



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

SYSTÉMY ZVLHČOVÁNÍ VZDUCHU

AIR HUMIDIFICATION SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Cielecký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jan Cielecký
Název	Systémy zvlhčování vzduchu
Vedoucí práce	Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení (5 až 10 stran)

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení (25 až 30 stran včetně grafické části)

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva (v tématech zaměřených na energetickou náročnost budou využívány metody energetického auditu a aktuální legislativy)

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v laboratoři nebo reálné budově postihující zadanou problematiku.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

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

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá využitím adiabatického chlazení pro zlepšení mikroklimatu velkokapacitních stanů v našich klimatických podmínkách, konkrétně v Rožnově pod Radhoštěm. Součástí práce je sestavení univerzálního výpočtového nástroje pro výpočet tepelné zátěže dvou typů velkokapacitních stanů. Tento nástroj posloužil také k sestavení vhodného mobilního zkrápěného adiabatického chladiče s přerušovanou distribucí vody na náplň. Experimentální část je zaměřena na nalezení vhodného materiálu sloužícího jako náplň zkrápěného adiabatického chladiče a jeho další testování.

KLÍČOVÁ SLOVA

adiabatické chlazení v ČR, mobilní adiabatický chladič pro velkokapacitní stany, tepelná zátěž velkokapacitních stanů, náplně pro zkrápěné adiabatické chladiče

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the use of adiabatic cooling for the improvement of microclimate of large-scale tents in Czech climatic conditions, specifically in city of Rožnov pod Radhoštěm. First part thesis is the design of a universal calculation tool for calculating the heat load of two types of large-scale tents. This tool was used to design and construct the suitable mobile trickle adiabatic cooler. The experimental part is focused on the finding of suitable material to be used to as filling of trickle adiabatic cooler and further testing it.

KEY WORDS

Adiabatic cooling in Czech Republic, mobile evaporative cooler for large-scale tents, thermal load of tents, refill for trickle evaporative cooler

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CIELECKÝ, Jan. *Systémy zvlhčování vzduchu*. Brno, 2017. 93 s. Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební.

PROHLÁŠENÍ:

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

V Brně dne 11. 1. 2018

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych tímto poděkoval Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za čas, ochotu a poskytnutí cenných rad v dané problematice. Poděkování patří také mé rodině za neutuchající podporu.

OBSAH

ÚVOD.....	11
A TEORETICKÁ ČÁST.....	12
A.1 SYSTÉMY VLHČENÍ VZDUCHU.....	12
A.1.1 VODNÍ SYSTÉMY VLHČENÍ.....	12
A.1.1.1 SPRCHOVÉ ZVLHČOVAČE	13
A.1.1.2 VLOŽKOVÉ (BLÁNOVÉ) ZVLHČOVAČE	13
A.1.1.3 ULTRAZVUKOVÉ VLHČENÍ.....	14
A.1.2 PARNÍ SYSTÉMY VLHČENÍ	14
A.2 ADIABATICKÉ CHLAZENÍ	15
A.3 PŘÍMÉHO ADIABATICKÉHO CHLAZENÍ V NAŠICH KLIMATICKÝCH PODMÍNKÁCH	16
A.4 VLIV ADIABATICKÉHO CHLAZENÍ NA TEPELNOU POHODU ČLOVĚKA.....	18
A.4.1 HODNOCENÍ TEPELNÉ POHODY DLE UKAZATELE PMV	19
A.4.2 VLIV TEPLoty A VLHKOSTI VZDUCHU NA TEPELNOU POHODU ČLOVĚKA	19
A.5 PROBLÉMY SPOJENÉ S PROVOZEM PŘÍMÉHO ADIABATICKÉHO CHLAZENÍ.....	20
A.5.1 NÍZKÝ CHLADÍCÍ VÝKON	20
A.5.2 ZVÝŠENÍ RELATIVNÍ VLHKOSTI V OCHLAZOVANÉ MÍSTNOSTI.....	20
A.5.3 VZNIK CHOROBOPLODNÝCH ZÁRODKŮ	21
B VÝPOČTOVÁ ČÁST	22
B.1 ÚVOD.....	22
B.2 OVĚŘENÍ KLIMATICKÝCH DAT	22
B.3 SESTAVENÍ VÝPOČETNÍHO PROGRAMU.....	23
B.4 ANALÝZA VELKOKAPACITNÍCH STANŮ	24
B.5 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE	25
B.5.1 SOUČINITEL PŘESTUPU TEPLA	26
B.5.2 VÝPOČET ROVNOMĚRNÉ SLUNEČNÍ TEPLoty	27
B.5.3 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE PROSTUPEM PRO VARIANTU 1 – ŠAPITÓ	28
B.5.4 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE PROSTUPEM VARIANTA 2 – PARTY STAN	29
B.5.5 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE OD LIDÍ	30
B.6 VÝPOČET TEPLoty PŘIVÁDĚNÉHO VZDUCHU	30
B.6.1 POROVNÁNÍ VYPOČTENÉ TEPLoty A TEPLoty ODEČTENÉ Z H-X DIAGRAMU.....	32
B.7 VÝPOČET MNOŽSTVÍ PŘIVÁDĚNÉHO VZDUCHU	32
B.8 MNOŽSTVÍ POTŘEBNÉ VODY A CHLADÍCÍ VÝKON.....	33
B.9 VÝPOČET VELKOKAPACITNÍHO STANU TYPU ŠAPITÓ	34
B.10 VÝPOČET VELKOKAPACITNÍHO STANU TYPU PARTY STAN.....	36

B.11 POROVNÁNÍ POTŘEBNÉHO MNOŽSTVÍ PŘIVÁDĚNÉHO VZDUCHU V ZÁVISLOSTI NA STAVU EXTERIÉROVÉHO VZDUCHU	37
B.12 VLIV PŘÍMÉHO ADIABATICKÉHO CHLAZENÍ NA KVALITU VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	38
B.13 DISTRIBUCE VZDUCHU VARIANTA 1 - ŠAPITÓ	39
B.14 DISTRIBUCE VZDUCHU VARIANTA 2 – PARTY STAN.....	41
B.15 DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ A TLAKOVÁ ZTRÁTA VARIANTA 1 – ŠAPITÓ	42
B.16 DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ A TLAKOVÁ ZTRÁTA VARIANTA 2 – PARTY STAN	42
B.17 ÚTLUM HLUKU VARIANTA 1 – ŠAPITÓ	43
B.17.1 ÚTLUM HLUKU SMĚREM DO EXTERIÉRU	43
B.17.2 ÚTLUM HLUKU SMĚREM DO INTERIÉRU.....	43
B.18 ÚTLUM HLUKU VARIANTA 2 – PARTY STAN.....	44
B.18.1 ÚTLUM HLUKU SMĚREM DO EXTERIÉRU	44
B.18.2 ÚTLUM HLUKU SMĚREM DO INTERIÉRU.....	45
B.19 NÁVRH ADIABATICKÉHO CHLADIČE	45
B.19.1 VENTILÁTOR.....	47
B.19.2 PLOCHA PRŮŘEZU NÁPLNĚ	49
B.19.3 DISTRIBUCE VODY A VODOVODNÍ SYSTÉM.....	50
B.19.4 SCHÉMA ŘÍZENÍ	52
B.19.5 POKYNY PRO UŽÍVÁNÍ	54
B.20 POROVNÁNÍ ADIABATICKÉHO A KOMPRESOROVÉHO CHLAZENÍ STANŮ	56
B.20.1 VÝHODY A NEVÝHODY ADIABATICKÉHO CHLAZENÍ	56
B.20.2 VÝHODY A NEVÝHODY KOMPRESOROVÉHO CHLAZENÍ.....	56
B.20.3 FINANČNÍ POROVNÁNÍ PROVOZU	57
C EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	59
C.1 ZÁKLADNÍ SESTAVA PRO MĚŘENÍ	59
C.2 KOMPONENTY POTŘEBNÉ PRO EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	60
C.2.1 AXIÁLNÍ VENTILÁTOR ZEIEHL-ABEGG.....	60
C.2.2 REGULÁTOR OTÁČEK VENTILÁTORU	61
C.2.3 KARTUŠE PRO UMÍSTĚNÍ NÁPLNĚ.....	61
C.2.4 ČERPADLO	62
C.2.5 KULOVÝ KOHOUT	62
C.2.6 HADICE PRO PŘÍVOD VODY.....	62
C.2.7 DALŠÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ	63
C.3 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE.....	63
C.3.1 DATALOGGER.....	63
C.3.2 MĚŘICÍ ÚSTŘEDNA.....	64
C.3.3 PROHOOD (BALOMETR).....	65
C.3.4 TĚPLOTNÍ A VLHKOSTNÍ ČIDLA.....	65
C.3.5 TERMOKAMERA	66
C.3.6 TLAKOMĚR.....	67

C.3.7	WATTMETR	67
C.4	VÝBĚR VHODNÉHO MATERIÁLU	68
C.4.1	KOKOSOVÁ ROHOŽ.....	68
C.4.2	KERAMZIT	68
C.4.3	MOLITAN	69
C.4.4	OCELOVÝ TUKOVÝ FILTR.....	70
C.4.5	DŘEVĚNÁ VLNA	70
C.4.6	ADIABATICKÝ ZKRÁPĚNÝ CHLADIČ OXYVAP.....	71
C.5	PŘÍPRAVA PŘED PLNOHODNOTNÝM MĚŘENÍM	71
C.5.1	OPTIMALIZACE DISTRIBUCE VODY NA NÁPLŇ.....	71
C.5.2	ÚPRAVA MĚŘÍCÍ SESTAVY.....	73
C.6	POPIS MĚŘENÍ.....	74
C.7	VÝBĚR VHODNÉHO MATERIÁLU	74
C.7.1	SCHOPNOST MATERIÁLU VYUŽÍT ADIABATICKÝ POTENCIÁL	74
C.7.2	VHODNOST NÁPLNÍ Z HLEDISKA TLAKOVÝCH ZTRÁT	75
C.8	TESTOVÁNÍ NEJVHODNĚJŠÍHO MATERIÁLU	76
C.9	KONTINUÁLNÍ A PŘERUŠOVANÁ DISTRIBUCE VODY	80
C.10	OVĚŘENÍ HYGIENICKÝCH RIZIK.....	81
C.10.1	SLEDOVÁNÍ KVALITY VODY V CIRKULAČNÍM REŽIMU	81
C.10.2	SLEDOVÁNÍ KVALITY VODY V PRŮTOČNÉM REŽIMU	84
ZÁVĚR.....		85
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ		86
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....		87
POUŽITÉ ZDROJE.....		91
ZÁKONY, VYHLÁŠKY A NORMY		91
ELEKTRONICKÉ A HMOTNÉ ZDROJE		91
OBRAZOVÉ, GRAFICKÉ A TABULKOVÉ ZDROJE.....		92

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá využitím adiabatického chlazení ke zvýšení tepelné pohody člověka v interiérech, zejména pak ve velkokapacitních stanech. V úvodu teoretické části budou nastíněny hlavní systémy vlhčení vzduchu. Podrobněji se ale práce bude zabývat využitím odpařování vody ke snížení teploty vzduchu tzv. adiabatickým chlazením. Využití tohoto typu chlazení reflektuje aktuální trend snížení energetické náročnosti budov při zajištění optimálního vnitřního prostředí. Zmíněna bude také vhodnost tohoto typu chlazení v našich klimatických podmínkách a rizika spojená s využíváním této technologie.

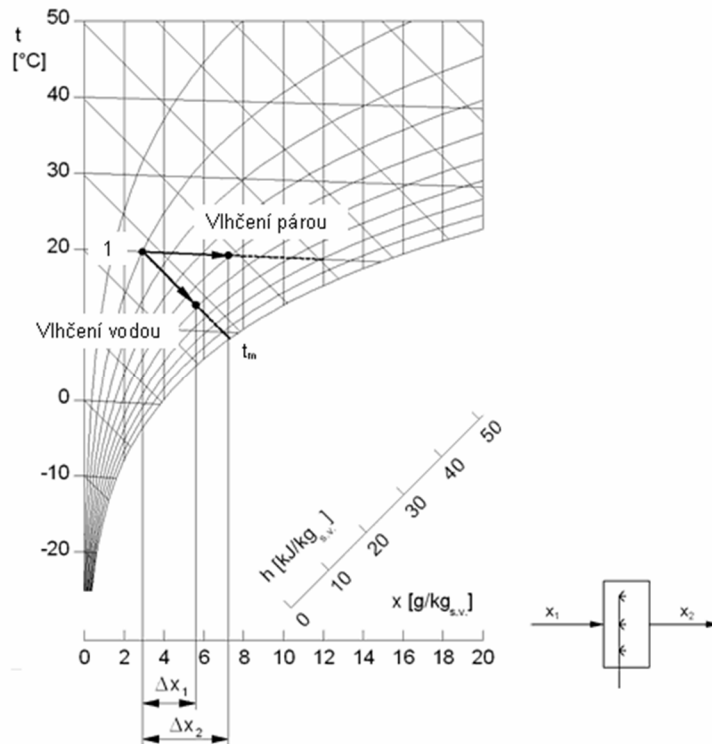
Další část práce je zaměřena na aplikaci adiabatického chlazení pro velkokapacitní stany. Velkokapacitní stan je dočasná stavba s extrémně slabou tepelnou izolací, která způsobuje velkou tepelnou zátěž. Pro odvod tepelné zátěže je adiabatické chlazení vhodné zejména pro svůj ekonomický provoz a jednoduchost spojenou s nízkou hmotností zařízení. Jelikož je výběr velkokapacitních stanů různorodý a některé typy stanů jsou modulární, pro výpočet tepelné zátěže byl sestaven univerzální výpočtový program. Dle tohoto programu byl stanoven potřebný průtok přiváděného vzduchu a následně celý vzduchotechnický systém, včetně návrhu samotného adiabatického chladiče s náplní z dřevěné vlny. Použití tohoto materiálu vychází z experimentální části. Součástí této kapitoly je také porovnání ekonomiky provozu adiabatického a kompresorového chlazení pro chlazení velkokapacitních stanů v letním období.

Experimentální část se zabývá nalezením vhodného materiálu pro použití jako náplň adiabatického zkrápěného chladiče. Pro experimentální měření byla předem připravena měřicí dráha a byly vyrobeny kartuše pro umístění jednotlivých náplní. Před plnohodnotným měřením bylo nutné vymyslet vhodnou distribuci vody na náplň. Následně byly vytipovány vhodné materiály pro tuto náplň. Těmito materiály byly kokosová rohož, drátěný filtr, molitan, Keramzit a dřevěná vlna. Následně byla otestována jejich schopnost využít adiabatický potenciál a tlaková ztráta. Za nejvhodnější náplň byla vybrána dřevěná vlna, která se svými vlastnostmi přibližovala speciálně vyvinutému výrobku OXYVAP určenému k adiabatickému chlazení. Na této náplni probíhala další měření. Byla zkoumána její nasákavost, vysychání, ideální tloušťka náplně vzhledem k účinnosti a tlakové ztrátě, a vliv kontinuální a přerušované distribuce vody na průběh vlhčení vzduchu. Následně byla zkoumána i hygienická rizika při provozu této organické náplně, a to jak v přerušovaném, tak v cirkulačním režimu.

A TEORETICKÁ ČÁST

A.1 Systémy vlhčení vzduchu

Systémy vlhčení vzduchu pracují na dvou základních principech, kterými jsou vlhčení kapalnou vodou a vlhčení vodní parou. Vlhčení kapalnou vodou je adiabatický proces. Vlhčení vodní parou je proces izotermický. Obě úpravy vzduchu jsou pro lepší orientaci znázorněny v h-x diagramu. [1]



Obrázek A.1 Úprava vzduchu vlhčením znázorněná v h-x diagramu [1]

A.1.1 Vodní systémy vlhčení

Systémy pro vodní vlhčení pracují na fyzikálním principu, kdy na povrchu kapalně vody dochází k odparu, tedy k látkové přeměně, při které se z kapaliny stává plyn. Tento proces spotřebovává energii, která je odebírána okolnímu vzduchu. Teplota vzduchu klesá. Idealizovaný děj probíhá beze změny entalpie vzduchu. To znamená, že úbytek citelné složky teploty je nahrazen nárůstem složky latentní. Rychlost odpařování je závislá na teplotě, ploše povrchu kapaliny a tlaku vzduchu nad povrchem. Systémy vlhčení se převážně zaměřují na zvětšení plochy odparu, a to buďto zkrápěním velkoplošné vložky nebo rozprašováním vody do vzduchu, při kterém dojde k vytvoření mnoha malých kapek o celkově velkém povrchu. Proces vlhčení samovolně probíhá až do nasycení vzduchu vodní parou.

Systémy pracující na principu vlhčení vzduchu vodou mají největší uplatnění tam, kde je využíváno také adiabatického chlazení vzduchu. S výhodou se ale také používají i v jiných systémech, jelikož oproti parnímu vlhčení mají menší nároky na energii. Nevýhodou těchto systémů je větší citlivost na vznik bakterií a plísní, které se mohou dostat do přiváděného vzduchu v místnosti. Problém může nastat zejména u vložkových systémů s nucenou cirkulací vody. Možný vznik bakterií a plísní je minimalizován častou údržbou, úpravou vody, UV lampami a dalšími přídatnými zařízeními.

A.1.1.1 Sprchové zvlhčovače

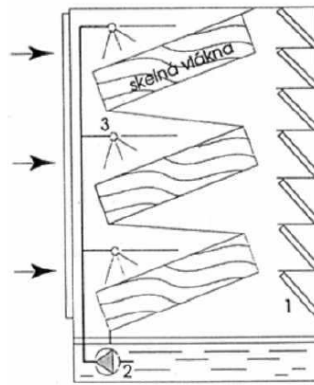
Sprchové zvlhčovače se dále dělí do několika typů dle způsobu rozstřikování. Princip však zůstává stejný. Vyššího odparu je docíleno zvětšením odpařovací plochy a to tak, že je voda rozstřikována do vzduchu za vzniku malých kapek. Na povrchu těchto kapek se voda odpařuje do okolního vzduchu. Rozstřiku vody může být dosaženo více způsoby, a to buďto použitím vysokotlakých vodních trysek, pomocí stlačeného vzduchu nebo mechanicky. [2]



Obrázek A.2 Mechanický kotoučový zvlhčovač [2]

A.1.1.2 Vložkové (blánové) zvlhčovače

Tyto zvlhčovače pracují na principu skrápění blány (vločky). Z povrchu této vložky se voda odpařuje do okolního vzduchu. Odpařovací plochu tvoří soustava vložek vyrobených z celulózy, plastických hmot nebo skelných vláken. Pračky s vložkami na bázi skelných vláken nedokážou nasycit vzduch na více než 80 %. Pracují s menší potřebou vody než sprchové pračky. Jelikož se většina vody odpaří z povrchu náplně. Rozhodujícím kritériem kvality vložkového zvlhčovače je provedení vložky. Ideální materiál by měl mít malou tlakovou ztrátu, velkou plochu pro odpar, dobrou nasákavost a smáčivost. [3]



Obrázek A.3 Blánová pračka. 1 – odlučovač kapek, 2 – ponorné čerpadlo, 3 - rozprašovací trysky [3]

A.1.1.3 Ultrazvukové vlhčení

Ultrazvukové vlhčení probíhá tak, že ultrazvukový oscilátor rozbíjí masu vody na malé kapičky (mlhu), která se následně ve vzduchu odpařuje. Výhodou je nízká energetická náročnost a vysoká účinnost. Nevýhodou je velká náchylnost vysokofrekvenční membrány na kvalitu vody, zejména její minerální složení. Proto přístroje s touto technologií bývají dodávány se zařízením pro úpravu kvality vody.

A.1.2 Parní systémy vlhčení

Princip parního vlhčení je jednoduchý. Ve vyvíječi je vyrobena vodní pára, která je následně vháněna do přiváděného vzduchu. Touto metodou je přiváděný vzduch vlhčen na požadované parametry. Teplota vzduchu zůstává stejná, jedná se o izotermický proces. V reálném provozu dochází k jeho mírnému ohřátí, které se však většinou ve výpočtech nezohledňuje. Výhodou této technologie je minimalizace hygienických rizik z důvodu toho, že horká vodní pára neumožňuje vznik bakteriálních zárodků. Při použití elektrického vyvíječe páry je další výhodou dobrá regulovatelnost. Mezi nevýhody patří vysoká energetická náročnost pro vypaření vody a také snižující se účinnost závislá na kvalitě vody. Z pravidla je systém vybaven demineralizačním filtrem přiváděné vody, aby nedocházelo k tvorbě vodního kamene na topném tělese.

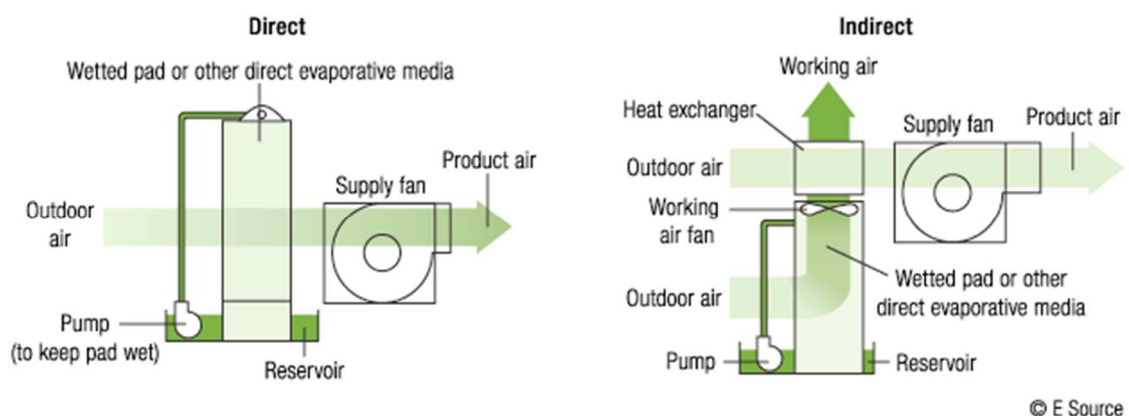
A.2 Adiabatické chlazení

Adiabatické chlazení pracuje na principu přeměny latentního tepla vody na teplo citelné. Energie, která je spotřebována na přeměnu vody ve vodní páru, je odebírána z okolí. Tento způsob chlazení si lidstvo osvojilo již ve starověku. Jsou známy případy, kdy ve starém Egyptě zabalovali hliněné nádoby s ovocem do mokré látky. Voda se z látky začala vypařovat, čímž se snížila teplota v nádobě a zvýšila trvanlivost ovoce. S tímto jednoduchým principem chlazení se dále pracovalo také v starověkém Řecku a Římě. Adiabatickým chlazením jsme schopni snížit teplotu vzduchu až k teplotě blízké teplotě mokrého teploměru. Snížení teploty je ale silně závislé na stavu přiváděného vzduchu, zejména pak na jeho vlhkosti. Tento způsob chlazení není vhodný ve všech klimatických podmínkách (více v samostatné kapitole).

Existuje více možností, jak tento fyzikální jev využít a to:

- Přímé adiabatické chlazení (DEC)
- Nepřímé adiabatické chlazení (IEC)
- Kombinace přímého a nepřímého chlazení (DEC/IEC)

Přímé chlazení pracuje na již zmiňovaném principu, který je realizován dvěma základními způsoby. Buďto je voda pomocí trysek rozstříkována do vzduchu v prostoru adiabatické komory, kde dojde k vypaření a odvodu tepla ze vzduchu, nebo je vzduch vháněn skrz náplň. Na této náplni, která je prolévána vodou, dochází k odparu a tím k ochlazování okolního protékajícího vzduchu. Existuje také několik modifikací, například využití ultrazvukového vyvíječe vodní mlhy.

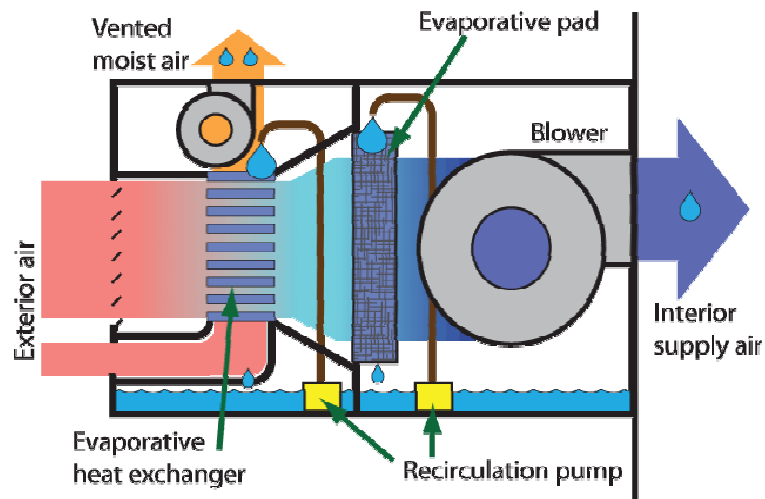


Obrázek A.4 Přímé a nepřímé adiabatické chlazení s cirkulací vody [4]

Při nepřímém chlazení je ochlazováno pomocné medium, které pak přes výměník odebírá teplo přiváděnému vzduchu. Pomocná látka může být jak voda, tak odpadní vzduch. Tento způsob má výhodu v tom, že přiváděný vzduch do interiéru je ochla-

zován, ale není vlhčen. To znamená, že dodatečně nezvyšuje vlhkost v interiéru. Nevýhodou je pak nižší účinnost chlazení v porovnání s přímou metodou a to proto, že do procesu vstupuje účinnost výměníku.

Další používanou variantou je kombinace obou metod. Ve VZT jednotce je první odpadní vzduch před vstupem na deskový výměník zvlhčen a ochlazen. Na deskovém výměníku odpadní vzduch odebere část tepla čerstvému přiváděnému vzduchu. Tento přiváděný vzduch je dále přímo adiabaticky chlazen. Výhody jsou v dosažení většího rozdílu teplot a také ve větší použitelnosti systému, jelikož přiváděný vzduch nemusí být tak intenzivně vlhčen jako při přímém chlazení. Nevýhody jsou větší složitost systému a větší energetická náročnost (více spotřebované elektrické energie pro ventilátor druhého okruhu a také vody). [4]

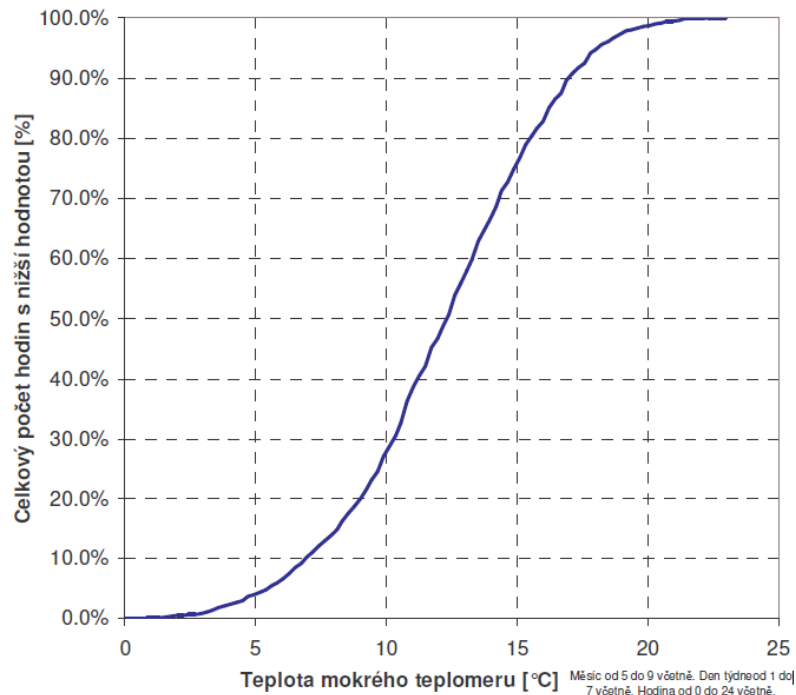


Obrázek A.5 Kombinace přímého a nepřímého adiabatického chlazení [5]

A.3 Přímého adiabatického chlazení v našich klimatických podmínkách

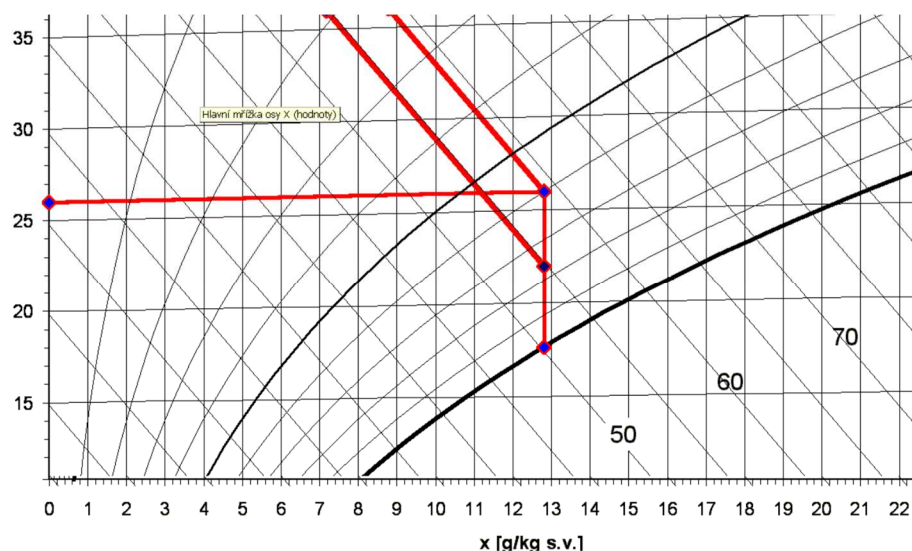
Rozhodujícím parametrem pro vhodnost použití adiabatického chlazení je vlhkost nasávaného vzduchu. Maximální možné ochlazení je závislé na teplotě vzduchu a teplotě mokrého teploměru. Zkrápěné adiabatické zvlhčovače ale nedokáží nasycit vzduch na 100 % relativní vlhkosti, reálně se hodnoty relativní vlhkosti pohybují na hranici 90 % relativní vlhkosti vzduchu. Pro lepší posouzení vhodnosti adiabatického chlazení lze určit adiabatický potenciál, což je rozdíl teploty vzduchu a teploty mokrého teploměru. Největší potenciál má klima velmi horké a suché (Kalifornie). Česká republika leží v oblasti, kde je klima označované jako teplé (32 °C) a středně vlhké. [5]

Posouzení vhodnosti adiabatického chlazení v našich klimatických podmínkách vychází z práce pana Laina, kde pracuje s referenčním rokem pro Prahu (TRY). Pro vhodnost adiabatického chlazení je směrodatná teplota mokrého teploměru. Z grafu je patrné, že teplota mokrého teploměru vyšší než 20 °C dosahuje četnosti cca 1 %. Tento stav se jeví jako relativně příznivý. Rozdíl mezi skutečnou teplotou 32 °C a teplotou mokrého teploměru je 12° C. [4]



Obrázek A.6 Graf četnosti teplot mokrého teploměru pro Prahu (TRY) [6]

Při snaze dosáhnout interiérové teploty 26 °C a relativní vlhkosti maximálně 60 % lze pomocí h-x diagramu určit, že přímé adiabatické chlazení je nepoužitelné, když je měrná vlhkost vyšší než 12,8 g/kg a entalpie exteriérového vzduchu je vyšší než 59 kJ/kg. Pokud počítáme s pokrytím tepelné zátěže interiéru, musí být přiváděný vzduch chladnější alespoň o 4 K. Maximální entalpie přiváděného vzduchu je pak 55 kJ/kg.



Obrázek A.7 Odečtení limitů z h-x diagramu pro přímé adiabatické chlazení [6]

V případě výběru hodnot teploty a relativní vlhkosti na hraně hygienických limitů pro kancelářskou práci (třída práce I) tedy teplotu 27 °C a 70 % relativní vlhkost, je maximální entalpie 64 kJ/kg a měrná vlhkost 15,9 g/kg.

Tabulka A.1 Počet hodin, kdy pro zadané podmínky nelze použít přímé adiabatické vlhčení [6]

Počet hodin kdy je	Praha TRY
entalpie vyšší než 59 kJ/kg a měrná vlhkost vyšší než 12,8 g/kg	36
entalpie vyšší než 55 kJ/kg a měrná vlhkost vyšší než 12,8 g/kg	92
entalpie vyšší než 64 kJ/kg a měrná vlhkost vyšší než 15,9 g/kg	4

Z tabulky vyplývá, že při teplotě přiváděného vzduchu chladnějšího o 4 K, budou překročeny hygienické limity pro kanceláře 4 hodiny za rok pro referenční rok. Nutno podotknout, že ve výpočtu jsou zanedbány vnitřní vlhkostní zisky. Klima České republiky se pro tento typ ochlazovaných prostor pohybuje na hraně využitelnosti pro přímé adiabatické chlazení. Jako samostatný systém nemůže celoročně zajistit požadované tepelně vlhkostní podmínky. [4]

A.4 Vliv adiabatického chlazení na tepelnou pohodu člověka

Tato kapitola se zaměřuje na ovlivnění tepelné pohody člověka pomocí adiabatického chlazení. Nejprve je stanoven hodnoticí ukazatel PMV a následně je aplikován na prostředí, které je adiabaticky chlazeno. V této kapitole nebude brán zřetel na hygienické limity pro vnitřní prostředí budov.

A.4.1 Hodnocení tepelné pohody dle ukazatele PMV

Pan profesor Fagner definoval tepelnou pohodu jako stav lidské mysli, který vyjadřuje spokojenost s prostředím. Z podstaty věci vyplývá, že vnímání prostředí je subjektivní. Přesto je žádoucí stanovit určitá kritéria, která tento stav popisují a slouží ke kvalitnímu návrhu vnitřního prostředí. Běžně užívané hodnocení tepelné pohody vychází právě z poznatků profesora Fagnera a je implementováno do české normy ČSN EN ISO 7730. Základní měřitelné faktory definující tepelnou pohodu člověka jsou rozděleny do dvou skupin. [6], [7]

Vnitřní faktory

- fyzická aktivita (met)
- tepelný odpor oděvu (clo)

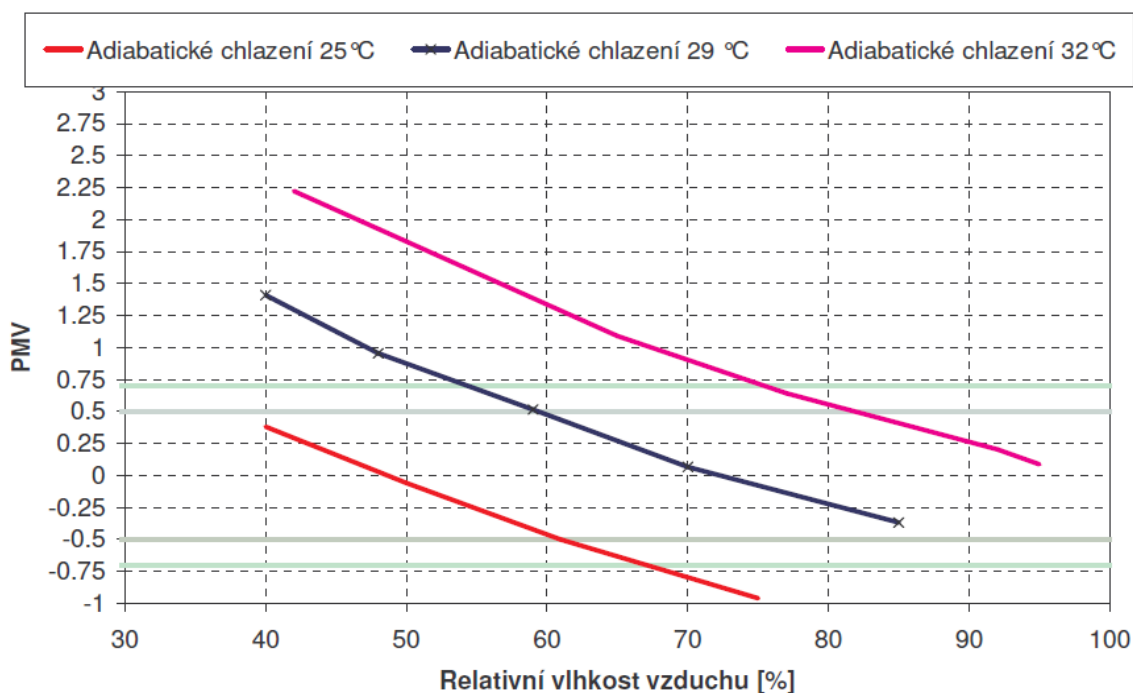
Vnější faktory

- teplota vzduchu (°C)
- radiační teplota (°C)
- relativní vlhkost vzduchu (%)
- rychlost proudění vzduchu (m/s)

Výpočet je založen na rovnováze tepelné produkce člověka a jeho schopnosti toto teplo komfortně odvádět (konvekcí, sáláním, vypařováním, a dýcháním). Když je tato rovnice rovna 0, tedy ukazatel PMV (predicted mean vote) je roven nule, znamená to, že je stav nejlepší možný. Ale i v tomto případě se počítá s předpokládanou nespokojeností osob 5 %. Ukazatel PMV může nabývat hodnot -3 až 3. Cílem správného návrhu vnitřního prostředí je dosažení stavu, kdy je PMV mezi -0,5 až 0,5, což znamená 10 % předpokládaných nespokojených osob. Počet předpokládaných nespokojených osob se označuje zkratkou PPD (predicted percentage dissatisfied).

A.4.2 Vliv teploty a vlhkosti vzduchu na tepelnou pohodu člověka

Pro posouzení efektu adiabatického chlazení na tepelnou pohodu člověka byl sestaven jednoduchý graf. A to pro tři stavy vstupního vzduchu při teplotě 25 °C, 29 °C a 32 °C. Relativní vlhkost vzduchu byla brána pro všechny případy 40 %. Odpor oděvu a práce metabolismu byly také brány pro všechny případy stejné a to clo 0,7 a met 1,2. [4]



Obrázek A.8 Vliv adiabatického chlazení na tepelnou pohodu dle ukazatele PMV [6]

Z grafu je patrné, že adiabatické chlazení, může pro návrhové stavy vzduchu a při smysluplném využití, pozitivně ovlivnit tepelnou pohodu osob.

A.5 Problémy spojené s provozem přímého adiabatického chlazení

A.5.1 Nízký chladicí výkon

Jak již bylo zmíněno výše, s vyšší exteriérovou vlhkostí se snižuje adiabatický potenciál, čímž se také snižuje možný výkon chlazení. U budov s velkými vnitřními tepelnými zisky adiabatické chlazení nedokáže nahradit chlazení strojní po celou část ročního období při zajištění hygienických požadavku dle Nařízení vlády č. 361/2007 ve znění pozdějších předpisů. Jedním z důvodů je to, že na rozdíl od strojního adiabatického chlazení nelze systém provozovat v cirkulačním režimu (jako jednotky FAN-COIL) a to kvůli vysoké akumulaci vlhkosti v interiéru. Zvýšená vlhkost v interiéru je hlavním omezujícím faktorem. Tudíž pro odvod větší tepelné zátěže je zapotřebí přivádět větší množství čerstvého vzduchu. To sebou nese zvýšené nároky na velikost VZT soustavy a také možné riziko průvanu. [8]

A.5.2 Zvýšení relativní vlhkosti v ochlazované místnosti

Adiabatické chlazení zvyšuje vlhkost v interiéru. Z předchozí kapitoly je ale známo, že zvýšení vlhkosti spojené s poklesem teploty, je z pohledu tepelné pohody osob pozitivní.

Problém může nastat se stavebními konstrukcemi objektu. Zejména v případě je-li přímé adiabatické chlazení instalováno dodatečně. To znamená, že projektant nepočítal se zvýšenou vlhkostí vzduchu v letních měsících. V ojedinělých případech při velkém vytížení adiabatického chlazení může dojít ke stavu, kdy se naakumulovaná vlhkost ve stavbě ze zimního období nestihne odpařit v období letním. V takovém případě může dojít k degradaci konstrukce jak po statické, tak tepelně izolační stránce. [9]

A.5.3 Vznik choroboplodných zárodků

Tento problém nastává zejména u zkrápěných přímých adiabatických zvlhčovačů, kde je zkrápěná náplň dlouhodobě vystavena okolnímu vzduchu. Při nesprávném provedení a používání zde může nastat množení bakterií a plísní, které jsou pak vháněny do místnosti pomocí ochlazovaného vzduchu. K rozvoji těchto choroboplodných zárodků napomáhá to, že většina používaných náplní je vyrobena z organického materiálu na bázi celulózy. Když je zařízení v chodu, teplota materiálu se pohybuje blízko teploty ochlazovaného vzduchu, náplň je neustále zkrápěna čerstvou vodou a skrz náplň proudí velké množství čerstvého vzduchu. Všechny tyto faktory snižují rozvoj bakterií a plísní. Problém nastává, když je zařízení vypnuto a není dostatečně vysušeno. Se zvyšující se teplotou a nízkou rychlostí vzduchu funguje celulózová vložka jako vhodný prostor pro množení choroboplodných zárodků. Tomuto stavu se dá částečně zamezit údržbou, častým proplachem a nastavení doběhu ventilátoru, který náplň dostatečně vysuší.

Za zmínku stojí výzkum pana Gorkého z univerzity v Poznani. Tento výzkum posuzoval množství bakterií typu legionela. Bakterie tohoto typu se rozmnožují ve vodě o teplotě 20 - 45° C. Infekce je přenášena vdechnutím vodního aerosolu obsahující tyto bakterie. Ve většině systémů používaných ke chlazení a vlhčení přichází voda v kapalném stavu do styku se vzduchem přiváděným do místnosti. Proto je u těchto systémů potřebná údržba a kontrola dle Vyhlášky č.193/2013 Sb. Při přímém adiabatickém chlazení, kdy systém pracuje s vodou v cirkulačním provozu, je rizikem vodní rezervoár. Tento zásobník vody je potřeba při přerušení provozu vypustit. Při tomto výzkumu byly odebrány vzorky z rezervoáru po třech měsících provozu. Tento vzorek byl podroben zkouškám na přítomnost bakterií Legionella pneumophila. Vzorek byl negativní. [10] [11]

B VÝPOČTOVÁ ČÁST

B.1 Úvod

Tato část diplomové práce bude zaměřena na využití přímého adiabatického chlazení pro zlepšení tepelné pohody člověka ve velkokapacitních stanech. Prvně budou ověřena vstupní klimatická data. Následně bude sestaven univerzální výpočtový program pro stanovení potřebného množství přiváděného vzduchu. Součástí uceleného návrhu je také vyřešení distribuce přiváděného vzduchu. V další kapitole bude navrhnout samotný mobilní adiabatický chladič.

B.2 Ověření klimatických dat

Pro ověření vstupních parametrů, bylo zvoleno město Rožnov pod Radhoštěm, které se nachází ve Zlínském kraji v podhůří Beskyd. Město leží v nadmořské výšce 378 m.n.m. Pro provoz adiabatického chlazení toto podnebí není nejvhodnější. Na druhou stranu pro smysluplné využití tohoto zařízení v České Republice je zapotřebí, aby fungovalo na většině míst v České republice.

Pro měření byla použita hodinová data zaznamenaná v letním období od května do začátku října, a to pro roky 2014, 2016 a 2017. Rok 2015 byl vynechán z důvodu výpadku měřící stanice. Celkem se jednalo o něco málo přes 11 tisíc hodnot. Výsledky měření jsou shrnuty v následující tabulce. Teplota 27 °C byla stanovena jako hraniční teplota. Z výsledků také vyplývá, že průměrně je teplota vyšší než 27 °C dosažena v padesáti dnech v roce. Z naměřených dat byly stanoveny návrhové parametry vzduchu, a to teplota 30 °C a relativní vlhkost 40 %. Tyto hodnoty odpovídají průměrným hodnotám při teplotách nad 27 °C. Interiérové hraniční požadované hodnoty byly stanoveny na 27 °C a relativní vlhkost 70 %. Tyto hodnoty vycházejí z tepelné pohody člověka, nikoliv z hygienických požadavků na vnitřní prostředí stanu, jelikož dle krajské hygienické stanice v Ostravě nejsou pro vnitřní prostředí velkokapacitních stanů hygienické limity stanoveny. Pokud chceme interiér smysluplně chladit, je nutné přivádět vzduch o teplotě alespoň o 4 K chladnější. Z h-x diagramu byly dopočteny hraniční hodnoty měrné vlhkosti a entalpie vstupního vzduchu, pro tyto parametry vzduchu (viz. Teoretická část). Z tabulky vyplývá, že nevhodný stav, kdy je venkovní vzduch je hůře použitelný pro chlazení, nastal pouze 1 hodinu, a to v roce 2017. Venkovní vzduch o měrné vlhkosti vyšší než 12,8 g/kg a entalpii vyšší než 55 kg/KJ, což odpovídá stavu vnitřnímu vzduchu 26 °C a 60 % při chlazení o 4 K, nastane průměrně 154 hodin v roce (43 % hodin při teplotě vyšší než 26 °C). Z těchto dat vyplývá, že přímé adiabatické chlazení je pro zajištění trvale kontrolovaného vnitřního klima v budovách, při dodržení hygienických limitů, samostatně nedostačující.

Velkokapacitní stan ovšem není budova. Jedná se o provizorní dočasnou stavbu. Z hlediska tepelně vlhkostního se chová jinak než budova ze standardních materiálů. Akumulace konstrukcí je zcela minimální. Fázový posun teplotních kmitů při prostupu skrz obálku budovy je neznatelný. Tepelné zisky přímou sluneční radiací jsou také minimální. Navíc vysoká vlhkost při vysoké teplotě nastává zpravidla jen krátkodobě po bouřkách, tedy při zatažené obloze. Při zatažené obloze rapidně klesne tepelná zátěž prostupem, což se projeví ve vnitřním mikroklimatu s minimálním zpožděním. Stan je v takovém případě možné vychladit i s menším teplotním spádem než 4 K.

Tabulka B.1 Vybraná klimatická data

<i>Souhrnná klimatická data</i>	<i>2014</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>
Počet hodin s teplotou větší než 27 °C	319	320	146
Průměrná teplota pro teploty vyšší než 27 °C	29,5	29,4	30,0
Průměrná vlhkost pro teploty vyšší než 27 °C	41	41	38
Počet hodin s měrnou vlhkostí vyšší než 15,9 g/kg a entalpií 63 kJ/kg	0	0	1
Počet hodin s měrnou vlhkostí vyšší než 12,8 g/kg a entalpií 55 kg/kJ	121	191	149

B.3 Sestavení výpočetního programu

Pro stanovení potřebného množství přiváděného vzduchu při dodržení tepelně vlhkostních podmínek byl sestaven výpočetní program v tabulkovém editoru. Tento program je konstruován univerzálně, a to z důvodu toho, aby dokázal zohlednit různorodé umístění, čas a využití různých typů stanů. Program na základě vstupních dat vyhodnotí výstupní teplotu z chladicího zařízení, objem přiváděného vzduchu, potřebné množství přiváděné vody a celkový chladicí výkon zařízení. Pro vyhodnocení je třeba znát všechna vstupní data a těmi jsou: teplota a relativní vlhkost exteriérového vzduchu, typ stanu, geometrie stanu, orientace stanu ke světovým stranám, hodina maximální teplotní zátěže, typ aktivity osob, počet osob a požadovaná interiérová teplota. Jednotlivé části programu budou v dalších kapitolách podrobněji rozebrány. Pro lepší pochopení je zde ukázka.

Vstupní parametry vzduchu

Nadmořská výška	323	m.n.m
Exteriérový tlak	97,4	kPa
Exteriérová teplota	30	°C
Exteriérová relativní vlhkost	40	%
Exteriérová měrná vlhkost	11,02	g/kg
Entalpie vzduchu	58,47	kJ/kg

Vstupní parametry prostředí

Typ stanu	Šapitó	
Poloměr kruhové základny	14	m
Výška stěny stanu	3	m
Odhadovaný čas maximální teplotní zátěže	15	hod
Odhadované úplné zastínění stanu okolím	0	%
Plocha obálky stanu	974,90	m ²
Tepelná zátěž přestupem plachtou	33755	W
Objem chlazeného prostoru	1847,3	m ³
Počet osob	100	os
Předpokládaná aktivita osob	sezení	
Celkový energetický výdej osob	5600	W
Celkové vlhkostní zisky od osob	8,00	l/h
Dávka čerstvého vzduchu na osobu	25	m ³ /h
Potřebný průtok čerstvého vzduchu	2500	m ³ /h

Výstupní parametry vzduchu ze zařízení

Výstupní relativní vlhkost	90	%
Výstupní měrná vlhkost	14,65	g/kg
Výstupní teplota	21,04	°C

Návrh průtoku vzduchu dle interiérové teploty

Interiérová teplota	27	°C
Interiérová vlhkost	64	%
Potřebný objem přiváděného vzduchu	19621	m ³ /h
Výměna vzduchu v ochlazeném prostoru	10,6	h ⁻¹
Nárůst měrné vlhkosti v odváděném vzduchu	0,34	g/h

Výstupní hodnoty

Celkové množství přiváděného vzduchu	19621	m ³
Zvolení typu jednotky	ADIACH 15	
Počet kusů	2	ks
Potřebné množství vody pro jednu jednotku	42,8	l/h
Chladicí výkon jedné jednotky	29,6	kW
Celkové potřebné množství vody	85,60	l/h
Celkový chladicí výkon	59,17	kW

Spustit výpočet

Fixní parametry	
Vstupní parametry	
Výstupní hodnoty	



Obrázek B.1 Ukázka výstupu z výpočetního programu

B.4 Analýza velkokapacitních stanů

Velkokapacitní stany se vyrábí ve dvou základních typech. První typ je určen pro méně osob. Jedná se o stan obdélníkového půdorysu se sedlovou střechou označovaný jako party stan. Tento typ stanu je modulární, dá se libovolně spojovat a rozšiřovat. Základní rozměr modulu je různý dle výrobců. Konstrukce je nízká s průchozí

výškou 2,5 m a s maximální výškou hřebene do 4,5 metru. Tento typ stanu je určen především k pořádání svateb, firemních a kulturních akcí.



Obrázek B.2 Party stan z interiéru [7]

Druhým typem stanu je šapitó. Tento stan se vyrábí v rozměrech pro 200 až 1000 osob. Je mnohem vyšší. V nejvyšší části je vytvořen otvor pro využití odvodu horkého vzduchu komínovým efektem.



Obrázek B.3 Šapitó [7]

B.5 Výpočet tepelné zátěže

Výpočet tepelné zátěže se skládá z několika zdrojů tepla. Těmito zdroji jsou zejména slunce a lidé, dále pak osvětlení, zvuková aparatura atd. V případě slunce se jedná o

tepelnou zátěž prostupem, jelikož stany z pravidla nejsou vybaveny průhlednými plochami. U stanů se počítá s velkou akumulací osob. Dle podkladů pronajímatele stanů je počítáno s minimální plochou 1,5 m² pro sedící osobu a 1 m² pro osobou stojící. Výpočet tepelné zátěže byl proveden dle normy ČSN 730548.[12] [13]

B.5.1 Součinitel přestupu tepla

Tepelný odpor skladby R [m²·K·W⁻¹]

$$R = \frac{\sum d_i}{\lambda_i} \quad (1.1)$$

kde d_i je tloušťka konstrukce [m]

λ_i je součinitel tepelné vodivosti [W·m⁻¹·K⁻¹]

Celkový odpor konstrukce R_T [m²·K·W⁻¹]

$$R_T = R_{se} + R + R_{si} \quad (1.2)$$

kde R_{se} je odpor při přestupu tepla z exteriéru [m²·K·W⁻¹]

R_{si} je odpor při přestupu tepla do interiéru [m²·K·W⁻¹]

$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e}$$

kde α_e je součinitel přestupu tepla na vnější straně, $\alpha_e = 15$ [W·m⁻²·K⁻¹]

α_i je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně, $\alpha_e = 8$ [W·m⁻²·K⁻¹]

Součinitel prostupu tepla U [W·m⁻²·K⁻¹]

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1.3)$$

kde R_T je celkový odpor konstrukce [m²·K·W⁻¹]

Tabulka B.2 Výpočet součinitele prostupu tepla

Název konstrukce: PVC fólie 2 mm						
Skladba konstrukce						
č.	Název vrstvy	d [mm]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	R [m ² ·K·W ⁻¹]	R _{se} [m ² ·K·W ⁻¹]	R _{si} [m ² ·K·W ⁻¹]
1	PVC fólie	2	0,35	0,006	0,067	0,125
				ΣR	0,197	m ² ·K·W ⁻¹
				U	5,066	W·m ⁻² ·K ⁻¹

B.5.2 Výpočet rovnoměrné sluneční teploty

Pro výpočet rovnoměrné sluneční teploty byly sestaveny tabulky na základě následujících vzorců. Tato tabulka bude dále sloužit jako výchozí zdroj dat pro výpočtový program.

Průběh teplot venkovního vzduchu během dne [°C]

$$t_e = t_{e \max} - A[1 - \sin(15 \cdot \tau - 135)] \quad (1.4)$$

kde A je amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu [K]

$t_{e \max}$ je maximální teplota v příslušném dni [K]

τ je sluneční čas [h]

Průběh rovnocenných slunečních teplot během dne [°C]

$$t_r = t_e + \frac{\varepsilon \cdot I}{\alpha_e} \quad (1.5)$$

kde ε je součinitel poměrné tepelné pohltivosti materiálu [-]

α_e je součinitel přestupu tepla na vnější straně, $\alpha_e = 15 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$

I je intenzita přímé a difúzní radiace dopadající na stěnu [W]

Tabulka B.3 Průběh intenzit přímé a difúzní sluneční radiace [8]

hod	H	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	54	59	98	96	55	28	28	28	28
6	177	136	333	372	230	63	63	63	63
7	332	110	432	555	407	92	92	92	92
8	491	117	417	628	540	204	117	117	117
9	634	138	325	605	611	340	138	138	138
10	747	153	189	505	615	454	153	153	153
11	819	163	163	351	556	530	289	163	163
12	843	166	166	166	442	556	442	166	166
13	819	163	163	163	289	530	556	163	163
14	747	153	153	153	153	454	615	189	189
15	634	138	138	138	138	340	611	325	325
16	491	117	117	117	117	204	540	417	417
17	332	110	92	92	92	92	407	432	432
18	177	136	63	63	63	63	230	333	333
19	65	59	28	28	28	28	55	92	98

20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Součinitel tepelné pohltivosti materiálu je volitelný parametr dle druhu a barvy materiálu stanu. V základním nastavení výpočtového programu je jeho hodnota 0,3, což odpovídá bílé PVC folii určené odborným odhadem dle normy. [13]

Tabulka B.4 Průběh rovnocenných slunečních teplot během dne dle světových stran, $A = 7 \text{ K}$, $\epsilon = 0,3$

hod	t_e	horiz	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	$t_{\text{průměr}}$
1	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9
2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
3	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
4	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
5	18,9	20,0	20,1	20,9	20,9	20,0	19,5	19,5	19,5	19,5	20,0
6	20,1	23,6	22,8	26,7	27,5	24,7	21,3	21,3	21,3	21,3	23,2
7	21,5	28,1	23,7	30,1	32,6	29,6	23,3	23,3	23,3	23,3	25,7
8	23,2	33,0	25,5	31,5	35,7	34,0	27,3	25,5	25,5	25,5	28,5
9	25,0	37,7	27,8	31,5	37,1	37,2	31,8	27,8	27,8	27,8	31,1
10	26,8	41,8	29,9	30,6	36,9	39,1	35,9	29,9	29,9	29,9	33,1
11	28,5	44,9	31,8	31,8	35,5	39,6	39,1	34,3	31,8	31,8	34,5
12	29,9	46,8	33,3	33,3	33,3	38,8	41,1	38,8	33,3	33,3	35,2
13	31,1	47,4	34,3	34,3	34,3	36,8	41,7	42,2	34,3	34,3	36,2
14	31,8	46,7	34,8	34,8	34,8	34,8	40,8	44,1	35,5	35,5	36,5
15	32,0	44,7	34,8	34,8	34,8	34,8	38,8	44,2	38,5	38,5	36,7
16	31,8	41,6	34,1	34,1	34,1	34,1	35,8	42,6	40,1	40,1	36,0
17	31,1	37,7	33,3	32,9	32,9	32,9	32,9	39,2	39,7	39,7	34,7
18	29,9	33,5	32,7	31,2	31,2	31,2	31,2	34,5	36,6	36,6	32,9
19	28,5	29,8	29,7	29,1	29,1	29,1	29,1	29,6	30,3	30,5	29,5
20	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8
21	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
22	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
23	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
24	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1

Tato tabulka má proměnlivý charakter. Závisí na již zmíněném součiniteli poměrné tepelné pohltivosti ϵ a také na maximální exteriérové teplotě vzduchu zadané uživatelem. V základním nastavení přednastavené na 30 °C.

B.5.3 Výpočet tepelné zátěže prostupem pro variantu 1 – Šapitó

Výpočet tepelné zátěže prostupem je součástí programu vytvořeného v tabulkovém editoru. V tomto případě je s výhodou počítáno s tím, že tento typ stanu má kruhovou základnu. Tedy pro výpočet tepelné ztráty prostupem stěnou byla rovnoměrná sluneční teplota brána jako průměr teplot 8 světových stran (S, J, V, Z, JV, JZ, SV, SZ). Pro výpočet tepelné zátěže prostupem střechy, která má kuželový tvar, byla brána

rovnocenná sluneční teplota jako průměr stěnových teplot a horizontální rovnocenné sluneční teploty, a to v poměru úhlu střechy (30 °). Jelikož má tento typ stanu v nejvyšším vrcholu otvor pro aeraci, bylo bráno, že 50 % z tepla prostupem střechou se přirozenou konvekcí odvede tímto otvorem. Tento poměr byl zvolen na základě odborného odhadu, jelikož přesné stanovení by vyžadovalo výpočet pomocí CFD simulace, která není tématem této diplomové práce.

Tabulka B.5 Vstupní parametry prostředí – Šapitó

<i>Vstupní parametry prostředí</i>		
Typ stanu	Šapitó	
Poloměr kruhové základny	14 m	
Výška stěny stanu	3 m	
Odhadovaný čas maximální teplotní zátěže	13 hod	
Odhadované úplné zastínění stanu okolím	10 %	
Plocha obálky stanu	974,90 m ²	
Tepelná zátěž přestupem plachtou	36010 W	
Objem chlazeného prostoru	3506,3 m ³	

B.5.4 Výpočet tepelné zátěže prostupem varianta 2 – Party stan

V této variantě je počítáno s rozměrově variabilním party stanem obdélníkové podstavy se sedlovou střechou. Program počítá tepelnou zátěž dle orientace stěn ke světovým stranám a také dle zvolené hodiny maximální tepelné zátěže. V programu je možné také zohlednit zastínění části stanu, například budovou.

Tabulka B.6 Vstupní parametry prostředí – Party stan

<i>Vstupní parametry prostředí</i>		
Typ stanu	Party stan	
Délka obdélníkové podstavy	15 m	
Šířka obdélníkové podstavy	10 m	
Výška stěny stanu	2,5 m	
Orientace delší strany	SV	
Odhadovaný čas maximální teplotní zátěže	15 hod	
Odhadované úplné zastínění stanu okolím	0 %	
Plocha obálky stanu	444,25 m ²	
Tepelná zátěž přestupem plachtou	18122 W	
Objem chlazeného prostoru	511,5 m ³	

B.5.5 Výpočet tepelné zátěže od lidí

Výpočet tepelné zátěže byl proveden dle Technického průvodce. Počty osob byly navrhovány v souladu s podklady výrobců stanů. [3]

Tabulka B.7 Tepelný výdej a vlhkostní zisky od osob [3]

Tepelný výdej člověka dle aktivity a teploty okolí

aktivita	21 °C		26 °C		27 °C		28 °C	
	citelné teplo [W]	vodní pára [g/h]	citelné teplo [W]	vodní pára [g/h]	citelné teplo [W]	vodní pára [g/h]	citelné teplo [W]	vodní pára [g/h]
sezení	93	33	62	79	56	88	50	97
stání	90	89	60	134	54	143	48	152
tanec	116	215	77	273	70	285	62	296

V programu je možné nastavit předpokládanou aktivitu osob. Jsou vypočteny také vlhkostní zisky od lidí a přepočtena potřebná dávka čerstvého vzduchu dle vyhlášky 268/2009 Sb. [14]

Počet osob	300	os
Předpokládaná aktivita osob	sezení	
Celková produkce tepla osob	16800	W
Celkové vlhkostní zisky od osob	26,40	l/h
Dávka čerstvého vzduchu na osobu	25	m ³ /h
Potřebný průtok čerstvého vzduchu	7500	m ³ /h

B.6 Výpočet teploty přiváděného vzduchu

Teplota přiváděného vzduchu se odvíjí od stavu venkovního vzduchu a účinnosti adiabatického chlazení, tedy výsledné relativní vlhkosti přiváděného vzduchu. Dle klimatických údajů byl stanoven stav venkovního vzduchu, teplota 30 °C a relativní vlhkosti 40 %. Výsledná relativní vlhkost byla dle experimentálního měření stanovena na 90 %. Výsledná teplota přiváděného vzduchu byla dopočítána na základě nulového rozdílu entalpií venkovního a přiváděného vzduchu. Pro tento výpočet bylo zapotřebí využít citlivostní analýzu, jelikož i dle Chyského je vyjádření značně náročné. Pro úpravy vzduchu byly použity následující vztahy. [3]

Parciální tlak syté vodní páry [Pa]

$$p''_D = e^{(23,58 - \frac{4044,6}{235,6+t})} \quad (1.6)$$

kde t je teplota [°C]

Relativní vlhkost vzduchu [%]

$$\varphi \cong \frac{p_D}{p''_D} \quad (1.7)$$

kde p_D je parciální tlak vodních par [Pa]

p''_D je tlak syté vodní páry [Pa]

Měrná vlhkost vzduchu [g/kg]

$$x = 0,622 \cdot \frac{p_D}{p - p_D} \quad (1.8)$$

kde p_D je parciální tlak vodních par [Pa]

p je tlak vzduchu [Pa]

Měrná entalpie vlhkého vzduchu [kJ/kg]

$$h = 1,01 \cdot t + (2500 + 1,872 \cdot t) \cdot x \quad (1.9)$$

kde t je teplota vzduchu [°C]

x je měrná vlhkost vzduchu [g/kg]

Rovnice pro výpočet teploty přiváděného vzduchu

$$h = 1,01 \cdot t_p + (2500 + 1,872 \cdot t_p) \cdot 0,622 \cdot \frac{e^{\left(23,58 - \frac{4044,6}{235,6 + t_p}\right)} \cdot \varphi_p}{p - e^{\left(23,58 - \frac{4044,6}{235,6 + t_p}\right)} \cdot \varphi_p} \quad (2.1)$$

kde h je entalpie vzduchu [kJ/kg]

p je tlak vzduchu [Pa]

φ_p je relativní vlhkost přiváděného vzduchu [%]

K výpočtu teploty t_p byla využita citlivostní analýza v tabulkovém editoru.

Tabulka B.8 Výpočet výstupní teploty

Vstupní parametry vzduchu

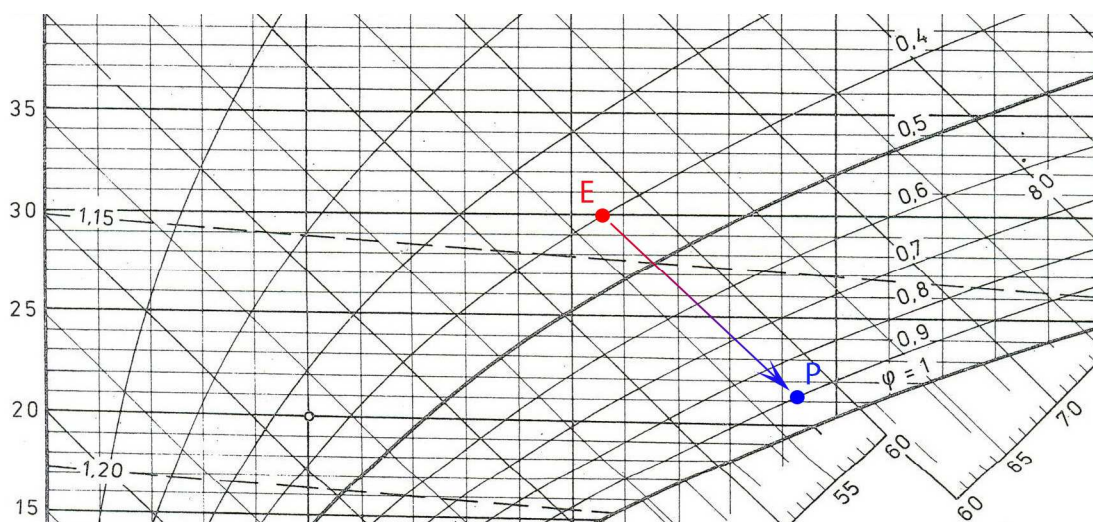
Nadmořská výška	323	m.n.m
Exteriérový tlak	97,4	kPa
Exteriérová teplota	30	°C
Exteriérová relativní vlhkosti	40	%
Exteriérová měrná vlhkost	11,02	g/kg
Entalpie vzduchu	58,47	kJ/kg

Výstupní parametry vzduchu ze zařízení

Výstupní relativní vlhkost	90	%
Výstupní měrná vlhkost	14,65	g/kg
Výstupní teplota	21,04	°C

B.6.1 Porovnání vypočtené teploty a teploty odečtené z h-x diagramu.

Při vstupních parametrech teplota vzduchu 30 °C, relativní vlhkost 40 % a atmosférickém tlaku 100 kPa. Byla vypočtená teplota přiváděného vzduchu po adiabatickém chlazení na úroveň relativní vlhkosti 90 % stanovena na 21,1 °C. Hodnota odečtená z h-x diagramu se rovnala 21,2 °C. Rozdíl je způsoben nepřesností analytického výpočtu, použitím zjednodušených výpočetních vztahů a nedokonalého odečtení teploty z diagramu.



Obrázek B.4 Zobrazení adiabatického chlazení v h-x diagramu

B.7 Výpočet množství přiváděného vzduchu

Množství přiváděného vzduchu bylo vypočteno na základě potřeby odvést vnější a vnitřní tepelnou zátěž. Hodnota minimálního množství přiváděného vzduchu byla stanovena dle potřeby čerstvého vzduchu na osobu a předpokládaného počtu osob

ve stanu. Dávka čerstvého vzduchu na osobu byla počítána dle standardů 25 m³/h·os.

Výpočet množství přiváděného vzduchu [m³/h]

$$V_p = \frac{Q_p + Q_{os} + Q_{vn}}{c \cdot \rho \cdot (t_i - t_p)} \quad (2.2)$$

kde Q_p je tepelná zátěž prostupem [W]

Q_{os} je tepelná zátěž od lidí [W]

Q_{vn} je dodatečná vnitřní zátěž (osvětlení, technika) [W]

c je měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg·K]

ρ je měrná hmotnost [kg/m³]

t_i je teplota interiérového vzduchu [°C]

t_p je teplota přiváděného vzduchu [°C]

B.8 Množství potřebné vody a chladící výkon

Množství potřebné vody pro adiabatické chlazení bylo dopočteno z rozdílů měrných vlhkostí a množství přiváděného vzduchu.

Výpočet množství přiváděné vody [g/h]

$$m = V \cdot \rho \cdot (x_p - x_e) \quad (2.3)$$

kde V je objem přiváděného vzduchu [m³/h]

ρ je měrný objem vzduchu [kg/m³]

x_p je měrná vlhkost přiváděného vzduchu [g/kg]

x_e je měrná vlhkost exteriérového vzduchu [g/kg]

Výpočet chladícího výkonu [W]

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_e - t_p) \quad (2.4)$$

kde V je objem přiváděného vzduchu [m³/h]

ρ je měrný objem vzduchu [kg/m³]

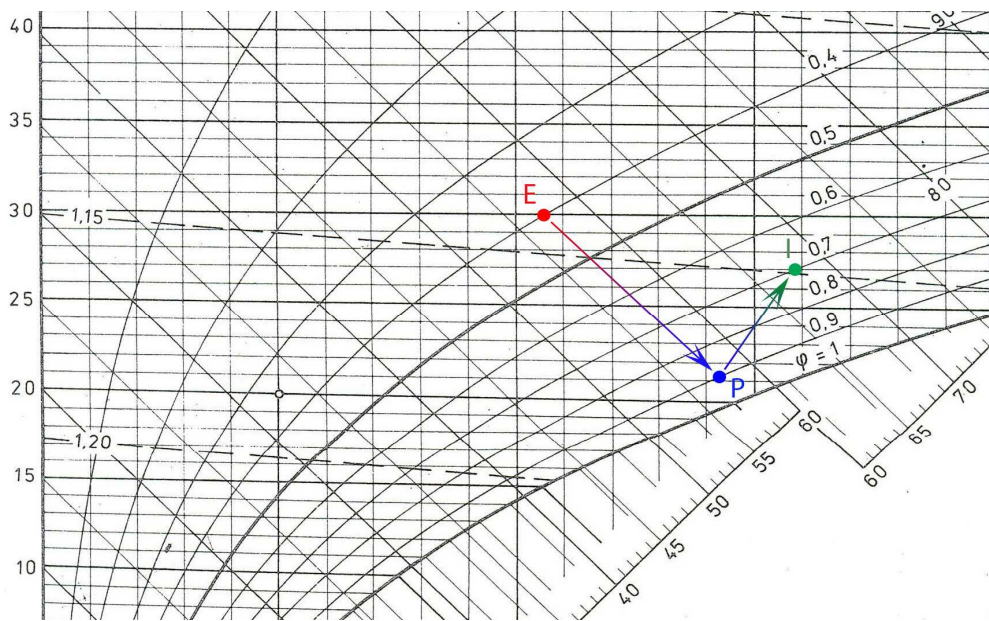
c je měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg·K]

t_e je teplota exteriérového vzduchu [°C]

t_p je teplota přiváděného vzduchu [°C]

B.9 Výpočet velkokapacitního stanu typu šapitó

Simulována byla situace dvoudenního hudebního festivalu, který se koná v červenci. Z důvodu nezávislosti na počasí byla hudební scéna umístěna do velkokapacitního stanu. Doba maximální teplotní zátěže byla stanovena na 3 hodiny odpoledne. Požadovaná teplota byla nastavena na 27 °C.



Obrázek B.5 Výpočet stavu vzduchu znázorněný v h-x diagramu

Tabulka B.9 Výpočet potřebného množství přiváděného vzduchu a výkonu chlazení - Šapitó

Vstupní parametry vzduchu

Nadmořská výška	323	m.n.m
Exteriérový tlak	97,4	kPa
Exteriérová teplota	30	°C
Exteriérová relativní vlhkost	40	%
Exteriérová měrná vlhkost	11,02	g/kg
Entalpie vzduchu	58,47	kJ/kg

Spustit výpočet

Fixní parametry	
Vstupní parametry	
Výstupní hodnoty	

Vstupní parametry prostředí

Typ stanu	Šapitó	
Poloměr kruhové základny	14	m
Výška stěny stanu	3,5	m
Odhadovaný čas maximální teplotní zátěže	15	hod
Odhadované úplné zastínění stanu okolím	0	%
Plocha obálky stanu	1018,89	m ²
Tepečná zátěž přestupem plachtou	35472	W
Objem chlazeného prostoru	3814,2	m ³
Počet osob	400	os
Předpokládaná aktivita osob	sezení	
Celková produkce tepla osob	22400	W
Celkové vlhkostní zisky od osob	35,20	l/h
Dávka čerstvého vzduchu na osobu	25	m ³ /h
Potřebný průtok čerstvého vzduchu	10000	m ³ /h



Výstupní parametry vzduchu ze zařízení

Výstupní relativní vlhkost	90	%
	14,65	g/kg
Výstupní teplota	21,04	°C

Návrh průtoku vzduchu dle interiérové teploty

Interiérová teplota	27	°C
Interiérová vlhkost	67	%
Potřebný objem přiváděného vzduchu	28852	m ³ /h
Výměna vzduchu v ochlazovaném prostoru	7,6	h ⁻¹

Výstupní hodnoty

Celkové množství přiváděného vzduchu	28852	m ³
Zvolení typu jednotky	ADIACH 15	
Počet kusů	2	ks
Potřebné množství vody pro jednu jednotku	62,9	l/h
Chladicí výkon jedné jednotky	43,5	kW
Celkové potřebné množství vody	125,87	l/h
Celkový chladicí výkon	87,01	kW

Z výpočtu vyplývá, že pro udržení interiérové teploty na úrovni 27 °C je zapotřebí 87 kW chladicího výkonu, což představuje množství přiváděného vzduchu 28 900 m³/h. Pro provoz adiabatického chlazení je zapotřebí přivádět 126 litrů vody za hodinu. Relativní vlhkost interiérového vzduchu bude na úrovni 67 % včetně vnitřních vlhkostních zisků.

B.10 Výpočet velkokapacitního stanu typu party stan

V dalším případě je simulován celodenní firemní dětský den, který se bude konat v červenci. Opět z důvodu nezávislosti na počasí jsou stoly a posezení umístěny do velkokapacitního party stanu. Požadovaná teplota byla opět stanovena 27 °C.

Tabulka B.10 Výpočet potřebného množství přiváděného vzduchu a výkonu chlazení – Party stan

Vstupní parametry vzduchu

Nadmořská výška	323	m.n.m
Exteriérový tlak	97,4	kPa
Exteriérová teplota	30	°C
Exteriérová relativní vlhkost	40	%
Exteriérová měrná vlhkost	11,02	g/kg
Entalpie vzduchu	58,47	kJ/kg

Spustit výpočet

Fixní parametry	
Vstupní parametry	
Výstupní hodnoty	

Vstupní parametry prostředí

Typ stanu	Party stan	
Délka obdélníkové podstavy	15	m
Šířka obdélníkové podstavy	10	m
Výška stěny stanu	2,5	m
Orientace delší strany	SV	
Odhadovaný čas maximální teplotní zátěže	13	hod
Odhadované úplné zastínění stanu okolím	10	%
Plocha obálky stanu	444,25	m ²
Tepelná zátěž přestupem plachtou	18155	W
Objem chlazeného prostoru	511,5	m ³
Počet osob	80	os
Předpokládaná aktivita osob	sezení	
Celková produkce tepla osob	4480	W
Celkové vlhkostní zisky od osob	7,04	l/h
Dávka čerstvého vzduchu na osobu	25	m ³ /h
Potřebný průtok čerstvého vzduchu	2000	m ³ /h



Výstupní parametry vzduchu ze zařízení

Výstupní relativní vlhkost	90	%
	14,65	g/kg
Výstupní teplota	21,04	°C

Návrh průtoku vzduchu dle interiérové teploty

Interiérová teplota	27	°C
Interiérová vlhkost	65	%
Potřebný objem přiváděného vzduchu	11285	m ³ /h
Výměna vzduchu v ochlazeném prostoru	22,1	h ⁻¹

Výstupní hodnoty

Celkové množství přiváděného vzduchu	11285	m ³
Zvolení typu jednotky	ADIACH 15	
Počet kusů	1	ks
Potřebné množství vody pro jednu jednotku	49,2	l/h
Chladicí výkon jedné jednotky	34,0	kW
Celkové potřebné množství vody	49,23	l/h
Celkový chladicí výkon	34,03	kW

Z výpočtu je patrné, že pro udržení interiérové teploty na úrovni 27 °C je zapotřebí 34 kW chladicího výkonu, což představuje množství přiváděného vzduchu 11 300 m³/h. Pro provoz adiabatického chlazení je zapotřebí přivádět 49,2 litrů vody za hodinu. Relativní vlhkost interiérového vzduchu bude na úrovni 65 %. Výměna vzduchu v tomto případě dosahuje 22,1 h⁻¹, což indikuje zvýšený pohyb vzduchu. Možnost vzniku průvanu a možnou změnu kvality teplotní pohody osob.

B.11 Porovnání potřebného množství přiváděného vzduchu v závislosti na stavu exteriérového vzduchu

Následující tabulka zahrnuje porovnání potřebného množství přiváděného vzduchu a teploty přiváděného vzduchu. Stavy venkovního vzduchu byly brány z naměřených dat za 3 roky. Relativní vlhkost při dané teplotě vzduchu odpovídá průměru relativních vlhkostí pro tyto teploty ±0,5 °C. Z dat vyplývá, že výkon adiabatického chlazení vyjádřený v rozdílu teplot přiváděného a exteriérového vzduchu se při rozdílu exteriérových teplot o 10 °C takřka zdvojnásobil. Tento fakt je častý argument využití adiabatického chlazení. Čím je vyšší teplota, tím je výkon adiabatického chladiče vyšší. Tento jev je způsobený poklesem relativní vlhkosti exteriérového vzduchu při vyšší teplotě. Z potřebného množství přiváděného vzduchu je ale patrné, že pro stan, který je vystaven velké teplotní zátěži prostupem, je toto zvýšení výkonu adiabatického chlazení nedostatečné.

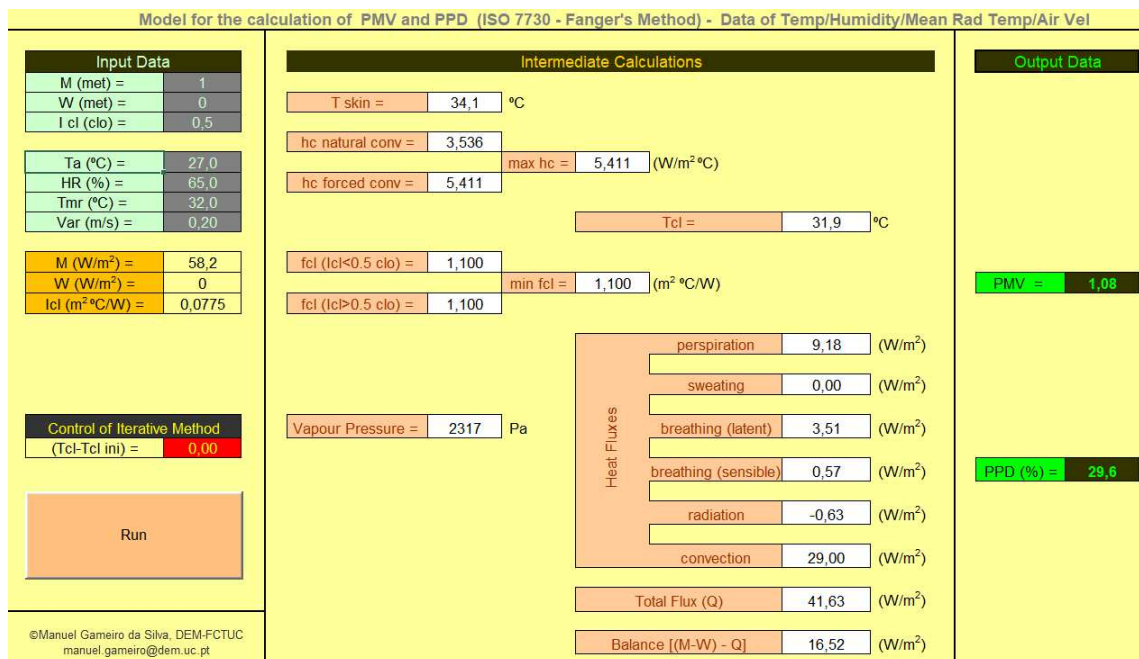
Tabulka B.11 Závislost množství přiváděného vzduchu a adiabatického výkonu na teplotě

Vlhkost, množství přiváděného vzduchu a rozdíl teplot v závislosti na teplotě

Teplota exteriérového vzduchu [°C]	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Průměrná relativní vlhkost exteriérového vzduchu [%]	48,6	46,2	43,1	43,5	41,2	39,7	38,1	35,2	33,6	31,6	30,3
Množství přiváděného vzduchu [m ³ /h]	4670	5520	6330	7860	9020	10550	12250	13390	15330	17110	19730
Teplota přiváděného vzduchu [°C]	18,6	19	19,3	20,1	20,5	21	21,4	21,5	21,9	22,1	22,5
Rozdíl teplot exteriérového a přiváděného vzduchu [°C]	6,4	7	7,7	7,9	8,5	9	9,6	10,5	11,1	11,9	12,5
Teplota interiérového vzduchu [°C]	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Relativní vlhkost interiérového vzduchu [%]	59	60	60	63	64	65	66	67	68	69	70

B.12 Vliv přímého adiabatického chlazení na kvalitu vnitřního prostředí

Porovnání bylo provedeno pomocí ukazatele PMV. Na teplotní pohodu osob má vliv několik faktorů. Těmito faktory jsou teplota vzduchu, parciální tlak vodních par (relativní vlhkost vzduchu), střední radiační teplota, rychlost vzduchu, aktivita člověka a tepelný odpor oděvu. Aktivita člověka (1 met), tepelný odpor oděvu (0,5 clo), rychlost vzduchu (0,2 m/s) a střední radiační teplota (32 °C) měly pro všechny typy provozu konstantní hodnotu. Aktivita člověka odpovídá sezení. Clo 0,5 odpovídá letnímu oblečení. Rychlost vzduchu v pobytové zóně 0,2 m/s. V běžné praxi je hodnota střední radiační teploty brána jako hodnota vzduchu. V případě stanu, kdy teplota plachty stanu výrazně překračuje teplotu okolí, bylo nutné tento fakt zohlednit. Z důvodu složitosti výpočtu střední radiační teploty byla tato hodnota odborným odhadem stanovena na 32 °C. Faktor PMV a PPD byl vypočten Fangerovou metodou v programu pana Gameira z university v Coimbre. [8]



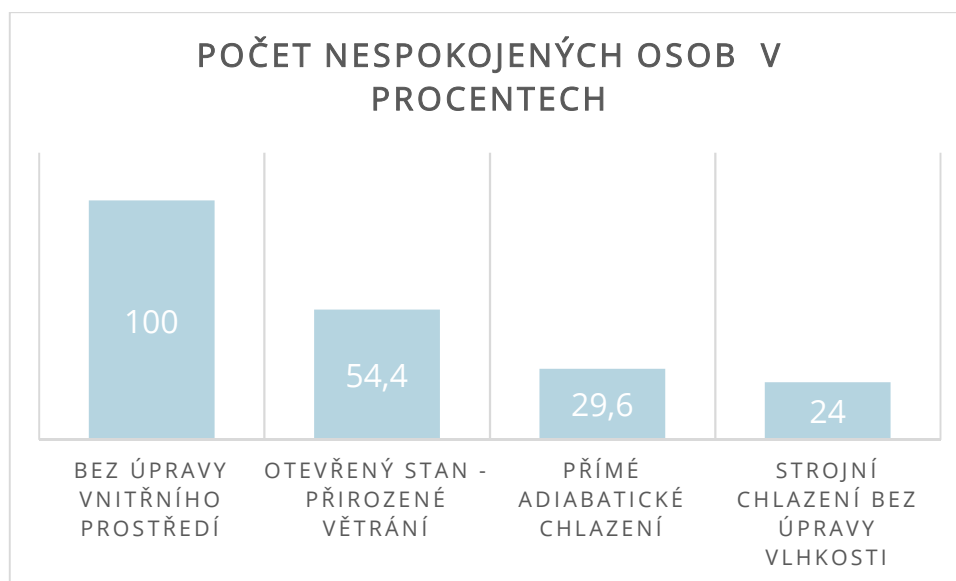
Obrázek B.6 Ukázka výpočtu faktoru PMV a PPD [9]

Faktor PPD udává počet nespokojených osob v procentech. Z tabulky je patrné, že nejlepší stav nastává při strojním chlazení a to 24 % nespokojených osob. Přímé adiabatické chlazení je horší o 5 %. Přirozené větrání je pak horší dvojnásobně. Ve všech případech je počítáno se stavem, ve kterém nevzniká průvan. Reálné podmínky zejména u přirozeného větrání se mohou výrazně lišit. Tepelná zátěž byla brána pro party stan 15x10 m v červenci v 15 hodin. Teplota exteriérového vzduchu 30 °C a relativní vlhkost 40 %.

Tabulka B.12 Porovnání jednotlivých typů úpravy vnitřního prostředí

Prostředí	Teplota	Relativní vlhkost	PMV	PPD
	[°C]	[%]	[-]	[%]
Bez úpravy vnitřního prostředí	45	41	3	100
Otevřený stan - přirozené větrání	30	40	1,56	54,4
Přímé adiabatické chlazení	27	65	1,08	29,6
Strojní chlazení bez úpravy vlhkosti	27	51	0,95	24

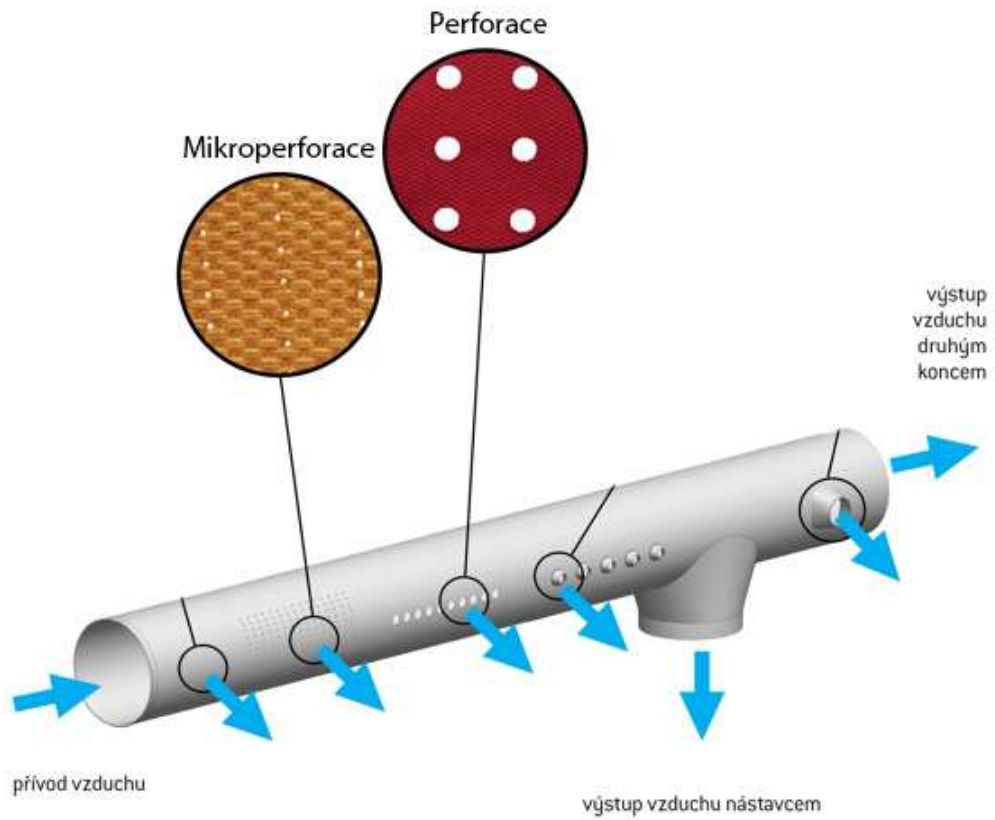
Na počet nespokojených osob má výrazný negativní vliv zvýšená hodnota střední radiační teploty. Bez vlivu zvýšené radiační teploty ($t_i = t_{mr}$) by při adiabatickém chlazení byl počet nespokojených osob 6 %.



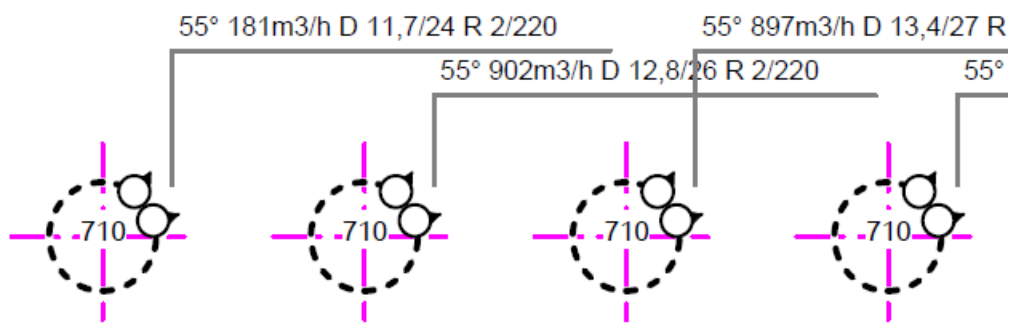
Graf B.1 Porovnání různých typů úpravy vnitřního prostředí dle PPD

B.13 Distribuce vzduchu varianta 1 - Šapitó

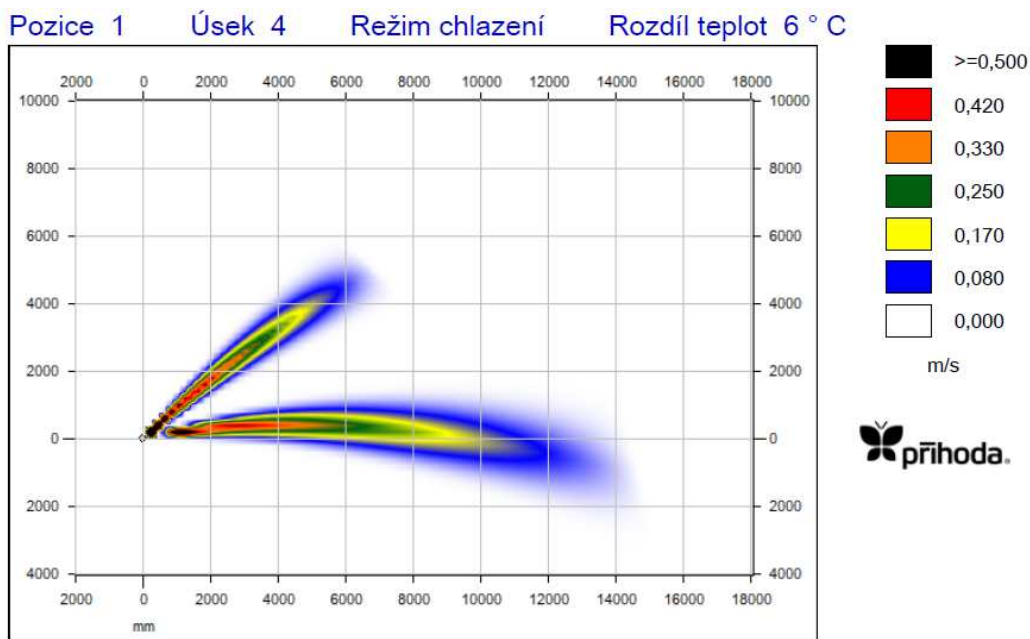
Distribuce vzduchu bude realizována pomocí čtyř kruhových textilních výustek o průměrech 2 x 710 mm a 2 x 600 mm. Celková délka potrubí o průměru 600 mm je 12 500 mm (1670 + 4435 + 4435 + 1810). Celková délka potrubí o průměru 710 mm je pak 24 320 mm (875 + 4360 + 4335 + 4335 + 4305 + 4260 + 1700). Vyústka se skládá z několika kusů spojených zipem. V rozích stanu jsou umístěny kolena s úhlem 20°. Ve vyústce jsou umístěny kruhové obruče pro zachování tvaru i při nižším průtoku. Vyústka bude uchycena na nosnou konstrukci, s výhodou bude využita její nízká hmotnost a flexibilita. Z celkového množství přiváděného vzduchu bude 50 % perforací směřováno do středu stanu, zbylých 50 % přiváděného vzduchu bude rovnoměrnou mikroperforací padat do prostoru stanu.



Obrázek B.7 Ukázka mikroperforace a perforace [10]



Obrázek B.8 Umístění perforace [11]



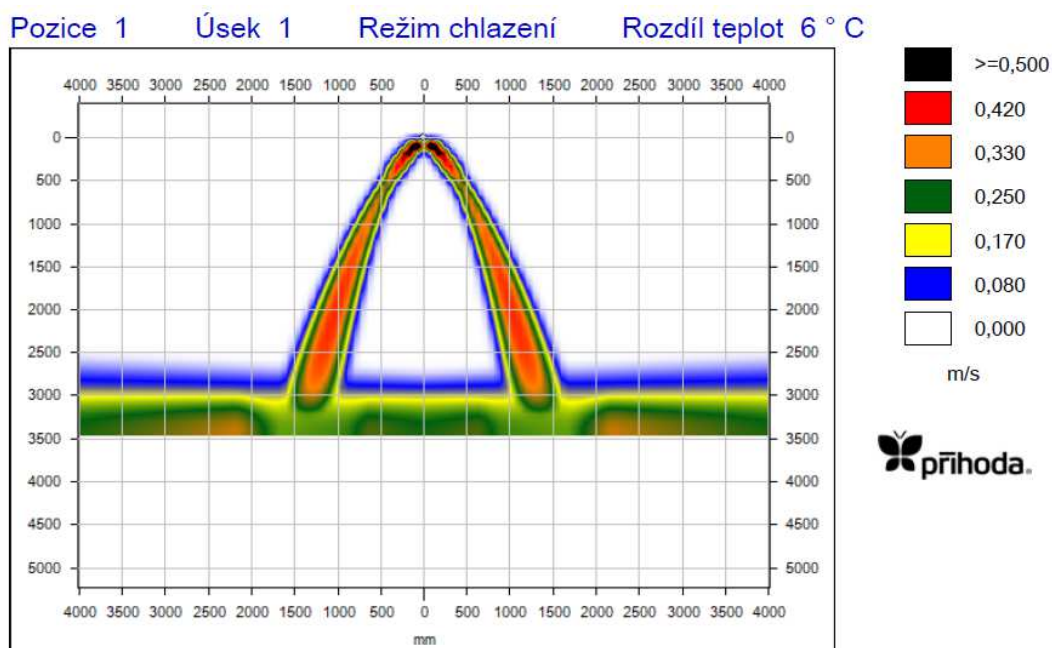
Obraz proudění je platný pouze pro perforaci !

Obrázek B.9 Obraz proudění perforace [11]

Obraz proudění je platný pouze pro perforaci. Mikroperforace, která je směřována směrem do pobytového prostoru není zobrazena.

B.14 Distribuce vzduchu varianta 2 – Party stan

Distribuce v party stanu je mnohem jednodušší. Je realizována pomocí jediné 13,2 m dlouhé textilní výústky s mikroperforací. Průměr tohoto potrubí je pak 710 mm.



Obrázek B.10 Obraz proudění pro party stan [11]

B.15 Dimenzování potrubí a tlaková ztráta varianta 1 – Šapitó

Kvůli lepší manipulaci bude potrubí v celé délce řešeno jako textilní. Tento systém má výhodu v tom, že je velmi flexibilní a znovupoužitelný. Další výhodou je také jeho nižší hmotnost. Jednotka je osazena vývodem pro potrubí o dimenzi 900 mm. Průměr potrubí je dimenzován dle výpočtového programu firmy Příhoda. Za jednotkou bude textilní tlumič. Jediná část z plechového potrubí bude T-kus při rozbočení proudů vzduchu. Za tímto kusem již následuje textilní vyústka. Aby se zachovala stálost vzhledu potrubí, i při nižším výkonu zařízení budou do potrubí vloženy obruče.

Tabulka B.13 Dimenzování potrubí pro party stan

Dimenzování potrubí pro zařízení										
Přívod										
č.ú.	V [m ³ /h]	L [m]	S [m ²]	d [m]	v [m/s]	R [Pa/m]	ξ	Z [Pa]	Z+R*L [Pa]	
1	15000	6,0	0,636	0,900	6,55	0,39	1,5	37,64	39,98	
									Σ	39,98

Celková tlaková ztráta pro radiální ventilátor je na úrovni 220 Pa při průtoku 15 000 m³/h.

Tabulka B.14 Tlaková ztráta soustavy

Celková tlaková ztráta [Pa]	
Koncová vyústka	50
Potrubí	40,0
Tlaková ztráta náplně	56,0
Tlumiče	84
Celkem	230

B.16 Dimenzování potrubí a tlaková ztráta varianta 2 – Party stan

Potrubí bude opět řešeno jako textilní a to průměru 710 mm.

Tabulka B.15 Dimenzování potrubí pro party stan

Dimenzování potrubí pro zařízení										
Přívod										
č.ú.	V [m ³ /h]	L [m]	S [m ²]	d [m]	v [m/s]	R [Pa/m]	ξ	Z [Pa]	Z+R*L [Pa]	
1	11300	9,5	0,396	0,710	7,93	0,67	1,8	66,19	72,55	
									Σ	72,55

Celková tlaková ztráta pro radiální ventilátor je 231 Pa. Při průtoku vzduchu 11300 m³/h.

Tabulka B.16 Tlaková ztráta soustavy

Celková tlaková ztráta [Pa]	
Koncová vyústka	50
Potrubí	73
Tlaková ztráta náplně	46
Tlumič	84
Celkem	253

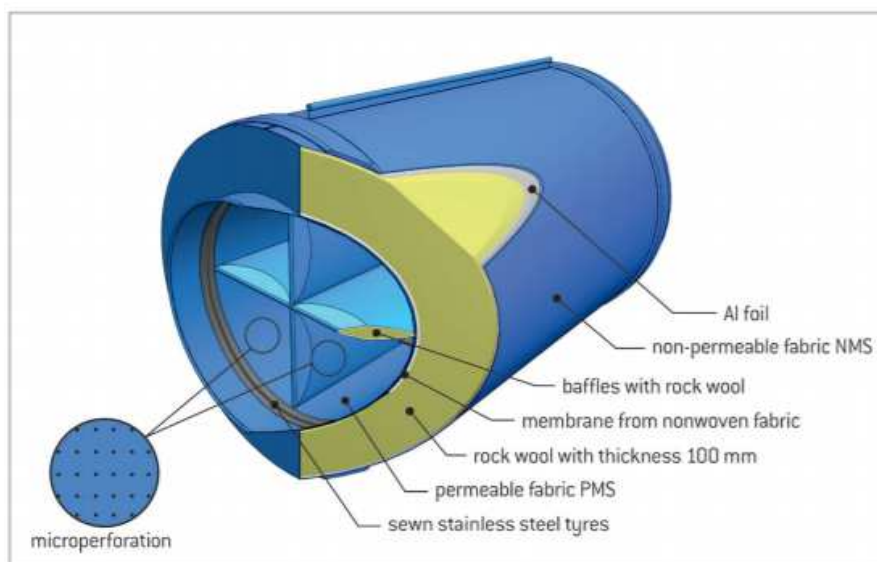
B.17 Útlum hluku varianta 1 – Šapitó

B.17.1 Útlum hluku směrem do exteriéru

Hluk směrem do exteriéru není možné stanovit. Je znám akustický výkon ventilátoru, který je při maximálním výkonu 75 dB (s filtrem A), což znamená, že ve vzdálenosti 4 metry ve volném umístění (poloprostor) bude hladina akustického tlaku 55 dB. Není ovšem znám útlum hluku zařízením, respektive útlum dřevěné vlny. Dřevěná vlna je v náplni vměstnána do relativně malého prostoru. Lze se domnívat, že útlum dřevěnou vlnou způsobí, že ve vzdálenosti 4 metrů bude hladina akustického tlaku pod 50 dB, což je hladina akustického hluku daná nařízením vlády 272/2011 Sb. [15]

B.17.2 Útlum hluku směrem do interiéru

Hladina akustického tlaku v interiéru musí splnit hygienické limity dané Nařízením vlády 272/2011 Sb. [15]. Pro dostatečný útlum bude použit textilní tlumič hluku.



Obrázek B.11 Textilní tlumič hluku [12]

Tabulka B.17 Výpočet hladiny akustického tlaku v místě posluchače

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v oktávových pásmech								
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina
	frekvence (Hz)									
L_{vv}	Hluk ventilátoru									
L_{vv}	Hladina akustického výkonu zdroje	56	64	72	76	77	69	68	65	81
L_{vv}	součet	56	64	72	76	77	69	68	65	81
D_p	Přirozený útlum									
	Rozbočky	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Kolena	0	0	1	2	3	3	3	3	
	Útlum koncovým odrazem	15	11	7	2	0	0	0	0	
	Útlum tlumiče hluku (2x)	10	14	20	28	40	52	36	26	
L_{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	28	36	41	41	31	11	26	33	45
L_{vy}	Hladina akustického výkonu výústky									36
K	Korekce na počet výústek						počet výústek:	2		3
L_s	Hladina akustického výkonu všech výústek									49
Q	směrový činitel									4
r	vzdálenost od výústky k posluchači									1,4
A	pohltivá plocha místnosti					1635	pohltivost	0,2		327
L_{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									41
$L_{p,A}$	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									50

B.18 Útlum hluku varianta 2 – Party stan

B.18.1 Útlum hluku směrem do exteriéru

Hluk směrem do exteriéru není možné stanovit. Je znám akustický výkon ventilátoru, který je při maximálním výkonu 69 dB (s filtrem A), což znamená, že ve vzdálenosti 4 metry ve volném umístění (poloprostor) bude hladina akustického tlaku 49 dB. Není ovšem znám útlum hluku zařízením, respektive útlum dřevěné vlny. Dřevěná vlna je v náplni vměstnána do relativně malého prostoru. Lze se domnívat, že útlum dřevěnou vlnou způsobí, že ve vzdálenosti 4 metrů bude hladina akustického tlaku ještě nižší. Ve vzdálenosti 4 m zařízení splňuje podmínky nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [15], kde je jako hraniční hodnota uvedena 50 dB.

B.18.2 Útlum hluku směrem do interiéru

Hladina akustického tlaku v interiéru musí splnit hygienické limity dané Nařízením vlády 272/2011 Sb. [15]. Pro dostatečný útlum bude použit textilní tlumič hluku.

Tabulka B.18 Výpočet hladiny akustického tlaku v místě posluchače

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v oktávních pásmech								
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina
	frekvence (Hz)									
L_{vv}	Hluk ventilátoru									
L_{vv}	Hladina akustického výkonu zdroje	51	57	65	70	68	65	62	64	74
L_{vv}	součet	51	57	65	70	68	65	62	64	74
D_p	Přirozený útlum									
	Kolena	0	0	3	6	9	9	9	9	
	Útlum koncovým odrazem	15	11	7	2	0	0	0	0	
	Útlum tlumiče hluku (2x)	10	14	20	28	40	52	36	26	
L_{v1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	26	32	35	34	19	4	17	29	39
L_{vy}	Hladina akustického výkonu výústky									38
K	Korekce na počet výústek							počet výústek:	1	0
L_s	Hladina akustického výkonu všech výústek									42
Q	směrový činitel									2
r	vzdálenost od výústky k posluchači									1,5
A	pohltivá plocha místnosti					600		pohltivost	0,2	120
L_{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									32
$L_{p,A}$	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									50

B.19 Návrh adiabatického chladiče

Pomocí univerzálního výpočetního programu bylo zjištěno, že aktuální nabídce velkých velkokapacitních stanů nejlépe vyhovuje adiabatický chladič o maximálním průtoku 15000 m³/h. Velikost průtoku vzduchu je stěžejní hodnotou, od které se odvíjí celý návrh adiabatického chladiče. Při tomto průtoku bude mít adiabatický chladič výkon 45 kW (30 °C, 40 %). Tento chladič dokáže bez problémů vychladit skupinu nejprodávavějších stanů o podlahové ploše 120-200 m² při horkých letních dnech s teplotami nad 30 °C. Větší stany je možné vychladit dvěma nebo více zařízeními.



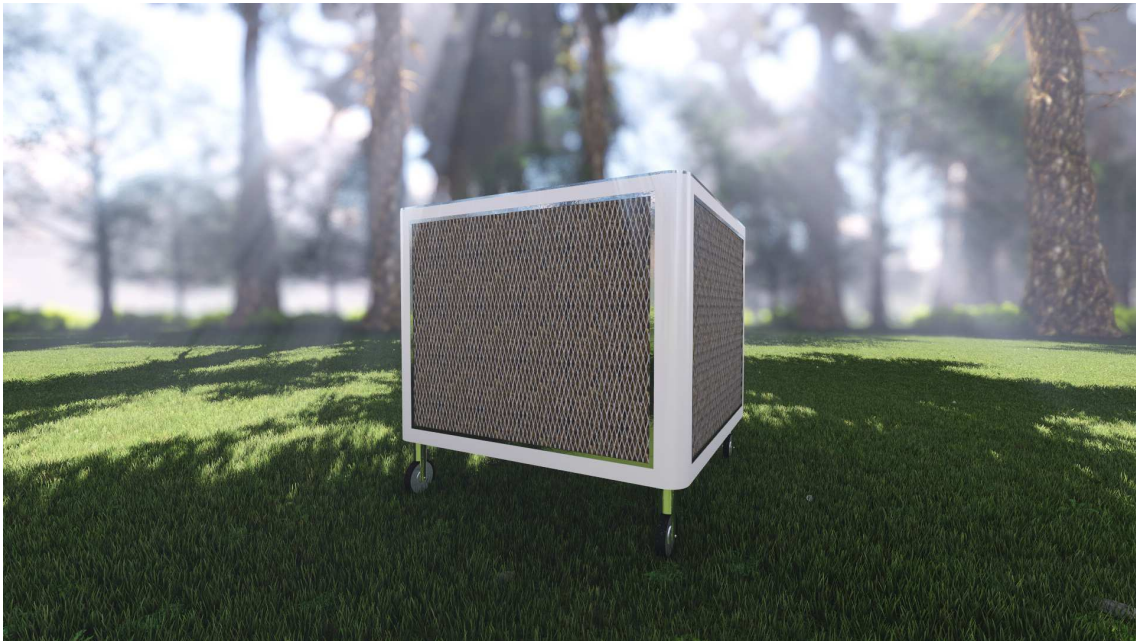
Obrázek B.12 Znárodnění běžného mobilního adiabatického chladiče [13]

Většina těchto zařízení pracuje s cirkulačním oběhem. Náplň, která je vyrobená z celulózových lepených desek (organický původ) je neustále zkrápěna oběhovou vodou z nádrže, do které se pomocí plovákového ventilu dopouští čerstvá pitná voda. Toto řešení sebou nese hygienická rizika množení mikroorganismů v cirkulační soustavě. Výrobci se snaží omezit množení mikroorganismů a usazování vodního kamene tím, že se nádrž pravidelně vypouští, a to v rozmezí 1-3 hodin. Ani toto řešení ale nedokáže nádrž dokonale zbavit nečistot a možných choroboplodných zárodků. Jenom snižuje jejich množení. Celulózové desky jsou používány dokonce několik sezón. Výhodou tohoto systému je bezúdržbový provoz, jeho nevýhodou pak nevhodné nakládání s vodou, jelikož až polovina vody je spotřebována na čištění. Tato zařízení bývají převážně použita pro chlazení velkých halových prostor a umístěna na střeše, tedy ve špatně dostupných místech. Pro tento účel je minimální údržba klíčová. [17]



Obrázek B.13 Navrhovaný adiabatický chladič ADIACH 15

Navrhovaný adiabatický chladič bude pracovat na jiném principu. Bude přizpůsoben danému druhu provozu. Důraz bude kladen na hospodaření s pitnou vodou a hygienickou nezávadnost přiváděného vzduchu. Dle psychometrických výpočtů bude na základě vstupních údajů o stavu vzduchu a možné dosažitelné vlhkosti přiváděného vzduchu vypočítáno přesné množství přiváděné vody, která se odpaří na náplni z dřevěné vlny. Požadované množství přiváděné vody zajistí turbínový průtokoměr a elektronicky uzavíratelný ventil. Zařízení bude pracovat s minimálním přebytkem, který bude odtékat do odpadní nádrže. Tímto systémem bude docházet k rychlé degradaci dřevěné vlny. Při pronájmu stanu není tato nevýhoda klíčová. Jelikož, se stan na jednom místě vyskytuje krátký časový interval. Po tomto intervalu (maximálně 14 dní) se jednoduše dřevěná vlna vymění za novou s výhodou nízké pořizovací ceny nové náplně. Jelikož se jedná o organický materiál, použitá náplň se může ekologicky zlikvidovat (kompost). Při tomto řešení budou minimalizována hygienická rizika a dojde k úspoře pitné vody oproti již zaběhlým principům.



Obrázek B.14 Vizualizace mobilního adiabatického chladiče

B.19.1 Ventilátor

Při návrhu jednotky bylo stěžejní stanovit její velikost. Na velikost má největší vliv požadovaná plocha náplně a ventilátor. Ventilátor byl vybrán na základě průtoku ($15000 \text{ m}^3/\text{h}$) a předpokládaného potřebného přetlaku (230 Pa). Byl zvolen radiální ventilátor s EC motorem, a to z důvodu vhodnější křivky charakteristiky. Tento typ ventilátoru na rozdíl od axiálního ventilátoru lze provozovat ve větším rozsahu průtoků při dosažení požadovaného přetlaku. Důraz byl také kladen na hlučnost zařízení. Byl vybrán radiální ventilátor společnosti ZIEHL-ABEGG.

data ventilátoru

01.01.2018

verze FANselect V 1.01 (171205), AMCA V 1.01 May, 2015 /
1.17.12.05 | 23774 | (uživatel ZAFS13774)



typ

RH80C-ZIK.GQ.1R

artiklové č.

115118 | Portfolio STD-WW

technická data

motor		ECblue
napájení	-	3~ 460V 60Hz
maximální okolní teplota (t_r)	°C	40
účinnost η_{statA}	%	64,3
účinnost N_{actual} N_{SOLL}	%	68,6 62
ErP - třída		2015 EC regulátor integrovaný
grille influence		Nein

data ventilátoru

SFP-class SFP-třída (P_{SFP})	- Ws/m^3	1 423
průtok vzduchu (q_v)	m^3/h	15000
tlak, stat. (p_{sF}) celk. (p_F)	Pa	230 263
elektrický příkon (P_{sys})	W	1763
účinnost syst., stat. ($\eta_{sF,sys}$) celk. ($\eta_{F,sys}$)	%	54.4 62.1
otáčky ventilátoru (n) max. (n_{max})	1/min	708 890
otáčky ventilátoru, pož. hodn. ($\%n_{max}$)	%	80
frekvence v prac.bodě (f_{DP}) (f_{max})	Hz	60 60
napětí v pracovním bodě (U_{DP})	V	460
proud v pracovním bodě (I_{DP})	A	2.38
hlučnost, sací strana ($L_{w(A),s}$) ($L_{w,s}$)	dB	75 83
hlučnost, výtlačná strana ($L_{w(A),e}$) ($L_{w,e}$)	dB	81 87
rozměry (š x v x d)	mm	914 x 914 x 503
hmotnost výrobku (m_{Pr})	kg	51
k-faktor tlak na hrdle (k)	-	620
diference tlaku na hrdle ($p_{sF DUse}$)	Pa	585

3~ 380-480V 50Hz P1 3.90kW
6.20-5.00A 890/MIN 40°C
3~ 380-480V 60Hz P1 3.90kW
6.20-5.00A 890/MIN 40°C
IP54 THCL155

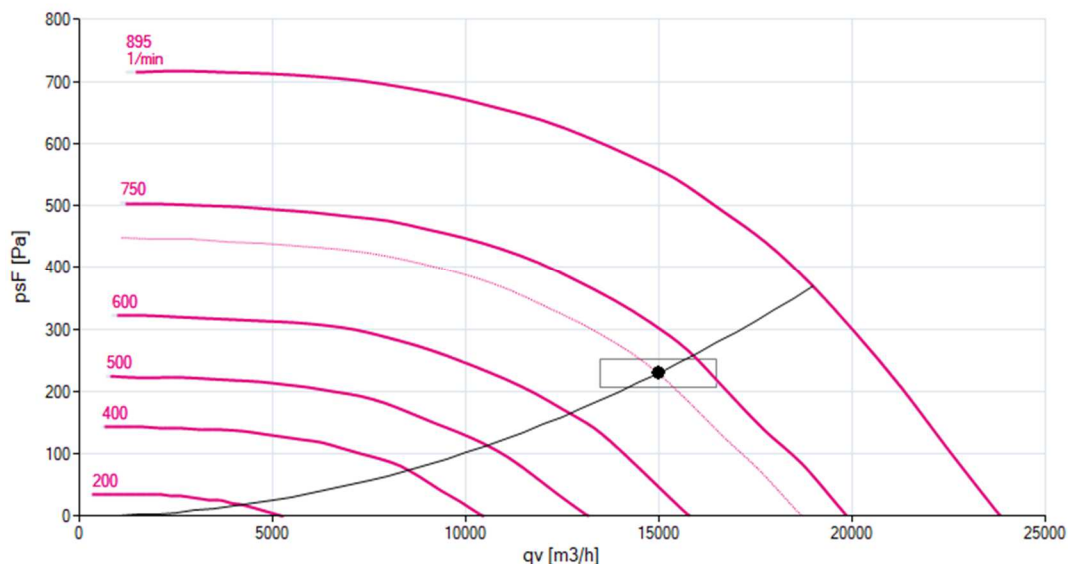
nominální hodnoty

Obrázek B.15 Specifikace ventilátoru 1/2 [14]

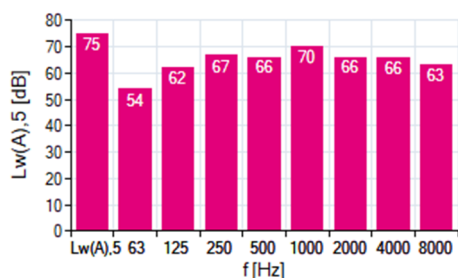
1 RH80C-ZIK.GQ.1R
115118 | Portfolio STD-WW

měřeno ve standardním difuzoru, instalace typ A podle ISO5801
měřená hustota 1.16 [kg/m³]

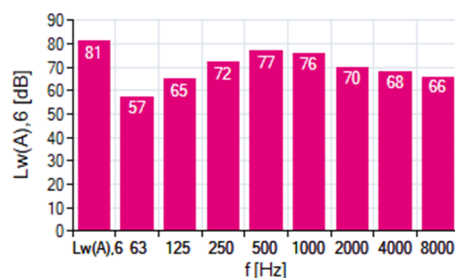
vzduchový výkon p_{sF}



hlučnost ($L_{w(A),5}$)



hlučnost ($L_{w(A),6}$)



1 RH80C-ZIK.GQ.1R									
f [Hz]	sum	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{w(A),5}$	75	54	62	67	66	70	66	66	63
$L_{w,5}$	83	77	78	76	70	70	65	65	64
f [Hz]	sum	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{w(A),6}$	81	57	65	72	77	76	70	68	66
$L_{w,6}$	87	80	80	80	80	76	69	67	67

Obrázek B.16 Specifikace ventilátoru 2/2 [14]

B.19.2 Plocha průřezu náplně

Celková velikost jednotky se také odvíjí od velikosti průřezné plochy náplně. Jako ideální tvar jednotky byl zvolen kvádr, který ve svém středu bude ukrývat radiální ventilátor. Výstup vzduchu z ventilátoru bude na jedné z bočních stran. Na této straně bude připraven náběh pro kruhové potrubí o průměru 900 mm. Na zbylých třech stranách budou umístěny náplně o tloušťce 5 cm.

Tabulka B.19 Výpočet plochy průřezu tlakové ztráty a přibližné ceny za náplň

	Odhad	Dopočet	
Průtok vzduchu	15000	15000	m ³ /h
Optimální rychlost v průřezu	1,5	1,4	m/s
Průřezná plocha	2,78	2,97	m ²
Průřezná plocha jedné strany	0,93	0,99	m ²
Délka strany	0,96	1,10	m
Šířka strany	0,96	0,90	m
Odhadovaná tlaková ztráta	64	56	Pa
Objem dřevěné vlny	0,21	0,22	m ³
Cena jedné náplně	116,7	124,7	Kč
Rychlost v potrubí	6,5		m/s
Průměr kruhového potrubí	0,90		m ²

Jako vhodné se jeví 3 náplně o rozměrech 1,1 x 0,9 x 0,05 m. Tlaková ztráta těchto náplní dle experimentálního měření bude cca 56 Pa. Tyto náplně by měly být schopny vlhčit vzduch na úroveň 90 % relativní vlhkosti.

B.19.3 Distribuce vody a vodovodní systém

Zařízení bude na vodovodní řád napojeno standardní zahradní hadicí. Na vstupu bude zařízení osazeno škrťícím ventilem, který sníží průtok na lépe kontrolovatelnou mez. Za tímto ventilem bude umístěn dvoupolohový elektronicky ovladatelný ventil. Při otevřené poloze bude voda procházet přes turbínový průtokoměr. Až množství vody dosáhne předem vypočtené hodnoty, ventil se uzavře. Tento postup se bude opakovat v pětiminutovém intervalu. Délky jednotlivých dávek vody budou záviset na aktuálním průtoku vzduchu, respektive na otáčkách ventilátoru a stavu exteriérového vzduchu. Fixním parametrem pak bude relativní vlhkost vzduchu na výstupu, a to 90 %. Popis řízení bude popsán v další kapitole.



Obrázek B.17 Průtokoměr YF-S201 [15]

Specifikace průtokoměru YF-S201:

Závit: G 1/2"

Měřený průtok: 1 ~ 30 litrů / m

Max. pracovní tlak: 1.75MPa

Výstup: 5 V TTL

Max. pracovní teplota: do 80 °C

Provozní vlhkost: 35 % ~ 90 % RH (bez námrazy)

Napájení: 5-18 VDC

Max. spotřeba: 15 mA

Charakteristika pulzů: 450 pulzů/litr nebo f (Hz) = 7,5* průtok (l/min)

Přesnost měření: 2%

Délka kabelu: ~15 cm

Barva: černá

Rozměry: 65 x 40 mm



Obrázek B.18 Elektronicky ovladatelný uzavíratelný ventil [16]

Specifikace ventilu:

Materiál: kov + plast

Napětí: DC 12 V

Příkon: 8 W

Proud: 0.6 A

Vstup a výstup: 1/2 " (vnější průměr)

Tlak: 0,02 - 0,8Mpa

Maximální teplota kapaliny: 100 °C

Provozní režim: normálně zavřený

Typ ventilu: membrána

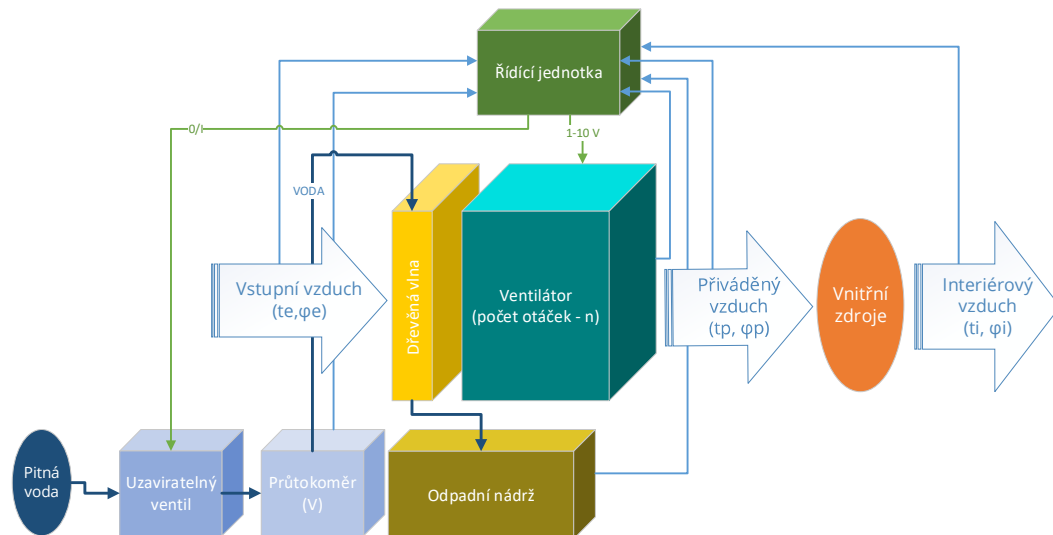
Použití: voda a kapaliny s nízkou viskozitou

Distribuce vody na náplň bude řešena pomocí penetrovaného tvarovaného tenkostěnného hliníkového plechu opatřeného z vrchní strana rozváděcí syntetickou folií, která zajistí plynulejší rozložení vody po plechu. Otvory budou situovány k vnější

straně tak, aby nedocházelo při provozu zařízení k úletu kapek vody do přiváděného vzduchu. Pro tento systém distribuce je nutné, aby zařízení bylo umístěno vodorovně. K tomuto účelu budou sloužit výškově nastavitelná kolečka.

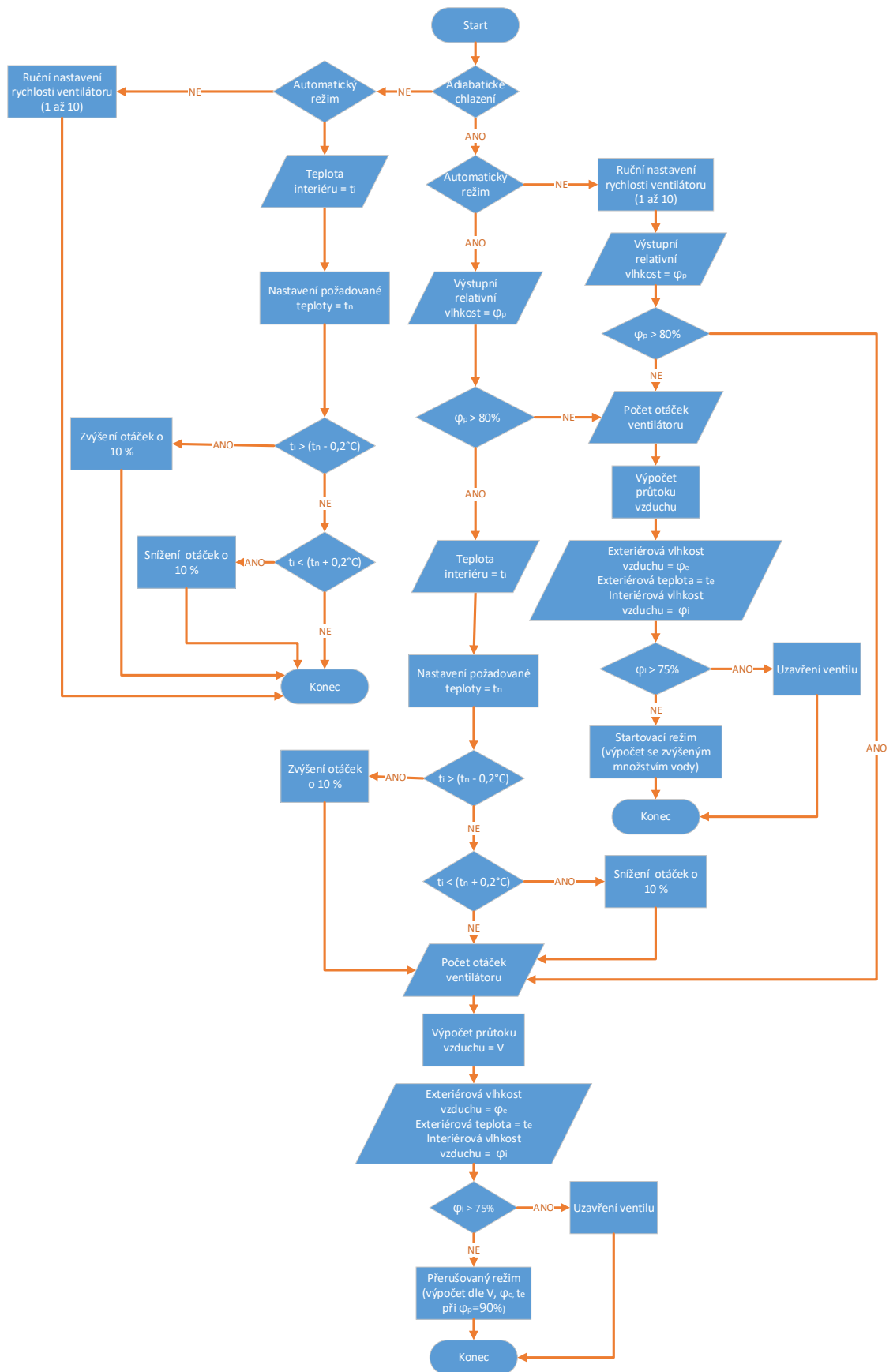
B.19.4 Schéma řízení

Pro lepší přehlednost bylo zhotoveno jednoduché schéma.



Obrázek B.19 Schéma řízení

Z experimentálního měření bylo zjištěno, že dřevěná vlna má vysokou akumulaci schopnost. Účinnost adiabatického chlazení začala klesat až po více než 15 minutách od vypnutí přívodu vody. Po tuto dobu se dokonce zvýšila účinnost chlazení až o 5 %. Proto bude programovatelná řídicí jednotka otevírat ventil přívodu vody v pěti minutových intervalech, a to po dobu vypočtenou dle vstupního stavu vzduchu, průtoku vzduchu a fixně nastavené výstupní vlhkosti. Při prvním náběhu adiabatického chladiče chvíli trvá, než je dřevěná vlna plně smočena, pro zkrácení této doby je vhodný intenzivnější režim přerušovaného zkrápění. Až stoupne výstupní relativní vlhkost na úroveň 80 %, bude tento režim vypnut a bude následovat standardní přerušované zkrápění. Jelikož není možné systém dokonale optimalizovat, je nutné pracovat s přebytky vody. Tato voda bude akumulována do sběrné odpadní nádrže. Nádrž bude mít indikaci stavu. Tuto vodu bude možné vypustit pomocí vypouštěcího ventilu a zalít s ní například přilehlou zeleň. Při tomto řešení bude většina nečistot zůstat na dřevěné vlně. Při odpařování se zde také budou usazovat minerály obsažené ve vodě. Bude docházet k rychlé degradaci tohoto materiálu. Zde se uplatní výhoda dřevěné vlny a tou je její nízká cena. Jelikož je většina akcí pořádaných ve stanech krátkodobého charakteru je ideálním řešením před každou akcí, festivalem nebo například svatbou tuto náplň vyměnit a použitou dřevěnou vlnu například kompostovat.



Obrázek B.20 Vývojový diagram

Při chodu adiabatického chladiče je počítáno s dvěma druhy provozu. Ručním, kdy si uživatel přímo nastaví požadovanou teplotu v interiéru a rychlost ventilátoru (1 až 10), a automatickým, který bude v intervalu 5 min měnit otáčky dle rozdílu aktuální a přednastavené teploty vzduchu v interiéru.

B.19.5 Pokyny pro užívání

Toto mobilní zařízení slouží ke chlazení, popřípadě ventilaci interiérů, a to zejména velkokapacitních stanů. Pracuje na principu adiabatického chlazení, z čehož vyplývá, že je závislé na venkovních podmínkách. Při samotném chlazení se zvyšuje vlhkost přiváděného vzduchu. Pro provoz zařízení je nutné připojení elektrické energie a vody. Prosím ujistěte se, že je zařízení vhodné právě pro vaše využití.

Provozní podmínky

Zařízení je schopno chladit v závislosti na vstupních podmínkách vzduchu, v následující tabulce jsou uvedené nejnižší možné teploty přiváděného vzduchu v závislosti na stavu venkovního vzduchu.

Tabulka B.20 Nejnižší teplota přiváděného vzduchu v závislosti na stavu exteriérového vzduchu

Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]				
	30	40	50	60	70
25	15,2	17,1	18,9	20,5	22,1
26	15,9	17,9	19,7	21,4	23,0
27	16,7	18,7	20,6	22,3	24,0
28	17,4	19,5	21,4	23,2	24,9
29	18,1	20,3	22,2	24,1	25,8
30	18,8	21,0	23,1	25,0	26,8
31	19,6	21,8	23,9	25,9	27,7
32	20,3	22,6	24,8	26,8	28,6
33	21,0	23,4	25,6	27,7	29,6
34	21,7	24,2	26,5	28,6	30,5
35	22,5	25,0	27,3	29,5	31,5

Poloha a umístění

Zařízení je opatřeno kolečky pro zvýšení mobility. Je nutné, aby bylo ustaveno ve vodorovné poloze v minimální vzdálenosti jednoho metru od zdi nebo jiné překážky. Zařízení musí být umístěno volně ve venkovním prostředí. V žádném případě nesmí být při provozu zakryto. Ve větraném prostoru musí být zajištěn odvod vzduchu (volný průchod, otvor, otevřené dveře)

Technická specifikace

Tabulka B.21 Technická specifikace adiabatické jednotky

Model		ADIACH 15
Průtok vzduchu	[m ³ /h]	5000 - 15000
Max. chladicí výkon (citelné teplo)*	[kW]	45
Napájecí napětí		230V, 50Hz
Proud	[A]	6
Příkon	[kW]	1,4
Typ ventilátoru		radiální
Maximální spotřeba vody*	[l/h]	65
Relativní vlhkost vzduchu na výstupu	[%]	90
Rozměry (v x š x h)	[mm]	1200x1300x1300
Přívod vody		DN 15
Vypouštění vody		DN 15
Průměr VZT potrubí pro připojení	[mm]	900
Hmotnost (prázdný/plný)	[kg]	110/140
Objem nádrže pro odpadní vodu	[l]	30
Plocha náplně	[m ²]	3
Objem náplně	[m ³]	0,15
Akustický výkon na straně sání L _{w(A)5} **	[dB]	75
Akustický výkon na straně výtlačku L _{w(A)6}	[dB]	81

*platí pro testovací podmínky V= 15000 m³/h, t = 30 °C, φ = 40 %

**ve vzdálenosti 4 m při V = 15000 m³/h, p = 150 Pa

Napájení

Přívod napájení musí být dimenzován na jmenovitý proud min. 16 A. Průřez napájecího vodiče musí být minimálně 2,5 mm². Vše v souladu s bezpečností práce s elektrickým proudem.

Napojení vody

Pro připojení vody slouží standardní ventil 1/2". Zařízení je možné napojit standardní zahradní hadicí. V základním provedení zařízení neobsahuje čerpadlo, jelikož pro správnou funkci plně dostává tlak ve vodovodní síti. Maximální přípustný tlak vody je 8 barů.

Odvod vody

V případě provozu bez napojení odpadní hadice je nutné při signalizaci plné odpadní nádrže zajistit odpuštění vody. K tomu slouží standardní uzavírací ventil 1/2". Odpadní vodou je možné použít jako užitkovou například k zalití záhonu.

Péče a údržba

Po ukončení chlazení nevypínejte zařízení ze zásuvky. Nechte ventilátor v chodu, dokud se automaticky nevypne, a to z důvodu vysušení náplně. Vysušení náplně je nezbytně nutné, aby nedošlo k rozvoji mikroorganismů na náplni. Poté můžete zařízení odpojit. Při dlouhodobém provozu delším než 14 dní proveďte výměnu náplně. Doporučujeme před každou sezónou zařízení kompletně vyčistit.

B.20 Porovnání adiabatického a kompresorového chlazení stanů

Oba druhy zařízení mají své výhody a nevýhody. Vhodnost zařízení závisí na specifických požadavcích pro použití.

B.20.1 Výhody a nevýhody adiabatického chlazení

Výhody jsou shrnuty do několika bodů:

- Jednoduchý princip zařízení (minimum součástí, nízká poruchovost)
- Snadná manipulace (váha do 200 kg)
- Ekonomický provoz (nízký elektrický příkon zařízení)
- Pořizovací cena (násobně levnější než kompresorové chlazení)

Za nevýhody lze označit:

- Účinnost závislá na exteriérovém stavu vzduchu
- Zvýšená vlhkost v interiéru
- Pro provoz je zapotřebí dodávka vody

B.20.2 Výhody a nevýhody kompresorového chlazení

Výhody kompresorového chlazení jsou zejména tyto:

- Relativní nezávislost na stavu vstupního vzduchu
- Možnost chlazení ale i topení
- Nezvyšuje vlhkost interiéru (naopak některé jednotky mohou sloužit jako dehumidizery)

Nevýhody tohoto typu chlazení jsou:

- Vysoké provozní náklady (zejména velká spotřeba elektrické energie)
- Nutnost tří fázového elektrického připojení (pojistky, jističe)
- Vysoká hmotnost zařízení (větší zařízení umístěna na automobilovém podvozku)
- Vysoké pořizovací náklady



Obrázek B.21 Kompresorový chladič o výkonu 70 kW [17]

B.20.3 Finanční porovnání provozu

Stan je dočasná mobilní stavba. Její největší výhodou je rychlá výstavba. Z tohoto důvodu je velmi jednoduchá a má velmi špatnou tepelnou izolaci. Pro vychlazení prostoru na komfortní teplotu je zapotřebí velkého množství chladu. Z klimatických dat z let 2014, 2016 a 2017 pro Rožnov pod Radhoštěm byla sestavena tabulka průměrných teplot a vlhkostí během dne při teplotách nad 27 °C. Jako požadovaná teplota interiéru byla stanovena teplota 27 °C.

Tabulka B.22 Průměrné hodinové teploty a relativní vlhkosti při teplotách nad 27 °C

Hodina	Počet dnů v roce	Průměrná teplota [°C]	Průměrná relativní vlhkost [%]
9	5	28,1	50
10	11	29,0	45
11	20	29,2	44
12	28	29,3	42
13	34	29,5	40
14	39	29,7	39
15	41	30,0	38
16	42	30,1	37
17	39	30,0	38
18	27	29,6	39
19	15	29,3	42
20	6	28,8	45
21	1	28,7	47
22	1	27,2	51



Obrázek B.22 Použití adiabatického chladiče pro chlazení svatebního stanu [18]

V následující tabulce je jednoduché cenové porovnání adiabatického a kompresorového chlazení. Pro porovnání je stanovena doba provozu 8 hodin denně po dobu sedmi dnů. Hodnota potřeby chladu byla stanovena z průměrných hodinových teplot během dne. Cena elektrické energie 3,8 Kč/kWh. Cena vodného 42 Kč/m³. Ze srovnání vyplývá, že adiabatické chlazení dokáže ušetřit až 88 % nákladů na provoz oproti kompresorovému chlazení.

Tabulka B.23 Finanční porovnání provozu

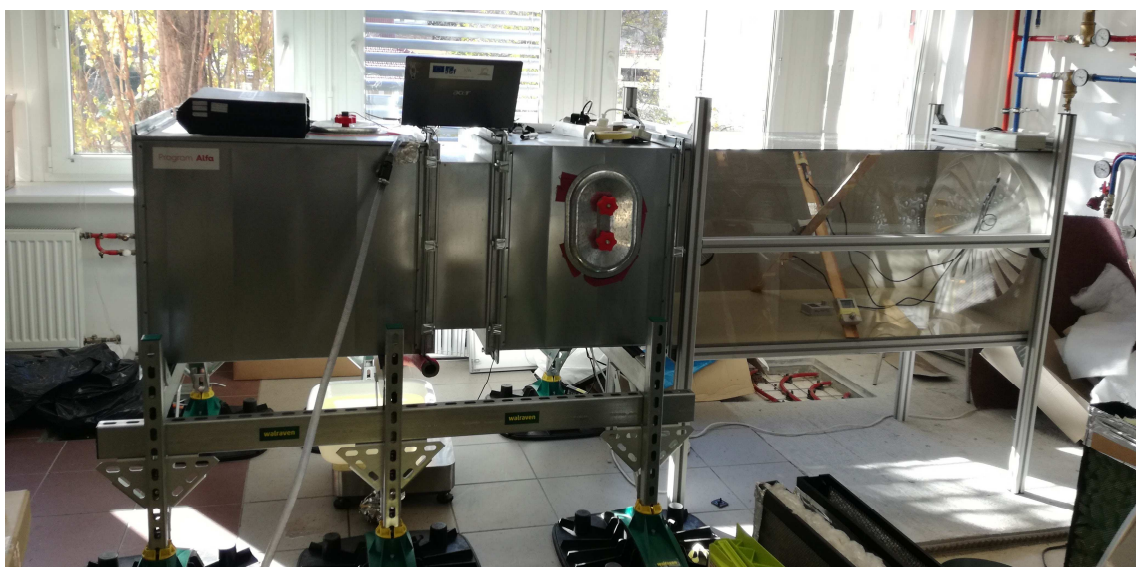
	Šapitó		Party stan	
	Adiabatické chlazení	Kompresorové chlazení	Adiabatické chlazení	Kompresorové chlazení
Celková potřeba "chladu" [kW]	4170,3		1540,4	
Doba provozu 8/7 [hod]	56		56	
Spotřeba elektrické energie	78,4	1604	67,2	592,5
Celková cena elektrické energie [Kč]	298	6095	255	2251
Spotřeba vody [l]	6031	0	2744	0
Celková cena vody [Kč]	253	0	115	0
Cena náplně chladiče [Kč]	155	0	155	0
Celková cena provozu	706 Kč	6 095 Kč	525 Kč	2 251 Kč

C EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část byla zaměřena na nalezení vhodné náplně do zkrápněného adiabatického chladiče. Ideální náplň by dokázala vlhčit vzduch na úroveň 90 % relativní vlhkosti, měla by nízkou tlakovou ztrátu a vysokou setrvačnost, která by dovolila náplň vlhčit přerušovaně. V průběhu experimentu bylo vybráno několik možných náplní a odzkoušena jejich funkčnost. Následně byl nejlepší materiál dále testován. Z důvodu použití náplně pro přímé chlazení byl kladen důraz na možná hygienická rizika. Měření probíhalo v laboratoři č. 520 na ústavu technických zařízení budov VUT FAST po dobu několika týdnů.

C.1 Základní sestava pro měření

Měření probíhala na vzduchotechnické sestavě v prostorech laboratoře školy (místnost č. 520). Tato sestava byla již připravena předem. Základní sestava se skládá z prvního hranatého potrubí, zúženého dílce (pro zmenšení plochy průřezu a oporu pro kartuši s náplní) a druhé části hranatého potrubí. V hranatém potrubí se také nachází otvory pro přívodní hadici s vodou a otvory pro měření rozdílu tlaku. Při realizaci experimentu jsou tyto otvory řádně utěsněny, aby nedocházelo k nepřesnostem v měření.



Obrázek C.1 Měřicí soustava v laboratoři m. č. 520

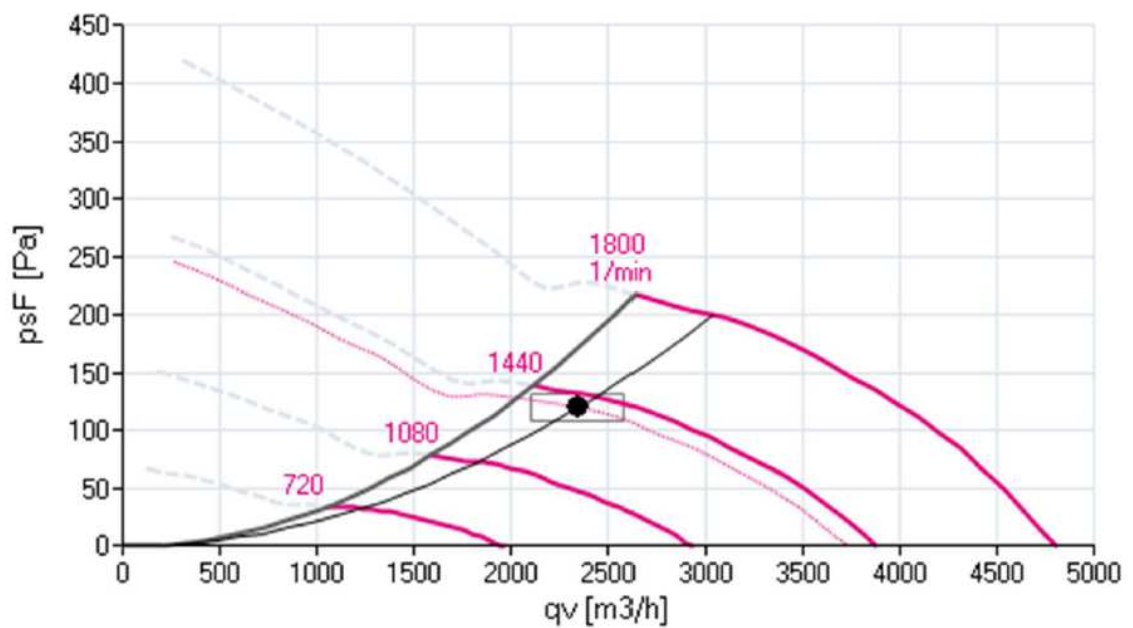
C.2 Komponenty potřebné pro experimentální měření

C.2.1 Axiální ventilátor ZIEHL-ABEGG

Axiální ventilátor s EC motorem o příkonu 420 W. Osazený ventilátor má průměr 400 mm. Napájecí napětí je standardní 230 V a 50 Hz. Hladina akustického výkonu $L_{w(A)}$ je 68 dB. Další důležité informace lze odečíst z křivky charakteristiky.



Obrázek C.2 Axiální ventilátor



Obrázek C.3 Charakteristika ventilátoru [18]

C.2.2 Regulátor otáček ventilátoru

Jedná se o regulátor otáček s plynulou regulací. Příklad pracuje s napájecím napětím 230 V / 50 Hz. Rychlost otáček je závislá na regulaci napětí, a to v rozsahu 60 až 220 V. Proud v rozmezí 0,08–1,8 A. Kontrolní napětí 0–10 V. Pro naše měření jsme si vyrobili dodatečné rysky (stupně ventilátoru), abychom předešli nestejnému nastavení ventilátoru při opakovaných testech.



Obrázek C.4 Regulátor otáček [19]

C.2.3 Kartuše pro umístění náplně

Pro náš experiment byly vyrobeny tři druhy prázdných kartuší z ocelového plechu a tahokovu. Kartuše byly lakované a vyrobeny v tloušťkách 50, 75 a 100 mm. Tyto kartuše odpovídaly vnějším rozměrům hranatého potrubí tak, aby se daly vhodně utěsnit a přiváděný vzduch neobtékal kartuše s náplní.



Obrázek C.5 Kartuše

C.2.4 Čerpadlo

V některých experimentech bylo použito čerpadlo původně určené pro akvaristiku. Toto akvariijní čerpadlo je ponorné s deklarovaným průtokem 400 l/h a výtlačnou výškou 0,6m. Pro experiment se původně zdál být průtok 400 l/h zbytečně velký, ovšem čerpadlo při práci v otevřené soustavě s výtlačnou výškou rychle ztrácelo průtok. Z tohoto důvodu byl v čerpadle demontován filtr, který působil jako silný vřazený odpor. V průběhu experimentu bylo čerpadlo úplně vypuštěno a přívod vody byl napojen z vodovodního řádu, a to ze dvou důvodů. Prvním důvodem bylo silné ovlivnění průtoku v závislosti na výšce vodní hladiny v čerpané nádobě. Druhým důvodem byl nedostatečný tlak, který nedokázal vytlačit veškerý vzduch v distribuční hadici, čím opět docházelo k nekonzistentnímu průtoku.



Obrázek C.6 Ponorné čerpadlo [20]

C.2.5 Kulový kohout

Tento kulový kohout byl opět určen pro akvaristické účely. Při naší práci, kdy jsme potřebovali vhodně zaregulovat množství přiváděné vody, však sloužil výtečně.



Obrázek C.7 Kulový kohout pro DN 9mm [21]

C.2.6 Hadice pro přívod vody

Pro přívod vody jsme využili hadici z PVC (9/12 mm). Po penetraci hadice velkým množstvím malých otvorů sloužila také k distribuci vody na náplň kartuše.



Obrázek C.8 Hadice s penetrací

C.2.7 Další příslušenství

Pro správnou funkčnost bylo třeba zajistit těsnost celé soustavy, a to jak na straně vzduchu, tak vody. Pro správné dolehnutí kartuše na zúženou část sestaveného potrubí bylo použito pěnové těsnění. Pro práci s čerpanou vodou byly využity záchytné nádoby. Dále pak několik metrů drátu, hliníkové pásky a dalších drobných podpůrných materiálů.

C.3 Měřicí přístroje

Během experimentálního měření bylo zapotřebí využít množství měřících přístrojů. Zde je jejich stručný výpis.

C.3.1 Datalogger

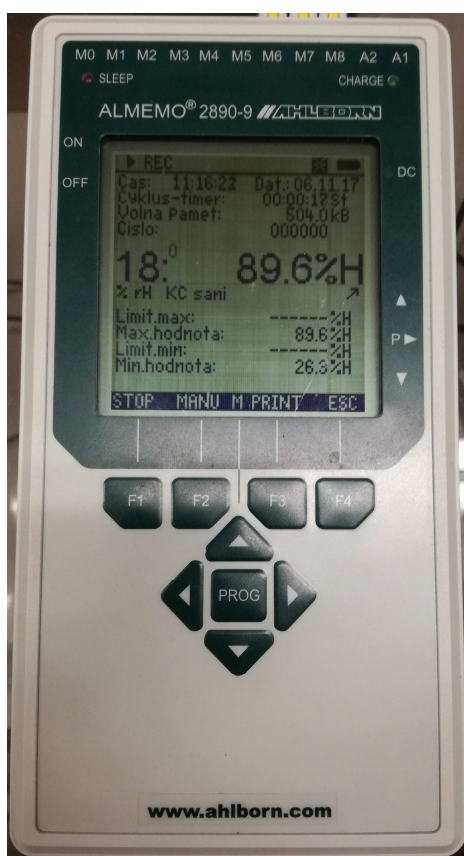
Dataloggery sloužily k zaznamenávání teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Bylo využíváno celkem 5 kusů (2 na vstupu, 2 na výstupu a jeden kontrolní). Zařízení byla v provedení s jak vestavěnými, tak externími čidly. Přístroje na dvouřádkovém displeji ukazují aktuální teplotu a relativní vlhkost. Data jsou dále ukládána do paměti. Ukládání dat bylo nastaveno po deseti sekundových intervalech. Rozsah přístroje pro měření teploty je -30 až 70 °C při přesnosti $\pm 0,6$ °C (od -30 °C do 30 °C) a přesnosti $\pm 0,8$ °C (od 30 °C do 70 °C). Měrnou vlhkost dokáže datalogger zaznamenat v rozsahu 0 až 100 % Rh při přesnosti ± 3 % Rh (od 5 do 95 % Rh)



Obrázek C.9 Datalogger [22]

C.3.2 Měřicí ústředna

Pro zapojení dalších čidel bylo zapotřebí využít měřicí ústřednu Almemo 2890-9. Tato ústředna je schopna pojmout až 10 vstupů. Její paměť dokáže zaznamenat až 100 tisíc hodnot. Samozřejmostí je nastavení intervalu odečtu hodnot. V našem případě byl tento interval nastaven na 10 nebo 30 sekund.



Obrázek C.10 Měřicí ústředna Almemo 2890-9

C.3.3 Prohood (balometr)

Tento přístroj slouží k zareglování VZT systémů. Při správném použití měří objemový průtok vzduchu s přesností $\pm 3\%$ a to v rozsahu 42 až 4250 m³/h. Při nízkých průtocích je přesnost ± 12 m³/h. Přístroj využívá speciální tlakovou šestnácti bodovou sondu. Body na této sondě jsou rozmístěny rovnoměrně v průřezu. Objemový průtok je vypočten pomocí průměru tlakových diferencí z těchto bodů a teploty vzduchu. Problém s přesností nastává při měření tímto přístrojem na straně ventilátoru, kde se vzduch chová značně neuspořádaně. Výrobce doporučuje při měřeních například vířivých anemostatů aplikaci křížového usměrňovače proudu, který zpřesní výsledné měření.



Obrázek C.11 Prohood (balometr) [23]

C.3.4 Teplotní a vlhkostní čidla

Pro přesné měření teploty a vlhkosti byly do prostoru hranatého potrubí před a za adiabatickým chladičem vloženy teplotní a vlhkostní čidla Ahmemo FH A646-1. Tato čidla dokáží měřit teplotu v rozsahu -20 až 80 °C a relativní vlhkost do 98 %. Čidla byla umístěna na dřevěnou lištu. Tato lišta byla umístěna do hranatého potrubí uhlípríčně a propojena s měřicí stanicí. S výslednými teplotami a vlhkostmi bylo počítáno jako s průměry čidel na vstupu a výstupu.



Obrázek C.12 Teplotní a vlhkostní čidla

C.3.5 Termokamera

Při našem experimentu jsme také využili lehkou přenosnou termokameru. Základem této termokamery je nechlazený maticový detektor o rozlišení 80x60 pixelů. Simultánně je pořízen také klasický snímek o rozlišení 640x480 pixelů. Vše je zobrazeno na tří palcovém displeji kamery. Termokamera zvládá zaznamenávat snímky v rozmezí teplot $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, a to s přesností 2 %. Zde však záleží na správném nastavení kamery, hlavně emisivity. Citlivost přístroje je $\pm 0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kapacita interní paměti pojme až 500 snímků. Termokamera byla v našem případě použita výhradně pro zlepšení distribuce vody v náplni. Teplota zde nebyla směrodatná.



Obrázek C.13 Termokamera FLIR i7 [24]

C.3.6 Tlakoměr

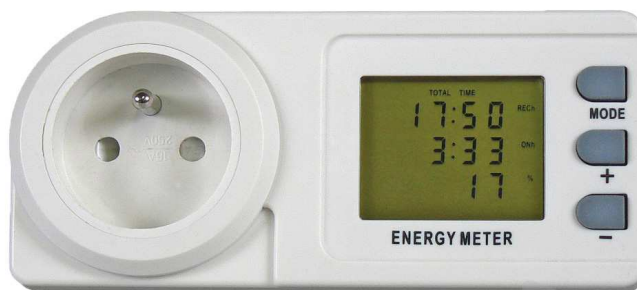
Jedná se o víceúčelový multifunkční přístroj Testo 435-3. V měřeních byl použit jako diferenční tlakoměr. Měřicí rozsah tohoto zařízení je 0–25 hPa s přesností $\pm 0,02$ hPa (0 do 2 hPa) a s přesností ± 1 % pro zbylý rozsah. Rozlišení displeje je 0,01 hPa.



Obrázek C.14 Multifunkční přístroj Testo 435-3 [25]

C.3.7 Wattmetr

K zaznamenání spotřeby elektrické energie ventilátoru bylo zapotřebí využít wattmetr. Wattmetr pracuje na klasickém napětí 230 V / 50 Hz. Je vybaven záložním akumulátorem. Data dokáže měřit v maximální časovém rozpětí 1000 hodin. Rozsah spotřeby elektrické energie je přístroj schopen měřit v rozsahu 0 až 999 kWh. Měřicí rozsah 5 až 3680 W.



Obrázek C.15 Wattmetr [26]

C.4 Výběr vhodného materiálu

Při výběru materiálu se postupovalo dle požadovaných vlastností. Byl hledán materiál, který bude mít velkou povrchovou plochu, bude dobře smáčivý ideálně nasávkavý. Z volně dostupných materiálů byla testována kokosová rohož, Keramzit, molitanové kostky, tukový filtr a dřevěná vlna. Pro porovnání sloužil australský výrobek určený k adiabatickému chlazení OXYVAP.

C.4.1 Kokosová rohož

Jedná se o vlákna z kokosové skořápky spletená do rohože. Tato rohož se běžně používá pro zpevnění svahů jezírek, jelikož velmi dobře odolává vlhku a rozkladu. Tento materiál byl vybrán z důvodu své tvarové pevnosti a velkému množství vláken, tedy velké povrchové ploše. Bylo předpokládáno, že jako přírodní materiál bude také částečně nasávkavý. Tato rohož byla umístěna do kartuše o tloušťce 10 cm.



Obrázek C.16 Kartuš s kokosovou rohoží

C.4.2 Keramzit

Keramzit je uměle vyrobený materiál z jílu. Byl vybrán zejména kvůli své nasávkavosti. Používá se do květináčů pro udržení vlhkosti v nádobě. Pro měření byla zvolena frakce 8 až 10 mm. Z důvodu co možná nejvhodnějšího poměru povrchové plochy a tlakové ztráty. Jelikož byl Keramzit velmi těžký, kartuše nevydržela tento nápor a praskla. Z tohoto důvodu musela být kartuše vyspravena, a proto také není naplněna až po okraj Keramzitem. Zbylý prostor byl utěsněn folií. Keramzit byl umístěn do kartuše o tloušťce 5 cm.



Obrázek C.17 Kartuše s kermazitem

C.4.3 Molitan

Tento materiál byl vybrán z důvodu vysoké nasákavosti. Molitanová deska byla rozstříhána na krychle o délce strany cca 1 cm. Rozstříhání bylo provedeno z důvodu zvětšení povrchové plochy molitanu. Molitan byl umístěn do kartuše o tloušťce 7,5 cm.



Obrázek C.18 Kartuše s molitanem

C.4.4 Ocelový tukový filtr

Jedná se o hrubý filtr spletený z ocelových drátů. Pro zaplnění celé kartuše bylo vy-preparováno několik těchto filtrů. Tento materiál má velkou povrchovou plochu a oproti tomu nulovou nasákavost.



Obrázek C.19 Kartuše s tukovým filtrem

C.4.5 Dřevěná vlna

Pod tímto obchodním názvem se skrývají dřevěné hobliny. Dřevěná vlna se používá při úpravě záhonů pod jahody a další plodiny jako ochrana plodů před plísní a bah-nem. Tento materiál byl vybrán z důvodu dobré nasákavosti, smáčivosti a velké po-vrchové plochy. Dřevěná vlna byla postupně umísťována do kartuší o tloušťkách 10 cm, 7,5 cm a 5 cm.



Obrázek C.20 Kartuše s dřevěnou vlnou

C.4.6 Adiabatický zkrápěný chladič OXYVAP

Tento výrobek je konstruován pro maximální využití adiabatického potenciálu. Má vlastní distribuční systém vody. Jeho zkrápěná náplň se skládá z měděných prolisovaných plechů se speciální povrchovou úpravou, nanesením tenké vrstvy syntetického textilního filmu.



Obrázek C.21 Adiabatický zkrápěný chladič OXYVAP

C.5 Příprava před plnohodnotným měřením

C.5.1 Optimalizace distribuce vody na náplň

Zprvė bylo zapotřebí vymyslet způsob distribuce vody na náplň. K tomu účelu posloužila PVC hadice penetrovaná desítkami děr.



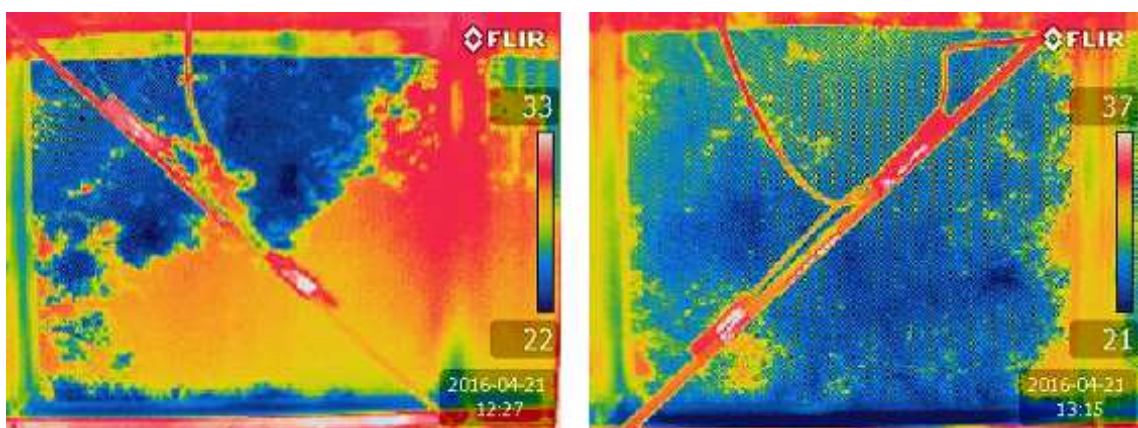
Obrázek C.22 Penetrovaná PVC hadice

Vytvořené malé otvory se však časem zanášely a nepřinášely spolehlivou a rovnoměrnou distribuci vody na celou náplň. Systém distribuce bylo zapotřebí optimalizovat. Z tohoto důvodu byl vytvořen nový systém, a to pomocí bavlněných knotů. Knoty jsou ve dvou délkových variantách, aby byla distribuce vody co možná nejrovnoměrnější. Delší knoty jsou omotány drátem. Toto řešení dovoluje přesné umístění a vhodný úhel pro stečení kapek vody. Výhodou je také to, že se knoty nezanášejí.



Obrázek C.23 Bavlněné knoty

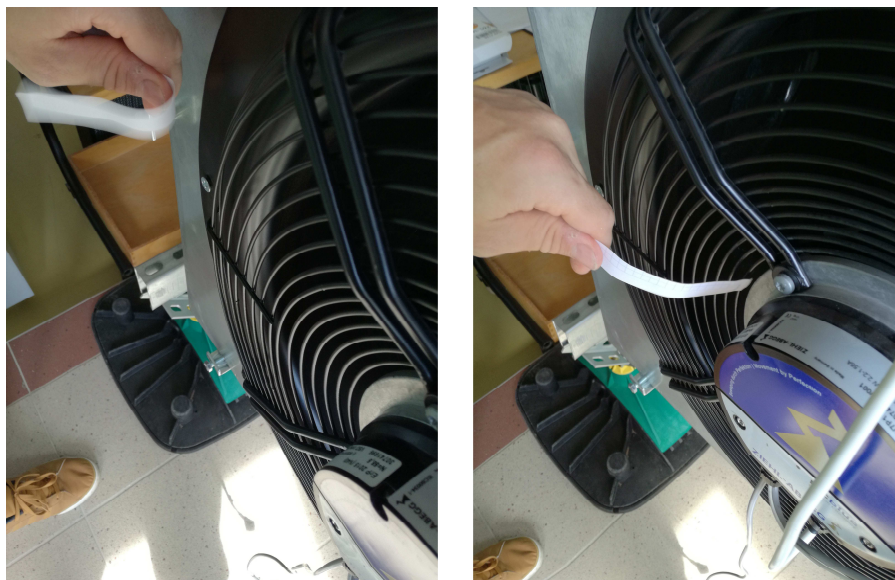
Rozdíl lze dobře vidět na snímcích termokamery. Modrá barva představuje mokrou oblast. Na snímcích jde také vidět lišta s čidly umístěna v úhlopříčce hranatého potrubí.



Obrázek C.24 Pohled termokamerou na náplň před a po optimalizaci distribuce vody

C.5.2 Úprava měřicí sestavy

Při prvotních měřeních byla čidla umístěna těsně za ventilátorem. Při hlubším zkoumání bylo zjištěno, že si ventilátor ve středové části při vyšší tlakové ztrátě, silně přisává vzduch z okolí. Při dalších měřeních byla již měřicí soustava prodloužena o rovný kus a přechod byl utěsněn pěnovým těsněním. Konečné umístění čidel bylo ve vzdálenosti 80 cm za ventilátorem.



Obrázek C.25 Ventilátor na straně výfuku

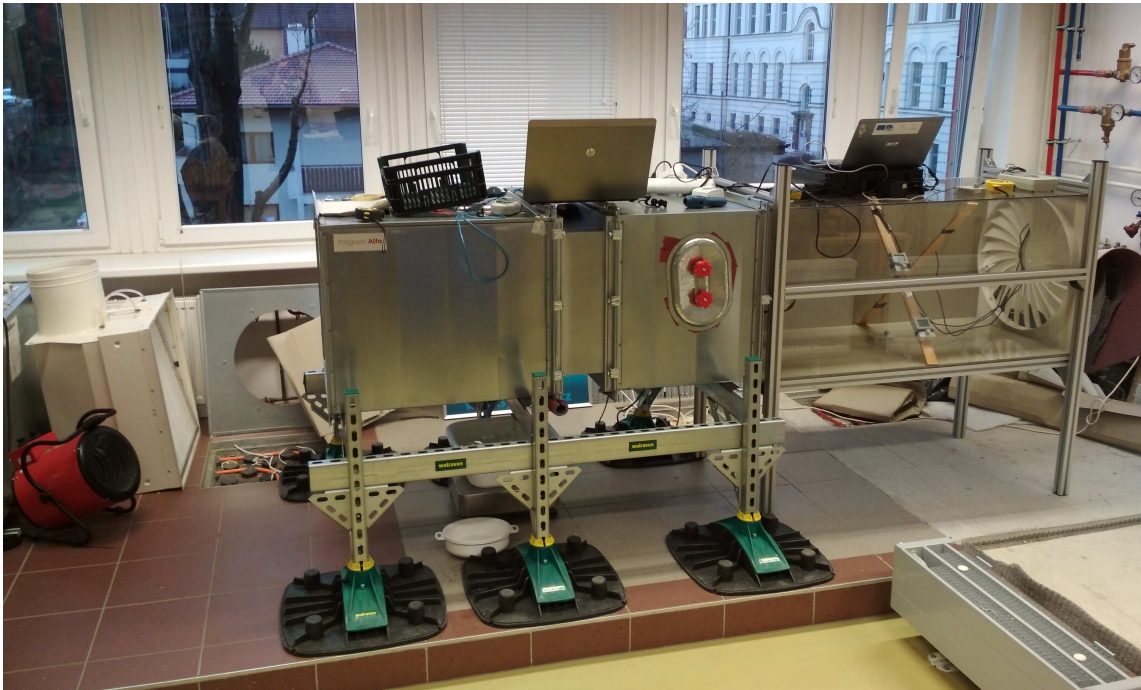
Při jednoduchém pokusu s proužkem papíru bylo ve středové části zjištěno silné přisávání vzduchu ventilátorem. Ani po úpravě není vzduch v průřezu rovnoměrný, ale již nedochází k přisávání.



Obrázek C.26 Prodloužený kus s čidly na straně výfuku ventilátoru

C.6 Popis měření

Měření probíhalo v laboratoři při simulaci letního období. Z tohoto důvodu bylo potřebné nejprve laboratoř vytopit na letní teploty. Požadované hodnoty byly teplota 30 °C a relativní vlhkost maximálně 40 %. Těchto hodnot bylo dosaženo zejména elektrickým přímotopem. Aby nedocházelo k akumulaci vlhkosti, byly po celou dobu otevřená dvě okna na ventilaci. Tento stav zajistil víceméně konstantní podmínky. Na vstupu měřicí soustavy byly na dřevěné liště osazeny čidla teploty a vlhkosti. Z důvodu omezení chybovosti čidel, byly ve většině případů tato čidla dvě až tři. Přes vyvrtané otvory před a za kartuší s náplní byly prostrčeny hadičky tlakoměru. Za ventilátorem v rovném průhledném kuse bylo umístěno 5 čidel. Počet čidel na zvlhčené straně vzduchu je větší z toho důvodu, že tato čidla při vysoké relativní vlhkosti měří s větší chybovostí. Čidla byla umístěna uhlopříčně na dřevěných lištách. Náplně byly testovány v průtočném režimu.



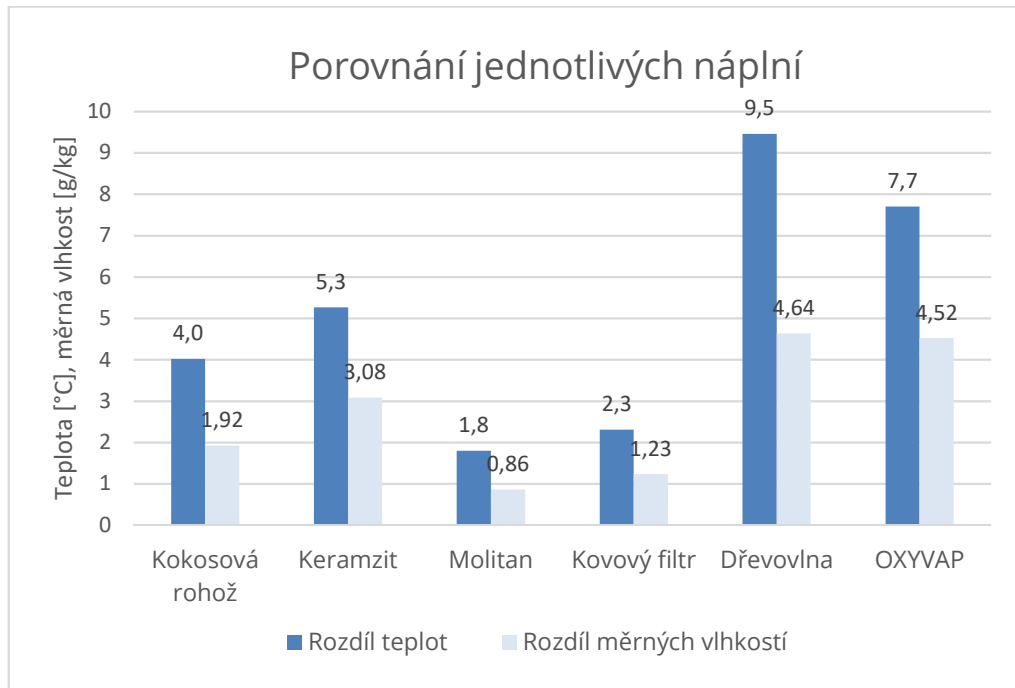
Obrázek C.27 Měřicí soustava

C.7 Výběr vhodného materiálu

C.7.1 Schopnost materiálu využít adiabatický potenciál

Všechny náplně byly testovány stejným postupem měření, a to při relativně stejných hodnotách vstupního vzduchu. Každá náplň byla vložena do připravené kartuše, opatřena elementem pro distribuci vody a utěsněna tak, aby vzduch procházel jen skrze náplň. Test každé náplně probíhal tak, že se suchá náplň umístila do měřicí soustavy, zapnul se ventilátor a současně se zapnul také přívod vody na náplň. Čidla

zaznamenávala průběžnou vlhkost a teplotu, a to v časovém kroku 30 sekund. Po ustálení výstupních hodnot vzduchu byl přívod vody uzavřen, nejdříve však po 30 minutách. Průtok vody byl cca 20 l/h. Množství přiváděného vzduchu bez náplně cca 1600 m³/h.



Graf C.1 Porovnání jednotlivých náplní

Při porovnání náplní byl jako vhodný hodnotící faktor zvolen rozdíl teplot a relativních vlhkostí vzduchu na vstupní a výstupní straně vzduchu. Hodnoty z čidel na vstupu a výstupu byly zprůměrovány. Relativní vlhkost byla zvolena na úkor měrné vlhkosti, která udává méně zkreslené hodnoty z důvodu lepší představy o účinnosti. V grafu je také uvedena tlaková ztráta jednotlivých náplní. Z grafu vyplývá, že nejlepších průměrných hodnot ochlazení a zvlhčení procházejícího vzduchu dosahovala kartuše s dřevěnou vlnou, která dokázala ochladit vzduch o 9,5 °C. Horší hodnoty OXYVAPu, tedy speciálního výrobku určeného do zkrápěných adiabatických chladičů, byly způsobeny vyšší vstupní vlhkostí vzduchu. Oba tyto materiály dosahovaly výstupní relativní vlhkosti nad 90 %. Druhým nejvíce vhodným materiálem byl Keramzit. Maximální zvlhčení vzduchu při průchodu tímto zkrápěným materiálem bylo na úrovni 60 % relativní vlhkosti. Negativum tohoto výrobku byla vysoká prašnost.

C.7.2 Vhodnost náplní z hlediska tlakových ztrát

Aby byl provoz ekonomicky výhodný, je nutné, aby náplň měla také co možná nejnížší tlakovou ztrátu. Ventilátor byl po celou dobu nastaven na konstantní otáčky ve

svém středním rozsahu. Tlakoměrem byla měřena tlaková ztráta náplně. Balometrem pak množství přiváděného vzduchu. Ventilátor byl do sítě zapojen přes wattmetr, kterým byl sledován zvýšený příkon ventilátoru.

Tabulka C.1 Porovnání náplní z hlediska tlakových ztrát

Název	Tlaková ztráta	Příkon ventilátoru	Množství vzduchu
	[Pa]	[W]	[m ³ /h]
Kokosová rohož	44	96	1202
Keramzit	98	101	678
Molitan	67	99	1045
Kovový filtr	26	92	1355
Dřevovlna	82	102	901
OXYVAP	47	92	1200
Bez náplně	0	88	1560

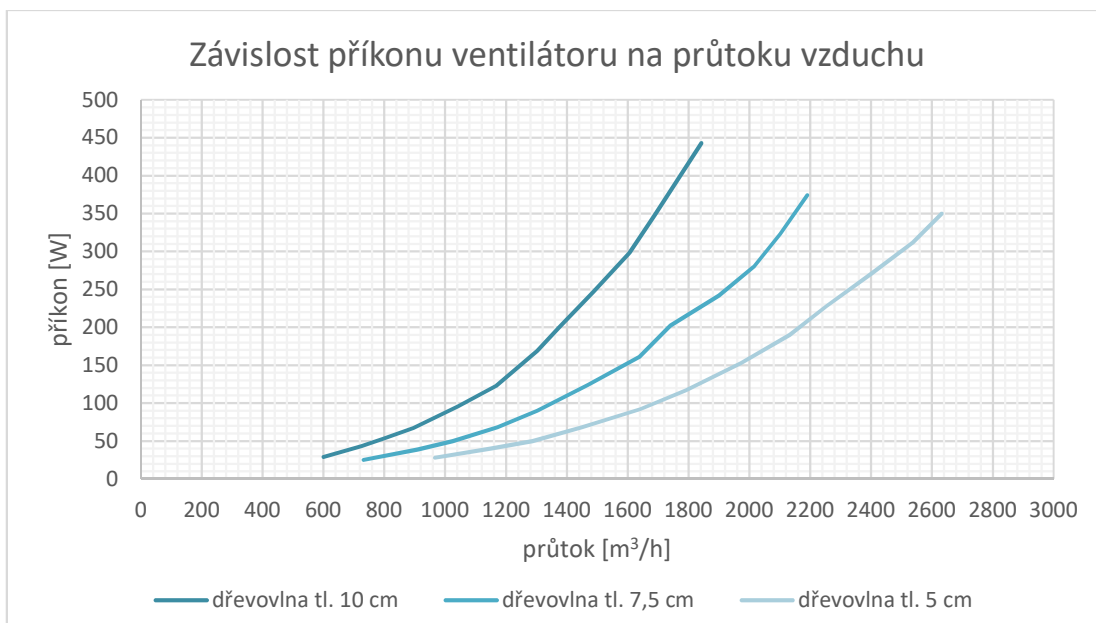
Z tabulky vyplývá, že původně druhá nevhodnější náplň – Keramzit, má nejvyšší tlakovou ztrátu a je pro účely náplně zkrápěného adiabatického chladiče nevhodný.

Za nevhodnější materiál byla vybrána dřevěná vlna. Zkrápěná dřevěná vlna má sice větší tlakovou ztrátu než zbylé náplně, ale dokáže vzduch opravdu efektivně vlhčit, respektive chladit. Navíc byla dřevěná vlna umístěna v kartuši o největší tloušťce, to znamená, že je zde prostor pro snížení tlakové ztráty. Negativum tohoto materiálu je náchylnost k plísním a rozvoji bakteriálních kolonií.

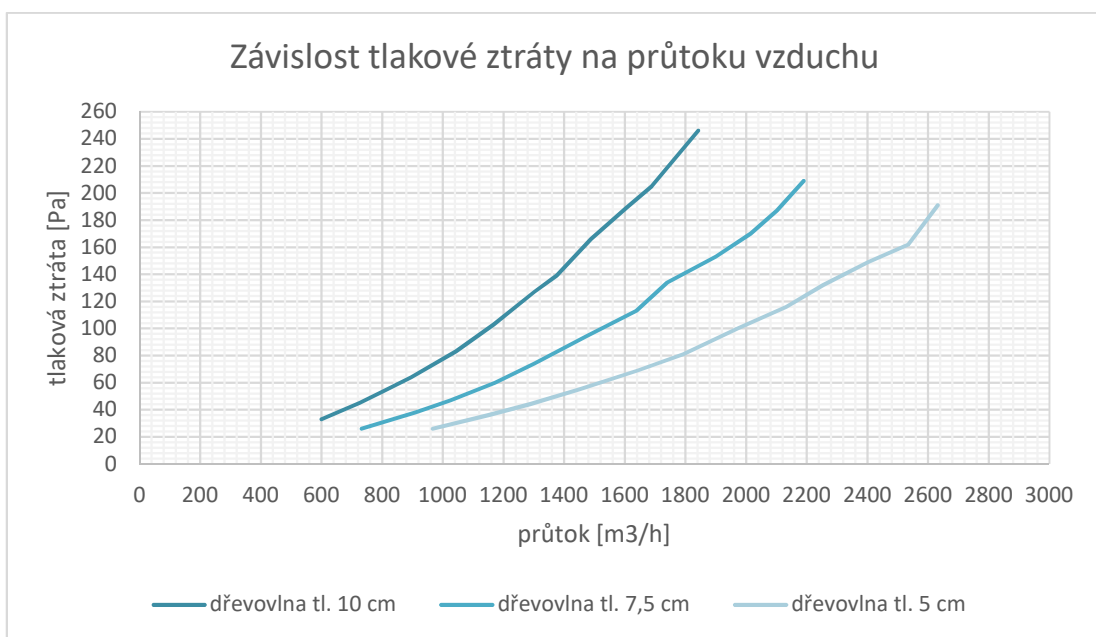
C.8 Testování nevhodnějšího materiálu

Z předchozích testů byla za nevhodnější materiál vybrána dřevěná vlna. Z vybraných materiálů právě náplň z dřevěné vlny dokázala maximálně využít adiabatický potenciál při přijatelné tlakové ztrátě. Měření se skládalo ze dvou částí.

V první části byla testována dřevěná vlna ve třech tloušťkách náplně. Pro každou náplň byla změřena tlaková ztráta, příkon ventilátoru a průtok vzduchu ve dvanácti polohách ventilátoru a sestrojeny grafy závislosti příkonu a tlakové ztráty na průtoku vzduchu.

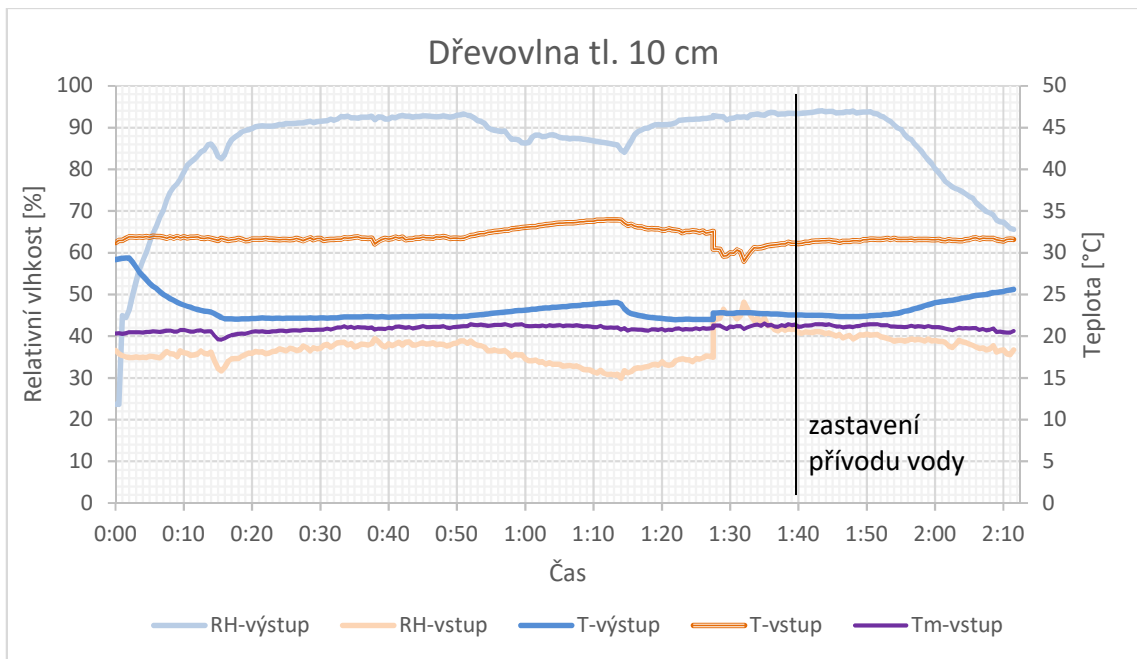


Graf C.2 Závislost příkonu ventilátoru na průtoku vzduchu

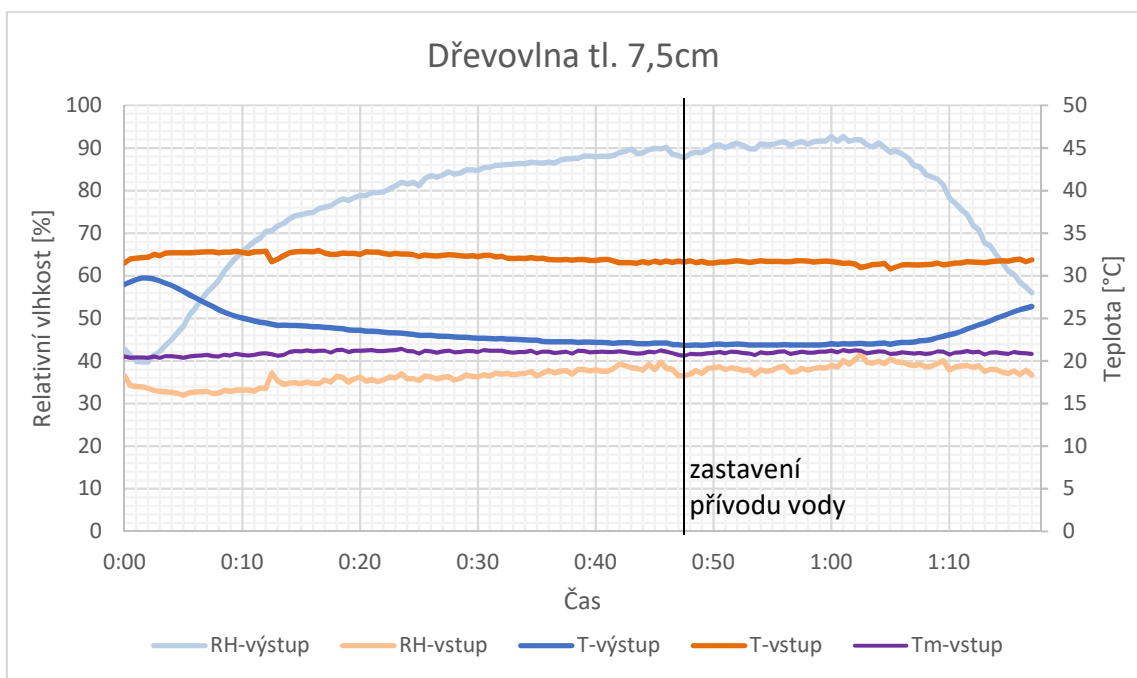


Graf C.3 Závislost tlakové ztráty na průtoku vzduchu

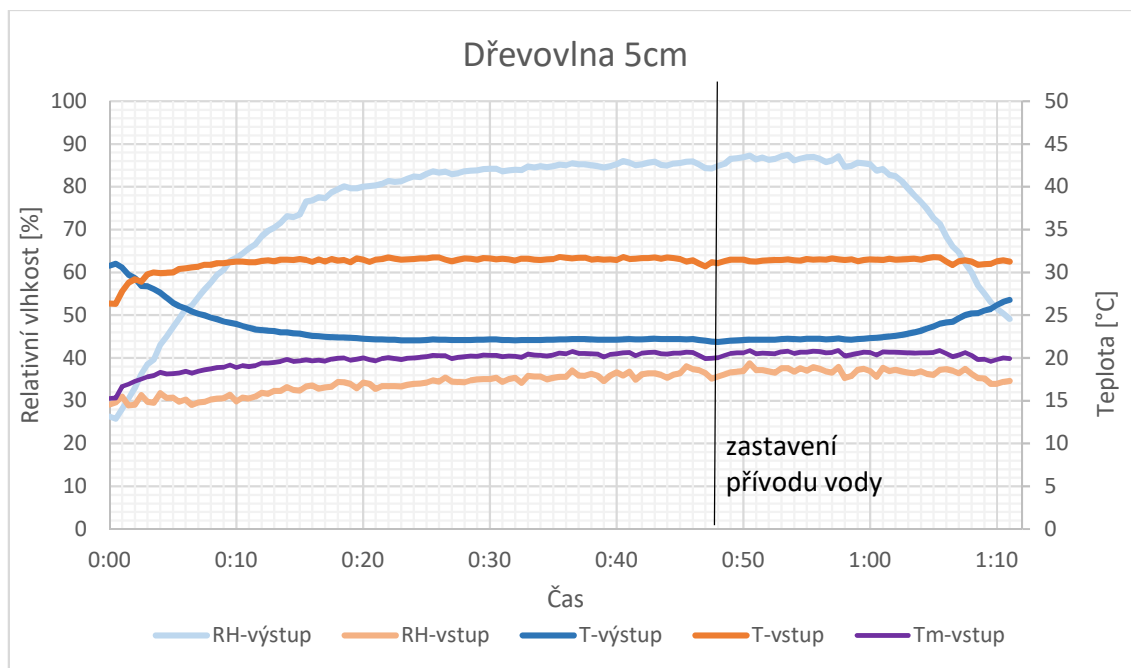
V druhé části byla hodnocena schopnost těchto náplní využít adiabatický potenciál přiváděného vzduchu. Na následujících grafech je znázorněn průběh měření adiabatického chlazení v čase. Písmenem T jsou označeny teploty, písmeny RH pak relativní vlhkosti. T_m označuje teplotu mokrého teploměru tedy nejnižší možnou teplotu vzduchu na výstupu. Černou svislou čarou je označen konec přívodu vody. Průtok vody se v těchto pokusech pohyboval kolem 20 l/hod.



Graf C.4 Průběh adiabatického chlazení pomocí zkrápěné dřevěné vlny tl. 10 cm

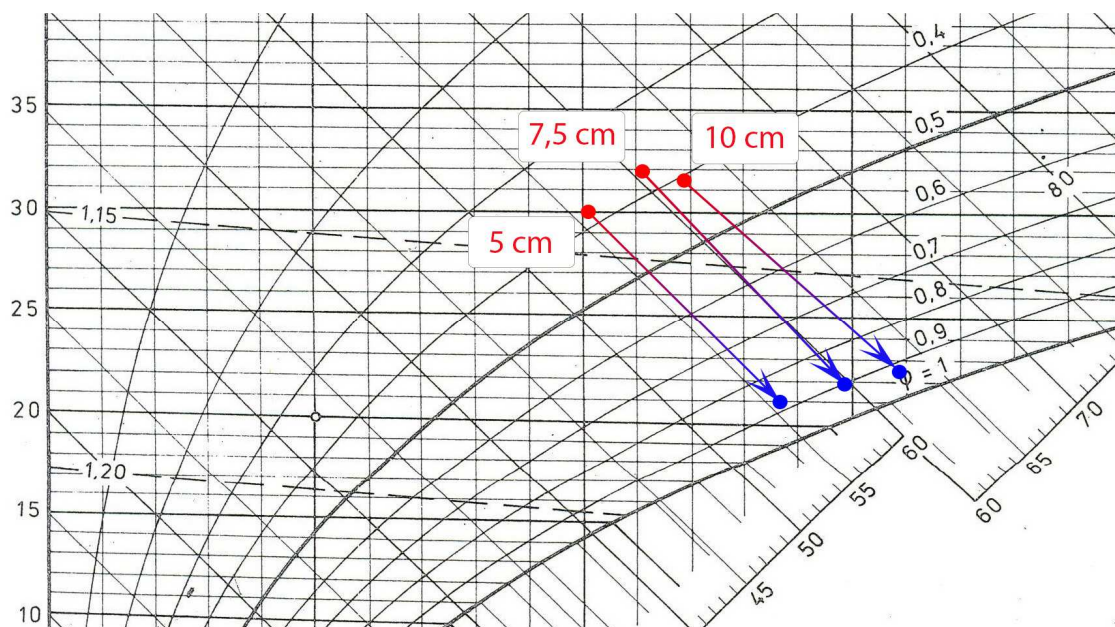


Graf C.5 Průběh adiabatického chlazení pomocí zkrápěné dřevěné vlny tl. 7,5 cm



Graf C.6 Průběh adiabatického chlazení pomocí zkrápěné dřevěné vlny tl. 5 cm

Po zastavení přívodu vody lze pozorovat zajímavý jev, a to mírné zvýšení účinnosti adiabatického chlazení. Tento jev si autor vysvětluje tak, že přiváděná voda přestane zaplavovat drobné nerovnosti ve struktuře povrchu dřevěné vlny. Tímto efektem dojde ke zvýšení plochy povrchu pro odpařování.



Obrázek C.28 Znáznornění úpravy vzduchu v h-x diagramu pro jednotlivé tloušťky náplní

Důvodem, proč průběhy změny stavu vzduchu nejsou rovnoběžné s adiabatou, je nepřesnost měření. Ta je způsobena nerovnoměrností rozložení teplot a relativních

vlhkostí v průřezu a následné zprůměrování těchto naměřených hodnot. Při zkoumání nepřesností bylo zjištěno, že teplota přiváděné vody má minimální vliv na výslednou teplotu vzduchu, jelikož citelné teplo předané vodou je cca 100krát menší než teplo odebrané odpařením (při rozdílu teplot 5 K). Hodnoty pro vynesení do diagramu jsou průměrné hodnoty v průběhu 10 minut po zastavení přívodu vody, tedy v době, kdy adiabatický chladič pracoval s největší účinností chlazení.

V následující tabulce je shrnuto porovnání jednotlivých tlouštěk náplní. Hodnoty ochlazení vzduchu, relativní vlhkosti na výstupu a zvýšení měrné vlhkosti jsou brány jako průměry hodnot v deseti minutovém intervalu po zastavení přívodu vody. Zejména z hodnot zvýšené měrné vlhkosti je patrné, že největšího zvlhčení, na úkor vysoké tlakové ztráty dosahuje dřevěná vlna o tloušťce náplně 10 cm. Dřevěná vlna o tloušťce náplně 7,5 cm se pak jeví jako nejvhodnější, a to z důvodu dobrého poměru účinnosti zvlhčení a tlakové ztrátě. Tato náplň dosahuje 90 % zvlhčení při tlakové ztrátě 50 Pa, což je srovnatelné s australským speciálně vyvinutým výrobkem pro adiabatické chlazení (rH 90 %, t.z. 46 Pa).

Tabulka C.2 Porovnání jednotlivých tlouštěk náplní s dřevěnou vlnou

Název	Váha	Měrná hmotnost	Tlaková ztráta	Průtok vzduchu	Rychlost vzduchu v průřezu	Ochlazení vzduchu	Zvýšení měrné vlhkosti	Relativní vlhkost na výstupu
	[kg]	[kg/m ³]	[Pa]	[m ³ /h]	[m/s]	[K]	[g/kg]	[%]
Dřevovlna tl. 5 cm	660	39,95	39	1215	1,17	9,1	3,37	87,4
Dřevovlna tl. 7,5 cm	871	35,15	51	1105	1,08	9,8	3,94	90,1
Dřevovlna tl. 10 cm	1220	36,92	82	901	0,94	8,9	4,45	92,3

C.9 Kontinuální a přerušovaná distribuce vody

Jak je popsáno výše, při měřeních bylo zjištěno, že při vypnutí přívodu vody se zvýší schopnost náplně zvlhčit vzduch. Tento stav trvá do chvíle, než náplň začne schnout. V našem případě více než 10 minut. Pro zjištění zvýšení účinnosti adiabatického chlazení při přerušovaném přívodu vody byl realizován další pokus. V první části byla dřevěná vlna vlhčena kontinuálním přívodem vody s přebytkem cca 20 l/h. Bylo zjištěno, že množství vody nemá na zvlhčení vliv, stačí jen, aby náplň byla zvlhčena v celém objemu. Rozdíl v účinnosti vlhčení vzduchu při průtoku vody 20 l/h nebo 40 l/h je takřka nulový. V druhém případě byl přívod vody přerušovaný. Dvě minuty byl přívod vody zapnut a 8 minut vypnut. Tento princip přívodu vody se periodicky opakoval po celou dobu měření s přebytkem 5,2 l/h. Do tabulky byl brán půlhodinový průměr teplot a vlhkostí za ustáleného stavu.

Název	Teplota vstup	Relativní vlhkost vstup	Teplota výstup	Relativní vlhkost výstup	Pokles teploty	Rozdíl měrných vlhkostí
	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[°C]	[g/kg]
Kontinuální přívod vody	30,35	36,42	21,06	84,08	9,29	3,36
Přerušovaný přívod vody	29,81	38,22	20,66	88,03	9,15	3,48

Jak dokazují naměřená data z tabulky, tak i při méně příznivých podmínkách, které panovaly při přerušovaném provozu, dokázal tento způsob distribuce vody zvýšit množství odpařené vody, konkrétně o 3,5 %.

C.10 Ověření hygienických rizik

Z důvodu toho, že dřevěná vlna je organický materiál, bylo zhotoveno několik pokusů na ověření hygienické nezávadnosti přiváděného vzduchu skrz tento materiál. Při testech byl sledováno množství bakterií, plísní a legionel. Byly testovány dva druhy provozu, a to cirkulační a průtočný režim. Pro porovnání byl sledován stav vody také v ultrazvukovém zvlhčovači.

C.10.1 Sledování kvality vody v cirkulačním režimu

Při tomto pokusu byl sestaven jednoduchý zmenšený zkrápěný zvlhčovač s výplní z dřevěné vlny. Pro porovnání byl použit ultrazvukový zvlhčovač. Obě zařízení byla v provozu dvě hodiny denně po dobu třech týdnů. Zkrápěný zvlhčovač měl spotřebu vody cca 1,5 l/h. Ultrazvukový zvlhčovač pak cca 50 g/hod. Průběžně byla do nádob obou zařízení dolévána pitná voda.



Obrázek C.29 Zkrápěný zvlhčovač, vpravo pak ultrazvukový zvlhčovač

Zařízení byla před začátkem měření důkladně očištěna a dezinfikována. Měření probíhalo po dobu třech týdnů, a to v laboratoři TZB s občasným výskytem osob, při teplotě 20 až 24 °C a relativní vlhkosti 40 až 70 %. Každý týden byly odebrány vzorky vody. Rozbor těchto vzorků z hlediska mikrobiální čistoty byl proveden v brněnské laboratoři Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě.

Tabulka C.3 Přehled hodnot mikrobiálního znečištění vody v ultrazvukovém zvlhčovači

Ultrazvukový zvlhčovač	legionella	CPM	kvasinky	plísňe
	[KTJ/g]	[KTJ/g]	[KTJ/g]	[KTJ/g]
vstupní voda 2.10.2017	0	1	0	0
nádržka 2.10.2017	0	5	16	8
nádržka 10.10.2017	0	2,07E+06	0	0
nádržka 16.10.2017	0	8,20E+06	0	16

Tabulka C.4 Přehled hodnot mikrobiálního znečištění vody v zkrápěné dřevovlně

Zkrápěná dřevovlna	legionella	CPM	kvasinky	plísňe
	[KTJ/g]	[KTJ/g]	[KTJ/g]	[KTJ/g]
vstupní voda 2.10.2017	0	1	0	0
nádržka 2.10.2017	0	2	0	0
nádržka 10.10.2017	0	7,30E+05	0	0
nádržka 16.10.2017	0	4,30E+05	0	3
nádržka 23.10.2017	0	9,60E+06	0	0

Z výsledků je patrné, že na počátku byla kvalita pitné vody na vysoké úrovni. Voda v obou nádobách zvlhčovačů byla čistá. Po týdnu můžeme vidět nárůst bakterií v obou zvlhčovačích o několik řádů. A to i v nádržce ultrazvukového zvlhčovače, která je neprůhledná, uzavřená a bez styku s okolním vzduchem. Výsledky z této nádržky byly srovnatelné s výsledky z nádoby zkrápěné dřevěné vlny, která má nádobu otevřenou. Změny množství bakterií v dalších týdnech už jsou bezvýznamné, voda v nádržkách se doplňováním nové vody udržuje přibližně na stejných hodnotách. Kvasinky ani plísňe se ve zkoumaných vzorcích nevyskytují vůbec nebo jen v bezvýznamném množství. V důsledku absence legionoly ve vstupní vodě nebyl zjištěn ani její výskyt ve vzorcích po delší době.

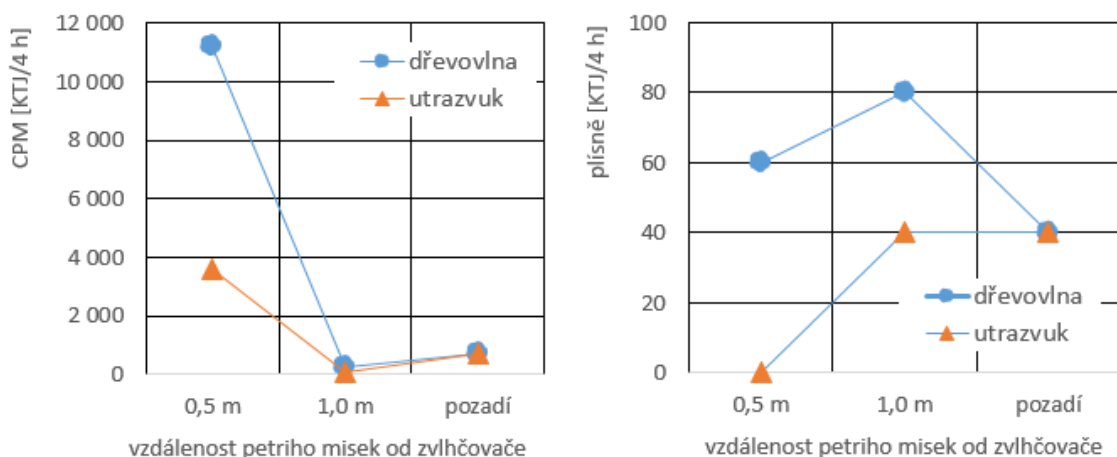
Lze předpokládat, že mikrobiální kvalita vody ve zvlhčovačích bude ovlivňovat kvalitu vzduchu v místnosti, kde je zvlhčovač provozován. Za tím účelem byl sestaven další experiment, který ověřoval distribuci kontaminované vody do ovzduší při provozu zvlhčovačů. Zvlhčovače byly přeneseny do předem větrané místnosti. Kontaminace vzduchu byla měřena spadovou metodou po dobu 20 min. tento experiment probíhal bez přítomnosti osob. Petriho misky byly umístěny ve vzdálenosti 0,5 m a 1 m od

každého ze zvlhčovačů. Další dvě misky byly umístěny na místa mimo dosah těchto zařízení. Průměr z jejich výsledků je považován za pozadí místnosti.



Obrázek C.30 Rozmístění Petriho misek za zkrápěným adiabatickým chladičem

V grafech na obr. 3 je dobře patrné, že ve vzdálenosti 0,5 m, tedy přibližně v místě dosahu proudu výrazně zvlhčeného vzduchu je oproti větší vzdálenosti i zbytku místnosti přibližně 1000krát vyšší koncentrace bakterií, zjevně zachycením kontaminované vodní páry. Naopak u plísní je koncentrace v celé místnosti srovnatelná a pohybuje se na nízkých hodnotách, což odpovídá tomu, že voda v obou zvlhčovačích obsahovala plísňových kolonií velmi nízké množství.



Obrázek C.31 Hodnoty spadu pro celkové počty mikroorganismů (vlevo) a plísně (vpravo)

Z provedených experimentů, navzdory jejich malému rozsahu, je zřejmé, že adiabatické chladiče s vodním zásobníkem jsou zdrojem mikrobiální kontaminace vzduchu,

a to i v případě, kdy nádrž je uzavřená a doplňována kvalitní pitnou vodou. Uchování původně pitné vody nutně vede k její biologické degradaci. Při distribuci této vody do ovzduší je zhoršována mikrobiální kvalita vzduchu v dýchací zóně osob. Inhalace vodní páry z kontaminované vody zvlhčovačů bývá v literatuře označována jako „horečka ze zvlhčovačů“.

C.10.2 Sledování kvality vody v průtočném režimu

Cílem dalšího jednoduchého pokusu bylo zjištění nárůstu bakterií v průtočném režimu. Pokus byl sestaven tak, že každý den po dobu desíti dnů byla náplň dvě hodiny prolévána vodou a následně vysušena. Po deseti dnech byla náplň ponořena do nádoby s vodou po dobu dvou hodin. Poté byl odebrán vzorek této vody. Pokus probíhal při teplotě 20 až 24 °C a relativní vlhkosti 40 až 70 % v prostorách nepoužívané místnosti. Pro porovnání byla otestována i voda volně tekoucí ve veřejné budově Moravské zemské knihovny. Tato voda se stejně jako voda z náplně adiabatického chladiče odpařuje do interiérového vzduchu. Její potenciální znečištění může mít negativní vliv na mikrobiální kvalitu vzduchu v dýchací zóně osob.

Tabulka C.5 Přehled hodnot mikrobiálního znečištění vody dřevěné vlny v průtočném režimu

	legionela	CPM	kvasinky	plísně
	[KTJ/g]	[KTJ/g]	[KTJ/g]	[KTJ/g]
vstupní voda	0	1	0	0
dřevěná vlna po 10 dnech	0	460	0	0
kontrolní voda z MZK	0	920	0	0

Z výsledků testů vyplývá, že testovaná voda ve všech případech neobsahovala bakterie legionely, kvasinky ani plísně. Celkový počet mikroorganismů (CPM) byl ve vzorku vody z „fontány“ ve veřejné budově dvakrát větší než ve vzorku vody z vyluhované dřevěné vlny po 10 dnech simulovaného provozu. Pro srovnání dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. je limit pro pitnou vodu odebranou z malého zdroje (domovní studna) 500 KTJ/ml pro bakterie kultivované při teplotě 22 °C. Voda vyluhovaná z dřevěné vlny po deseti dnech simulovaného průtočného režimu splňuje tyto parametry pro pitnou vodu, tudíž by při jejím odpařování nemělo docházet k významné kontaminaci přiváděného vzduchu do dýchací zóny osob. [16]

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo ověřit možnost adiabatického chlazení velkokapacitních stanů v České republice. Analýzou klimatických dat bylo zjištěno, že pomocí adiabatického chlazení je možné výrazně zlepšit tepelnou pohodu osob v těchto stanech. Jelikož obálky stanů mají velmi špatné tepelněizolační vlastnosti, musí zařízení disponovat velkým chladicím výkonem. Při použití adiabatického chlazení je možné udržet finanční náklady na provoz v přijatelných mezích. Velký chladicí výkon těchto zařízení s sebou nese také velké množství přiváděného vzduchu. S přihlédnutím na flexibilitu a nízkou hmotnost je nejlepším řešením pro distribuci vzduchu textilní potrubí a velkoplošné textilní vyústky.

Současné adiabatické chladiče, které pracují s vodou v cirkulačním režimu, plývají pitnou vodou za účelem omezení vzniku bakterií. Pomocí přesného dávkování vody na náplň lze navrhnout zkrápěný adiabatický chladič, který bude s pitnou vodou pracovat hospodárně a zároveň nebude hygienickým rizikem. Nevýhodou tohoto řešení je rychlá degradace náplně. Tato náplň bude vyrobena z dřevěné vlny, tedy z levného a ekologického materiálu. Častá výměna náplně při krátkodobých pronájmech velkokapacitních stanů nepředstavuje velký problém.

Experimentální měření bylo zaměřeno na nalezení vhodného materiálu pro náplň zkrápěného adiabatického chladiče. Nejvhodnějším materiálem byla dřevěná vlna, a to zejména kvůli vysoké adiabatické účinnosti, přiměřené tlakové ztrátě a vysoké akumulaci vody. Dalšími testovanými materiály byly Keramzit, molitan, drátěný filtr a kokosová rohož. Na náplni s dřevěnou vlnou proběhly další zkoušky, které ověřily její vhodnost. Tyto zkoušky byly zaměřeny zejména na snížení tlakové ztráty a zachování dostatečné účinnosti vlhčení. Návrh změny distribuce vody na náplň podnítil experiment, který simuloval zaběhlý princip cirkulačního zkrápění náplně. Tento pokus ukázal, že již po několika dnech, může přiváděný vzduch obsahovat velké množství bakterií.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Značka	Veličina	Jednotka
A	plocha průřezu	m ²
a, b	šířka	m ²
c	měrná tepelná kapacita	J/kg*K
d	průměr	m
D	útlum akustického výkonu	dB
f	frekvence	Hz
h	vzdálenost	m
	výška	m
	měrná entalpie	J/kg
I	sluneční radiace	W/m ²
l	délka	m
n	intenzita výměny vzduchu	h ⁻¹
P	příkon	kW
p	tlak	Pa
Q	hustota tepelného toku	W
R	tepelný odpor	m ² *K/W
S	plocha průřezu	m ²
t	teplota	°C
U	součinitel prostupu tepla	W/m ² *K
x	měrná vlhkost	g/kg
v	průtočná rychlost	m/s
V	objem	m ³
	objem přiváděného vzduchu	m ³ /h
γ	azimutový úhel stěny	°
ξ	součinitel vřazeného odporu	-
η	účinnost	-
λ	součinitel tepelné vodivosti	W/mK
ρ	objemová hmotnost	kg/m ³
φ	relativní vlhkost vzduchu	%
α	sluneční azimut	°

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obrázek A.1 Úprava vzduchu vlhčením znázorněná v h-x diagramu [1].....	12
Obrázek A.2 Mechanický kotoučový zvlhčovač [2].....	13
Obrázek A.3 Blánová pračka. 1 – odlučovač kapek, 2 – ponorné čerpadlo, 3 - rozprašovací trysky [3]	14
Obrázek A.4 Přímé a nepřímé adiabatické chlazení s cirkulací vody [4].....	15
Obrázek A.5 Kombinace přímého a nepřímého adiabatického chlazení [5]	16
Obrázek A.6 Graf četnosti teplot mokrého teploměru pro Prahu (TRY) [6].....	17
Obrázek A.7 Odečtení limitů z h-x diagramu pro přímé adiabatické chlazení [6]....	18
Obrázek A.8 Vliv adiabatického chlazení na tepelnou pohodu dle ukazatele PMV [6]	20
Obrázek B.1 Ukázka výstupu z výpočetního programu.....	24
Obrázek B.2 Party stan z interiéru [7].....	25
Obrázek B.3 Šapitó [7].....	25
Obrázek B.4 Zobrazení adiabatického chlazení v h-x diagramu.....	32
Obrázek B.5 Výpočet stavu vzduchu znázorněný v h-x diagramu.....	34
Obrázek B.6 Ukázka výpočtu faktoru PMV a PPD [9]	38
Obrázek B.7 Ukázka mikroperforace a perforace [10].....	40
Obrázek B.8 Umístění perforace [11]	40
Obrázek B.9 Obraz proudění perforace [11]	41
Obrázek B.10 Obraz proudění pro party stan [11]	41
Obrázek B.11 Textilní tlumič hluku [12].....	43
Obrázek B.12 Znázornění běžného mobilního adiabatického chladiče [13]	46
Obrázek B.13 Navrhovaný adiabatický chladič ADIACH 15	46
Obrázek B.14 Vizualizace mobilního adiabatického chladiče	47
Obrázek B.15 Specifikace ventilátoru 1/2 [14].....	48
Obrázek B.16 Specifikace ventilátoru 2/2 [14].....	49
Obrázek B.17 Průtokoměr YF-S201 [15].....	50
Obrázek B.18 Elektronicky ovladatelný uzavíratelný ventil [16]	51
Obrázek B.19 Schéma řízení	52
Obrázek B.20 Vývojový diagram	53
Obrázek B.21 Kompresorový chladič o výkonu 70 kW [17].....	57
Obrázek B.22 Použití adiabatického chladiče pro chlazení svatebního stanu [18]..	58
Obrázek C.1 Měřicí soustava v laboratoři m. č. 520	59
Obrázek C.2 Axiální ventilátor.....	60
Obrázek C.3 Charakteristika ventilátoru [18]	60

Obrázek C.4 Regulátor otáček [19].....	61
Obrázek C.5 Kartuše	61
Obrázek C.6 Ponorné čerpadlo [20].....	62
Obrázek C.7 Kulový kohout pro DN 9mm [21]	62
Obrázek C.8 Hadice s penetrací.....	63
Obrázek C.9 Datalogger [22]	64
Obrázek C.10 Měřicí ústředna Almemo 2890-9	64
Obrázek C.11 Prohood (balometr) [23]	65
Obrázek C.12 Teplotní a vlhkostní čidla	66
Obrázek C.13 Termokamera FLIR i7 [24].....	66
Obrázek C.14 Multifunkční přístroj Testo 435-3 [25].....	67
Obrázek C.15 Wattmetr [26]	67
Obrázek C.16 Kartuš s kokosovou rohoží	68
Obrázek C.17 Kartuše s kermazitem.....	69
Obrázek C.18 Kartuše s molitanem.....	69
Obrázek C.19 Kartuše s tukovým filtrem.....	70
Obrázek C.20 Kartuše s dřevěnou vlnou	70
Obrázek C.21 Adiabatický zkrápěný chladič OXYVAP	71
Obrázek C.22 Penetrovaná PVC hadice	71
Obrázek C.23 Bavlněné knoty	72
Obrázek C.24 Pohled termokamerou na náplň před a po optimalizaci distribuce vody.....	72
Obrázek C.25 Ventilátor na straně výfuku	73
Obrázek C.26 Prodloužený kus s čidly na straně výfuku ventilátoru	73
Obrázek C.27 Měřicí soustava.....	74
Obrázek C.28 Znázornění úpravy vzduchu v h-x diagramu pro jednotlivé tloušťky náplní	79
Obrázek C.29 Zkrápěný zvlhčovač, vpravo pak ultrazvukový zvlhčovač.....	81
Obrázek C.30 Rozmístění Petriho misek za zkrápěným adiabatickým chladičem...	83
Obrázek C.31 Hodnoty spadu pro celkové počty mikroorganismů (vlevo) a plísně (vpravo).....	83

Tabulky

Tabulka A.1 Počet hodin, kdy pro zadané podmínky nelze použít přímé adiabatické vlhčení [6]	18
Tabulka B.1 Vybraná klimatická data	23
Tabulka B.2 Výpočet součinitele prostupu tepla.....	26
Tabulka B.3 Průběh intenzit přímé a difúzní sluneční radiace [8].....	27

Tabulka B.4 Průběh rovnocenných slunečních teplot během dne dle světových stran, $A = 7 \text{ K}$, $\varepsilon = 0,3$	28
Tabulka B.5 Vstupní parametry prostředí – Šapitó.....	29
Tabulka B.6 Vstupní parametry prostředí – Party stan	29
Tabulka B.7 Tepelný výdej a vlhkostní zisky od osob [3]	30
Tabulka B.8 Výpočet výstupní teploty.....	32
Tabulka B.9 Výpočet potřebného množství přiváděného vzduchu a výkonu chlazení - Šapitó.....	35
Tabulka B.10 Výpočet potřebného množství přiváděného vzduchu a výkonu chlazení – Party stan.....	36
Tabulka B.11 Závislost množství přiváděného vzduchu a adiabatického výkonu na teplotě.....	37
Tabulka B.12 Porovnání jednotlivých typů úpravy vnitřního prostředí.....	39
Tabulka B.13 Dimenzování potrubí pro party stan.....	42
Tabulka B.14 Tlaková ztráta soustavy.....	42
Tabulka B.15 Dimenzování potrubí pro party stan.....	42
Tabulka B.16 Tlaková ztráta soustavy.....	43
Tabulka B.17 Výpočet hladiny akustického tlaku v místě posluchače	44
Tabulka B.18 Výpočet hladiny akustického tlaku v místě posluchače	45
Tabulka B.19 Výpočet plochy průřezu tlakové ztráty a přibližné ceny za náplň.....	50
Tabulka B.20 Nejnižší teplota přiváděného vzduchu v závislosti na stavu exteriérového vzduchu.....	54
Tabulka B.21 Technická specifikace adiabatické jednotky	55
Tabulka B.22 Průměrné hodinové teploty a relativní vlhkosti při teplotách nad $27 \text{ }^\circ\text{C}$	57
Tabulka B.23 Finanční porovnání provozu.....	58
Tabulka C.1 Porovnání náplní z hlediska tlakových ztrát.....	76
Tabulka C.2 Porovnání jednotlivých tloušťek náplní s dřevěnou vlnou.....	80
Tabulka C.3 Přehled hodnot mikrobiálního znečištění vody v ultrazvukovém zvlhčovači	82
Tabulka C.4 Přehled hodnot mikrobiálního znečištění vody v zkrápěné dřevovlně	82
Tabulka C.5 Přehled hodnot mikrobiálního znečištění vody dřevěné vlny v průtočném režimu	84
 Grafy	
Graf B.1 Porovnání různých typů úpravy vnitřního prostředí dle PPD.....	39
Graf C.1 Porovnání jednotlivých náplní	75
Graf C.2 Závislost příkonu ventilátoru na průtoku vzduchu	77
Graf C.3 Závislost tlakové ztráty na průtoku vzduchu.....	77

Graf C.4 Průběh adiabatického chlazení pomocí zkrápěné dřevěné vlny tl. 10 cm. 78

Graf C.5 Průběh adiabatického chlazení pomocí zkrápěné dřevěné vlny tl. 7,5 cm 78

Graf C.6 Průběh adiabatického chlazení pomocí zkrápěné dřevěné vlny tl. 5 cm... 79

POUŽITÉ ZDROJE

Zákony, vyhlášky a normy

[7] Norma ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu, 2006

[8] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci ve znění pozdějších předpisů

[9] Norma ČSN EN ISO 13788 Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody, 2013

[10] Vyhláška č. 193/2013 Sb. o kontrole klimatizačních systémů

[13] Norma ČSN 730548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů, 1986

[14] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby

[15] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

[16] Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

Elektronické a hmotné zdroje

[1] Teorie vlhkého vzduchu III [online]. 2006 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3382-teorie-vlhkeho-vzduchu-iii>

[2] GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. Vzduchotechnika. Brno: Era, 2005, xviii, 262 s. : il. ISBN 80-7366-027-X

[3] Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Technický průvodce "Větrání a klimatizace". Bolit-B press, 1993. ISBN-80-901574-0-8

[4] Lain M. školitel Prof. Dr. Or. Jan Hansen. Nízkoenergetické chlazení budov. Praha. 2007, Disertační Práce, Technika prostředí budov, ČVUT, 183s.

[5] Zimmermann, M.: Review of Low Energy Cooling Technologies, IEA Anex 28 – Low energy cooling, Natural resources Canada, 1995, 88s.

[6] Fanger, P.O.; Fortun, J, Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates, Energy and Buildings 34, p. 533-536, dostupné z www.elsevier.com

[11] Górka A. Direct evaporative cooling. Poznaň. 2013, Poznaňská polytechnika, Institut environmentálního inženýrství dostupné z: <http://ekonair.cz/technologie/prime-odparovaci-chlazení-budov/>

[12] The control of legionella bacteria in water systems. Approved Code of Practice and guidance. ISBN 978 0 7176 1771 2, U.K. Health and Safety Executive, 2009

[13] Humidifier fever dostupné z: <http://www.mdguidelines.com/humidifier-fever>

[17] Přímé adiabatické chlazení průmyslových prostorů s využitím adiabatických chladících jednotek [online]. 2017 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/15604-prime-adiabaticke-chlazení-prumyslovych-prostoru-s-vyuzitim-adiabatickych-chladicich-jednotek>

Obrazové, grafické a tabulkové zdroje

[1] Teorie vlhkého vzduchu III [online]. 2006 [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3382-teorie-vlhkeho-vzduchu-iii>

[2] Kotoučový zvlhčovač dostupné z <http://www.abklimatizace.cz/news/vlhčení-a-odvlhčování/>

[3] Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Technický průvodce "Větrání a klimatizace". Bolit-B press, 1993. ISBN-80-901574-0-8

[4] Evaporative cooling systems dostupné z: <http://www.nald.org/indirect-evaporative-coolers/>

[5] Indirect evaporative cooling systém dostupné z <http://www.westaireengineering.com/indirect-evaporative-cooler/>

[6] Lain M. školitel Prof. Dr. Or. Jan Hansen. Nízkoenergetické chlazení budov. Praha. 2007, Disertační Práce, Technika prostředí budov, ČVUT, 183s.

[7] Party stan a šapitó dostupné z <http://www.partystany-etimex.cz/fotogalerie/>

[8] Norma ČSN 730548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů, 1986

[9] Manuel Carlos Gameiro da Silva. Spreadsheets for the calculation of thermal comfort indices PMV and PPD , Department of Mechanical Engineering, Universtiy of Coimbra

[10] firma Příhoda , Textilní vyústka dostupné z <http://www.prihoda.com/cs/vyroby-3>

[11] emailová korespondence s firmou Příhoda

[12] firma Příhoda, Textilní tlumič dostupné z: http://www.prihoda.com/userfiles/dokumenty/t2_quietex.pdf

- [13] firma Breezair, Evaporative unit dostupné z <http://breezair.com/products>
- [14] firma ZIEHL-ABEGG, Výběrový program dostupný z <https://www.ziehl-abegg.com/cz/cs/>
- [15] firma Sea, Průtokoměr YF-S201, dostupný z <https://laskarduino.cz/vstupni-periferie-cidla/230160-yf-s201-prutokomer-vody-1-30lmin.html>
- [16] firma Estone, elektromagnetický uzavíratelný ventil, dostupný z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1066-elektromagneticky-ventil-1-2-1500635977.html>
- [17] firma ActiveAir, portable air conditioner, dostupné z <http://activeair.com.au/product/70kw-portable-air-conditioner/>
- [18] firma ZIEHL-ABEGG, Axialní ventilátory dostupné z <https://www.ziehl-abegg.com/cz/cs/>
- [19] firma Vents, Regulátor otáček dostupné z <http://www.ventilatory-online.cz/regulatory-otacek-ventilatoru/14787-regulator-otacek-ventilatoru-rs-1400.html>
- [20] firma Sicce, Čerpadlo Mikra dostupné z http://www.sicce.com/prodottiDettaglio_eng.php/prodotto=micra/idprodotto=37
- [21] firma Eheim, Uzavírací kohout DN 9, dostupné z <http://eheim.cz/>
- [22] firma Comet, Datalogger S0110 dostupné z <http://www.cometsystem.cz/produkty/reg-S0110>
- [23] firma Airflow, Prohood PH731 dostupné z <http://www.airflow.cz/produkty/pristroje/prohood731.php>
- [24] firma Flir, Termokamera FLIR i7 dostupné z <https://www.termokamery-flir.cz/termokamery-flir-i/>
- [25] firma Testo, Multifunkční měřicí přístroj Testo 435-3 dostupné z <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-435-3/p/0560-4353>
- [26] firma Emos, Wattmetr Emos dostupné z <https://shop.emos.cz/wattmetry>