

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

NÁVRH VĚTRÁNÍ SPORTOVNÍ HALY



Předmět: 125BAK

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Vypracoval: Tomáš Jucovič, dne 12.5.2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Jucovič Jméno: Tomáš Osobní číslo: 476990
Zadávající katedra: Katedra Technických zařízení budov
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh větrání sportovní haly
Název bakalářské práce anglicky: Design of ventilation system in the sports hall

Pokyny pro vypracování:

Projekt zadané budovy:

Textová část - technická zpráva, výpočet množství vzduchu, návrh trasy soustavy rozvodů, návrh dimenzí rozvodů, základní bilanční výpočty.

Výkresová část - půdorysy, nezbytné detaily, řez, umístění vzduchotechnické jednotky.

Studie na téma Větrání prostorů pro diváky ve sportovních stavebách

Seznam doporučené literatury:

Gebauer, Gunter: Vzduchotechnika. Era 2007. ISBN 8073660918

Papež, Karel: Energetické a ekologické systémy budov 2 : Vzduchotechnika, chlazení, elektroinstalace a osvětlení. ČVUT, Praha 2007.

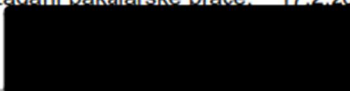
Daniels, Klaus: Technika budov - Příručka pro architekty a projektanty. Jaga 2003. ISBN 80-88905-60-5.

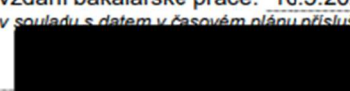
Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 17.2.2021

Termín odevzdání bakalářské práce: 16.5.2021

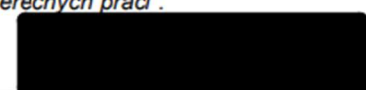
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku



Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.


Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne:

..... Jméno a Příjmení

Poděkování

Velice děkuji vedoucímu mojí bakalářské práce doc. Ing. Michalovi Kabrhelovi, Ph.D. za důsledné dohlížení na průběh práce a její vedení. Poskytl mi drahocenné informace pro zkvalitnění obsahu práce. Poděkovat bych chtěl také mojí rodině za nekonečnou trpělivost a potřebnou podporu při tvorbě této práce.

..... Jméno a Příjmení

Název práce: Návrh větrání sportovní haly

Autor: Tomáš Jucovič

Obor: Konstrukce pozemních staveb

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze

Konzultant: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce je seznámení s řešením problematiky větrání sportovních hal, konkrétně prostor pro diváky. Práce je rozdělena do dvou částí. Náplní první textové části práce, je seznámení s obecnými principy větrání, jejich možné využití a ukázky realizovaných funkčních hal. V rámci druhé části práce je proveden kompletní návrh nuceného větrání multifunkční sportovní haly ve Světlé nad Sázavou. Druhá část je koncipovaná formou technické zprávy obohacené o výpočty s komentáři. V rámci projektové části byl proveden návrh všech vzduchotechnických jednotek pro zajištění dostatečného provětrání. Součástí je také výkresová dokumentace ve stupni stavebního povolení včetně veškerých specifik výpočtem navržených prvků a materiálů.

Klíčová slova:

Nucené větrání, přirozené větrání, větrání prostor pro diváky, větrání tělocvičny, větrání tribuny, rovnotlaké, podtlakové a přetlakové větrání, výměna vzduchu, vzduchotechnika, vzduchotechnická jednotka, distribuční prvky, multifunkční sportovní hala.

Title: Design of ventilation systém in the sports hall

Author: Tomáš Jucovič

Department: Construction of buildings

Kind of work: Bachelor thesis

Thesis supervisor: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Department of Building Services Engineering, Faculty of Civil Engineering, Czech technical University in Prague

Consultant: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Abstract:

The aim of this bachelor's thesis is to get acquainted with the solution of the problem of ventilation of sports halls, specifically the space for spectators. The work is divided into two parts. The content of the first part of the work, textual, is an introduction to the general principles of ventilation, their possible use and examples of implemented functional halls. In the second part of the work is a complete design of forced ventilation of a multifunctional sports hall in Světlá nad Sázavou. The second part is designed in the form of a technical report enriched with calculations with comments. As part of this work, a design of all air handling units was performed to ensure sufficient ventilation. It also includes drawing documentation at the stage of the building permit, including all the specifics of the calculated elements and materials.

Key words:

Mechanical ventilation, natural ventilation, ventilation of the spectators area, gym ventilation, tribune ventilation, equal pressure, vacuum and overpressure ventilation, air exchange, air conditioning, air handling unit, distribution elements, multifunctional sports hall.

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Požadavky pro návrh větrání – okrajové podmínky.....	2
2.1	Stanovení množství čerstvého vzduchu	2
2.2	Požadavky pro prostory pro diváky.....	2
2.2.1	Tribuna	2
2.2.2	VIP prostory.....	3
3.	Přirozené větrání.....	3
3.1	Tlak vyvozený vlivem rozdílu teplot	4
3.2	Tlak vyvozený účinkem větru	5
3.3	Typy přirozeného větrání	5
3.3.1	Aerace	6
3.3.2	Infiltrace	6
3.3.3	Šachtové.....	7
3.3.4	Provětrávání.....	8
3.4	Příklady z praxe	10
3.4.1	Školní sportovní hala Maréchon	11
3.4.2	Pasivní sportovní hala	12
3.5	Celkové zhodnocení přirozeného větrání	13
4.	Nucené větrání.....	14
4.1	Rozdělení systému z hlediska tlaku.....	14
4.1.1	Podtlakové větrání	14
4.1.2	Přetlakové větrání	15
4.1.3	Rovnotlaké větrání	15
4.1.3.1	Lokální systém.....	16
4.1.3.2	Centrální systém.....	16
4.2	Příklady z praxe	17

4.2.1	Sportovní hala Červená voda	17
4.2.2	Městská hala Modřice	18
4.2.3	Sportovní hala Pěšany	20
4.2.4	Sportovní centrum Řepy	21
4.2.5	Werk arena Třinec.....	22
4.2.5.1	Plocha sportoviště	23
4.2.5.2	Hala	23
4.2.5.3	VIP boxy.....	24
4.2.5.4	Restaurace.....	25
4.3	Celkové zhodnocení nuceného větrání.....	26
5.	Závěr.....	26
6.	Seznam zkratk	27
7.	Seznam obrázků	27
8.	Seznam tabulek	28
9.	Citovaná literatura	29

Studie na téma větrání prostor pro diváky ve sportovních stavbách

1. Úvod

Je všeobecně známo, že lidé většinu svého času stráví doma, ve škole či v práci. Obzvláště v této době, kdy se po světě šíří pandemie Coronaviru a ve většině států je přísný zákaz vycházení. To je jeden z hlavních důvodů, proč bychom měli dbát na vnitřní podmínky v budovách. Jaký vzduch dýcháme, má obrovský vliv na zdravotní stav, soustředění, pracovní výkon a spokojenost osob [1].

V dnešní době je možné velmi efektivně dosáhnout požadované kvality vnitřního vzduchu. Zároveň téměř všechna zařízení fungují automaticky, takže se o ně není nutné starat. Hlavní faktory, které větrání zlepšují, jsou: teplota, vlhkost, CO₂, VOC a prachové částice ve vzduchu [1].

Bylo by možné namítat, že dříve větrání nikdo takovou váhu nedával a lidé byli i tak zdraví a spokojeni. Ano, dříve tomu takto bylo. Dnes se ovšem staví budovy, které jsou téměř nepropustné. V rámci novostaveb a rekonstrukcí se navrhuje těsná obálka, těsná okna a důkladné zateplení. Staré budovy tento koncept netěsné obálky nesplňovaly, a proto docházelo k přirozenému větrání netěsnostmi neboli aerací. Dnes vzhledem k zákonným a normovým požadavkům na větrání prostor není toto možné splnit pouze pomocí větrání přirozeně okny [1]. Aby bylo přísných požadavků na spotřebu energie u novostaveb dosaženo a zároveň bylo zajištěno dostatečné provětrání, stále více dochází k využívání principu nuceného větrání, popřípadě hybridního [2].

Na základě tohoto předpokladu je jasné, že v budovách, kde pravidelně probíhá shromažďování značného počtu osob (divadla, kina, obchodní domy aj.) nebo kde dochází k nadměrné produkci škodlivých látek (laboratoře, operační sály, garáže aj.), jsou požadavky na intenzitu větrání značně vyšší. Do této kategorie budov spadají i sportovní haly, které jsou hlavním předmětem této práce. Zde je nutné brát v potaz jak hráče, tak i diváky. Cílem návrhu je, aby sportovcům bylo umožněno podávat jejich maximální výkon a aby diváci měli příjemný zážitek z návštěvy těchto sportovních akcí [1].

Abychom všechny cíle skutečně splnili (kvalita vzduchu, množství přiváděného vzduchu), je nutné použití správného systému větrání, tj. zda se jedná o systém přirozený či nucený, popřípadě o přetlakový, podtlakový nebo rovnotlaký. Právě návrh samotného systému pro daný objekt může být často to nejnáročnější. Při řešení této problematiky je možné narazit na několik problémů. Každý objekt je z tohoto hlediska unikátní svou polohou, funkčností, plochou či

dispozicí. Není tedy možné použití jednoho systému pro každý halový objekt. V neposlední řadě je důležitý také výběr vhodných koncových prvků, potrubních vedení, a jejich poloha vzhledem k charakteru a využití haly. V rámci této práce je prezentováno několik již realizovaných budov a vysvětlení jejich návrhu. Chceme, aby samotný systém vzduchotechniky v objektu nepůsobil jako rušivý element, ale aby poskytl příjemné prostředí pro přítomné osoby.

Právě větrání sportovních hal a prostor pro diváky je téma této bakalářské práce. Výsledkem je studie na téma větrání prostor pro diváky, výpočtová část pro návrh vzduchotechnické jednotky, trubních rozvodů a koncových prvků. Součástí je také výkresová dokumentace konkrétní sportovní haly.

2. Požadavky pro návrh větrání – okrajové podmínky

Při návrhu správného systému větrání je nutné vycházet ze správných hodnot pro výpočet. Stěžejní informace jsou požadované parametry vnitřního ovzduší, vnitřní zdroje tepla, vlhkost a produkce škodlivin. V neposlední řadě je potřeba brát v potaz vlastnosti daného objektu (stavebně-fyzikální) a parametry vnějšího prostředí.

2.1 Stanovení množství čerstvého vzduchu

Pro stanovení minimálního množství přiváděného čerstvého vzduchu lze použít tři typy výpočtů. V případě, že by větrání mělo i funkci chlazení, by se množství přiváděného vzduchu navrhovalo na základě tepelné zátěže objektu. Metody pro výpočet požadovaného množství vzduchu jsou [3]:

- dle počtu osob;
- dle produkce škodlivin;
- dle intenzity větrání.

2.2 Požadavky pro prostory pro diváky

2.2.1 Tribuna

Při návrhu větrání tribuny je nutné znát její kapacitu pro správnou dimenzi přívodních prvků čerstvého vzduchu. Na návrh má velký vliv výška volného prostoru nad tribunou. Je důležité dbát na to, aby rychlost přiváděného vzduchu nepřekročila předem stanovenou hodnotu. Rychlost přiváděného vzduchu by se měla ve výšce 2 m od čisté podlahy pohybovat okolo 0,2 m/s. Tento předpoklad by měl zajistit požadovanou pohodu pro sledování sportovních utkání. Prostory tribun nejsou v rámci žádných norem přesně definovány, pro návrh je tedy nutné vycházet z hodnot rychlosti pro ostatní nebytové objekty.

2.2.2 VIP prostory

V rámci VIP prostor je snaha o co největší komfort přítomných osob. Návrh nuceného větrání těchto prostor se téměř shoduje s návrhem pro obytné či administrativní prostory. Rychlost proudění vzduchu by se měla pohybovat na hranici pobytové zóny v rozmezí 0,1 – 0,2 m/s. Jednotlivé kóje mohou být osazeny regulátory konstantního průtoku vzduchu a uzavírací klapkou. Při využívání jednotlivých boxů bez ohledu na využití haly bývají doplněny samostatnými podstropními jednotkami pro úpravu a přívod vzduchu. V těchto místnostech je vzduchotechnické potrubí zpravidla vedeno v podhledu. Pro přívod bývají použity vířivé anemostaty a pro odvod odvodní ventily zapuštěné do podhledu. Čerstvý vzduch je často přiváděn do prostor pobytu a odváděn skrze kuchyně či toalety, záleží na daném vybavení jednotlivých skyboxů [4].

3. Přirozené větrání

Přirozené větrání funguje na principu rozdílných tlakových poměrů vzduchu v budově, to má za příčinu proudění a následnou výměnu vzduchu. Tento způsob větrání je primárně zapříčiněn vnějšími okolnostmi jako třeba rozdílem teplot vzduchu, větrem či jejich kombinací. Přirozené provětrávání se řadí historicky mezi nejstarší způsob větrání, a ještě nyní se dá považovat v našich podmínkách za nejčastěji užívaný. V dřívějších dobách tento systém znamenitě fungoval díky netěsným rámcům oken či netěsnostem v obálce budovy. [5] Vzduch proudil v budově pomocí vestavěných mřížek a již zmíněných netěsností po budově, a tím bylo dosaženo dostatečné výměny vzduchu. Hlavní výhodou tohoto způsobu byla velice nízká pracnost, bezúdržbovost a jednoduchost návrhu. Ještě nyní je možné tento princip najít ve sportovních halách, kde jsou požadavky pro minimalizaci spotřeby energií a především u historických budov v různých provedeních, například v Library and Resource Centre Coventry University, ve Velké Británii [6].

V aktuální době se ovšem mnohem více dbá na maximální snížení netěsností v obálkách budov, což využití přirozeného větrání nepodporuje. „Podle ČSN 73 0540-2 se nepřipouští netěsnosti a neutěsněné spáry – požadavkem obálky budovy je zajistit téměř úplnou vzduchotěsnost“ [6].

Za největší nedostatky přirozeného způsobu větrání se uvádí nemožnost úpravy teploty vzduchu a přenos pachů, filtrace vzduchu. Také je možné, že v zimním období může při velkém rozdílu teplot vzduchu dojít ke vzniku průvanu. Na základě tohoto předpokladu je zřejmé, že využití přirozeného větrání není možné v provozech se zvýšenou prašností nebo v oblasti s nevyhovující kvalitou ovzduší. Dalšími podstatnými nedostatky jsou nemožnost zpětného využívání tepla a zvýšení hlučnosti v objektu [2].

Přirozené větrání se také vyznačuje tím, že je závislé na vnějších a vnitřních podmínkách. Především ty vnější jsou nestálé a velice proměnné, a tak nelze považovat návrh za zcela jednoznačný [6].

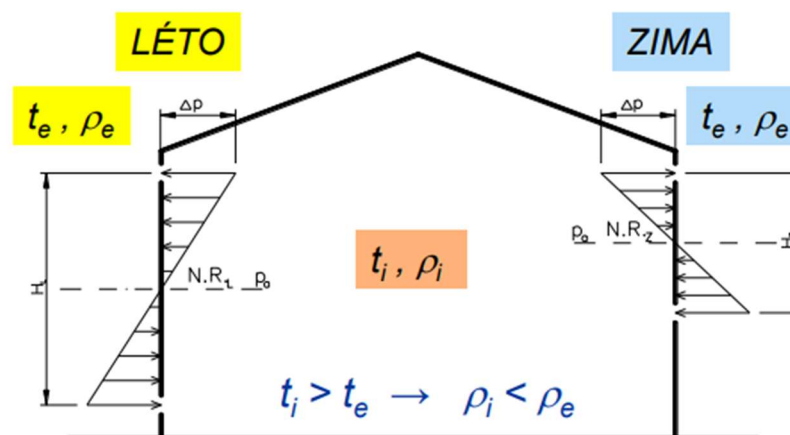
3.1 Tlak vyvozený vlivem rozdílu teplot

Tlak způsobující proudění vzduchu skrze budovu je způsoben vlivem rozdílných měrných hmotností vnitřního a venkovního vzduchu o různé teplotě [6]. Přepokládejme, že teploty vzduchu v obou sloupcích jsou stálé a případ, kdy je teplota v interiéru vyšší než teplota vzduchu v exteriéru, tj. $t_i > t_e$ a hustota $\rho_e > \rho_i$, lze vztah pro rozdíl tlaku Δp_t v místě h od neutrální roviny N.R. napsat takto [6]:

$$\Delta p_t = p_e - p_i = h \times g \times (\rho_e - \rho_i) \quad (3.1)$$

Název veličiny	Značka	Jednotka
rozdíl tlaku v místě h od neutrální roviny N.R.	Δp_t	Pa
barometrický tlak vzduchu v exteriéru	p_e	Pa
barometrický tlak vzduchu v interiéru	p_i	Pa
výška od neutrální osy N.R.	h	m
gravitační konstanta	g	m/s^2
hustota vzduchu v exteriéru	ρ_e	Kg/m^3
hustota vzduchu v interiéru	ρ_i	Kg/m^3

Tabulka 1 - Veličiny

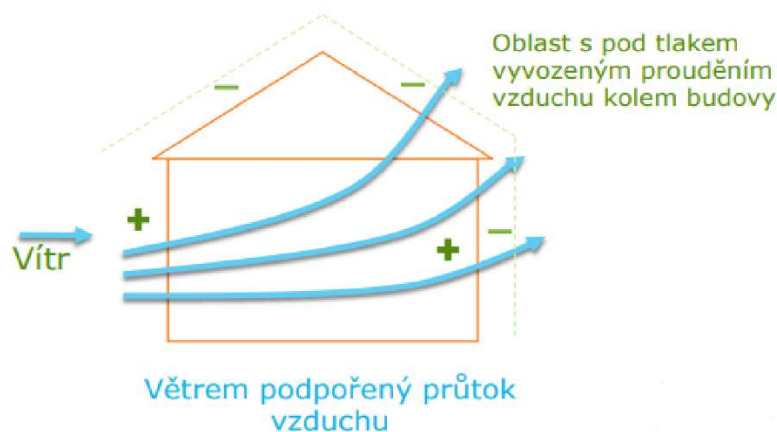


3.1 - Účinek vztaku v letním a zimním období vztážen k N.R. [6]

[6]

3.2 Tlak vyvozený účinkem větru

Výsledkem působení větru na obálku budovy dochází ke vzniku přetlaku na straně návětrné a sání na stranách bočních a na závětrné straně. Tento princip přispívá k proudění vzduchu uvnitř a skrze budovu [6]. Nevýhodou tohoto způsobu je nestálost okrajových podmínek a nárazové změny rychlosti proudění větru. Není tedy možné zaručit plnou funkci větracího systému pouze na tomto principu [7].



3.2 - Oblasti přetlaku a sání způsobené prouděním větru [6]

Hodnotu dynamického tlaku působící na určitou část budovy je možné vyjádřit vztahem [6]:

$$p_s = C_p \times p_d, \text{ kde} \quad (3.2)$$

$$p_d = \frac{1}{2} \times \rho \times v_h^2 \quad (3.3)$$

Název veličiny	Značka	Jednotka
dynamický tlak větru	p_d	Pa
měrná hmotnost vzduchu	ρ	Pa
rychlost větru ve výšce h	v_h	Kg/m ³
aerodynamický součinitel zohledňující vliv okolí	C_p	/
tlak větru na budovou	p_s	Pa

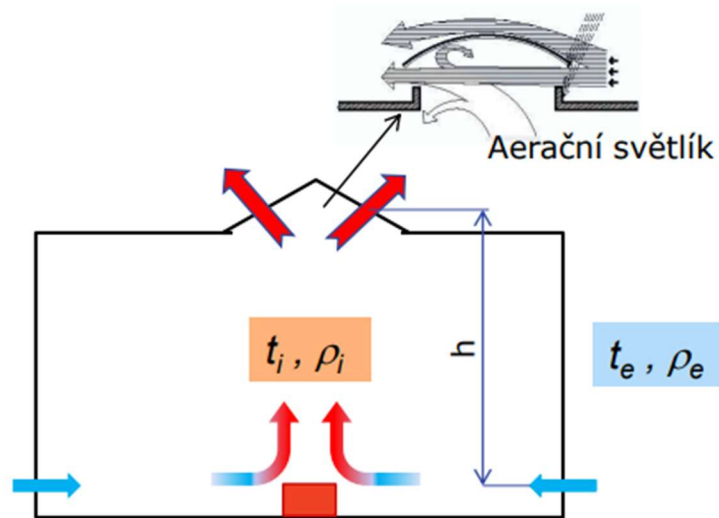
Tabulka 2 - Veličiny

3.3 Typy přirozeného větrání

V této kapitole jsou popsány čtyři základní typy přirozeného větrání. Jedná se o aeraci, infiltraci, provětrávání a šachtové větrání. Cílem je objasnit, zda mohou mít tyto systémy uplatnění pro větrání prostor pro diváky.

3.3.1 Aerace

Aerace neboli samočinné větrání funguje na principu proudění vzduchu způsobeným rozdílem jeho teplot, popřípadě působením větru. Pro zajištění funkce této metody se využívají regulovatelné otvory pro přívod a odvod vzduchu. V případě bezvětří je aerace iniciována pouze rozdílem teplot v objektu a jeho okolí. Pokud dojde k vyrovnání těchto teplot, není již možné považovat tento způsob větrání za účinný. Otvory musí být umístěny v různých výškách [8]; [6].



3.3 - Princip aerace [6]

Tento způsob větrání nepovažuji jako vhodné řešení pro zajištění dostatečného množství čerstvého vzduchu pro prostory tribun. Jedná se o způsob, který je velmi závislý na okolních podmínkách a jeho plnou funkčnost není možné zaručit po celou dobu provozu haly. Jako hlavní nevýhodu vidím, že v letním období při bezvětří není možné zaručit dostatečný teplotní spád pro zajištění požadovaného množství vzduchu. V zimním období je možný výskyt opačného problému. Při velkém teplotním rozdílu v prostorech tribuny a venkovního prostředí může dojít k nekontrolovatelnému větrání a velkým tepelným ztrátám provázeným nadměrnou hlučností. Také může dojít k přenosu pachů z okolního prostředí do prostor haly [8].

3.3.2 Infiltrace

Jedná se o princip přirozeného větrání zapříčiněný netěsnostmi okenních rámců, dveří, popřípadě v obalových konstrukcích [7]. U rekonstrukcí, či novostaveb se v poslední době klade velký důraz na vzduchotěsnost a minimalizaci tepelných ztrát objektu. Dle normy ČSN 73 0540-2 se netěsnosti nepřipouští [6]. Nyní se pro řízený přívod vzduchu navrhuje tzv. ventilační štěrby, které jsou regulovatelné se schopností tlumení hluku. Také mohou být vybaveny vlhkostním čidlem, které samo reguluje množství přiváděného vzduchu [9].

„Větrání pouze infiltrací spárami oken (vč. mikroventilace) nelze pro budovy s novými a rekonstruovanými okny uvažovat (v souladu s ČSN EN 15665/Z1)“ [7].

„Údaje o průvzdušnosti obálky budovy dle ČSN 730540-2 [67] nelze uvažovat pro návrh reálného větrání budovy.“ [7].



3.4 - Princip proudění vzduchu okenní štěrbinou [9]

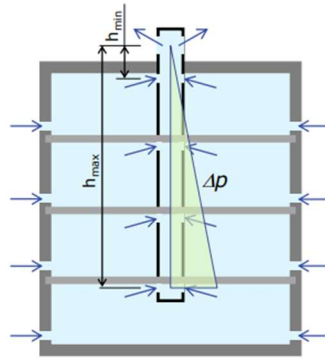


3.5 - Akustická okenní štěrbinina [9]

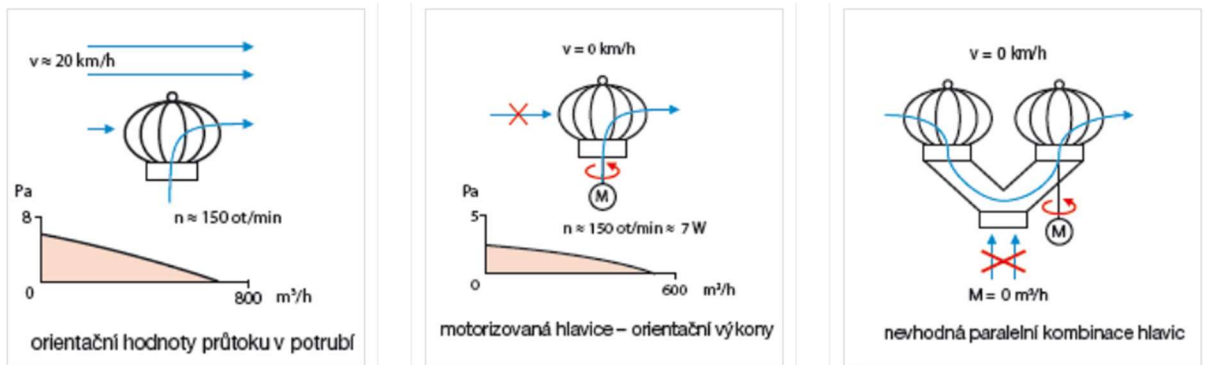
Tento způsob přírodního větrání nepovažuji pro využití ve sportovních halách jako vhodný, vzhledem k tomu, že stejně jako aerace je závislý na okolních podmínkách. V letním období za bezvětří není možné zaručit dostatečný rozdíl teplot v interiéru a exteriéru. Není tedy možné zajistit průtok navrhovaného množství vzduchu [8]. Věřím, že by tento systém mohl pouze sloužit jako doplněk k již navrženému funkčnímu systému za účelem snížení spotřeby energií.

3.3.3 Šachtové

System šachtového větrání funguje na podobném principu jako větrání pomocí aerace. Proudění vzduchu je způsobeno rozdílem měrných hmotností venkovního vzduchu a vzduchu v šachtě pro odvod. Tlakový rozdíl je zajištěn pomocí výškového rozdílu přírodních a odvodních otvorů. Odpadní vzduch je odváděn pomocí již zmíněných svislých výtlačných šachet nad střešní konstrukci objektu. Při osazení samoodtahovými hlavicemi je možné účinnost větracího systému poměrně zvýšit, ale v současné době není možné tímto způsobem dosáhnout požadovaných hodnot pro maximální energetickou zátěž budov [6] [7] [8].



3.6 - Princip šachtového větrání [6]

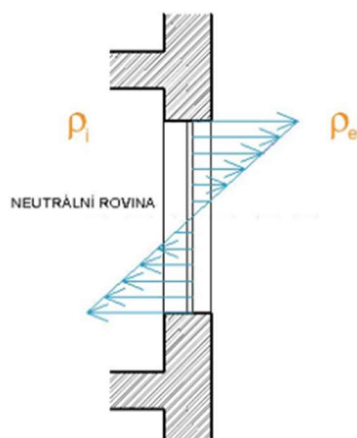


3.7 - Princip s rotačními hlavicemi [8]

Jak je z obrázku zřejmé, se zvyšující se výškou budovy dochází lineárně ke zvýšení rozdílu tlaků. Na základě tohoto předpokladu je jasné, že by tento systém mohl být využit u vyšších budov. Důležité je brát v potaz, že může dojít k přenosu pachů a hluku z okolního prostředí do budovy. Nemůže být vždy zaručeno splnění požadovaného množství čerstvého vzduchu vzhledem na podmínky okolního prostředí [8]. Využití tohoto systému nepovažuji za vhodné pro sportovní haly. Využití tohoto systému je vhodné především u průmyslových objektů [5].

3.3.4 Provětrávání

Tato metoda větrání funguje na principu otevírání oken. Víme, že se po energetické stránce více vyplatí okna otvírat častěji na kratší dobu. Nejen že je provětrávání závislé na okolních podmínkách, ale také na rozhodnutí přítomných osob. Z obrázku 3.8 je zřejmé, že k přivádění čerstvého vzduchu a odvádění odpadního dochází jedním otvorem. K proudění vzduchu dochází pomocí okolních vlivů. Především se jedná o rozdíl tlaků vzduchu v interiéru a exteriéru způsobených rozdílem teplot nebo větrem [8]; [6]; [7].



3.8 - Provětrávání oknem [5]

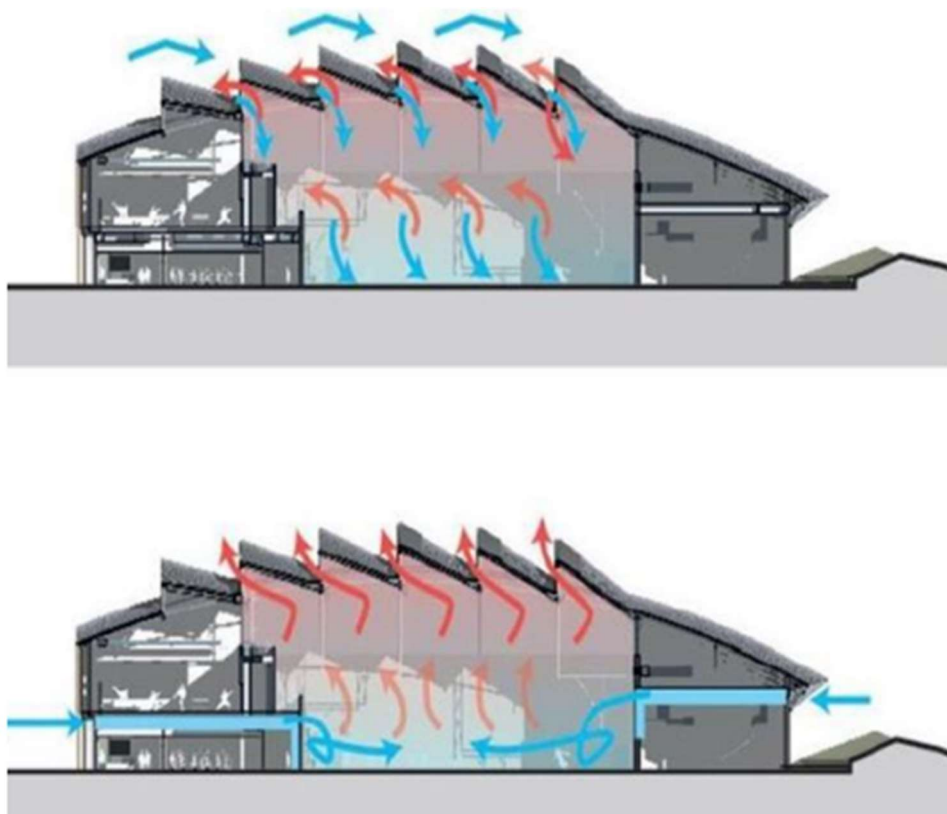
Když nezapočítáme účinek větru, je možné objemové množství protékajícího vzduchu vyjádřit pomocí vzorce [7]:

$$V_e = 1200 \times \mu \times b \times \sqrt{\frac{g \times (\rho_e - \rho_i) \times h^3}{\rho_e}} \quad (3.4)$$

Název veličiny	Značka	Jednotka
hustota vzduchu v interiéru	ρ_i	Kg/m ³
hustota vzduchu v exteriéru	ρ_e	Kg/m ³
šířka okna	b	m
výška okna	h	m
tíhové zrychlení	g	m/s ²
výtokový součinitel okna (pro zcela otevřené okno $\mu=0,6$)	μ	/

Tabulka 3 - Veličiny

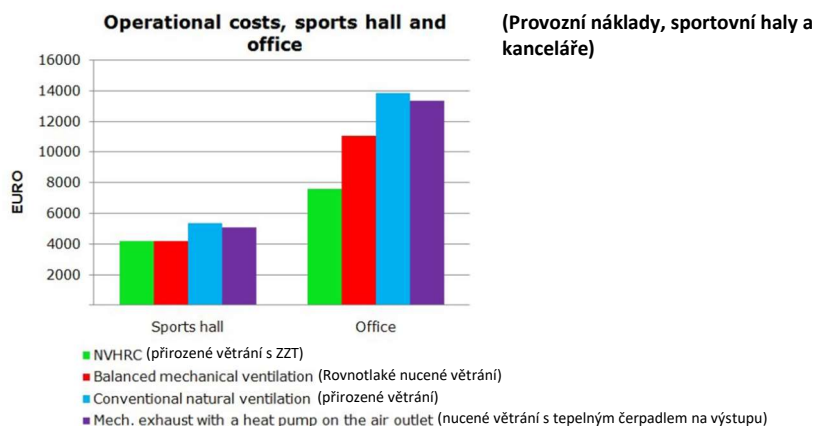
Tento způsob přirozeného větrání nepovažuji za vhodný pro zajištění požadované výměny vzduchu v prostorech sportovních hal. Vzhledem k závislosti na okolních podmínkách a na ochotě přítomných osob, provětrávání není dostatečně efektivní. Zároveň v zimním období dochází k velkým tepelným ztrátám, což může být spíše na škodu. Při samotném návrhu tohoto systému je nutné brát v potaz nestálost okrajových podmínek [7].



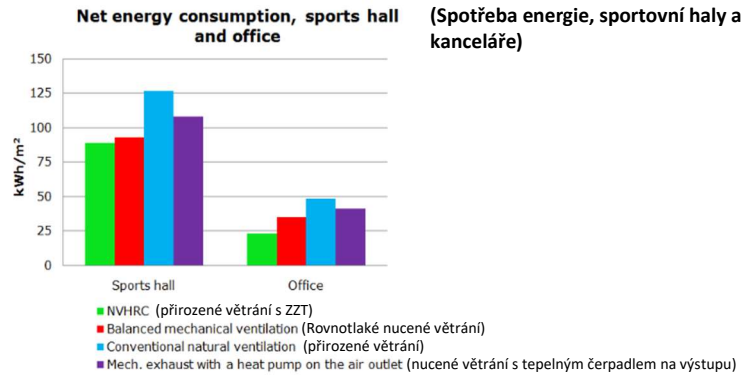
3.9 - Přirozené větrání sportovních hal [10]

3.4 Příklady z praxe

I přes nedostatky spojené s principem přirozeného větrání je možné najít několik příkladů z praxe využívajících tento způsob výměny vzduchu. Hlavní výhodou a důvodem těchto realizací je snížení spotřeby energie celého objektu. Využitím přirozeného větrání s možností zpětného získávání tepla lze dosáhnout snížení nákladů na chod haly a také nižších pořizovacích nákladů [11] [12].



3.10 - Přibližná cena provozu větracích systémů [11]



3.11 - Spotřeba energie různých systémů větrání [11]

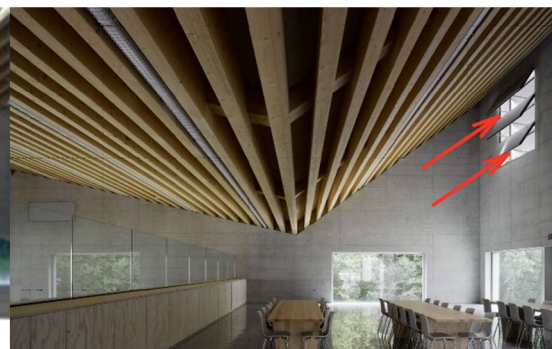
Z grafů je vidět, že z ekonomického hlediska je kombinace přirozeného větrání s možností ZTT a chlazení nejvýhodnější variantou. Pro zajištění plné funkčnosti se systémy často doplňují o čidla měřící hodnotu CO₂, teploty a popřípadě vlhkosti obsažené ve vzduchu. Čidla jsou umístěna ve spodní a horní části haly, v případě překročení předem určených hodnot CO₂ či vlhkosti dojde automatiky k otevření větracích otvorů a následné výměně vzduchu [13].

3.4.1 Školní sportovní hala Maréchon

Jedná se o sportovní halu navrženou jako pasivní budovu. Nachází se ve Švýcarsku. Objekt se skládá z deseti tříd pro studenty a prostoru krytého sportoviště. Cílem návrhu bylo větrání 6000 m³/h bez dalších investic. Hala je tedy kompletně větrána přirozeně. Pro splnění požadované výměny vzduchu byly navrženy dva otvory, každý o ploše 4 m² v horní i spodní části objektu. V bočních stěnách jsou umístěny otvory napomáhající lepší distribuci čerstvého vzduchu v hale. Dá se říct, že v tomto případě je princip přirozeného větrání účinnější než nucené větrání s ZTT. Celková výška budovy podporuje princip komínového efektu, celkový objem haly tvoří nádrž čerstvého vzduchu, což napomáhá infiltraci pro provětrání prostor zázemí. V létě je intenzita výměny řízena rozdílem teplot v hale a v exteriéru, zatímco v zimě je přirozené větrání aktivováno kvalitou vnitřního vzduchu, konkrétně koncentrací CO₂. Průběhu přirozeného větrání napomáhá jak umístění budovy v krajině, tak její tvarové rozvržení [12]; [14].



3.12 - Hala Maréchon ve Švýcarsku [11]



3.13 - Otvory navržené pro přirozené větrání [14]



3.14 - Princip přirozeného větrání v letním období [12]



3.15 - Princip přirozeného větrání v zimním období [12]

3.4.2 Pasivní sportovní hala

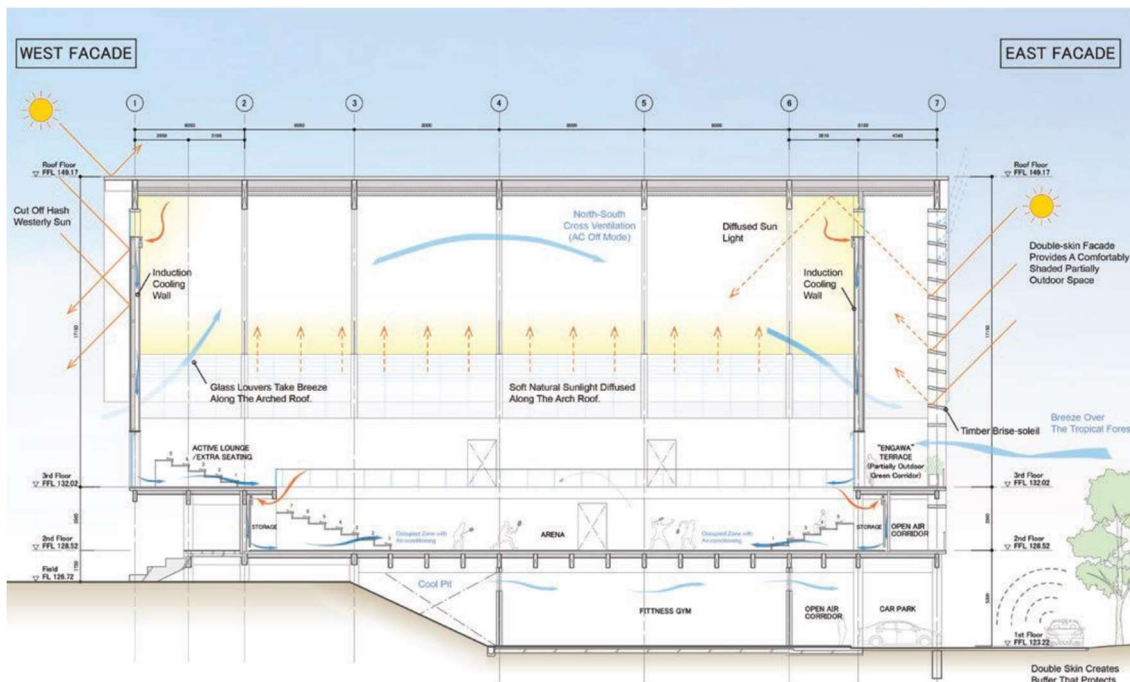
Technická univerzita Nayang v Singapuru navrhla multifunkční sportovní halu. Záměrem bylo snížení spotřeby energií až o 35 %. Jedná se o třípodlažní halu s kapacitou pro diváky kolem 1000 míst. S ohledem na povětrnostní podmínky a oslunění byl navržen princip přirozeného větrání využívající daných okolních podmínek. Díky návrhu přirozeného větrání bylo dosaženo snížení energetické náročnosti budovy na větrání. Součástí navrženého systému je i možnost klimatizace přiváděného vzduchu pomocí vodou chlazených chladičů. Chladiče jsou umístěny pod stropem z důvodu ochlazení nashromážděného teplého vzduchu pod stropní konstrukcí [10].



3.16 - Princip přirozeného proudění vzduchu v hale [10]

Studie na téma větrání prostor pro diváky ve sportovních stavbách

Z obrázku 3.16 a 3.17 je zřejmé, že se jedná o princip příčného provětrávání. Čerstvý vzduch je přiváděn otvory nad a v úrovni tribuny pro diváky. Skrze konstrukci tribuny proudí hlouběji do prostoru sportoviště. Jednotlivé místnosti budovy jsou propojeny pomocí otvorů, které předpokládám, že budou řízeny pomocí čidel na koncentraci CO₂ a vlhkosti. Ohřátý vzduch uložený pod stropní konstrukcí je ochlazován pomocí chladících věží, popřípadě pomocí otvorů odváděn do exteriéru. Proudění vzduchu je také umocněno polohou budovy, výškou a jejím architektonickým ztvárněním.



3.17 - Podrobné schéma proudění vzduchu v hale způsobené přirozeným větráním [10]

3.5 Celkové zhodnocení přirozeného větrání

Všechny metody přirozeného větrání jsou velice závislé na okolních podmínkách. Jejich využití pro větrání prostor pro diváky v rámci sportovních hal si může být vhodné pouze v případech s vyhovujícími okrajovými podmínkami okolního prostředí. V určitých situacích by přirozený způsob větrání poskytl požadované množství vzduchu (viz kap. 3.4.1, 3.4.2), ale při nevhodných okrajových podmínkách například v městské zástavbě a plné obsazenosti tribun by nemuselo dojít k dostatečnému provětrání a k nespokojenosti přítomných osob.

Momentálně žijeme v době, kdy se klade velký důraz na minimální energetickou náročnost budov. Je tedy možné, že v budoucnu bude realizací sportovních hal na principu přirozeného větrání přibývat.

4. Nucené větrání

Vzhledem k požadavkům na netěsnosti obalových konstrukcí novostaveb a celkovému omezení proudění vzduchu infiltrací se momentálně drtivá většina hal větrá pomocí nuceného větrání. Nucené větrání funguje na principu mechanického přívodu a popřípadě odvodu vzduchu ventilátorem. Ventilátor musí mít dostatečný výkon pro překonání tlakových ztrát potrubního systému. Hlavní výhodou nuceného větrání je nezávislost na okolních podmínkách a vysoká účinnost zpětného využívání tepla. Tento systém se navrhuje na nejkritičtější vytížení. Skutečné vytížení se od samotného návrhu může značně lišit dle návštěvnosti daného objektu. Je tedy možné kontrolovat množství proudícího vzduchu v závislosti na aktuálním využití [7]; [15].

Základním prvkem systému je vzduchotechnická jednotka, jež může sloužit jak pro úpravu teploty vzduchu (ohřev v případě teplovzdušného vytápění, chlazení v letním období), tak pro úpravu kvality vzduchu pomocí filtrů [8].

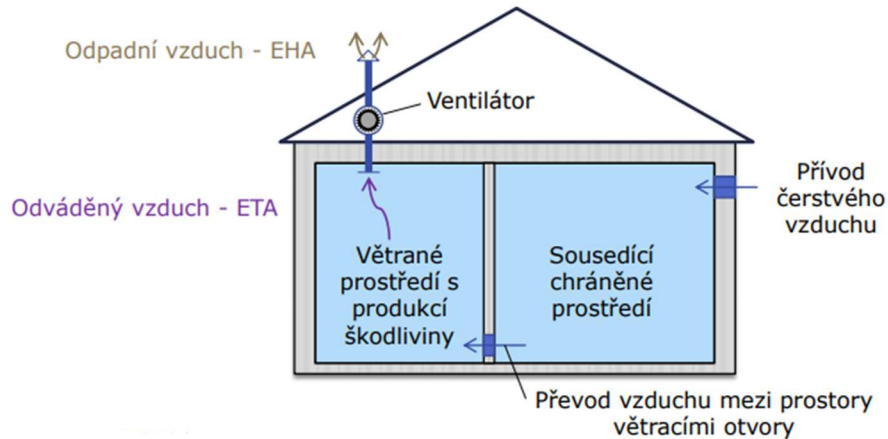
4.1 Rozdělení systému z hlediska tlaku

V závislosti na tlakových poměrech systémů je možné nucené větrání rozdělit na tři typy – podtlakový, přetlakový a rovnotlaký. Tyto systémy jsou stručně popsány v dalších kapitolách. Vzhledem k aktuálním požadavkům na pasivní budovy je podrobněji popsán systém rovnotlaký, jenž je aktuálně nejpoužívanější. V některých realizacích je možné narazit na jejich kombinaci s cílem zajištění maximální pohody a dostatečného provětrávání.

4.1.1 Podtlakové větrání

Přívod čerstvého vzduchu je iniciován pomocí vyvolaného podtlaku v místnosti. Množství odváděného vzduchu je větší než množství vzduchu přiváděného. Čerstvý vzduch proudí skrze přívodní prvky umístěné ve stěně. Znečištěný vzduch je následně odveden pomocí ventilátoru s požadovaným výkonem do exteriéru. S podtlakovým větráním se můžeme setkat především u koupelen a WC, případně podzemních garáží. Při návrhu je nutné brát v potaz kvalitu venkovního vzduchu a v zimním období nepodcenit teplotní rozdíl v interiéru a exteriéru [7]; [15].

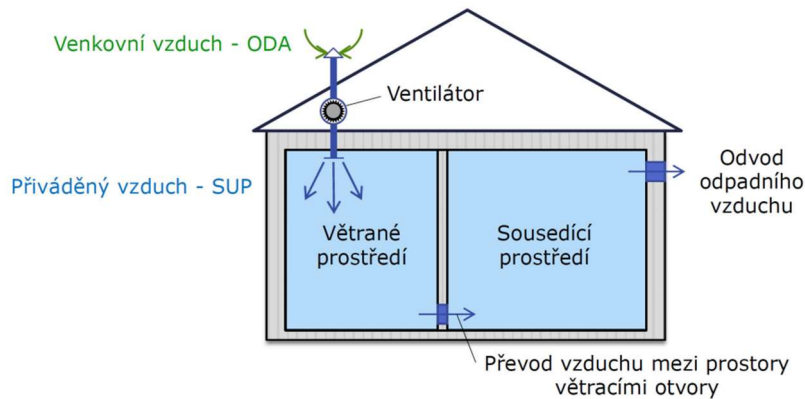
„Prvky pro přívod venkovního vzduchu musí umožnit požadovaný průtok vzduchu a současně vyhovovat požadavkům na tepelně technické a akustické vlastnosti. V případě, že se jedná o větrací otvory (např. štěrbiny) integrované přímo do oken, nesmí jimi být zhoršeny vlastnosti oken pro dané umístění dle ČSN 14351-1. Integrované prvky musí být uzavíratelné [7].“



4.1 - Princip nuceného podtlakového větrání [15]

4.1.2 Přetlakové větrání

System funguje na principu, že množství přiváděného vzduchu je větší než množství odváděného vzduchu. Tento princip se využívá poměrně zřídka, a to především v místnostech se speciálním využitím – například na operačních sálech. Tlak vyvozený přívodem čistého venkovního vzduchu je vykompenzován odvodem vzduchu netěsnostmi v obálce či otvory [15].



4.2 - Princip nuceného přetlakového větrání [15]

4.1.3 Rovnotlaké větrání

Rovnotlaké větrání se vyznačuje mechanickým přívodem čerstvého a odvodem znečištěného vzduchu. Díky tomuto principu je možné využít funkce zpětného získávání tepla. Množství přiváděného vzduchu je shodné s množstvím odváděného vzduchu. System také umožňuje regulaci množství vzduchu dle vytíženosti objektu, úpravu kvality vzduchu (ohřev, chlazení, vlhčení) a jeho filtraci od nečistot [15].

Jedná se o obecně nejpoužívanější systém větrání a v rámci sportovních hal je možné použití lokálního nebo centrálního systému. Předmětem dalších podkapitol je seznámení s těmito principy a jejich využití v praxi.

4.1.3.1 Lokální systém

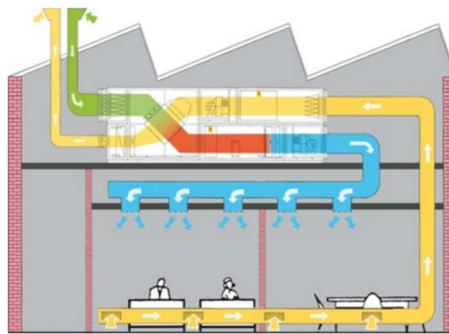
Lokální systém je primárně určen pro větrání jedné místnosti nebo její části. Cílem je řešení problému vzniku škodlivin přímo nad umístěním jednotky. Moderní typy těchto vzduchotechnických jednotek mohou dokonce upravovat teplotu vzduchu, regulovat množství vzduchu, filtrovat přiváděný vzduch a zpětně získávat energii. Tyto typy jednotek se vyskytují především v prostorech halových objektů s poměrně velkou světlou výškou. Nejčastěji se osazují do střešní konstrukce pro zajištění přísunu kvalitního vzduchu [15]; [16]. Hlavní výhodou oproti centrálnímu systému je nepřítomnost trubních rozvodů a možnost nastavení dle aktuálních požadavků – velká flexibilita [17].



4.3 - Lokální vzduchotechnická jednotka RoofVent [16]

4.1.3.2 Centrální systém

Přívod čerstvého a odvod odpadního vzduchu je zajištěn pomocí jedné vzduchotechnické jednotky s rekuperací, která má na starosti celý objekt, popřípadě jeho část. Systém se vyznačuje pevně umístěnými rozvody v prostorech hal a poměrně nízkou flexibilitou. Za nevýhodu lze považovat dlouhé trubní rozvody, jež mohou zapříčinit pokles tlaku a nutnost jejich čištění. Vzduchotechnické jednotky se vyznačují vysokou účinností rekuperace tepla. Oproti lokálním jednotkám umožňují lepší úpravu vzduchu [15]; [17].



4.4 - Princip nuceného centrálního systému [17]

4.2 Příklady z praxe

I přes poměrně vysoké náklady na pořízení a vyšší spotřebu energií je nucené větrání sportovních hal nejvíce používaný systém. V rámci této kapitoly je uvedeno několik příkladů realizací z praxe. Všechny prezentované projekty byly realizovány poměrně nedávno, v letech 2010 – 2020.

4.2.1 Sportovní hala Červená voda

Jedná se o multifunkční sportovní halu o půdorysné ploše 1400 m² s kapacitou okolo 60 osob. Stavba se nachází v obci Červená voda a byla uvedena do provozu v prosinci roku 2020. Hala je vybavena dvojpodlažní navazující přístavbou, ve které se nachází kompletní zázemí haly. Nejedná se o halu pro školní využití, nelze tedy počítat se stálou obsazeností. Hala funguje během celého roku a je primárně určena pro využití sportovními kluby v okolí haly, případně pro soukromé akce [18].

Vzduchotechnický systém haly je navržen jako centrální rovnotlaký. Čerstvý vzduch je přiváděn do prostoru sportoviště a odváděn přes hygienické zázemí. Vzduchotechnická jednotka byla navržena pro účely teplovzdušného vytápění a přívod čerstvého vzduchu. Prostory zázemí jsou vytápěny pomocí teplovodních otopných těles v prostorech zázemí a podlahového vytápění.



4.6 - Schéma přívodu a odvodu vzduchu v prostoru haly [18]



4.5 - Odvodní mřížka vzduchu sportovní haly [18]

Studie na téma větrání prostor pro diváky ve sportovních stavbách

První vzduchotechnická jednotka nacházející se v strojovně VZT řeší prostor sportoviště. Čerstvý vzduch (označen modrými šipkami) je přiváděn pomocí kruhového potrubí a distribuován stavitelnými anemostaty vybavenými servopohonem pro zajištění dostatečného provětrávání. Trubní rozvody jsou vedeny skrze předpřipravené otvory v betonových vaznicích a jsou zakryté akustickým podhledem. Pro odvod vzduchu jsou v objektu navrženy sací obdélníkové mřížky (vyznačené na obrázku 4.5 a 4.6 červenou šipkou). Vzduch bude nasáván a vyfukován ze střechy objektu.

V prostorech zázemí, kde není možnost přirozeného větrání okny, je větrání založeno na principu podtlakového větrání pro zajištění odvodu škodlivin mimo objekt. Zde se nachází druhá vzduchotechnická jednotka. Odpadní vzduch je odváděn skrze hygienické zázemí (WC, koupelny a šatny) a tím je vyvolán podtlak. V prostoru záchodů, umýváren a šaten pro cvičence jsou osazeny potrubní ventilátory v návaznosti na kruhové potrubí s talířovými ventily. V místnostech hygienického zázemí jsou talířové ventily osazeny do podhledu (viz. obrázek 4.7). Čerstvý vzduch je do těchto prostor přiváděn z okolních prostor provozem či pomocí mřížek ve zdech a mezi místnostmi je umožněné jeho proudění pomocí mřížek ve dveřích naznačených na obrázku 4.8.



4.7 - Odvodní talířové ventily v hygienickém zázemí [18]

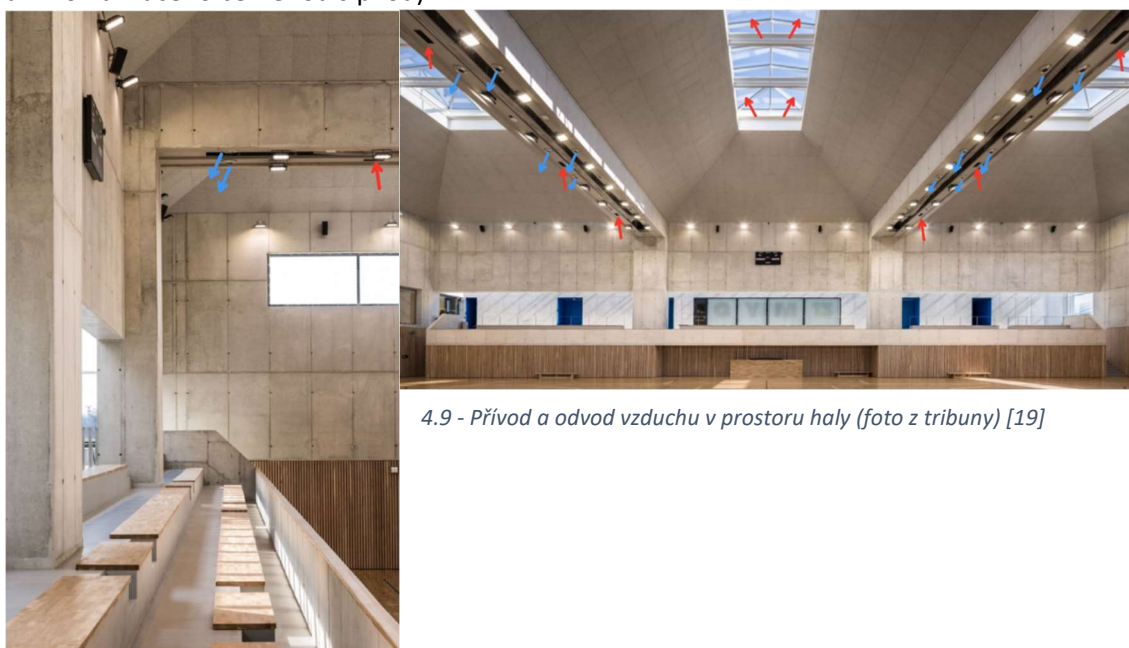


4.8 - Schéma proudění vzduchu mezi místnostmi pomocí mřížek ve dveřích [18]

4.2.2 Městská hala Modřice

Multifunkční sportovní hala v obci Modřice byla dokončena koncem roku 2020. Prostor haly je přímo napojen na budovu místní školy. Funkční náplní haly nejsou pouze sportovní akce a provoz školy, ale byla také navržena na účely komunitního centra. Jedná se o veřejnou halu, pouze prostory fitness a bazénu v suterénu patří soukromým vlastníkům. Zastavěná plocha haly je 2375 m² [19]. Hala má kapacitu pro přibližně 250 diváků, je vybavena VIP salonkem a občerstvovacím zařízením [20].

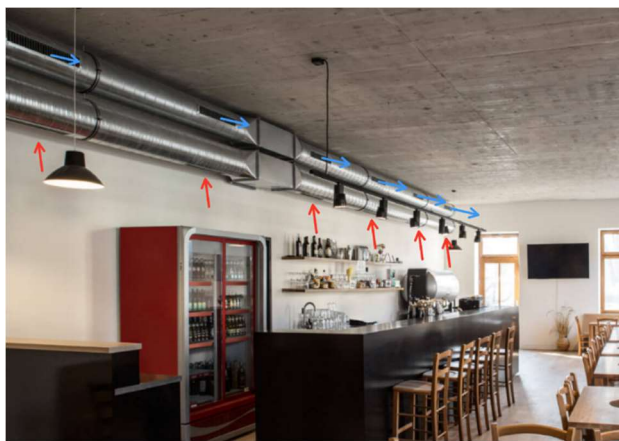
Pro halu bylo navrženo rovnotlaké nucené větrání. Systém je složen ze dvou vzduchotechnických jednotek. Prostor haly obsluhuje vzduchotechnická jednotka umístěná na střeše zázemí. Čerstvý vzduch je přiváděn pomocí dýz s dostatečným výkonem pro kvalitní provětrání objektu (na obrázku 4.9 a 9.10 naznačeno modrými šipkami). Z obrázků 4.9 a 4.10 je zřejmé, že kruhové potrubí pro vzduchotechniku je zakryto železobetonovými vazníky, jež tvoří nosnou konstrukci střechy. Znehodnocený vzduch je odváděn pomocí obdélníkových mřížek (na obrázku 4.9 a 4.10 naznačeno červenou šipkou).



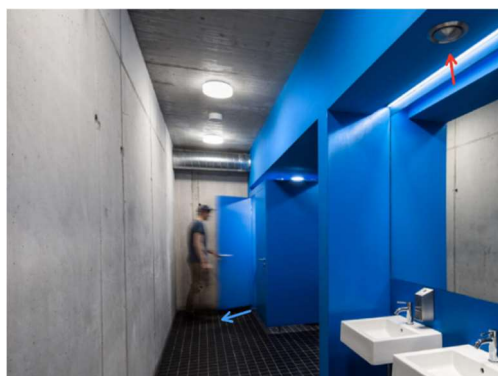
4.9 - Přívod a odvod vzduchu v prostoru haly (foto z tribuny) [19]

4.10 - Přívod a odvod vzduchu v blízkosti tribuny [19]

V prostorech pro občerstvení návštěvníků není vedení vzduchotechnického potrubí zakryté podhledem. Přívod čerstvého vzduchu je zajištěn pomocí kruhového potrubí ukotveného do stropní konstrukce. Koncové prvky přívodního i odvodního vzduchu jsou navrženy obdélníkové mřížky. Jejich pozice umožňuje dostatečné provětrání.



4.12 - Prostory pro občerstvení [18]

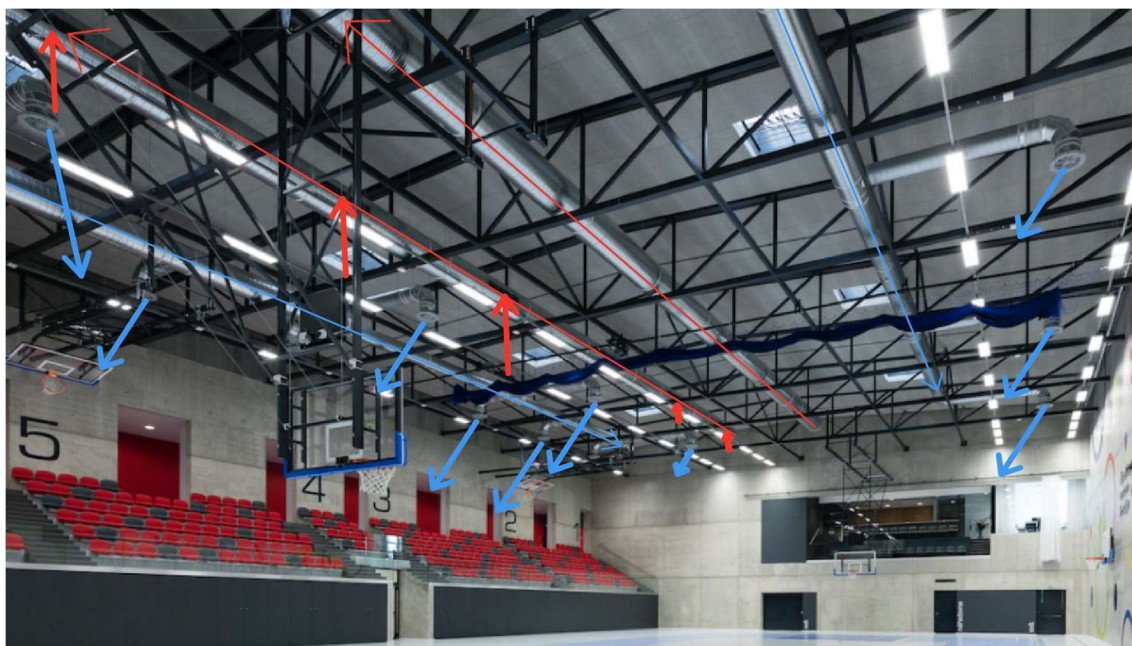


4.11 - Odvodní talířový ventil v prostoru

4.2.3 Sportovní hala Pěšany

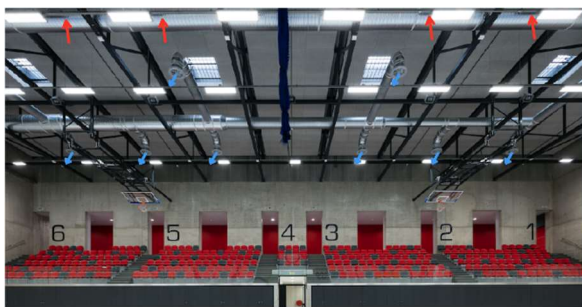
Objekt se nachází na okraji města Prostějov na místě bývalého areálu koupaliště. Stavba má půdorysnou plochu 2474 m² a byla dokončena roku 2018. Jedná se o multifunkční halu primárně určenou pro volejbal a basketbal. Hala disponuje tribunou s kapacitou 300 míst pro sezení. Součástí haly je recepce, bufet a odpočinková zóna pro návštěvníky. Zázemí pro sportovce se nachází pod tribunou. Hala je také vybavena prostory pro VIP hosty, jež mají vlastní občerstvovací zařízení [21]; [22].

Na obrázku 4.13 je vidět, že se v objektu nachází systém nuceného větrání. Trubní rozvody jsou vedeny pod střešním pláštěm skrze ocelové vazníky. Koncové prvky pro přívod čerstvého vzduchu se nacházejí mimo jiné i přímo nad prostorem tribuny a jsou zakončeny stavitelnými anemostaty (na obrázcích 4.13 a 4.15 označeno modrými šipkami). Nad sportovní plochou se nacházejí dvě větve pro přívod i odvod. Odvod znečištěného vzduchu je zajištěn pomocí dvou odvodních větví, ty jsou osazeny obdélníkovými mřížkami (na obrázku 4.13 a 4.14 označeno červenými šipkami). Vzduchotechnická jednotka spravující chod celého objektu je umístěna na střeše.



4.13 - Schéma přívodu vzduchu v prostoru sportovní haly Pěšany [21]

V prostorech zázemí a společných prostorech pro návštěvníky je trubní vedení zakryto pomocí podhledu. Jako koncové prvky pro odvod a přívod vzduchu jsou použity vířivé anemostaty vyznačené na obrázku 4.14. Spodní hrana koncových prvků je umístěna tak, aby lícovala s podhledem. Znečištěný vzduch z těchto prostor je stejně jako z prostoru sportoviště následně odváděn nad střechu.



4.15 - Schéma větrání sportoviště včetně tribuny [21]



4.14 - Rozmístění koncových prvků ve společných prostorech [21]

4.2.4 Sportovní centrum Řepy

Víceúčelová hala v Praze 17 je primárně určena pro sportovní utkání, pronájem a tréninky sportovních klubů. Při výstavbě se také uvažovalo o možnosti konání kulturních akcí. Hala je vybavena zčásti výsuvnou tribunou o kapacitě kolem 300 osob. Prostor sportoviště má půdorysný rozměr 57 m x 25,6 m v případě vysunutí tribuny [23].

Čerstvý vzduch je do haly přiváděn pomocí potrubí zakrytého akustickým podhledem. Jako koncové prvky pro přívod vzduchu byly navrženy stavitelné anemostaty s dostatečným dosahem až na sportovní plochu. Pro odvod znečištěného vzduchu slouží obdélníkové mřížky umístěné v podhledu.



4.16 - Schéma přívodu a odvodu vzduchu v hale v Řepích [23]

Přívod vzduchu do zázemí nacházejícího se pod hlavní tribunou je umožněn pomocí obdélníkových mřížek ve spodní části tribuny.

4.2.5 Werk arena Třinec

Objekt se nachází ve městě Frýdek-Místek. Sportovní hala určená pro využití hokejovým týmem Třince byla postavena v roce 2015. Zastavěná plocha objektu je 5179,65 m². Jedná se o víceúčelovou halu, jejíž hlavní provoz je uzpůsoben pro lední hokej, krasobruslení a popřípadě pro bruslení veřejnosti. Možností je také ledovou plochu zakrýt palubkovou podlahou a následně provozovat jakékoliv míčové sporty. Při návrhu haly se počítalo i s možností konání kulturních akcí a koncertů [4].

Celková kapacita tribuny je navržena na 5400 diváků. V hale jsou také VIP boxy s kapacitou 364 míst, bufet pro návštěvníky, hygienické zázemí, zázemí pro média, restaurace s výhledem na ledovou plochu, kanceláře a zasedací místnost. Pod západní tribunou se nachází kompletní provozní a technické zázemí haly [4].



4.17 – Werk arena Třinec tribuna [24]

Vzduchotechnická jednotka byla navržena na 30 m³/h čerstvého vzduchu na osobu a s rekuperačním výměníkem tepla pro snížení nákladů na provoz. Jednotka je navržena na pokrytí požadovaného množství vzduchu při maximální obsazenosti, v případě menšího množství osob lze snížit vzduchový výkon pomocí frekvenčního měniče. Vytápění samotné haly je navrženo teplovzdušné, je tedy nutné, aby jednotka měla dostatečný výkon pro pokrytí tepelných ztrát. Přívod venkovního vzduchu do jednotky je pomocí potrubí umístěného na

obvodovou stěnu objektu, odvod odpadního vzduchu je veden v podlaze a následně skrze centrální šachtu nad úroveň střechy [4].

4.2.5.1 Plocha sportoviště

Vzduch nad ledovou plochu je přiváděn pomocí kruhového potrubí, které se nachází v prostoru mezi ocelovými vazníky. K distribuci čerstvého vzduchu slouží dvě větve opatřené regulačními klapkami. Nad samotnou plochou jsou umístěny dvě větve s dálkově ovládanými anemostaty s regulovatelným výtokem vzduchu. Na větvích v blízkosti ochozů jsou použity ručně stavitelné dýzy s dalekým dosahem, které jsou namířeny na plexisklo kolem ledové plochy. Dýzy primárně slouží pro odmlžení plexiskel kolem ledové plochy, ale také se podílí na přívodu čerstvého vzduchu nad ledovou plochu. Vyfukovaný vzduch z dýz je zónově dohříván na teplotu max 24 °C s ohledem na to, že proud bude také zasahovat do pobytového prostoru diváků [4].

Odvod znečištěného vzduchu je řešen pomocí kruhového potrubí umístěného na ose ledové plochy. Kruhové potrubí je osazeno obdélníkovými vyústkami. Tento systém je navržen i pro funkci v případě požáru, případně bude požární větrání zajištěno pomocí světlíků umístěných ve střešní konstrukci. Zařízení bude vypnuto v případě překročení teploty 60 °C v odtahovém potrubí [4].

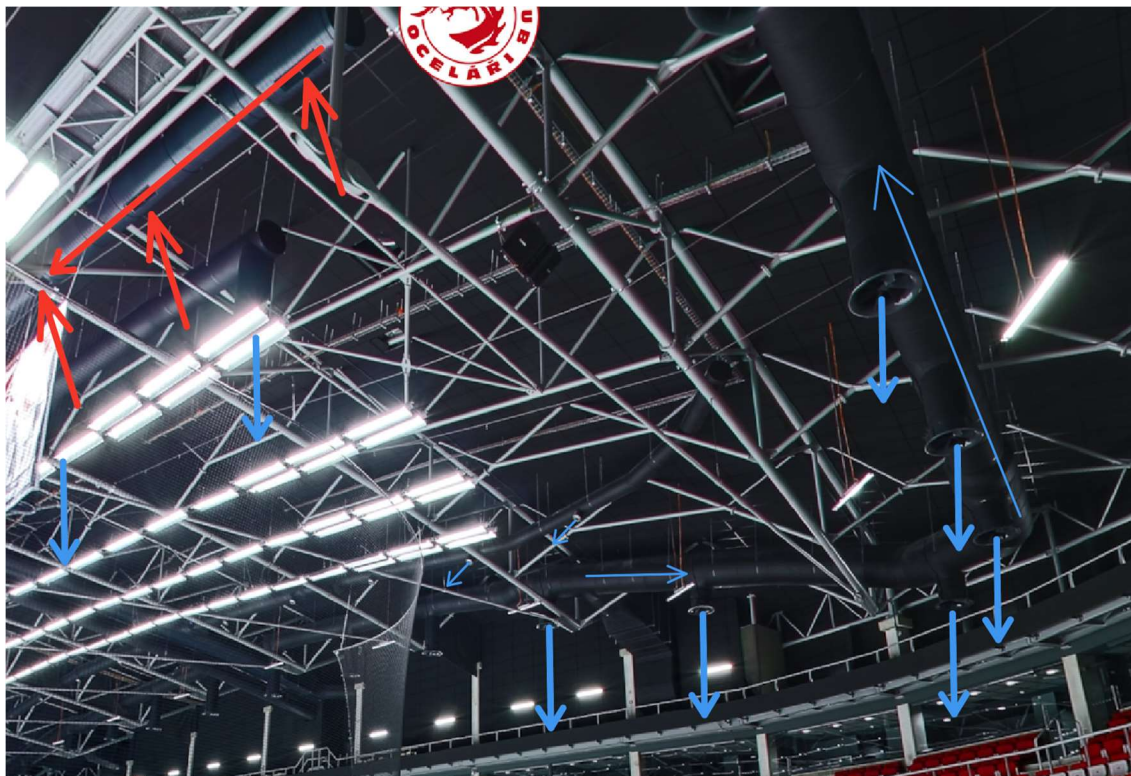
Přiváděný vzduch je ohříván s ohledem na probíhající aktivitu na ledové ploše, teplota na plexisklo je konstantní. Trubní vedení v prostoru mezi vazníky je tepelně izolováno [4].

4.2.5.2 Hala

Prostor haly je obsluhován pomocí čtyř klimatizačních jednotek, které se nacházejí ve strojovně 3. NP. Jednotky jsou vybaveny filtračním dílem, tlumicí komorou, směšovací komorou, vodním ohřívacem, vodním chladičem a rotačním výměníkem. Tyto jednotky slouží pro větrání tribun a diváckých ochozů [4].

Přívodní potrubí čerstvého vzduchu je kruhového průřezu a prochází skrze ocelové vazníky. Potrubí je po celé délce tepelně odizolováno pro minimalizaci tepelných ztrát. K jeho distribuci následně dochází pomocí anemostatů s dálkově ovládaným výtokem vzduchu. Znečištěný vzduch je odváděn pomocí odsávacích žaluzií, které se nacházejí v obvodovém plášti, popřípadě pomocí trubních rozvodů v prostoru mezi vazníky. Přivedený vzduch je následně pomocí regulačních klapek vybavených servopohonem přiváděn do ochozů v úrovni 1. NP. Znečištěný vzduch je odváděn skrze občerstvovací zařízení bufetů a skrze sociální zařízení [4].

Díky tomuto principu dochází v prostoru haly k přetlaku vůči veškerým okolním místnostem. To zabrání pronikání vlhkého neupraveného vzduchu do prostor ledové plochy. Na výtlaku i sání jednotky jsou v potrubí osazeny deskové tlumiče hluku pro zabránění šíření hluku.



4.18 - Schéma přívodu a odvodu vzduchu pro prostor haly a hlediště Werk areny [24]

4.2.5.3 VIP boxy

Pro větrání VIP boxů jsou v objektu navrženy dvě vzduchotechnické jednotky. Důvodem použití dvou jednotek je rozdělení VIP boxů do 2 zón, přičemž každá z těchto zón je větrána centrální jednotkou navrženou na přívod minimálního hygienického množství vzduchu. Při vstupu do jednotlivých boxů je potrubí osazeno regulátorem průtoku a uzavírací klapkou. V případě, že nebudou všechny boxy využity najednou, je centrální zařízení doplněno individuálním větráním jednotlivých VIP boxů.

Čerstvý vzduch je do prostoru boxu přiváděn ze vzduchotechnické jednotky umístěné na střeše 3. NP. a k jeho distribuci slouží trubní rozvody zakryté akustickým podhledem. Pro koncové prvky přívodního potrubí je využita dvojice vířivých anemostatů zapuštěných do podhledu. Odtah znečištěného vzduchu je skrze hygienické zázemí jednotlivých VIP boxů. Dveře mezi jednotlivými místnostmi jsou osazeny mřížkami pro umožnění proudění vzduchu, v prostorech WC a sprch jsou umístěny dva talířové ventily pro odtah znečištěného vzduchu [4].



4.19 - Přívod vzduchu do prostoru VIP boxu [24]



4.20 - Odvodní talířové ventily z VIP boxu [24]

4.2.5.4 Restaurace

Kapacita restaurace je navržena pro 200 osob a personál. Jednotky obsluhující tento prostor jsou umístěny ve strojovně ve 3. NP. Trubní vedení v tomto prostoru je vedeno v podhledu a koncové prvky jsou umístěny tak, aby lícovaly se spodní hranou. Poměr pro směšování přiváděného vzduchu je určován pomocí čidla určujícího kvalitu vzduchu. Pro přívod vzduchu jsou určeny vířivé anemostaty a pro odvod odvodní anemostaty ve tvaru obdélníkové mřížky [4].



4.21 - Přívod a odvod vzduchu v prostoru restaurace [24]

4.3 Celkové zhodnocení nuceného větrání

Nucené větrání je aktuálně nejpoužívanější systém větrání ve sportovních halách. Hlavní výhodou tohoto způsobu provětrávání je možnost zpětného využívání tepla. Díky tomuto principu je možné docílit snížení spotřeby energií na vytápění a celkový chod haly. Jako další velkou výhodou tohoto systému vidím možnost úpravy vzduchu a také variabilitu množství protékajícího vzduchu dle využití jednotlivých zón či sektorů. Všechny uvedené realizace v předešlé kapitole jsou navrženy na přetlak v prostoru sportovní plochy a podtlak v okolních místnostech. Tímto principem je zabráněno pronikání znečištěného (vlhkého) vzduchu do prostor sportoviště.

5. Závěr

Cílem této práce bylo seznámení s jednotlivými způsoby větrání a jejich následné využití v praxi. V rámci sportovních hal a prostor pro diváky je mnoho způsobů, jak efektivně větrat. Nedá se tedy říct, který je pro daný objekt nejlepší bez zohlednění jejich funkční naplně, využití, popřípadě jejich kapacity. Při návrhu systému je nutné brát v potaz všechny tyto faktory, proto je každá z výše ukázaných realizací svým způsobem originální.

Na tuto studii navazuje projektová část, kde je proveden kompletní návrh nuceného rovnotlakého větrání pro multifunkční sportovní halu ve Světlé nad Sázavou. Pro návrh byly využity informace nabyté na základě vypracování této textové části.

6. Seznam zkratek

N.R. neutrálná rovina

NP. nadzemní podlaží

VZT vzduchotechnika

VZTJ vzduchotechnická jednotka

Vč. včetně

Tj. to jest

ZZT zpětné získávání tepla

Kap. kapitola

CO₂ Oxid uhličitý

VOC těkavé organické látky (Volatile Organic Compound)

VIP z angličtiny „very important person“, v překladu „velmi důležitá osoba“

7. Seznam obrázků

Použité zdroje obrázků jsou uvedené v popisu v hranatých závorkách a odkazují na citovanou literaturu.

3.1 - Účinek vztlaku v letním a zimním období vztažen k N.R. [6]

3.2 - Oblasti přetlaku a sání způsobené prouděním větru [6]

3.3 - Princip aerace [6]

3.4 - Princip proudění vzduchu okenní štěrbinou [9]

3.5 - Akustická okenní štěrbinová [9]

3.6 - Princip šachtového větrání [6]

3.7 - Princip s rotačními hlavicemi [8]

3.8 - Provětrávání oknem [5]

3.9 - Přirozené větrání sportovních hal [10]

3.10 - Přibližná cena provozu větracích systémů [11]

3.11 - Spotřeba energie různých systémů větrání [11]

3.12 - Hala Maréchon ve Švýcarsku [11]

3.13 - Otvory navržené pro přirozené větrání [14]

3.14 - Princip přirozeného větrání v letním období [12]

- 3.15 - Princip přirozeného větrání v zimním období [12]
- 3.16 - Princip přirozeného proudění vzduchu v hale [10]
- 3.17 - Podrobné schéma proudění vzduchu v hale způsobené přirozeným větráním [10]
- 4.1 - Princip nuceného podtlakového větrání [15]
- 4.2 - Princip nuceného přetlakového větrání [15]
- 4.3 - Lokální vzduchotechnická jednotka RoofVent [16]
- 4.4 - Princip nuceného centrálního systému [17]
- 4.5 - Odvodní mřížka vzduchu sportovní haly [18]
- 4.6 - Schéma přívodu a odvodu vzduchu v prostoru haly [18]
- 4.7 - Odvodní talířové ventily v hygienickém zázemí [18]
- 4.8 - Schéma proudění vzduchu mezi místnostmi pomocí mřížek ve dveřích [18]
- 4.9 - Přívod a odvod vzduchu v prostoru haly (foto z tribuny) [19]
- 4.10 - Přívod a odvod vzduchu v blízkosti tribuny [19]
- 4.11 - Odvodní talířový ventil v prostoru hygienického zázemí [18]
- 4.12 - Prostory pro občerstvení [18]
- 4.13 - Schéma přívodu vzduchu v prostoru sportovní haly Pěšany [21]
- 4.14 - Rozmístění koncových prvků ve společných prostorech [21]
- 4.15 - Schéma větrání sportoviště včetně tribuny [21]
- 4.16 - Schéma přívodu a odvodu vzduchu v hale v Řepích [23]
- 4.17 – Werk arena Třinec tribuna [24]
- 4.18 - Schéma přívodu a odvodu vzduchu pro prostor haly a hlediště Werk areny [24]
- 4.19 - Přívod vzduchu do prostoru VIP boxu [24]
- 4.20 - Odvodní talířové ventily z VIP boxu [24]
- 4.21 - Přívod a odvod vzduchu v prostoru restaurace [24]

8. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Veličiny

Tabulka 2 - Veličiny

Tabulka 3 - Veličiny

9. Citovaná literatura

- [1] *AirProject: Bytové a komerční větrání* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://airproject.cz/bytove-a-komercni-vetrani/>
- [2] MATHAUSEROVÁ, Ing. Zuzana. *TZB-info* [online]. Praha, 2006 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/3608-prirozene-vetrani-infiltrace-a-exfiltrace>
- [3] ING. ADAMOVSÝ, PH.D., Daniel. *Úvod do problematiky větrání*. Praha. Prezentace. ČVUT.
- [4] BC. FEJFAR, Vítězslav. *Vzduchotechnika a ochlazování stavby. Atelier Vyšehrad s. r. o.* [online]. 2014, , 3 [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/vzduchotechnika-a-ochlazovani-stavby/>
- [5] *EkoWatt* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/vetrani/25-prirozene-vetrani.html>
- [6] ADAMOVSÝ, Daniel Ing., Ph.D. *TZ02 - Přirozené a hybridní větrání, principy návrhu.* [online]. Praha [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tb2/prednasky/125tb2-01.pdf?dt=1613732015>. Prezentace. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.
- [7] *KONCEPT VĚTRÁNÍ* [online]. Praha 4: Česká komora lehkých obvodových plášťů, 2017 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/stavebni-vyrobky/2017/10/Koncept-vetrani_KV-final-HKCR.pdf?fbclid=IwAR05Ov6b7qkChnuZS63vK2IQenN_jlJUtHCY_xhHoEHICpvL_XzeQL4F_iA
- [8] ING. CIFRINEC, PH.D., MBA, Ivan. *Větrání bytových domů - Základy teorie větrání: ELEKTRODESIGN ventilátory* [online]. 2010 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/6507-vetrani-bytovych-domu-zaklady-teorie-vetrani#2>
- [9] *Bristec s. r. o.* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.bristec.cz/eha2>

- [10] SUSTAINABILITY NTU Sports Hall. *THE SINGAPORE ENGINEER* [online]. 2015, (074), 11 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: https://www3.ntu.edu.sg/CorpComms2/Documents/2015/07_Jul/SingaporeEngineer_150727_NTU%20Sports%20Hall.pdf
- [11] MORTEN, Stender Christensen. *Natural Ventilation with Heat Recovery and Cooling* [online]. 2014, , 9 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267865679_Natural_Ventilation_with_Heat_Recovery_and_Cooling
- [12] ACCILI, Alessia. *Natural ventilation strategies for nearly-Zero Energy Sports Halls* [online]. STOCKHOLM, 2016 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1071089/FULLTEXT01.pdf>. Diplomová práce. KTH School of Industrial Engineering and Management. Vedoucí práce Jaime Arias Hurtado.
- [13] *Natural ventilation solution specified for sports complex* [online]. , 1 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.buildingtalk.com/natural-ventilation-system-specified-for-sport-complex/>
- [14] *Expansion of the school and the new Moréchon 2 gym in Savièse* [online]. 2017 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.batidoc.ch/projet/agrandissement-de-lecole-et-de-la-nouvelle-salle-de-gym-morechon-2-a-saviese/582338>
- [15] ADAMOVSÝ, PH.D., Ing. Daniel. *Nucené větrání, proudění vzduchu v potrubí, teplovzdušné vytápění. Bytové větrání.* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tb2/prednasky/125tb2-03.pdf?dt=1616107383>. Prezentace. ČVUT.
- [16] HOVAL. *RoofVent®* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.hoval.cz/produkty/roofvent/>
- [17] *Centrální vs. decentralní vzduchotechnické systémy* [online]. Hoval spol. s r.o., 2015 [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/prumyslova-vzduchotechnika/12560-centralni-vs-decentralni-vzduchotechnicke-systemy>
- [18] *Sportovní hala Červená voda* [online]. [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.sportovnihala-cervenavoda.cz/>

- [19] ING. SVOBODA, Jan. *Městská hala Modřice* [online]. Praha [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/en/b/mestska-hala-modrice>
- [20] *Hala s palubkou* [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.mestskahala-modrice.cz/node/15>
- [21] *Národní sportovní centrum Prostějov* [online]. 2018 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://atelier-r.cz/portfolio/narodni-sportovni-centrum-prostejov/>
- [22] *Národní sportovní centrum v Prostějově* [online]. 2018 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/narodni-sportovni-centrum-v-prostejove>
- [23] *Sportovní centrum Řepy* [online]. Praha [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://sc-repy.cz/sportovni-hala/>
- [24] Werk Arena. In: [Http://werkarena.cz/](http://werkarena.cz/) [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <http://werkarena.pano3d.cz/>

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

PROJEKTOVÁ ČÁST – NÁVRH NUCENÉHO VĚTRÁNÍ SPORTOVNÍ HALY



Předmět: 125BAK

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Vypracoval: Tomáš Jucovič, dne 20.4.2021

Obsah

Příloha č. 2 – Projektová část – Návrh nuceného větrání sportovní haly.....	1
1. Účel objektu, funkční náplň.....	1
2. Architektonické, výtvarné, materiálové a dispoziční řešení.....	1
3. Kapacitní údaje.....	3
4. Koncept větrání.....	3
5. Podklady pro výpočet.....	3
6. Výpočet množství vzduchu pro odvod tepelné zátěže.....	4
6.1 Tepelné zisky z vnějšího prostředí.....	4
6.1.1 Prostup tepla konvekci.....	4
6.1.2 Tepelné zisky sluneční radiací.....	5
6.1.3 Vliv akumulace stavebních konstrukcí.....	6
6.2 Tepelné zisky neprůsvitnými konstrukcemi.....	8
6.3 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla.....	10
6.3.1 Tepelný zisk od lidí.....	10
6.3.2 Tepelné zisky od svítidel.....	11
6.3.3 Tepelný zisk od technologií.....	12
6.4 Tepelné zisky celkem.....	12
6.5 Rozdělení tepelných zisků do zón.....	13
6.6 Výpočet množství čerstvého vzduchu dle přítomných osob.....	14
6.7 Výpočet množství přiváděného vzduchu pro odvod tepelné zátěže.....	15
6.8 Výpočet množství cirkulačního vzduchu.....	15
6.9 Rozdělení množství větracího vzduchu dle jednotlivých zón.....	16
7. Výpočet množství čerstvého vzduchu dle počtu osob.....	17
7.1 Základní předpoklady pro návrh větrání.....	17
7.2 Množství větracího množství vzduchu dle počtu přítomných osob.....	17
7.2.1 Zóna 1.....	17
7.2.2 Zóna 2.....	19

7.2.3	Zóna 3	20
7.2.4	Zóna 4	21
7.3	Výsledné množství vzduchu pro návrh VZT jednotek pro jednotlivé zóny	23
8.	Návrh dimenzí potrubí.....	23
8.1	Výpočet tlakových ztrát v potrubí	23
8.1.1	Tlaková ztráta třením	23
8.1.2	Tlaková ztráta místními odpory.....	25
8.2	Popis vzduchotechnických jednotek	25
8.2.1	Zóna 1	26
8.2.2	Zóna 2	26
8.2.3	Zóna 3, 4	27
9.	Rozvod čerstvého vzduchu	28
9.1	Prostory zázemí	28
9.2	Prostor haly	28
10.	Rozvod odpadního vzduchu	29
10.1	Prostory zázemí	29
10.2	Prostor haly	30
11.	Protihluková a anti-vibrační opatření.....	30
12.	Protipožární opatření	30
13.	Regulace	31
14.	Hala – Zóna 1	31
15.	Zázemí – Zóna 2, 3, 4.....	31
16.	Ostatní profese.....	31
16.1	Vytápění.....	31
16.2	Stavební úpravy	32
16.3	Elektro a regulace.....	32
17.	Izolace a povrchové úpravy	34
18.	Závěr	34

19.	Seznam příloh:.....	34
20.	Seznam tabulek:.....	34
21.	Seznam obrázků	36
22.	Seznam zkratk:.....	36
23.	Indexy	36

Projektová část – Návrh nuceného větrání sportovní haly

V rámci projektové části bude řešena problematika nuceného větrání sportovní haly nacházející se v severních Čechách ve městě Světlá nad Sázavou. Hala je primárně určena pro využití školy, ale nelze vyloučit pořádání kulturních akcí a sportovních událostí.

1. Účel objektu, funkční náplň

Objekt je navržen jako multifunkční sportovní hala. Hlavní funkce objektů je provoz sportovních aktivit. V objektu budou umístěny šatny, nářadovny, umývárny, WC, prostor pro občerstvení a tribuna pro diváky. Zařízení haly bude rozprostřeno do dvou sousedících přístaveb. Parkovací stání jsou pouze venkovní, celkem 48 parkovacích míst.

2. Architektonické, výtvarné, materiálové a dispoziční řešení

Architektonické řešení je podřízeno funkčnímu využití navrhovaného objektu. Objekt sportovní haly se zázemím lze rozčlenit do čtyř částí. První z nich je vlastní sportovní hala půdorysného rozměru cca 31,6 m x 47,3 m (modulově 9 x 5,20 m). Světlá výška haly je minimálně 9,42 m až 10,5m. Druhou část tvoří vstupní dvojpodlažní objekt přiléhající k hale z východní strany. Třetí část navržená jako jednopodlažní objekt, přiléhá k hale po celé délce z jižní strany a provozně je spojen dvoupodlažním propojovacím krčkem; s nadzemními podlažími vstupní části na východní straně a na západní straně propojovacím krčkem s budovou stávajícího pavilonu školy. Čtvrtá část je prostor zázemí nacházející se pod hlavní tribunou. Stavba haly je situována na části současného venkovního hřiště školy, mezi ulicí Komenského a budovami školského areálu. Z hlediska architektonického je počítáno s výrazovým pohledovým uplatněním nosné dřevěné konstrukce střechy haly v kombinaci s dřevěným obkladem části fasády modřínovými lamelami v surovém – přírodním provedení, se sloupy s imitací pohledového betonu. Výplně otvorů jsou navrženy v hliníkovém profilu, v odstínu RAL 1035.

Nosná konstrukce vlastní sportovní haly je řešena železobetonovou konstrukcí sloupů a průvlaků, založenou na základových patkách. Nosná dřevěná konstrukce střechy v podobě přímopasých dřevěných lepených vazníků je pohledově přiznaná interiéru i exteriéru haly. Lepené vazníky jsou navrženy na osový rozpon 30,9m v příčném směru, v podélném směru osově vzdáleny 5,2m. Štítové stěny jsou vyzděny z keramického zdiva tl. 440 mm, prostorově ztuženy sloupovými a vodorovnými ztužidly. Vlastní hala je zastřešena pultovou střechou s 2 % sklonem, zatepleným střešním pláštěm, s krytinou z PVC folie. Hala bude založena na základových pasech a patkách do bezpečně únosného rostlého terénu. Interiér haly bude vybaven profesionální sportovní palubovou podlahou na

odpruženém roštu s finálním povrchem PUR, dřevěnými obklady do výše cca 3,4m, akustickým minerálním podhledem a akustickými obklady stěn.

Dvojpodlažní vstupní objekt je navržen systémem zděného podélného jednotraktu. Stropní konstrukce jsou navrženy železobetonové-panely Spiroll. Zastřešení vstupního objektu je navrženo rovnou střechou s vnitřními střešními svody, odvodněným podtlakovým odvodňovacím systémem.

Objekt bude založen systémem základových pasů, sloupové prvky budou založeny na patkách. Objekt šaten je navržen pouze přízemní, vyzdřený z keramického zdiva. Konstrukce hlavní tribuny je navržena železobetonová prefabrikovaná. Zastřešení bude provedeno obdobným systémem jako u vstupního objektu. Základové konstrukce této části stavby budou řešeny rovněž základovými pasy.

V některých místnostech, označených v legendě místností, budou instalovány podhledy. Ty budou provedeny zavěšeným rastrovým podhledem se zapuštěným viditelným roštem. V závislosti na charakteru místnosti bude akustický, s voděodolnými kazetami či s obyčejnými kazetami. Světelná odrazivost kazet min. 83 %. Podhled nad sportovní plochou musí odolat požární odolnosti min. EI 15 a zároveň musí splňovat akustické požadavky. Tomuto řešení odpovídá navržené řešení ze zavěšených desek Cetris tl. 12 mm na CD profilech a na tento podhled bude namontovaný akustický podhled z minerálních desek, o celkové tl. 40 mm. Sportovní plocha musí být instalován akustický stěnový obklad. Tento je umístěn přibližně ve výšce 6,65 m od čisté podlahy. Jednotlivé panely mají rozměr 1200x2700 mm. Celková plocha akustických panelů je 162 m² (50 ks panelů).

Nosné konstrukce budou provedeny ze železobetonu, ostatní svislé konstrukce budou tvořit vyzdívky. ŽB části obvodového pláště budou zatepleny kontaktním systémem a omítnuty.

Dřevěné vazníky jsou navrženy z lepeného lamelového dřeva třídy GLC28h. Staticky uvažované jako prostý nosník na rozpon 30,9m. Osově jsou vzdáleny 5,2m. Uložení vazníku na ŽB sloupy jsou navrženo jako klubové, aby nedocházelo k přenosu ohybových momentů. Ostatní dřevěné prvky z rostlého vysušeného dřeva třídy S24, nejlépe ze zimní těžby. Svorníky připojující kotevní desky vazníku v uložení na sloupy budou provedeny v kvalitě třídy jakosti 8.8, ostatní svorníky mohou být provedeny v kvalitě 5.6, všechny svorníky budou pozinkovány. Pro spojení dřevěných prvků budou použity vaznice prostě uložené pomocí úhelníků a trámové botky s příslušným spojovacím materiálem, schváleným jejich dodavatelem. Přesné rozměry vazníku jsou 240x1500mm a na stavbu jsou dopravovány jako jeden celek. Mezi vazníky jsou ocelové trubky na vzdálenost 220 mm, které zajišťují jejich stabilitu.

Schodiště je navrženo jako železobetonový prefabrikát, osazovaný na ozuby monolitických desek podest.

±0,000 = 414,50 m n. m. Bpv

3. Kapacitní údaje

Sportovní hala 2 050 m² /22 397 m³

chodníky 630 m²

parkoviště 837 m²

kapacita šaten 6x15míst 90 osob

kapacita občerstvení 20 míst

kapacita tribuny pro diváky k sezení..... 161 osob

kapacita tribuny pro diváky na stání..... 52

osob kapacita tribuny pro vozíčkáře..... 6 osob

4. Koncept větrání

Vzhledem k charakteru objektu a způsobu jeho využívání byl objekt rozdělen do 4 zón (sportoviště, přístavba dvoupodlažní, jednopodlažní přístavba, zázemí pod tribunou). Jednotlivé zóny budou spravovat samostatné vzduchotechnické jednotky. V rámci návrhu budou navrženy tedy čtyři. Tento princip byl zvolen k maximální možnosti variability přiváděného vzduchu v závislosti na jeho využití. Navržené jednotky budou schopny chlazení a ohřevu přiváděného vzduchu pro pokrytí tepelných ztrát způsobených větráním, ale tato problematika není součástí zadání.

Jednotky budou také vybaveny technologií zpětného získávání tepla pro dosažení minimálních tepelných ztrát větráním. Výstup této práce je návrh množství čerstvého vzduchu pro zajištění maximálního komfortu. Teplovzdušné vytápění a chlazení není předmětem této práce. Výchozí hodnoty pro návrh chlazení vypočteny byly, ale dále s nimi nebylo uvažováno.

5. Podklady pro výpočet

- a. Stavební výkresová dokumentace
- b. Zákony a nařízení vlády, vyhlášky

- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
 - Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- c. Normy ČSN a EN
- ČSN 73 4108 - Hygienická zařízení a šatny
 - ČSN 12 7010 - Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení
 - ČSN EN 16798-3 Energetická náročnost budov - Větrání budov - Část 3
 - ČSN EN 15780 – Čistota vzduchotechnických zařízení
 - ČSN 73 0872 Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení
 - ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- d. Podklady výrobců
- <https://www.atrea.com/>
 - <https://www.mandik.cz/>
 - <http://www.elektrodesign.cz/>

6. Výpočet množství vzduchu pro odvod tepelné zátěže

Výpočet tepelné zátěže je proveden dle ČSN 73 0548 ve slunný den 21. července.

6.1 Teplené zisky z vnějšího prostředí

6.1.1 Prostup tepla konvekcí

Obalová konstrukce stavby je tvořena dvěma typy fasád, které se liší svými tepelně technickými vlastnostmi. Fasády přístaveb jsou tvořeny nosným zdívkem tl. 450 mm s plastovými okny s trojskly. Obalová konstrukce samotné haly je tvořena ŽB skeletem s výplňovým zdívkem mezi jednotlivými sloupy tl. 450 mm a plastovými okny s trojskly.

Použitý vzorec:

$$Q_{ok} = U_o \times S_o \times (t_e - t_i) \quad (6.1)$$

Veličiny:

Název veličiny	značka	jednotka	hodnota	poznámka
Tepelný zisk konvekci	Q_{ok}	W	-	
Součinitel prostupu tepla oknem	U_{01}	W/(m ² .K)	0,5	
Součinitel prostupu tepla světlíkem	U_{02}	W/(m ² .K)	1,4	
Součinitel prostupu tepla dveřmi	U_{03}	W/(m ² .K)	2,3	
Plocha okna	S_{01}	m ²	161,4	
Plocha světlík	S_{02}	m ²	29,4	
Plocha dveře	S_{03}	m ²	28,84	
Výpočtová teplota v exteriéru	t_e	°C	32	
Výpočtová teplota v interiéru	t_i	°C	22	

Tabulka 1 - Veličiny

Výpočet:

$$Q_{ok} = U_{0n} \times S_{0n} \times (t_e - t_i) = [(0,5 \times 161,4 + 1,4 \times 29,4 + 2,3 \times 28,84) \times (32 - 22)] = 7851,8W$$

Výsledek:

Teplo získané prostupem okny, světlíky a dveřmi bylo výpočtem stanoveno na 7851,8 W.

6.1.2 Tepelné zisky sluneční radiací

Tepelné zisky získané pomocí difúze sluneční radiace jsou pro výpočet zanedbány.

Použitý vzorec:

$$Q_{or} = (S_{so} \times I_0 \times c_0) \times s \quad (6.2)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	Poznámka
Tepelný zisk sluneční radiací	Q_{OR}	W	neznáma	viz. výpočet
Osluněný povrch okna/světlík	S_{OS}	m ²	neznáma	viz. tab
Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením	I_0	W/m ²	neznáma	viz. tab
Korekce na čistotu atmosféry	c_0	-	0,85	Pro městskou část a průmysl
Stínící součinitel	s_1	-	0,6	trojsklo
	s_2	-	0,13	vnější žaluzie, lamely 45°, ven jasné dovnitř tmavé
	s	-	0,078	$s = s_1 \times s_2$

Tabulka 2 - Veličiny

Výpočet:

hodina	$I_{o,sz}$ [W/m ² K]	S_{os1} [m ²]	$I_{sol,sz}$ × S_{os1}	$I_{sol,jv}$ [W/m ² K]	S_{os2} [m ²]	$I_{o,jv}$ × S_{os2}	$I_{o,hor}$ [W/m ² K]	S_{sv3} [m ²]	$I_{o,hor}$ × S_{sv3}	S_{sv3} × $I_{o,hor}$	$Q_{or,i}$ [W]
8	100	0	0	452	107,5	48590	397	29,4	11671,8	60261,8	3995,4
9	117	0	0	511	107,5	54932,5	534	29,4	15699,6	70632,1	4682,9
10	130	0	0	506	107,5	54395	640	29,4	18816	73211	4853,9
11	139	0	0	437	107,5	46977,5	706	29,4	20756,4	67733,9	4490,8
12	141	0	0	316	107,5	33970	739	29,4	21726,6	55696,6	3692,7
13	139	0	0	185	107,5	19887,5	706	29,4	20756,4	40643,9	2694,7
14	135	25	8025	130	0	0	640	29,4	18816	26841	1779,6
15	217	25	9025	117	0	0	534	29,4	15699,6	24724,6	1639,2
16	321	25	7175	100	0	0	397	29,4	11671,8	18846,8	1249,5
17	361	25	2125	78	0	0	249	29,4	7320,6	9445,6	626,2
18	287	25	7175	53	0	0	122	29,4	3586,8	10761,8	713,5
19	85	25	2125	24	0	0	41	29,4	1205,4	3330,4	220,8
celkem										462129,5	30639,2

Tabulka 3 - Výpočet tepelných zisků sluneční radiací

$$Q_{or} = (S_{os} \times I_o \times c_0) \times s = 294\,402,5 \times 0,85 \times 0,078 = 30639,2 \text{ W}$$

Výsledek:

Teplo získané sluneční radiací bylo výpočtem stanoveno na 30 693,2 W.

6.1.3 Vliv akumulace stavebních konstrukcí

Použité vzorce:

$$\Delta Q = 0,05 \times M \times \Delta T \quad (6.2)$$

$$Q_{orm} = \frac{\Sigma Q_{ori}}{n} \quad (6.3)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	Poznámka
Snížení maximální hodnoty tepelných zisků od oslunění	ΔQ	W	neznámá	
Hmotnosti obvodových stěn místnosti (bez vnější stěny), podlahy a stropu, které přicházejí v úvahu pro akumulaci	M	kg	neznámá	
Maximální přípustné požadované překročení teploty v klimatizovaném prostoru	Δt	K	1	
Průměrné tepelné zisky radiací za dobu provozu řešeného prostoru	Q_{orm}	W	neznámá	
Dílní tepelné zisky radiací za dobu provozu řešeného prostoru v jednotlivých hodinách provozu	Q_{ori}	W	neznámá	
Počet hodin provozu řešeného prostoru	n	-	11	od 8:00 -19:00
Maximální zátěž solární radiací oknem	$Q_{or,max}$	W	neznámá	

Tabulka 4 - Veličiny

Výpočet:

Tabulka 5 - Výpočet vlivu tepelné akumulace objektu

	tloušťka	plocha	měrná hmotnost	hmotnost
	t_R [m]	S [m ²]	ρ [kg/m ³]	m [kg]
stěna tl.300mm	0,08	522,29	750	31337,4
stěna tl.125mm	0,0625	72,4	660	2986,5
podlaha - hala (1/2)	0,2	1200	1000	120000
podlaha - zázemí (1/2)	0,2	866,53	2200	190636,6
celkem				344960,5

$$\Delta Q = 0,05 \times M \times \Delta T = 0,05 \times 344\,960,5 \times 1 = 17\,248,025\,W \quad (6.4)$$

$$Q_{orm} = \frac{\Sigma Q_{ori}}{n} = \frac{30\,639,2}{11} = 2\,785,38\,W \quad (6.5)$$

$$Q_{or,max} - \Delta Q = 30\,693,2 - 17\,248,025 = 13\,445,175\,W$$

$$Q_{or,max} - \Delta Q > Q_{orm} \quad (6.6)$$

$$13\,445,175\,W > 2\,785,38\,W$$

Dále je do výpočtu použita hodnota:

$$Q_{or,max} - \Delta Q = 13\,445,175\text{ W}$$

Výsledek:

Při zohlednění akumulace vnitřních stěn a podlahy se snížily zisky sluneční radiací na hodnotu 13 445,175 W.

6.2 Tepelné zisky neprůsvitnými konstrukcemi

Pro výpočet uvažují pouze stěny na jižní, jihovýchodní a jihozápadní straně. Také je do výpočtu zahrnuta střecha haly a přístaveb.

Veličiny:

název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	Poznámka
tepelný zisk	Q_{st+s}	W	neznámá	
součinitel prostupu tepla střechou	U_{st}	W/(m ² .K)	0,16	Normové hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{n,20}$ dle ČSN 73 0540-2:2011
součinitel prostupu tepla obvodovou stěnou	U_s	W/(m ² .K)	0,25	Normové hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{n,20}$ dle ČSN 73 0540-2:2011
plocha 1	S_1	m ²	1995,6	
plocha 2	S_2	m ²	1373,942	
průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin	t_{rm}	°C		průměr za celý den
Výpočtová teplota v interiéru	t_i	°C	22	
Rovnocenná sluneční teplota	t_r	°C	neznámá	
Intenzita přímé a difúzní sluneční radiace dopadající na stěnu	I	W	viz. tab	zanedbáno
Výpočtová teplota v exteriéru	t_e	°C	32	
součinitel proměnné tepelné pohltivosti pro sluneční radiaci	ε	/	0,7	hodnota pro písek
Součinitel prostupu tepla na vnější straně stěny	α_e	W/(m ² .K)	15	

Tabulka 6 - Veličiny

Použité vzorce:

$$Q_s = U \times S \times (t_{rm} - t_i) \quad (6.7)$$

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon \times I}{\alpha_e} \quad (6.8)$$

Výpočet:

střecha

Hodiny	intenzita 21. června $I_{0,HOR}$ [W/m ² K]	t_r [°C]
1	397	50,5
2	534	56,9
3	640	61,9
4	706	64,9
5	739	66,5
6	706	64,9
7	640	61,9
8	534	56,9
9	397	50,5
10	249	43,6
11	122	37,7

Tabulka 7 - Intenzita slunečního záření na střechu

stěna JZ

Hodiny	intenzita 21. června $I_{0,jz}$ [W/m ² K]	t_r [°C]
1	100	36,7
2	117	37,5
3	130	38,1
4	185	40,6
5	316	46,7
6	437	52,4
7	506	55,6
8	511	55,8
9	452	53,1
10	335	47,6
11	180	40,4

Tabulka 8 - Intenzita slunečního záření na JZ stěnu

stěna JV

Hodiny	intenzita 21. června $I_{0,jv}$ [W/m ² K]	t_r [°C]
1	452	53,1
2	511	55,8
3	506	55,6
4	437	52,4
5	316	46,7
6	185	40,6
7	130	38,1
8	117	37,5
9	100	36,7
10	78	35,6
11	53	34,5

Tabulka 9 - Intenzita slunečního záření na JV stěnu

$$t_{rm,HOR} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_{ri} = 56 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6.9)$$

$$t_{rm,JZ} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_{ri} = 45,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{rm,JV} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_{ri} = 44,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= U \times S \times (t_{rm} - t_i) \\ &= 0,16 \times 1995,6 \times (56 - 22) \\ &+ 686,97 \times 0,25 \times (45,9 - 22) \\ &+ 686,97 \times 0,25 \times (44,2 - 22) = \mathbf{18\ 733,4\ W} \end{aligned} \quad (6.10)$$

Výsledek:

Tepelný zisk z osluněných stěn a střechy je roven 18 733 W.

6.3 Tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla

6.3.1 Tepelný zisk od lidí

Tribuna haly je navržena na kapacitu 200 diváků a prostor haly přibližně pro 40 sportovců. V hale také bude přítomný pomocná personál přibližně 10 osob (trenéři, rozhodčí, zdravotníci). Předpokládané složení je 50% muži, 40% ženy a 10% děti. Jedná se o maximální vytížení haly, které se předpokládá v den sportovního zápasu, tedy o víkendu. Za běžného provozu bude předpokládané obsazení haly čtvrtinové.

Použité vzorce:

$$Q_{os} = i_{os} \times 6,2 \times (36 - t_i) \quad (6.11)$$

$$i_{os} = 0,85 \times i_z + i_m + 0,75 \times i_d \quad (6.12)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	poznámka
Tepelný zisk od lidí	Q_{os}	W	neznámá	
Ekvivalentní počet osob	i_{os}	/	neznámá	
Počet žen	i_z	/	90	
Počet mužů	i_m	/	140	40 sportovci, 100 diváci
Počet dětí	i_d	/	20	
Výpočtová teplota v interiéru	t_i	$^\circ\text{C}$	22	

Tabulka 10 - Veličiny

Výpočet:

$$i_{os} = 0,85 \times i_z + i_m + 0,75 \times i_d = 0,85 \times 90 + 0,75 \times 10 + 140 = 224$$

$$Q_{os} = i_{os} \times 6,2 \times (36 - t_i) = 224 \times 6,2 \times (36 - 22) = \mathbf{19\ 443,2\ W}$$

Výsledek:

Tepelné zisky od lidí byly výpočtem stanoveny na 19 443,2 W.

6.3.2 Tepelné zisky od svítidel

Použité vzorce:

$$Q_{sv} = (P \times S) \times c_1 \times c_2 \quad (6.13)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	poznámka
Tepelný zisk od svítidel	Q_{sv}	W	neznámá	
příkon uvažovaných svítidel	P	W/m ²	5	Uvažují se v min. vzdálenosti 5 m od okna
plocha	S	m ²	1800	
součinitel současnosti svítidel	c_1	/	1	
zbytkový součinitel	c_2	/	0,7	30% vyprodukovaného tepla je ihned odvedeno pomocí VZT

Tabulka 11 - Veličiny

Výpočet:

$$Q_{sv} = (P \times S) \times c_1 \times c_2 = 1800 \times 5 \times 1 \times 0,7 = \mathbf{6300\ W}$$

Výsledek:

Tepelný zisk od svítidel byl pomocí výpočtu stanoven na hodnotu 6300 W.

6.3.3 Tepelný zisk od technologií

V objektu se nachází minimum elektrických spotřebičů produkujících teplo, pro výpočet tepelných zisků objektu je možné je zanedbat.

$$Q_{tech} = c_1 \times c_2 \times c_3 \times \Sigma P = 0 \text{ W} \quad (6.14)$$

Výsledek:

Hodnota tepelných zisků od technologií byla pro výpočet stanovena jako zanedbatelná.

6.4 Tepelné zisky celkem

Největší tepelné zisky jsou v prostoru pro sport. Jedná se o součet tepelných zisků z vnějšího prostředí (prostupem tepla okny konvencí, sluneční radiací, vlivem akumulace stavebních konstrukcí, neprůsvitnými konstrukcemi) a tepelných zisků od vnitřních zdrojů (od lidí, od svítidel). Následující výpočet je proveden celý objekt.

Použité vzorce:

$$Q_{zisk} = \Sigma Q_i = Q_{ok} + Q_{or,max} + Q_s + Q_{os} + Q_{sv} + Q_{tech} \quad (6.15)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	poznámka
Celkový tepelný zisk	$Q_{zátěž}$	W	neznámá	
Tepelný zisk - prostup tepla	Q_{ok}	W	7851,8	
Tepelný zisk sluneční radiací s vlivem akumulace stavebních konstrukcí	$Q_{or,max}$	W	13445,18	
tepelný zisk - střecha/stěna	Q_s	W	18733,4	
tepelný zisk - lidé	Q_{os}	W	19443,2	
tepelný zisk - svítidla	Q_{sv}	W	6300	
tepelný zisk - technologie	Q_{tech}	W	0	

Tabulka 12 - Veličiny

Výpočet:

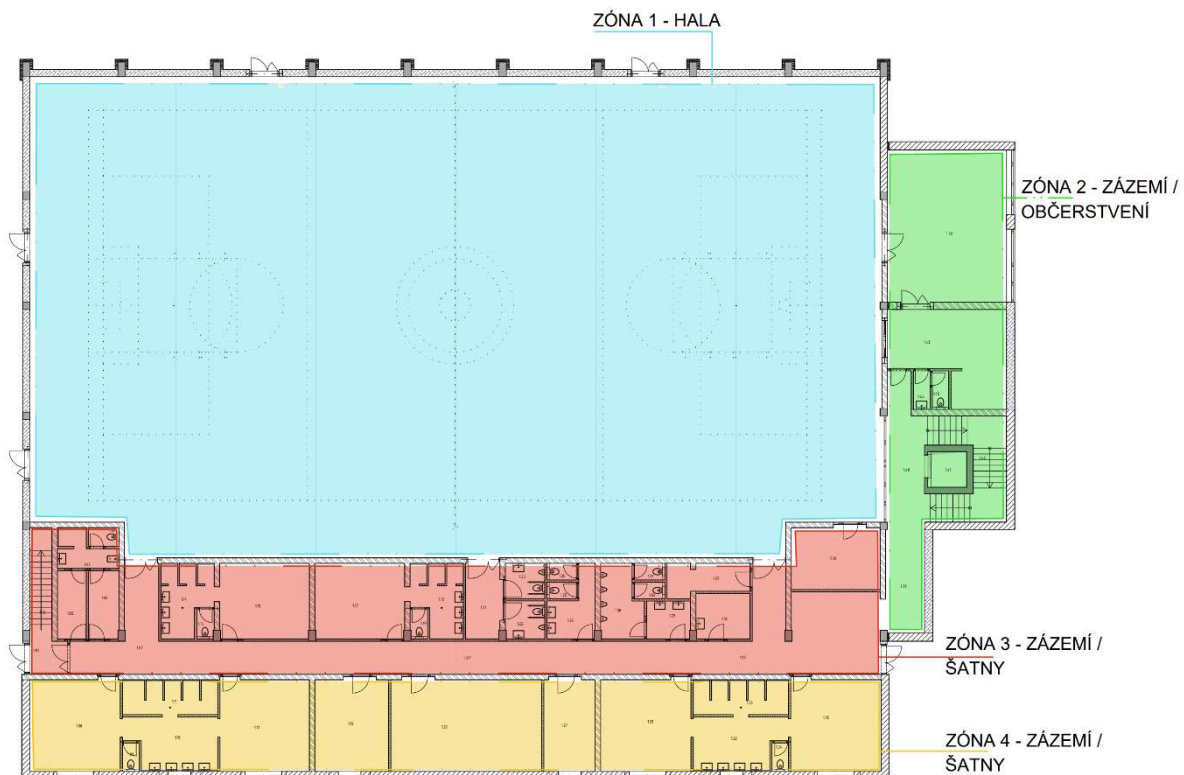
$$\begin{aligned} Q_{zisk} &= \Sigma Q_i = Q_{ok} + Q_{or,max} + Q_s + Q_{os} + Q_{sv} + Q_{tech} \\ &= 7\,851,8 + 13\,445,18 + 18\,733,4 + 19\,443,2 + 6\,300 + 0 = \mathbf{65\,774 \text{ W}} \end{aligned}$$

Výsledek:

Součet jednotlivých tepelných zisků pro celý objekt sportovní haly byl vypočten na hodnotu 65 774 W.

6.5 Rozdělení tepelných zisků do zón

Součet všech tepelných zisků byl rozdělen do 4 zón. Pro každou zónu bude navržena samostatný vzduchotechnický systém.



6.1 - Rozdělení do zón

	zóna 1	zóna 2	zóna 3	zóna 4	celkem
Plocha [m ²]	1515	135	300	235	2185
	69%	6%	14%	11%	100%
Počet osob	150	40	25	35	250
	60%	16%	10%	14%	100%
Tepelný zisk prostupem tepla konvekcí [W]	5444,2	485,1	1078,1	844,5	7851,8
Tepelný zisk sluneční radiací se zohledněním akumulace stavebních konstrukcí [W]	8067,1	0	0	5378,1	13445,18
Tepelný zisk střechou / stěnou [W]	13481,2	1201,3	2669,5	2091,1	19443,2
Tepelný zisk od osob [W]	11240,0	2997,3	1873,3	2622,7	18733,4
Tepelný zisk od svítidel [W]	4368,2	389,2	865,0	677,6	6300,0
Tepelný zisk od technologií [W]	0	0	0	0	0
Celkem [W]	42600,7	5073,0	6485,9	11613,9	65773,6

Tabulka 13 - Rozdělení do zón

6.6 Výpočet množství čerstvého vzduchu dle přítomných osob

Použité vzorce:

$$V_e = p \times V_{p,os} \quad (6.16)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	poznámka
Minimální množství přiváděného vzduchu - čerstvý	V_e	m ³ /h	neznámá	
Počet osob - sportovci	p_1	/	40	
Počet osob - diváci	p_2	/	200	
Počet osob - personál	p_3	/	10	
Minimální množství čerstvého vzduchu	$V_{p,os}$	m ³ /h		
sportovec	$V_{p,os,1}$	m ³ /h	70	
divák	$V_{p,os,2}$	m ³ /h	25	15
personál	$V_{p,os,3}$	m ³ /h	25	

Tabulka 14 - Veličiny

$$V_e = p \times V_{p,os} = 40 \times 70 + 200 \times 25 + 10 \times 25 = \mathbf{8050 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Výsledek:

Výpočtem bylo stanoveno, že do haly je nutné přivést minimálně 8050 m³/h čerstvého vzduchu.

6.7 Výpočet množství přiváděného vzduchu pro odvod tepelné zátěže

Použité vzorce:

$$V_p = \frac{Q_{zisk}}{\rho \times c_v \times (t_i - t_p)} \quad (6.17)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	poznámka
Množství přiváděného vzduchu pro odvod tepelné zátěže	V _p	m ³ /h	neznámá	
Celková tepelná zátěž	Q _{zátěž}	W	65 773,2	
Měrná hmotnost vzduchu	ρ	Kg/m ³	1,2	
Měrná tepelná kapacita vzduchu	c _v	J/(Kg.K)	1010	
Teplota v interiéru	t _i	°C	22	
Teplota v exteriéru	t _p	°C	18	

Tabulka 15 - Veličiny

$$V_p = \frac{Q_{zisk}}{\rho \times c_v \times (t_i - t_p)} = \frac{65\,773,2}{1,2 \times 1010 \times (22 - 18)} = 13,57 \text{ m}^3/\text{s} = 48\,841,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Výsledek:

Výpočtem bylo stanoveno, že minimální množství přiváděného vzduchu pro odvod tepelné zátěže je 48 841,5 m³/h.

6.8 Výpočet množství cirkulačního vzduchu

Použité vzorce:

$$V_p = V_e + V_c \quad (6.18)$$

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	poznámka
Množství přiváděného vzduchu pro odvod tepelné zátěže	V _p	m ³ /h	48 841,5	
Množství čerstvého vzduchu	V _e	m ³ /h	8 050	
Množství cirkulačního vzduchu	V _c	m ³ /h	neznámá	

Tabulka 16 - Veličiny

Výpočet:

$$V_c = V_p + V_e = 48\,841,5 - 8\,050 = 40\,791,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Výsledek:

Dle výpočtu je množství cirkulačního vzduchu v rámci celého objektu rovno 40 791,5 m³/h.

6.9 Rozdělení množství větracího vzduchu dle jednotlivých zón

Název veličiny	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 4	Celkem
Množství přiváděného vzduchu V_p [m ³ /h]	33700,6	2930,49	6 837,8	5372,565	48 841,5
Množství čerstvého vzduchu V_e [m ³ /h]	5554,5	483	1 127,0	885,5	8 050,0
Množství cirkulačního vzduchu V_c [m ³ /h]	28146,1	2447,49	5 710,8	4487,065	40 791,5

Tabulka 17 - Rozdělení do zón

Závěr:

V případě, že by vzduchotechnická jednotka měla plnit i funkci chlazení – byla by navržena dle výše vypočtených hodnot. Tématem této práce je ovšem výpočet čistě pro účely větrání, tudíž se dále ve výpočtu bude uvažovat pouze s hodnotami dle ČSN 73 4108, která předepisuje množství odváděného vzduchu z hygienických prostor.

7. Výpočet množství čerstvého vzduchu dle počtu osob

7.1 Základní předpoklady pro návrh větrání

Vzhledem k různorodosti dispozice objektu, různému časovému a kapacitnímu využití byl objekt rozdělen do čtyř samostatných zón, přičemž každá zóna je obsluhována samostatnou vzduchotechnickou jednotkou. Hlavním důvodem tohoto rozdělení je snaha o zajištění ideálních podmínek a maximální pohody pro sportovce i diváky. Při návrhu je nutné brát v potaz, že hala nebude vždy vytížena v plné míře. Je tedy možné, že k chodu všech čtyř jednotek najednou bude docházet jen ve výjimečných případech.

Všechny navržené vzduchotechnické jednotky budou schopny upravovat teplotu přiváděného vzduchu-ohřev pro pokrytí tepelných ztrát v zimním období a eliminaci tepelných zisků v období letním. Jednotky budou také schopny zpětného využívání tepla, a to pro minimalizaci tepelných ztrát vzniklých větráním.

Vzhledem k zadání této práce se s hodnotami pro výpočet teplovzdušného vytápění a klimatizace nebude dále uvažovat. Cílem této práce je návrh minimálního množství čerstvého vzduchu pro ideální chod celé haly. Vytápění prostoru haly bude zajištěno pomocí sálavých panelů a prostory zázemí pomocí teplovodních otopných těles.

7.2 Množství větracího množství vzduchu dle počtu přítomných osob

Objekt byl pro výpočet rozdělen do 4 zón, přičemž každá zóna má vlastní vzduchotechnickou jednotku.

Uvažované hodnoty pro výpočet:

místnost	Ve [m ³ /h]	pozn.
šatna	20	pro 1 místo
umývárna	30	pro 1 umyvadlo
sprcha	100	pro 1 sprchu
záchod	50	pro 1 kabinku
	25	pro 1 pisoár

Tabulka 18 - Minimální množství čerstvého vzduchu dle ČSN 15665/Z1

7.2.1 Zóna 1

Prostor sportoviště a tribuny bude řešen pomocí rovnotlakého systému pro výměnu vzduchu s možností regulace množství proudícího vzduchu. Proudění přívodního vzduchu v hale bude zajištěno pomocí vířivých stavitelných anemostatů určených pro prostory se světlou výškou vyšší než 3,8m. Jedná se o anemostaty typu VASM 315. Znečištěný vzduch bude odváděn pomocí vestavěných mřížek do hranatého potrubí typu VNM 2A 386x166. Pomocí tohoto systému by mělo

Projektová část – Návrh nuceného větrání sportovní haly

být dosaženo kvalitní výměny vzduchu a dostatečnému provětrání prostoru sportoviště. Plocha pro sport je přímo propojena s tribunou.

č. místnosti	popis	objem	MJ	počet	množství vzduchu	intenzita výměny	celkem
		m ³			m ³ /h	h ⁻¹	m ³ /h
1.00	hala	13800		25	70		1750
2.03	tribuna			125	25		3125
celkem							4875

Tabulka 19 - Minimální množství vzduchu dle počtu osob pro zónu 1

Vzhledem k charakteru využití sportoviště je nezbytné provést výpočet také na základě množství produkce CO₂. Celkové množství větracího vzduchu bude spočteno na základě limitních hodnot koncentrace CO₂. Počítá se s maximální obsazeností haly například v den zápasu, či při kulturních akcích. Hodnoty produkce CO₂ od osob při různých aktivitách jsou vypsány v tabulce níže. Výsledné požadované množství čerstvého vzduchu bude uvažováno jako vyšší z hodnot obou výpočtů.

Produkce CO₂ hráčů a diváků přítomných v hale dle tabulky:

mezí koncentrace CO ₂ ψ_{max}		1200	ppm
koncentrace CO ₂ v přiváděném vzduchu ψ_e		380	ppm
produkce CO ₂ od osob	klidová aktivita	13	l/h
	lehká činnost	19	l/h
	střední činnost	60	l/h
	těžká činnost	77	l/h

Tabulka 20 - Množství produkce CO₂ od osob a mezí koncentrace

Vzorec:

$$m_{co2} = 25 \times 77 + 125 \times 19 = 4300 \text{ l/h} \quad (7.1)$$

Výpočet:

$$V_p = \frac{m_{co2}}{\psi_{max} - \psi_e} = \frac{4300}{(1200 - 380) \times 10^{-3}} = 5243,9 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7.2)$$

Na základě tohoto výpočtu lze stanovit množství přiváděného vzduchu od prostoru tělocvičny:

č. místnosti	popis	objem	přívod V _p	odvod V _o
		m ³	m ³ /h	m ³ /h
1.00	hala	13800	4100	5300
2.03	tribuna		1200	
celkem			5300	5300

Tabulka 21 - Množství čerstvého vzduchu pro splnění požadované koncentrace CO₂

Množství čerstvého vzduchu vypočtené dle limitní koncentrace CO₂ vyšlo vyšší. Vzduchotechnická jednotka pro zónu č. 1 bude navrženo na hodnotu 5300 m³/h.

7.2.2 Zóna 2

Jedná se o dvoupodlažní přístavbu na východní straně haly. Zóna 2 obsahuje prostor pro fitness, občerstvovacího zařízení, kanceláře správce a hygienického zázemí pracovníků restaurace. V tabulce níže je uvedené minimální množství čerstvého vzduchu pro jednotlivé místnosti. V tabulce není uvedeno schodiště a prostor chodby, tam je uvažován častý pohyb osob, tudíž k provětrání dojde přirozeně. Všechny dveře v této zóně jsou bezprahové. V místnosti uvažované pro cvičení je počítáno s hodnotou 70 m³/h na osobu, vzhledem k tomu, že provozují těžkou aktivitu. Množství vzduchu bylo vypočteno na základě charakteru místnosti a maximálnímu počtu přítomných osob.

Celkové množství větracího vzduchu:

č. místnosti	popis	objem	MJ	počet	množství vzduchu	intenzita výměny	celkem
		m ³			m ³ /h	h ⁻¹	m ³ /h
1.46	fitness	137,445		4	70		280
1.43	kancelář	70,635		1	25		25
1.44	umývárna	4,59	umyvadlo	1	30		30
1.45	WC	4,59	kabinka	1	50		50
1.12	občerstvení	137,19		15	25		375
1.16	kuchyň	34,935		2	50		100
1.20	WC	4,59	kabinka	1	50		50
1.27	umývárna	4,59	umyvadlo	1	30		30
1.28	sprcha			1	100		100

Tabulka 22 - Požadované množství čerstvého vzduchu pro zónu 2

Rozdělení na množství přiváděné a odváděné:

č. místnosti	popis	objem	přívod V _p	odvod V _o
		m ³	m ³ /h	m ³ /h
1.46	fitness	137,445	150	280
1.43	kancelář	70,635	50	
1.44	umývárna	4,59		30
1.45	WC	4,59		50
1.12	občerstvení	137,19	390	
1.16	kuchyň	34,935	50	100
1.20	WC	4,59		50
1.27	umývárna	4,59		30
1.28	sprcha			100
celkem			640	640

Tabulka 23 - Rozdělení vzduchu pro přívod a odvod v zóně 2

Vzduchotechnická jednotka pro zónu 2 bude navržena na hodnotu 640 m³/h.

7.2.3 Zóna 3

Zóna 3 je prostor zázemí nacházející se v prostorech haly pod tribunou. V této zóně jsou šatny hráčů i rozhodčích, WC, sprchy, sklady a nářadovny. Prostory pro nářadí a sklady budou větrány pomocí mřížek ve dveřích, všechny dveře v této zóně jsou navrženy jako bezprahové. Koncepce tohoto systému je navržena na přívod čerstvého vzduchu do šaten a odvod vzduchu znečištěného přes WC a sprchy.

Celkové množství větracího vzduchu:

č. místnosti	popis	objem	MJ	počet	množství vzduchu	intenzita a výměny	celkem
		m ³			m ³ /h	h ⁻¹	m ³ /h
1.02	šatna	14,943		1	20		20
1.03	koupelna	13,515	umyvadlo, sprcha	1;1	30;100		130
1.05	WC	4,335	kabinka	1	50		50
1.06	šatna	14,943		1	20		20
1.14	umývárna	16,32	umyvadlo, sprcha	3;3	30;100		390
1.15	WC	5,61	kabinka	1	50		50
1.13	šatna	52,275		14	20		280
1.17	šatna	52,275		14	20		280
1.18	umývárna	16,32	umyvadlo, sprcha	3;3	30;100		390
1.19	WC	7,14	kabinka	1	50		50
1.22	WC	10,965	kabinka; umyvadlo, pisoár	1;1;1	50;20;25		95
1.23	WC	10,455	kabinka; umyvadlo, pisoár	1;1;1	50;20;25		95
1.24	umývárna	13,77	umyvadlo	2	30		60
1.25	WC	3,4425	kabinka	1	50		50
1.26	WC	3,4425	kabinka	1	50		50
1.29	umývárna	15,555	umyvadlo	4	30		120
1.30	WC	4,335	posiár	4	25		100
1.31	WC	8,67	kabinka	1	50		50
1.36	zdravotník	18,615		1	50		50
1.37	úklidová k.	18,36				0,3	20

Tabulka 24 - Množství čerstvého vzduchu pro zónu 3

Rozdělení na množství přiváděné a odváděné:

č. místnosti	popis	objem	přívod V_p	odvod V_o
		m^3	m^3/h	m^3/h
1.02	šatna	14,943	70	
1.03	koupelna	13,515		130
1.05	WC	4,335		50
1.06	šatna	14,943	70	
1.14	umývárna	16,32	300	390
1.15	WC	5,61		50
1.13	šatna	52,275	320	
1.17	šatna	52,275	320	
1.18	umývárna	16,32	300	390
1.19	WC	7,14		50
1.22	WC	10,965		95
1.23	WC	10,455		95
1.24	umývárna	13,77	120	60
1.25	WC	3,4425		50
1.26	WC	3,4425		50
1.29	umývárna	15,555	120	120
1.30	WC	4,335		100
1.31	WC	8,67		50
1.36	zdravotník	18,615	80	
1.37	úklidová k.	18,36		20
celkem			1700	1700

Tabulka 25 - Rozdělení vzduchu na přívod a odvod pro zónu 3

7.2.4 Zóna 4

Jedná se o jedno podlažní přístavbu navazující na objekt haly z jižní strany. V této zóně se nachází prostory šaten, hygienického zázemí, technická místnost a místnost pro vzduchotechniku. Koncept větrání v rámci této zóny je navržen jako rovnotlaký, přičemž čerstvý vzduch je přiváděn do prostor šaten a odváděn přes WC a sprchy. Místnost pro vzduchotechniku a technická místnost bude větrána přirozeně okny.

Projektová část – Návrh nuceného větrání sportovní haly

č. místnosti	popis	objem	MJ	počet	množství vzduchu	intenzita výměny	celkem
		m ³			m ³ /h	h ⁻¹	m ³ /h
1.08	šatna	62,475		14	20		280
1.09	WC	17,085	kabinka	1	50		50
1.10	umývárna	34,935	umyvadlo	4	30		120
1.11	sprchy	25,194	sprcha	4	100		400
1.12	šatna	62,475		14	20		280
1.16	tech. míst.	36,465				0,3	15
1.20	sklad	61,2				0,3	20
1.27	elektro roz.	35,445				0,3	15
1.28	šatna	62,475		14	20		280
1.32	umývárna	34,935	umyvadlo	4	30		120
1.33	sprchy	25,194	sprcha	4	100		400
1.34	WC	12,75	kabinka	1	50		50
1.35	šatna	62,475		14	20		280

Tabulka 26 - Množství čerstvého vzduchu pro zónu 4

Rozdělení na množství přiváděné a odváděné:

č. místnosti	popis	objem	přívod V _p	odvod V _o
		m ³	m ³ /h	m ³ /h
1.08	šatna	62,475	280	
1.09	WC	17,085		50
1.10	umývárna	34,935	40	120
1.11	sprchy	25,194		400
1.12	šatna	62,475	280	
1.16	tech. míst.	36,465		20
1.20	sklad	61,2		20
1.27	elektro roz.	35,445		20
1.28	šatna	62,475	280	
1.32	umývárna	34,935	40	120
1.33	sprchy	25,194		400
1.34	WC	12,75		50
1.35	šatna	62,475	280	
celkem			1200	1200

Tabulka 27 - Rozdělení na přívod a odvod pro zónu 4

7.3 Výsledné množství vzduchu pro návrh VZT jednotek pro jednotlivé zóny

V tabulce níže jsou vypsané výsledné hodnoty pro návrh jednotlivých vzduchotechnických jednotek pro každou zónu.

	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 4
V_p [m ³ /h]	5300	640	1700	1200
V_o [m ³ /h]	5300	640	1700	1200

Tabulka 28 - Výsledné množství čerstvého vzduchu pro návrh VZT jednotky

8. Návrh dimenzí potrubí

Dimenze jednotlivých potrubí budou provedeny na základě maximální doporučené rychlosti proudění vzduchu. V zóně 1 a v centrálním rozvodech zón 2, 3, 4 byla uvažovaná maximální rychlost proudění 5 m/s. V ostatních trubních rozvodech se bude uvažovat rychlost 3 m/s. Kompletní výpočet byl proveden pro zónu 1, která byla zvolena jako nejkritičtější cesta. Ostatní úseky se počítají obdobně. Kompletní výpočty dimenzí potrubí jsou obsaženy v Příloze 2.1 – Dimenze trubních rozvodů. Celý systém je složen z čtyř hraných prvků a jednotlivé odbočky pro napojení koncových prvků jsou navrženy z Flexi potrubí.

Pro návrh potrubí se vychází z rovnice kontinuity:

$$S \times v = V_a \quad (8.1)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka
obsah	S	m ²
rychlost proudění	v	m/s
objemový průtok	V_a	m ³ /h

Tabulka 29 - Veličiny

8.1 Výpočet tlakových ztrát v potrubí

8.1.1 Tlaková ztráta třením

Celková ztráta úseku potrubí:

$$\Delta p_z = \Delta p_{tř} + \Delta p_{\xi} \quad (8.2)$$

Tlaková ztráta třením pro kruhové potrubí (dle Darcy-Weisbach):

$$\Delta p_{tř} = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{w^2}{2} \times \rho = R \times l \quad (8.3)$$

Tlaková ztráta třením pro čtyř hrané potrubí (dle Darcy-Weisbach):

$$\Delta p_{tř} = \lambda \times \frac{l \times U}{4 \times S} \times \frac{w^2}{2} \times \rho = R \times l \quad (8.4)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka
součinitel třením	λ	/
střední rychlost proudění	w	m/s
měrná hmotnost proudění	ρ	kg/m ³
měrná tlaková ztráta třením	R	Pa/m
délka průtočného průřezu	l	m
průtočná plocha	S	m ²
obvod průtočného průřezu	U	m
průměr průtočného průřezu	d	m

Tabulka 30 - Veličiny

Součinitel tření je závislý na Reynoldsově čísle Re a na relativní drsnosti stěn e:

$$Re = \frac{d \times w}{\nu} \quad (8.5)$$

Název veličiny	Značka	Jednotka	Hodnota	poznámka
kinematická viskozita tekutiny	ν	m ² /s	1,53×10 ⁻⁵	při t=20 °C a $\rho=1,2$ kg/m ³

Tabulka 31 - Veličiny

Laminární proudění: Re < 2320

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (8.6)$$

Turbolentní proudění: Re > 2320

Potrubí s hydraulicky hladkými stěnami:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \leq \frac{30}{Re^{0,875}} \quad (8.7)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \times \log(Re \times \sqrt{\lambda}) - 0,8 \quad (8.8)$$

Potrubí s hydraulicky drsnými stěnami:

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \geq \frac{30}{Re^{0,875}} \quad (8.9)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \times \log(\varepsilon) \quad (8.10)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka
absolutní drsnost stěn potrubí	k	mm
průměr kruhového potrubí	d	mm
ekvivalentní průměr hranatého potrubí	d _e	mm

Tabulka 32 - Veličiny

8.1.2 Tlaková ztráta místními odpory

Tlakové ztráty místními odpory vznikají v částech trubních rozvodů, kde nastává narušení proudu, či změně jeho směru. Tento vliv mají například kolena, regulační prvky, T-kusy, rozdělovací boxy atd. Hodnota těchto ztrát se často uvádí v technických listech výrobce nebo se vypočte dle vzorce.

Vzorec:

$$\Delta p_{\xi} = \frac{1}{2} \times \xi \times \rho \times w^2 \quad (8.11)$$

Veličiny:

Název veličiny	Značka	Jednotka
součinitel místního odporu	ξ	/
měrná hmotnost proudění	ρ	kg/m ³
střední rychlost proudění	w	m/s

Tabulka 33 - Veličiny

8.2 Popis vzduchotechnických jednotek

Všechny vzduchotechnické jednotky byly navrženy pomocí program Atrea tak, aby vyhovovaly požadavkům ErP (Ecodesign) – nařízení EU 1253/2014, platné od 1.1. 2016 i 1.1. 2018.

8.2.1 Zóna 1

Pro zónu 1 byla navržena vzduchotechnická jednotka DUPLEX 8000 Roto – N o rozměrech 2665x1600x1160 mm. Jedná se o nástřešní jednotku s rotačním rekuperačním výměníkem v provedení 61/0. Zvolená jednotka je přímo určena pro využití do sportovních a průmyslových hal. Je možné ji využít i pro teplovzdušné vytápění a chlazení. Jedná se o rámovou konstrukci, skříň je vyrobena z lakovaného plechu a obalena 45 mm tepelné izolace s koeficientem tepelné vodivosti ($\lambda=0,037$ W/mK). Vyznačuje se vysokou účinností rekuperace rotačního výměníku (až 85 %). Obsahuje dva na sobě nezávislé ventilátory EC3 pro přívod a odvod vzduchu. Přívodní hrdlo má rozměr 900 x 710 mm a odvodní 700 x 500 mm. Součástí jednotky jsou výsuvné kazetové filtry G4.

Název jednotky	DUPLEX 8000 Roto-N	
Zóna	1	
Přiváděný vzduch max / návrhový	m ³ /h	10000 (5300)
Odváděný vzduch max / návrhový	m ³ /h	10000 (5300)
Max průtok vzduchu dle Erp 2018	m ³ /h	7800
Účinek rekuperace - max / pro navrhovaný průtok	%	81 (78)
Hmotnost	kg	1016
Max. el. Příkon	kW	5,2
Filtr vzduchu vstup / výstup	/	G4 / G4
Externí tlaková ztráta přívod / odvod	Pa	106/115

Tabulka 34 - VZT jednotka DUPLEX 8000 Roto-N

8.2.2 Zóna 2

Pro zónu 2 byla navržena vzduchotechnická jednotka DUPLEX 1400 Silent – N o rozměrech 1900x1000x1274 mm. Jedná se o nástřešní jednotku s protiproudým rekuperačním výměníkem v provedení 3/19. Zvolená jednotka je přímo určena pro občanské a bytové domy. Základový rám je vybaven tlumičem hluku, což napomáhá redukovat přenos vibrací. Jednotka není primárně určena pro úpravu teploty vzduchu, ale je možné ji dodatečně kombinovat s ohříváči nebo chladiči, které se osazují do potrubí za jednotku. Skříň je vyrobena z lakovaného plechu a s polyuretanovou výplní ($U=0,82$ Wm⁻²K⁻¹). Vyznačuje se vysokou účinností rekuperace rotačního výměníku (až 96 %). Obsahuje dva na sobě nezávislé ventilátory EC pro přívod a odvod vzduchu, ty jsou pružně uloženy. Přívodní hrdlo má rozměr 250 x 250 mm a odvodní 250 x 250 mm. Součástí jednotky jsou výsuvné kazetové filtry F7 a M5.

Projektová část – Návrh nuceného větrání sportovní haly

Název jednotky	DUPLEX 1400 Silent-N	
Zóna	2	
Přiváděný vzduch max / návrhový	m ³ /h	1600 (800)
Odváděný vzduch max / návrhový	m ³ /h	1800 (800)
Max průtok vzduchu dle Erp 2018	m ³ /h	1200
Účinek rekuperace - max / pro navrhovaný průtok	%	96 / 98
Hmotnost	kg	513
Max. el. Příkon	kW	0,78
Filtr vzduchu vstup / výstup	/	F7 / M5
Externí tlaková ztráta přívod / odvod	Pa	100 / 100

Tabulka 35 - VZT jednotka DUPLEX 1400 Silent-N

8.2.3 Zóna 3, 4

Pro zóny 3 a 4 byla navržena vzduchotechnická jednotka DUPLEX 2500 Multi o rozměrech 2300x580x1800 mm. Jedná se o vnitřní kompaktní jednotku s protiproudým rekuperačním výměníkem v provedení 10/0. Zvolená jednotka je přímo určena pro využití do školských objektů, sportovních a průmyslových hal. Je možné ji využít i pro teplovzdušné vytápění a chlazení. Jedná se o bezrámovou konstrukci, skříň je vyrobena z lakovaného plechu a obalena 30 mm tepelné izolace PIR s koeficientem tepelné vodivosti ($\lambda=0,024$ W/mK). Vyznačuje se vysokou účinností rekuperace rotačního výměníku (až 94 %). Obsahuje dva na sobě nezávislé ventilátory EC s dozadu zahnutými lopatkami pro přívod a odvod vzduchu. Přívodní hrdlo má rozměr 710 x 450 mm a odvodní 400 x 300 mm. Součástí jednotky jsou výsuvné kazetové filtry G4.

Název jednotky	DUPLEX 2500 Multi	
Zóna	3	
Přiváděný vzduch max / návrhový	m ³ /h	3200 (1700)
Odváděný vzduch max / návrhový	m ³ /h	3600 (1700)
Max průtok vzduchu dle Erp 2018	m ³ /h	2800
Účinek rekuperace - max / pro navrhovaný průtok	%	94 (84)
Hmotnost	kg	324
Max. el. Příkon	kW	2,5
Filtr vzduchu vstup / výstup	/	G4 / G4
Externí tlaková ztráta přívod / odvod	Pa	94 / 107

Tabulka 36 - VZT jednotka DUPLEX 2500 Multi - zóna 3

Název jednotky	DUPLEX 2500 Multi	
Zóna	4	
Přiváděný vzduch max / návrhový	m ³ /h	3200 (1200)
Odváděný vzduch max / návrhový	m ³ /h	3600 (1200)
Max průtok vzduchu dle Erp 2018	m ³ /h	2800
Účinek rekuperace - max / pro navrhovaný průtok	%	96 (86)
Hmotnost	kg	324
Max. el. Příkon	kW	2,5
Filtr vzduchu vstup / výstup	/	G4 / G4
Externí tlaková ztráta přívod / odvod	Pa	94 / 107

9. Rozvod čerstvého vzduchu

Rozvody čerstvého vzduchu jsou v zónách 2, 3, 4 zavěšeny do stropních panelů Spiroll a zakryté pomocí rastrového podhledu AKU. Výška podhledu byla zvolena 500 mm, aby bylo možné trubní rozvody bez problému zakrýt. K uchycení potrubí bude použito pozinkovaných konzol se závitovým spojením k stropní konstrukci. Tyto úchyty mají nosnost 600 N. V zóně 1 (prostor sportoviště) je potrubí zavěšeno do nosné konstrukce střešního pláště, popřípadě do dřevěných vaznic. Tato objemnější potrubí budou uchycena pomocí ocelových nosníků na závitových tyčích. U stoupacího potrubí se jedná o obdobné připevnění ke zdi. Kompletní výpis prvků je obsažen v rámci přílohy P2.3 – Výkresová dokumentace.

9.1 Prostory zázemí

Čerstvý vzduch bude přiváděn do místnosti, kde je umístěna vzduchotechnika pomocí hranatého potrubí o rozměrech 800x400 mm. Potrubí bude opatřeno tepelnou izolací o tloušťce 50 mm a osazeno tlumičem hluku z důvodu zamezení promrzání a minimalizace tepelným ztrátám. Potrubí musí být opatřeno upraveným povrchem pro zajištění odolnosti proti vnějším vlivům. Po výstupu ze vzduchotechnické jednotky bude čerstvý vzduch rozváděn pomocí čtyřhranného potrubí dle potřebné dimenze pro splnění požadované rychlosti a průtoku. Přívodní potrubí bude pomocí zárubní spojeno k flexi potrubí, které bude napojeno ke koncovým prvkům. Koncové prvky byly navrženy s ohledem na rychlost vzduchu a jeho objemový průtok. Například v prostorech šaten byl navržen přívodní koncový prvek TVPM 100 TPM 028/03.

Návrh koncových prvků respektuje maximální dovolenou rychlost vzduchu v pobytové zóně 0,2 m/s. Systém přívodu vzduchu je navržen tak, aby byl čerstvý vzduch distribuován do šaten a společných prostor. Následně pomocí mřížek ve dveřích dojde k proudění vzduchu k hygienickému zařízení, kde bude následně odváděn. Všechna dveře v rámci zón 2,3 a 4 budou bezprahová, což bude napomáhat proudění čerstvého vzduchu mezi místnostmi. Pro zóny 3 a 4 byl navržen společný přívod čerstvého vzduchu. Dimenze tohoto potrubí byla určena z hodnoty 130 % součtu maximálních průtoků obou jednotek.

9.2 Prostor haly

Přívod čerstvého vzduchu je do haly přiváděn pomocí čtyř hraného potrubí o rozměrech 800x500 mm a je umístěného nad střešní rovinou jedno podlažní přístavby. Vzhledem k tomu, že se nachází z velké části v exteriéru, je nutné, aby bylo opatřeno povrchovou úpravou proti působení vnějších vlivů. Trubní rozvody v exteriéru budou obaleny 50 mm tepelné izolace, z důvodu eliminace tepelných ztrát a promrzání. Přívodní potrubí do haly bude zavěšeno na nosné konstrukci střešního

pláště. Potrubí bylo navrženo hranaté, přičemž anemostaty jsou napojeno pomocí flexi potrubí o průměru 248 mm pro lepší manipulaci při napojování. Čerstvý vzduch bude distribuováno pomocí anemostatů VASM 315 V/R – připojení je řešeno vodorovně. Anemostaty byly navrženy na s ohledem na objemový průtok vzduchu a na světlou výšku haly, která v nejvyšším bodě přesahuje 10 metrů a v prostoru nad tribunou 6,5 metru. Část čerstvého vzduchu bude přiváděna přímo nad prostor tribuny a zbylý vzduch nad sportovní plochu. Vzhledem ke škále sportů nebyl požadavek na rychlost proudícího vzduchu stanoven na určitou hodnotu. Nejedná se o sporty, kde by zvýšená rychlost vzduchu byla omezující faktor pro jejich průběh.

Do přilehlých místností jako například sklad nářadí bude čerstvý vzduch proudit pomocí mřížek ve dveřních otvorech. Tento princip by měl zajistit dostatečný přívod vzduchu. Povrchová úprava rozvodů je navržena z pozinkovaného plechu.

10. Rozvod odpadního vzduchu

Odvodní prvky v celém objektu byly navrženy s ohledem na množství průtoku vzduchu a na maximální povolenou rychlost na hlavních a vedlejších větvích. Cílem návrhu bylo dodržet hlučnost pod stanovenou hodnotu 35 dB. Vedení odpadního vzduchu v zónách 2, 3 a 4 je umístěno v pohledu. V zóně 1 je odvodní potrubí přikotveno k nosné konstrukci střešního pláště pod vazníky. Kompletní výpis prvků a jsou obsaženy v rámci výkresové dokumentace v příloze 2.3.

10.1 Prostory zázemí

Pro prostory zázemí (zóny 3 a 4) je odtah znečištěného vzduchu řešen pomocí dvou vzduchotechnických jednotek. V místnostech pro WC, sprchy a umývárny je vzduch odváděn talířovými ventily typu TVOM, dimenzovaných dle daného průtoku. Všechny odvodní koncové prvky jsou napojeny pomocí Flexi potrubí do hlavní větve. Vzhledem k obsažené vlhkosti v odváděném vzduchu bude potrubí navrženo nerezové, pro zvýšení odolnosti proti rzi. Hlavní odvodní potrubí je navrženo čtyřhranné a ve směru proudění se jeho dimenze zvětšuje pro zachování navrhované rychlosti a průtoku. Potrubí pro odvod ze zón 3 a 4 nevystupuje do exteriéru, není tedy nutné jej tepelně izolovat. Potrubí je napojeno do jednotky přes rozměr 400x200 mm. V rámci jednotky odevzdá odpadní vzduchu teplo výměníku, popřípadě je rovnou odváděn skrze dešťovou klapku do venkovního ovzduší. Odpadní potrubí je společné pro vzduchotechnickou jednotku 3 a 4, jeho dimenze byla stanovena na 130 % součtu maximálního průtoku obou jednotek. Je ošetřeno 50 mm tepelné izolace Isover pro minimalizaci vzniklé kondenzace a promrzání.

10.2 Prostor haly

V prostoru haly je odtaž řešen pomocí čtyřhranného potrubí navrženého na základě zachování rychlosti proudícího vzduchu. Na potrubí jsou osazené mřížky VNM 2A 386x166 s možností regulace. Potrubí je zavěšeno pomocí ocelových nosíků na závitových tyčích. Vzdálenost kotvení by neměla přesáhnout ± 3 m. Potrubí bude vedeno ve výšce 10 m od čisté podlahy prvního nadzemního podlaží. Následně je potrubí vedeno skrze jižní obvodovou stěnu budovy. V exteriérové části je potrubí obalené 50 mm tepelné izolace z důvodu minimalizace tepelné ztráty a maximálnímu výkonu rekuperace. Vedení v exteriéru musí být také ošetřeno dostatečně odolnou povrchovou úpravou pro zajištění odolnosti vůči okolním vlivům. Odvodní potrubí do vzduchotechnické jednotky vstupuje v rozměru 710x500 mm. Tam je následně využito principu rekuperace, popřípadě je vzduch vyfouknut pomocí dešťové žaluzie do exteriéru. Z důvodu minimalizace možnosti vzniku kondenzace je i odpadní potrubí tepelně izolováno.

11. Protihluková a anti-vibrační opatření

Vzduchotechnické jednotky uvnitř objektu budou opatřeny pružně uloženými ventilátory pro snížení akustického hluku a osazeny tlumiči hluku na odvodním a přívodním potrubí. Jednotky budou postaveny na pryžové podložky pro eliminaci přenosu vibrací do konstrukce objektu. V rámci místnosti pro vzduchotechniku bude použit akustický podhled.

Nástřešní jednotka bude také uložena na pryžových podložkách. Ventilátory venkovní vzduchotechnické jednotky budou pružně uloženy.

Všechny trubní vedení byly navrženy s ohledem na maximální rychlost proudění vzduchu. Vzhledem k využití objektu nejsou požadavky pro akustický hluk tak přísné jako třeba u bytových domů či administrativních budov. Součástí ani obsahem tohoto projektu není detailní návrh protihlukových či antivibračních prvků.

12. Protipožární opatření

Potrubí vzduchotechniky musí být osazeno požárními klapkami. Ty jsou umístěny na hranici jednotlivých požárních úseků, tak aby v případě požáru nedošlo k distribuci kouřových spalin po celém objektu. Místnost pro vzduchotechniku č. 1.20 je navržena jako samostatný požární úsek, tudíž bude vybaven také protipožárním podhledem a požárními klapkami. V rámci zadání nebylo přesně specifikováno rozvržení požárních úseků, nedá se tedy přesně určit umístění požárních klapek v budově. Všechna požární opatření budou provedena dle normy ČSN 73 0872 – Požární bezpečnost staveb.

13. Regulace

Jednotlivé regulace rozepsané v podkapitolách jsou pouze návrh. Přesný výpočet pro dimenze regulačních prvků není předmětem této práce. Reálné provedení bude určeno firmou dodávající vzduchotechnickou jednotku tak, aby byla zajištěna funkčnost celého systému.

Koncové prvky ústící do haly jsou vybaveny připojovacími skříněmi s regulací, talířové ventily se regulují na základě otáčení regulačního kužele, mřížky v tělocvičně jsou osazeny regulací s regulačními listy.

14. Hala – Zóna 1

V prostoru haly bude množství přiváděného čerstvého vzduchu řízeno pomocí čidla pro teplotu a CO₂. Jedná se tedy o systém s variabilním průtokem vzduchu. Vzduchotechnická jednotka bude přivádět požadované množství vzduchu, aby nebyla překročena limitní koncentrace CO₂. Anemostaty zásobující tribunu čerstvým vzduchem budou regulačními klapkami, aby mohl být průtok regulován dle momentální obsazenosti haly. Všechny ostatní větve této zóny budou regulovány pouze pomocí výkonu vzduchotechnické jednotky.

15. Zázemí – Zóna 2, 3, 4

Prostory zázemí jsou rozděleny do 3 zón, přičemž každá zóna bude opatřena vlastní vzduchotechnickou jednotkou. Množství přiváděného čerstvého vzduchu bude určovat nadřazená vzduchotechnická jednotka dle požadavků pro jednotlivé místnosti.

Celkově jsou tyto prostory objektu rozděleny na tři samostatně regulované části z důvodu možnosti regulace průtoku vzduchu na základě využití a obsazenosti daných prostorů. Pro vyhodnocení daných požadavků na průtok vzduchu budou sloužit čidla teploty, CO₂, nebo vlhkosti instalované v daných úsecích. Umývárny a šatny budou větrány na základě vlhkostního a teplotního čidla umístěného v umývárkách. V prostorech WC se regulace propojí s vypínači světel.

16. Ostatní profese

16.1 Vytápění

Prostory zázemí budou vytápěny pomocí teplovodních otopných těles, popřípadě podlahového vytápění. Prostor haly bude vybaven sálavými panely pro zajištění požadované teploty v hale. Předpokládá se, že otopný systém je navržen na pokrytí většiny tepelných ztrát v zimním období. Vzduchotechnické jednotky nejsou navrženy pro funkci vytápění. Tento systém bude pouze sloužit k vyrovnání tepelných ztrát způsobeným větráním.

16.2 Stavební úpravy

Pro zóny číslo 1 a 2 jsou vzduchotechnické jednotky umístěny na střešním plášti. Je tedy nutné nosnou konstrukci střechy uzpůsobit přidanému zatížení. Toho lze docílit dovyztužením, popřípadě navýšením stropních panelů. V rámci střešní konstrukce musí být doplněna plošina pro obsluhu jednotky pro případné opravy a pravidelnou údržbu. Je tedy zapotřebí v místě umístění jednotky upravit skladbu střešního pláště, aby nedošlo k jeho narušení.

Jednotky budou postaveny na podpůrné ocelové konstrukci zakotvené do nosné konstrukce střechy. Na stejném principu budou ukotveny i trubní rozvody. Tyto ocelové prvky prostupující střešním pláštěm je nutné tepelně odizolovat pro zabránění tepelných mostů. V neposlední řadě je důležité důsledně zajistit odvodnění v místě jednotek, aby nedošlo ke kumulaci dešťové vody v jejich blízkosti.

V interiéru budovy je potřeba brát v potaz prostupy pro trubní rozvody, které by již před montáží měly být zhotovené. V neposlední řadě je potřeba zajistit propojení větraných místností pomocí mřížek ve dveřích či zdech. Podhledy v objektu musí být snadné pro manipulaci, popřípadě osazeny revizními dvířky z důvodu údržby a oprav potrubí. Musí být dodrženo kotvení prvků vzduchotechniky do stropní konstrukce v rozestupech nepřesahujících 3 metry. Stropní konstrukce by měla být navržena s ohledem na toto přidané zatížení.

Finální aplikace podhledů by měla být dokončena až po důsledném vyzkoušení funkčnosti vzduchotechnického systému a jeho těsnosti.

16.3 Elektro a regulace

- VZT jednotka 1 – DUPLEX 8000 Roto-N:
 - Silové napájení – připojení ventilátorů pomocí kabelu CYKY 5Jx4, 400V/8,4A/50Hz, jistič 3x 20A (char. C)
 - Ovládání a komunikace – propojení s: spínačem osvětlení, Ethernet rozhraní, TCP/IP včetně Modus TPC protokolu, výstupem informace o provozu ventilátoru, univerzální poruchový výstup
 - Externí čidla – propojení s čidly pro koncentraci CO₂, vlhkosti a teploty
 - Schéma kabelového propojení dle TP výrobce obsaženo v příloze 2.2 – Návrh VZTJ + tech. listy.
- VZT jednotka 2:
 - Silové napájení – připojení ventilátorů pomocí kabelu CYKY 3Jx1,5, 230V/3,9A/50Hz, jistič 1x 10A (char. C)

Projektová část – Návrh nuceného větrání sportovní haly

- Ovládání a komunikace – propojení s: spínačem osvětlení, Ethernet rozhraní, TCP/IP včetně Modbus TPC protokolu, výstupem informace o provozu ventilátoru, univerzální poruchový výstup
 - Externí čidla – propojení s čidly pro koncentraci CO₂, vlhkosti a teploty
 - Schéma kabelového propojení dle TP výrobce obsaženo v příloze 2.2 – Návrh VZTJ + tech. listy.
- VZT jednotka 3:
 - Silové napájení – připojení ventilátorů pomocí kabelu CYKY 5Jx2,5, 400V/4A/50Hz, jistič 3x 16A (char. C)
 - Ovládání a komunikace – propojení s: spínačem osvětlení, Ethernet rozhraní, TCP/IP včetně Modbus TPC protokolu, výstupem informace o provozu ventilátoru, univerzální poruchový výstup
 - Externí čidlo – propojení s čidly pro koncentraci CO₂, vlhkosti a teploty
 - Schéma kabelového propojení dle TP výrobce obsaženo v příloze 2.2 – Návrh VZTJ + tech. listy.
 - VZT jednotka 4:
 - Silové napájení – připojení ventilátorů pomocí kabelu CYKY 5Jx4, 400V/4A/50Hz, jistič 3x 16A (char. C)
 - Ovládání a komunikace – propojení s: spínačem osvětlení, Ethernet rozhraní, TCP/IP včetně Modbus TPC protokolu, výstupem informace o provozu ventilátoru, univerzální poruchový výstup
 - Externí čidlo – propojení s čidly pro koncentraci CO₂, vlhkosti a teploty
 - Schéma kabelového propojení dle TP výrobce obsaženo v příloze 2.2 – Návrh VZTJ + tech. listy.
 - Zdravotní technika a kanalizace

Odvod kondenzátu z jednotky pro zónu č.1 bude vyústěn do střešního vtoku nad jednopodlažní přístavbou. Střešní vtok bude elektricky vytápěn, aby nedošlo k jeho zamrznutí. Stejným principem bude řešen odvod kondenzátu ze vzduchotechnické jednotky pro zónu č.2. Pro zónu 2 je nutné stoupací potrubí tvarovkami pro odvod kondenzátu. Vnitřní jednotky pro zóny 3 a 4 budou mít odvod kondenzátu přímo napojený do kanalizačního potrubí. Připojovací potrubí je navrženo o průměru 22 mm.

17. Izolace a povrchové úpravy

Z výkresové dokumentace je zřetelné, že trubní rozvody vedené v exteriéru budou obaleny tepelnou izolací ISOVER LSP H 50 o tloušťce 50 mm. Tato potrubí musí být také opatřena povrchovou úpravou pro zajištění odolnosti vůči okolním podmínkám. Jako povrchová úprava bude sloužit dodatečné oplechování. Tepelná izolace bude sloužit pro eliminaci tepelných ztrát, snížení hlučnosti a protipožární funkci. Pro vytápěné prostory se s tepelnými ztrátami potrubí neuvažuje, tudíž v těchto prostorech tepelná izolace navržena nebyla. V případě chlazení, by bylo vhodné tepelně odizolovat všechna trubní vedení, aby se zabránilo kondenzaci na jeho povrchu.

18. Závěr

V této části bakalářské práce byl proveden kompletní návrh nuceného rovnotlakého větrání pro čtyři různé zóny sportovní multifunkční haly ve Světlé nad Sázavou. Není vyloučeno, že by bylo možné halu větrat v některých případech přirozeně, vzhledem k velké ploše oken. Funkčnost přirozeného větrání není ovšem možné zajistit za každých okolností. Výpočet byl tedy proveden pro případ maximálního vytížení haly, a výměna vzduchu bude zajištěna pomocí čtyř na sobě nezávislých vzduchotechnických jednotek.

Celým systémem je koncipován jako rovnotlaký, v rámci různých místností je kombinován princip přetlakového a podtlakového. Pro jednotlivé místnosti byly navrženy koncové prvky vyhovující jejich využití, aby bylo zajištěno dostatečné provětrávání. Všechny doplňující informace jsou doplněny v přílohách této práce.

Na základě výsledného návrhu by mělo být zajištěno splnění požadavků pro větrání zadaného objektu a plná funkčnost systému. Navržený systém byl podřízen požadavkům na funkčnost, ekonomické hledisko nebylo součástí zadání této práce, nebyl na něj tedy brán zřetel.

19. Seznam příloh:

- Příloha 2.1 – Dimenze potrubí
- Příloha 2.2 – Návrh VZT jednotky + tech. listy
- Příloha 2.3 – Výkresová dokumentace

20. Seznam tabulek:

Tabulka 1 - Veličiny

Tabulka 2 - Veličiny

Tabulka 3 - Výpočet tepelných zisků sluneční radiací

Tabulka 4 - Veličiny

Tabulka 5 - Výpočet vlivu tepelné akumulace objektu

Tabulka 6 - Veličiny

Tabulka 7 - Intenzita slunečního záření na střechu

Tabulka 8 - Intenzita slunečního záření na JZ stěnu

Tabulka 9 - Intenzita slunečního záření na JV stěnu

Tabulka 10 - Veličiny

Tabulka 11 - Veličiny

Tabulka 12 - Veličiny

Tabulka 13 - Rozdělení do zón

Tabulka 14 - Veličiny

Tabulka 15 - Veličiny

Tabulka 16 - Veličiny

Tabulka 17 - Rozdělení do zón

Tabulka 18 - Minimální množství čerstvého vzduchu dle ČSN 15665/Z1

Tabulka 19 - Minimální množství vzduchu dle počtu osob pro zónu 1

Tabulka 20 - Množství produkce CO₂ od osob a mezní koncentrace

Tabulka 21 - Množství čerstvého vzduchu pro splnění požadované koncentrace CO₂

Tabulka 22 - Požadované množství čerstvého vzduchu pro zónu 2

Tabulka 23 - Rozdělení vzduchu pro přívod a odvod v zóně 2

Tabulka 24 - Množství čerstvého vzduchu pro zónu 3

Tabulka 25 - Rozdělení vzduchu na přívod a odvod pro zónu 3

Tabulka 26 - Množství čerstvého vzduchu pro zónu 4

Tabulka 27 - Rozdělení na přívod a odvod pro zónu 4

Tabulka 28 - Výsledné množství čerstvého vzduchu pro návrh VZT jednotky

Tabulka 29 - Veličiny

Tabulka 30 - Veličiny

Tabulka 31 - Veličiny

Tabulka 32 - Veličiny

Tabulka 33 - Veličiny

Tabulka 34 - VZT jednotka DUPLEX 8000 Roto-N

Tabulka 35 - VZT jednotka DUPLEX 1400 Silent-N

Tabulka 36 - VZT jednotka DUPLEX 2500 Multi - zóna 3

Tabulka 37 - VZT jednotka DUPLEX 2500 Multi - zóna 4

21. Seznam obrázků

6.1 - Rozdělení do zón

22. Seznam zkratk:

VZT vzduchotechnická

VZTJ vzduchotechnická jednotka

ZZT zpětné získávání tepla

ŽB železobeton

JV jihovýchod

JZ jihozápad

TI. tloušťky

23. Indexy

i interiér

e exteriér

p přiváděný

o odváděný

w voda (water)

vzduch (air)

z zima

l léto

v.p. vodní pára