlakovou ztrátou. Dalším výpočtem je tlaková ztráta místními odpory dle vzorce 5.15. V tomto případě je součinitel místního odporu tvořen koleny, armaturami, apod. Celková tlaková ztráta daného úseku byla vypočtena dle vzorce 5.16. Celá potrubní síť k jednotlivým patrovým rozdělovačům se vypočetla obdobným způsobem. Záleželo na uspořádání potrubní sítě do jednotlivých pater. Nyní následovalo vyvážení jednotlivých úseků v jednom okruhu.

7.1.2 Vyvážení jednotlivých úseků

Celý objekt je rozdělen na čtyři topné okruhy, které jsou dále děleny na jednotlivé úseky. Každý úsek vykazuje tlakové ztráty třením i místními odpory. Jednotlivé úseky tedy musí být mezi sebou vyváženy. K vyvážení byl použit vyvažovací ventil STAD od firmy IMI. Ventil obsahuje ovládací hlavici k nastavení požadovaných otáček, měřící vsuvky a vypouštění.



Obr. 7-1 Vyvažovací ventil STAD [30]

Nachází se vždy na vratném potrubí u patrového rozdělovače. Nastavení a vyvážení probíhalo dle výpočtu a diagramu uvedeného v příloze. Dimenze ventilu byla volena na základě uvedené dimenze příslušného potrubí. Výpočet potřebné tlakové ztráty na vyvážení jednotlivých úseků proběhl dle vzorců uvedených v literatuře [11]. Výpočet je uveden pro úsek 2.1.

- Tlaková ztráta ventilu [kPa]

$$\Delta p_{RV,S} = \frac{\dot{V}^2}{k_v^2} \cdot \Delta p_0 = \frac{1,36^2}{4,5^2} \cdot 100 = 9,12 \text{ kPa} \quad (7.4)$$

kde

V [m³/h] je objemový průtok,
 Δp_0 [kPa] tlaková ztráta 100 kPa,
 k_v [m³/h] jmenovitý průtok armaturou.

Nejprve probíhal výpočet potřebné tlakové ztráty na jednotlivých úsecích a následná volba příslušné hodnoty jmenovitého průtoky armaturou. Podle diagramu se pak odečetly otáčky na ventilu. Vyvážení jednotlivých okruhů je uvedeno v tabulce, kde jsou uvedeny dimenze ventilů, otáčky a jmenovitý průtok armaturou.

Tab. 7-1 Regulace jednotlivých úseků

| Nastavení STAD | | | | | | | | |
|----------------|-------------|------------------------|----------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------------|------|
| ☐ | číslo úseku | Celková tlaková ztráta | Nutno doškrtit | Hmotnostní průtok | Objemový průtok | Otáčky STAD | k_v | DN |
| | [-] | Δp_z [kPa] | [kPa] | [kg/h] | [m ³ /h] | - | [m ³ /h] | [mm] |
| 1 | X.1 | 40,43 | - | 4780 | 4,78 | - | - | - |
| | 5.1 | - | - | 1318 | 1,32 | 4,0 | 19 | 40 |
| | 4.1 | 26,75 | 13,68 | 1071 | 1,07 | 1,4 | 3,0 | 32 |
| | 2.1 | 30,79 | 9,64 | 1359 | 1,36 | 1,9 | 4,5 | 32 |
| 2 | X.2 | 24,60 | - | 6706 | 6,71 | - | - | - |
| | 7.2 | - | - | 1442 | 1,44 | 4,0 | 19 | 40 |
| | 6.2 | 11,52 | 13,08 | 1441 | 1,44 | 1,3 | 4,0 | 40 |
| | 4.2 | 14,90 | 9,70 | 1455 | 1,46 | 2,0 | 4,7 | 40 |
| | 2.2 | 15,70 | 8,90 | 2367 | 2,37 | 2,4 | 8,0 | 40 |
| 3 | X.3 | 25,96 | - | 5383 | 5,38 | - | - | - |
| | 7.3 | - | - | 1101 | 1,10 | 4,0 | 14 | 32 |
| | 6.3 | 16,09 | 9,87 | 1683 | 1,68 | 1,9 | 5,5 | 40 |
| | 4.3 | 12,73 | 13,23 | 1073 | 1,07 | 1,8 | 2,9 | 32 |
| | 2.3 | 20,23 | 5,73 | 1526 | 1,53 | 2,3 | 6,0 | 32 |
| 4 | X.4 | 29,89 | - | 788 | 0,79 | - | - | - |
| | 5.4 | - | - | 254 | 0,25 | 4,0 | 2,5 | 15 |
| | 4.4 | 6,73 | 23,16 | 232 | 0,23 | 1,9 | 0,5 | 15 |
| | 2.4 | 8,94 | 20,95 | 303 | 0,30 | 2,2 | 0,7 | 15 |

V tabulce na levé straně je uveden příslušný okruh, kterému náleží určitý počet úseků.

7.2 Vodní sálavé panely

7.2.1 Hydraulický výpočet potrubní sítě

Stejným způsobem jako u podlahového vytápění probíhal hydraulický výpočet potrubní sítě vodních sálavých panelů. Rozvod otopné vody je veden z centrálního rozdělovače do jednotlivých topných okruhů. I v tomto případě uvažujeme se čtyřmi topnými okruhy. Otopná voda je následně přiváděna měděným potrubím k jednotlivým sálavým pasům dle hydraulického zapojení a následně odváděna zpět do centrálního rozdělovače. U každého sálavého panelu nebo pasu je na přívodním i vratném potrubí uzavírací kohout a potrubí je připojeno pomocí pružné hadice MEIBES INOFLEX [40].

Výpočet proběhl v programu od firmy KOTRBATÝ stejným způsobem pro všechny okruhy jako v kapitole 7.2.1.

7.2.2 Vyvážení jednotlivých úseků

Vyvážení u vodních sálavých panelů bylo provedeno taktéž stejným způsobem jako v kapitole 7.1.2. Vyvažovací ventil STAD je umístěn na vrтанém potrubí a nastaven dle požadovaného vyvážení.

Tab. 7-2 Regulace jednotlivých úseků

| Nastavení STAD | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------------|------------------------|-------------------|---------------------|-------------|---------------------|------|
| ⬆ | Patro | Číslo úseku | Celková tlaková ztráta | Hmotnostní průtok | Objemový průtok | Otáčky STAD | k_v | DN |
| | [-] | [-] | [kPa] | [kg/h] | [m ³ /h] | - | [m ³ /h] | [mm] |
| 1 | 3 | U7 | 23,5 | 397 | 0,40 | 4,0 | 9,0 | 25 |
| | 3 | U6 | | 374 | 0,37 | 2,1 | 3,8 | 25 |
| | 3 | U5 | | 442 | 0,44 | 2,1 | 3,8 | 25 |
| | 2 | U5 | | 272 | 0,27 | 1,6 | 2,4 | 25 |
| | 2 | U4 | | 307 | 0,31 | 4,0 | 9,0 | 25 |
| | 2 | U3 | | 374 | 0,37 | 2,6 | 8,0 | 25 |
| | 2 | U1 | | 953 | 0,95 | 1,7 | 2,6 | 25 |
| | 1 | U5 | | 272 | 0,27 | 1,2 | 1,5 | 25 |
| | 1 | U4 | | 374 | 0,37 | 4,0 | 9,0 | 25 |
| | 1 | U3 | | 397 | 0,40 | 1,8 | 3,0 | 25 |
| | 1 | U1 | | 1043 | 1,04 | 1,8 | 2,9 | 25 |
| 2 | 1 | U6 | 21,9 | 1490 | 1,49 | 4,0 | 14,0 | 32 |
| | 1 | U5 | | 1033 | 1,03 | 2,3 | 6,1 | 32 |
| 3 | 2 | U6 | 24,5 | 1297 | 1,30 | 4,0 | 15,0 | 32 |
| | 2 | U5 | | 979 | 0,98 | 2,5 | 7,0 | 32 |
| 4 | 3 | U6 | 26,7 | 3653 | 3,65 | 4,0 | 33,0 | 50 |
| | 3 | U5 | | 1393 | 1,39 | 1,1 | 3,4 | 40 |

V tabulce na levé straně je uveden příslušný okruh, kterému náleží určitý počet úseků.

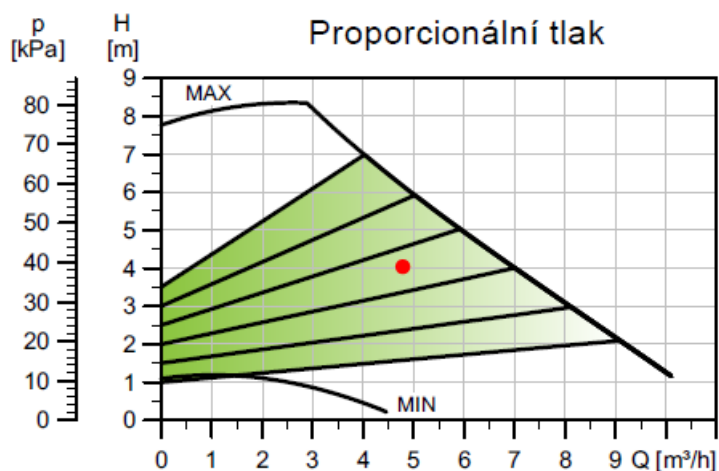
8. CENTRÁLNÍ ROZDĚLOVAČ

Jedna ze závad otopné soustavy spočívá v nedostatečné světlosti rozdělovače i sběrače otopné vody. Závada se projevuje na jejich jednostranném napojení s převažujícími odběry na straně opačné. Doporučená rychlost otopné vody v rozdělovači je volena v rozmezí od 0,5 m/s do 0,8 m/s [9]. Dimenze centrálního rozdělovače byla zvolena na základě stanovené rychlosti. Jednotlivé větve mají příslušné oběhové čerpadlo, čímž je potlačeno jednotlivé vyvážení topných okruhů mezi sebou. Veškeré podklady jsou uvedeny na příloženém CD.

8.1 Podlahové vytápění

8.1.1 Oběhová čerpadla

Oběhová čerpadla slouží k dopravě otopné vody od akumulčních nádrží k patrovým rozdělovačům. Aby oběhové čerpadlo překonalo veškeré tlakové ztráty v potrubí, musí být dimenzováno na dostatečný dopravní tlak, v němž jsou tlakové ztráty započítány. Pro tento případ jsou navržena čerpadla od firmy GRUNDFOS. Pro ukázkou je uvedena volba oběhového čerpadla pro okruh V1 – PV. Tlaková ztráta okruhu činí 40,43 kPa a objemový průtok 4,78 m³/h. Vzhledem k velkému průtoku bylo zvoleno oběhové čerpadlo MAGNA 3 32-80 (N). Těleso oběhového čerpadla je z korozi-vzdorné oceli s připojením G2. Pracovní bod je znázorněn na obrázku 8-1.



Obr. 8-1 Charakteristika oběhového čerpadla GRUNDFOS MAGNA 3 32-80 (N) [29]

Čerpadlo nabízí řadu možností nastavení regulace. V tomto případě postačí nastavení AUTO_{ADAPT}. Za provozu přizpůsobuje čerpadlo své provozní parametry aktuální charakteristice soustavy. Toto nastavení zajišťuje minimální energetickou spotřebu a minimální provozní hlučnost, což ve svém důsledku znamená nižší celkové provozní náklady a vyšší pohodlí uživatele.

8.1.2 Rotační ventily

Pro použití kvalitativní regulace jednotlivých topných okruhů se k dosažení požadované teploty používají rotační ventily. Uvnitř rotačního ventilu dochází ke směšování dvou proudů teplotně látky a tím je zajištěna potřebná teplota. Pro ukázkou je uvedena volba rotačního ventilu pro okruh V1 – PV. V tomto případě, kdy je v centrálním rozdělovači zapojeno pět rotačních ventilů, byla zvolena autorita ventilu $P_V \geq 0,7$. Návrh ventilu je dle literatury [11].

- Tlaková ztráta ventilu [kPa]

$$\Delta p_{RV} = \frac{P_V}{1 - P_V} \cdot \Delta p_{ok} = \frac{0,7}{1 - 0,7} \cdot 0,5 = 1,16 \text{ kPa} \quad (8.1)$$

kde

Δp_{ok} [kPa] je tlaková ztráta okruhu,
 P_V [-] autorita ventilu.

- Jmenovitý průtok armaturou [m^3/h]

$$k_{vs} = V \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_{RV}}} = 4,78 \cdot \sqrt{\frac{100}{1,16}} = 44,38 \text{ m}^3/\text{h} \quad (8.2)$$

kde

V [m^3/h] je objemový průtok.

Na základě výše uvedených výpočtů proběhla volba rotačního ventilu následovně. Podle katalogu od výrobce byl vybrán rotační ventil se jmenovitým průtokem 40 m³/h, kterému odpovídá dimenze DN50. Výrobce je firma DANFOSS.

- Skutečná tlaková ztráta ventilu [kPa]

$$\Delta p_{RV,S} = \frac{\dot{V}^2}{k_{vS}^2} \cdot \Delta p_0 = \frac{4,78^2}{40^2} \cdot 100 = 1,42 \quad (8.3)$$

- Skutečná autorita ventilu [-]

$$P_{V,S} = \frac{\Delta p_{RV,S}}{\Delta p_{RV,S} - \Delta p_{ok}} = \frac{1,42}{1,42 - 0,5} = 7,4 \quad (8.1)$$

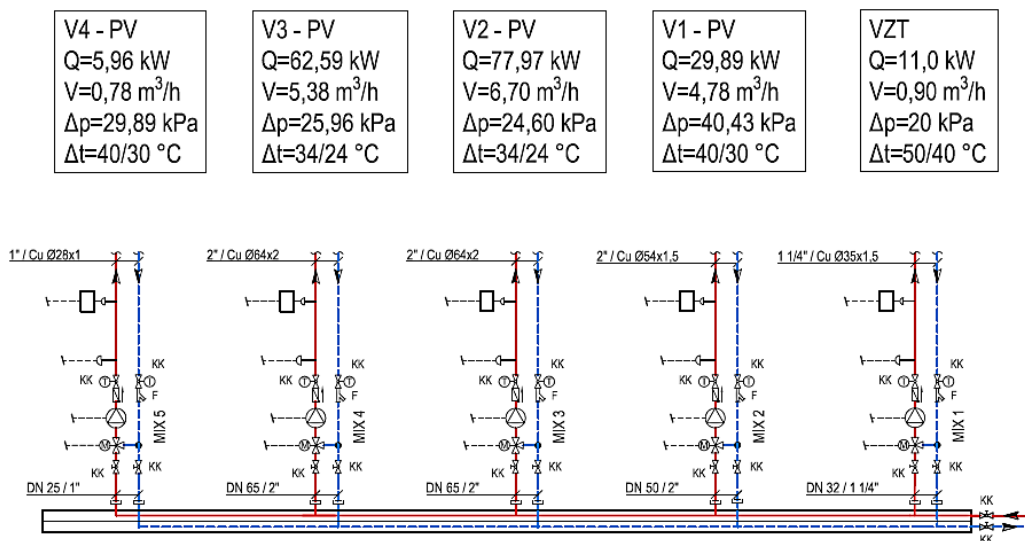
Následné ovládání rotačního ventilu je pomocí servopohonu AMB 162.



Obr. 8-2 Rotační ventil DANFOSS HRB3 DN50 [36]

8.1.3 Centrální rozdělovač

Centrální rozdělovač má čtyři topné okruhy pro vytápění objektu a jeden okruh pro vzduchotechnické zařízení. Je vytvořen z oceli a přechod mezi ocelovým rozdělovačem a měděným potrubím je zajištěn šroubením přes těsnící kroužek. Rozdělovač má dimenzi DN100. Rozdělovač je potřeba nechat svařit u certifikované firmy dle parametrů uvedených v literatuře [9].



Obr. 8-3 Rozdělovač topných okruhů podlahového vytápění a vzduchotechniky

Seznam použitých oběhových čerpadel a rotačních ventilů dle topných okruhů:

- VZT – GRUNDFOS ALPHA 2 15-60 (N), RV DANFOSS HRB3 DN32 + AMB 162
- V1 – GRUNDFOS MAGNA 3 32-80 (N), RV DANFOSS HRB3 DN50 + AMB 162
- V2 – GRUNDFOS MAGNA 3 32-80 (N), RV DANFOSS HRB3 DN50 + AMB 162
- V3 – GRUNDFOS MAGNA 3 32-80 (N), RV DANFOSS HRB3 DN50 + AMB 162
- V4 – GRUNDFOS ALPHA 2 15-60 (N), RV DANFOSS HRB3 DN25 + AMB 162

Centrální rozdělovač je umístěn v technické místnosti v prvním nadzemním podlaží. Jednotlivá rozteč mezi okruhy je volena tak, aby byla snadná montáž veškerých armatur uvedených na obrázku 8-3.

8.2 Vodní sálavé panely

8.2.1 Oběhová čerpadla

Oběhová čerpadla pro systém vodních sálavých panelů zajišťují stejným způsobem rozvod otopné vody jako v kapitole 8.1.1. Volba čerpadel proběhla stejným způsobem. Tělo je z korozi-vzdorné oceli. Regulaci zajišťuje taktéž tovární nastavení AUTO_{ADAPT}.

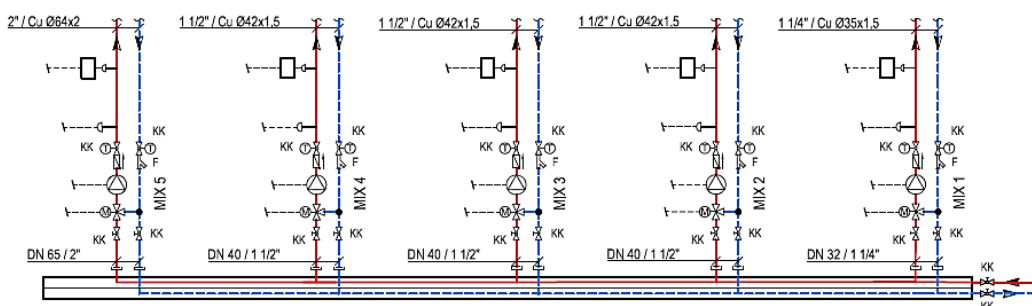
8.2.2 Rotační ventily

Pro použití kvalitativní regulace jednotlivých topných okruhů byli i v tomto případě použity rotační ventily firmy DANFOSS. Volba ventilu probíhala stejným způsobem jako v kapitole 8.1.2.

8.2.3 Centrální rozdělovač

Centrální rozdělovač pro vodní sálavé panely má stejné parametry jako pro podlahové vytápění.

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| V4 - VSP Q=58,6 kW V=5,05 m ³ /h Δp=26,70 kPa Δt=40/30 °C | V3 - VSP Q=26,4 kW V=2,28 m ³ /h Δp=24,50 kPa Δt=40/30 °C | V2 - VSP Q=29,3 kW V=2,52 m ³ /h Δp=21,90 kPa Δt=40/30 °C | V1 - VSP Q=22,3 kW V=3,21 m ³ /h Δp=23,50 kPa Δt=40/34 °C | VZT Q=11,0 kW V=0,90 m ³ /h Δp=20 kPa Δt=50/40 °C |
|--|--|--|--|--|



Obr. 8-4 Rozdělovač topných okruhů vodních sálavých panelů a vzduchotechniky

Seznam použitých oběhových čerpadel a rotačních ventilů dle topných okruhů:

- VZT – GRUNDFOS ALPHA 2 15-60 (N), RV DANFOSS HRB3 DN32 + AMB 162
- V1 – GRUNDFOS MAGNA 3 32-80 (N), RV DANFOSS HRB3 DN50 + AMB 162
- V2 – GRUNDFOS MAGNA 3 32-80 (N), RV DANFOSS HRB3 DN50 + AMB 162
- V3 – GRUNDFOS MAGNA 3 32-80 (N), RV DANFOSS HRB3 DN50 + AMB 162
- V4 – GRUNDFOS ALPHA 2 15-60 (N), RV DANFOSS HRB3 DN25 + AMB 162

9. ZDROJ TEPLA

Volba zdroje tepla závisí z větší části na investrovi, umístění v objektu, oblasti výstavby, apod. Obě dvě soustavy pracují v nízkoteplotním režimu. Nabízela se tedy možnost u výběru zdroje tepla mezi tepelným čerpadlem a kondenzačním kotlem. Zdrojem tepla pro oba systémy bylo tedy vybráno tepelné čerpadlo, které bude zajišťovat ohřev otopné vody a přípravu teplé vody. Potrubní rozvody jsou v technické místnosti vedeny v mědi. Níže uvedené vzorce byly zvoleny na základě doporučení firmy STIEBEL ELTRON [28].

9.1 Výkon zdroje tepla

V dnešní době se na trhu objevují různí výrobci tepelných čerpadel, záleží pouze na investrovi, které tepelné čerpadlo si zvolí.

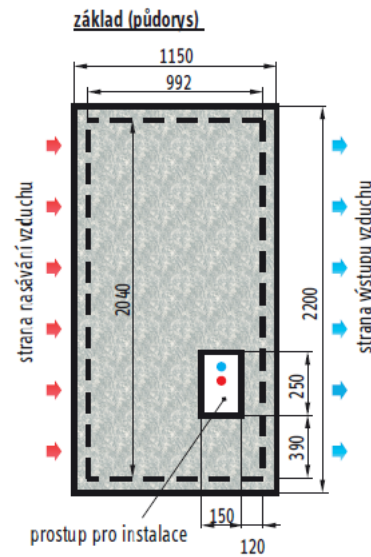
Stavba se nachází v místě s několika dalšími výrobními objekty a na kraji města. Požadavek na hluk od tepelného čerpadla je v tomto případě zanedbatelný a splňuje limity hluku nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Dále je řešena pouze soustava vytápění. Za těchto okolností bylo zvoleno tepelné čerpadlo VZDUCH/VODA. Výkon tepelného čerpadla se obvykle pohybuje mezi 70 až 80 % tepelných ztrát objektu.

- Výpočet výkonu tepelného čerpadla při A2/W35 [W]

$$Q_{T\check{c}} = Q_{TZ} \cdot 0,70 = 150\,553 \cdot 0,8 = 120\,442 \text{ W} \quad (9.1)$$

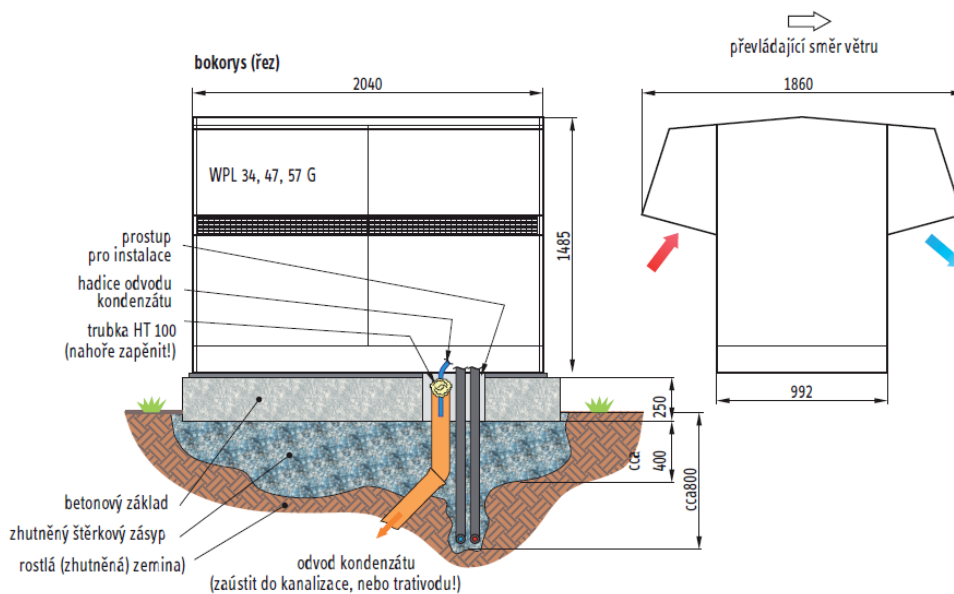
Ze vzorce je patrné, že pro uhrazení tepelných ztrát prostupem je potřeba zdroj o výkonu 120 442 W. Na základě výstupních parametrů a konzultaci s technickou podporou firmy STIEBEL ELTRON konkrétně s Ing. Davidem Šafránkem, byla zvolena kaskáda pěti tepelných čerpadel WPL 47 A. Topný výkon čerpadla dle EN 14 511 pro parametry A2/W35 je 24,82 kW [28]. Jedná se o venkovní tepelné čerpadlo. Čerpadla jsou umístěna před technickou místností, aby byla zajištěna co nejkratší vzdálenost

rozvodu potrubí. Jsou postavena na pevném betonovém základu obr. 9-1, ve kterém je prostup pro instalaci trubek.



Obr. 9-1 Betonový základ pro tepelné čerpadlo [28]

Betonový základ je zhotoven z důvodu statického posouzení podkladu pod čerpadlem, protože jeho váha činí 540 kg. Dále je kladena minimální vzdálenost rozestupu mezi jednotlivými čerpadly sestavených do kaskády. Na straně sání a výfuku vzduchu je kladen důraz na minimální vzdálenost 500 mm. To je potřeba bezpodmínečně dodržet. Další požadavky a konstrukce jsou na obr. 9-2.

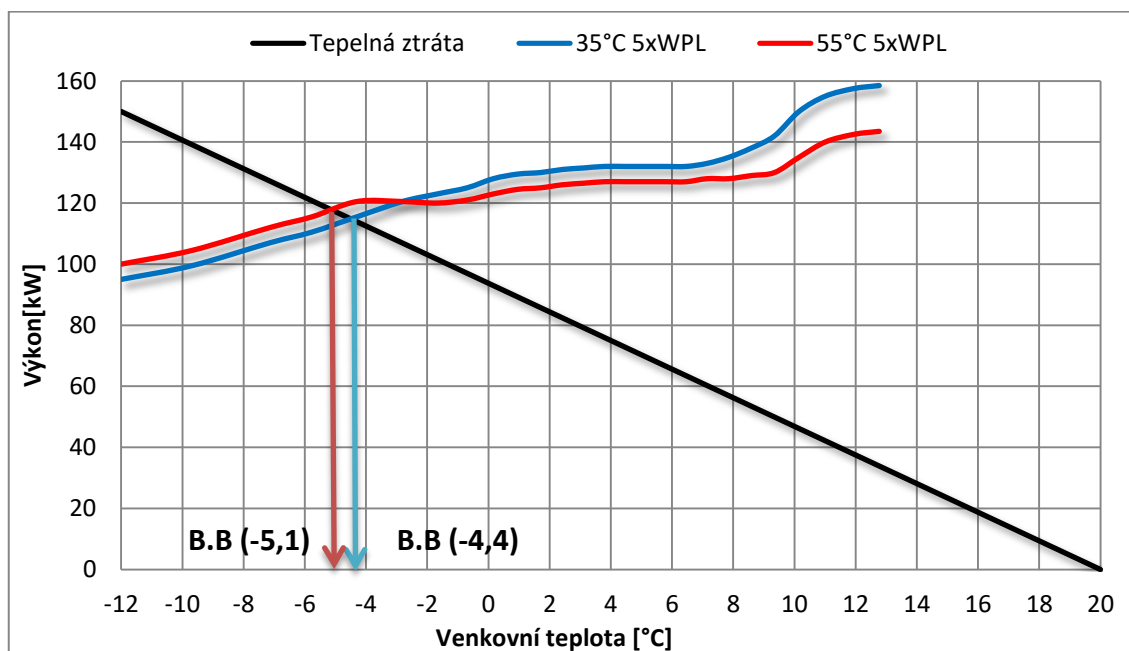


Obr. 9-2 Rozměry a konstrukce tepelného čerpadla WPL 47 A [28]

Z obrázku je patrné, že odvod kondenzátu vede do kanalizační stoky. Instalace pod zemí byla provedena potrubím RAUVITHERM [33], kde je na konci potrubí přechodka s kovovým závitem. Dalším připojovacím prvkem jsou tlakové propojovací hadice STIEBEL ELTRON, které se nachází u tepelného čerpadla. Slouží jako kompenzátor k potlačení vzniklých vibrací stroje. Technický list k tepelnému čerpadlu je uveden na přiloženém CD.

9.2 Bod bivalence

Při dimenzování tepelného čerpadla VZDUCH / VODA je potřeba si uvědomit, že s klesající venkovní teplotou také klesá výkon čerpadla. To znamená, že tepelné čerpadlo nedokáže při určité venkovní teplotě hradit tepelné ztráty. Z tohoto důvodu je potřeba řešit vytápěcí systém bivalentním způsobem. Při určité venkovní teplotě dopomáhá k hrazení tepelných ztrát tepelnému čerpadlu bivalentní zdroj. Ke stanovení bivalentního zdroje slouží výkonové křivky, ze kterých byl stanoven takzvaný bod bivalence.



Obr. 9-3 Závislost tepelných výkonů čerpadel a tepelných ztrát objektu

Na obrázek jsou vidět dva body bivalence pro příslušnou teplotu otopné vody. Graf bylo potřeba sestavit na základě volby bivalentního zdroje. V tomto případě je pro výpočtovou teplotu -12 °C a teplotu otopné vody 35 °C potřebný výkon bivalentního zdroje 55 kW. Bivalentním zdrojem jsou tedy dvě elektrické topné patrony FCR od firmy STIEBEL ELTRON. Jedna má výkon 36 kW. Pro shrnutí tedy platí, že při dosažení bodu bivalence se v daném okamžiku sepne elektrická topná patrona a dopomáhá tepelnému čerpadlu při ohřevu otopné vody na požadovanou teplotu.

9.3 Akumulační nádrž

Systém vytápění tepelných čerpadel může být navržen tak, že ohřev otopné vody jde přímo do soustavy nebo je akumulován do akumulací nádrže. V objektu je zvolena možnost akumulace otopné vody.

- Objem akumulací nádrže [l]

$$V_A = k \cdot Q_{T\check{c}} = 15 \cdot 120,4 = 1806 \text{ l} \quad (9.2)$$

kde

k [-] je konstanta.

Ze vzorce vyplývá, že velikost objemu akumulací nádrže by měla být 1806 litrů. Následně byly zvoleny dvě akumulací nádrže od firmy STIEBEL ELTRON o objemu 1000 litrů s označením SBP 1000 E. Katalogový list je uveden v příloze na CD. Od akumulací nádrží je následně otopná voda vedena k centrálnímu rozdělovači, kde jí do jednotlivých topných okruhů rozvádí oběhová čerpadla GRUNDFOS.

9.4 Oběhová čerpadla

Oběhová čerpadla slouží k dopravě otopné vody od tepelných čerpadel do akumulací nádrží. V tomto případě dopravují otopnou vodu ve velmi krátkém úseku, z pravidla do deseti metrů. Na trase se dále nenachází žádný prvek nebo armatura

s výraznou tlakovou ztrátou, která by narušovala chod oběhového čerpadla. Dle doporučení od firmy STIEBEL ELTRON byly vybrány oběhová čerpadla Wilo UP 30/1-8 PCV. Celkem je potřeba sedm oběhových čerpadel, které jsou umístěny v technické místnosti. Dvě slouží na dopravu ohřevu teplé vody a pět na dopravu otopné vody. Volba provozního režimu oběhových čerpadel je dle konstantního tlaku.



Obr. 9-4 Oběhové čerpadlo Wilo UP 30/1-8 PCV [28]

10. VZDUCHOTECHNIKA

Návrh vzduchotechnického zařízení je proveden ideologicky bez návrhu dimenzí vzduchotechnického potrubí. Toto není cílem práce. Návrh vzduchotechnické jednotky byl proveden dle dat společnosti ATREA [41]. Jedná se o multifunkční jednotku DUPLEX Multi s protiproudým rekuperačním výměníkem vzduchu. Výrobce uvádí faktor zpětného získávání tepla až 93 %. Tepelná ztráta větráním 144,4 kW je hrazena vzduchotechnickou jednotkou. Do místností je přiváděn izotermní proud. Výpočet výkonu ohřívače vzduchu je uveden níže. Označení indexu 18, 20, 24 značí teploty v místnostech. Vzorce jsou uvedeny v literatuře [12].

- Teplota za výměníkem tepla [°C]

$$\theta_{ztt_{18}} = \phi \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) + \theta_e = 0,93 \cdot (18 - (-12)) + (-12) = 15,9 \text{ °C} \quad (10.1)$$

kde

ϕ [%] je faktor zpětného získání tepla.

- Výkon ohřívače [W]

$$Q_{18} = \dot{V}_{vzt_{18}} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_p - \theta_{ztt_{18}}) = 12471 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (18 - 15,9) = 8816 \text{ W} \quad (10.2)$$

kde

θ_p [°C] je teplota přiváděného vzduchu,

V_{vzt} [m³/h] objemový průtok vzduchu.

Tab. 10-1 Tabulka vypočtených hodnot

| θ_i [°C] | θ_{ztt} [°C] | θ_p [°C] | V [m ³ /h] | Q _o [W] |
|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 18 | 15,9 | 18 | 12471 | 8816 |
| 20 | 17,6 | 20 | 1394 | 1149 |
| 24 | 21,3 | 24 | 198 | 181 |

Z vypočtených hodnot byl zvolen celkový výkon pro ohřivače vzduchu 11 kW. Ohřivač je umístěn uvnitř vzduchotechnické jednotky. V objektu se nachází dvě vzduchotechnické jednotky. Jedna slouží k distribuci vzduchu do výrobních hal a druhá do administrativních úseků.

- DUPLEX Multi 11000 – pro výrobní halu
- DUPLEX Multi 1500 – pro administrativu

Distribuce vzduchu do místností je zajištěna koncovými prvky jako jsou anemostaty, mřížky atd. Katalogový list vzduchotechnické jednotky je uveden na přiloženém CD.



Obr. 10-1 Centrální vzduchotechnická jednotka DUPLEX Multi [41]

11. PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

Příprava teplé vody byla v objektu navržena dle odběrového digramu teplé vody. V tomto režimu se při potřebě ohřátí zásobníku teplé vody vypne chod oběhového čerpadla pro ohřev otopné vody a zapne se oběhové čerpadlo na ohřev teplé vody. Bylo potřeba navrhnout externí zásobníky teplé vody. V celém objektu je uvažováno s 80 zaměstnanci, potřeba teplé vody na osobu $V_{2P} = 0,034 \text{ m}^3/\text{os.den}$. Velikost zásobníku teplé vody jsem vypočítal dle literatury [17], přípravu teplé vody dle [16] a požadavek na potřebu teplé vody dle ČSN 06 0320.

- Potřeba teplé vody pro mytí osob [m^3/den]

$$V_{os} = n_i \cdot V_{2P} = 80 \cdot 0,034 = 2,72 \text{ m}^3/\text{den} \quad (11.1)$$

Kde

n_i [-] je počet uživatelů.

Ze vzorce je patrné, že potřeba teplé vody za den činí 2720 litrů.

- Potřeba tepla dodaného ohříváčem TV [kWh/den]

$$Q_{2P} = \frac{(1 + z) \cdot V_{os} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600 \cdot 1000} = \frac{(1 + 0,1) \cdot 2,72 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 100} =$$

$$= 156,6 \text{ kWh}/\text{den} \quad (11.2)$$

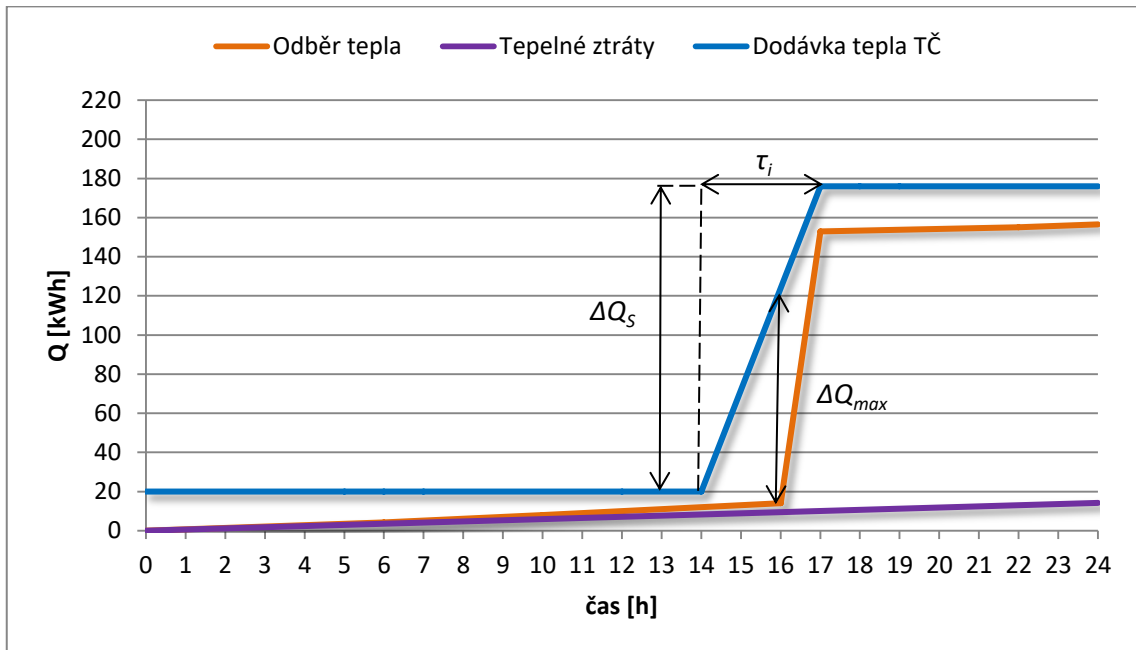
kde

z [-] je poměrná ztráta rozvodu,

t_{TV} [$^{\circ}\text{C}$] teplota teplé vody,

t_{SV} [$^{\circ}\text{C}$] teplota studené vody.

Ze vzorce je patrné, že poměrná ztráta rozvodu nabývá hodnoty 10%.



Obr. 11-1 Křivka odběru dodávky tepla

Z diagramu lze stanovit potřebný tepelný výkon na ohřev teplé vody a velikost zásobníku.

- Tepelný výkon ohřivače [kW]

$$Q_{zdroj} = \left(\frac{\Delta Q_s}{\tau_i} \right) = \left(\frac{156}{3} \right) = 52 \text{ kW} \quad (11.3)$$

kde

ΔQ_s [kWh] je největší dodávka tepla,

τ_i [h] čas.

Jmenovitý výkon čerpadla pro podmínky A2/W35 je 24,82 kW. Pro ohřev teplé vody postačí z kaskády tepelných čerpadel použít dvě tepelná čerpadla.

- Velikost zásobníku teplé vody [m^3]

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c_v \cdot (t_{TV} - t_{SV})} = \frac{104}{1,163 \cdot (55 - 10)} = 2 \text{ m}^3 \quad (11.4)$$

kde

ΔQ_{max} [kWh] je maximální rozdíl mezi odběrem a dodávkou tepla,

c_v [kWh/ $m^3 \cdot K$] měrná tepelná kapacita pro TV.

Velikost zásobníku vychází 2000 litrů. Byly zvoleny dva zásobníky na teplou vodu od firmy STIEBEL ELTRON, SBB 1000 WP SOL. Zásobník má ve spodní části výměník pro solární kolektory. Ten je propojen s horním výměníkem a oba tvoří větší teplosměnnou plochu pro ohřev teplé vody. V horní části zásobníků je příruba, ve které je zapojena elektrická topná patrona pro případný dohřev teplé vody. Elektrická topná patrona je od firmy STIEBEL ELTRON, FCR 12 kW. V případě extrémních podmínek, kdy je venkovní teplota $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ a výkon tepelného čerpadla 17 kW, nastává situace nedostatečného výkonu pro ohřev teplé vody $34 \text{ kW} < 52 \text{ kW}$. Tento problém řeší právě elektrická topná patrona $34 \text{ kW} + 24 \text{ kW} = 58 \text{ kW} > 52 \text{ kW}$. Tímto je splněna podmínka na požadovaný výkon pro ohřev teplé vody. Soustava dále obsahuje i cirkulační čerpadlo pro cirkulaci teplé vody. Čerpadlo je taktéž od firmy STIEBEL ELTRON, UP 20 – 6 bronz. Katalogový list je uveden na přiloženém CD.

12. POJISTNÉ A ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ

V této kapitole je popsán návrh pojistného ventilu a tlakové expanzní nádoby.

12.1 Pojistný ventil

Dle ČSN 06 0830 pojistné zařízení chrání zdroj tepla proti překročení maximálního dovoleného přetlaku v otopné soustavě. Tím je pojistný ventil. Tlakové propojovací hadice jsou tlakově nejméně odolným článkem otopné soustavy. Konstrukční přetlak tlakových hadic je 250 kPa. Návrh pojistného ventilu je dle [14]. Příkladem je výpočet ventilu pro tepelné čerpadlo.

- Pojistný výkon [kW]

$$Q_{P1} = Q_N = 24,82 \text{ kW} \quad (12.1)$$

kde

Q_N [kW] je jmenovitý výkon zdroje tepla.

- Pojistný průtok [m^3/h]

$$V_P = Q_{P1} = 24,82 \text{ m}^3/\text{h} \quad (12.2)$$

- Průřez sedla ventilu [mm^2]

$$S_O = \frac{Q_{P1}}{p_{otv}} = \frac{24,82}{250} = 99,3 \text{ mm}^2 \quad (12.3)$$

kde

p_{otv} [kPa] je otevírací přetlak pojistného ventilu.

- Vnitřní průměr pojistného potrubí [mm]

$$d_V = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{Q_{P1}} = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{24,82} = 12,9 \text{ mm} \quad (12.4)$$

Dle výpočtu byl zvolen pojistný ventil IVAR.PV KD15 250 kPa. Pojistný ventil je umístěn u každého tepelného čerpadla. U vstupu do zásobníků teplé vody i u akumulčních nádrží je ventil IVAR.PV KD25 250 kPa. Na straně vodovodní přípojky je ventil IVAR.PV KB15 600 kPa. Veškeré navržené pojistné ventily jsou stejné pro oba systémy vytápění. Podklady jsou uvedeny na příloženém CD.

12.2 Tlaková expanzní nádoba

Dle ČSN 06 0830 zabezpečovací zařízení umožňuje vyrovnat změny roztažnosti vody otopné soustavy bez její ztráty a udržet přetlak v otopné soustavě v předepsaných mezích. To zajišťuje v tomto případě tlaková expanzní nádoba. Návrh tlakové expanzní nádoby je dle [7]. Výpočet je proveden pro PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ.

- Maximální rozdíl teplot [K]

$$\Delta t_{max} = t_{max} - t_{min} = 55 - 10 = 45 \text{ K} \quad (12.5)$$

kde

t_{max} [°C] je maximální projektovaná teplota v otopné soustavě,

t_{min} [°C] minimální napouštěcí teplota otopné soustavy.

Z maximálního rozdílu teplot se stanovil součinitel zvětšení objemu, který uvádí tabulka v literatuře [7].

- Nejvyšší dovolený absolutní tlak [kPa]

$$p_{h,dov,A} = p_{otv} + p_B = 250 + 100 = 350 \text{ kPa} \quad (12.6)$$

kde

p_B [kPa] je barometrický tlak.

- Nejnižší dovolený absolutní tlak [kPa]

$$p_{d,dov,A} = 1,1 \cdot \rho \cdot g \cdot h_v \cdot 10^{-3} + p_B = 1,1 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} + 100 = 227,3 \text{ kPa} \quad (12.7)$$

kde

h_v [m] je výška vodního sloupce,

g [m/s²] tíhové zrychlení.

- Normovaný stupeň využití expanzní nádoby [-]

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} = \frac{350 - 227,3}{350} = 0,35 \quad (12.8)$$

- Objem tlakové expanzní nádoby [l]

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_o \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} = 1,3 \cdot 6884 \cdot 0,01413 \cdot \frac{1}{0,35} = 360,8 \text{ l} \quad (12.9)$$

kde

n [-] je součinitel zvětšení objemu,

V_o [l] objem vody v otopné soustavě.

Tab. 12-1 Vypočtené hodnoty tlakových expanzních nádob pro PV – podlahové

vytápění a VSP – vodní sálavé panely

| Soustava | t_{\max} | Δt_{\max} | n | $P_{h,dov,abs}$ | $P_{d,dov,abs}$ | η | V_o | V_{et} |
|----------|------------|-------------------|---------|-----------------|-----------------|--------|-------|----------|
| - | [°C] | [°C] | [-] | [kPa] | [kPa] | [-] | [l] | [l] |
| PV | 55 | 45 | 0,01413 | 350 | 227,33 | 0,35 | 6884 | 360,8 |
| VSP | 55 | 45 | 0,01413 | 350 | 272,66 | 0,22 | 8152 | 677,6 |

Dle výše uvedených výpočtů proběhla volba tlakových expanzních nádob do otopných soustav takto:

- PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ – REFLEX N400/6 o objemu 400 litrů.
- VODNÍ SÁLAVÉ PANELY – REFLEX N800/6 o objemu 800 litrů.

Do soustavy pitné vody proběhla volba tlakové expanzní nádoby pro obě soustavy vytápění stejným způsobem. Návrh byl proveden dle podkladů výrobce REFLEX [31].

- PITNÁ VODA – REFIX DT 200/10 o objemu 200 litrů.

Podklady jsou uvedeny na přiloženém CD.

13. REGULACE

V této kapitole je popsán způsob řízení obou soustav vytápění. Aby bylo možné jednotlivé soustavy porovnávat, byla snaha o provedení možnosti regulace u obou soustav stejná. Veškerý systém je řízen nadřazenou regulací.

13.1 Regulace zdroje tepla

Zdrojem tepla pro obě soustavy vytápění jsou tepelná čerpadla. Tepelné čerpadlo budou řízena regulátorem WPM, který dokáže uřídit až dvě tepelná čerpadla, režim přípravy teplé vody a směšovací okruh. Jelikož je v soustavě více směšovacích okruhů než regulátorů WPM, bylo zapotřebí modulů MSM. Regulace zdroje tepla probíhala následovně. Tepelná čerpadla udržují v akumulacích nádrží konstantní teplotu otopné vody. V případě potřeby teplé vody dochází k přednostnímu ohřevu teplé vody. Tepelná čerpadla jsou zapojena do kaskády, tudíž dochází k postupnému zapínání jednotlivých čerpadel dle požadavku na otopnou vodu. Tento typ čerpadel potřebuje velký rozběhový proud, proto je dobré čerpadla zapínat postupně dle potřeby, aby nedocházelo k taktování. Pět tepelných čerpadel je použito na ohřev otopné vody a dvě z toho na ohřev teplé vody. U těchto dvou tepelných čerpadel byl použit systém dvou oběhových čerpadel, který při dané potřebě spouští jedno nebo druhé oběhové čerpadlo. V případě ohřevu otopné vody a náhlé potřebě ohřevu teplé vody dochází ke třívteřinovému souběhu oběhových čerpadel, než dojde k úplnému vypnutí jednoho nebo druhého oběhového čerpadla. Kaskáda tepelných čerpadel je spínána následovně, pro přípravu otopné vody se nejprve zapne čerpadlo 1.5 následně 1.4 atd., pro přípravu teplé vody se nejprve zapne čerpadlo 1.1 následně 1.2. Ovládání jednotlivých čerpadel zajišťuje obslužný díl.

13.2 Regulace otopné soustavy

Regulace otopné soustavy jednotlivých otopných okruhů je řízena rotačními ventily pomocí ekvitermní regulace. Ekvitermní regulace teploty ve vytápěné místnosti spočívá v nastavení teploty otopné vody na základě venkovní teploty [27]. Při nižší venkovní

teplotě je požadována vyšší teplota otopné vody. Musí docházet k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami místnosti, aby teplota v místnosti zůstala konstantní. Čidlo venkovní teploty je umístěno na fasádě objektu a čidlo otopné vody je umístěno na přívodním potrubí u výstupu z rotačního ventilu. Ovládání rotačního ventilu je pomocí servopohonu a regulátoru FE7. V případě poruchy čidla na straně otopné vody je umístěn na stoupačce každého okruhu havarijní termostat, který v případě překročení dovolené teploty vypne oběhové čerpadlo daného okruhu.

13.2.1 Regulace podlahového vytápění

U teplovodního podlahového vytápění je kladen důraz na akumulaci schopnost podlahové otopné plochy a setrvačnost náběhu. Bylo zapotřebí zjistit dobu odezvy otopné plochy na regulační zásah, aby bylo dosaženo požadované teploty v místnosti při příchodu zaměstnanců do práce a zároveň pokles teploty po skončení pracovní doby. To je zajištěno rotačním ventilem u všech topných okruhů. Pro případný požadavek na regulaci jednotlivých patrových rozdělovačů je umístěn na přívodním potrubí elektricky řízený uzavírací ventil I/VBZ [39]. Je řízen prostorovým termostatem IVAR.TAD umístěným v referenční místnosti. Jedná se převážně o sálavé vytápění, proto je k příslušnému termostatu připojeno čidlo ASTF výsledné teploty umístěné taktéž v referenční místnosti.



Obr. 13-1 Čidlo výsledné teploty ASTF [35]

V objektu je kladen požadavek i na regulaci jednotlivých kancelářských místností. Na patrovém rozdělovači je u každého okruhu otopného hada integrovaný uzavírací ventil, který je osazen elektrotermickou hlavicí IVAR.TE. Díky hlavici můžeme ovládat u jednotlivých topných okruhů přívod otopné vody v režimu otevřeno/zavřeno. Ovládání je zajištěno termostatem IVAR.TM umístěným v jednotlivých kancelářích.

13.2.2 Regulace vodních sálavých panelů

Sálavé panely mají stejně jako podlahové vytápění velkou tepelnou setrvačnost, která závisí na délce panelu neboli pásu. Čím větší je plocha panelů, tím delší je doba setrvačnosti. Regulace byla provedena na stejném principu jako u podlahového vytápění. Jednotlivé kanceláře je možné regulovat elektricky řízenými uzavíracími ventily I/VBZ spojené s prostorovými termostaty IVAR.TAD. Ke každému termostatu je připojené čidlo výsledné teploty ASTF. Ve výrobní hale má každé patro samostatný topný okruh rozdělený na dvě větve. Obě je možné dále regulovat pomocí elektricky řízeného uzavíracího ventilu I/VBZ, který je taktéž napojen na prostorový termostat IVAR.TAD s čidlem výsledné teploty ASTF.

14. POROVNÁNÍ OBOU SOUSTAV VYTÁPĚNÍ

Cílem diplomové práce je porovnání obou soustav vytápění. Soustavy vytápění byly zpracovány do dostatečného detailu, aby bylo možné prodiskutování faktorů obou soustav. Vyhodnocení a popis projektů je uvedeno v této kapitole.

14.1 Podlahové vytápění

Shrnutí návrhu podlahového vytápění do průmyslového objektu, je uvedeno v této kapitole. Jedná se o kompletní rekonstrukci haly, to znamená, že hala byla před návrhem vytápění nejprve zateplena, tím klesla výrazně tepelná ztráta a následně probíhaly vnitřní úpravy pro použití této soustavy. Výpočet tepelných ztrát byl rozdělen na tepelnou ztrátu prostupem a větráním. Tepelná ztráta prostupem je následně hrazena podlahovou otopnou plochou a tepelná ztráta větráním je hrazena vzduchotechnickým zařízením. Konstrukce podlahy byla z větší části zachována v původním stavu s položenými panely v patrech a podkladovým betonem v přízemí. Bylo pouze zapotřebí přidat vrstvu tepelné izolace a betonové mazaniny, do které se následně uložil otopný had. Tepelná izolace je pouze v patrech. Poté probíhal výpočet potřebné otopné plochy s náležitou roztečí otopného hada, rozdělení soustavy na jednotlivé topné okruhy a příslušná regulace jednotlivých okruhů, popřípadě otopných hadů. Topné okruhy jsou zapojeny do centrálního rozdělovače a rozvod otopné vody je zajištěn příslušným oběhovým čerpadlem. Tímto způsobem proběhl kompletní návrh podlahového vytápění. Níže je uvedeno několik poznatků k podlahovému vytápění:

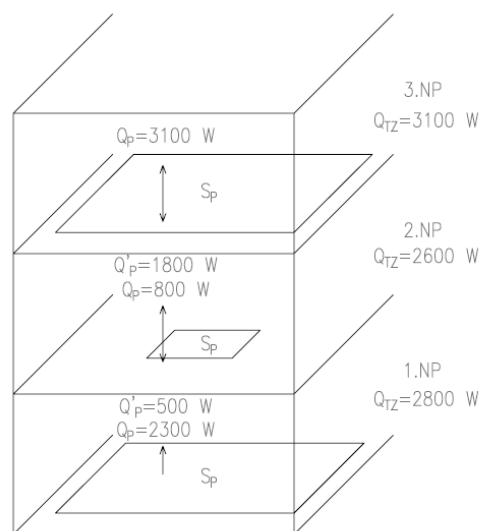
Jedná se o nízkoteplotní vytápění, proto byl vybrán nízkoteplotní zdroj tepla a tím jsou v tomto případě tepelná čerpadla.

U podlahového vytápění se v hale dá využít efektu dodávky části tepla do vytápěného prostoru podlahou a současně stropem do patra, které se nachází na nižší úrovni. Tady ale při návrhu nastal problém ohledně regulace soustavy a přenášeného tepelného toku směrem dolů. První výpočet proběhl pro patro 303 a 203. Při návrhu je zapotřebí hradit tepelnou ztrátu Q_{TZ} místnosti tepelným tokem směrem nahoru, případně přičíst

výkon okrajové zóny $Q_p + Q_o \geq Q_{TZ}$. Z potřebného výkonu dále vyjde výkon přenášený směrem dolů Q'_p . Celá místnost je pokryta otopnou plochou S_p .

Při tomto návrhu mohou nastat stavy:

1. Při pokračování výpočtu do nižšího patra 203 jsem zjistil, že výkon z horního patra 303 je tak velký, že potřebný výkon k hrazení tepelných ztrát místnosti 203 je velmi malý. Tím pádem vychází i malá otopná plocha a místnost není dostatečně pokryta otopným hadem. Pokud by v horním patře došlo k výraznému regulačnímu zásahu jako je snížení výkonu podlahové otopné plochy, docházelo by i ke snížení výkonu směrem do spodní místnosti. Nastane stav nedostatečného tepelného výkonu k hrazení tepelných ztrát, neboť otopná plocha ve spodní místnosti je navržena na malý výkon a nedokáže uhradit tepelnou ztrátu v místnosti. Dochází ke snížení vnitřní teploty. Tento návrh byl proveden pro stejnou střední teplotu otopné vody v obou místnostech, neboť jsou oba rozdělovače zapojeny do stejného okruhu a teplota otopné vody je směřována až v centrálním rozdělovači.



Obr. 14-1 Návrh podlahového vytápění dle případu 1

2. Zachovám stejný návrh, ale s tím rozdílem, že otopná plocha ve spodní místnosti 203 bude stejně velká jako v horní 303. Dostanu potřebný výkon na hrazení tepelných ztrát. Z horního patra jde ale taktéž velký tepelný výkon.

Nastává stav, kdy je v místnosti mnohem větší výkon, než je potřeba na vytápění. Dochází ke zvýšení vnitřní teploty.

3. Dále je možné zachovat stejný postup jako ve druhém případě, ale s tím rozdílem, že podlahovou otopnou plochu budu ve druhém patře regulovat na potřebný výkon. To znamená, že otopný had bude neustále škrcen a nebude vydávat takový výkon, jako na který byl navržen, pouze v případě snížení tepelného výkonu podlahové otopné plochy v horním patře.
4. Poslední možností by bylo vytvoření směšovací sady u každého patrového rozdělovače a nemusel by být návrh soustředěn na stejnou střední teplotu otopné vody. Pokud bych pokryl celou místnost 203 otopným hadem s příslušnou teplotou otopné vody, vyšla by nízká povrchová teplota podlahové otopné plochy v místnosti 203 vůči 303. Pokud by taktéž došlo k regulačnímu zásahu ke snížení tepelného výkonu v místnosti 303, musela by směšovací sada pro místnost 203 zvýšit teplotu otopné vody a ostatní okruhy otopných hadů uzavřít neboli regulovat tak, aby nedošlo ke zvýšení teploty v ostatních místnostech, které jsou napojeny na patrový rozdělovač.

Pokud bych uvažoval s jedním z výše uvedených návrhů, je potřeba si uvědomit, že je potřeba nadřazená regulace, která řídí celou soustavu dohromady. Stačí od jednoho uživatele regulační zásah například ke snížení teploty v nejvyšším patře a promítne se to do regulace celé soustavy všech místností ležících pod ní. Při tomto návrhu nakonec zjistím, že požadované podlahové vytápění se mění ve druhém patře na stropní, neboť daleko větší tepelný výkon je přenášen ze stropu než z podlahy. Nakonec jsem došel k závěru, že tento způsob nebude uvažován a zaizoluje se podlaha v patrech. Tím dochází k velmi malému tepelnému toku směrem dolů a dokážu si jednotlivé místnosti regulovat nezávisle na místnostech ležících pod a nad regulovanou místností. Dále dokážu plně využít podlahovou otopnou plochu a získávám požadované podlahové vytápění.

S dalším případem při návrhu jsem se setkal, když byla navržená podlahová otopná plocha rozmístěna z velké části k ochlazovaným stěnám. K tomuto došlo při povrchové teplotě 25 °C. Pro požadovaný výkon na vytápění vyšla menší podlahová otopná plocha, než je plocha podlahy ve výrobní hale. Otopná plocha se rovnoměrně rozmístila

k ochlazovaným stěnám a uprostřed haly vznikl prostor bez otopného hada. Tím bohužel dojde k nerovnoměrnému rozložení teplot ve výrobní hale a lidé pracující v prostřední části haly mohou cítit chlad. Z tohoto důvodu byla nakonec zvolena taková teplota podlahové otopné plochy, aby byla pokryta celá výrobní hala otopnou plochou, čím zaručíme rovnoměrné rozložení teplot.



Obr. 14-1 Rovnoměrné rozložení otopného hadu ve velkoplošném objektu [33]

Pokud je podlahová otopná plocha brána za základní zdroj tepla, jako v tomto případě, setkáme se s problémem při návrhu podlahové otopné plochy u koupelny nebo umyvárny, kdy je požadovaná teplota v místnosti 24 °C. Podlahová otopná plocha při návrhu nedokáže předat takový výkon, aby docházelo k pokrytí tepelných ztrát v místnosti. Z tohoto důvodu je potřeba umístit do místnosti sekundární zdroj tepla. V tomto případě to jsou elektrická přímotopná tělesa.

Dále je velmi důležité dbát u tak velkého prostoru na dilataci. Podlahové vytápění je v některých literaturách nazýváno jako plovoucí. Při zvýšení teploty dochází k roztažnosti podlahy. V tomto případě bylo potřeba všechny stěny, sloupy a prostory v hale rozdělit na dilatační celky. Betonová mazanina má takové složení, že dovoluje dilatační celek do 400 m².

Při kladení otopného hadu, bylo potřeba se vyhnout všem sloupům. V některých místech v hale je otopný had při vyhýbání se sloupům přitlačen k sobě, čímž není dodržena potřebná rozteč z návrhu.

Podlahové vytápění se dále vyznačuje velkou setrvačností. Při regulačním zásahu se změna projeví za delší dobu. Z tohoto důvodu není potřeba nijak složitá regulace otopné vody u jednotlivých patrových rozdělovačů. Stačilo použít regulační ventily s funkcí ON/OFF, které jsou umístěny na každém přívodním potrubí do patrového rozdělovače. K další případné regulaci jednotlivých kanceláří je patrový rozdělovač osazen uzavíracím ventilem s elektrotermickou hlavicí, která má funkci ON/OFF. Pro regulaci otopné vody slouží rotační ventil umístěný na začátku otopného okruhu u centrálního rozdělovače.

I když se podlahové vytápění považuje za nízkoteplotní, je potřeba hlídat teplotu otopné vody. Při neočekávaném zvýšení teploty by mohlo dojít k poškození otopného systému. Z bezpečnostních důvodů je na přívodním potrubí umístěn havarijný termostat, který při překročení teploty vypne oběhové čerpadlo.

14.2 Vodní sálavé panely

Shrnutí návrhu vodních sálavých panelů k vytápění průmyslového objektu, je uvedeno v této kapitole. Jedná se o kompletní rekonstrukci haly, to znamená, že hala byla před návrhem vytápění nejprve zateplena, tím klesla výrazně tepelná ztráta a následně probíhaly vnitřní úpravy pro použití toho systému. Výpočet tepelných ztrát byl rozdělen na tepelnou ztrátu prostupem a větráním. Tepelná ztráta prostupem je následně hrazena vodními sálavými panely a tepelná ztráta větráním je hrazena vzduchotechnickým zařízením. U této soustavy vytápění nebylo zapotřebí nijak upravovat skladbu podlahy, jelikož sálavé panely se zavěsily do stropní konstrukce objektu. Panely v objektu byly navrženy tak, aby pokryly tepelné ztráty dané místnosti a rovnoměrně rozložily teplotu v objektu. Abych docílil rovnoměrnému rozložení teplot a nevznikla nikde chladná zóna, dbal jsem na pravidla pro maximální vzdálenosti mezi panely. Poté proběhlo hydraulické zapojení do registrů, spojení jednotlivých panelů do

pasů a následné rozdělení soustavy do jednotlivých topných okruhů. Topné okruhy jsou zapojeny do centrálního rozdělovače a rozvod otopné vody je zajištěn příslušným oběhovým čerpadlem. Tímto způsobem proběhl kompletní návrh vodních sálavých panelů. Níže je uvedeno několik poznatků vodním sálavým panelům:

U návrhu vodních sálavých panelů byl kladen důraz na správné rozmístění i volbu šířky. Vždy je lepší volit jednu šířku panelů do celého patra. V některých případech to bohužel tak nevyšlo a bylo zapotřebí k hrazení tepelných ztrát použít širší panely. Ty byly následně uloženy k ochlazovaným konstrukcím. I když jsem provedl toto rozmístění, nebylo zatím zajištěno rovnoměrné vytápění v hale. Největší vliv na rovnoměrném vytápění má způsob zapojení jednotlivých panelů nebo pasů. Proto byla nejteplejší voda přivedena vždy k panelům nebo pasům umístěným blíže k ochlazované konstrukci. Následovalo postupné propojování s panely umístěnými dále od ochlazovaných konstrukcí.

V tomto případě bylo zvoleno nízkoteplotní vytápění, proto byl vybrán nízkoteplotní zdroj tepla a tím jsou v tomto případě tepelná čerpadla. Jinak jsou panely schopné pracovat s teplotami otopné vody až 130/70 °C na rozdíl od podlahového vytápění. Tudíž není nutné uvažovat s havarijními termostaty na přívodním potrubí.

Vodní sálavé panely se dále vyznačují velkou setrvačností. Není tak velká, jako v případě podlahového vytápění, ale je třeba s ní počítat. Při regulačním zásahu se změna projeví za delší dobu. Z tohoto důvodu není potřeba nijak složitá regulace otopné vody u jednotlivých panelů. Stačilo použít regulační ventily s funkcí ON/OFF, který jsou umístěny na každém přívodním potrubí do panelu. Pro regulaci otopné vody slouží rotační ventil umístěný na začátku otopného okruhu u centrálního rozdělovače.

14.3 Výhody a nevýhody obou soustav

Porovnání obou soustav vytápění v objektu z hlediska výhod a nevýhod.

14.3.1 Podlahové vytápění

Výhody:

- Rovnoměrné rozložení teplot vzduchu v interiéru. Nedochozí k velkému rozdílu teplot v horizontálním směru mezi oblastí kotníků a úrovní hlavy (max. 3 K).
- Nezabírá žádný prostor.
- Nízká cirkulace vzduchu a tím i nízké víření prachu.
- Díky rozdělení podlahové otopné plochy mezi více patrových rozdělovačů, lze ve výrobní hale použít zónování systému.

Nevýhody:

- Je potřeba brát ohled na uložený nábytek a stroje, které při překrytí podlahové otopné plochy výrazně snižují její výkon.
- Je potřeba zajistit maximální dovolenou teplotu otopné vody, aby nedošlo k poškození otopného hadu.
- Velmi špatná dostupnost pro opravy při poškození otopného hadu.
- Při nevhodné volbě podlahové krytiny snížíme přenášený topný výkon směrem do místnosti. Vznikne takzvaná izolační vrstva.
- Z důsledku vysoké povrchové teploty může dojít k tepelné nepohodě.
- Díky zvýšení teploty je potřeba brát velký důraz na dilataci. S rostoucí teplotou se i zvětšuje vrstva podlahy, ve které je had uložen.

14.3.2 Vodní sálavé panely

Výhody:

- Rovnoměrné rozložení teplot vzduchu v interiéru. Nedochozí k velkému rozdílu teplot mezi oblastí kotníků a úrovní hlavy (max. 3 K).
- Díky vhodnému paralelnímu zapojení sálavých panelů lze v objektu provést nezávislé zónování.
- Nízká cirkulace vzduchu a tím i nízké víření prachu.

- Díky nízké teplotě otopné vody nedochází k nepřiměřenému osálení temene hlavy.
- Možné využít i pro vyšší teploty otopné vody.

Nevýhody:

- Konvekční tok ze sálavých panelů jde směrem ke stropu, tudíž je ztrátový.
- Usazování nečistot na horní straně panelů.
- Při špatném uchycení panelů a nedodržení dostatečné pevnosti stropu, do kterého jsou panely upevněny, může dojít k újmě na zdraví.
- Rozmístění osvětlení závisí na umístění sálavých panelů.
- Může docházet v některých případech k částečnému nebo úplnému zakrytí střešních oken a tím pádem k nedostatečnému průniku venkovního světla.
- Veškeré práce jsou provedeny výškově.
- Vytápění pouze místností, do kterých je možné sálavé panely umístit vzhledem k prostorovému omezení.
- Veškeré prostupy potrubí přes stěny musí být řádně izolovány vůči průniku hluku.
- Sálavá účinnost se výrazně mění s šířkou panelu.

15. Cena

V této kapitole je přibližné cenové porovnání obou systémů vytápění. V tabulkách níže, jsou uvedeny jednotlivé základní položky, které náleží k příslušnému systému. Není zde zahrnuta montáž, stavební práce, atd. Cena je uvedena pro přibližnou představu bez DPH.

Tab. 15-1 Zdroj tepla

| Položka | Označení | Množství | | Cena | | Cena celkem |
|----------------------|----------|----------|-----|------|--------|-------------|
| | | [ks] | [m] | [m] | [Kč] | |
| Potrubí Cu | 54x1,5 | - | 80 | 669 | - | 53 520 |
| | 76x2 | - | 89 | 995 | - | 88 555 |
| TUBEX K-FLEX | 57x25 | - | 30 | 493 | - | 14 790 |
| | 76x25 | - | 89 | 709 | - | 63 101 |
| Kulový kohout | DN50 | 30 | - | - | 1 163 | 34 890 |
| | DN80 | 10 | - | - | 3 367 | 33 670 |
| Vypouštěcí KK | DN50 | 12 | | | 1 371 | 16 452 |
| Filtr | DN50 | 5 | | | 1 167 | 5 835 |
| Zpětná klapka | DN50 | 7 | | | 789 | 5 523 |
| Odvzdušňovací ventil | DN20 | 5 | | | 265 | 1 325 |
| Pojistný ventil 1 | KD25 | 9 | | | 1 731 | 15 579 |
| Pojistný ventil 2 | KB15 | 2 | | | 460 | 920 |
| Hadice | DN50 | 10 | | | 5 890 | 58 900 |
| FCR | 12kW | 2 | | | 21 635 | 43 270 |
| FCR | 36kW | 2 | | | 26 838 | 53 676 |
| STIEBEL ELTRON | - | - | - | - | - | 2 615 320 |
| EN 1 | 800/6 | 1 | - | - | 36 274 | 36 274 |
| EN 2 | 200/10 | 1 | - | - | 9 550 | 9 550 |
| 3 151 150 Kč | | | | | | |

Zdroj tepla je pro obě soustavy vytápění stejný, proto je uvedena pouze jedna tabulka. V tabulce je položka STIEBEL ELTRON, nachází se v ní celková cenová nabídka. Obsahuje zdroje tepla, akumulární nádrže, zásobníky teplé vody a oběhová čerpadla. Cena jednoho tepelného čerpadla WPL 47 A činí 436 900 Kč bez DPH. Celá nabídka STIEBEL ELTRON je součástí přílohy na CD.

Tab. 15-2 Teplovodní podlahové vytápění

| Položka | Označení | Množství | | Cena | | Cena celkem |
|------------------------|----------|----------|-------|------|--------|-------------|
| | | [ks] | [m] | [m] | [kus] | |
| Potrubí Cu | 18x1 | - | 7 | 88 | - | 616 |
| | 22x1 | - | 6 | 111 | - | 666 |
| | 35x1,5 | - | 5 | 329 | - | 1 645 |
| | 42x1,5 | - | 23 | 406 | - | 9 338 |
| | 54x1,5 | - | 40 | 669 | - | 26 760 |
| | 64x2 | - | 47 | 829 | - | 38 963 |
| Potrubí IVAR.PE-Xe | 17x2 | - | 986 | 31 | - | 30 566 |
| | 18x2 | - | 4 581 | 35 | - | 160 335 |
| | 20x2 | - | 5 957 | 42 | - | 250 194 |
| | 25x2,3 | - | 1 675 | 66 | - | 110 550 |
| TUBEX STANDART | 18x10 | - | 7 | 10 | - | 70 |
| | 22x15 | - | 6 | 18 | - | 108 |
| | 35x15 | - | 5 | 27 | - | 135 |
| | 42x20 | - | 23 | 50 | - | 1 150 |
| | 54x25 | - | 40 | 104 | - | 4 160 |
| | 65x25 | - | 47 | 120 | - | 5 640 |
| Kulový kohout | DN25 | 4 | - | - | 362 | 1 448 |
| | DN32 | 4 | - | - | 515 | 2 060 |
| | DN50 | 12 | - | - | 1 163 | 13 956 |
| STAD | DN15 | 3 | - | - | 1 975 | 5 925 |
| | DN32 | 5 | - | - | 2 778 | 13 890 |
| | DN40 | 6 | - | - | 3 448 | 20 688 |
| Přímý ventil s pohonem | DN15 | 3 | - | - | 2 790 | 8 370 |
| | DN32 | 5 | - | - | 3 194 | 15 970 |
| | DN40 | 6 | - | - | 4 095 | 24 570 |
| Zpětná klapka | DN25 | 1 | - | - | 249 | 249 |
| | DN32 | 1 | - | - | 380 | 380 |
| | DN50 | 3 | - | - | 789 | 2 367 |
| Filtr | DN25 | 1 | - | - | 318 | 318 |
| | DN32 | 1 | - | - | 566 | 566 |
| | DN50 | 3 | - | - | 1 167 | 3 501 |
| Třícestný ventil | DN25 | 1 | - | - | 6 295 | 6 295 |
| | DN32 | 1 | - | - | 6 819 | 6 819 |
| | DN50 | 3 | - | - | 8 640 | 25 920 |
| Rozdělovač IVAR | 533-2 | 3 | - | - | 7 736 | 23 208 |
| | 533-4 | 3 | - | - | 9 593 | 28 779 |
| | 533-6 | 2 | - | - | 10 989 | 21 978 |
| | 533-8 | 1 | - | - | 12 857 | 12 857 |
| | 533-9 | 1 | - | - | 13 571 | 13 571 |
| | 533-10 | 1 | - | - | 14 670 | 14 670 |
| | 533-11 | 1 | - | - | 15 385 | 15 385 |
| | 533-12 | 2 | - | - | 16 099 | 32 198 |
| Oběhové č. ALPHA 2 | 15-60 | 2 | - | - | 10 140 | 20 280 |
| Oběhové č. MAGNA 3 | 32-80 | 3 | - | - | 37 284 | 111 852 |
| 1 088 966 Kč | | | | | | |

Tab. 15-3 Vodní sálavé panely

| Položka | Označení | Množství | | Cena | | Cena celkem |
|------------------------|----------|----------|-----|------|---------|-------------|
| | | [ks] | [m] | [m] | [Kč] | |
| Potrubí Cu | 28x1 | - | 232 | 146 | - | 33 872 |
| | 35x1,5 | - | 168 | 329 | - | 55 272 |
| | 42x1,5 | - | 60 | 406 | - | 24 360 |
| | 64x2 | - | 79 | 829 | - | 65 491 |
| TUBEX K-FLEX | 28x9 | - | 232 | 75 | - | 17 400 |
| | 35x13 | - | 168 | 103 | - | 17 304 |
| | 42x19 | - | 60 | 260 | - | 15 600 |
| | 64x25 | - | 79 | 596 | - | 47 084 |
| Kulový kohout | DN25 | 57 | - | - | 362 | 20 634 |
| | DN32 | 4 | - | - | 515 | 2 060 |
| | DN40 | 12 | - | - | 762 | 9 144 |
| | DN50 | 4 | - | - | 1 163 | 4 652 |
| STAD | DN25 | 11 | - | - | 2 396 | 26 356 |
| | DN32 | 4 | - | - | 2 778 | 11 112 |
| | DN40 | 1 | - | - | 3 448 | 3 448 |
| | DN50 | 1 | - | - | 4 044 | 4 044 |
| Přímý ventil s pohonem | DN25 | 9 | - | - | 2 979 | 26 811 |
| | DN32 | 4 | - | - | 3 194 | 12 776 |
| | DN40 | 1 | - | - | 4 095 | 4 095 |
| | DN50 | 1 | - | - | 4 580 | 4 580 |
| Zpětná klapka | DN32 | 1 | - | - | 380 | 380 |
| | DN40 | 3 | - | - | 249 | 474 |
| | DN50 | 1 | - | - | 789 | 789 |
| Filtr | DN32 | 1 | - | - | 566 | 566 |
| | DN40 | 3 | - | - | 318 | 707 |
| | DN50 | 1 | - | - | 1 167 | 1 167 |
| Třícestný ventil | DN32 | 1 | - | - | 6 819 | 6 819 |
| | DN40 | 3 | - | - | 7 398 | 22 194 |
| | DN50 | 1 | - | - | 8 640 | 8 640 |
| Hadice | DN25 | 95 | - | - | 504 | 47 880 |
| Panly a příslušenství | 1NP | 1 | - | - | 498 442 | 498 442 |
| | 1NP | 1 | - | - | 137 472 | 137 472 |
| | 2NP | 1 | - | - | 466 916 | 466 916 |
| | 2NP | 1 | - | - | 126 064 | 126 064 |
| | 3NP | 1 | - | - | 989 040 | 989 040 |
| | 3NP | 1 | - | - | 158 192 | 158 192 |
| Oběhové č. ALPHA 2 | 15-60 | 1 | - | - | 10 140 | 10 140 |
| Oběhové č. MAGNA 3 | 25-60 | 3 | - | - | 29 510 | 88 530 |
| Oběhové č. MAGNA 3 | 32-60 | 1 | - | - | 35 750 | 35 750 |
| 3 006 257 Kč | | | | | | |

16. Závěr

Zadáním diplomové práce bylo porovnat dva způsoby vytápění průmyslové haly a to teplovodním podlahovým vytápěním a vodními závěsnými sálavými panely. Cílem bylo zpracovat obě technická řešení až do stupně projektu pro stavební povolení, aby bylo možné do dostatečného detailu porovnat výhody a nevýhody obou soustav. Ve své práci, v kapitole 3, jsem popsal celý objekt. Dále jsem provedl v kapitole 4 výpočet tepelných ztrát prostupem a větráním. Tepelnou ztrátu prostupem hradí pouze otopná soustava a tepelnou ztrátu větráním hradí samostatně vzduchotechnické zařízení. V kapitolách 5, 6 a 7 jsem provedl kompletní návrh obou soustav vytápění do dostatečného detailu. K rozvodu otopné vody do obou soustav vytápění slouží centrální rozdělovač, který byl v kapitole 8 navržen dle potřeby soustavy, obsahuje příslušné armatury a oběhová čerpadla, která zajišťují rozvod otopné vody do soustavy. Dále byl proveden návrh zdroje tepla v kapitole 9. Jelikož se v tomto případě jedná o teplovodní vytápění, tak jsem vybral jako jeden z možných zdrojů tepla tepelná čerpadla. Tepelná čerpadla zajišťují ohřev otopné vody, která je akumulována do akumulačních nádrží a ohřev teplé vody na mytí osob, která je akumulována do zásobníků teplé vody. Otopná voda je dále vedena z akumulačních nádrží k centrálnímu rozdělovači. Tento proces oběhu otopné vody, je zajištěn pro obě soustavy vytápění. V kapitole 10 byl následně proveden návrh vzduchotechnického zařízení. Příprava teplé vody byla provedena dle ČSN 06 0320 v kapitole 11. V otopné soustavě dochází k náhlému zvýšení teploty a tlaku, který může způsobit poškození soustavy, z tohoto důvodu byl proveden návrh pojistného a zabezpečovacího zařízení v kapitole 12. Nedílnou součástí soustavy vytápění je regulace, která zajišťuje správný chod soustavy dle požadavku. Regulace v kapitole 13 byla navržena tak, aby byl splněn požadavek na přípravu otopné vody zdrojem tepla a následně jednotlivou regulací otopné vody v třicestných ventilech na centrálním rozdělovači. Dále je možné otopnou vodu regulovat přímým ventilem s elektropohonem dle potřeby uživatele. Po výše uvedených návrzích, bylo zapotřebí vypracovat výkresovou dokumentaci, která je součástí diplomové práce. Výkresová dokumentace byla zpracována do dostatečného detailu, aby bylo možné obě soustavy vytápění porovnat. Obě soustavy byly následně porovnány jak z hlediska technického, tak z hlediska cenového. Porovnání obou

soustav vytápění z hlediska technického, je do dostatečného detailu popsáno v kapitole 14, kde je uvedeno i několik poznatků se kterými jsem se setkal během návrhu. Pokud shrnu nejdůležitější poznatky, tak obě soustavy mají určité výhody a nevýhody, se kterými je potřeba dopředu počítat. Pokládka otopného hada, musí být rovnoměrně rozložena v místnosti, kvůli rozložení teplot. V případě využití efektu dodávky částí tepla do vytápěného prostoru podlahou a současně stropem do patra, které se nachází na nižší úrovni, vyžaduje složitou regulaci celé soustavy a v některých případech převládá větší tepelný výkon ze stropu, než z podlahy. Z podlahového se následně stává stropní vytápění. Sálavé panely musí být taktéž rovnoměrně rozloženy v místnosti, kvůli rozložení teplot. Jelikož jsou panely značně prostorné, nedá se s nimi vytápet menší prostor, nebo prostor architektonicky složitý. Obě soustavy se vyznačují dlouhou setrvačností, proto postačí regulace jednotlivých soustav ON/OFF. Z porovnání obou soustav vyplývá, že pokud použiju nízkoteplotní zdroj tepla, je soustava vodních sálavých panelů nákladnější, než soustava podlahové vytápění. A pokud nemá stavba dobré tepelně technické vlastnosti, může dojít i k nedostatečnému pokrytí tepelných ztrát. Tím pádem se nabízí jiné technické řešení. Z hlediska cenového je porovnání v kapitole 15. Pro porovnání obou soustav vychází přibližná cena bez DPH následovně:

- Teplovodní podlahové vytápění: 4 240 000 Kč
- Vodní závěsné sálavé panely: 6 157 000 Kč

Rozdíl mezi oběma soustavami činí přibližně 2 000 000 Kč.

Vytápěním velkoplošných objektů, zejména průmyslových, se v dnešní době zabývá řada firem. Pokud vezmu v úvahu soustavu vodní závěsné sálavé panely, je tato soustava v průmyslu běžnější, než teplovodní podlahové vytápění. Průmyslové objekty z větší části používají zdroje tepla nebo centrální zásobování tepla s vysokou teplotou otopné vody. Vysokou teplotu otopné vody jsou schopné snášet sálavé panely. Podlahové vytápění pracuje pouze s nízkou teplotou otopné vody, proto není v průmyslu podlahové vytápění až tak běžné. Hlavním důvodem je ale například nedostatečná podlahová otopná plocha, zakrytí podlahové otopné plochy. Tím dochází

ke snížení výkonu a nedostatečnému pokrytí tepelných ztrát. Nebo nedostatečná nosnost podlahy při pojezdu strojů. V dnešní době se hovoří o alternativních zdrojích energie a tím jsou i například tepelná čerpadla. Tepelná čerpadla pracují s nízkou teplotou otopné vody, která se nabízí pro podlahové vytápění tak i pro sálavé panely. Díky dobrým tepelně technickým vlastnostem budov je nízká teplota otopné vody dostačující na vytápění objektu. Na základě těchto parametrů jsem postavil tuto diplomovou práci, která řešila obě tyto soustavy. Obě soustavy vytápění mají své výhody a nevýhody, záleží pouze na investoroce, kterou soustavu vytápění si zvolí, když bude chtít používat nízkoteplotní zdroj tepla.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kabele, K., Hojer, O., Kotrbatý, M., Sommer, K., Petráš, D. *Energy efficient heating and ventilation of large hall*. Rehva guidebook no. 15. REHVA. Bruxelles 2011. ISBN 978-2-930521-06-0.
- [2] Bašta, J. *Velkoplošné sálavé vytápění*. Grada Publishing, a.s. Praha 2010. ISBN 978-80-247-3524-5
- [3] Bach, H. *Niedertemperatur heizung*. Karlsruhe: Verlag C. F. Miller, 1981. ISBN 3-7880-7181-8.
- [4] Bašta, J., Drkal, F., Kotrbatý, M. *Vytápění – sálavé a teplovzdušné vytápění průmyslových a občanských staveb*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1998. ISBN 80-02-01240-2
- [5] Bašta, J.; Hojer, O. *Sálavé a průmyslové vytápění pro IB*. Praha 2009
- [6] Bašta, J. *Otopné plochy*. Vydavatelství ČVUT. Praha 2001. ISBN 80-01-02365-6
- [7] Bašta, J., Kabele, K. *Otopné soustavy teplovodní – sešit projektanta*. Třetí přepracované vydání. STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6
- [8] Kotrbatý, M.; Hojer, O.; Kovářová, Z.: *Hospodaření teplem v průmyslu „Nejlevnější energie je energie ušetřená“*. ČSTZ 2009. ISBN 978-80-86028-41-5
- [9] Laboutka, K; Suchánek, T. *Výpočtové tabulky pro vytápění, vztahy a pomůcky - sešit projektanta*. Společnost pro techniku prostředí 2001. ISBN 80-02 01466-9
- [10] Maděra, D. *Vytápění průmyslové haly sálavými panely a kotlem na biomasu*. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, 2015.
- [11] Bašta, J.; Hemzal, K. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha 2009
- [12] Drkal F., Zmrhal V. *Větrání*. ČVUT Praha, 2013. ISBN 978-90-01-05181-8.
- [14] Vavříčka, R. *03 – Návrh pojistného a zabezpečovacího zařízení*. Praha 2017, Dostupné také z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni.html> Učební materiál ČVUT.
- [15] Matuška, T. *Tepelné sítě – Hydraulické výpočty*. Praha 2016, Dostupné také z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=534 Učební materiál ČVUT.

- [16] Vavříčka, R. *04 - Příprava teplé vody*. Praha, 2017. Dostupné také z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/ZTI/NEW/004_TV_1.pdf. Učební materiál ČVUT.
- [17] Vavříčka, Roman. *Metody návrhu zásobníku teplé vody*. [online]. Praha, 2011 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>
- [18] *PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>
- [19] *Podlahy na terénu* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/technicka-podpora/podlahy-na-terenu>
- [20] *Водяная потолочная лучистая панель* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.triverra.ru/catalog/infrakrasnoe-otoplenie/vodjanoe-luchistoe-otoplenie/>
- [21] *Потолочные излучающие панели* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://allianceeng.ru/potolochnie-paneli/izluchayushchie.html>
- [22] *Tabulky* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html
- [23] *Průměrná venkovní teplota* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [24] *Venkovní výpočtová teplota* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [25] Vavříčka, R. *Model návrhu podlahové otopné plochy*. Praha 2017. Dostupné také z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/index.html>
- [26] *Hodnoty součinitele místního odporu* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/TZB/pocinkova.m/vytapani_soubory/BT01_C7.pdf
- [27] *Ekvitermní regulace* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>

Firemní údaje:

- [28] *Stiebel Eltron spol s.r.o.*, www.tepelna-cerpadla.cz, www.stiebel-eltron.de
- [29] *Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o.*, cz.grundfos.com
- [30] *IMI International s.r.o.*, www.imi-hydronic.com/cs
- [31] *Reflex CZ s.r.o.*, www.reflexcz.cz
- [32] *Mirel Vratimov a.s.*, www.mirelon.com
- [33] *Rehau s.r.o.*, www.rehau.com/cz-cs
- [34] *Ivar CS s.r.o.*, www.ivarcs.cz
- [35] *Domat Control System s.r.o.*, domat-int.com
- [36] *Danfoss A/S*, www.danfoss.cz
- [37] *KOTRBATÝ V.M.Z., spol. s.r.o.*, www.kotrbaty.cz
- [38] *SPUR a.s.*, www.spur.cz
- [39] *Siemens, s.r.o.*, w5.siemens.com
- [40] *MEIBES s.r.o.*, www.meibes.cz
- [41] *ATREA s.r.o.*, www.atrea.cz

Použité normy:

- | | |
|-------------------|--|
| ČSN EN 12 831 | Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu |
| ČSN EN 15 665 | Větrání budov |
| ČSN 73 0540 | Tepelná ochrana budov |
| ČSN 06 0830 | Tepelné soustavy v budovách – Zabezpečovací zařízení |
| ČSN 06 0320 | Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody |
| ČSN EN 15 316-1 | Výpočet potřeby teplé vody |
| ČSN EN ISO 13 370 | Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou |

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy uvedené na CD

EXCEL:

- Materiály
- Podlahové vytápění
- Sálavé panely
- Tepelné ztráty
- Zdroj tepla

PDF:

- Technické listy podle firem
- Výkresová dokumentace

WORD:

- Cenová nabídka STIEBEL ELTRON

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

PV1 – Vytápění haly PV, 1. NP

PV2 – Vytápění haly PV, 2. NP

PV3 – Vytápění haly PV, 3. NP

PV4 – Vytápění haly PV, Schéma otopných hadů

VSP1 – Vytápění haly VSP, 1. NP

VSP2 – Vytápění haly VSP, 2. NP

VSP3 – Vytápění haly VSP, 3. NP

ZT1 – Zdroj tepla PV

ZT2 – Zdroj tepla VSP

ZT3 – Technická místnost PV, VSP