



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# KLIMA KOMORA PRO ZKOUŠENÍ OSOBNÍCH VOZIDEL

CLIMATE TESTING ROOM FOR PERSONAL VEHICLES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. LUDVÍK MÁLEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/10

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Málek Ludvík, Bc.

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

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Klima komora pro zkoušení osobních vozidel**

v anglickém jazyce:

### **Climate testing room for personal vehicles**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh klimatické komory pro zkoušení osobních vozidel, zahrnující návrh vlastní komory (stěny, izolace), vytápění, chlazení a větrání komory. Návrh by měl zahrnovat i začlenění tzv. umělého slunce.

Cíle diplomové práce:

Konstrukční návrh klima komory, výpočty tepelných ztrát a zisků. Návrh ohřevu, chlazení a větrání.

Seznam odborné literatury:

- [1] Cedrych Mario René, Schwarz Jiří, Automobily škoda FABIA. Grada, Praha 2002.
- [2] Gscheidle Rolf, Příručka pro automechanika. Sobotáles, Praha 2007.
- [3] Vlk František, Elektronické systémy motorových vozidel 2.regulace a řízení podvozku, Systémy ABS/ASR, EPS, Komfortní systémy, Zadržné systémy, Informační systémy Prof.Ing. František Vlk, DrSc. Nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002.
- [4] Hirš J., Gebauer G., TZB-Vzduchotechnika, chlazení pro klimatizaci, FAST 2008.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne



---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce zpracovává konstrukční návrh zkušebního zařízení, klima komory, pro simulaci vnějších povětrnostních podmínek. Stěny komory jsou složeny z tzv. sendvičových izolačních panelů. Dále je proveden výpočet tepelných ztrát komory. Upravený vzduch je přiváděn v rozváděcím kanálu po stranách komory. Odváděný vzduch se odsává v oblasti stropu. Jednotka nuceného proudění vzduchu je umístěna ve stropě. Návrh obsahuje i začlenění UV zářičů, které simulují sluneční záření.

V komoře se budou studovat vlivy vnějších klimatických podmínek na mikroklima v automobilu. Dále se mohou provádět zkoušky slunečním zářením, kterými zjišťujeme stárnutí polymerů nebo laku a s tím související vyblednutí barev.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Zkouška, klima komora, tepelné ztráty, UV zářiče, sluneční záření, klimatické podmínky

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals with the design of testing equipment, a climate chamber in particular, to simulate external weather conditions. The chamber walls are made of so-called sandwich insulation panels. Based on the wall thermal properties, heat loss of the chamber was calculated. The conditioned air is supplied by a distribution channel at sides of the chamber. The exhaust air leaves the chamber in the ceiling zone. The ventilation unit is located on the ceiling. The design includes the integration of the UV lamp, simulating sunlight.

The chamber will allow the weather effects on the microclimate inside a car to be studied. Furthermore, the sunlight simulations can be carried out in the chamber to detect polymers or varnish aging, and the fading of colours.

## **KEYWORDS**

Test, climate chamber, heat loss, UV lamp, sunlight, weather conditions

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MÁLEK, L. *Klima komora pro zkoušení osobních vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 54 s., 1 přílohu. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Klima komora pro zkoušení osobních vozidel vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28. května 2010

.....  
Ludvík Málek

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou děkuji doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Současně děkuji svým rodičům a blízkým za jejich podporu a trpělivost po celou dobu mého studia.



**OBSAH**

ÚVOD.....	11
1 TYPY ZKOUŠEK.....	12
1.1 ZKOUŠKA KOROZE .....	12
1.2 TEPLOTNÍ A KLIMATICKÉ ŠOKOVACÍ ZKOUŠKY .....	12
1.3 KOMORY PRO KLIMATICKÉ ZKOUŠKY .....	13
2 KONSTRUKČNÍ NÁVRH.....	16
2.1 POPIS PROBLÉMU.....	16
2.2 POPIS KOMPONENT .....	16
3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT .....	18
3.1 TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA.....	18
3.1.1 SOUČINITEL PŘESTUPU TEPLA .....	18
3.1.2 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT PROSTUPEM TEPLA.....	22
3.1.3 CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA.....	25
3.2 TEPELNÁ ZTRÁTA VĚTRÁNÍM .....	27
3.2.1 PARAMETRY NASÁVANÉHO VZDUCHU .....	27
3.2.2 SMĚS PALIVA SE VZDUCHEM .....	28
3.2.3 SPOTŘEBA VZDUCHU NASÁVANÉHO MOTOREM.....	29
3.2.4 TEPELNÁ ZTRÁTA VĚTRÁNÍM .....	29
3.3 TRVALÝ TEPELNÝ ZISK.....	29
3.3.1 TEPELNÝ ZISK OD VÝFUKOVÉ SOUSTAVY:.....	30
3.3.2 TEPELNÝ ZISK OD MOTORU .....	31
3.3.3 TEPELNÝ ZISK OD UV ZÁŘIČŮ.....	31
3.3.4 CELKOVÝ TRVALÝ TEPELNÝ ZISK .....	31
4 NÁVRH CHLAZENÍ, VYTÁPĚNÍ A VLHČENÍ.....	32
4.1 CHLAZENÍ .....	32
4.1.1 OBECNĚ .....	32
4.1.2 POPIS .....	34
4.1.3 DYNAMICKÝ VÝKON .....	34
4.1.4 CHLADÍCÍ VÝKON JEDNOTKY .....	36
4.1.5 VÝSTUPNÍ TEPLOTA VZDUCHU Z CHLADIČE .....	37

4.2	VYTÁPĚNÍ.....	37
4.2.1	OBECNĚ .....	37
4.2.2	POPIS.....	38
4.2.3	TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM .....	38
4.2.4	TEPELNÁ ZTRÁTA VĚTRÁNÍM .....	39
4.2.5	TRVALÝ TEPELNÝ ZISK.....	39
4.2.6	DYNAMICKÝ VÝKON .....	39
4.2.7	TOPNÝ VÝKON JEDNOTKY .....	39
4.3	VLHČENÍ .....	39
5	OZAŘOVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	41
5.1	POPIS A ROZMÍSTĚNÍ ZAŘIČŮ .....	41
5.2	CFD MODEL .....	43
6	SPECIFIKACE A PODMÍNKY PROVOZU.....	44
6.1	MODULÁRNÍ SESTAVA.....	44
6.2	KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKA .....	44
6.3	ZAŘÍZENÍ PRO PROPLACH ČERSTVÝM VZDUCHEM.....	44
6.4	ODSÁVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	44
6.5	VYROVNÁVÁNÍ TLAKU .....	45
6.6	PODMÍNKY PRO UMÍSTĚNÍ.....	45
6.7	OVLÁDÁNÍ A REGULACE CHLADÍČÍHO VÝKONU .....	46
7	ZÁVĚR .....	47
	POUŽITÉ ZDROJE .....	49
	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN .....	51
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

## ÚVOD

Při koupi nového zboží dostaneme účtenku a je nám řečeno: na zakoupený produkt se vztahuje dvouletá záruční doba. Ta je daná ze zákona. Výrobce tak musí garantovat zákazníkovi spolehlivost a kvalitu po celé toto období. Spousta výrobců však nabízí mnohem delší záruční dobu. Zvyšují tím svoji prestiž na trhu s daným zbožím.

Nejinak je tomu i v automobilovém průmyslu. Těžko by si někdo z nás koupil vozidlo, které by nás sice zaujalo na první pohled, ale po měsíčním provozu by mělo od slunce vypálené skvrny nebo nenastartovalo při větších mrazech. Právě naopak. Zákazníci zvyšují své nároky a požadují co nejnižší pořizovací cenu. Zásadními nároky zákazníků jsou [24]:

- Bezpečnost posádky
- Komfort
- Kvalita a spolehlivost
- Životnost
- Jízdní vlastnosti

Tlak ze strany zákazníků se přenáší na výrobce automobilů. Odtud také na jejich dodavatele. Aby byla vozidla schopná splňovat požadované nároky, musely automobilky začít svá vozidla testovat. Trvá však i několik let než je vozidlo úspěšně odzkoušeno a spuštěno do „ostrého“ provozu. Doba na zkoušení nesmí být příliš dlouhá. Začala se tedy vyvíjet různá zkušební zařízení. Provádějí se v nich, mimo jiné, zrychlené zkoušky. Zrychlenými zkouškami se simulují a urychlují takové vlivy povětrnosti, které působí na materiály v přírodním prostředí. Tyto zkoušky výrazně zkracují zkušební dobu před uvedením na trh [27]. Během zkoušek se přesně definuje kritické místo a závada bývá odstraněna před opuštěním výrobní haly. Zároveň se tím dosahuje menší hmotnosti a robustnosti výrobků.

Historie zkušebních zařízení sahá až k počátku 20. století. V roce 1914 J. A. Capp využil solnou mlhu ke zkoušce koroze. Pomocí této zkoušky vyhodnocoval účinnost ochranných nátěrů na železném povrchu. Postup byl formulován jako norma ASTM B117 v 1939. Její použití je mezinárodně rozšířené a její ustanovení byla často přepsána do národních norem jiných zemí. Do dnešní doby jde stále o nejrozšířenější zkoušku nejen v automobilovém průmyslu. V těchto letech se objevovala spousta dalších simulačních zařízení: teplotní a klimatické zkušební systémy, šokovací komory, systémy pro simulaci životního prostředí aj.

V dnešní době se na internetových stránkách a v katalozích výrobců zkušebních zařízení můžeme dočíst, že jsou schopni vyrobit zkušební zařízení „na míru“. Stačí tedy stanovit požadavky a poté si vybrat výrobce, který nám nabídne nejlepší variantu za nejrozumnější cenu.

# 1 TYPY ZKOUŠEK

## 1.1 Zkouška koroze

Motorová vozidla jsou provozována v nejrůznějších oblastech a podmínkách. Jsou tak vystavována širokému spektru vnějších vlivů - vlhkému, horkému, ledovému a slanému prostředí. Jeden nebo více těchto vlivů může kdykoliv vyvolat korozi. Snahou výrobců automobilů a jejich dodavatelů je zabránění vzniku koroze. Proto je zkouška koroze prioritní zkouškou nejen v automobilovém průmyslu.

Systém firmy *WEISS TECHNIK* na *obr. 1.1* dovoluje automaticky provádět zkoušky střídáním klimatu. Všechny materiály komory včetně měřících senzorů jsou inertní vůči korozi – odolný plast [22].



Technická specifikace:

- zkušební objem 1 000 litrů
- nádrž (slaná voda) 200 litrů
- teplotní rozsah +20 °C až +60 °C
- vlhkost 10 % až 95 %

*Obr. 1.1 – Zařízení pro zkoušky solnou mlhou [22]*

## 1.2 Teplotní a klimatické šokovací zkoušky

Podmínky prostředí mají značný vliv na funkci a spolehlivost elektronických komponentů, zařízení a systémů. Součásti musí dlouhodobě fungovat i po náhlé změně teploty. Životnost vzorku lze předvídat až po provedení několika stovek nebo tisíců teplotních cyklů.

Zkušební komoru firmy *ESPEC North America* můžeme vidět na *obr. 1.2*. Skládá se ze dvou samostatně ovládaných komor. Teplé komory a studené komory. Teplotního šoku

je dosaženo náhlým přemístěním vzorku pomocí výtahu. Teplotní rozsah zkoušek je od  $-65\text{ °C}$  až do  $+200\text{ °C}$  [15].



*Obr. 1.2 – Teplotní šokovací zkušební komora [15]*

### 1.3 Komory pro klimatické zkoušky

W. J. Gibbs (1982) : Klima je pravděpodobnost výskytu různých typů počasí na daném místě a v dané části dne, měsíce nebo roku.

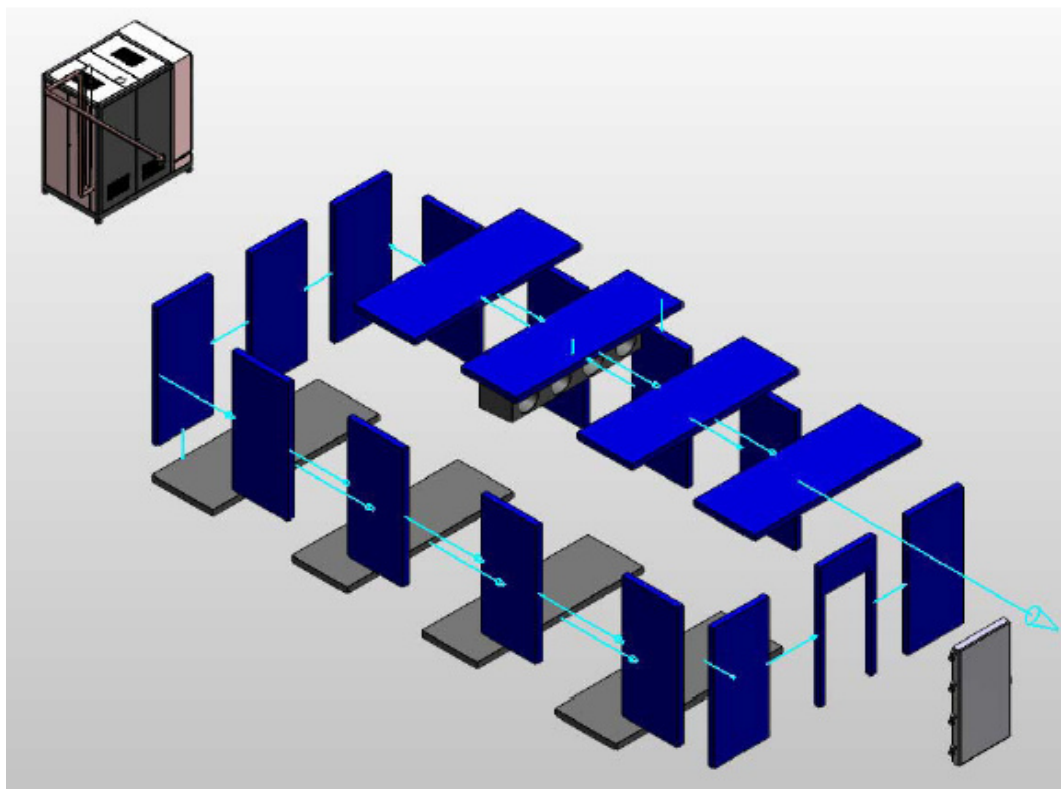
Hlavní faktory ovlivňující stav počasí jsou: teplota, vlhkost vzduchu, slunce a déšť. V klimatické komoře se mohou simulovat podmínky odpovídající jakékoli lokalitě. Zpočátku sloužili především k testování spolehlivosti vozidla. V dnešní době však komory neslouží pouze ke zvýšení kvality vozidla. Mohou se v nich současně sledovat vlivy klimatických podmínek na posádku a s tím související její bezpečnost a komfort.

Kvalita vnitřního prostředí (mikroklimatu) se hodnotí podle stavu činitelů prostředí. Za mikroklimatické činitele uvnitř vozidla považujeme [1]:

- 1) čistota okolního vzduchu
- 2) teplota vzduchu
- 3) teplota povrchu stěn a předmětů
- 4) rychlost proudění vzduchu
- 5) vlhkost vzduchu
- 6) oděv
- 7) intenzita osvětlení
- 8) hluk, vibrace a ultrazvuk
- 9) prostorové, dispoziční a estetické řešení prostředí

Obecně můžeme rozdělit klimatickou komoru na 5 podcelků:

1. Jednotka pro úpravu vzduchu ... výměník tepla a zvlhčovací zařízení, které upraví vzduch na požadované parametry
2. Vzduchotechnika ... ventilátory odsávají vzduch ze zkušebního prostoru. Dále se vede zpět, přes výměníky tepla a zvlhčovací zařízení, a vrací se upravený do zkušebního prostoru.
3. Zkušební prostor ... základem je rámová konstrukce. Na ní jsou namontovány izolační panely.
4. Ozařovací zařízení ... UV lampy
5. Měřící čidla a regulační jednotky



Obr. 1.3 – Schéma klimatické komory [12]

Zkoušky laku a plastů se provádí bez spuštěného motoru a často také s prázdnou palivovou nádrží. Sluneční záření při těchto zkouškách nahrazují moduly zářičů vydávající teplo a UV záření. Někteří výrobci umožňují současně testovat únavu materiálu a generování zvuku pomocí vibračních testů. Toto zařízení je uvedeno na obr. 1.4.

Firma *Angelantoni* umožňuje ve svých klimatických komorách systém s běžícím pásem „rolling bench“ obr. 1.5. Tento systém se používá při testech vyžadujících chod motoru a slouží ke kontrole účinností a výkonností celého vozu při změně klimatických podmínek. Hnací síla od náprav se přenáší na pás. Zkušební zařízení tak simuluje

klimatické podmínky při běžném provozu vozidla. Ventilátor umístěný v komoře nahrazuje proudění větru kolem vozidla. Ke kontrole emisí a uhlovodíků je nainstalován detekční systém [12].



Teplotní rozsah:  
-40 °C ... +90 °C  
Rozsah vlhkostí:  
10 % ... 80 %  
Rozsah teplot rosného bodu:  
+5 °C ... +80 °C  
Vnitř. kapacita:  
300 m<sup>3</sup>

Obr. 1.4 – Zkušební zařízení s vibračním simulátorem [19]



Teplotní rozsah:  
-30 °C ... +80 °C  
Teplotní přesnost:  
± 1 °C  
Rozsah vlhkostí:  
15 % ... 80 %  
Max ztráty při -10 °C:  
160 kW  
Vnitř. kapacita:  
300 m<sup>3</sup>  
Max rychlost simulovaného větru:  
150 km / h  
Průtok vzd. při simulaci větru:  
125 000 m<sup>3</sup> / h

Obr. 1.5 – Klimatická komora fy. Angelantoni s běžícím pásem [12]

## 2 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

### 2.1 Popis problému

Teplotní rozsah: od -40 °C do +80 °C  
Zkoušený předmět: - druh: osobní automobil  
- váha: max. 1800 kg

Při návrhu vycházíme z firemních podkladů firmy *Kaitraide* [26].

Základ komory tvoří rám, ke kterému jsou namontovány izolační panely. Tloušťka izolace je 140 mm. Zařízení pro úpravu vzduchu se nachází ve strojovně. Přívod vzduchu byl navrhnut stranově, po celé hloubce komory. Vzduch vstupuje do zkušebního prostoru nástěnnými obdélníkovými výstky s usměrňovacími listy. Tato varianta umožňuje cílené nasměrování vzduchu. Odvod vzduchu je ve stropní části komory. V horní části jsou umístěny i UV lampy. Podlaha je protiskluzná.

Na rozměry komory nebyly upřesněny požadavky. Musí však umožňovat bezpečnou a pohodlnou obsluhu přístrojů a zařízení. Montáž stropní jednotky pro úpravu vzduchu je provedena zavěšením na strop haly.

Vnější rozměry – zadání neobsahuje žádná omezení pro výstavbu, proto jsme při návrhu vycházeli pouze z rozměrů osobního automobilu (v našem případě Škoda Octavia Combi, umístěném ve zkušebních laboratořích VUT). Přibližné vnější rozměry komory jsou 10 m × 7 m × 5,8 m.

Vnitřní rozměry - vnitřní rozměry jsou zmenšeny o rozváděcí kanál, který má šířku 200 mm u bočních stěn a 600 mm u stropu. Efektivní zkušební objem je uvažován bez ozařovacího zařízení.

### 2.2 Popis komponent

#### Stěny komory:

Stěny komory jsou složeny ze sendvičových izolačních panelů. Výplň tvoří tvrdá lisovaná polystyrenová pěna XPS STYRODUR. Jak uvádí výrobce, vyniká svou izolační schopností, vysokou pevností v tlaku, malou nasákavostí a absolutní odolností proti hnití. Tloušťka izolačních panelů je  $\delta_{iz} = 140$  mm a součinitel tepelné vodivosti  $\lambda_{iz} = 0,035 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Vnější a vnitřní krytí je provedeno z antikorozního materiálu.

Panely se připevní ke kostře komory a ta se pak utěsí polyuretanovou pěnou. Silikonovým kaučukem se zaplní zbývající netěsnosti. Tak vznikne parotěsný vnitřní prostor [26].

Komora leží na čtyřhranných profilech, které podvětrávají spodní prostor. Zamezí se tím vzniku kondenzátu pod podlahou [26].

#### Dveře:

Materiál dveří je stejný jako u stěnových prvků. Rozměry dvoukřídlých dveří jsou: výška  $h_d = 2,2$  m a šířka  $w_d = 3$  m. Na každém křídle je umístěno vyhřívané pozorovací okénko.



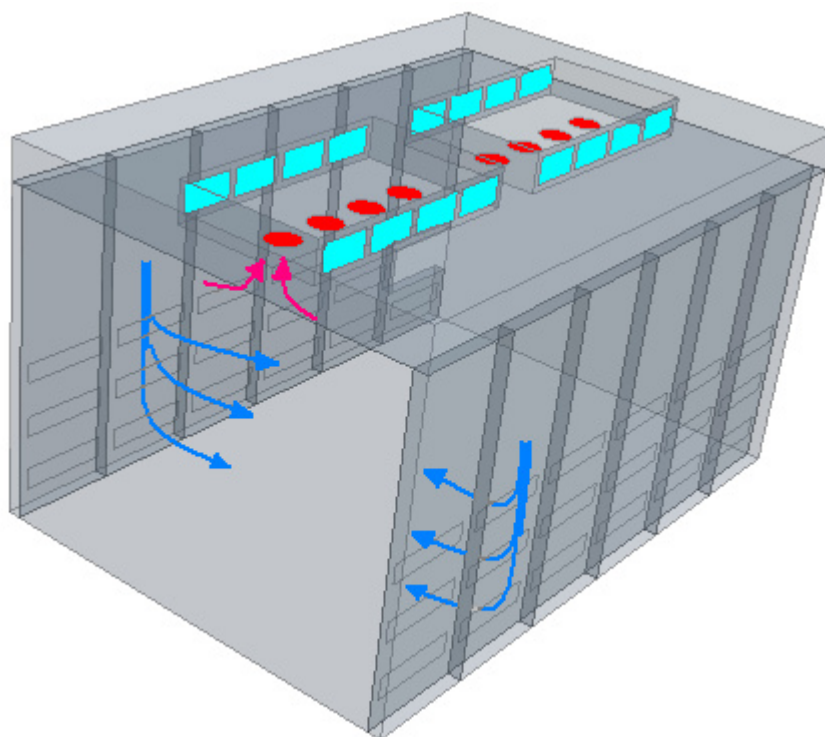
Okno:

Především z důvodu nízkého součinitele prostupu tepla  $k_o = 0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  bylo zvoleno okno z izolačního trojskla. Jeho rozměry jsou  $1 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$  a je umístěno v levé boční stěně. Vyhřívání zabraňuje zamlžení či omrznutí.

Rozvod upraveného vzduchu:

Upravený vzduch je přiváděn přívodním kanálem a vyústkami, umístěnými v bočních stěnách až do výšky 2,2 m. Odpadní vzduch se odsává v horní části komory pomocí výkonných ventilátorů. Takto vedený proud vzduchu má tyto výhody:

- proudění odspoda nahoru odpovídá přírodní termice a podporuje odvod tepla kumulovaného na vzorku vlivem záření
- simulace větru na bok automobilu a nasměrováním proudu vzduchu na střechu a tím i její chlazení
- cílený odvod tepla od zářičů (není nutné jejich chlazení)
- vyšší radiační složka od bočních stěn komory



Obr. 2.1 – Rozvod vzduchu

### 3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

#### 3.1 Tepelná ztráta prostupem tepla

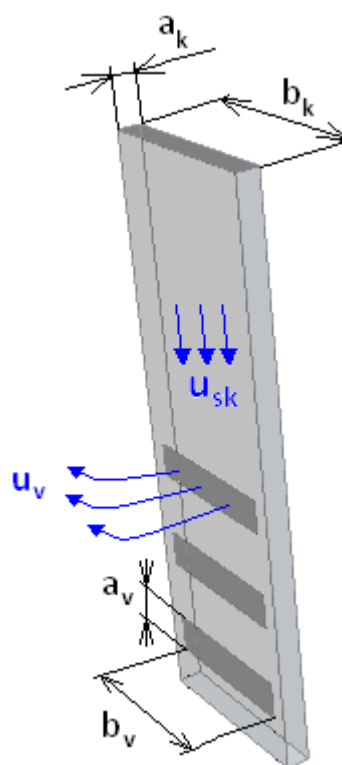
V této kapitole není uvažována tepelná ztráta prostupem tepla mezi zkušebním prostorem a rozváděcím kanálem. Hustota tepelného toku konvekcí, která prostoupí přes plech rozváděcího kanálu, je proudem vzduchu přivedena zpět do zkušebního prostoru. Uvažuje se tedy pouze tepelná ztráta prostupem tepla izolací.

Při výpočtu neznáme součinitele přestupu tepla. Na vnější straně komory můžeme určit  $\alpha_e$  dle normy ČSN 06 0210 [23]. Tato norma udává hodnotu pro vnitřní prostory  $\alpha_e = 8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . Uvnitř komory zvolíme  $\alpha_i = 15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . Odhadem se nedopouštíme zásadní chyby, neboť změna v tepelné ztrátě by se projevila nepatrně (v řádech desetin Wattu). Součinitele přestupu tepla ve stranovém a stropovém kanále vypočteme. Při výpočtu rychlosti proudění v obou kanálech budeme vycházet ze zákona zachování hmotnosti (ZZM). Požadovaná rychlost z vyústek je  $u_v = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

##### 3.1.1 Součinitel přestupu tepla

Tab. 3.1 – Parametry komory

		3 x vyústka	Stranový kanál	Stropový kanál
Rozměr	a [m]	0,3	0,2	0,6
Rozměr	b [m]	1	1,6	9,6
Průřez	A [m <sup>2</sup> ]	3 x 0,3	0,32	5,76
Rychlost	u [m · s <sup>-1</sup> ]	2,5	$u_{sk}$	$u_{sp,k}$



##### Rychlost v kanálech

###### Stranový kanál

Průřez:

$$A_{sk} = a_{sk} \cdot b_{sk} = 0,2 \cdot 1,6 = 0,32 \text{ m}^2$$

Obr. 3.1 – Stranový kanál

(3.1a)

Rychlost:

$$A_{sk} \cdot u_{sk} = 3 \cdot A_v \cdot u_v \Rightarrow u_{sk} \quad (3.2a)$$

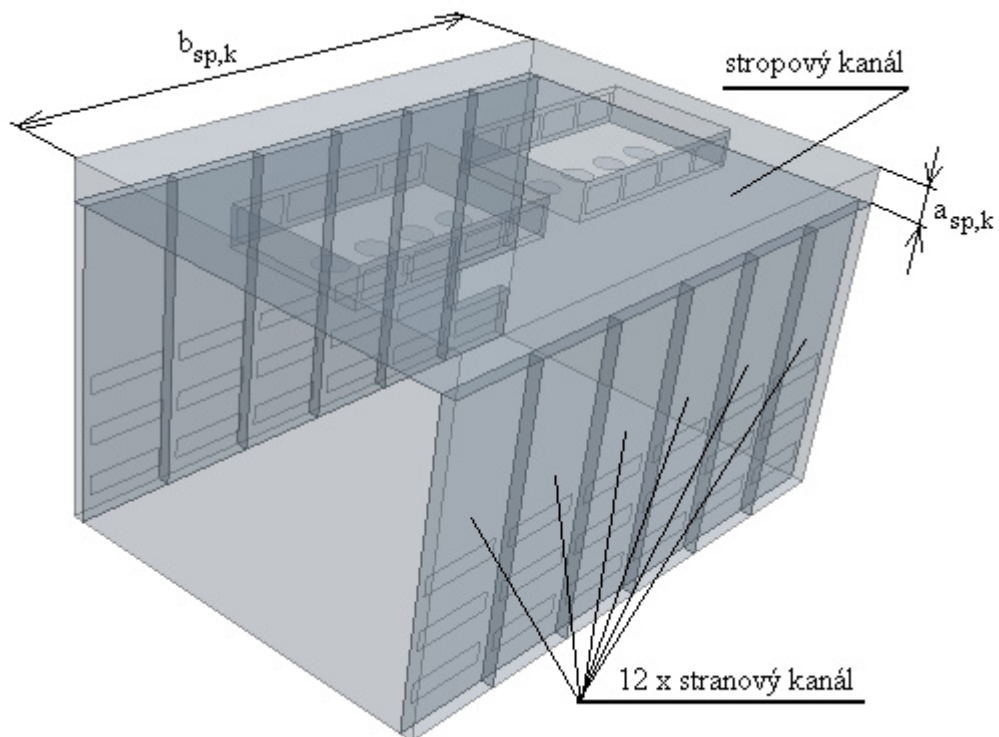
$$u_{sk} = \frac{3 \cdot A_v \cdot u_v}{A_{sk}} = \frac{3 \cdot 0,3 \cdot 2,5}{0,32} = 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Stropový kanál

Průřez:  $A_{sp,k} = a_{sp,k} \cdot b_{sp,k} = 9,6 \cdot 0,6 = 5,76 \text{ m}^2$  (3.1b)

Rychlost:  $A_{sp,k} \cdot u_{sp,k} = 6 \cdot 3 \cdot A_v \cdot u_v \Rightarrow u_{sp,k}$  (3.2b)

$$u_{sp,k} = \frac{A_{v,celk} \cdot u_v}{A_{sp,k}} = \frac{18 \cdot 0,3 \cdot 2,5}{5,76} = 2,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



Obr. 3.2 – Schéma klimatické komory

Dopočítáme střední Nusseltovo číslo. Pro jeho výpočet bude zapotřebí stanovit vlastnosti vzduchu pro teplotu  $t_{vzd} = -40 \text{ }^\circ\text{C} = 233,15 \text{ K}$ , určit Reynoldsovo a Prandtlovo číslo. Přepočtené hodnoty nalezneme v tab. 3.2.

Tab. 3.2 – Vlastnosti vzduchu při  $t_{vzd} = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5]

Kinematická viskozita	$\nu_{-40} =$	$11,13 \cdot 10^{-6}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Hustota	$\rho_{-40} =$	1,477	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Součinitel tepelné vodivosti	$\lambda_{-40} =$	0,021	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Měrná tepelná kapacita	$c_{p-40} =$	1011	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

**Reynoldsovo číslo**Stranový kanál

$$\text{Re}_{\text{sk}} = \frac{u_{\text{sk}} \cdot D_{\text{hsk}}}{\nu_{-40}} = \frac{7 \cdot 0,36}{11,13 \cdot 10^{-6}} = 227\,385 \quad (3.3a)$$

kde  $D_{\text{hsk}}$  ... hydraulický průměr

$$D_{\text{hsk}} = \frac{4 \cdot A_{\text{sk}}}{O_{\text{sk}}} = \frac{4 \cdot A_{\text{sk}}}{2 \cdot (a_{\text{sk}} + b_{\text{sk}})} = \frac{4 \cdot 0,32}{2 \cdot (0,2 + 1,6)} = 0,36 \text{ m} \quad (3.4a)$$

Stropový kanál

$$\text{Re}_{\text{sp,k}} = \frac{u_{\text{sp,k}} \cdot D_{\text{hsp,k}}}{\nu_{-40}} = \frac{2,4 \cdot 1,13}{11,13 \cdot 10^{-6}} = 235\,000 \quad (3.3b)$$

kde  $D_{\text{hsp,k}}$  ... hydraulický průměr

$$D_{\text{hsp,k}} = \frac{4 \cdot A_{\text{sp,k}}}{O_{\text{sp,k}}} = \frac{4 \cdot A_{\text{sp,k}}}{2 \cdot (a_{\text{sp,k}} + b_{\text{sp,k}})} = \frac{4 \cdot 5,76}{2 \cdot (9,6 + 0,6)} = 1,13 \text{ m} \quad (3.4b)$$

$\text{Re} > 2\,500 \Rightarrow$  v obou případech se jedná o plně vyvinuté turbulentní proudění.

**Prandtlovo číslo**Stranový i stropový kanál

$$\text{Pr} = \frac{\nu_{-40} \cdot \rho_{-40} \cdot c_{p-40}}{\lambda_{-40}} = \frac{11,13 \cdot 10^{-6} \cdot 1,477 \cdot 1011}{0,021} = 0,7914 \quad (3.5)$$

Střední Nusseltovo číslo

Rovnici 3.6 z lit. [11] můžeme použít při splnění těchto kritérií:  $\left( \begin{array}{l} 0,7 \leq Pr \leq 160 \\ Re > 4000 \end{array} \right)$

Stranový kanál

$$\overline{Nu}_{sk} = 0,023 \cdot Re_{sk}^{0,8} \cdot Pr^n = 0,023 \cdot 227\,385^{0,8} \cdot 0,7914^{0,3} \quad (3.6a)$$

$$\overline{Nu}_{sk} = 413,7$$

Stropový kanál

$$\overline{Nu}_{sp,k} = 0,023 \cdot Re_{sp,k}^{0,8} \cdot Pr^n = 0,023 \cdot 235\,000^{0,8} \cdot 0,7914^{0,3} \quad (3.6b)$$

$$\overline{Nu}_{sp,k} = 424,7$$

kde  $n = 0,3$       při ohřátí proudícího vzduchu v kanále  
 $n = 0,4$       při ochlazení proudícího vzduchu v kanále

Součinitel přestupu tepla při -40 °C:Stranový kanál

$$\overline{Nu}_{sk} = \frac{\alpha_{i,sk-40} \cdot L_{sk}}{\lambda_{-40}} \Rightarrow \alpha_{i,sk-40} \quad (3.7a)$$

$$\alpha_{i,sk-40} = \frac{\overline{Nu}_{sk} \cdot \lambda_{-40}}{L_{sk}} = \frac{413,7 \cdot 0,021}{0,2} = 43,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

kde  $L_{sk}$  ... charakteristický rozměr,  $L_{sk} = 0,2$  m

Stropový kanál

$$\overline{Nu}_{sp,k} = \frac{\alpha_{i,sp,k-40} \cdot L_{sp,k}}{\lambda_{-40}} \Rightarrow \alpha_{i,sp,k-40} \quad (3.7b)$$

$$\alpha_{i,sp,k-40} = \frac{\overline{Nu}_{sp,k} \cdot \lambda_{-40}}{L_{sp,k}} = \frac{424,7 \cdot 0,021}{0,6} = 15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

kde  $L_{sp,k}$  ... charakteristický rozměr,  $L_{sp,k} = 0,6$  m

### 3.1.2 Výpočet tepelných ztrát prostupem tepla

Nyní už známe součinitele přestupu tepla na obou stranách komory. Můžeme tedy přejít k výpočtu tepelných ztrát jednotlivých stěn.

Přestože norma ČSN 06 0210 uvádí teplotu pro haly 18 °C a vlhkost 60 %, navýšíme teplotu vzduchu v hale na  $t_e = 24$  °C. Ta se může v laboratořích vyskytnout především v letním období. Teplota uvnitř komory je zvolena -40 °C. Rozdíl teplot tedy bude  $\Delta t = t_e - t_i = 24 - (-40) = 64$  K. Dále je zapotřebí znát vlastnosti jednotlivých materiálů. Tyto vlastnosti jsou uvedeny v *tab. 3.3*. Sendvičové panely jsou vyrobeny z plechů, jejichž výplň tvoří polystyrenová pěna. Na podlaze jsou použity zesílené plechy, které zajišťují rovnoměrnější rozložení hmotnosti vozidla. Pro výrobu dveří byl použit stejný materiál jako u stěn komory. Součinitel prostupu tepla pro pozorovací okno z izolačního trojskla je  $k_o = 0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .

*Tab. 3.3 – Tepelně technické vlastnosti materiálů [5,20]*

Název	Izolace	Vnitřní / vnější krytí	Podlaha
Materiál	polystyrenová pěna	ušlechtilá ocel	ušlechtilá ocel
Součinitel tepelné vodivosti $\lambda [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	0,035	20	20
Tloušťka $\delta [\text{m}]$	0,14	0,002	0,005

Provedeme výpočet součinitelů prostupu tepla a tepelných ztrát prostupem pro jednotlivé stěny. V *tab. 3.4* nalezneme výsledky při různých  $\Delta t$ . Postup výpočtu by byl analogický jako v kapitole 3. Stěna mají shodnou tloušťku, lišit se bude pouze u podlahy.

Tloušťka stěn:

$$\delta_S = \delta_{\text{vnj.k.}} + \delta_{\text{iz}} + \delta_{\text{vtř.k.}} = 0,002 + 0,14 + 0,002 = 0,144 \text{ m} \quad (3.8)$$

Tloušťka podlahy:

$$\delta_{\text{pdl}} = \delta_{\text{vnj.k.}} + \delta_{\text{iz}} + \delta_{\text{vtř.k.}} = 0,005 + 0,14 + 0,002 = 0,147 \text{ m}$$

#### STĚNA LEVÁ... S1

$$\text{Plocha stěny: } S_{S1} = l \cdot h = 10 \cdot 5,8 = 58 \text{ m}^2 \quad (3.9)$$

$$\text{Plocha otvorů: } S_{o,S1} = a_{o,S1} \cdot b_{o,S1} = 1 \cdot 0,6 = 0,6 \text{ m}^2 \quad (3.10)$$

Plocha stěny bez otvorů:

$$S_{\text{bez,S1}} = S_{S1} - S_{o,S1} = 58 - 0,6 = 57,4 \text{ m}^2 \quad (3.11)$$

Součinitel prostupu tepla:

$$k_{S1} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{\text{vnj.k.}}}{\lambda_{\text{vnj.k.}}} + \frac{\delta_{\text{iz}}}{\lambda_{\text{iz}}} + \frac{\delta_{\text{vtř.k.}}}{\lambda_{\text{vtř.k.}}} + \frac{1}{\alpha_{i,\text{sk-40}}}} \quad (3.12)$$

$$k_{S1} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,002}{20} + \frac{0,14}{0,035} + \frac{0,002}{20} + \frac{1}{43,4}} = 0,2411 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Tepelná ztráta prostupem:

$$\dot{Q}_{p,S1} = k \cdot S_{\text{bez},S1} \cdot \Delta t = 0,2417 \cdot 57,4 \cdot 64 = 886 \text{ W} \quad (3.13)$$

### STĚNA PRAVÁ... S2

Plocha stěny:	$S_{S2} = S_{S1} = 58 \text{ m}^2$
Plocha otvorů:	$S_{o,S2} = 0 \text{ m}^2$
Plocha stěny bez otvorů:	$S_{\text{bez},S2} = S_{S2} - S_{o,S2} = 58 - 0 = 58 \text{ m}^2$
Součinitel prostupu tepla:	$k_{S2} = k_{S1} = 0,2411 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Tepelná ztráta prostupem:	$\dot{Q}_{p,S2} = k_{S2} \cdot S_{\text{bez},S2} \cdot \Delta t = 0,2417 \cdot 58 \cdot 64 = 895 \text{ W}$

### STĚNA PŘEDNÍ... S3

Plocha stěny:	$S_{S3} = w \cdot h = 7 \cdot 5,8 = 40,6 \text{ m}^2$
Plocha otvorů:	$S_{o,S3} = a_{S3} \cdot b_{S3} = 3 \cdot 2,2 = 6,6 \text{ m}^2$
Plocha stěny bez otvorů:	$S_{\text{bez},S3} = S_{S3} - S_{o,S3} = 58 - 6,6 = 34 \text{ m}^2$
Součinitel prostupu tepla:	

$$k_{S3} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{\text{vnj.k.}}}{\lambda_{\text{vnj.k.}}} + \frac{\delta_{\text{iz}}}{\lambda_{\text{iz}}} + \frac{\delta_{\text{vtř.k.}}}{\lambda_{\text{vtř.k.}}} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,002}{20} + \frac{0,14}{0,035} + \frac{0,002}{20} + \frac{1}{15}}$$

$$k_{S3} = 0,2386 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Tepelná ztráta prostupem:	$\dot{Q}_{p,S3} = k_{S3} \cdot S_{\text{bez},S3} \cdot \Delta t = 0,2386 \cdot 34 \cdot 64 = 519 \text{ W}$
---------------------------	---

### STĚNA ZADNÍ... S4

Plocha stěny:	$S_{S4} = S_{S3} = 40,6 \text{ m}^2$
Plocha otvorů:	$S_{o,S4} = 0 \text{ m}^2$
Plocha stěny bez otvorů:	$S_{\text{bez},S4} = S_{S4} - S_{o,S4} = 40,6 - 0 = 40,6 \text{ m}^2$
Součinitel prostupu tepla:	$k_{S4} = k_{S3} = 0,2386 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Tepelná ztráta prostupem:	$\dot{Q}_{p,S4} = k_{S4} \cdot S_{\text{bez},S4} \cdot \Delta t = 0,2386 \cdot 40,6 \cdot 64 = 620 \text{ W}$

STROP... Str

Plocha stropu:  $S_{Str} = l \cdot w = 10 \cdot 7 = 70 \text{ m}^2$

Plocha otvorů:  $S_{o,Str} = 8 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2 \cdot \pi \cdot 0,5^2 = 1,57 \text{ m}^2$

Plocha stropu bez otvorů:  $S_{bez,Str} = S_{Str} - S_{o,Str} = 70 - 1,57 = 68,43 \text{ m}^2$

Součinitel prostupu tepla:

$$k_{Str} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{vnj.k.}}{\lambda_{vnj.k.}} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{\delta_{vtř.k.}}{\lambda_{vtř.k.}} + \frac{1}{\alpha_{i \text{ sp,k-40}}}}$$

$$k_{Str} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,002}{20} + \frac{0,14}{0,035} + \frac{0,002}{20} + \frac{1}{15}} = 0,2386 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Tepelná ztráta prostupem:  $\dot{Q}_{p,Str} = k_{Str} \cdot S_{bez,Str} \cdot \Delta t = 0,2403 \cdot 68,43 \cdot 64 = 1045 \text{ W}$

PODLAHA ... Pdl

Plocha podlahy:  $S_{Pdl} = S_{Str} = 70 \text{ m}^2$

Plocha otvorů:  $S_{o,Pdl} = 0 \text{ m}^2$

Plocha podlahy bez otvorů:  $S_{bez,Pdl} = S_{Pdl} - S_{o,Pdl} = 70 - 0 = 70 \text{ m}^2$

Součinitel prostupu tepla:

$$k_{Pdl} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{vnj.k.}}{\lambda_{vnj.k.}} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{\delta_{pdl}}{\lambda_{pdl}} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,002}{20} + \frac{0,14}{0,035} + \frac{0,005}{20} + \frac{1}{15}}$$

$$k_{Pdl} = 0,2385 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Tepelná ztráta prostupem:  $\dot{Q}_{p,Pdl} = k_{Pdl} \cdot S_{bez,Pdl} \cdot \Delta t = 0,2385 \cdot 70 \cdot 64 = 1069 \text{ W}$

DVĚŘE ... D

Plocha dveří:  $S_D = a_D \cdot b_D = 3 \cdot 2,2 = 6,6 \text{ m}^2$

Plocha otvorů:  $S_{o,D} = 2 \cdot a_{O_2} \cdot b_{O_2} = 2 \cdot 0,3 \cdot 0,2 = 0,12 \text{ m}^2$

Plocha dveří bez otvorů:  $S_{bez,D} = S_D - S_{o,D} = 6,6 - 0,12 = 6,48 \text{ m}^2$

Součinitel prostupu tepla:  $k_D = k_{S3} = 0,2386 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Tepelná ztráta prostupem:  $\dot{Q}_{p,D} = k_D \cdot S_{bez,D} \cdot \Delta t = 0,2386 \cdot 6,48 \cdot 64 = 101 \text{ W}$

OKNO (velín) ... O1

Plocha okna:  $S_{O1} = a_{O1} \cdot b_{O1} = 1 \cdot 0,6 = 0,6 \text{ m}^2$

Plocha otvorů:  $S_{o,O1} = 0 \text{ m}^2$

Plocha okna bez otvorů:  $S_{bez,O1} = S_{O1} - S_{o,O1} = 0,6 - 0 = 0,6 \text{ m}^2$

Součinitel prostupu tepla:  $k_{O1} = 0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Tepelná ztráta prostupem:  $\dot{Q}_{p,O1} = k_{O1} \cdot S_{bez,O1} \cdot \Delta t = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 64 = 19 \text{ W}$



OKNO (pozorovací okénka ve dveřích) ... O2

Plocha okna:  $S_{O2} = 2 \cdot a_{O2} \cdot b_{O2} = 2 \cdot 0,3 \cdot 0,2 = 0,12 \text{ m}^2$

Plocha otvorů:  $S_{o,O2} = 0 \text{ m}^2$

Plocha okna bez otvorů:  $S_{bez,O2} = S_{O2} - S_{o,O2} = 0,12 - 0 = 0,12 \text{ m}^2$

Součinitel prostupu tepla:  $k_{O2} = 0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Tepelná ztráta prostupem:  $\dot{Q}_{p,O2} = k_{O2} \cdot S_{bez,O2} \cdot \Delta t = 0,5 \cdot 0,12 \cdot 64 = 2 \text{ W}$

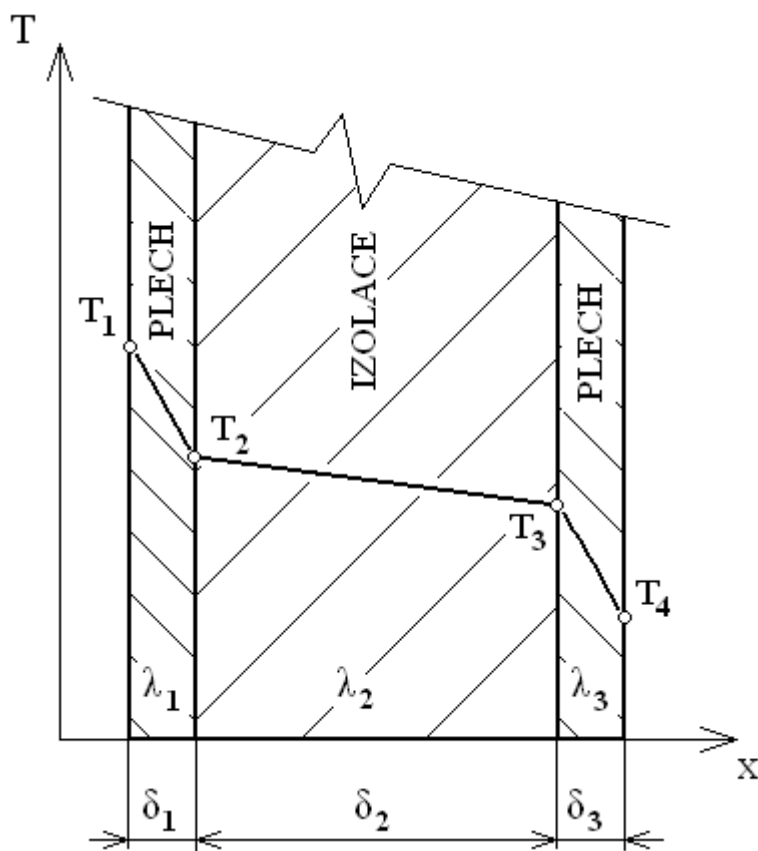
**3.1.3 Celková tepelná ztráta prostupem tepla**

Celkovou tepelnou ztrátu prostupem tepla dostaneme sečtením dílčích tepelných ztrát jednotlivých stěn.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{p,celk} = \sum_i \dot{Q}_{p,i} = & \dot{Q}_{p,S1} + \dot{Q}_{p,S2} + \dot{Q}_{p,S3} + \dot{Q}_{p,S4} + \dot{Q}_{p,Str} + \dot{Q}_{p,Pdl} + \dot{Q}_{p,D} + \\ & + \dot{Q}_{p,O1} + \dot{Q}_{p,O2} \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\dot{Q}_{p,celk} = 886 + 895 + 519 + 620 + 1045 + 1069 + 101 + 19 + 2$$

$$\dot{Q}_{p,celk} = 5\,155 \text{ W} = 5,2 \text{ kW}$$



Obr. 3.3 – Složená stěna s okrajovými podmínkami

Tab. 3.4 Tepelné ztráty

označení		STĚNY						TEPELNÁ ZTRÁTA								
		tloušťka	délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	$S_o$	$S_{bez}$	součinitel prostupu tepla	rozdíli teplot	tepelná ztráta	$t_e = 24\text{ °C}$	rozdíli teplot	tepelná ztráta	$t_e = 18\text{ °C}$	
		$\delta_{celik}$	a	b	$S_{celik}$	$n_o$	$m^2$	$m^2$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	$\Delta t$	Q	K	$\Delta t$	Q	K	
		m	m	m	$m^2$	-	$m^2$	$m^2$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	K	W	K	K	W	W	
S1		0,144	10	5,8	58	1	0,6	57,4	0,2411	64	886	4	64	55,3	62	858
S2		0,144	10	5,8	58	0	0	58	0,2411	64	895	4	64	55,9	62	867
S3		0,144	7	5,8	40,6	1	6,6	34	0,2386	64	519	4	64	32,4	62	503
S4		0,144	7	5,8	40,6	0	0	40,6	0,2386	64	620	4	64	38,7	62	600
Str		0,144	10	7	70	8	1,6	68,4	0,2386	64	1045	4	64	65,3	62	1012
Pdl		0,147	10	7	70	0	0	70	0,2385	64	1069	4	64	66,8	62	1035
D		0,144	3	2,2	6,6	0	0	6,6	0,2386	64	101	4	64	6,3	62	98
O1		-	1	0,6	0,6	0	0	0,6	0,5	64	19	4	64	1,2	62	19
O2		-	0,3	0,2	0,06	0	0	0,06	0,5	64	2	4	64	0,1	62	2

### 3.2 Tepelná ztráta větráním

V úvodu je již zmíněno, že komora je parotěsně zaizolovaná. Tepelnou ztrátu větráním určíme tak, že spočteme množství nasávaného vzduchu motorem. Přisávání vzduchu pro chlazení spalin je přes potrubí vedené pod komorou (viz příloha).

#### 3.2.1 Parametry nasávaného vzduchu

<u>Vstupní parametry:</u>	- teplota vzduchu	$t_{vv}$	=	-40 °C
	- relativní vlhkost vzduchu	$\phi_{vv}$	=	60 %
	- atmosférický tlak	$p_a$	=	101 325 Pa

Motor nasává vzduch ze zkušebního prostoru. Je nutné určit vlastnosti tohoto vzduchu. Jelikož  $i - x$  diagram není sestaven pro zvolené vstupní hodnoty, určíme stav vzduchu pomocí níže uvedených vztahů.

#### Parciální tlak syté vodní páry

Rovnice 3.16 platí pro teploty vzduchu od 0 °C do -100 °C, Buckův vztah [14]

$$p_p'' = 6,1121 \cdot e^{\left(18,678 - \frac{t_{vv}}{234,5}\right) \cdot \frac{t_{vv}}{257,14 + t_{vv}}} \quad (3.16a)$$

$$p_p'' = 6,1121 \cdot e^{\left(18,678 - \frac{-40}{234,5}\right) \cdot \frac{-40}{257,14 + (-40)}} = 0,19 \text{ hPa} = 19 \text{ Pa}$$

$$\left( p_p'' = e^{23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t_{vv}}} \dots \text{rovnice pro teploty vzduchu od } 0 \text{ °C do } +80 \text{ °C} \right) \quad (3.16b)$$

#### Měrná vlhkost

$$x_{vv} = 0,622 \cdot \frac{\phi_{vv} \cdot p_p''}{p - \phi_{vv} \cdot p_p''} = 0,622 \cdot \frac{\frac{60}{100} \cdot 19}{101325 - \frac{60}{100} \cdot 19} \quad (3.17)$$

$$x_{vv} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{kg}_{sv}^{-1} = 7 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{kg}_{sv}^{-1}$$

Podíl vody ve vzduchu je tedy  $7 \cdot 10^{-6} \%$  a hmotnostní koncentrace  $w_{H_2O} = 7 \cdot 10^{-8}$ .

Při tak nízkém podílu vody ve vzduchu budeme uvažovat hodnotu plynové konstanty vlhkého vzduchu totožnou s hodnotou plynové konstanty suchého vzduchu ( $r_{vv} = r_{sv} = 287,04 \text{ J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ). Přesto zde uvedeme výpočet pro případ změny vstupních parametrů.

Plynová konstanta vodní páry

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{R_m}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{8314,3}{16 + 2,01} = 461,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad (3.18)$$

kde  $R_m$  ... univerzální plynová konstanta,  $R_m = 8314,3 \text{ J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $M_{\text{H}_2\text{O}}$  ... molekulová hmotnost vody,  $M_{\text{H}_2\text{O}} [\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}]$

Plynová konstanta vlhkého vzduchu

$$r_{\text{vv}} = \frac{R_m}{M} = R_m \cdot \sum_i \frac{w_i}{M_i} = \sum_i w_i \cdot r_i = w_{\text{H}_2\text{O}} \cdot r_{\text{H}_2\text{O}} + w_{\text{sv}} \cdot r_{\text{sv}} \quad (3.19)$$

$$r_{\text{vv}} = 7 \cdot 10^{-8} \cdot 461,5 + 0,9999 \cdot 287,04 = 287,04 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

kde  $w_{\text{sv}}$  ... hmotnostní koncentrace suchého vzduchu

$$w_{\text{sv}} = 1 - w_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - 7 \cdot 10^{-8} = 0,9999 \quad (3.20)$$

$r_{\text{sv}}$  ... plynová konstanta suchého vzduchu,  $r_{\text{sv}} = 287,04 \text{ J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

**3.2.2 Směs paliva se vzduchem**

Zkoušeným automobilem je *ŠKODA OCTAVIA COMBI*. Vozidlo disponuje čtyřdobým spalovacím motorem o objemu  $1984 \text{ cm}^3$  a kompresním poměrem 10,4 : 1. Z uvedených parametrů vyjdeme v následujícím výpočtu.

Objemový tok nasávané směsi

Do čtyřdobého motoru je palivo přiváděno v každém druhém pracovním cyklu, proto je celá rovnice násobena koeficientem 0,5. Při zkoušce mikroklimatu v automobilu pracuje motor při zvýšeném volnoběhu, čemuž odpovídají otáčky  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ .

$$\dot{V}_{\text{sm}} = 0,5 \cdot V_m \cdot n = 0,5 \cdot 0,00194 \cdot \frac{1000}{60} = 0,0162 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.21)$$

kde  $V_m$  ... objem motoru

Hmotnostní tok nasávané směsi

Při výpočtu hmotnostního toku nasávané směsi vycházíme ze stavové rovnice pro směs. Z lit. [9] je plynová konstanta směsi rovna  $r_{\text{sm}} = 274,7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Tlak po smíchání vzduchu a paliva uvažujeme  $p_{\text{sm}} = 101,3 \text{ kPa}$  a teplotu směsi předpokládáme  $t_{\text{sm}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$p_{\text{sm}} \cdot \dot{V}_{\text{sm}} = \dot{m}_{\text{sm}} \cdot r_{\text{sm}} \cdot T_{\text{sm}} \Rightarrow \dot{m}_{\text{sm}} \quad (3.22)$$

$$\dot{m}_{sm} = \frac{p_{sm} \cdot \dot{V}_{sm}}{r_{sm} \cdot T_{sm}} = \frac{101325 \cdot 0,0162}{274,7 \cdot (25 + 273,15)} = 0,02 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

#### Hmotnostní podíl vzduchu ve směsi

Ze zákona zachování hmoty:

$$\dot{m}_{sm} = \dot{m}_{vv} + \dot{m}_{pal} \quad (3.23)$$

Při kompresním poměru 10,4 : 1 tedy znamená, že 11,4 kg směsi obsahuje 10,4 kg vzduchu, což je 91,23 % z celkové hmotnosti. Podíl paliva je 8,77 %. Pak tedy:

$$w_{vv} = 0,9123$$

### 3.2.3 Spotřeba vzduchu nasávaného motorem

#### Hmotnostní tok

$$\dot{m}_{vv} = w_{vv} \cdot \dot{m}_{sm} = 0,9123 \cdot 0,02 = 0,018 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.24)$$

#### Objemový tok

$$\dot{V}_{vv} = \frac{\dot{m}_{vv} \cdot r_{vv} \cdot T_{vv}}{p_{vv}} = \frac{0,018 \cdot 287,04 \cdot ((-40) + 273,15)}{101325} \quad (3.25)$$

$$\dot{V}_{vv} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

### 3.2.4 Tepelná ztráta větráním

Do komory je přísáván venkovní vzduch o teplotě  $t_{\text{venk}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pro výpočet použijeme vztah 3.26, který je převzat z normy ČSN 06 0210 [23].

$$\dot{Q}_v = 1300 \cdot \dot{V}_{vv} \cdot \Delta t = 1300 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \quad (3.26)$$

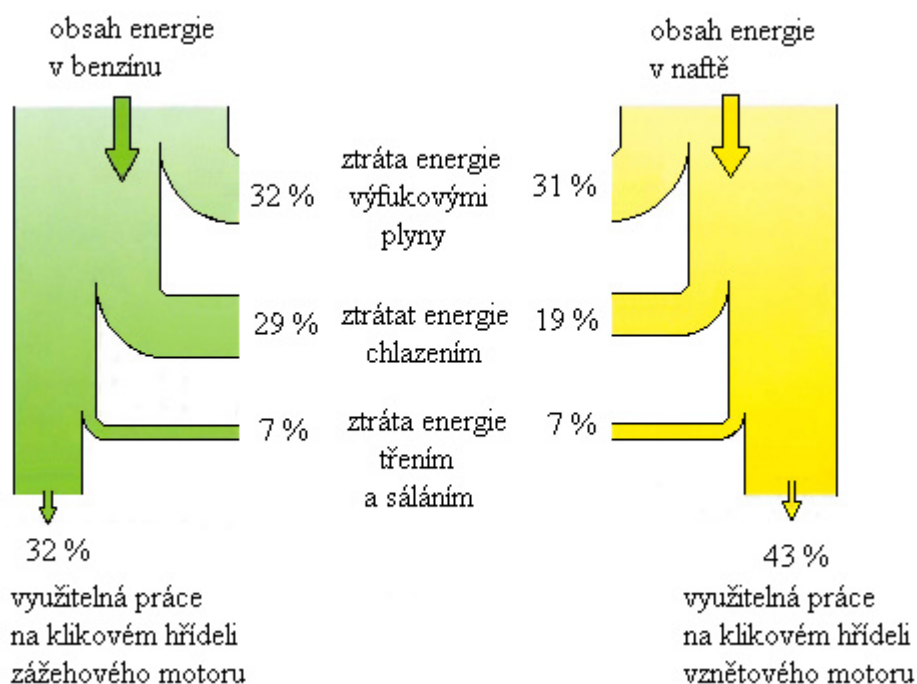
$$\dot{Q}_v = 1092 \text{ W} = 1,1 \text{ kW}$$

## 3.3 Trvalý tepelný zisk

Jako trvalý tepelný zisk můžeme považovat tepelný zisk od motoru a tepelný zisk konvekcí od výfukové soustavy. Ten však bude ve výpočtech zahrnut jen při zkouškách vyžadujících chod motoru. V opačném případě by jejich hodnota byla nulová. UV lampy jsou rovněž spuštěny jen při určitých zkouškách a v určitém počtu. Počet spuštěných UV zářičů a jejich intenzita se bude různit dle požadavků provozovatele.

### 3.3.1 Tepelný zisk od výfukové soustavy:

Energie přiváděná v benzínu se spalováním přemění na tepelnou a mechanickou energii. Tepelný výkon odváděný výfukovými plyny je asi 32% z celkové energie přivedené v benzínu viz *obr. 3.3*. Výfukové plyny jsou odváděny pomocí odsávacího zařízení mimo zkušební prostor. Tyto plyny však ohřívají výfukovou soustavu a tím se z části podílí na ohřevu vzduchu ve zkušebním prostoru.



Obr. 3.3 – Přeměna energie v motoru

Nejprve určíme střední teplotu spalin, následně dopočítáme tepelný tok od výfukové soustavy. Hodnoty teplot výfukových plynů na začátku a konci výfukové soustavy použijeme z literatury [9].

#### Střední teplota spalin ve výfukové soustavě

$$t_{\text{spm}} = \frac{t_{\text{sp0}} + t_{\text{sp}}}{2} = \frac{850 + 400}{2} = 625^{\circ}\text{C} \quad (3.27)$$

#### Tepelný zisk výfukové soustavy

$$\dot{Q}_{\text{Zvs}} = \dot{m}_{\text{sp}} \cdot c_{p_{\text{spm}}} \cdot (t_{\text{sp0}} - t_{\text{sp}}) = 0,0195 \cdot 1283 \cdot (850 - 400) \quad (3.28)$$

$$\dot{Q}_{\text{Zvs}} = 11\,258 \text{ W} = 11,26 \text{ kW}$$

kde  $\dot{m}_{sp}$  ... hmotnostní tok spalin (ze ZZM  $\dot{m}_{sp} = \dot{m}_{sm} = 0,0195 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$c_{p_{spm}}$  ... měrná tepelná kapacita spalin při  $625 \text{ }^\circ\text{C}$

$c_{p_{spm}} = 1283 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

### 3.3.2 Tepelný zisk od motoru

Tepelný zisk od motoru dostaneme z hodinové spotřeby motoru při zvýšeném volnoběhu, vlastností paliva a přeměny energie v motoru (*obr. 3.3*).

Výhřevnost paliva:  $Q_i = 44,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Hustota benzínu:  $\rho_b = 760 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Hodinová spotřeba motoru:  $\dot{V}_{hod} = 0,8 \text{ l} \cdot \text{hod}^{-1}$

$$\dot{Q}_{Zm} = Q_i \cdot \rho_b \cdot \dot{V}_{hod} \cdot \xi = 44,8 \cdot 10^6 \cdot 760 \cdot \frac{0,8 \cdot 0,001}{3600} \cdot (1 - 0,64) \quad (3.29)$$

$$\dot{Q}_{Zm} = 2723,8 \text{ W} = 2,72 \text{ kW}$$

### 3.3.3 Tepelný zisk od UV zářičů

V komoře je 14 lamp o maximálním výkonu 2500W.

$$\dot{Q}_{ZL_{14}} = 14 \cdot \dot{Q}_{ZL_1} = 14 \cdot 2500 = 35000 \text{ W} = 35 \text{ kW} \quad (3.30)$$

### 3.3.4 Celkový trvalý tepelný zisk

Je dán součtem dílčích tepelných zisků, jak uvádí vztah 3.31.

$$\dot{Q}_{Zc} = \dot{Q}_{Zvs} + \dot{Q}_{Zm} + \dot{Q}_{ZL_{14}} = 11,26 + 2,72 + 35 = 49 \text{ kW} \quad (3.31)$$

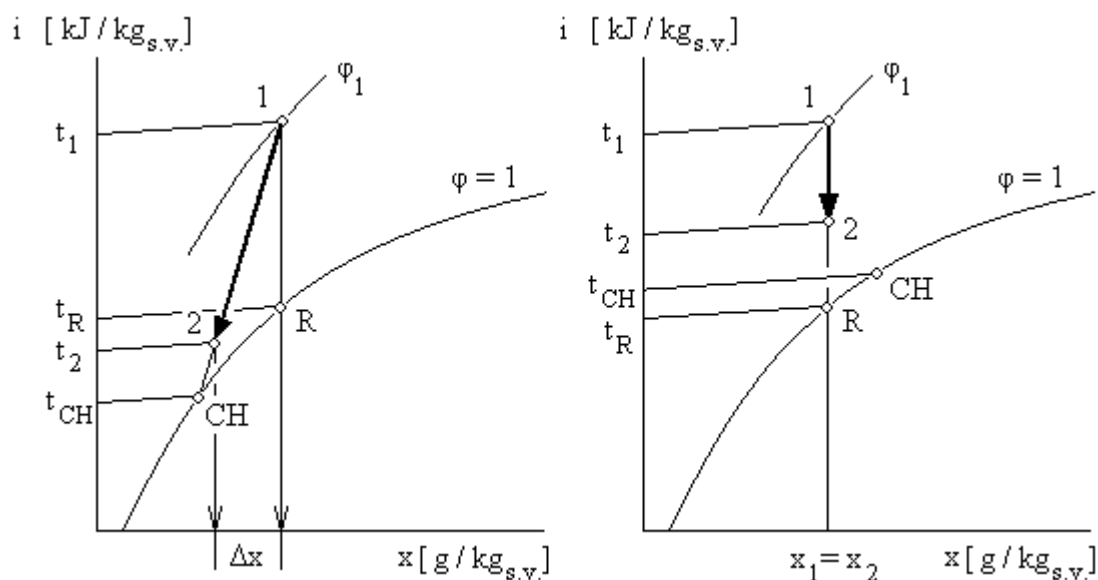
## 4 NÁVRH CHLAZENÍ, VYTÁPĚNÍ A VLNĚNÍ

### 4.1 Chlazení

#### 4.1.1 Obecně

Při chlazení vzduchu rozlišujeme dva případy [7]:

- *mokrý chlazení* ... povrchová teplota chladiče je nižší jak teplota rosného bodu chlazeného vzduchu. To má za následek kondenzaci vodní páry na povrchu chladiče. Dochází tak k vysoušení vzduchu. Směr změny stavu vzduchu leží přibližně na spojnici požadovaného stavu vzduchu a průsečíku povrchové teploty chladiče s křivkou sytosti  $\varphi = 100\%$  (obr. 4.1 vlevo).
- *suché chlazení* ... povrchová teplota chladiče je vyšší jak teplota rosného bodu vzduchu (obr. 4.1 vpravo).



**Obr. 4.1** – Chlazení vzduchu a) mokré b) suché:  $t_R$  [°C] – teplota rosného bodu,  $t_{CH}$  [°C] – povrchová teplota chladiče,  $t_1$  [°C] – teplota vzduchu před úpravou,  $t_2$  [°C] – teplota vzduchu po úpravě,  $\varphi$  [-] – relativní vlhkost,  $x$  – měrná vlhkost [kg / kg<sub>s.v.</sub>]

„Účelem chlazení ve vzduchotechnice je výroba chladu. K uvedenému účelu lze užít chlazení:

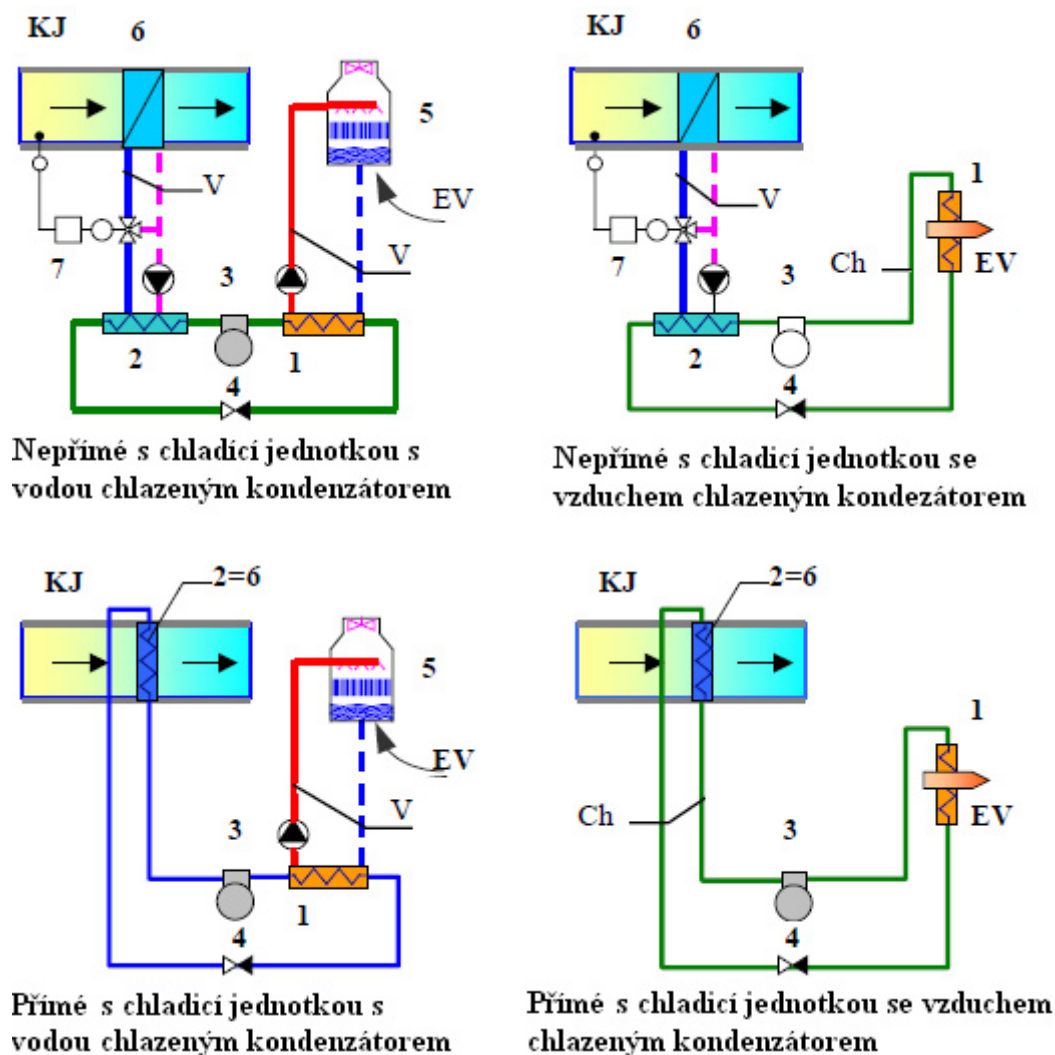
- *nestrojní* ... představující přirozené chlazení, které využívá přírodní zdroje (studniční voda, vnější vzduch ...)
- *strojní* ... kdy se chlad vyrábí zařízením pracujícím na principu obráceného Carnotova cyklu.



Ve vzduchotechnice se nejčastěji užívají kompresorové a absorpční chladicí zařízení. Teplo uvolněné v kondenzátoru se odvádí vzduchem nebo vodou do atmosféry. Výkonnější zařízení pro výrobu chladu jsou instalována do strojoven chlazení, které musí být s ohledem na vysokou hlučnost chladicího soustrojí vhodně situována v budově či exteriéru. Z hlediska způsobu přenosu tepla jsou soustavy pro účely klimatizace:

- s přímým a nepřímým chlazením vzduchu
- s vodou či vzduchem chlazenými kondenzátory chladicích jednotek

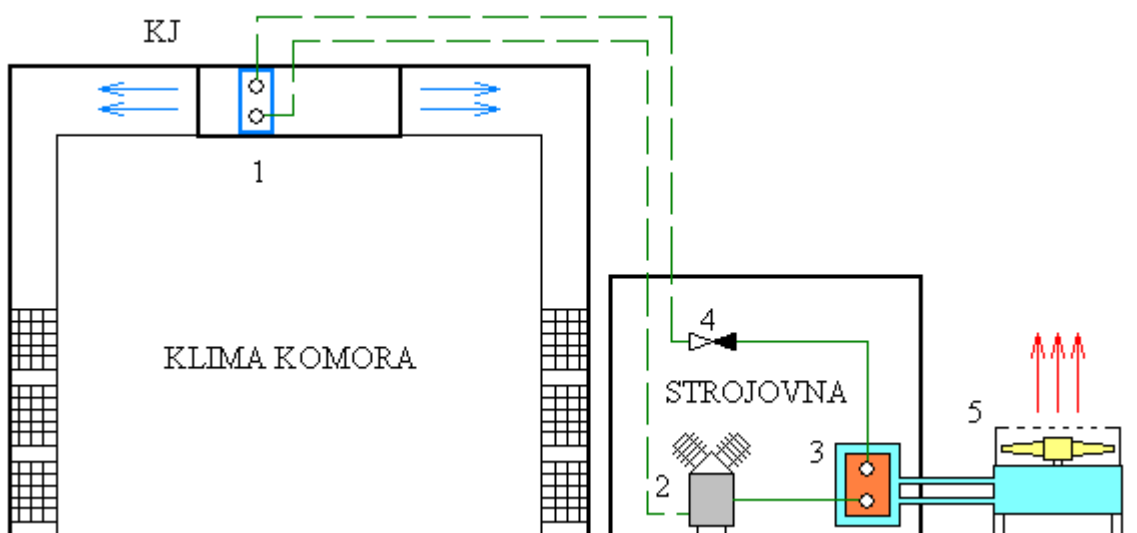
Zmíněné způsoby lze kombinovat do sestav, viz obr. 4.2“ [2].



Obr. 4.2 – Schéma základních variant sestav chlazení pro klimatizaci: 1 – kondenzátor CJ, 2 – výparník CJ, 3 – kompresor CJ, 4 – škrťící armatura, 5 – chladič kapaliny, 6 – chladič KJ, 7 – regulace vody, KJ – klimatizační jednotka, CJ – chladicí jednotka, CH – chladiivo, V – voda, EV – externí vzduch [2]

### 4.1.2 Popis

V našem případě zajišťuje chlazení velkoplošný výparník z měděných trubek s hliníkovými lamelami. Jelikož jsou požadavky uvnitř komory stanoveny na podnulové hodnoty, je výparník chladicí jednotky umístěn přímo v klimatizační jednotce. Jedná se tedy o přímé chlazení. Ve strojovně je umístěn vodou chlazený kondenzátor. Použitím vodou chlazeného kondenzátoru zamezíme případným výkyvům teplot k chlazení kondenzátoru.



Obr. 4.3 – Schéma uspořádání komponentů chladicí jednotky: KJ – klimatizační jednotka, 1 – výparník, 2 – kompresor, 3 – vodou chlazený kondenzátor, 4 škrťící armatura, 5 – chladič vody

Chladicí výkon musí pokrýt tepelné ztráty komory. Zároveň byl stanoven požadavek na rychlost změny teploty uprostřed komory se zkoušeným předmětem (vozidlem) bez zapnutých zářičů o 1 K za 1 minutu. Jednotlivé materiály akumulují část přiváděného výkonu. Musíme proto dopočítat výkon, potřebný pro splnění tohoto požadavku. Nazveme ho dynamický výkon.

Na začátku zkoušky budeme předpokládat stejnou teplotu uvnitř komory jako v laboratořích, tedy  $t_{i1} = t_e = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ . Plochu automobilu aproximujeme jako kvádr o rozměrech  $4 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ . Celkový čas změny teploty je závislý na požadovaném rozdílu teplot  $\tau = \Delta t \cdot 60 \text{ [s]}$ .

### 4.1.3 Dynamický výkon

Hlavní konstrukční prvky automobilu jsou vyrobeny z ocelí a litin. Podíl železných kovů na hmotnosti automobilu v posledních dvaceti letech klesal, v současné době se pohybuje kolem 70 %, plasty + guma 15%, ostatní materiály (sklo, kapaliny...) 15% [17].

Měrná tepelná kapacita jednotlivých materiálů:

- oceli dle literatury [6] je  $c_{\text{ocel}} = 460,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- plastů a gumy byla odhadnuta z literatury [10]  $c_{\text{plast}} = 2\,000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- pro ostatní materiály volíme hodnotu  $c_{\text{ost}} = 1\,000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

### Měrná tepelná kapacita vozidla

Celkovou měrnou tepelnou kapacitu vozidla dostaneme součtem násobků hmotnostních poměrů materiálů s jejich měrnou tepelnou kapacitou.

$$c_{\text{voz}} = \sum_i w_i \cdot c_i = w_{\text{ocel}} \cdot c_{\text{ocel}} + w_{\text{plast}} \cdot c_{\text{plast}} + w_{\text{ost}} \cdot c_{\text{ost}} \quad (4.1a)$$

$$c_{\text{voz}} = 0,7 \cdot 460,5 + 0,15 \cdot 2000 + 0,15 \cdot 1000 = 772,3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

### Rozdíl teplot

Zde je rozdíl teplot dán rozdílem teploty na počátku zkoušky  $t_{i1}$  a teplotou při ustáleném stavu (požadovaném)  $t_{i2}$ . Dimenzujeme výkon chladiče na maximální hodnotu, proto je teplota  $t_{i2} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$\Delta t = t_{i1} - t_{i2} = 24 - (-40) = 64 \text{ K} \quad (4.2)$$

### Dynamický výkon vozidla

$$\dot{Q}_{\text{voz}} = \frac{m_{\text{voz}} \cdot c_{\text{voz}} \cdot \Delta t}{\tau} = \frac{1800 \cdot 772,3 \cdot 64}{64 \cdot 60} = 23\,169 \text{ W} = 23,2 \text{ kW} \quad (4.3a)$$

kde  $m_{\text{vzd}}$  ... hmotnost automobilu [kg]

### Dynamický výkon vzduchu v komoře

$$\dot{Q}_{\text{vzd}} = \frac{m_{\text{vzd}} \cdot c_{\text{pvv}} \cdot \Delta t}{\tau} = \frac{480,6 \cdot 1048 \cdot 64}{64 \cdot 60} = 8\,394 \text{ W} = 8,4 \text{ kW} \quad (4.3b)$$

kde  $m_{\text{vzd}}$  ... hmotnost vzduchu v komoře [kg]

$$m_{\text{vzd}} = \frac{p_a \cdot V_k}{r_{\text{vv}} \cdot T_{\text{vv}}} = \frac{101325 \cdot 397}{281,7 \cdot (24 + 273,15)} = 480,6 \text{ kg} \quad (4.5)$$

$$V_k = V_{\text{kom}} - V_{\text{voz}} = 10 \cdot 7 \cdot 5,8 - 4 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 397 \text{ m}^3 \quad (4.6)$$

$c_{\text{pvv}}$  ... měrná tepelná kapacita vlhkého vzduchu

$$c_{p_{vv}} = \sum_i w_i \cdot c_{p_i} = w_{sv} \cdot c_{p_{sv}} + w_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}} \quad (4.1b)$$

Výpočet  $w_{sv}$  a  $w_{H_2O}$  pro  $t_{i1} = t_e = 24 \text{ }^\circ\text{C}$  je obdobný jako v kapitole 3.2.1. Potom  $w_{sv} = 0,0988$  a  $w_{H_2O} = 0,0112$ .

$$c_{p_{vv}} = 0,9888 \cdot 1013 + 0,0112 \cdot 4178 = 1048 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

### Dynamický výkon lamp

Zařízení obsahuje 14 lamp o hmotnosti cca 20 kg. U měrné tepelné kapacity ozařovacího zařízení  $c_{lamp}$  odhadneme hmotnostní poměr jednotlivých materiálů, ze kterých jsou vyrobeny: 90 % ocel, 10 % sklo.

$$\dot{Q}_{lamp} = \frac{m_{lamp} \cdot c_{lamp} \cdot \Delta t}{\tau} = \frac{14 \cdot 20 \cdot 481 \cdot 64}{64 \cdot 60} = 2244 \text{ W} = 2,2 \text{ kW} \quad (4.3c)$$

kde  $c_{lamp}$  měrná tepelná kapacita lamp,

$$c_{lamp} = w_{ocel} \cdot c_{ocel} + w_{sklo} \cdot c_{sklo} = 0,9 \cdot 460,5 + 0,1 \cdot 669 = 481 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad (4.1c)$$

### Dynamický výkon rozváděcích plechů

$$\dot{Q}_{plech} = \frac{m_{plech} \cdot c_{plech} \cdot \Delta t}{\tau} = \frac{130 \cdot 921 \cdot 64}{64 \cdot 60} = 1995 \text{ W} = 2 \text{ kW} \quad (4.3d)$$

kde  $c_{plech}$  ... měrná tepelná kapacita hliníku,  $c_{plech} = 921 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$m_{plech}$  ... hmotnost 1 m<sup>2</sup> plechu

### Celkový dynamický výkon

$$\dot{Q}_{dyn} = \dot{Q}_{voz} + \dot{Q}_{vzd} + \dot{Q}_{lamp} + \dot{Q}_{plech} = 23,2 + 8,4 + 2,2 + 2 \quad (4.7)$$

$$\dot{Q}_{dyn} = 35,8 \text{ kW}$$

#### 4.1.4 Chladicí výkon jednotky

K chlazení vzduchu budou sloužit dvě jednotky. Na počátku simulace budou zářiče vypnuty. Tepelný zisk od zářičů bude tedy nulový a celkový tepelný zisk je dán pouze ziskem od motoru a výfukové soustavy  $\dot{Q}_{Zc} = 4 \text{ kW}$ . Dynamický výkon bude  $\dot{Q}_{dyn} = 35,8 \text{ kW}$ .

Po ustálení stavu na  $t_i = -40 \text{ }^\circ\text{C}$  dynamický výkon nulový,  $\Delta t = 0 \text{ K}$ , a spustí se zářiče. Do výpočtu tedy zahrneme pouze dynamický výkon (4.7), jelikož je jeho hodnota nepatrně vyšší oproti tepelnému zisku od zářičů (3.30).

$$\dot{Q}_{\text{ch}_{\text{teor}}} = \frac{\dot{Q}_{\text{p,celk}} + \dot{Q}_{\text{v}} + \dot{Q}_{\text{Zc}} + \dot{Q}_{\text{dyn}}}{2} = \frac{5,2 + 1,1 + 4 + 35,8}{2} = 23,05 \text{ kW} \quad (4.8)$$

$$\dot{Q}_{\text{ch}_{\text{skut}}} = 1,1 \cdot \dot{Q}_{\text{ch}_{\text{teor}}} = 1,1 \cdot 23,05 = 25,35 \text{ kW} \quad (4.9)$$

Teoretický chladicí výkon navýšíme o 10%, abychom pokryli případnou ztrátu při zjednodušeném výpočtu. V katalogu výrobců bychom s ohledem na ekonomickou stránku vyhledali odpovídající chladicí zařízení. Je ještě třeba dodat, že chladič je navržen na počátek zkoušky, kdy je rozdíl teplot maximální. Jeho výkon se bude regulovat dle zadaných parametrů.

#### 4.1.5 Výstupní teplota vzduchu z chladiče

$$\dot{Q}_{\text{CH}_{\text{skut}}} = \dot{m}_{\text{vzd}} \cdot c_{\text{p}-40} \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{\dot{Q}_{\text{CH}_{\text{skut}}}}{\dot{m}_{\text{vzd}} \cdot c_{\text{p}-40}} = \frac{25\,350}{20 \cdot 1011} = 1,2^{\circ}\text{C} \quad (4.10)$$

kde  $\dot{m}_{\text{vzd}}$  ... hmotnostní tok vzduchu proudící přes 1 chladič

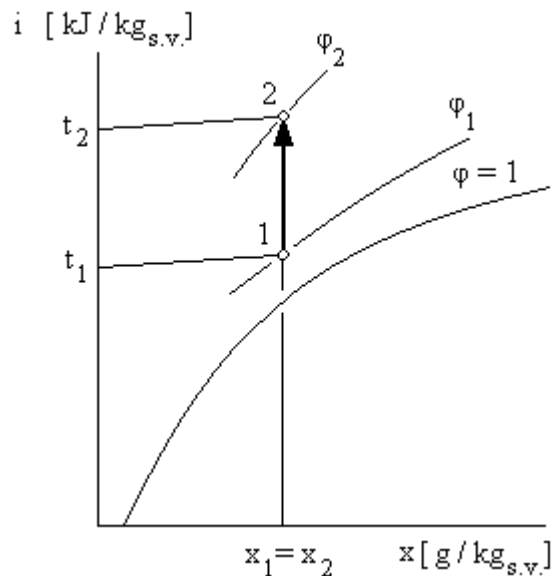
$$\dot{m}_{\text{vzd}} = \frac{12 \cdot A_{\text{sk}} \cdot u_{\text{sk}} \cdot \rho_{-40}}{2} = \frac{12 \cdot 0,32 \cdot 7 \cdot 1,477}{2} = 20 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.11)$$

Jestliže tedy chceme udržet teplotu v komoře na  $-40^{\circ}\text{C}$  při daném hmotnostním toku, musí být teplota vzduchu po výstupu z chladiče  $-41,2^{\circ}\text{C}$ .

## 4.2 Vytápění

### 4.2.1 Obecně

Při ohřevu vzduchu se nemění jeho měrná vlhkost  $x$  [ $\text{kg} / \text{kg}_{\text{s.v.}}$ ]. Hmotnost par v 1 kg vzduchu je tedy konstantní. Klesá ovšem jeho relativní vlhkost  $\varphi$  [-] viz obr. 4.4 [7].

Obr. 4.4 – Znáznornění ohřevu vzduchu v  $i$ - $x$  diagramu

#### 4.2.2 Popis

Návrh ohřívače se příliš neliší od návrhu chladiče. Změní se pouze vstupní parametry. Budeme opět počítat s krajními podmínkami. Tentokrát však pro zimní období. Hodnotu teploty venkovního vzduchu  $t_{\text{venk}} = -12\text{ °C}$ , resp. teploty uvnitř laboratoří  $t_e = 18\text{ °C}$ . Do výpočtů zahrneme maximální požadovanou teplotu v komoře  $t_i = +80\text{ °C}$ . V komoře předpokládáme zkoušku laku. Testování se provádí bez chodu motoru. Dále se budeme zabývat variantou s vypnutými UV zářiči. Tento průběh je u zkoušky laku málo pravděpodobný, ale může nastat. Obdobně jako při návrhu chlazení vypočteme tepelné ztráty prostupem tepla  $\dot{Q}_{p,\text{celk}}$ .

#### 4.2.3 Tepelná ztráta prostupem

Postup výpočtu tepelné ztráty prostupem je stejný jako v kapitole 3.1, kdy jsme počítali ztrátu prostupem pro různé parametry vzduchu. Hodnoty tepelných ztrát jednotlivých stěn jsou brány z *tab. 3.4*.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{p,\text{celk}} = \sum_i \dot{Q}_{p,i} = & \dot{Q}_{p,S1} + \dot{Q}_{p,S2} + \dot{Q}_{p,S3} + \dot{Q}_{p,S4} + \dot{Q}_{p,\text{Str}} + \dot{Q}_{p,\text{Pdl}} + \dot{Q}_{p,D} + \\ & + \dot{Q}_{p,O1} + \dot{Q}_{p,O2} \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\dot{Q}_{p,\text{celk}} = 858 + 867 + 503 + 600 + 1012 + 1035 + 98 + 19 + 2$$

$$\dot{Q}_{p,\text{celk}} = 5\,994\text{ W} = 5\text{ kW}$$

#### 4.2.4 Tepelná ztráta větráním

Protože se pracuje pouze s cirkulačním vzduchem a do komory není přísáván venkovní vzduch, hodnota tepelné ztráty větráním bude nulová.

$$\dot{Q}_v = 0 \text{ kW}$$

#### 4.2.5 Trvalý tepelný zisk

Již jsme zmínili, že zkouška probíhá bez spuštěného motoru a s vypnutými zářiči. V případech, kdy by byl spuštěn motor, by měly tepelné zisky zápornou hodnotu.

$$\dot{Q}_{zc} = 0 \text{ kW}$$

#### 4.2.6 Dynamický výkon

Požadavek na změnu teploty uprostřed komory zůstává nezměněn. Jak můžeme vidět v rovnicích 4.3, je dynamický výkon  $\dot{Q}_{dyn}$  totožný s výpočtem chladicího zařízení, neboť změna je pouze v rozdílu teplot  $\Delta t$ , která se pokrátí s potřebným časem. Použijeme tedy hodnotu z kapitoly 4.1.3.

$$\dot{Q}_{dyn} = 35,8 \text{ kW}$$

#### 4.2.7 Topný výkon jednotky

Klima komora bude obsahovat dvě jednotky, proto celou rovnici podělíme dvěma.

$$\dot{Q}_{top_{teor}} = \frac{\dot{Q}_{p,celk} - \dot{Q}_{zc} + \dot{Q}_v + \dot{Q}_{dyn}}{2} = \frac{5 - 0 + 0 + 35,8}{2} = 20,4 \text{ kW} \quad (4.12)$$

$$\dot{Q}_{top_{skut}} = 1,1 \cdot \dot{Q}_{top_{teor}} = 1,1 \cdot 20,4 = 22,44 \text{ kW} \quad (4.13)$$

Opět navýšíme teoretický topný výkon o 10%, abychom pokryli případnou ztrátu zjednodušeným výpočtem. Dle vypočteného výkonu ohřívače bychom vyhledali příslušné zařízení.

### 4.3 Vlhčení

Z předešlých kapitol je patrné, že ochlazováním nebo ohřevem vzduchu měníme jeho relativní vlhkost. Do klimatizační jednotky, za chladič a ohřívač, musíme zařadit zvlhčovací a odvlhčovací zařízení. Vlhčení se provádí dvěma způsoby:

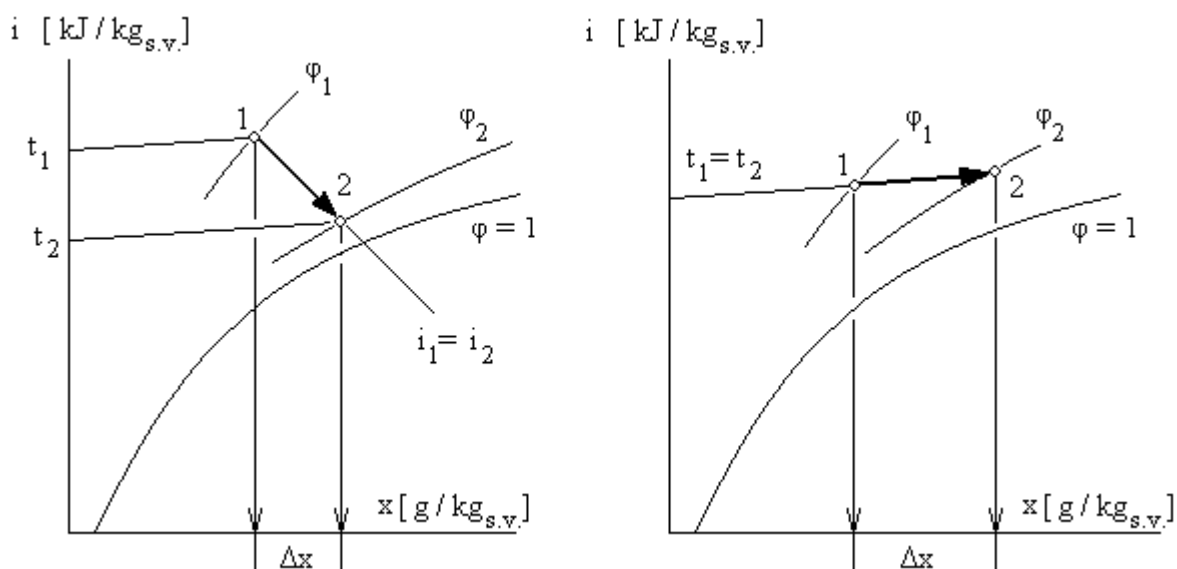
- vodou
- párou

„Směr změny stavu vzduchu při vlhčení vodou o teplotě  $t_m$  probíhá za konstantní entalpie - adiabatické chlazení,  $i = \text{konst.}$  Měrná vlhkost vzduchu roste, teplota vzduchu během procesu klesá a případ lze v některých případech využít i k chlazení. viz *obr 4.5 vlevo.*

Směr změny stavu vzduchu při vlhčení párou probíhá za konstantní teploty (ve skutečnosti se vzduch mírně ohřívá, pro praxi však zcela vyhovuje směr změny stavu vzduchu  $t = \text{konst.}$ )“ znázorněné na *obr. 4.5 vpravo* [21].

Parní zvlhčování téměř neovlivňuje teplotu vzduchu. Další výhodou je snadná regulace a jednoduchost. Parní zvlhčovače se skládají z redukčního ventilu a z trubky s tryskami, kterými se vyfukuje pára do zvlhčovací komory klimatizačního zařízení, nebo přímo do vzduchovodu [21].

Parní zvlhčovač se tedy jeví jako optimální volba.



Obr. 4.5 – Znázornění vlhčení vzduchu v  $i$ - $x$  diagramu, vlevo vodou, vpravo párou



## 5 OZAŘOVACÍ ZAŘÍZENÍ

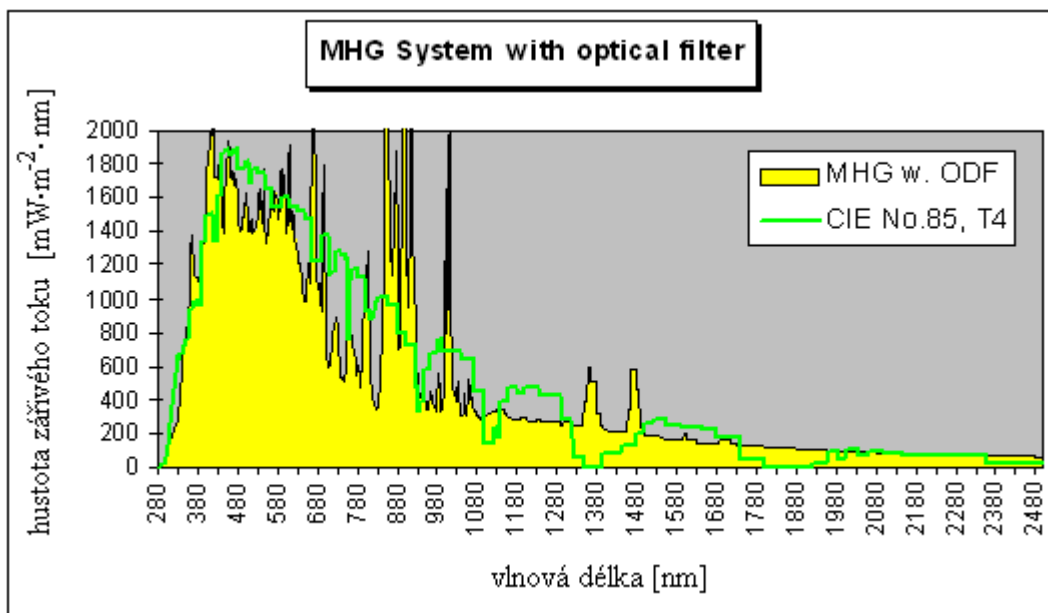
### 5.1 Popis a rozmístění zářičů

Část slunečního záření procházejícího zemskou atmosférou se absorbuje nebo je rozptýleno molekulami vzduchu, vodní páry, aerosoly a mraky. Sluneční záření rozdělujeme na [16]:

- přímé sluneční záření ... dopadá přímo na zemský povrch
- difuzní sluneční záření ... roztroušena z přímého paprsku
- globální sluneční ... přímé složky slunečního záření a difuzní složky, které dopadají společně na vodorovnou plochu. Globální záření se měří pyranometry.

Volba správného světla je prvním krokem pro stanovení správného a spolehlivého zkušebního programu. Pro zrychlené zkoušky povětrnosti a k simulaci přirozeného slunečního světla můžeme použít řadu světelných zdrojů, které používají například přístroje *ATLAS* [26].

Vlastnosti zařízení pro simulaci slunečního záření budou odpovídat požadavkům DIN 75220 pro tzv. „outdoor“ zkoušky a popisům CIE č. 20 a CIE č. 85 (CIE - mezinárodní komise pro osvětlení) [26].



Obr. 5.1 – Spektrální rozložení systému

Firma Atlas může nabídnout:

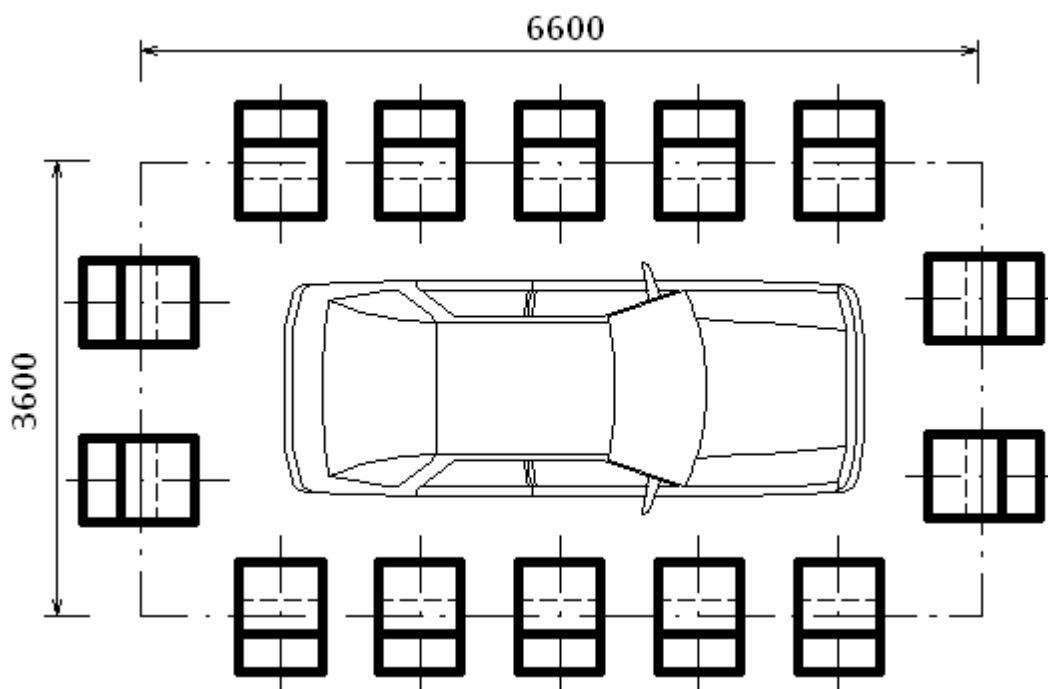
- zdroje umělého světla pro zkoušky povětrnosti anebo pouze zkoušky vlivu světla, jako např.:
  - xenonové
  - fluorescenční UV
  - halogenidové
  - uhlíkové
- přístroje pro korosní zkoušky
- služby pro laboratoře

Základem pro dimenzování nastavitelných ozařovacích jednotek a efektivního objemu komory jsou stanoveny následující maximální a minimální rozměry osobních vozidel:

• délka	max. 5200 mm	min. 3000 mm
• šířka	max. 2000 mm	min. 1400 mm
• výška	max. 1800 mm	min. 1200 mm

V našem podnebí je roční hodnota dopadajícího slunečního záření cca  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Z této hodnoty vycházíme při návrhu rozmístění, druhu a počtu UV lamp. Intenzita ozařování má být přizpůsobena definovanému obrysu vozidla.

Celý systém se skládá ze 14 zářičů umístěných nad vozidlem, které jsou namontovány bočně nad vozidlem. Lampy se mohou přestavovat v podélném směru a také naklánět k vozidlu. Pro instalaci zářičů jsou na stropě komory připraveny ocelové profily.



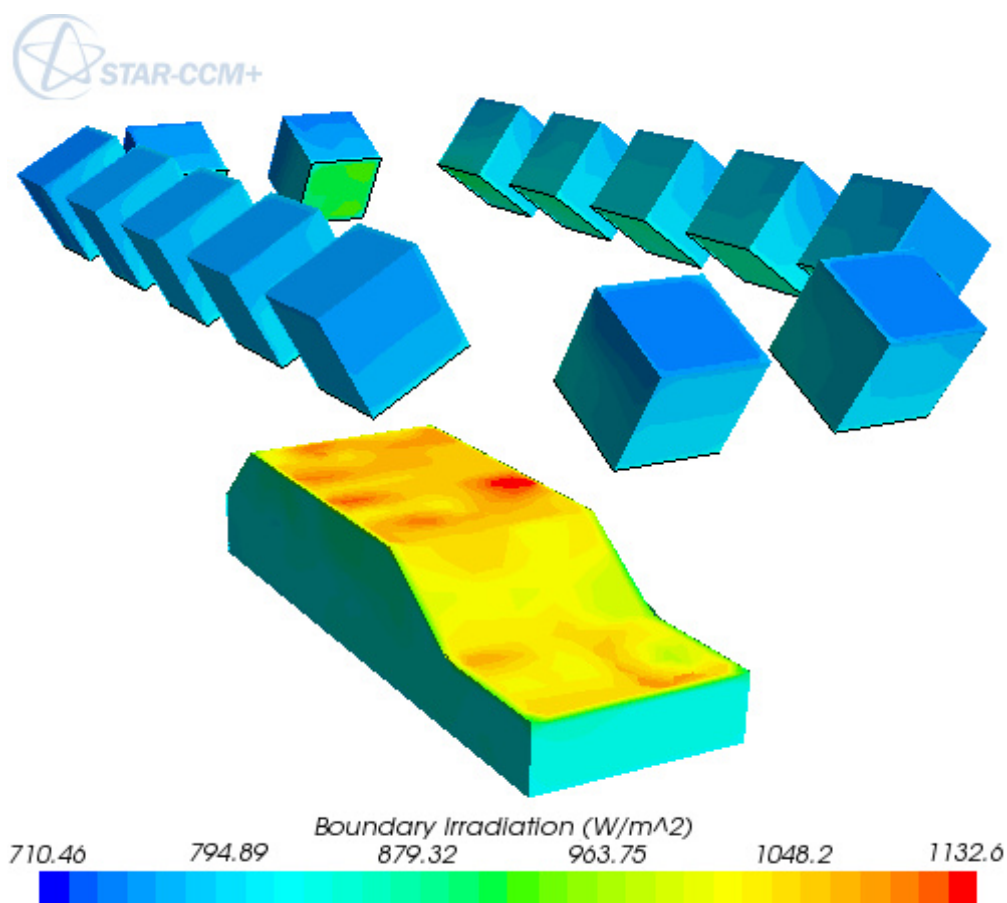
Obr. 5.2 – Prostorové rozložení jednotek záření

Pro zařízení jsou navrženy zářiče typu *HMI 2500 W Lampe* (dvoustranně opatřená soklem) firmy Osram, které mají vhodně rozložené spektrální záření. Tyto zářiče byly zvoleny také proto, že odvodem tepla přes sokly na obou stranách jsou teplotně stabilní v celém rozsahu zkušebních teplot v komoře a nevyžadují tedy chlazení [26].

Ozařovací jednotky *SolarConstant* jsou vybaveny *MHG lampami* o výkonu 2500 W a jedním reflektorem. Každý zářič se před použitím spektrálně přeměňuje (UV/VIS) [26].

## 5.2 CFD model

Model pomocí CFD modelování nám ukazuje, že počet lamp je dostatečný. Tepelný tok dopadající na střechu vozidla lehce překračuje hodnotu  $1\,000\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Intenzitu zářičů je možno regulovat podle pokynů obsluhy. Snahou bylo dosáhnout co nejhomogennější intenzity záření na vnějších plochách zkoušených vzorků.



Obr. 5.4 – CFD model ozařování

## 6 SPECIFIKACE A PODMÍNKY PROVOZU

### 6.1 Modulární sestava

Zařízení se skládá z:

- kostra,
- klimatizační jednotka,
- strojní jednotka,
- vlhkostní jednotka,
- spínací skříň s řízením a elektronikou.

### 6.2 Klimatizační jednotka

Velkoplošná stropní větrací jednotka. K přípravě vzduchu pro vnitřní prostor komory slouží na stropě umístěný ventilátorový výparník z měděných trubek s hliníkovými lamelami. Při tomto umístění výparníku zůstává celá vnitřní plocha komory volná. Montáž větrací jednotky se provádí zavěšením na stavební strop budovy [26].

Ve skříni klimatizační jednotky s výparníkem jsou zabudovány elektrické topné vložky z ušlechtilé oceli.

### 6.3 Zařízení pro proplach čerstvým vzduchem

Mimo přísávání vzduchu pro vlastní chod motoru je komora navíc vybavena zařízením pro proplachování čerstvým vzduchem. Nasávání čerstvého vzduchu je z venkovních prostor a jeho vyfukování opět mimo prostor laboratoří. Zařízení odstraní případné pachy a ionty uvolněné po provedené zkoušce.

Z bezpečnostního hlediska je také třeba hlídat koncentraci zápalné směsi plynů. Mohou se vyskytnout při zkouškách s natankovaným vozidlem. V případě překročení povolené koncentrace bezpečnostní systém přeruší průběh zkoušky a aktivuje proplachování [26].

Uspořádání obsahuje vysoušecí zařízení, které zamezuje případnému vzniku kondenzace ve zkušebním prostoru komory při proplachování.

### 6.4 Odsávací zařízení

Pomocí ventilátoru umístěného mimo laboratoře a kanálu vedeného pod komorou jsou odváděny výfukové plyny. Část potrubí vyčnívající z kanálu by měla být pohyblivá a zakončená odsávacím nástavcem [9]. V prostoru pod komorou se bude nacházet rovněž jímka, která bude zachycovat kondenzát vzniklý při mísení s přísávaným vzduchem. Jímka musí být dobře utěsněna. Odvod kondenzátu je přes odpadní kanál. V odsávacím zařízení musí být neustále udržován mírný podtlak, aby nedocházelo k úniku spalin do zkušebního prostoru.

## 6.5 Vyrovnávání tlaku

Aby ve vnitřním prostoru nedocházelo k přetlaku či podtlaku, je ve stropu komory otvor pro vyrovnání tlaku opatřený filtrační vložkou [26].

## 6.6 Podmínky pro umístění

Klima komora je určena pro provoz v normálním prostředí. Neměla by být vystavována příliš vysokým teplotám a provozována ve znečištěném prostředí. Okolní teplota by se měla pohybovat v rozsahu  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zařízení je rovněž třeba chránit před přímým slunečním zářením a v jeho blízkosti neumisťovat zdroje tepla.

Při provozu však může dojít ke kondenzaci par ze vzduchu. Pro určení teploty rosného bodu vypočteme vnější povrchovou teplotu stěny S1 (viz obr 3.3 teplota  $T_1$ ). Nejprve přepočítáme součinitel prostupu tepla  $k_{S1}$ .

Součinitel prostupu tepla:

$$k_{S1} = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{vnj.k.}}}{\lambda_{\text{vnj.k.}}} + \frac{\delta_{\text{iz}}}{\lambda_{\text{iz}}} + \frac{\delta_{\text{vtř.k.}}}{\lambda_{\text{vtř.k.}}} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{0,002}{20} + \frac{0,14}{0,035} + \frac{0,002}{20} + \frac{1}{76}} \quad (3.12a)$$

$$k_{S1} = 0,2492 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Povrchové teploty stěn se nebudou zásadně lišit. Provedeme výpočet povrchové teploty stěny S1. Z kapitoly 3.1.2 víme, že tepelný tok touto stěnou je  $\dot{Q}_{p,S1} = 888 \text{ W}$ . Vyjdeme z rovnice 3.13 a vyjádříme teplotu  $T_1$ .

$$\dot{Q}_{p,S1} = k \cdot S_{\text{bez},S1} \cdot \Delta t = k \cdot S_{\text{bez},S1} \cdot (T_1 - T_i) \Rightarrow T_1 \quad (3.13b)$$

$$T_1 = \frac{\dot{Q}_{p,S1}}{k \cdot S_{\text{bez},S1}} + T_i = \frac{888}{0,2492 \cdot 57,4} + (-233,15) = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Maximální teplota rosného bodu:

$$t_{r_{\text{max}}} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Teplota vnějšího povrchu stěny S1 je  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teplota rosného bodu by neměla převýšit povrchovou teplotu stěn. Případný vzrůst nad  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  by mohl zapříčinit kondenzaci na stěnách komory a zařízení časem poškodit.

Při provozu zkušebního zařízení je proto zapotřebí sledovat rovněž parametry vzduchu v laboratorní hale. Největší riziko kondenzace hrozí při zkoušce, kdy se ve zkušební komoře simulují arktické podmínky, tedy  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Simulací podmínek, při nichž je teplota v komoře vyšší než teplota v laboratoři  $t_i > t_e$  se hodnota teploty rosného bodu zvýší. Obsluha by tedy měla zvážit kdy, za jakých podmínek a jaké zkoušky bude provádět.

## 6.7 Ovládání a regulace chladicího výkonu

U vyšších výkonů se provádí regulace změnou otáček. Ke změně otáček se používá frekvenční měnič, ten umožní regulaci otáček i nad maximální otáčky motoru určené jeho konstrukcí.

U nižších výkonů chladičových systémů může být chladicí výkon v nejjednodušším případě regulován spínáním chodu kompresoru a pomocně stupňovitou regulací otáček ventilátoru. Po dosažení teploty se kompresor vypíná. Z jednotky pravidelně pulsuje teplý a studený proud vzduchu.

„K ovládání chodu zařízení včetně nastavování teploty, která má být automaticky udržována, slouží ovladače. Lze jimi také ovládat otáčky ventilátoru, programovat chod zařízení v čase, měnit nastavení výfuku vzduchu. Moderní jednotky obsahují pohyblivé teplotní čidlo, které sním rozdělení teploty v místnosti, a podle toho vyhodnocuje nastavení provozních parametrů. Pro celkovou správu zařízení, nastavení teplot, centrální hlášení poruch jsou určeny nadřazené ovladače“ [3].

Pro zkušební zařízení jako klima komora je nutná vizualizace provozu na PC. Ve zkušebním zařízení *fy. Kaitraide* je regulace prováděna mikroprocesorovou řídicí jednotkou a kontrolním systémem SIMCON/32-NET. Ta umožňuje grafické znázornění nastavených a měřených hodnoty, obsahuje digitální ukazatel nastavených a měřených hodnot teploty a relativní vlhkosti a spoustu dalších funkcí. K řízení a dokumentaci parametrů zkoušek je využíván softwarový balík SIMPATI 3.0 (Simulationspaket zur Testsystem Integration) umožňující obsluhu a kontrolu zkušebních zařízení, vyhodnocování a dokumentaci zkoušek s rozšířenou sít'ovou funkčností [26].

## 7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo konstrukční navržení klima komory, provedení výpočtu tepelných ztrát a zisků a navrhnout ohřev, chlazení, větrání.

Větrání komory zajišťuje na stropě umístěná jednotka nuceného proudění vzduchu, pracující převážně s cirkulačním vzduchem. Při zkouškách se spuštěným motorem je do jednotky navíc přísáván a upravován venkovní vzduch. Takto upravený vzduch je přiváděn rozváděcím kanálem a vyústkami vstupuje do zkušebního prostoru. Odpadní vzduch je odváděn v oblasti stropu. Výhody tohoto uspořádání nalezneme v kapitole 2.2.

K návrhu chlazení a vytápění komory jsme vždy počítali s extrémními situacemi. Došli jsme k hodnotám chladicího výkonu  $\dot{Q}_{\text{ch}_{\text{skut}}} = 50,7 \text{ kW}$  a topného výkonu  $\dot{Q}_{\text{top}_{\text{skut}}} = 44,88 \text{ kW}$ . Hmotnostní tok upraveného vzduchu je při nejméně příznivých podmínkách  $40 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ . Tato vysoká hodnota je dána potřebou intenzivní výměny vzduchu a udržení teploty  $t_i = -40 \text{ }^\circ\text{C}$  v celém objemu zkušebního zařízení. Z vypočtených hodnot jsme ověřili splnění kritéria – změny teploty vzduchu uprostřed komory se zkoušeným předmětem bez spuštěných zářičů o 1 K za 1 minutu. Požadované teploty  $t_i = -40 \text{ }^\circ\text{C}$  bychom dosáhli za 64 minut. Vyšší tok vzduchu zajistí rovněž rovnoměrnější rozložení teploty po celém průřezu komory. Po dosažení stanovené teploty uvnitř komory by se celkový hmotnostní tok upraveného vzduchu snižoval regulováním otáček ventilátoru, v našem případě frekvenčním měničem.

Další možnou variantou je snížení hmotnostního toku vzduchu a zvýšení teplotní diference mezi výstupní teplotou z chladice a teplotou uvnitř komory  $t_i$ . Při zachování podmínky změny teploty 1 K / 1 min., bychom v tomto případě museli navýšit výkon chladice a ohříváče. Tato varianta však není příliš vhodná hned ze dvou důvodů:

- Rozváděcí kanál je vyroben z nerezového plechu, proto by ve zkušebním prostoru (v místě vstupu chladného vzduchu do rozváděcího kanálu) mohlo docházet ke kondenzaci.
- V naší zvolené variantě vedení vzduchu by s rostoucí diferencí, mezi teplotou v kanálu a teplotou ve zkušebním prostoru, došlo k výraznému ovlivnění přiváděného vzduchu v rozváděcím kanálu.

Při provozu klima komory bychom měli také zvážit, jakou zkoušku a za jakých podmínek budeme provádět. Teplotu v laboratořích nezměníme. Pokud to však situace umožní, bylo by vhodné provádět zkoušky tak, abychom využili parametrů venkovního vzduchu. Tedy, aby se podmínky během simulace shodovaly s podmínkami venkovními. Došlo by k minimalizování ztrát větráním při zkouškách se spuštěným motorem vozidla.

V zimním období by se dalo využít kondenzační teplo k teplotovzdušnému vytápění ostatních prostor laboratoří. V letním období by naopak mohly být tyto prostory vychlazovány v době, kdy je v komoře zapotřebí vyšší teplota než v laboratořích.

Požadavek na rozsah teplot byl požadován od  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+80 \text{ }^\circ\text{C}$ . V komoře se tudíž mohou provádět testy odpovídající jakémukoli místu na světě. Otázkou je využitelnost a nezbytnost tak širokého rozsahu teplot. Optimálnější se jeví rozmezí od  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Teplotní zkoušky se budou nejčastěji provádět v tomto teplotním intervalu. Zmenšením teplotního rozsahu by se úměrně snížil chladicí výkon a výkon ohřívacího zařízení. Tím bychom snížili pořizovací cenu zmiňovaných komponent a dosáhli hospodárnějšího provozu.

Součástí této práce je vyhotovený výkres, ve kterém jsou uvedeny konkrétní rozměry klima komory. Je zde také naznačeno rozmístění 14 UV lamp. Každá lampa má výkon 2 500 W. Cílem bylo rozmístit zářiče tak, abychom dosáhli co možná nejhomogennější intenzity záření. Toto je ověřeno pomocí CFD modelování v kapitole 5.2. Na výkresu je zakresleno i odsávací zařízení výfukových plynů s jímkou pro odvod kondenzátu.



**POUŽITÉ ZDROJE**

- [1] JANOTKOVÁ, E.: *Technika prostředí*. 1.vyd. Brno: VUT, 1991. s. 201. ISBN 80-214-0258-X.
- [2] HIRŠ J., GEBAUER G.: *TZB – Vzduchotechnika. Chlazení pro klimatizaci*. Brno: Gebauer G., Rubinová O. 2005. s. 39.
- [3] HIRŠ J., GEBAUER G.: *TZB – Vzduchotechnika. Klimatizace*. Brno: Hirš J. Gebauer G., Rubinová O. 2005. s. 18.
- [4] CHYSKÝ J., HEMZAL K. a kol.: *Větrání a klimatizace: technický průvodce*. Vydání třetí, zcela přepracované. Brno: Bolit – B press Brno, 1993. 490 s. ISBN 80-901574-0-8
- [5] PAVELEK M. a kolektiv.: *Termomechanika*. Brno: VUT v Brně, červen 2003. s. 284. ISBN 80-214-0209-5.
- [6] PAVELEK M., ŠTĚTINA J.: *Experimentální metody v technice prostředí*. Brno: VUT v Brně, 2007. s. 284. ISBN 978-80-214-3426-4.
- [7] SZÉKYOVÁ, M.: *Technické zariadenia budov III: Vetrание a klimatizácia - Ateliérová tvorba a cvičenia*. Bratislava: STU Bratislava, 2001. 272 s. ISBN 80-227-1590-5.
- [8] VLK F. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006. s. 376. ISBN 80-239-6461-5.
- [9] KLIKA, M.: *Vzduchotechnické zařízení pro zkušební box spalovacích motorů*. Brno, 2001. 78 s. Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně na odboru termomechaniky a techniky prostředí. Vedoucí diplomové práce Josef Štětina.
- [10] KOŠNER J., KREJČÍ V.: *Experimentální ověření fyzikálních vlastností chladicí kapaliny*. [online]. [cit. 2010-04-23]. Dostupné z [www: http://www.fluids.fs.cvut.cz/akce/konference/setkani\\_2007/sbornik/doc/Kosner.pdf](http://www.fluids.fs.cvut.cz/akce/konference/setkani_2007/sbornik/doc/Kosner.pdf)
- [11] YUNUS A. Çengel: *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach, 3/e*. [Nevada]: University of Nevada-Reno. 2007. ISBN: 0073129305
- [12] *Angelantoni Industrie s.p.a: download brochure* [online]. c2008 [cit. 2010-04-23]. Wazzle. Dostupné z [www: <http://www.angelantoni.it/acs/en/prodotti\\_serie/prodotti\\_serie\\_acs.asp?idfamiglia=43>](http://www.angelantoni.it/acs/en/prodotti_serie/prodotti_serie_acs.asp?idfamiglia=43).
- [13] *Ascott Corrosion Test Chamber* [online]. c2007 [cit. 2010-05-05]. Salt Spray Chambers. Dostupné z [www: <http://www.ascott-analytical.co.uk/ss\\_or\\_cct.htm>](http://www.ascott-analytical.co.uk/ss_or_cct.htm).

- [14] *Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences* [online]. 10 March 2010 [cit. 2010-04-23]. Dostupné z www: <<http://cires.colorado.edu/~voemel/vp.html>>.
- [15] *Environmental Test Chambers: ESPEC North America* [online]. c2010 [cit. 2010-04-23]. Products. Dostupné z www: <[http://www.espec.com/na/products/family/tse\\_small\\_thermal\\_shock/](http://www.espec.com/na/products/family/tse_small_thermal_shock/)>.
- [16] *EPLAB: Direct, Diffuse And Global Solar Radiation* [online]. [cit. 2010-04-23]. Dostupné z www: <<http://www.eppleylab.com/Radiation.htm>>.
- [17] *Katedra vozidel a motorů: Úvod do strojírenství* [online]. Liberec: TU v Liberci, 2001 [cit. 2010-04-24]. Kapitola 7 – stroje a zařízení. Dostupné z www: <[http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod\\_do\\_strojirenstvi/kap7.pdf](http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/kap7.pdf)>. ISBN 80-7083-538-9.
- [18] *Salt spray corrosion testing history* [online]. c2003 [cit. 2010-05-05]. Dostupné z www: <<http://www.corrosion-club.com/historysaltspray.htm>>.
- [19] *Test equipment – Test chamber – Auto industry test chamber* [online]. 10 March 2010 [cit. 2010-04-23]. Dostupné z www: <[http://www.amtest.hu/termek\\_info\\_alkategoria\\_en.php?item=9](http://www.amtest.hu/termek_info_alkategoria_en.php?item=9)>.
- [20] *Tlakem namáhané konstrukce a izolace podlah* [online]. BASF Plastics. 17. 3. 2010 [cit. 2010-04-23]. Dostupné z www: <[http://www.basf.de/basf2/img/produkte/kunststoffe/styrodur/downloads/CZ/Styrodur\\_Tlakem\\_namahane\\_konstrukce\\_a\\_izolace\\_podlah.pdf](http://www.basf.de/basf2/img/produkte/kunststoffe/styrodur/downloads/CZ/Styrodur_Tlakem_namahane_konstrukce_a_izolace_podlah.pdf)>.
- [21] *Teorie vlhkého vzduchu (III)* [online]. TZB-info. c2001-2010 [15-05-2010]. Dostupné na www: <<http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3382>>
- [22] *Weiss Umwelttechnik GmbH : Environmental Simulation Systems* [online]. c2009 [cit. 2010-04-23]. Product range. Dostupné z www: <[http://www.wut.com/en/schunk01.c.11579.de/all\\_wvproductsarticle](http://www.wut.com/en/schunk01.c.11579.de/all_wvproductsarticle)>.
- [23] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 28 s.
- [24] *Automobil ve stadiu zkoušení...* [Praha]: Votsch, 2009. 11 s.
- [26] *Nabídka komory se sluneční simulací pro Škoda a.a.s.* Praha: Kaitraide, 23. srpna 2007. 26 s.
- [27] *Systémy pro povětrnostní vlivy*. [Praha]: Atlas, 2005. 66 s.

## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

označení	název veličiny	jednotka
$a_{sk}$	hloubka stranového kanálu	[m]
$A_{sk}$	průřez stranového kanálu	[m <sup>2</sup> ]
$a_{sp,k}$	hloubka stropového kanálu	[m]
$A_{sp,k}$	průřez stropového kanálu	[m <sup>2</sup> ]
$A_v$	průřez vyústky	[m <sup>2</sup> ]
$b_{sk}$	šířka stranového kanálu	[m]
$b_{sp,k}$	šířka stropového kanálu	[m]
$c_{lamp}$	měrná tepelná kapacita lamp	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{ocel}$	měrná tepelná kapacita oceli	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{ost}$	měrná tepelná kapacita ostatních materiálů	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{p-40}$	měrná tepelná kapacita vzduchu za konst. tlaku při $t_{vzd} = -40$ °C	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{p_{spm}}$	měrná tepelná kapacita spalin za konst. tlaku	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{p_{vv}}$	měrná tepelná kapacita vlhkého vzduchu za konst. tlaku	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{plast}$	měrná tepelná kapacita plastů	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{plech}$	měrná tepelná kapacita plechů	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{sklo}$	měrná tepelná kapacita skla	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$c_{voz}$	měrná tepelná kapacita vozidla	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$D_{h_{sk}}$	hydraulický průměr stranového kanálu	[m]
$D_{h_{sp,k}}$	hydraulický průměr stropového kanálu	[m]
$e$	Eulerovo číslo	[-]
$h_d$	výška dveří	[m]
$i_{páry}$	entalpie páry	[kJ · g <sup>-1</sup> ]
$k$	součinitel prostupu tepla	[W · m <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$L_{sk}$	charakteristický rozměr stranového kanálu (délka)	[m]
$L_{sp,k}$	charakteristický rozměr stropového kanálu (délka)	[m]
$M_{H_2O}$	molekulová hmotnost vody	[kg · kmol <sup>-1</sup> ]
$m_{lamp}$	hmotnost lamp	[kg]
$\dot{m}_{pal}$	hmotnostní tok paliva	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$m_{plech}$	hmotnost rozváděcích plechů	[kg]
$\dot{m}_{sm}$	hmotnostní tok směsi paliva a vzduchu	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$\dot{m}_{sp}$	hmotnostní tok spalin	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$m_{voz}$	hmotnost vozidla	[kg]
$\dot{m}_{vv}$	hmotnostní tok vlhkého vzduchu	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$m_{vzd}$	hmotnost vzduchu v komoře	[kg]
$\dot{m}_{vzd}$	hmotnostní tok vzduchu procházející chladičem	[kg · s <sup>-1</sup> ]
$n$	otáčky motoru	[s <sup>-1</sup> ]
$n_o$	počet otvorů	[-]
$\overline{Nu}_{sk}$	střední Nusseltovo číslo pro stranový kanál	[-]
$\overline{Nu}_{sp,k}$	střední Nusseltovo číslo pro stropový kanál	[-]
$O_{sk}$	obvod stropového kanálu	[m]
$O_{sp,k}$	obvod stropového kanálu	[m]

$p_a$	atmosférický tlak	[Pa]
$p_p''$	parciální tlak syté vodní páry	[Pa]
$p_{sm}$	tlak po smíchání vzduchu a paliva	[Pa]
$Pr$	Prandtlovo číslo	[-]
$\dot{Q}_{dyn}$	celkový dynamický výkon	[W]
$\dot{Q}_{ch_{skut}}$	chladičí výkon skutečný	[W]
$\dot{Q}_{ch_{teor}}$	chladičí výkon teoretický	[W]
$Q_i$	výhřevnost paliva	[MJ · kg <sup>-1</sup> ]
$\dot{Q}_{lamp}$	dynamický výkon k ohřátí / ochlazení lamp	[W]
$\dot{Q}_p$	tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$\dot{Q}_{p,celk}$	celková tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$\dot{Q}_{plech}$	dynamický výkon k ohřátí / ochlazení plechu	[W]
$\dot{Q}_{top_{skut}}$	topný výkon skutečný	[W]
$\dot{Q}_{top_{teor}}$	topný výkon teoretický	[W]
$\dot{Q}_v$	tepelná ztráta větráním	[W]
$\dot{Q}_{voz}$	dynamický výkon k ohřátí / ochlazení vozidla	[W]
$\dot{Q}_{vzd}$	dynamický výkon k ohřátí / ochlazení vzduchu	[W]
$\dot{Q}_{Zc}$	celkový trvalý tepelný zisk	[W]
$\dot{Q}_{ZL_1}$	tepelný zisk od 1 zářiče	[W]
$\dot{Q}_{ZL_{14}}$	tepelný zisk od 14 zářičů	[W]
$\dot{Q}_{Zm}$	tepelný zisk od motoru	[W]
$\dot{Q}_{Zvs}$	tepelný zisk od výfukové soustavy	[W]
$r_{H_2O}$	plynová konstanta vody	[J · Kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$R_m$	univerzální plynová konstanta	[J · kmol <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$r_{sm}$	plynová konstanta směsi paliva a vzduchu	[J · Kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$r_{sv}$	plynová konstanta suchého vzduchu	[J · Kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$r_{vv}$	plynová konstanta vlhkého vzduchu	[J · Kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]
$Re_{sk}$	Reynoldsovo číslo pro stranový kanál	[-]
$Re_{sp,k}$	Reynoldsovo číslo pro stropový kanál	[-]
$S_{bez}$	plocha stěny bez otvorů	[m <sup>2</sup> ]
$S$	plocha stěny	[m <sup>2</sup> ]
$S_o$	plocha okna	[m <sup>2</sup> ]
$t_1$	teplota vzduchu před úpravou	[°C]
$t_2$	teplota vzduchu po úpravě	[°C]
$t_e$	teplota v laboratoři (hale)	[°C]
$t_{CH}$	povrchová teplota chladiče	[°C]
$t_R$	teplota rosného bodu	[°C]
$t_{sm}$	teplota směsi paliva a vzduchu	[°C]
$t_{sp}$	teplota spalín na konci výfukové soustavy	[°C]
$t_{spm}$	střední teplota spalín ve výfukové soustavě	[°C]
$t_{spO}$	teplota spalín na začátku výfukové soustavy	[°C]
$t_{venk}$	teplota venkovního vzduchu	[°C]
$t_{vv}$	teplota vlhkého vzduchu	[°C]
$T_{vv}$	teplota vlhkého vzduchu	[K]
$t_{vzd}$	teplota vzduchu	[°C]

$u_{sk}$	rychlost vzduchu ve stranovém rozváděčím kanálu	$[m \cdot s^{-1}]$
$u_{sp,k}$	rychlost vzduchu ve stropovém rozváděčím kanálu	$[m \cdot s^{-1}]$
$u_v$	rychlost vzduchu z vyústky	$[m \cdot s^{-1}]$
$\dot{V}_{hod}$	hodinová spotřeba paliva	$[l \cdot hod^{-1}]$
$V_k$	objem vzduchu v komoře s vozidlem	$[m^3]$
$V_{kom}$	objem vzduchu v komoře	$[m^3]$
$V_m$	objem motor	$[m^3]$
$\dot{V}_{sm}$	objemový tok směsi paliva a vzduchu	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$V_{voz}$	aproximovaný objem vozidla	$[m^3]$
$\dot{V}_{vv}$	objemový tok vlhkého vzduchu	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$w_d$	šířka dveří	$[m]$
$w_{H_2O}$	hmotnostní podíl vody ve vzduchu	$[-]$
$w_{ocel}$	hmotnostní podíl oceli	$[-]$
$w_{ost}$	hmotnostní podíl ostatních materiálů	$[-]$
$w_{plast}$	hmotnostní podíl plastů	$[-]$
$w_{sv}$	hmotnostní koncentrace suchého vzduchu	$[-]$
$w_{vv}$	hmotnostní koncentrace vlhkého vzduchu	$[-]$
$x$	měrná vlhkost vzduchu	$[kg \cdot kg_{sv}^{-1}]$
$x_{vv}$	měrná vlhkost vlhkého vzduchu	$[kg \cdot kg_{sv}^{-1}]$
$\alpha_{i,sp,k-40}$	součinitel přestupu tepla na straně stropového kanálu při $t_{vzd} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$\alpha_{i,sk-40}$	součinitel přestupu tepla na straně stranového kanálu při $t_{vzd} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$\alpha_e$	součinitel přestupu tepla na vnější straně komory	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$\alpha_i$	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně komory	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$\delta$	směrové měřítko	$[-]$
$\delta_{iz}$	tloušťka izolace	$[m]$
$\Delta t$	teplotní diference	$[K]$
$\delta_{vnj,k}$	tloušťka vnějšího krytí	$[m]$
$\delta_{vtř,k}$	tloušťka vnitřního krytí	$[m]$
$\lambda_{-40}$	součinitel tepelné vodivosti vzduchu při $t_{vzd} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
$\lambda_{iz}$	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
$\nu_{-40}$	kinematická viskozita vzduchu při $t_{vzd} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
$\xi$	součinitel využití energie z benzínu	$[-]$
$\rho_{-40}$	hustota vzduchu při $t_{vzd} = -40 \text{ }^\circ\text{C}$	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\rho_b$	hustota benzínu	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\tau$	čas	$[s]$
$\varphi$	relativní vlhkost	$[\%]$
$\varphi_{vv}$	relativní vlhkost vlhkého vzduchu	$[\%]$

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1      Výkres sestavy