

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Klimatizace motorového vozu ř. 810

Autor: **Vitalii Polishchuk**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Petr Heller, Csc.**

Akademický rok 2019/2020

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Polishchuk	Jméno Vitalii	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	„Dopravní a manipulační technika“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Heller, Csc.	Jméno Petr	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Klimatizace motorového vozu ř. 810		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	60	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	50	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	3
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Cílem je provést integrace klimatizace z provedením potřebného výpočtu výkonu klimatizační jednotky. Provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost. Výsledkem je konstrukční návrh úpravy střechy vozu pro montáž klimatizační jednotky a návrh rozvodu vzduchu do interiéru. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Motorový vůz, klimatizace, klimatizační jednotka, pohodli, vzduchovody, výkon klimatizačního zařízení, rozvod vzduchu</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Polishchuk	Name Vitalii		
<b>FIELD OF STUDY</b>	“Transport and handling machinery“			
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Heller, Csc.	Name Petr		
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable	
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Air conditioning of motor coach class 810			

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

**NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)**

<b>TOTALLY</b>	60	<b>TEXT PART</b>	50	<b>GRAPHICAL PART</b>	3
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>The aim is to integrate the air conditioning with the necessary calculation of the performance of the air conditioning unit. Carry out the specification of requirements with regard to correct functionality and technical simplicity. The result is a design proposal for the modification of the motor coach roof for the installation of the air conditioning unit and a design for air distribution to the interior. Perform a comprehensive evaluation of the resulting solution.</p>
<b>KEY WORDS</b>	<p>motor coach, air-conditioning, air conditioning unit, comfort, air ducts, power of air conditioning, air distribution</p>

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vitalii POLISHCHUK**  
Osobní číslo: **S17N0035P**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Téma práce: **Klimatizace motorového vozu ř. 810**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Vypracovat návrh klimatizace pro motorový vůz řady 810 podle příslušné normy ČSN EN 14 750-1.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Výpočet tepelných ztrát skříně vozu.
2. Výpočet příkonu klimatizace
3. Rešerše klimatizačních jednotek, návrh vlastního řešení
4. Návrh úpravy střechy vozu pro montáž klimatizační jednotky
5. Návrh rozvodu vzduchu do interiéru

Rozsah diplomové práce: **50-70 stran A4**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

DOSTÁL, JOSEF; HELLER, PETR *Kolejová vozidla I.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2007  
HELLER, PETR; DOSTÁL, JOSEF *Kolejová vozidla. II.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2009  
HELLER, PETR; DOSTÁL, JOSEF *Kolejová vozidla III.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2011  
LATA, MICHAEL *Konstrukce kolejových vozidel II.* Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004  
DOUDA, PAVEL; HEPTNER, TOMÁŠ; KOLÁŘ, JOSEF *Pozemní dopravní prostředky.* Praha: ČVUT, 1996

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**  
Regionální technologický institut  
Konzultant diplomové práce: **Jiří Schön**  
Siemens s.r.o.  
Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan



---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Poděkování**

Chtěl bych osobně poděkovat panu Doc. Ing. Petru Hellerovi, Csc. za odborné vedení práce a cenné rady a také panu Ing. Tomášovi Dvořáčku a společnosti VKV s.r.o. za poskytnuté informace, konzultace, a zajímavé téma práce.

Rád bych poděkoval všem pedagogickým pracovníkům Západočeské univerzity, kteří mě během studia vedli a předávali mi své znalosti a zkušenosti.

Další poděkování věnuji také své rodině a blízkým za podporu ve studiu.

## Obsah

Přehled obrázků

Přehled tabulek

Úvod.....	1
1. Legislativa a normy pro větrání a klimatizaci.....	2
1.1 Pojmy v klimatizační technice.....	3
1.1.1 Teplota vzduchu.....	3
1.1.2 Rychlost proudění vzduchu.....	4
1.1.3 Relativní vlhkost vzduchu.....	4
1.1.4 Teplota stěn.....	5
1.1.5 Koncentrace CO <sub>2</sub> .....	5
1.1.6 Klimatické zóny.....	6
1.2 Historie zajišťování tepelné pohody v salónu kolejového vozidla.....	7
1.3 Teplovzdušné vytápění.....	8
1.4 Klimatizace kolejových vozidel.....	10
1.5 Problémy klimatizovaných salónů.....	12
1.6 Šetrnost k životnímu prostředí a možné úspory elektrické energie.....	12
1.7 Popis motorového vozu ř. 810.....	13
2 Výpočet výkonů klimatizační jednotky.....	15
2.1 Výpočet vytápěcího výkonu.....	15
2.1.1 Tepelná ztráta vzniklá prostupem tepla za klidu.....	15
2.1.2 Tepelná ztráta netěsností skříně a zhoršenými poměry při jízdě (infiltraci).....	18
2.1.3 Tepelná ztráta větráním.....	18
2.1.4 Výpočet celkových tepelných ztrát.....	18
2.1.5 Výpočet tepelného zisku.....	18
2.1.6 Celkový příkon vytápění vozidla.....	19
2.2 Výpočet chladicího výkonu.....	19
3 Řešení výpočtu výkonu klimatizačního zařízení motorového vozu.....	22
3.1 Výpočet vnějšího součinitele přestupu k.....	22
3.2 Návrh izolace a výpočet součinitele prostupu tepla.....	22
3.3 Výpočet výkonu vytápěcího zařízení.....	27
3.4 Výpočet chladicího výkonu.....	29
3.5 Celkový výkon chladicího zařízení vozidla.....	34



3.6 Výpočet součinitele přenosu tepla.....	35
3.7 Výpočet rychlosti vzduchu na vstupu do klimakanálů.....	35
3.8 Stanovení součinitele protupu tepla $K_s$ .....	35
3.9 Vyhodnocení, závěr a výběr klimatizační jednotky.....	36
4 Konstrukční návrh úpravy střechy vozu.....	37
4.1 Materiály vzduchotechnických kanálů.....	37
4.2 Návrh konstrukce střechy a zabudování klimatizační jednotky.....	38
4.3 Návrh rozvodů vzduchu.....	39
4.4 Spojení jednotlivých klima kanálů.....	40
4.5 Pevné spojení sekcí.....	42
5. Simulace proudění.....	44
6. Technicko-ekonomické hodnocení.....	48
Závěr.....	50
Seznam použité literatury.....	51

## VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE:

Název	Druh výkresu	Číslo výkresu	Formát
DRŽÁK – SVAŘENEC	VÝKRES SESTAVY	DP KKS 001	A3
DRŽÁK	VÝROBNÍ VÝKRES	DP KKS 002	A3
KUSOVNÍK	KUSOVNÍK	DP KKS 001	A4

## CD-ROM:

Název souboru	Typ souboru	Obsah
DIPLOMOVÁ PRÁCE	.pdf	text diplomové práce
PŘÍLOHY	dokument Word	přílohy diplomové práce
OBRÁZKY	*.jpg, *.png	použité obrázky v DP
MODEL Y	*.prt	modelu v NX
PREZENTACE	*.ppt	prezentace diplomové práce

## Přehled obrázků

Obr. 1,1 – Pojmy podle EN 14750.....	2
Obr. 1,2 – Přípustná oblast pro stanovení regulační křivky.....	3
Obr. 1,3 – Nejvyšší rychlosti proudění v závislosti na průměrné vnitřní teplotě .....	4
Obr. 1,4 – Oblast relativní vlhkosti v dle průměrné vnitřní teploty pro vozidla kategorie A.....	5
Obr. 1,5 – Klimatické zony.....	6
Obr. 1,6 – Vytápění motorového vozu ř. 810.....	9
Obr. 1,7 – Naftový teplovodní vytápěcí agregát VA 20.....	10
Obr. 1,8 – Rozdělení nízkotlaké a vysokotlaké části klimatizačního systému.....	11
Obr. 1,9 – Motorový vůz ř. 810.....	14
Obr 2,1 – Prostup tepla jednoduchou rovinnou stěnou.....	16
Obr. 2,2 – Prostup tepla složenou rovinnou stěnou.....	17
Obr. 2,3 – Produkce tepla od sedících normálně oblečených cestujících.....	21
Obr. 3,1 – Návrh izolace bočnice.....	22
Obr. 3,2 – Návrh izolace podlahy.....	23
Obr. 3,3 – Návrh izolace střechy.....	25
Obr. 3,4 – Návrh izolace okna.....	26
Obr. 3,5 – Jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran.....	31
Obr. 3,6 – Thermo King LRV-12T-ARZ .....	36
Obr. 4,1 – Výstup vzduchu z vyústek .....	37
Obr. 4,2 – Úprava střechy .....	38
Obr. 4,3 – Umístění silentbloků .....	39
Obr. 4,4 – Celkový vzor střechy .....	40
Obr. 4,5 – Spojení jednotlivých klima kanálů.....	40
Obr. 4,6 – Spojovací kanál (I).....	41
Obr. 4,7 – Spojovací kanál (II).....	42
Obr. 4,8 – Spojení jednotlivých sekcí.....	43
Obr. 4,9 – Základní pohled na opravený vůz.....	43
Obr. 5,1 – Charakter proudění v oblouku a ostrém kolenu.....	44
Obr. 5,2 – Proudění vzduchu v spojovacím kanálu .....	45
Obr. 5,3 – Proudění vzduchu v jednotlivém kanálu.....	46
Obr. 5,4 – Proudění vzduchu uvnitř vozu.....	47
Obr. 5,5 – Proudění vzduchu uvnitř vozu.....	47

## Přehled tabulek

Tabulka 1,1 – Nejvyšší průměrná vnitřní teplota při konstrukčních podmínkách.....	6
Tabulka 2,1 – Tepelně izolační vlastnosti jednotlivých materiálů.....	16
Tabulka 2,2 – Součinitele přestupu povrchu skříně vozidla pro osobní vůz ČD.....	17
Tabulka 3,1 – Výsledek vnějšího součinitele přestupu pro různé rychlosti vozidla.....	22
Tabulka 3,2 – Tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů.....	23
Tabulka 3,3 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	23
Tabulka 3,4 – Tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů.....	23
Tabulka 3,5 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla (řez A).....	24
Tabulka 3,6 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla (řez B).....	24
Tabulka 3,7 – Střední základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	24
Tabulka 3,8 – Tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů.....	25
Tabulka 3,9 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	25
Tabulka 3,10 – Tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů.....	26
Tabulka 3,11 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	26
Tabulka 3,12 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	26
Tabulka 3,13 – Výslední součinitele prostupu tepla podle částí skříně.....	27
Tabulka 3,14 – Jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran.....	31
Tabulka 3,15 – Výslední součinitele prostupu tepla podle částí skříně.....	32
Tabulka 3,16 – Hodnoty součinitele propustnosti sl. záření okny.....	33
Tabulka 3,17 – Zisk od slunečního zatížení.....	33
Tabulka 3,18 – Porovnání tepelných zisků od slunečního záření.....	34
Tabulka 3,19 – Základní charakteristiky klimatizační jednotky.....	36
Tabulka 6,1 – Předběžné náklady na materiál navrženého konstrukčního řešení.....	48

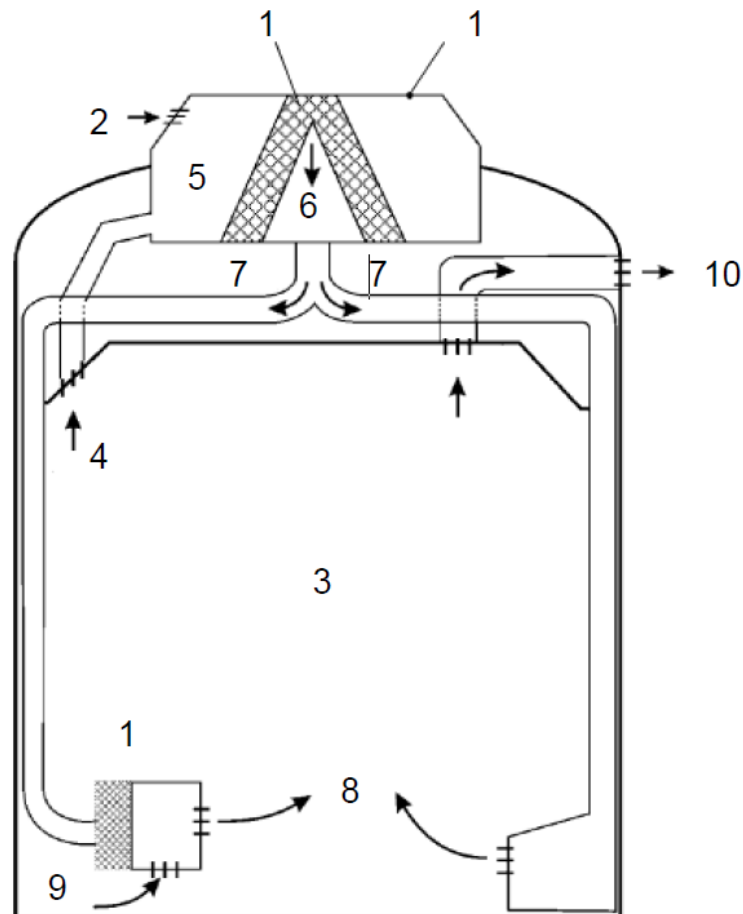
## 1 Legislativa a normy pro větrání a klimatizaci

Klimatizací kolejových vozidel se rozumí upravování vzduchu v interiéru vozidla jako je např. ovlivnění teploty vzduchu, vlhkost, prašnost, atd.

Existuje několik různých norem a předpisů, které definují jednotlivé parametry pohodlí pro evropské železnice a také stanovují vlastnosti klimatizačního zařízení.

### ČSN EN 14750 Železniční aplikace – Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla

Tato evropská norma platí pro příměstská a/nebo regionální kolejová vozidla a také pro vozidla metra a tramvajová vozidla chladicími a/nebo vytápěcími/větracími systémy. Tato evropská norma se nevztahuje na vozidla hlavních tratí a stanoviště strojvedoucího/řidiče, která jsou zvažována v samostatných evropských normách. Tato evropská norma stanovuje parametry pohodlí pro oddílová nebo velkoprostorová vozidla (jednopodlažní nebo dvoupodlažní) [1]. Obrázek 1,1 vysvětluje určité drážní termíny.



Obr. 1,1 - Pojmy podle EN 14750

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| Doplňkový ohřívač (1)            | Upravený vzduch (6)     |
| Venkovní nebo čerstvý vzduch (2) | Přiváděný vzduch (7)    |
| Vzduch v prost.cestujících (3)   | Vstupní vzduch (8)      |
| Cirkulační vzduch (4)            | Přídavný vzduch (9)     |
| Směšovaný vzduch (5)             | Odvětrávaný vzduch (10) |

### UIC 553 – Větrání, vytápění, klimatizace

Tato evropská norma definuje standardní program zkoušek a postupy měření pro posuzování klimatizačních systémů podle požadavků popsanych v UIC č. 553. Při zkoušení klimatizačních systémů se doporučuje, aby další zařízení, jako jsou dveře, sanitární zařízení, zásobování energií, osvětlení atd. Byly také podrobeny funkční zkoušce za extrémních klimatických podmínek v souladu s příslušnými informacemi [2].

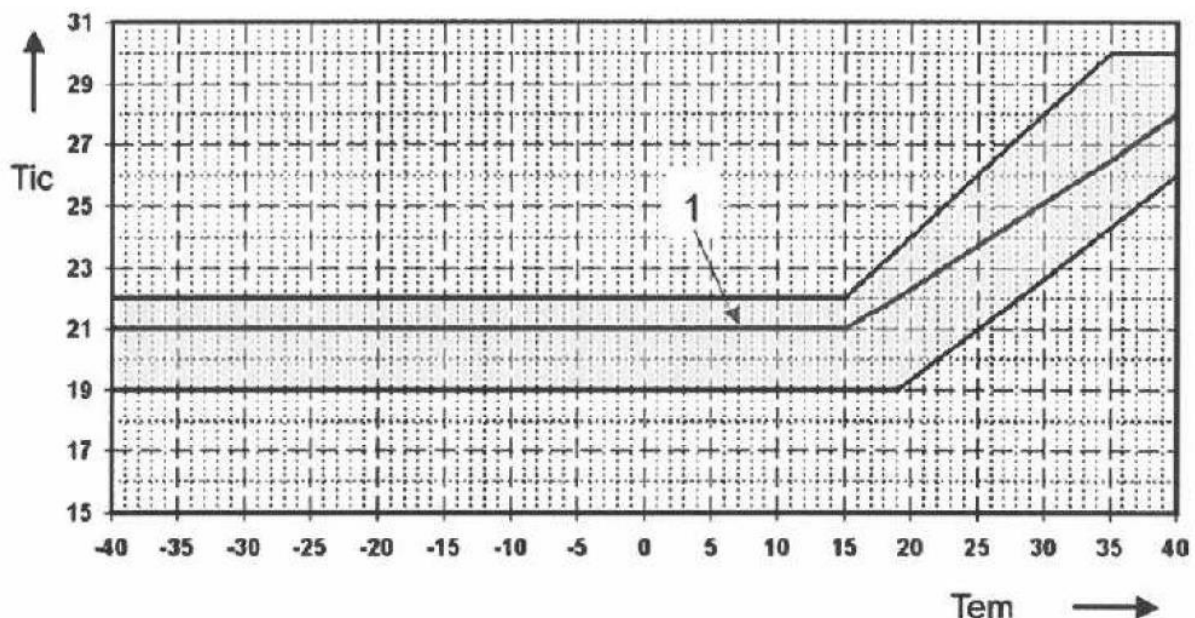
### EN 13129 Železniční aplikace – Klimatizace pro vozidla na přepravu cestujících na hlavních tratích

Tato evropská norma platí pro kolejová vozidla na přepravu cestujících na hlavních tratích a stanovuje měřicí metody parametrů pohodlí pro oddílové nebo velkoprostorové vozy (jednopodlažní nebo dvoupodlažní). Tato norma dnešní době už neplatí [3].

## 1.1 Pojmy v klimatizační technice

### 1.1.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je zadána dle vnější teploty oblastí grafu nebo funkcí. Dále jsou stanoveny maximální povolené rozdíly teplot v definovaných bodech v podélném směru vozidla a rozdíly vnitřních teplot vzduchu ve svislém průřezu. Příklad regulační křivky EN 14750 (obr. 1,2) je v poměrně dobré shodě s doporučením Státního zdravotního ústavu, který v našich podmínkách nedoporučuje při chlazení větší teplotní spád (rozdíl vnější a vnitřní teploty) než cca 5°C. Navrhovaná křivka vede k vyšším teplotním spádům pouze při vnějších teplotách nad 34°C.



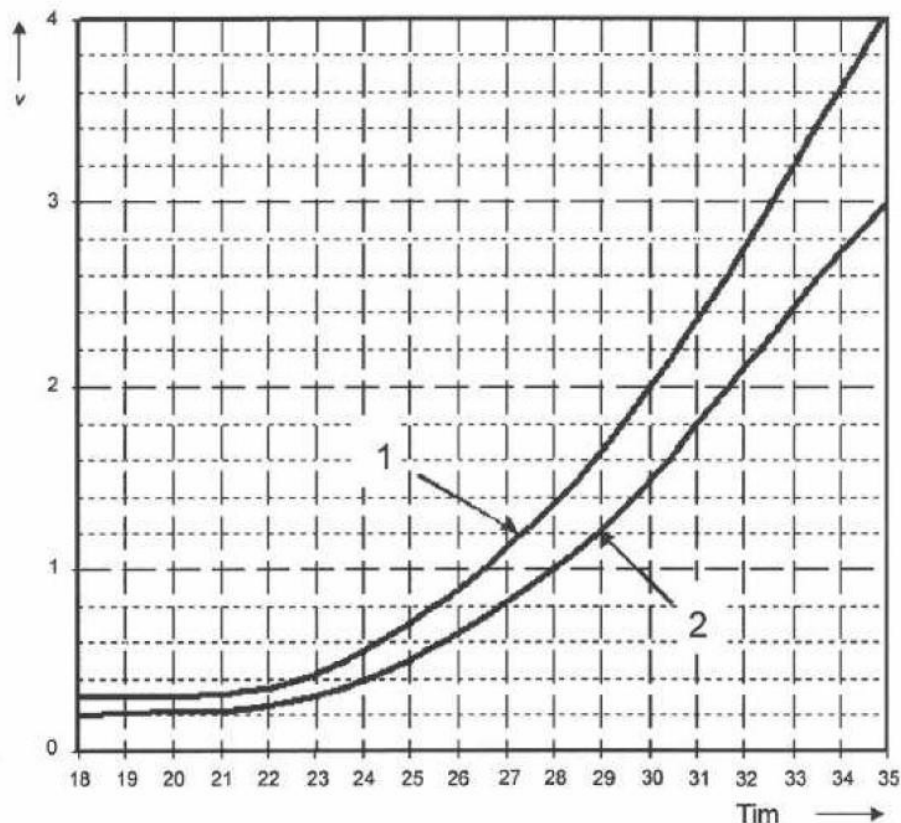
Obrázek 1,2 - Přípustná oblast pro stanovení regulační křivky, doporučená křivka 1, kategorie A

$T_{ic}$  - teplota interiéru

$T_{em}$  - venkovní teplota

### 1.1.2 Rychlost proudění vzduchu

Rychlost proudění vzduchu je předepsána maximální hodnotou (někdy i minimální) proudění vzduchu v m/s, nebo je dána grafem dle vnitřní teploty. Mezi minimální a maximální povolenou hodnotou je pro kabiny strojvedoucího velmi malý rozdíl. Rychlosti proudění v prostoru jsou velmi lokální a často posun anemometru o 5 cm znamená při měření o stovky procent jiné hodnoty. Otázkou je, zda by cestující příznivě nevnímali vyšší hodnoty alespoň do vnější teploty 25 °C. Vozidla se dělí dle EN 14750-1 i EN 13129-1 do dvou kategorií. Kategorie A má vyšší nároky na tepelnou pohodu. Zařazení vozidla se provádí podle počtu stojících cestujících na metr čtvereční, podle průměrné jízdní doby cestujícího a průměrné doby mezi dvěma stanicemi. Kategorie B je spíše pro příměstská a regionální vozidla [4]. Dle EN 14813-1 se kabiny strojvedoucího třídí podle velikosti a typické doby nepřetržitého pobytu strojvedoucího na stanovišti rovněž do kategorie A a B. Kategorie A je určena pro hlavní tratě a regionální vlaky. Pro salón je podle EN 14750-1 předepsán průběh zobrazený na Obr. 1,3.



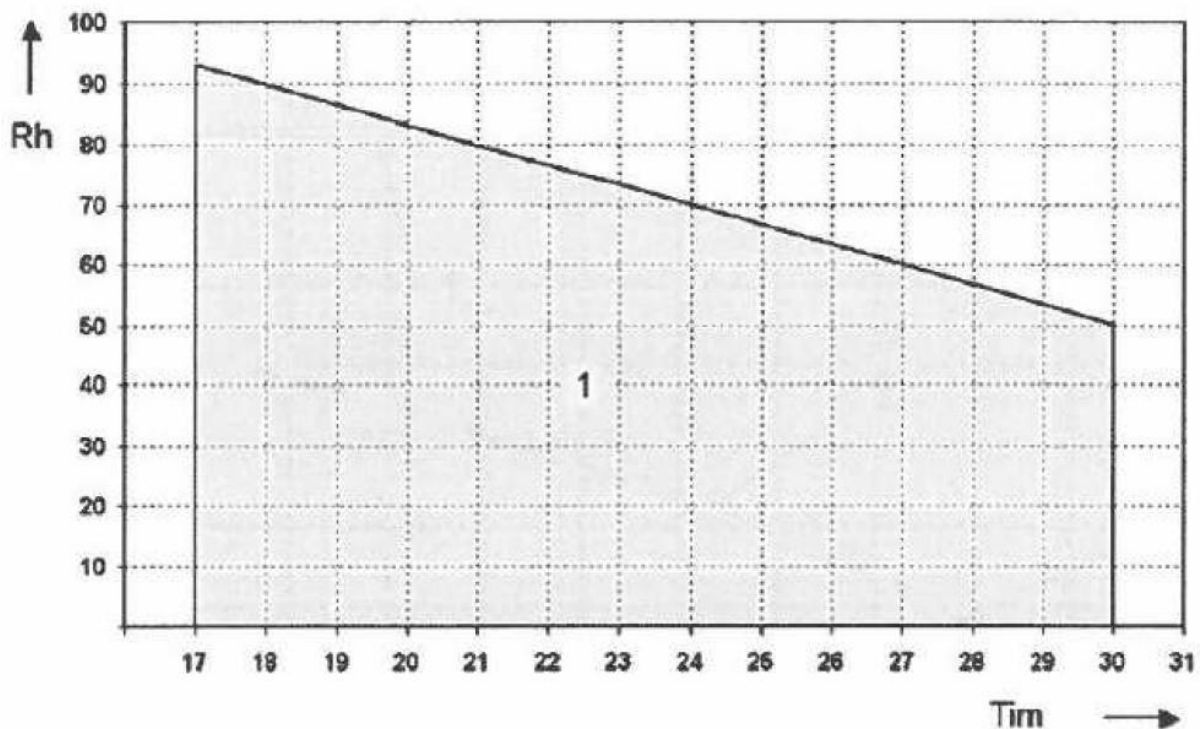
Obr. 1,3 – Nejvyšší rychlosti proudění [m/s] v závislosti na průměrné vnitřní teplotě [°C] - salón vozidla, 1 kategorie B, 2 kategorie A

### 1.1.3 Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu je předepsána dle vnitřní teploty grafem. Měření vlhkosti nebývá požadováno v celém rozsahu teplot a režimů větrání, topení a klimatizace. Většinou je možné splnit požadavky bez dodatečného odvlhčování („reheat“). Při běžném kompresorovém chlazení dochází ke kondenzaci vlhkosti na výparníku, odkud je kondenzát

odváděn na střeche vozidla nebo pod vozidlo. Dochází tak k částečnému odvlhčování dodávaného vzduchu, což je příznivé [4].

V normě EN 14750-1 je pro vozidla kategorie A uveden graf (Obr. 1,4):



Obr. 1,4 – Oblast relativní vlhkosti v [%] dle průměrné vnitřní teploty pro vozidla kategorie A

#### 1.1.4 Teplota stěn

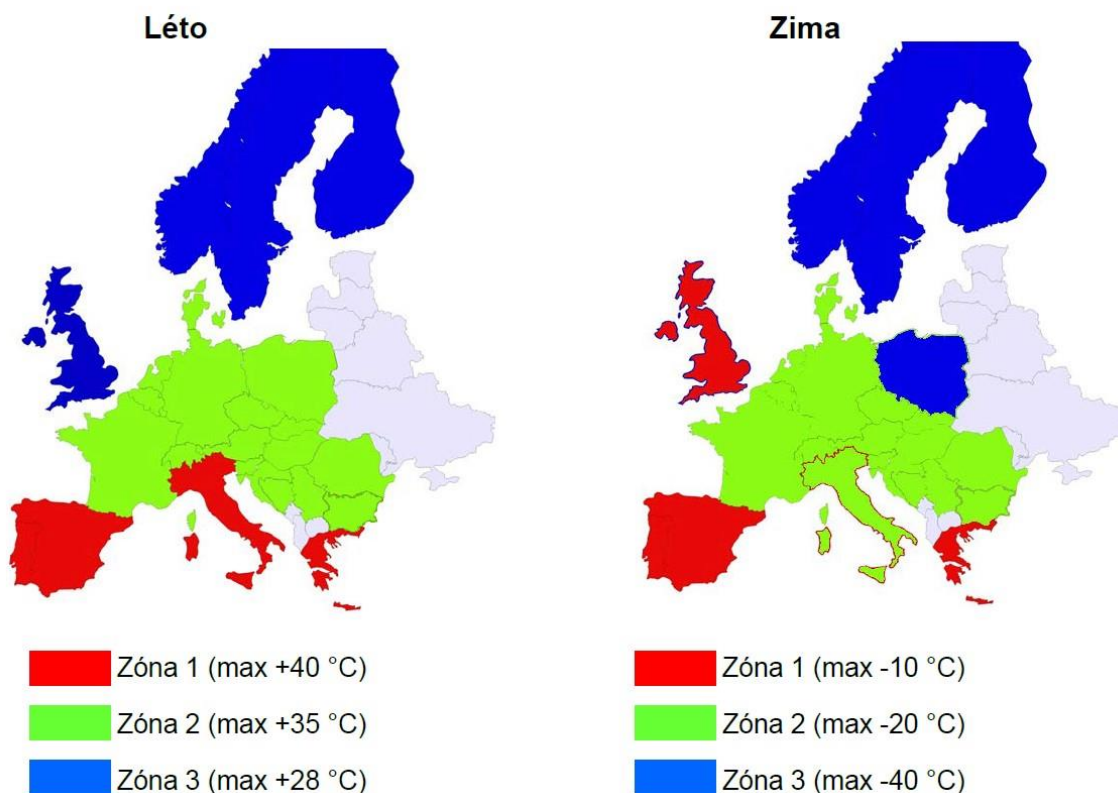
Maximální dotyková teplota vnitřních povrchů stěn včetně nekrytých částí topných agregátů je většinou 65 °C (někdy 60 °C). Maximální teplota vzduchu přiváděného až k cestujícím nesmí překročit 45 °C. Dále jsou stanoveny maximální rozdíly teplot stěn, stropů, oken a dveří od průměrné vnitřní teploty. Rovněž je nutné zabránit namrzání nástupních prostor i případného výsuvného schůdku. Zde se i na železničních vozidlech čím dál častěji uplatňuje doplňkový elektrický ohřev podobně jako u podlah kabiny nebo částí podlahy nad podvozkem [4].

#### 1.1.5 Koncentrace CO<sub>2</sub>

Je předepsán přívod dostatečného množství čerstvého (venkovního) vzduchu na osobu. Pro cestující je požadováno 8 až 15 m<sup>3</sup>/h čerstvého vzduchu. Pro kabinu strojvedoucího je to 30 m<sup>3</sup>/h na osobu, avšak kabina je nejčastěji uvažována pro 2 osoby, tedy 60 m<sup>3</sup>/h. Koncentrace CO<sub>2</sub> při plně obsazeném voze by měla být do 1000 ppm v běžném režimu. Někteří zákazníci požadují pro kabinu strojvedoucího v běžném režimu nižší hodnoty, například do 1000 ppm. Rovněž bývá stanoveno, po jak dlouhou dobu musí být tato hodnota dodržena v režimu nouzové ventilace. U nasávaného vnějšího vzduchu se uvažuje obsah CO<sub>2</sub> 450 ppm. Dále se uvažuje produkce zhruba 17,5 l/h CO<sub>2</sub> na osobu. Tyto hodnoty nejsou z pohledu subjektivního vnímání člověkem nijak přehnané a například Státní zdravotní ústav doporučuje obsah CO<sub>2</sub> do 1500 ppm, je-li to možné [4].

### 1.1.6 Klimatické zóny

Většina norem stanovuje výpočet výkonu topení/klimatizace a někdy i parametry pohodlí dle klimatických zón (Obr. 1,5). Státy jsou začleněny do klimatických zón I, II, III, zvláště pro zimu a pro léto. Česká republika je v zimě i v létě zařazena do zóny II. Řada provozů není lehce definovatelná jednou ze tří klimatických zón a potřebuje dodefinovat další parametry podstatné pro systém větrání, topení a klimatizace. Může jít o podíl prachových částic či písku ve vzduchu. Problém je i velký podíl soli v přímořských oblastech, silný a nárazový vítr, větší zatížení solární radiací než je předepsáno pro Zónu I, silné UV záření nebo rychlé změny teploty při východu a západu slunce. Z těchto změn může plynout vyšší potřeba topného a chladičového výkonu, než z udržení teplotního stavu v návrhovém bodě nebo požadovaného času předtopení a předchlazení [4].



Obr. 1,5 – Klimatické zony

Při vnějších podmínkách pro danou klimatickou zónu, včetně slunečního zatížení, jestliže je to použitelné, při stojícím normálně obsazeném vozidle a minimální dodávce čerstvého vzduchu, musí být průměrná vnitřní teplota rovna nebo nižší než hodnoty v tabulce 1,1.

Zóna (léto)	Kategorie A °C	Kategorie B °C
I	+30	+32
II	+30	+33
III	+26	+29

Tabulka 1,1 – Nejvyšší průměrná vnitřní teplota při konstrukčních podmínkách



## 1.2 Historie zajišťování tepelné pohody v salónu kolejového vozidla

Historicky byla tepelná pohoda kolejových vozidel řešena nejrůznějším provedením otevíratelných oken. Vzduch z otevřených oken proudí vnitřním prostorem vozidla nerovnoměrně, přičemž část cestujících trpí průvanem. Novodobější vývoj směřuje od celospouštěcích přes polospuštěcí až k výklopným oknům. Cesta tohoto vývoje je motivována spíše bezpečností a zvyšující se rychlostí kolejových vozidel než tepelnou pohodou.

Ventilace bývala dříve doplněna o ventilační mřížky nebo ventilátory poháněné prouděním nad střechou vozidla. U vozidel s maximální rychlostí od 160 km/h jsou potom okna pevná, vybavena maximálně nouzovou ventilační částí na krajích každého oddílu. Tato část bývá uzamykatelná.

Topení se od klasických individuálních kamen v jednotlivých vozech či oddílech posunulo přes parní vytápění k ohřevu elektrickému u vozidel závislé trakce a k ohřevu teplovodnímu či kombinovanému u vozidel nezávislé trakce. Elektrický topný blok je vždy obsažen i ve ventilační jednotce, dnes nejčastěji i klimatizační jednotce. Nasávaný čerstvý vzduch je smíšen s recirkulačním a filtrován. Následuje chlazení nebo ohřev. Ohřev je nutný, aby vzduch vstupující do salónu neměl nepříjemně nízkou teplotu. Teplota vzduchu vstupujícího do salónu by neměla klesnout za žádných okolností pod 12°C. Do střešních agregátů se umísťuje přibližně topný výkon, který pokrývá ztrátu větráním a infiltrací. Ohřátý vzduch stoupá přirozeně vzhůru a tak je výhodnější umístit topné zdroje co nejblíže podlaze. Pro vzduchovody od střešních klimatizačních jednotek k podlaze nebývá dostatečný prostor.

Levným řešením topného zdroje ve spodní části salónu jsou konvekční topidla podél bočních stěn. Takové řešení je zároveň tiché, protože neobsahuje ventilátor. Pokud by však topný kanál konvekčního topení svým rozměrem omezoval cestující sedící u oken, je vhodnější použít teplovzdušné agregáty v konzolách sedadel. Ventilátory topných agregátů pod sedadly lze použít při vysokých letních teplotách k rozprouzení spodních vrstev vzduchu v salónu. Většinou je nutné doplnit další teplovzdušné agregáty do specifických prostor, jako jsou toalety, nástupní prostory nebo oblasti přechodových měchů a oblasti jim přilehlé. Ve spodní části salónu je instalovaný topný výkon pokrývající ztráty prostupem tepla skříní a další méně významné ztráty. Pro teplejší klimatické podmínky je nutné větrat, nebo chladit i další technologické prostory. Ventilace salónu i kabiny musí být v případě detekce požáru vypnuta. I v samotných klimatizačních agregátech bývají umístěna kouřová čidla. V místech, kde se může vyskytnout kondenzace, vodní mlha, prach a podobně, se potom používají pro detekci požáru teplotní čidla. Někdy je požadován i zhasací systém v technologických prostorách nebo i salónu a kabině vozidla. Ten může obsahovat patrony zhasacího plynu nebo rozvádět hasicí vodu.

Klimatizace jsou dnes standardní součástí výbavy prostředků hromadné dopravy a přispívají k výraznému navýšení komfortu pasažérů. U kolejových vozidel však může být jejich užití komplikované ve vztahu k hmotnosti i prostorům na vozidle.

Umístění klimatizace se často liší podle druhu kolejového vozidla. U lokomotiv staršího typu kde klimatizace byla dodávána jako vylepšení, můžeme vidět umístění klimatizace na boční stěnu lokomotivy. U novějších typů, kde byla již klimatizace zahrnuta do designu, je umístěna povětšinou na střeše lokomotivy. Též u tramvajů, tzv. hlavových vozidel a vagonů je klimatizace umístěna na střeše. [16]

### 1.3 Teplovzdušné vytápění

Teplovzdušne vytápění zajišťuje vytápění daného prostoru přivodním vzduchem o teplotě vyšší než vzduch ve vytápěném prostoru a nutnou výměnu znehodnoceného vzduchu, čímž zajišťuje tepelnou a oderovou složku interního mikroklimatu.

U tohoto systému je celý topný výkon soustředěn do výměníku, který je umístěn pod vozem nebo na střeše a který ohřívá vzduch přiváděný do vozu. Vzduch je nasáván ventilátorem přes vzduchové filtry, dále směřuje do výměníku, kde je ohříván a pomocí rozvodů vzduchu je rozveden po voze. Výkon ohříváče vzduchu bývá z důvodu regulace topení rozdělen do několika výkonových částí.

Mezi výhody teplovzdušného vytápění patří možnost využití recirkulace vnitřního vzduchu. Vzduch z oddílů cestujících je odsáván do směšovací komory, odkud je poté spolu s čerstvým vzduchem vrácen zpět do prostoru cestujících. Množství vzduchu odsávaného z prostoru cestujících do směšovací komory je dán nastavením polohy klapky ve směšovací komoře. Výhodou recirkulace vzduchu je snížení doby předtápění a snížení energie na ohřev vzduchu nasávaného z venkovního prostředí. Regulace vytápění však musí být řízena tak, aby i při využívání recirkulace bylo v provozu zabezpečeno celkové množství čerstvého vzduchu předepsané normami.

Teplo určené k vytápění vozu je vyrobeno pomocí zařízení umístěného ve skříních zavěšených pod podlahou vozu, odkud je prostřednictvím vytápěcího média distribuováno do vytápěných prostor. Vytápěcí médium je buď nemrznoucí směs nebo vzduch (teplovodní - teplovzdušné). Vytápěcí zařízení může být buď parní, elektrické nebo naftové, případně jejich kombinace.

Vytápění vozu je teplovzdušné se dvěma teplovodními ohříváči vzduchu (Pos. 5 Obr. 1,6), umístěnými uprostřed oddílu pro cestující pod sedadly.

Zdrojem tepla je teplá voda z chladicího okruhu motoru (Pos. 1 Obr. 1,6). Na ohříváče se napojují čtyři větve rozváděcího vzduchovodu 6 při bočnicích vozu. Na vytápění oddílu má přímou návaznost vytápění záchodu a temperování vodojemu ve stropním prostoru teplým vzduchem.

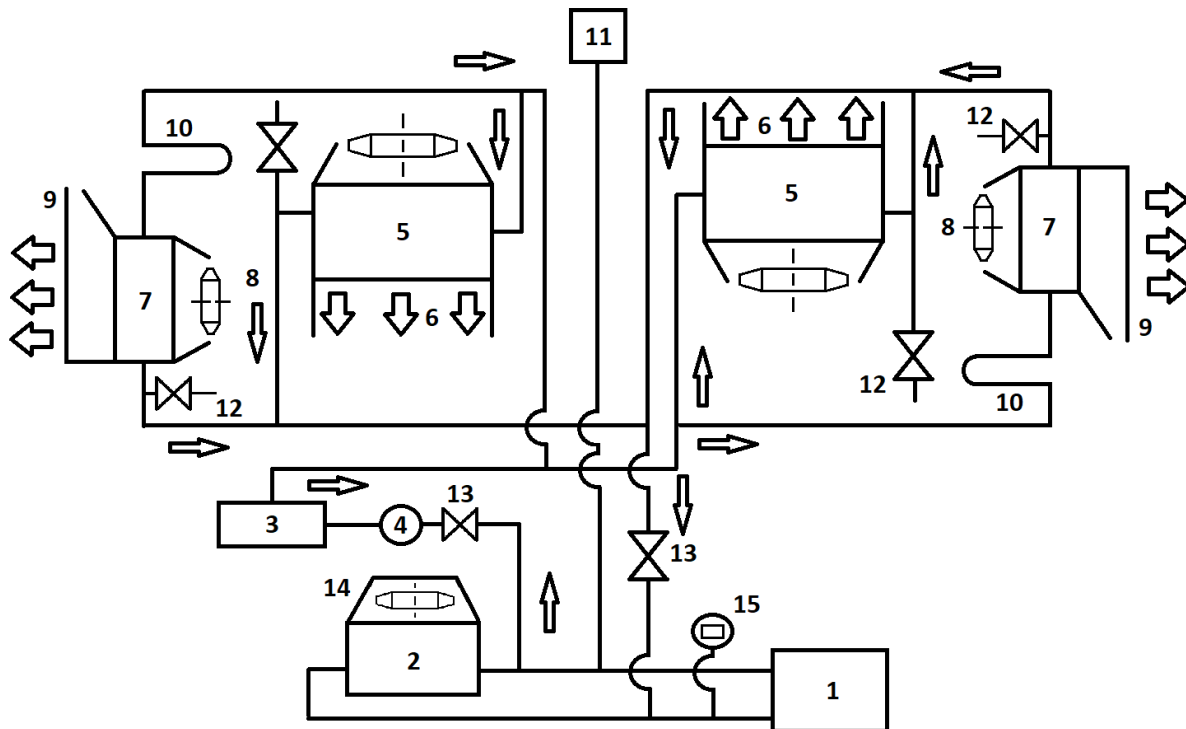
Vytápění stanoviště strojvedoucího zajišťuje jednak teplovzdušný rozmra-zovač čelních skel (Pos. 7 Obr. 1,6) s rozvodem teplého vzduchu (Pos. 9 Obr. 1,6) a dále trubkový topný had 10 v podnožce pod nohami strojvedoucího. Proudění teplého vzduchu, dodávaného ventilátorem 8, lze podle potřeby usměrňovat [6].

Teplovodní naftový agregát VA 20 (Pos. 3 Obr. 1,6) slouží jako přídatné zařízení, které je s oběhovým čerpadlem (Pos. 4 Obr. 1,6) umístěno ve skříně ve spodku vozu. Vytápěcí okruh se uzavře uzavíracími ventily (Pos. 13 Obr. 1,6). Používá se za jízdy i stání motorového vozu, pokud teplota vody klesne pod 60°C, po odstavení motorového vozu při nízkých venkovních teplotách a k předebrátí chladicí kapaliny z důvodu zamezení studených startů.

Vytápění prostoru pro cestující z motoru se ovládá pomocí otočného ovladače, který je umístěn na rozváděči. Má polohy: 1/2, Vypnuto a 1/1. Při poklesu teploty vody pod 60°C je nutné otočný ovladač topení přepnout do polohy "Vypnuto" nebo zapnout vytápěcí agregát.

Teplovodní potrubní síť vytápěcího okruhu je připojena na chladicí vodní okruh s chladičem (Pos. 2 Obr. 1,6) a ventilátorem (Pos. 14 Obr. 1,6) poblíž vstupu a výstupu z naftového motoru. Za teplovodním naftovým agregátem se dělí na několik paralelních větví, do kterých jsou zařazeny výměníky ohříváčů vzduchu a vytápěcí hady stupíků na stanovištích a v sálavém panelu na záchodě.

Součástí vodního okruhu je i vyrovnávací nádrž (Pos. 11 Obr. 1,6). Vytápěcí systém se od vzdušňuje pomocí od vzdušňovacích ventilů (Pos. 12 Obr. 1,6). Kontrolu zamrznání vody zajišťuje termostat (Pos. 15 Obr. 1,6) [5].



Obr. 1,6 – Vytápění motorového vozu ř. 810

Topnicový systém vytápění je vybaven elektrickými přímotopy, které jsou umístěny ve vytápěcích prostorách. Topnice se nachází u podlahy vozu a mohou být parní nebo elektrické.

Teplovodní nebo teplovzdušný systém vytápění je umístěn ve skříních pod podlahou kolejového vozidla, odkud je vytápěcí médium vháněno do vytápěných prostor. Vytápěcí médium musí být nemrznoucí směs nebo vzduch. Teplovodní systém je převážně využíván u naftového vytápění. Oběhové čerpadlo dodává kapalinu do topného okruhu. U teplovzdušného vytápění je směs nafty se vzduchem, která samovolně hoří. Horké spaliny procházejí výměníkem s dvojitým pláštěm proti proudu vzduchu do výfuku, což má za následek lepší přínos tepla.

Oběh nemrznoucí směsi teplovodního systému (Obr. 1,7) zajišťuje čerpadlo 11. Agregát musí mít ochranu proti přehřátí topného média, kterou u teplovzdušného agregátu zajišťuje jeden termostat nastavený na cca 170°C. U teplovodního systému hlídá termostat 9 teplotu nastavenou na cca 85°C. Při úniku nemrznoucí směsi z topného okruhu, kdy by byl termostat 9 jako ochranný prvek neúčinný, je motor agregátu 5 po přehřátí pláště agregátu odpojen tavnou pojistkou 10.

Popis k obrázku 1,7: provoz agregátu zajišťuje elektromotor 5, na jehož hřídeli je upevněno palivové čerpadlo, radiální kompresor a miska k rozprášení paliva, umístěné v hlavě 4. Čerpadlo nasává naftu z palivové nádrže 1 přes sítko 2 potrubím 3 do spalovací komory (palivo je rozprašováno v místech žhavicí svíčky 7), kde se palivo mísí se vzduchem, který kompresor nasává potrubím sání 6. Samovolné hoření je kontrolováno hlídačem plamene 8.



Obr. 1,7 – Naftový teplovodní vytápěcí agregát VA 20

Teplovodní systém je používán převážně u vytápění naftou. Pohyb kapaliny v topném okruhu obstarává oběhové čerpadlo. Součástí topného okruhu jsou jeden až dva naftové agregáty, oběhové čerpadlo, topné spirály, expanzní, odvzdušňovací a zásobní nádrž.

Teplovzdušné vytápění je možné využívat u kolejových vozidel závislé i nezávislé trakce. U kolejových vozidel závislé trakce jsou pro ohřev čerstvého vzduchu využívány především elektrické ohřívače. U kolejových vozidel nezávislé trakce je pro ohřev vzduchu využívána kapalina z chladicího okruhu spalovacích motorů nebo naftové agregáty. U kolejových vozidel nezávislé trakce pro ohřev vzduchu využíváme kapalinu z chladicího okruhu spalovacích motorů nebo naftové agregáty, které ohřívají přiváděný vzduch.

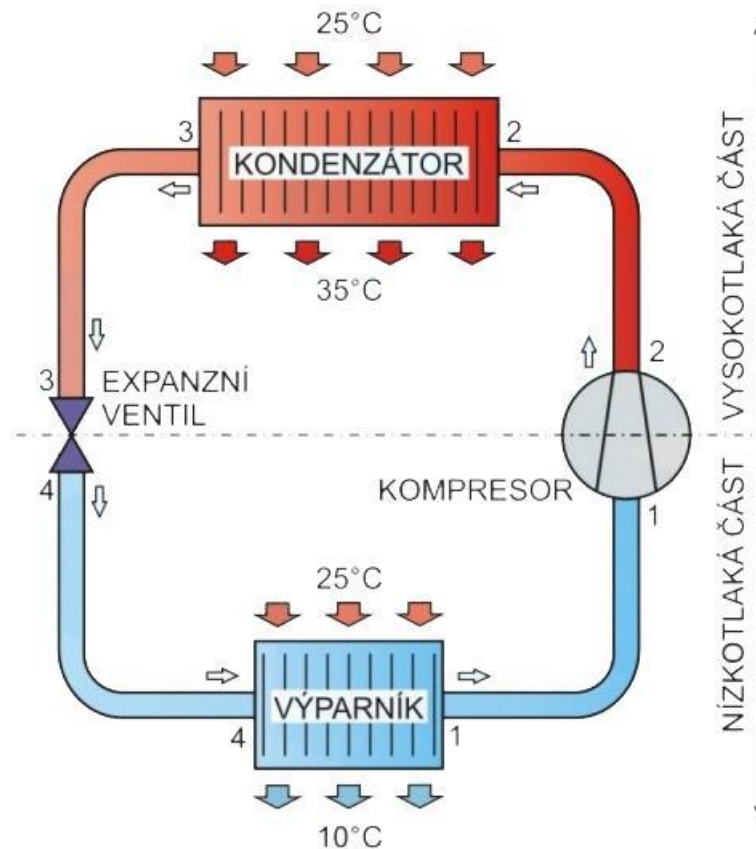
## 1.4 Klimatizace kolejových vozidel

*Klimatizaci* lze definovat jako úpravu a výměnu znehodnoceného vzduchu v daném prostoru přírodním vzduchem, který je alespoň chlazený, nebo alespoň vlhčený, nebo odvlhčován a v zimě zpravidla ohříván. Klimatizace zajišťuje všechny složky vnitřního prostředí budov (čistotu, teplotu, vlhkost) na požadované úrovni v celém spektru vyskytujících se provozních stavů budovy nebo místnosti. Klimatizace tedy zabezpečuje komplexní stav interního mikroklimatu místností a budov.

Klimatizace v kolejových vozidel je používána čím dál častěji a jejím hlavním úkolem je zachování příjemné tepelné pohody v prostoru cestujících zejména v horkých letních dnech. Napájení klimatizace je závislé buď na centrálním zdroji elektrické energie nebo na napájení z hnacího vozidla. Na kolejových vozidlech je klimatizace umístěna buď na střeše vozu nebo pod podlahou vozu. Většinou se jedná o uzavřený celek, ve kterém je několik základních zařízení. Jedná se o kompresor, výměník – kondenzátor, výměník - výparník, ventilátor a rozvody.

Chladicí okruh klimatizačního systému se obecně rozděluje na nízkotlakou a vysokotlakou větev. Názorné rozdělení klimatizačního systému zachycuje obrázek 1,8. V

nízkotlaké větvi se tlak pohybuje v rozmezí 1 – 3 barů, ve vysokotlaké v rozmezí 15 – 20 barů podle použitého chladiva. V nízkotlaké větvi není nižší než atmosférický tlak (1 bar) vhodný, a to zejména z důvodu možného průniku vzduchu do okruhu v případě výskytu netěsností. Tekuté chladivo proudí z nádoby s vyšším tlakem, kondenzátoru, do nádoby s tlakem nízkým, výparníku. Regulaci průtoku, tedy zabezpečení, aby do kompresoru vstupovalo chladivo vždy v plynné fázi, zajišťuje expanzní zařízení (expanzní ventil či expanzní tryska), které chladivo škrcením odebírá tlakovou energii. [2]



Obr. 1,8 – Rozdělení nízkotlaké a vysokotlaké části klimatizačního systému

Klimatizační zařízení je schopné také vytáčet požadovaný prostor. U klimatizace mluvíme o systému tepelného čerpadla. Jednotka je vybavena čtyřcestným (reverzním) ventilem, který otočí směr proudění chladiva mezi vnitřní a venkovní jednotkou. Princip je podobný jako při chlazení, ale chladivo prochází obráceně. Do výměníku přichází stlačené horké chladivo a vzduch v místnosti se ohřívá. Při takovémto způsobu vytápění dochází k úspoře až 60% energie ve srovnání s běžným elektrickým vytápěním.

Klimatizace v režimu tepelného čerpadla je neúčinnější do teploty venkovního vzduchu 0°C. Je tedy využívána zejména pro přitápění v přechodném období na jaře a na podzim. Tepelné čerpadlo může topit i při teplotách pod bodem mrazu. Je zde ale problém namrzající vzdušné vlhkosti na výměníku tepla venkovní jednotky. Z těchto důvodů u kolejových vozidel není klimatizační zařízení v režimu topení využíváno.

## 1.5 Problémy klimatizovaných salónů

Samotná klimatizační jednotka je oproti jednotce pouze topné a ventilační hlučnější. Je zde navíc alespoň jeden kompresor a ventilátor kondenzátoru. Hlavní oběžný ventilátor má vyšší průtok. V salónu je navíc sání vzduchu do recirkulačního kanálu jakožto další zdroj hluku. Vyšší průtoky vzduchu vytváří aerodynamický hluk. Pokud bychom brali celý objem čerstvého vzduchu o vnější teplotě, nejsme při rozumných rozměrech, hmotnostech a ceně schopni dosáhnout požadovaného teplotního spádu 6°C. Proto velká část vzduchu cirkuluje. Čerstvého vzduchu je v klimatizovaném salónu většinou méně. Přestože klimatizované salóny plní hygienické i železniční normy pro dodávané množství čerstvého vzduchu, je ho méně než při použití ventilačních jednotek či náporového větrání. Řada cestujících má potom nepříjemný pocit vydýchaného vzduchu. Pokud se jedná o vozidla pro hlavní tratě, kde je menší počet cestujících a menší počet zastávek (ztráty otevřenými dveřmi), je klimatizace nejen účinná, ale tím i lehká a levná. [4]

## 1.6 Šetrnost k životnímu prostředí a možné úspory elektrické energie

Čím dál častěji se v souvislosti se zařízením pro větrání topení a klimatizace otevírá otázka šetrnosti vůči životnímu prostředí a možnosti úspor energie. Nejčastějším chladivem v klimatizacích kolejových vozidel je chladivo R134a. Někdy se používá vícesložkové chladivo R407c, které umožňuje vyšší chladivý výkon při stejném kompresoru. Jeho likvidace je však složitější. Obě tato chladiva jsou již v Evropě u osobních automobilů zakázána a podobné kroky se chystají v železničních klimatizacích. Za ekologické je považováno chlazení na bázi CO<sub>2</sub> nebo s použitím chladiva HFO 1234-yf vyráběného firmou DuPont. U chladiva HFO 1234-yf se spekuluje o jeho bezpečí. Proti tomuto chladivu protestují někteří výrobci osobních automobilů, kteří tvrdí, že za určitých teplot a tlaků, které mohou při nehodě automobilu nastat, je chladivo nebezpečné až výbušné. Jisté je, že cena tohoto chladiva je více než trojnásobná oproti současným chladivům. Výhodou je, že chladicí systémy, které s ním pracují, jsou podobně dimenzované jako stávající systémy. Klimatizace s chlazením na bázi CO<sub>2</sub> jsou velmi těžké, objemné a stejně jako u chladiva HFO 1234-yf dražší. Pracují s násobně vyššími tlaky, což nebylo dosud obvyklé. Otázkou je, zda nebudou legislativně problematické a nebudou potřebovat revize obdobně jako tlakové nádoby. Ani jedno z nových chladiv bohužel nevede cestou lehčí, jednodušší nebo levnější klimatizace, na což se budeme muset připravit i v železniční technice. Většina zákazníků požaduje stále původní chladiva. Některé požadavky zákazníků na šetrnost k životnímu prostředí se zdají až přehnané, například dvojnásobné snímání vysokého tlaku v chladicím okruhu, nahrazující pojistný ventil. Jakýkoliv únik chladiva je údajně nešetrný k životnímu prostředí. Otázkou je, zda není mechanický ventil důležitým bezpečnostním prvkem s vyšší důležitostí než riziko úniku chladiva. V případě požáru odstaveného vozidla v depu jsou oba stupně sledování vysokého tlaku v okruhu chladiva nefunkční a při růstu teploty a tlaku chladiva může dojít až k explozi některé části chladicího okruhu. Chladivo se potom stejně dostane do okolí. Dále jsou popsány možné oblasti úspor energie klimatizačních systémů kolejových vozidel. Některé nepřinášejí velkou perspektivu, jiné jsou zásadní a jejich aplikace je vhodná.

Klimatizační jednotky společně s dalšími doplňkovými topnými agregáty mohou vytvořit příznivě vnímanou tepelnou pohodu pro až 95% cestujících. Z parametrů prostředí je třeba sledovat alespoň teplotu vzduchu, rychlost proudění vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, teplotu stěn, koncentraci CO<sub>2</sub>, hluk a tlak. Velký potenciál skrývá oblast hledání energetických úspor klimatizačních zařízení drážních vozidel s ohledem na co nejmenší ovlivnění vnímání tepelné pohody cestujícími. [4]

## 1.7 Popis motorového vozu ř. 810

Základní technické údaje	
Označení původní	M 151.0001, 0002 (přeznačeny na M 152.0) M 152.0003 – 0678 M 152.5001, 5002
Označení od 1.1.1988	810, 810.8
Tovární typ	8-102-0 (prototypy), 8-104-0 (sériové vozy)
Rozchod	1 435, 1 520 mm
Uspořádání dvojkolí	A' 1'
Přenos výkonu	hydromechanický
Maximální rychlost	80 km/h
Spalovací motor	LIAZ ML 634
Jmenovitý výkon	155 kW
Hmotnost ve službě prázdný	20,0 t
Hmotnost ve službě obsazený	24,0 t
Délka přes nárazníky	13 970 mm
Počet míst k sezení	55
Počet míst k stání	40
Výrobce skříně a podvozků	Vagónka Studénka
Výrobce motoru	LIAZ ML 634
Výrobce hydromechanické převodovky	PRAGA Praha
Roky výroby	1973 (prototypy), 1975 – 1978, 1981 - 1982 (sériové v.)
Počet kusů vyrobených pro ČSD	678 (M 152.0) 2 (M 152.5)
Počet kusů převzatých k ČSD	678 + 2

### Základní informace

Motorové vozy řady 810 (Obr. 1,9) jsou určeny pro lehkou osobní dopravu na vedlejších tratích, ale díky nedostatku moderních vozů řady 842 a 843 jezdí často i na hlavních tratích. Mají provozně nenáročnou jednoduchou konstrukci, což je základem snadné obsluhy i údržby [8].

Motorový vůz je půdorysně členěn na první stanoviště strojvedoucího, první nástupní prostor s toaletou, centrální oddíl pro cestující, druhý nástupní prostor a druhé stanoviště strojní obsluhy. Nástupní prostory jsou přístupné jednokřídlými předsvunými dveřmi. Motorový vůz nabízí celkem 55 míst k sezení a 40 míst k stání.

Vytápění vozu je teplovzdušné s využitím odpadního tepla od chlazení Dieselu, v jehož chladicím okruhu je také zařazen pomocný naftový teplovodní agregát VA 20. Osvětlení je zářivkové.

Kostra skříně motorového vozu je lehké ocelové konstrukce a skládá se ze spodku, bočnic, čel a střechy. Kostra spodku je svařena z válcovaných a lisovaných profilů. Podlaha je tvořena navařeným ocelovým vlnitým plechem. K odvětrání podlahy slouží otvory o průměru 10 mm, umístěné v každé vlně. Dále jsou v kostře spodku přivařeny nosníky, výztuhy a závěsy pro upevnění hnacího soustrojí, pomocných strojů a ostatních zařízení. Na čele spodku je navařen čelní kryt, po jehož stranách jsou otvory s přivařenými stupačkami. V podlaze je vytvořen podélný kanál, který slouží pro vedení kabelů elektrické instalace.

Bočnice tvoří vnitřní obložné plechy, dveřní sloupky, poprsnice, vaznice, podokenní sloupky a výztuhy, které jsou vzájemně svařeny. Vnější obložné plechy jsou v horní části s vnitřními plechy sestaveny z okenních polí, které jsou prolisované a k sobě bodově přivařené.

Kostru střechy tvoří vaznice, které spojují střešní kružiny z plechu. Střecha je potažena plechem, který je v podélném směru prolisován.

Čelo skříně tvoří krajní dveřní sloupky, šikmé čelní sloupky a podokenní sloupky, propojené navzájem vaznicí. Boční a čelní okna jsou vymezena okenními lemy. Spodní část čela je obložena plechem.



Obr. 1,9 – Motorový vůz ř. 810

Spalovací motor LIAZ ML 634 je vznětový čtyřdobý šestiválec v ležatém uspořádání, známý i z dnes již historických autobusů ŠKODA ŠM 11 (vyráběných od roku 1965). Tento agregát s přímým vstřikem paliva není přeplňovaný. Chlazení motoru je vodní, voda se ochlazuje v chladiči se žaluziemi a ventilátorem, poháněným hydromotorem. Mazání motoru zajišťuje dvojité čerpadlo, mazivo je chlazeno vodou.

Motorový vůz má dva jednonápravové podvozky - hnací a běžný. Rám je svařen ze dvou prohnutých podélníků a dvou příčníků. Ve směru svislém mají podvozky jednoduché vypružení, ve směru příčném a podélném dvojité vypružení.

Na rámu podvozku jsou upevněny trny provedení ložiskových skříní a narážky, které omezují vzájemné pohyby vozové skříně vůči rámu podvozku ve všech směrech. Dále je na rámu připevněno brzdové pákoví, příčný tlumič, pružná táhla pro podélné vedení skříně a zábrany.

Vůči dvojkolí je rám podvozku vypružen čtyřmi sadami šroubových pružin, navlečených na vodící trny, upevněné na rámu.

Vozová skříně je na rámu každého podvozku zavěšena pomocí čtyř svislých závěsů, z nichž dva jsou v příčném směru propojeny vahadly.

Svislé i příčné pohyby skříně zajišťují hydraulické tlumiče. Podélné síly mezi skříní a rámem jsou pružně přenášeny pomocí táhel s pryžovými klouby.

Všechna kola jsou oboustranně brzděna jednoduchými dvoudílnými zdržemi.



## 2 Výpočet výkonů klimatizační jednotky

### 2.1 Výpočet vytápěcího výkonu

Určení vhodného výkonu klimatizace ovlivňuje spousta faktorů. Vytápění a větrání vozidla musí spolehlivě pracovat v celém rozsahu podmínek. Jednotku v rámci tepelně technických výpočtů budu uvažovat v tzv. v normálním provozním stavu. Normální provozní stav je takový stav, kdy vozidlo je dokončené a vystrojené podle příslušných technických podmínek. Okna, vnější a vnitřní dveře jsou zavřené, režim vytápění a větrání odpovídá stavu, který se předpokládá pro danou venkovní teplotu.

Při navrhování vytápěcího zařízení je nutno vycházet z údajů zahrnutých do:

- Pracovních a provozních podmínek
- Klimatických poměrů vně a uvnitř vozidla
- Požadavků na výměnu a čistotu vzduchu
- Tepelně technických požadavků na skříň vozidla

#### 2.1.1 Tepelná ztráta vzniklá prostupem tepla za klidu

Tepelné ztráty se počítají pro každou jednotlivou místnost zvlášť a jejich souhrn (součet) tvoří celkovou přesnou tepelnou ztrátu objektu. Velký rozdíl nastává ve výpočtu tepelné ztráty prostupem tepla. Tato ztráta závisí na tepelně izolačních vlastnostech materiálu, které se používají pro stavbu vozidlové skříně, poměrech ve vzduchové vrstvě v bezprostřední blízkosti ploch skříně, na rychlosti ochlazování skříně a rozdílu vnější a vnitřní vozové teplotě.

Základní vzorec pro výpočet ztráty tepla za klidu:

$$Q_k = \sum k_j S_j (t_i - t_e)$$

kde:

$Q_k$ ... celková ztráta prostupem tepla za klidu [W]

$k_j$ ... součinitel tepelného prostupu [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$S_j$ ... vnější plocha j-té části skříně vozidla, která ohraničuje vytápěcí prostor [ $m^2$ ]

$t_i$ ... vnitřní teplota (v prostoru pro cestující) [ $^{\circ}C$ ; K]

$t_e$ ... vnější teplota (teplota, venkovního ovzduší) [ $^{\circ}C$ ; K]

Základní vzorec pro výpočet součinitele tepelného prostupu jednoduchou rovinnou stěnou:

$$k_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

kde:

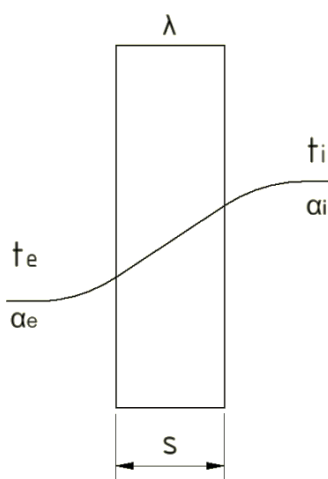
$k_j$ ... součinitel tepelného prostupu [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\alpha_i$ ... vnitřní součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\alpha_e$ ... vnější součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\lambda$ ... tepelná vodivost [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$s$ ... tloušťka materiálu stěny [m]



Obr. 2,1 – Prostup tepla jednoduchou rovinnou stěnou

Tepelná vodivost  $\lambda$  představuje rychlost, s jakou se teplo šíří z jedné zahřáté části látky do jiných, chladnějších částí. Běžně používané materiály mají hodnoty, které jsou uvedené v tabulce níže.

Materiál	$\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
hliníkový plech	230
ocelový plech	45
umakart	0,17
fibrex	0,047
itaver, polystyren	0,035
moniflex	0,0565
antivibrál	0,605
voduvzdorná překližka	0,230
podlahová krytina	0,160
dupronit	0,20
skelný laminát	0,209
sklo	0,756
vzduch	0,024
guma tvrdá	0,160
guma pěnová	0,047
linoleum	0,190
korkové desky	0,062
terophon	0,070
argon	0,016

Tabulka 2,1 – Tepelně izolační vlastnosti jednotlivých materiálů

#### *Vnější a vnitřní součinitel přestupu*

Vlastnost hodnotící vliv celé konstrukce a k ní přilehlých vzduchových vrstev na šíření tepla prostupem. Zahrnuje vliv všech tepelných mostů včetně vlivu prostupujících hmoždinek a kotev, které jsou součástí konstrukce. Pro tento případ výpočtu byly zvoleny hodnoty, které byly zjištěny pro osobní vůz Českých drah.

Vnější součinitel přestupu povrchu skříně vozidla $\alpha_e$ [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]	Vnitřní součinitel přestupu povrchu skříně vozidla $\alpha_i$ [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]	
19,125	bočnice	8,1
	střecha	8,7
	dveře, čelnice	9,2
	topnice	28,8
	okna	11
	podlaha	6,9

Tabulka 2,2 – Součinitele přestupu povrchu skříně vozidla pro osobní vůz ČD

*Výpočet vnějšího součinitele přestupu*

Je závislý na rychlosti pohybujícího se vozidla a vypočítá se podle vztahu:

$$\alpha_e = 9 + 3,5 \cdot v^{0,66}$$

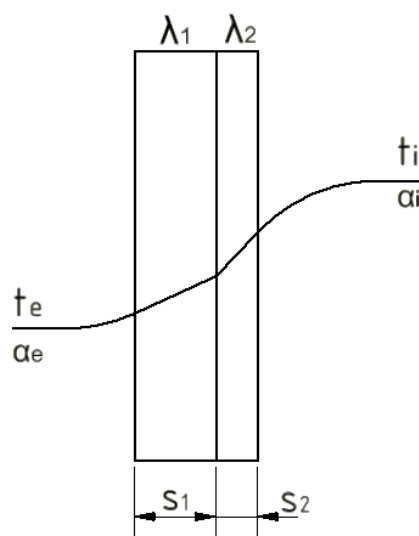
kde:

$\alpha_e$ ... vnější součinitel přestupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$v$ ... rychlost vozidla [ $km \cdot h^{-1}$ ]

Základní vzorec pro výpočet součinitele tepelného prostupu složenou rovinnou stěnou:

$$k_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$



Obr. 2,2 – Prostup tepla složenou rovinnou stěnou

Výslednou hodnotu součinitele prostupu tepla je třeba navýšit o 5-10 %. Je to z důvodů zhoršení izolačních vlastností stěny a tepelných můstků.

### 2.1.2 Tepelná ztráta netěsností skříně a zhoršenými poměry při jízdě (infiltraci)

$$Q_i = \sum V_{ij} \cdot c_L \cdot \rho_L \cdot (t_i^* - t_e) = c_L \cdot \rho_L V_i \cdot (t_i^* - t_e)$$

kde:

$Q_i$ ... tepelná ztráta infiltrací [W]

$V_{ij}$ ... objemový průtok infiltrovaného vzduchu stěnami [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$V_i$ ... celkový objemový průtok infiltrovaného vzduchu [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$c_L$ ... měrná tepelná kapacita vzduchu při stálém tlaku [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$\rho_L$ ... hustota vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$t_i^*$ ... průměrná vnitřní teplota [ $^{\circ}C; K$ ]

$t_e$ ... průměrná vnější teplota [ $^{\circ}C; K$ ]

Protože určení objemu infiltrovaného vzduchu je velmi složité (je třeba provádět měření koeficientu provzdušnosti oken a dveří), bere se v úvahu část základní tepelné ztráty prostupu tepla za klidu  $Q_k$ , která činí 10-20 %.

### 2.1.3 Tepelná ztráta větráním

$$Q_V = c_L \cdot \rho_L \cdot V_L \cdot (t_i - t_e)$$

$$V_L = n \cdot V_x \text{ [} m^3 \cdot s^{-1} \text{]}$$

kde:

$V_L$ ... celkový objemový průtok čerstvého venkovního větracího vzduchu [ $m^3/s$ ]

$Q_V$ ... tepelná ztráta větráním [W]

$n$ ... počet cestujících normálně obsazeného vozidla

$t_i$ ... průměrná vnitřní teplota [ $^{\circ}C; K$ ]

$t_e$ ... průměrná vnější teplota [ $^{\circ}C; K$ ]

$V_x$ ... normální objemový průtok čerstvého venkovního větracího vzduchu na jednoho cestujícího [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ] (udává norma ČSN EN 14750-1)

### 2.1.4 Výpočet celkových tepelných ztrát

Jedná se o součet všech jednotlivých ztrát.

$$Q = Q_k + Q_i + Q_V \text{ [W]}$$

kde:

$Q$ ... celková tepelná ztráta [W]

$Q_k$ ... celková ztráta prostupem tepla za klidu [W]

$Q_i$ ... tepelná ztráta infiltrací [W]

$Q_V$ ... tepelná ztráta větráním [W]

### 2.1.5 Výpočet tepelného zisku

Tyto zisky jsou dány součtem jednotlivých vnitřních zdrojů tepla, k nimž je nutno připočítat i teplo, kterým se vzduch ohřeje při proudění mezi chladičem a klimatizovanou místností, event. je nutno odečíst teplo potřebné na adiabatické odpaření vody z mokřích povrchů v klimatizovaných místnostech.

$$Q_z = Q_{li} + Q_m + Q_{sl} \text{ [W]}$$

kde:

$Q_z$ ... celkový tepelný zisk [W]

$Q_{li}$ ... produkce tepla osobami ve vozidle [W]

$Q_m$ ... produkce tepla od vnitřních zdrojů [W]

$Q_{sl}$ ... teplo vzniklé od slunečního záření [W]

Z podmínky pro výpočet výkonu vytápění je zřejmé, že zisk od cestujících a od slunečního záření odpadá. Zbývá tedy jen produkce tepla od vnitřních zdrojů.

Po dosazení vyjde upravený vzorec pro celkový tepelný zisk:

$$Q_z = Q_m [W]$$

V celém vozidle jsou umístěna světla, která produkují určitou část tepla. Pro jednoduchost se počítá s tím, že celý příkon žárovky se změní v teplo. Další komponentou vyzařující teplo jsou informační tabule, obrazovky, ale také ventilátory vytápěcího zařízení. S ohledem na to, že některé výpočty jsou velmi složité, je brán odhad tepelných zdrojů, který přibližně vychází 5000W - 7500W.

### 2.1.6 Celkový příkon vytápění vozidla

Celkový příkon vytápění musí pokrýt celkové tepelné ztráty, které jsou ještě snížené o celkový tepelný zisk.

$$P_v \geq Q - Q_z$$

kde:

$Q_z$ ... celkový tepelný zisk [W]

$P_v$ ... příkon vytápěcího zařízení [W]

## 2.2 Výpočet chladicího výkonu

Jako v předchozím případě pro výpočet výkonu vytápění se berou v úvahu klimatické podmínky, ve kterých se bude dopravní prostředek pohybovat. Určení vhodného výkonu klimatizace ovlivňuje spoustu faktorů. Především na objemu chlazeného vzduchu, tedy na velikosti místnosti v metrech krychlových. Orientaci ke světovým stranám - jižní a západní strana je více tepelně zatěžována. Taktéž větší plochu oken nebo méně kvalitní izolaci je potřeba zohlednit při výpočtu. Výpočty uvedené v kapitole 3.1 je možné aplikovat i pro tento výpočet, avšak je nutné, doplnit je i o ostatní hodnoty.

### Výkon chladicího zařízení

Výkon chladicího zařízení by měl minimálně splňovat celkové tepelné ztráty vozu, které jsou navýšeny o kompletní tepelný zisk. Z toho vyplývá vzorec pro výkon:

$$P_{CH} \leq -Q - Q_z$$

kde:

$P_{CH}$ ... výkon chladicího zařízení [W]

$Q$ ... tepelný zisk přestupem a vedením tepla [W]

$Q_z$ ... celkový tepelný zisk [W]

## Výpočet tepelného zisku

Výpočet tepelného zisku bude proveden v souladu s ČSN 14750. Návrh zařízení zpravidla provádí pro extrémní venkovní klimatické podmínky, které mohou v dané oblasti nastat, tj. pro pokrytí extrémních tepelných toků – v zimě tepelných ztrát, v léte tepelné zátěže.

$$Q_z = Q_{li} + Q_m + Q_{sl}$$

kde:

$Q_z$ ... celkový tepelný zisk [W]

$Q_{li}$ ... produkce tepla osobami ve vozidle [W]

$Q_m$ ... produkce tepla od vnitřních zdrojů [W]

$Q_{sl}$ ... teplo vzniklé od slunečního záření [W]

Z podmínky pro výpočet výkonu vytápění je zřejmé, že zisk od cestujících a od slunečního záření odpadá. Zbývá tedy jen produkce tepla od vnitřních zdrojů.

Po dosažení vyjde upravený vzorec pro celkový tepelný zisk:

$$Q_z = Q_m$$

V celém vlaku jsou umístěna světla, která produkují určitou část tepla. Pro jednoduchost se počítá s tím, že celý příkon zářivky se změní v teplo. Další komponentou vyzařující teplo jsou informační tabule, obrazovky, ale také ventilátory vytápěcího zařízení. S ohledem na to, že některé výpočty jsou velmi složité, je brán odhad tepelných zdrojů, který přibližně vychází 5000 W.

### Tepelný zisk od slunečního záření [16]

Tepelný zisk od slunečního záření se vypočítá podle vztahu:

$$Q_{sl} = Q_{S,F} + Q_{S,W} + Q_{S,D}$$

kde:

$Q_{sl}$ ... celkové sluneční zatížení [W]

$Q_{S,F}$ ... sluneční zatížení okenních prostor [W]

$Q_{S,W}$ ... sluneční zatížení prostor bočních stěn [W]

$Q_{S,D}$ ... sluneční zatížení prostor střechy [W]

Výpočet zisku od propustnosti slunečního záření okny je dán vztahem:

$$Q_{S,F} = A_F \cdot d_F \cdot q_{S,W} = A_F \cdot d_F \cdot E_N \cdot \cos 30^\circ \text{ [W]}$$

kde:

$A_F$ ... každá boční stěna s okenním prostorem [ $m^2$ ]

$d_F$ ... celkový součinitel prostupu okna [W]

$q_{S,W}$ ... tepelné zatížení způsobené zářením na svislé okno [ $W \cdot m^{-2}$ ]

$E_n$ ... ekvivalentní sluneční zatížení zóny podle ČSN EN 14740-1 [ $W \cdot m^{-2}$ ]

Tepelný zisk od oslnění vozové stěny skříně slunečním zářením je dán vztahem:

$$Q_{S,W} = \frac{k_w}{\alpha_e} \cdot A_w \cdot q_{SF} \cdot \varepsilon = \frac{k_w}{9} \cdot A_w \cdot \varepsilon \cdot E_n \cdot \cos 30^\circ$$

kde:

$k_w$ ... hodnota součinitele prostupu boční stěny [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$A_w$ ... celkový povrch boční stěny bez prostoru oken [ $m^2$ ]

$\alpha_e$ ... vnější součinitel přestupu tepla povrchu skříně vozidla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\varepsilon$ ... součinitel absorpce slunečního záření- 0,5-0,8

$q_{s,w}$ ... tepelné zatížení způsobené zářením na svislou boční stěnu [ $W \cdot m^{-2}$ ]

$E_n$ ... ekvivalentní sluneční zatížení zóny podle přílohy E, ČSN EN 14740-1 [ $W \cdot m^{-2}$ ]

Tepelný zisk od oslnění vozové střechy skříně slunečním zářením je dán vztahem:

$$Q_{S,D} = \frac{k_d}{\alpha_e} \cdot A_D \cdot q_{s,d} \cdot \varepsilon = \frac{k_d}{\alpha_e} \cdot A_D \cdot \varepsilon \cdot E_n \cdot \cos 30^\circ [W]$$

kde:

$k_d$ ... hodnota součinitele prostupu střechy [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$A_d$ ... celkový povrch střechy [ $m^2$ ]

$\alpha_e$ ... vnější součinitel přestupu tepla povrchu skříně vozidla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\varepsilon$ ... součinitel absorpce slunečního záření - 0,5...0,8

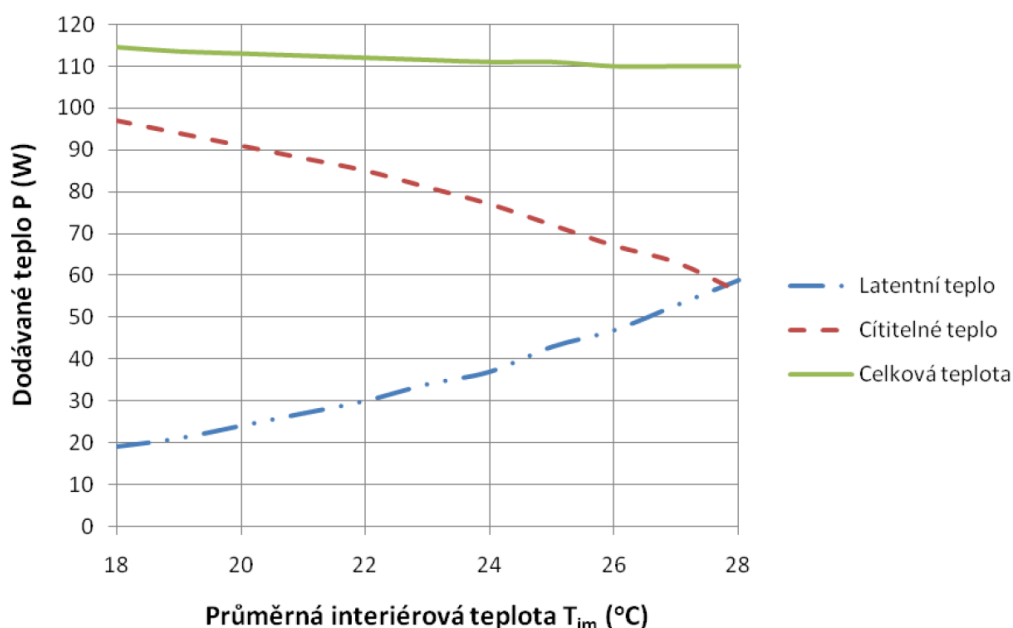
$q_{s,d}$ ... tepelné zatížení způsobené zářením na střechu [ $W \cdot m^{-2}$ ]

$E_n$ ... ekvivalentní sluneční zatížení zóny podle ČSN EN 14740-1 [ $W \cdot m^{-2}$ ]

### Produkce tepla od cestujících ve vozidle

Výpočet na základě tepelné bilance prezentuje produkci citelného a vázaného tepla od osob v závislosti na věku, fyzických proporcích, druhu činnosti a tepelně-vlhkostních podmínkách v prostoru. Produkci tepla od osob lze stanovit na základě rovnice tepelné rovnováhy, která bilancuje lidské tělo jako celek.

Pro případ výpočtu výkonu chladicího zařízení motorového vozu je produkce tepla od osob nenulová, jelikož je to jeden z požadavků podle normy ČSN EN 14750-1. Podle obrázku 3,3 se určí při dané vnitřní teplotě vnímané a latentní teplo a poté podle počtu osob normálně obsazené tramvaje celková produkce tepla všech cestujících.



Obr. 2,3 – Produkce tepla od sedících normálně oblečených cestujících

### 3 Řešení výpočtu výkonu klimatizačního zařízení motorového vozu

#### 3.1 Výpočet vnějšího součinitele přestupu $k$

Součinitel je závislý na rychlosti pohybujícího se vozidla a vypočítá se podle vztahu:

$$\alpha_e = 9 + 3,5 \cdot v^{0,66}$$

pro rychlost  $v = 5 [km \cdot h^{-1}]$

$$\alpha_e = 9 + 3,5 \cdot v^{0,66} = 9 + 3,5 \cdot 5^{0,66} = 19,125 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Rychlost vozidla $w [km \cdot h^{-1}]$	Vnější součinitel přestupu povrchu skříně vozidla $\alpha_e [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
5	19,125
80	72,111

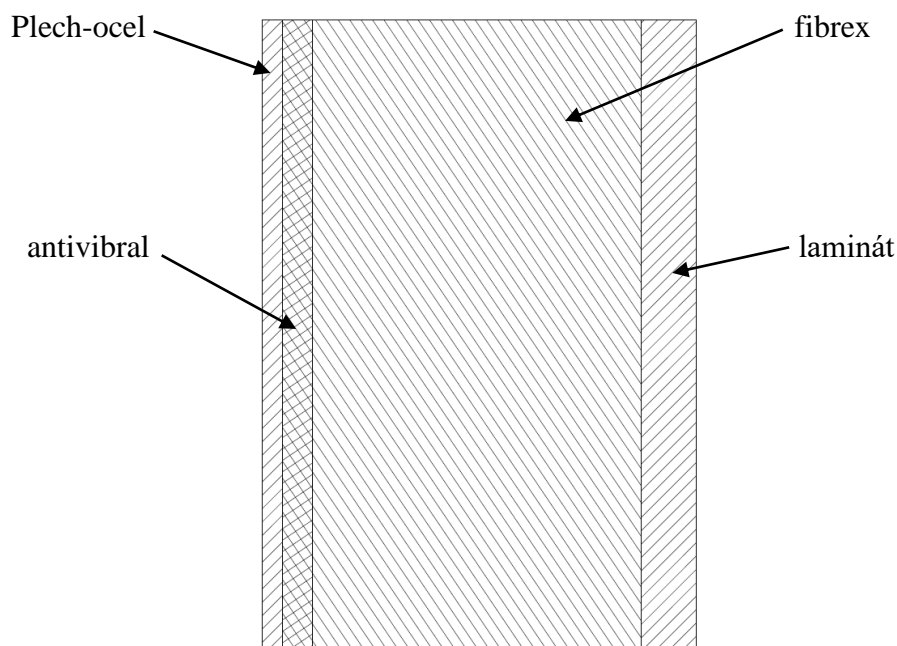
Tabulka 3,1 – Výsledek vnějšího součinitele přestupu pro různé rychlosti vozidla

#### 3.2 Návrh izolace a výpočet součinitele prostupu tepla

Základní vzorec pro výpočet součinitele prostupu:

$$k_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_c} + \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\lambda_{i_j}} \right) + \frac{1}{\alpha_e}} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

a) Bočnice



Obr. 3,1 – Návrh izolace bočnice



Materiál	Tloušťka [mm]	Tepelná vodivost $\lambda$ [W/mK]
plech-ocel	1,5	45
antivibral	2	0,605
fibrex	45	0,047
laminát	4	0,209

Tabulka 3,2 – Tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů

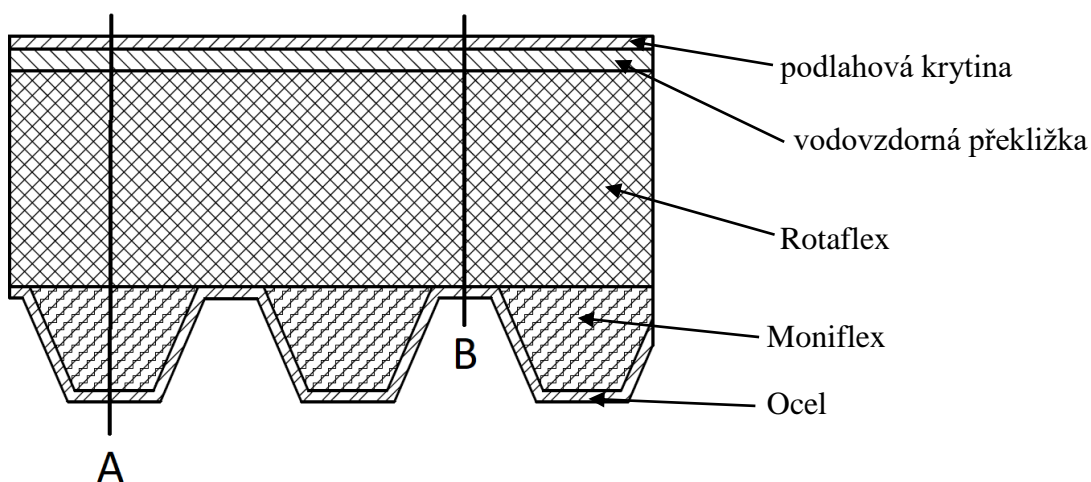
Výpočet součinitele tepelného prostupu  $k_{Bočnice}$  při rychlosti vozidla 5 [km·h<sup>-1</sup>]:

$$k_{Bočnice} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + \frac{0,0015}{45} + \frac{0,002}{0,605} + \frac{0,045}{0,047} + \frac{0,004}{0,209} + \frac{1}{19,125}} = 0,865 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Rychlost vozidla w [km·h <sup>-1</sup> ]	Základní součinitel prostupu tepla [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
5	0,865
80	0,895

Tabulka 3,3 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

a) Podlaha



Obr. 3,2 – Návrh izolace podlahy

Materiál	Tloušťka [mm]	Tepelná vodivost $\lambda$ [W/mK]
podlahová krytina	3	0,160
vodovzdorná překližka	15	0,230
Rotaflex	30	0,035
Moniflex	23	0,0565
ocel	1,5	45

Tabulka 3,4 – Tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů

**Řez A**

Výpočet součinitele tepelného prostupu  $k_{Podlaha}$  při rychlosti vozidla 5 [ $km \cdot h^{-1}$ ]:

$$k_{Podlaha} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \frac{0,003}{0,160} + \frac{0,015}{0,230} + \frac{0,030}{0,035} + \frac{0,025}{0,0565} + \frac{1}{19,125}} = 0,633 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Rychlost vozidla w [ $km \cdot h^{-1}$ ]	Základní součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
5	0,633
80	0,648

Tabulka 3,5 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla (řez A)

**Řez B**

Výpočet součinitele tepelného prostupu  $k_{Podlaha}$  při rychlosti vozidla 5 [ $km \cdot h^{-1}$ ]:

$$k_{Podlaha} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \frac{0,003}{0,160} + \frac{0,015}{0,230} + \frac{0,030}{0,035} + \frac{1}{19,125}} = 0,878 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Rychlost vozidla w [ $km \cdot h^{-1}$ ]	Základní součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
5	0,878
80	0,909

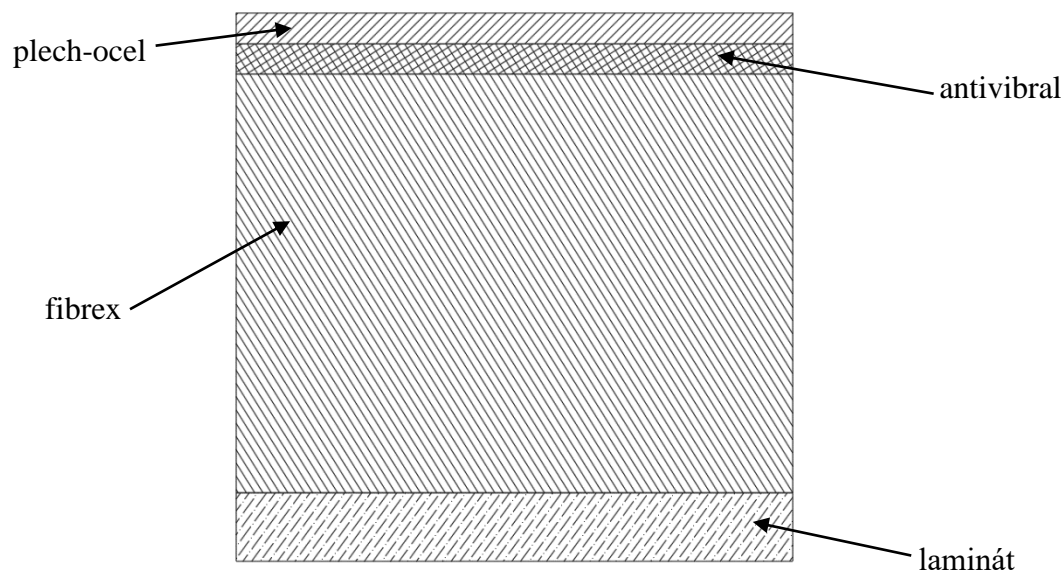
Tabulka 3,6 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla (řez B)

Průměrná hodnota:

Rychlost vozidla w [ $km \cdot h^{-1}$ ]	Základní součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
5	0,755
80	0,779

Tabulka 3,7 – Střední základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

## b) Střecha



Obr. 3,3 – Návrh izolace střechy

<b>Materiál</b>	<b>Tloušťka [mm]</b>	<b>Tepelná vodivost <math>\lambda</math> [W/mK]</b>
plech-ocel	2	45
antivibrál	2	0,605
fibrex	50	0,047
laminát	4	0,209

Tabulka 3,8 – Tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů

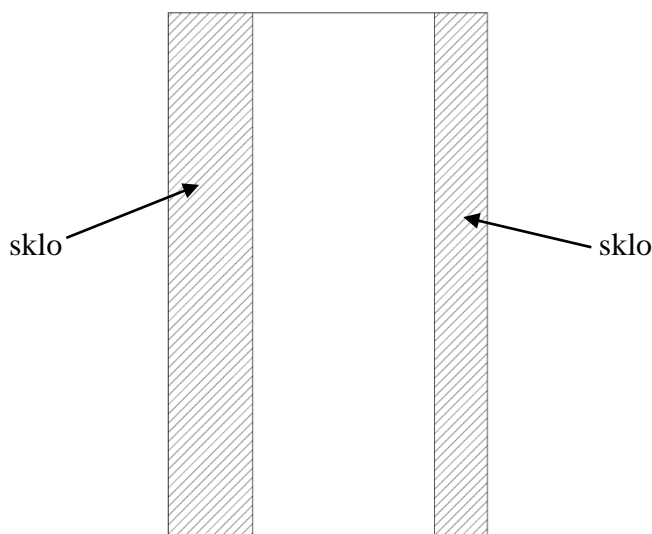
Výpočet součinitele tepelného prostupu  $k_{střecha}$  při rychlosti vozidla 5 [km·h<sup>-1</sup>]:

$$k_{střecha} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,002}{45} + \frac{0,002}{0,605} + \frac{0,05}{0,047} + \frac{0,004}{0,209} + \frac{1}{19,125}} = 0,797 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

<b>Rychlost vozidla w [km·h<sup>-1</sup>]</b>	<b>Základní součinitel prostupu tepla [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>]</b>
5	0,797
80	0,823

Tabulka 3,9 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

## c) Okno



Obr. 3,4 – Návrh izolace okna

Materiál	Tloušťka [mm]	Tepelná vodivost $\lambda$ [W/mK]
sklo	6	0,756
vzduch	10	0,0257
sklo	4	0,756

Tabulka 3,10 – Tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů

Výpočet součinitele tepelného prostupu  $k_{okno}$  při rychlosti vozidla 5 [km·h<sup>-1</sup>]:

$$k_{střecha} = \frac{1}{\frac{1}{11} + \frac{0,006}{0,756} + \frac{0,01}{0,0257} + \frac{0,004}{0,756} + \frac{1}{19,125}} = 1,972 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Rychlost vozidla w [km·h <sup>-1</sup> ]	Základní součinitel prostupu tepla [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
5	1,833
80	1,972

Tabulka 3,11 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

## d) Dveře

Dveře jsou stejné konstrukce izolace jako bočnice, tudíž hodnota součinitele prostupu je totožná.

$$k_{dveře} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + \frac{0,0015}{45} + \frac{0,002}{0,605} + \frac{0,045}{0,047} + \frac{0,004}{0,209} + \frac{1}{19,125}} = 0,865 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Rychlost vozidla w [km·h <sup>-1</sup> ]	Základní součinitel prostupu tepla [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
5	0,865
80	0,895

Tabulka 3,12 – Základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

Výslednou hodnotu je třeba navýšit o 5-10%. Je to z důvodů zhoršení izolačních vlastností stěny a tepelných můstků.

Část skříně	Rychlost vozidla $w$ [km·h <sup>-1</sup> ]	Základní součinitel prostupu tepla [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	Navýšený součinitel prostupu tepla o 5% [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Bočnice	5	0,865	0,908
	80	0,895	0,940
Podlaha	5	0,755	0,793
	80	0,779	0,818
Střecha	5	0,797	0,837
	80	0,823	0,864
Okna	5	1,833	1,925
	80	1,972	2,07
Dveře	5	0,865	0,908
	80	0,895	0,940

Tabulka 3,13 – Výslední součinitele prostupu tepla podle částí skříně

### 3.3 Výpočet výkonu vytápěcího zařízení

Vytápěcí zařízení musí doplňovat tepelné ztráty vznikající:

- Prostupem tepla za jízdy
- Netěsností skříně a zhoršenými poměry při jízdě (infiltrací)
- Větráním (např. otevřená okna a hlavně větrání při výstupu a nástupu cestujících do vozidla)

Vstupní hodnoty a požadavky zjištěné z normy ČSN EN 14750-1:

- $t_i = 19$  [°C]
- $t_e = -20$  [°C]
- Při max. rychlosti vozidla
- Bez cestujících
- Bez slunečního záření

#### Tepelná ztráta vozidla prostupem tepla

Základní vzorec:

$$Q_k = \sum k_j S_j (t_i - t_e)$$

kde:

$Q_k$ ... celková ztráta prostupem tepla za klidu [W]

$k_j$ ... součinitel tepelného prostupu [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>]

$S_j$ ... vnější plocha j-té části skříně vozidla, která ohraničuje vytápěcí prostor [m<sup>2</sup>]

$t_i$ ... vnitřní teplota (v prostoru pro cestující) [°C, K]

$t_e$ ... vnější teplota (teplota, venkovního ovzduší) [°C, K]

Potom výpočet pro jednotlivé části skříně vozidla:

$$Q_{Bočnice} = k_{Bočnice} \cdot S_B(t_i - t_e) = 0,908 \cdot 32,96 \cdot (19 - (-20)) = 1167,18 \text{ [W]}$$

$$Q_{Podlaha} = k_{Podlaha} \cdot S_P(t_i - t_e) = 0,793 \cdot 38,1 \cdot (19 - (-20)) = 1178,32 \text{ [W]}$$

$$Q_{Střecha} = k_{Střecha} \cdot S_S(t_i - t_e) = 0,837 \cdot 42,88 \cdot (19 - (-20)) = 2308,51 \text{ [W]}$$

$$Q_{Okna} = k_{Okna} \cdot S_O(t_i - t_e) = 2,07 \cdot 18,75 \cdot (19 - (-20)) = 1399,73 \text{ [W]}$$

$$Q_{Dveře} = k_{Dveře} \cdot S_D(t_i - t_e) = 0,908 \cdot 1,8 \cdot (19 - (-20)) = 63,74 \text{ [W]}$$

$$Q_k = \sum Q_j = 1167,18 + 1178,32 + 2308,51 + 1399,73 + 63,74 = 6117,48 \text{ [W]}$$

### Tepelná ztráta netěsnostmi skříně a zhoršenými poměry při jízdě (infiltraci)

$$Q_i = 20\% \cdot Q_k = 20\% \cdot 6117,48 = 1223,5 \text{ [W]}$$

### Tepelná ztráta větráním

$$Q_V = 0,335 \cdot V_L \cdot (t_i - t_e)$$

$$V_L = n \cdot V_x$$

kde:

$V_L$ ... celkový objemový průtok čerstvého venkovního větracího vzduchu [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$Q_V$ ... tepelná ztráta větráním [W]

$n$ ... počet cestujících normálně obsazeného vozidla

$t_i$ ... průměrná vnitřní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_e$ ... průměrná vnější teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$V_x$  - je hodnota, která se určila z normy ČSN EN 14750-1 a činí  $12 \text{ m}^3/\text{h}$  / cestujícího a počet cestujících v normálně obsazené tramvaji je 95.

$$Q_V = 0,335 \cdot 95 \cdot 12 \cdot (19 - (-20)) = 14894,1 \text{ [W]}$$

### Výpočet celkových tepelných ztrát

$$Q = Q_k + Q_i + Q_V = 6117,48 + 1223,5 + 14891,1 = 22235,08 \text{ [W]}$$

### Výpočet celkových zisků

Z podmínky pro výpočet vytápění je zřejmé, že zisk od slunečního záření odpadá. Zbývá tedy jen produkce tepla od vnitřních zdrojů a od sedících cestujících.

Odhad tepelných zdrojů vychází přibližně  $5000 \text{ W}$ .

$$Q_m = 5000 \text{ [W]}$$

Produkce tepla osobami ve vozidle je velmi důležitá. Podle obrázku se určí při dané vnitřní teplotě vnímané a latentní teplo a poté podle počtu osob normálně obsazené tramvaje celková produkce tepla všech cestujících.

Pro průměrnou vnitřní teplotu +19 °C platí:

- Vnímané (sensible) teplo 95 W
- Latentní teplo 25 W

Celkové teplo vyprodukované jednou osobou je:  $Q_{os1} = 120 [W]$

Celkové teplo od produkce sedících osob ve vozidle je:

$$Q_{li} = Q_{os1} \cdot n = 120 \cdot 95 = 11400 [W]$$

$$Q_z = Q_{os1} + Q_{li} = 5000 + 11400 = 16400 [W]$$

### Celkový příkon vytápění vozidla

Celkový příkon vytápění motorového viozu musí pokrýt celkové tepelné ztráty, které jsou ještě snižené o celkový tepelný zisk.

$$P_V \geq Q - Q_z [W]$$

$$P_V \geq 22235,08 - 5000 [W]$$

$$P_V \geq 17235,08 [W]$$

### Závěr a vyhodnocení vytápěcího výkonu

Výpočet vytápěcího příkonu je jednou z částí celkového výpočtu a návrhu klimatezace pro motorový vůz, ale v daném případě jsme budeme považovat již existující řešení – teplovzdušné vytápění, využívající tepla z chladicího okruhu spalovacího motoru, jehož součástí je navíc přídatný naftový teplovodní agregát VA 20. Vytápění stanovíšť strojvedoucího zajišťují kalorifery.

### 3.4 Výpočet chladicího výkonu

Jak již bylo zmíněno předtím, postup výpočtu výkonu je velmi podobný jako při vytápění, jen některé vstupní hodnoty se změny a celý výpočet bude doplněn o vstupující tepelné zisky.

Vstupní hodnoty a požadavky zjištěné z normy ČSN EN 14750-1:

- $t_i = 29 [^{\circ}C]$
- $t_e = 35 [^{\circ}C]$
- Při stojícím vozidle
- Při normálně obsazeném vozidle
- Se slunečním zářením

### Základní ztráta prostupu tepla za klidu

Základní vzorec:

$$Q_k = \sum k_j S_j (t_i - t_e) [W]$$

Potom výpočet pro jednotlivé části skříně vozidla:

$$Q_{Bočnice} = k_{Bočnice} \cdot S_B (t_i - t_e) = 0,908 \cdot 32,96 \cdot (29 - 35) = -179,57 [W]$$

$$Q_{Podlaha} = k_{Podlaha} \cdot S_P (t_i - t_e) = 0,793 \cdot 38,1 \cdot (29 - 35) = -181,28 [W]$$

$$Q_{Střecha} = k_{Střecha} \cdot S_S(t_i - t_e) = 0,837 \cdot 42,88 \cdot (29 - 35) = -215,34 [W]$$

$$Q_{Okna} = k_{Okna} \cdot S_O(t_i - t_e) = 2,07 \cdot 18,75 \cdot (29 - 35) = -232,88 [W]$$

$$Q_{Dveře} = k_{Dveře} \cdot S_D(t_i - t_e) = 0,908 \cdot 1,8 \cdot (29 - 35) = -9,8 [W]$$

$$Q_k = \sum Q_j = -179,57 - 181,28 - 215,34 - 232,88 - 9,8 = -818,87 [W]$$

### Tepelná ztráta netěsnostmi skříně a zhoršenými poměry při jízdě (infiltraci)

$$Q_i = 20\% \cdot Q_k = 20\% \cdot (-818,87) = -163,78 [W]$$

### Tepelná ztráta větráním

$$Q_V = 0,335 \cdot V_L(t_i - t_e) = 0,335 \cdot 95 \cdot 12 \cdot (29 - 35) = -2291,4 [W]$$

### Výpočet celkových tepelných zisků vedením tepla

$$Q = Q_k + Q_i + Q_V = -818,87 - 163,78 - 2291,4 = -3274,05 [W]$$

### Tepelný zisk od pasažérů

Produkce tepla osobami ve vozidle je velmi důležitá při výpočtu výkonu chladicího zařízení. Podle obrázku 2.7 se určí při dané vnitřní teplotě vnímané a latentní teplo a poté podle počtu osob normálně obsazené tramvaje celková produkce tepla všech cestujících.

Pro průměrnou vnitřní teplotu +29 °C platí:

- Vnímané (sensible) teplo 53 W
- Latentní teplo 65 W

Celkové teplo vyprodukované jednou osobou je:  $Q_{os1} = 118 [W]$

Celkové teplo od produkce osob v normálně obsazeném vozidle je:

$$Q_{li} = Q_{os1} \cdot n = 118 \cdot 95 = 11210 [W]$$

### Tepelný zisk od vnitřních zdrojů

Tento tepelný zisk je stejný jako v případě výpočtu výkonu vytápěcího zařízení.

$$Q_m = 5000 [W]$$

### Tepelný zisk od slunečního záření

#### Varianta A

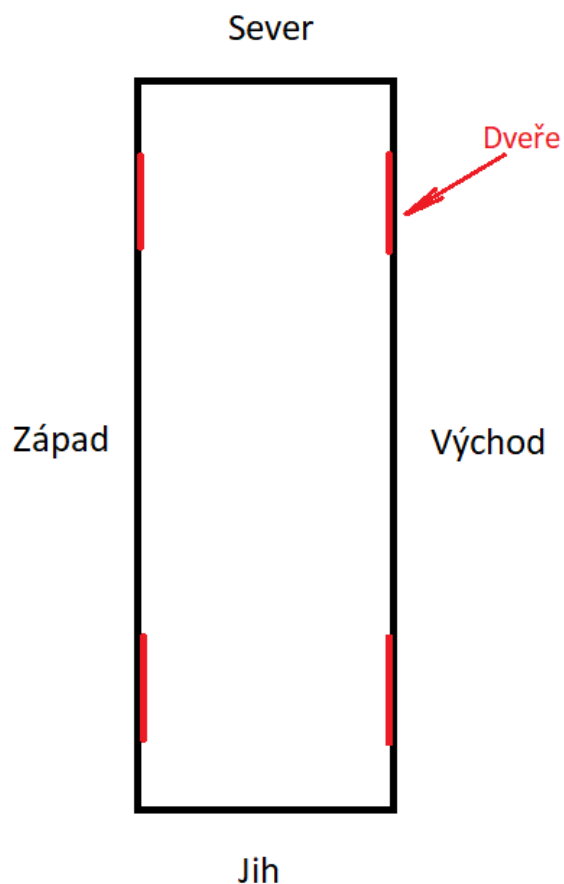
Výpočet zisku od propustnosti slunečního záření okny je dán vztahem:

$$Q_{S,F} = A_F \cdot d_F \cdot q_{s,w} [W]$$

Kde tepelný zisk od oslnění vozové skříně slunečním zářením je dán vztahem:

$$Q_{osvk} = \sum_{j=1}^n \frac{k_j}{\alpha_{ej}} \cdot S_j \cdot I_{Sj} \cdot \vartheta_j [W]$$





Obr. 3,5 – Jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran

Jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran jsou určeny podle normy ČSN: část 3. Hodnota intenzit je brána pro 15. hodinu.

Světové strana	Intenzita slunečního záření [W·m <sup>-2</sup> ]
SEVER	116
JIH	420
ZÁPAD	637
VÝCHOD	116
HORIZONTÁLNÍ	567
SEVER	116

Tabulka 3,14 – Jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran [17]

Část skříně		Plocha [m <sup>2</sup> ]	Intenzita slunečního záření [W·m <sup>-2</sup> ]	Poměrný součinitel absorpce slunečního záření [W·m <sup>-2</sup> ]
Bočnice	Z	16,48	637	0,8
	V	16,48	116	0,8
Střecha	H	42,88	567	0,65
Okno	Z	8,235	637	0,92
	V	8,235	116	0,92
	J	1,14	420	0,92
	S	1,14	116	0,92
Dveře	V	0,9	116	0,8
	Z	0,9	637	0,8

Tabulka 3,15 – Výslední součinitele prostupu tepla podle částí skříně

$$Q_{\text{osvk-bočnice-z}} = \frac{k_{\text{bočnice}}}{\alpha_e} \cdot S_{Bz} \cdot I_{SBz} \cdot \vartheta_B = \frac{0,908}{19,125} \cdot 16,48 \cdot 637 \cdot 0,8 = 397,7 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-bočnice-v}} = \frac{k_{\text{bočnice}}}{\alpha_e} \cdot S_{Bv} \cdot I_{SBv} \cdot \vartheta_B = \frac{0,908}{19,125} \cdot 16,48 \cdot 116 \cdot 0,8 = 72,6 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-střecha}} = \frac{k_{\text{střecha}}}{\alpha_e} \cdot S_s \cdot I_{SS} \cdot \vartheta_S = \frac{0,837}{19,125} \cdot 42,88 \cdot 567 \cdot 0,65 = 691,6 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-okna-z}} = \frac{k_{\text{okno}}}{\alpha_e} \cdot S_{Oz} \cdot I_{SOz} \cdot \vartheta_S = \frac{2,07}{19,125} \cdot 8,235 \cdot 637 \cdot 0,92 = 522,3 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-okna-v}} = \frac{k_{\text{okno}}}{\alpha_e} \cdot S_{Ov} \cdot I_{SOv} \cdot \vartheta_S = \frac{2,07}{19,125} \cdot 8,235 \cdot 116 \cdot 0,92 = 95,1 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-okna-j}} = \frac{k_{\text{okno}}}{\alpha_e} \cdot S_{Oj} \cdot I_{SOj} \cdot \vartheta_S = \frac{2,07}{19,125} \cdot 1,14 \cdot 420 \cdot 0,92 = 47,7 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-okna-s}} = \frac{k_{\text{okno}}}{\alpha_e} \cdot S_{Os} \cdot I_{SOs} \cdot \vartheta_S = \frac{2,07}{19,125} \cdot 1,14 \cdot 116 \cdot 0,92 = 13,2 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-dveře-v}} = \frac{k_{\text{dveře}}}{\alpha_e} \cdot S_{Dv} \cdot I_{SDv} \cdot \vartheta_S = \frac{0,908}{19,125} \cdot 0,9 \cdot 637 \cdot 0,92 = 25 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-dveře-z}} = \frac{k_{\text{dveře}}}{\alpha_e} \cdot S_{Dz} \cdot I_{SDz} \cdot \vartheta_S = \frac{0,908}{19,125} \cdot 0,9 \cdot 116 \cdot 0,92 = 4,5 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{osvk-podlaha}} = 0 \text{ [W]}$$

**Celkový zisk od oslnění skříně slunečním zářením**

$$Q_{\text{osvk}} = \sum Q_{\text{osvk} - j} = 397,7 + 72,6 + 691,6 + 522,3 + 95,1 + 47,7 + 13,2 + 25 + 4,5 = 1869,7 \text{ [W]}$$

Výpočet zisku od propustnosti slunečního záření okny je dán vztahem:

$$Q_{\text{PSZ}} = S_0 \cdot I_{\text{Sj}} \cdot \zeta_j \text{ [W]}$$

Část skříně		Plocha [m <sup>2</sup> ]	Intenzita slunečního záření [W·m <sup>-2</sup> ]	Poměrný součinitel absorpce slunečního záření [W·m <sup>-2</sup> ]
Okno	Z	8,235	637	0,43
	V	8,235	116	0,43
	J	1,14	420	0,43
	S	1,14	116	0,43

Tabulka 3,16 – Hodnoty součinitele propustnosti sl. záření okny

$$Q_{\text{PSZ-okna-z}} = S_0 \cdot I_{\text{Sj}} \cdot \zeta_j = 8,235 \cdot 637 \cdot 0,43 = 2255,6 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{PSZ-okna-v}} = S_0 \cdot I_{\text{Sj}} \cdot \zeta_j = 8,235 \cdot 116 \cdot 0,43 = 410,8 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{PSZ-okna-j}} = S_0 \cdot I_{\text{Sj}} \cdot \zeta_j = 1,14 \cdot 420 \cdot 0,43 = 205,9 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{PSZ-okna-s}} = S_0 \cdot I_{\text{Sj}} \cdot \zeta_j = 1,14 \cdot 116 \cdot 0,43 = 568,9 \text{ [W]}$$

Celkový zisk od propustnosti slunečního záření okny je dán:

$$Q_{\text{PSZ}} = \sum Q_{\text{PSZ} - j} = 2255,6 + 410,8 + 205,9 + 568,9 = 3441,2 \text{ [W]}$$

Typ	Tepelný zisk od slunečního zatížení [W]
Od oslnění skříně slunečním zářením	1869,7
Od propustnosti slunečního záření okny	3441,2
	<b>Σ = 5310,9 [W]</b>

Tabulka 3,17 – Zisk od slunečního zatížení

**Varianta B**

Výpočet zisku od propustnosti slunečního záření okny je dán vztahem:

$$Q_{\text{SF}} = A_F \cdot d_F \cdot q_{\text{s,w}} = A_F \cdot d_F \cdot E_N \cdot \cos 30^\circ$$

$$Q_{\text{S,F}} = (11 + 11 + 0,94 + 0,94 + 9,08 + 1,33 + 1,48 + 13,66) \cdot 0,4 \cdot 700 \cdot \cos 30^\circ = \\ = 0,4 \cdot 49,43 \cdot 700 \cdot \cos 30^\circ = 11986,1 \text{ [W]}$$

Tepelný zisk od oslnění vozové stěny skříně slunečním zářením je dán vztahem:

$$Q_{S,W} = \frac{k_w}{\alpha_e} \cdot A_w \cdot q_{SF} \cdot \varepsilon = \frac{k_w}{9} \cdot A_w \cdot \varepsilon \cdot E_n \cdot \cos 30^\circ$$

$$Q_{S,W} = \frac{0,908}{19,125} \cdot (11 + 11 + 0,94 + 0,94 + 9,08) \cdot 0,8 \cdot 700 \cdot \cos 30^\circ =$$

$$= \frac{0,908}{9} \cdot 32,96 \cdot 0,8 \cdot 700 \cdot \cos 30^\circ = 1612,6 [W]$$

Tepelný zisk od oslnění vozové střechy skříně slunečním zářením je dán vztahem:

$$Q_{S,D} = \frac{k_d}{\alpha_e} \cdot A_D \cdot q_{S,d} \cdot \varepsilon = \frac{k_d}{\alpha_e} \cdot A_D \cdot \varepsilon \cdot E_n \cdot \cos 30^\circ = \frac{0,837}{9} \cdot 42,88 \cdot 0,8 \cdot 700 \cdot \cos 30^\circ =$$

$$1933,9 [W]$$

Tepelný zisk od slunečního záření se vypočítá podle vztahu:

$$Q_{sl} = Q_{S,F} + Q_{S,W} + Q_{S,D} = 11986,1 + 1612,6 + 1933,9 = 15532,6 [W]$$

Varianta	Celkový tepelný zisk od slunečního záření [W]
I	5310,9
II	15532,6

Tabulka 3,18 – Porovnání tepelných zisků od slunečního záření

### Výpočet celkového tepelného zisku

$$Q_z = Q_{li} + Q_m + Q_{sl} = Q_{li} + Q_m + Q_{osvk} + Q_{psz} = 11400 + 5000 + 15532,6 = 31932,6 [W]$$

### 3.5 Celkový výkon chladicího zařízení vozidla

Výkon chladicího zařízení by měl minimálně splňovat celkový tepelný zisk vedením tepla, který je navýšen o kompletní tepelný zisk.

$$P_{CH} \leq -Q - Q_z [W]$$

$$P_{CH} \leq -3274,05 - 31932,6 [W]$$

$$P_{CH} \leq -35206,65 [W] \Rightarrow P_{CH} \geq 35206,65 [W]$$

### 3.6 Výpočet součinitele přenosu tepla

$\alpha_H$  – součinitel přenosu tepla ze vzduchu na vnější povrch:

$$\alpha_H = a + \frac{0,7 \cdot (U+15)}{l^{0,2}}$$

kde:

$a$  – koeficient zohledňující přenos zářivého tepla pro letní podmínky,  $a = 9$  [W/m<sup>2</sup>·K]

$U$  – rychlost vlaku, kterou přijímáme za 60 km/h,

$l$  – délka boční stěny [m]

$$\alpha_H = 9 + \frac{0,7 \cdot (60+15)}{12,196^{0,2}} = 40,83$$

### 3.7 Výpočet rychlosti vzduchu na vstupu do klimakanálů

$$V \cdot P = \frac{V_L \cdot \rho}{f_v}$$

kde:

$V_L$  – celkový objemový průtok čerstvého venkovního větracího vzduchu [m<sup>3</sup>/s]

$\rho$  – hustota vzduchu [kg·m<sup>3</sup>]

$f_v$  – průřez vstupního kanálu [m<sup>2</sup>]

$$V \cdot P = \frac{0,333 \cdot 1,2041}{0,068} = 5,89 \text{ [kg/(m}^2 \text{ s)]}$$

### 3.8 Stanovení součinitele protupu tepla $K_s$

Součinitel prostupu tepla  $K_s$  charakterizuje tepelně izolační schopnost konstrukce.

$$K_s = \frac{Q}{S \cdot (t_i - t_e)} = \frac{Q_k + Q_i}{S \cdot (t_i - t_e)} \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

$$S = 32,96 + 38,1 + 42,88 + 18,75 + 1,8 \approx 134,5 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{Pro letní období : } K_s = \frac{-982,7}{134,5 \cdot (29-35)} = 1,21 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

$$\text{Pro zimní období : } K_s = \frac{7341}{134,5 \cdot (19-(-20))} = 1,4 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

### 3.9 Vyhodnocení, závěr a výběr klimatizační jednotky

Po zhodnocení výsledků byly zvoleny navržené výkony klimatizace. Výkon je základní parametr při výběru klimatizační jednotky. Chladicí výkon pro celé vozidlo je 36 kW.

Nejčastěji se klimatizace používá k ochlazení vzduchu v místnosti, ale dokáže vzduch i ohřívat, odvlhčovat, anebo ventilovat. Klimatizace funguje na principu výměny a přesunu energií, kdy při ochlazování vzduchu dochází k odvádění tepla z vnitřního prostředí do venkovního.

Moderní klimatizační jednotky navíc v chladnějším období mohou fungovat jako tepelné čerpadlo a v místnosti místo chlazení naopak přitápět. Klimatizaci lze v některých případech použít i jako zdroj tepla, i když vzhledem k některým možným omezením, ne jediný. Podstatným technickým parametrem při použití klimatizace na topení je nejnižší venkovní provozní teplota. Většina výrobců udává hodnoty v relacích  $-7^{\circ}\text{C}$  až  $-15^{\circ}\text{C}$ . Při nižší teplotě sice systém dále funguje, ale dochází ke snížení tepelného výkonu a zvýšení příkonu.

Pro tento případ byla vybrána klimatizační jednotka od firmy Thermo King s označením LRC (Obr. 4,6). Výkon klimatizační jednotky odpovídá velikosti klimatizovaného prostoru. Její výhodou je velmi dobrý poměr mezi hmotností a výkonem. Hlučnost zařízení je také velmi nízká. Volba jednotky proběhla dle vypočtených parametrů.



Obr. 3,6 – Thermo King LRV-12T-ARZ

Základní údaje	Parametry
Chladicí výkon	36000 [W]
Vytápěcí výkon	24000 [W]
Délka	4,226 [m]
Výška	0,425 [m]
Šířka	1,8 [m]
Hmotnost	600 [kg]

Tabulka 3,19 – Základní charakteristiky klimatizační jednotky

## 4 Konstrukční návrh úpravy střechy vozu

Celá konstrukce skříně vozu je dost komplikovaná sestava, která je zatížena mnoha faktory: síly, tlaky, spojitě zatížení, momenty vznikající během jízdy.

Je nutno uvést fakt, že výroba posledního vozu 810 byla ukončena v roce 1982. Z tohoto důvodu je potřeba volit rekonstrukce tak, aby byly realizovatelné na již vyrobených kusech a nebylo třeba značných zásahů do konstrukce, které by celou zástavbu hodně zkomplikovaly či zvýšily náklady na rekonstrukce. Navrhovaná varianta úpravy by mohla být jedním z dalších řešení rekonstrukce jednotky.

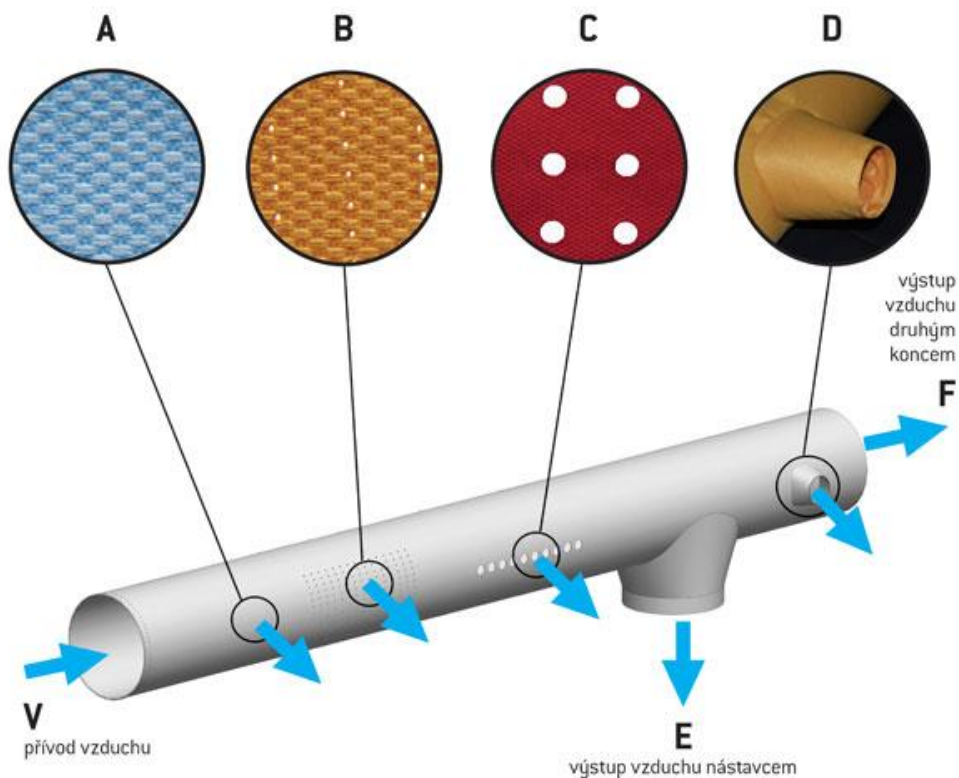
Zadavatelem diplomové práce, tedy firmou VKV Praha, byly poskytnuty výkresy bočnic, oken, střechy a podlahy motorového vozu ř. 810 podle kterých byl navrhnut 3D model pro další opravu. Dále byl vyznačen prostor, do kterého se musí klima kanály vejít.

### 4.1 Materiály vzduchotechnických kanálů

Ve vzduchotechnice je výběr materiálů velice důležitý. Při výběru musíme uvažovat několik hledisek, aby byly splněny všechny konstrukční požadavky.

Jedním z nejdůležitějších aspektů při návrhu konstrukce kolejových vozidel je hmotnost celková vzduchotechnika a její komponenty. Mezi další aspekty patří cena, tvarovatelnost, tepelná izolace, životnost materiálu apod.

Nejpoužívanější materiály jsou kovové materiály jako pozinkované nebo hliníkové plechy. Životnost vzduchodůů z pozinkovaného plechu se předpokládá 20 až 25 let. Nevýhodou kovových materiálů je hmotnost, která i v případě lehkého hliníku je v takových množstvích vyšší. Další nevýhodou kovů je, že mají velmi nízkou izolační schopnost, proto se v případě použití kovů vzduchotechnické kanály vždy doplňují navíc vrstvou izolačního materiálu.

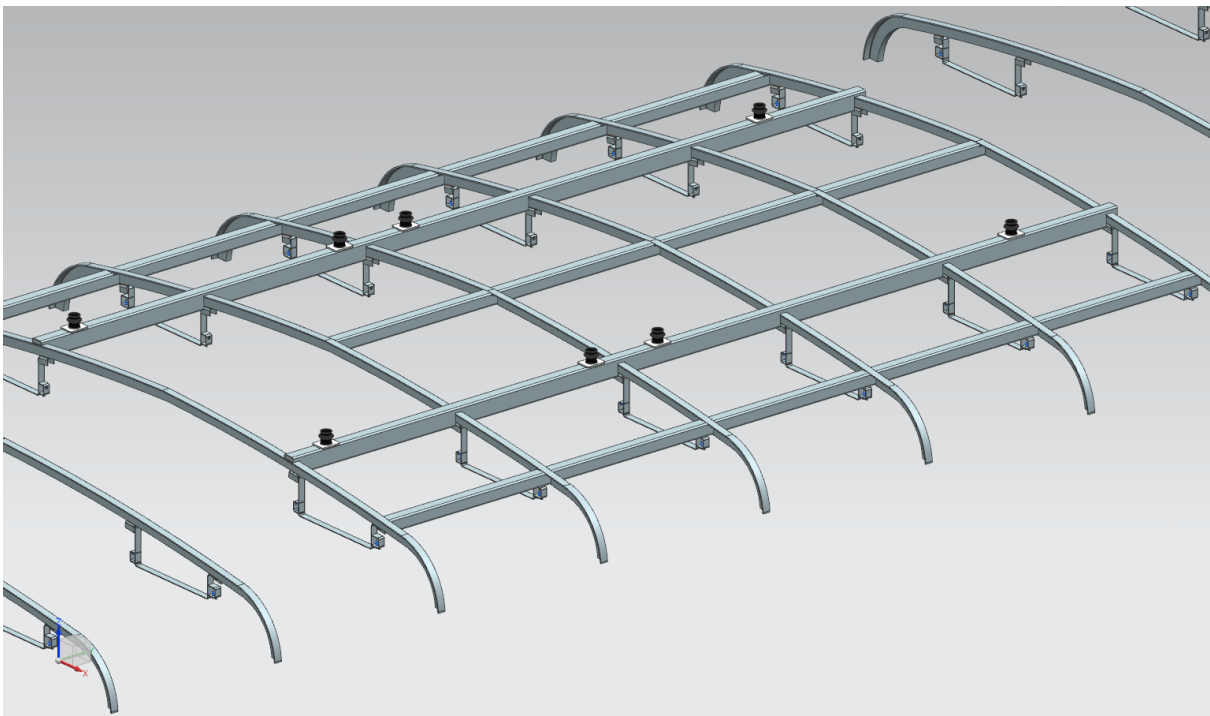


Obr. 4,1 – Výstup vzduchu z vyústek

Dalším typem materiálů, které se využívají ve klima kanálech kolejových vozidel, jsou textilní výrobky. Textilní ventilace jsou nákladově velmi efektivní alternativou k tradičnímu plechovému potrubí. Snadná a levná montáž systému díky nízké hmotnosti a skladnosti. Stejně snadná jako montáž bude i demontáž pro případ čištění. Vzduch je z tkaninové vyústky distribuován různě velkými a různě rozmístěnými otvory. Kombinace velikostí a rozmístění otvorů spolu s různou výstupní rychlostí umožňují nespočetné množství variant. Pro usměrněný přívod vzduchu se používají řady otvorů o průměru 4 mm a více, které nazýváme perforace.

## 4.2 Návrh konstrukce střechy a zabudování klimatizační jednotky

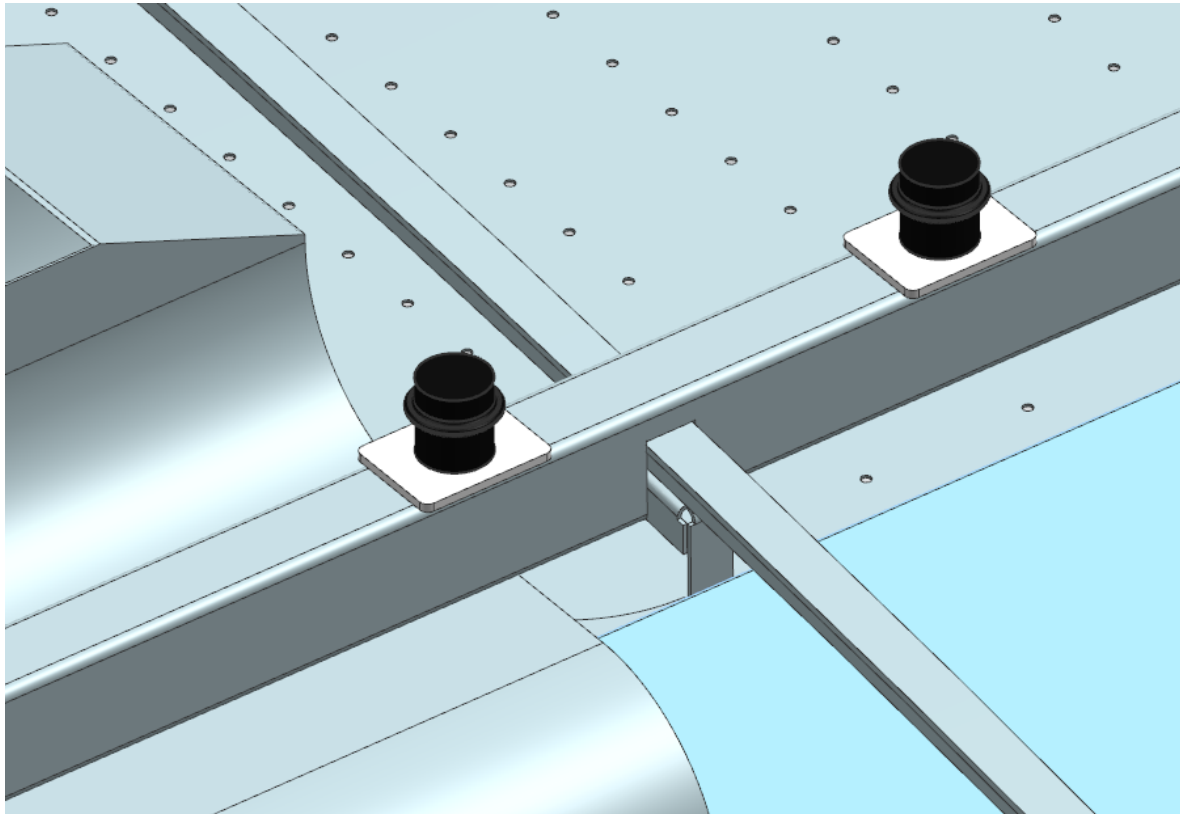
Vybraná klimatizační jednotka je primárně určena pro použití ve veřejné vlakové dopravě. Veškerý chladicí systém se ukrývá zpravidla v jednotce, umístěné na střeše. Je aerodynamicky uzpůsobená, aby nezvyšovala svým odporem spotřebu, a právě skrz ní vychází ven horký vzduch, nastřádaný během chlazení. Dle popisu klimatizační jednotky (viz Příloha 1) jsem vytvořil jednoduchý model, který byl později využit pro další úkony při rozměrovém návrhu střechy. Při návrhu konstrukce jsem vycházel především z rozměrových vlastností klimatizační jednotky a konstrukce motorového vozu ř. 810. Střechy se skládá z mnoha kružin, ale pro zvýšení pevnosti byly přidány výztuhy – vzpěry mezi kružinami, které budou přivařené ke kružinám. Polotovarem výztuh je ocelový čtvercový profil 50x50 mm a 70x50 mm, který má výřezy, aby bylo možné snadno svařit s kružinou (Obr. 4,2).



Obr. 4,2 – Úprava střechy

Vzpěry mezi novými kružinami jsou součástí úchytů klimatizační jednotky. Umístění výztuh znázorňuje obrázek Obr. 4,2. Důležitým bodem je to, že nesmí být přerušena střešní vaznice, což by mohlo vést ke snížení celkové tuhosti konstrukce vozu. Jelikož u klimatizační jednotky vznikají vibrace, z toho plyne, že nutným je to, že zachycení klimatizační jednotky pomocí 8 pryžových silentbloků ke speciálním plošinám, které jsou přivařeny k výztuhám (Obr. 4,3). Ty způsobují odstranění těchto očekávaných vlivů na konstrukci střechy.





Obr. 4,3 – Umístění silentbloků

### 4.3 Návrh rozvodů vzduchu

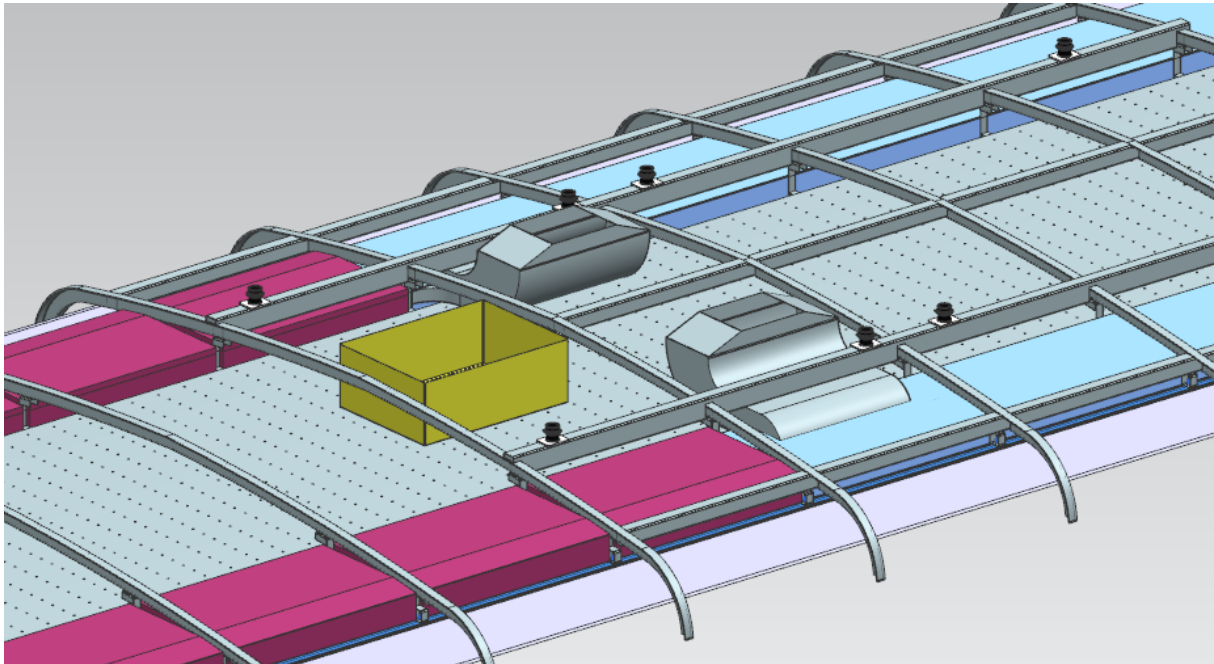
Rozvod vzduchu je důležitý hlavně z hlediska komfortu cestujících. Vedení chladného vzduchu je realizováno v motorovém vozu umístěním dvou podélných klima kanálů ve stropu modře vyznačený na Obr. 4,4. Ventilační potrubí je vyrobené z pozinkovaného plechu tloušťky 0,8 mm. Zcela nezbytnou součástí chladicí vestavby či nástavby je samozřejmě termoizolace, která rozhoduje o spotřebě celého systému. Tepelným ztrátám a kondenzaci vodních par obsažených v dopravovaném vzduchu se zabraňuje tepelnou izolací MAAD MF 10 mm jsou tmavě fialové na Obr. 4,4.

Aby byla výška stropu maximálně ušetřena, je plech nad centrálním průchodem je ohnutý a napolohován tak, aby zvýšit prostor nad hlavou. Tímto způsobem nám vzniká prostor pro umístění osvětlení salonu. Pro připevnění osvětlení bylo použito nýtovací matice, které jsou zatlačeny do držáku (Obr. 4,4).

Při rozvádění vzduchu v přepravním prostoru je snaha maximalizovat účinnost a využívat přitom fyzikálních zákonů ve svůj prospěch. Nejlépe toho dosáhneme využitím vlastností proudění teplého a studeného vzduchu. Teplý vzduch přirozeně stoupá vzhůru, studený vzduch naopak klesá dolů, a proto se tedy nechává přirozeně proudit přímo ze stropních vzduchodů

Přívod studeného vzduchu je veden děrovaným stropem. Použitím těchto plechů je způsobeno snížení rychlosti chlazeného vzduchu z ventilačních kanálů. Na krycím plechu jsou nalepeny pryžové pásy kvůli utěsnění prostoru a odbourání přenosu vibrací.

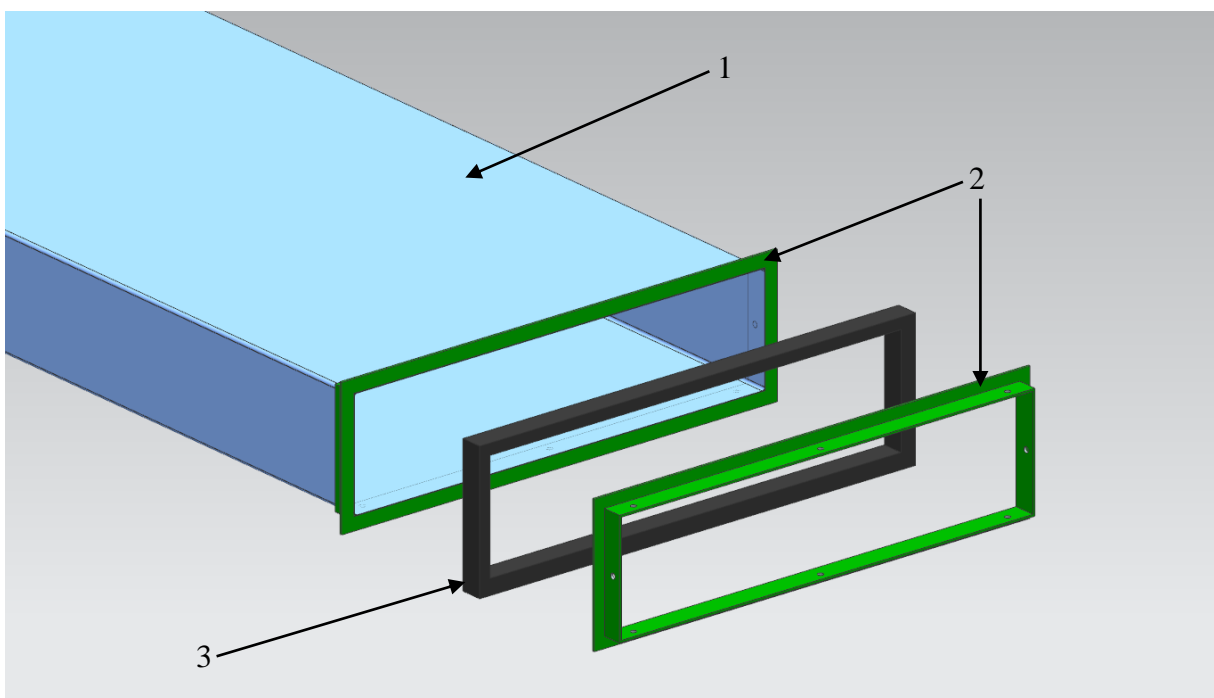
Recirkulace vzduchu je tvořena kanálem se sací mřížkou přímo od klimatizační jednotky (žluté na Obr. 4,4).



Obr. 4,4 – Celkový vzor střechy

#### 4.4 Spojení jednotlivých klima kanálů

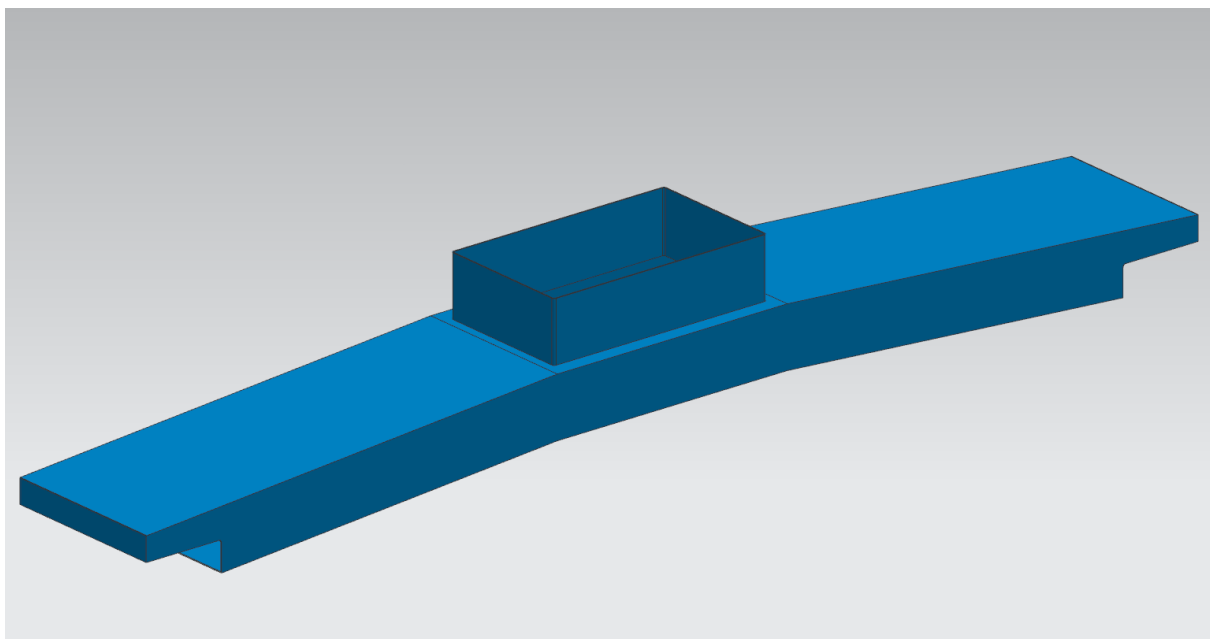
Pro spojení jednotlivých klima kanálů (Obr. 4,5) mezi sebou jsme použijeme pěnovou komprimační pásku 2. Daný typ spojení se obecně skládá ze tří částí. Jsou jimi profily (Obr. 4,5, Pos. 2) tvořící čelo, na každém jednotlivém konci kanálu (Obr. 4,5, Pos. 1) a pěnová komprimační páška (Obr. 4,5, Pos. 3) vyplňující mezeru mezi čely. Zachycení profilu na čelo kanálu je pomocí trhacích nýtů po celém obvodu kanálu. Pro zvýšení pevnosti spojení profilů na kanály je potřeba spoj utěsnit nanesením lepidla na rozhraní mezi nimi.



Obr. 4,5 – Spojení jednotlivých klima kanálů

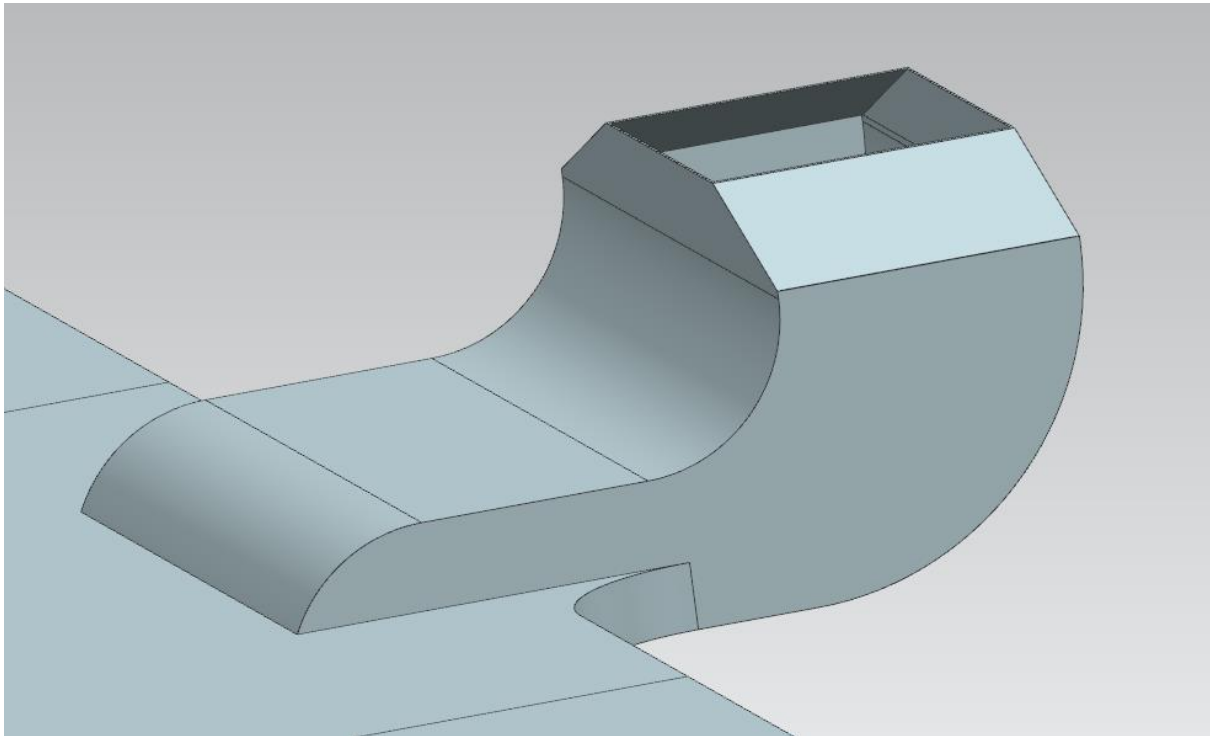
Těsnící kompresní pěnová páska z polyuretanové pěny laminovaná po stranách folií zajišťující boční uzavření, která je navržena speciálně slouží na těsnění spojů s tolerančním vyrovnáváním. Páska je jednostranně lepící. Je samozhášivá, a v případě požáru mnohokrát se zvyšuje v objemu pro snížení průtočného průřezu klima kanálu, čímž se blokuje další přítok kouře salonem vlaku. Podle bezpečnostních norem v železničním průmyslu daná páska musí splňovat normu EN 45545.

Výběr klimatizační jednotky je zásadním bodem pro celkovou rekonstrukci střechy. Jako první varianta byla zvolena klimatizační jednotka s jedním centrálním kanálem pro vedení chladného vzduchu. Účinnost kanálů je dána průměrem kanálů, jejich tvarem a stupněm tuhosti. Rozvedení vzduchu bylo realizováno poměrně komplikovanou spojkou (Obr. 4,6), která by ještě potřebovala rozdělovací plech, který by rozdělil proud vzduchu. Ale tato varianta má spoustu nevýhod mezi které patří: zvýšený odpor vzduchu, hmotnost, komplikovaná výroba, cena, atd.



Obr. 4,6 – Spojovací kanál (I)

Druhá konstrukční varianta uvažuje rozmístění spojovacího kanálu viz Obr. 4,7 , kde je patrný rozdíl oproti předchozí variantě. Sekce pro distribuci studeného vzduchu je navržena tak, aby co nejvíce snížila ztráty na vstupu. Varianta je v zadaném prostoru realizovaná mezi dvěma kružinami. Dle konstrukční dokumentace, kterou jsem dostal od společnosti VKV Praha, jsem zjistil, že vzdálenost mezi sousedními kružinami je 735 mm. Vzhledem k možným nesouladům počítačového modelu se skutečností po několikaletém provozu jsem zvolil šířku spojovacího kanálu 700 mm. Pro rozdělení proudu na dvě strany byl použit difuzor.

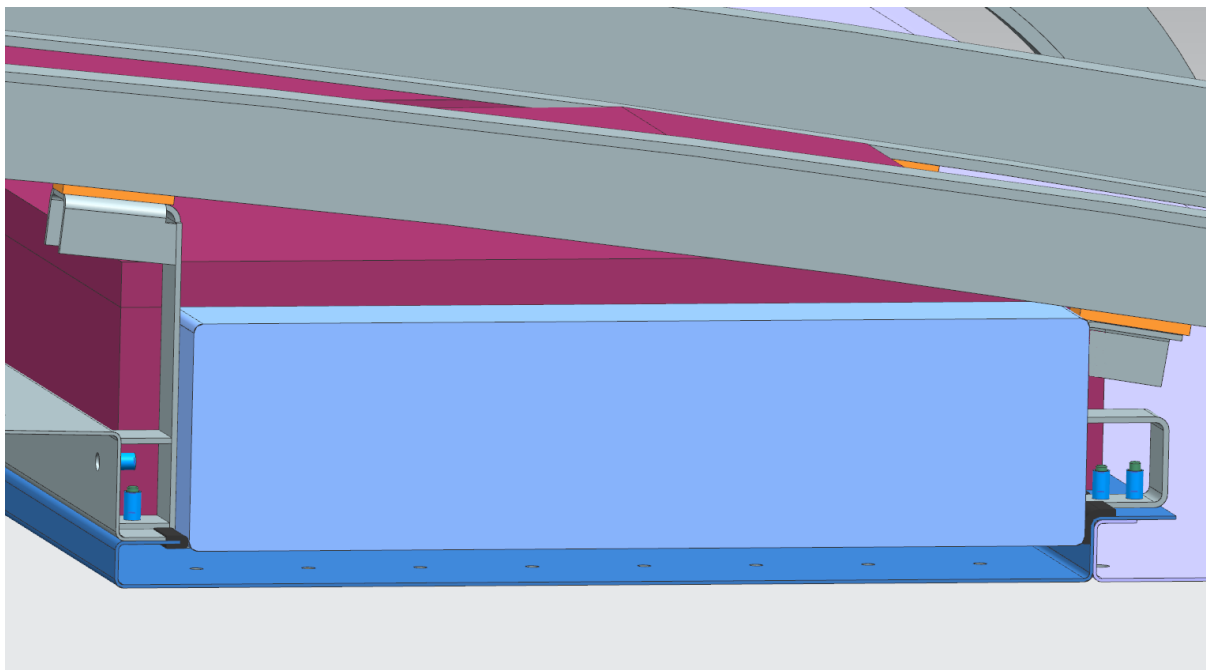


Obr. 4,7 – Spojovací kanál (II)

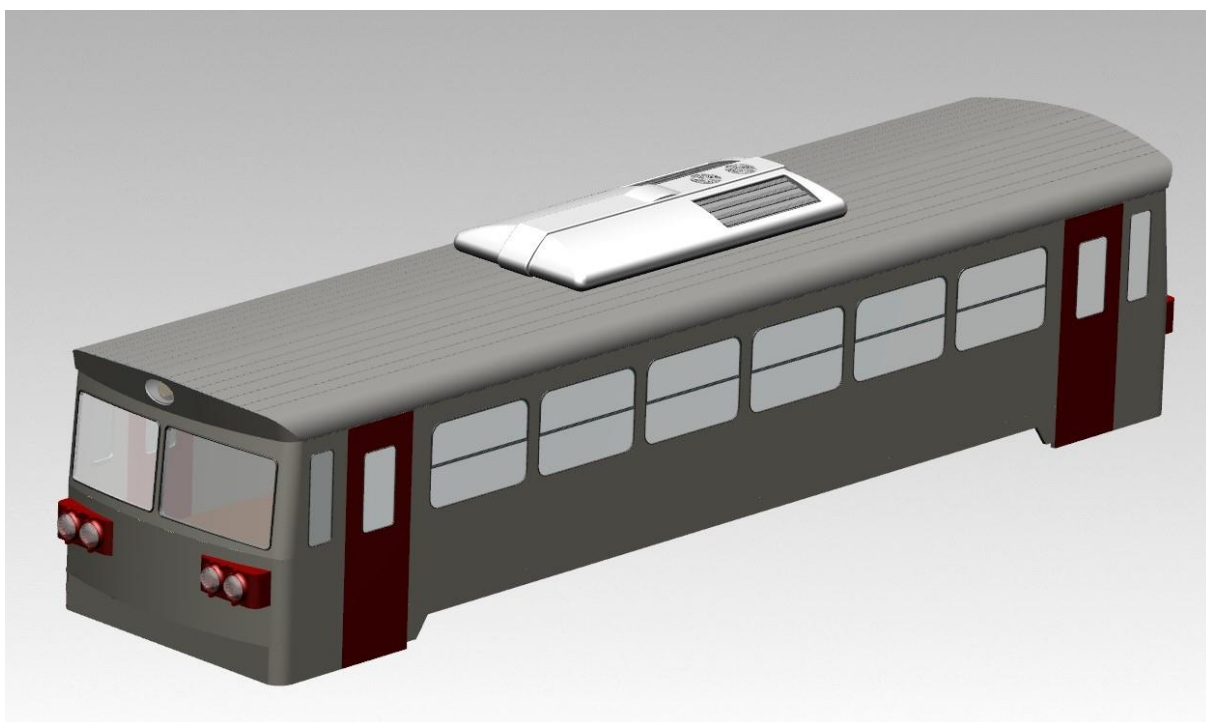
#### 4.5 Pevné spojení sekcí

Na obrázku 4,8 je znázorněno řešení upevnění kanálu pomocí držáku vytvořeného z plechu o tloušťce 2,5 mm. Konstrukce držáku představená svařencem do kterého je přidán zatlačovaný šroub se závitem. Svařenec se skládá z tvarované ocelové pásky a dvou čtvercových profilů do kterých jsou přidány nýtovací matice M5 pro montáž/demontáž krycích a technických plechů. Pro zvýšení pevnosti má držák zahnuté strany, ale kratší strana má pouze jeden zahnutý plech proto, aby umožnila sváření. Veškeré plechy a profily jsou lakované. Klima kanál se přichycuje na držák pomocí lepidla. Samotný držák je nachystán do kružiny pomocí šroubů M10. Celkově má každý držák čtyři šroubové spoje. Mezi držákem a kružinou se předpokládá přítomnost podložek, které snižují negativní vliv tepelného mostu mezi konstrukčním návrhem a kružinami. Dá se tak předejít případnému vzniku kondenzace vodních par a následnému zkratu elektronických zařízení nebo dalších věcí spojených s touto problematikou.

Technické plechy (na obrázku jsou fialové) jsou odklapovací. Je to uděláno proto, aby se umožnil snadnější přístup pro servisování klima kanálů nebo elektrického zařízení, kabelů, atd. Pro připevnění osvětlení bylo využito nýtovacích matic, které jsou zatlačeny do držáku (Obr. 4,8). Umístění světel skrývá štěrbinu mezi horním a krycím plechem klima kanálu.



Obr. 4,8 – Spojení jednotlivých sekcí



Obr. 4,9 – Základní pohled na opravený vůz

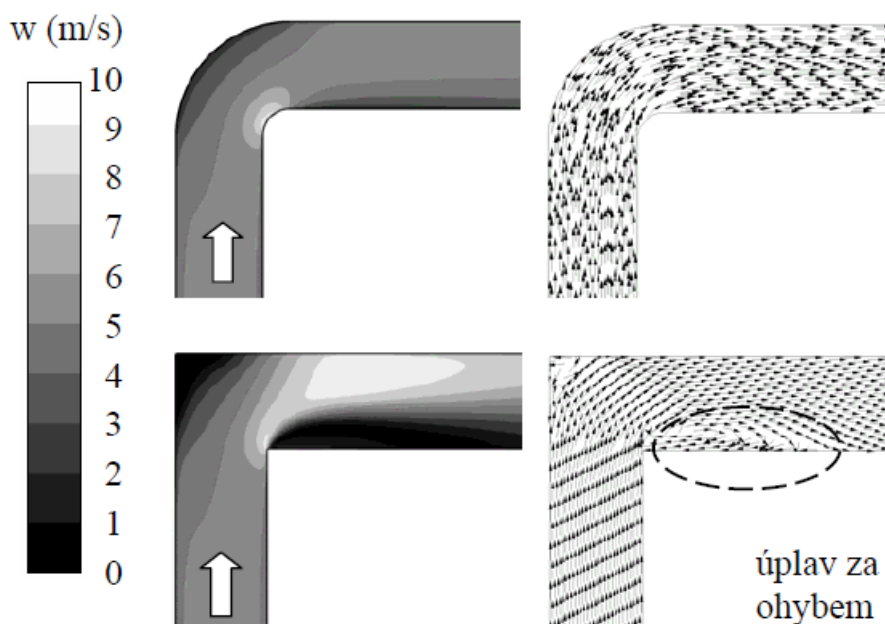
## 5. Simulace proudění

CFD simulace jsou v dnešní době standardním procesem v inženýrských aplikacích pro optimalizaci designu z hlediska větrání a proudění vzduchu. Jednotlivé výpočty a analýzy budou provedeny dle návrhu uvedeného v kapitole 3. V CFD modelování je výpočetní oblast rozdělena na kontrolní objemy, které tvoří výpočetní síť buněk [11]. Každá buňka je definována diskretizačními rovnicemi základních zákonů zachování hmoty, hybnosti a energie. Pro simulace proudění vzduchu v daném případě byl použit program Siemens NX.

Následující text obsahuje výsledky simulací. U každého simulovaného případu je uvedena základní informace o vstupních datech, resp. o okrajových podmínkách.

Při návrhu potrubní sítě je potřeba, s ohledem na hospodárnost provozu, volit co nejnižší součinitel místních ztrát. Na obr. 5,1 je vidět charakter proudění v oblouku a ostrém kolenu (Obr. 5,1).

Zatímco v oblouku za ohybem k úplavu nedochází, je u ostrého kolena úplav za ohybem jasně patrný. Vlivem úplavu pak dochází k zúžení volného průtočného průřezu, zde dochází k lokálnímu zvýšení rychlosti proudícího vzduchu. Důsledkem této skutečnosti je oproti oblouku vyšší součinitel místní (tlakové) ztráty. Celková tlaková ztráta třením je závislá na druhé mocnině rychlosti. Důležitý je proto poznatek, že každé zvýšení rychlosti vzduchu bude mít za následek zvýšení tlakové ztráty s druhou mocninou. Dále tlaková ztráta vlivem tření lineárně narůstá, vzhledem ke konstantnímu průřezu kanálu [10].



Obr. 5,1 – Charakter proudění v oblouku a ostrém kolenu

První okrajovou vstupní podmínkou je objemový průtok. Druhou okrajovou podmínkou je předepsaný normální atmosférický tlak na jednotlivých výstupech. Ten činí  $101325 \text{ Pa}$ . Vzduch, který proudí kanálem je konstantní o hustotě  $1,2754 \text{ kg/m}^3$  a dynamické viskozitě  $1,84 \cdot 10^{-8} \text{ kg/mm} \cdot \text{s}$ . Další podmínkou bylo zadání drsnosti materiálu jednotlivých stěn. Pro pozinkovaný plech se drsnosti pohybují v rozmezí 1 až  $15 \mu\text{m}$ . Pro simulace turbulentního proudění byl zvolen model K-Epsilon ve směru podélné osy Y. Velmi důležité je také zajištění podmínky nulové rychlosti na pevných stěnách.

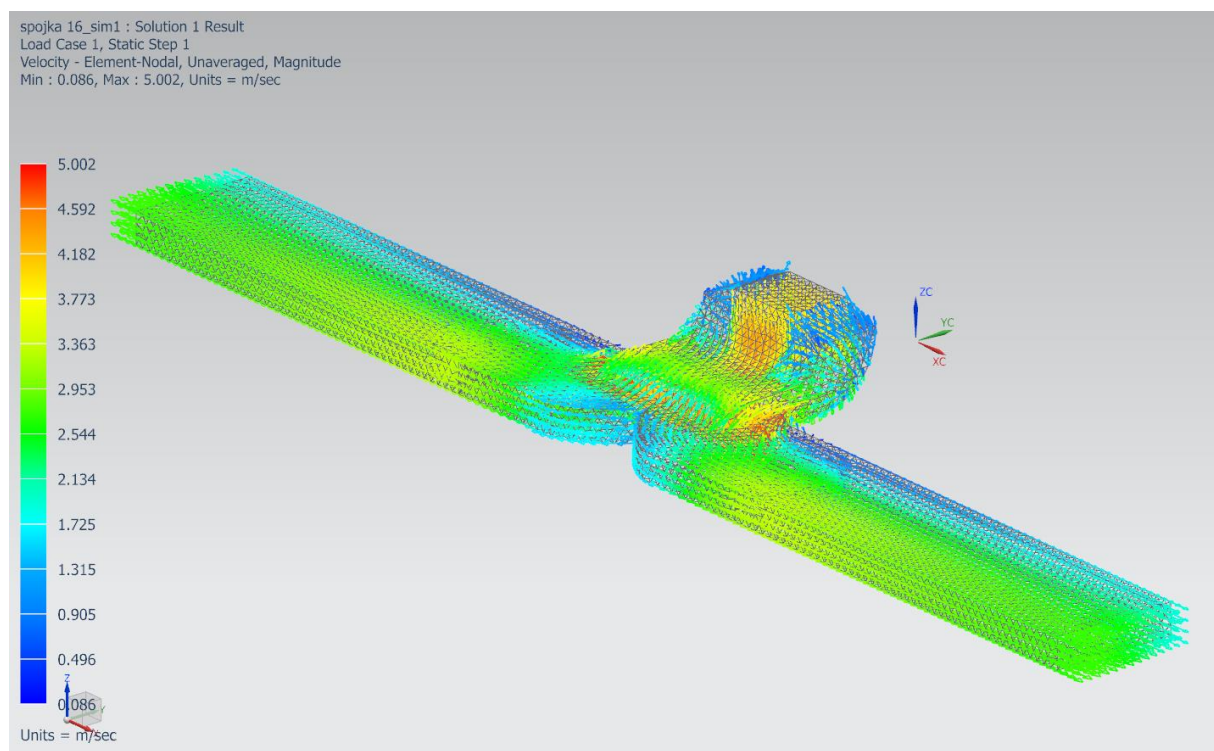
Rozměr sítě byl zvolen 15 mm nebo jemnější. Potrubní síť z skládá přímých částí, tvarovek a koncových elementů. Tlaková ztráta je dána součtem ztrát třením a ztrát místních.

Problémem je, že je dost složité vytvořit poměrně se zvětšující elementy tak, aby byly zvětšovány lineárně. Toho docílíme v objektu simulace, kde se vybere funkce Fluid Domain. Označí se stěny, které jsou pro výpočet důležité a určí se jim, v jakém rozmezí a počtu řad mají vzniknout.

*Použité typy okrajových podmínek:*

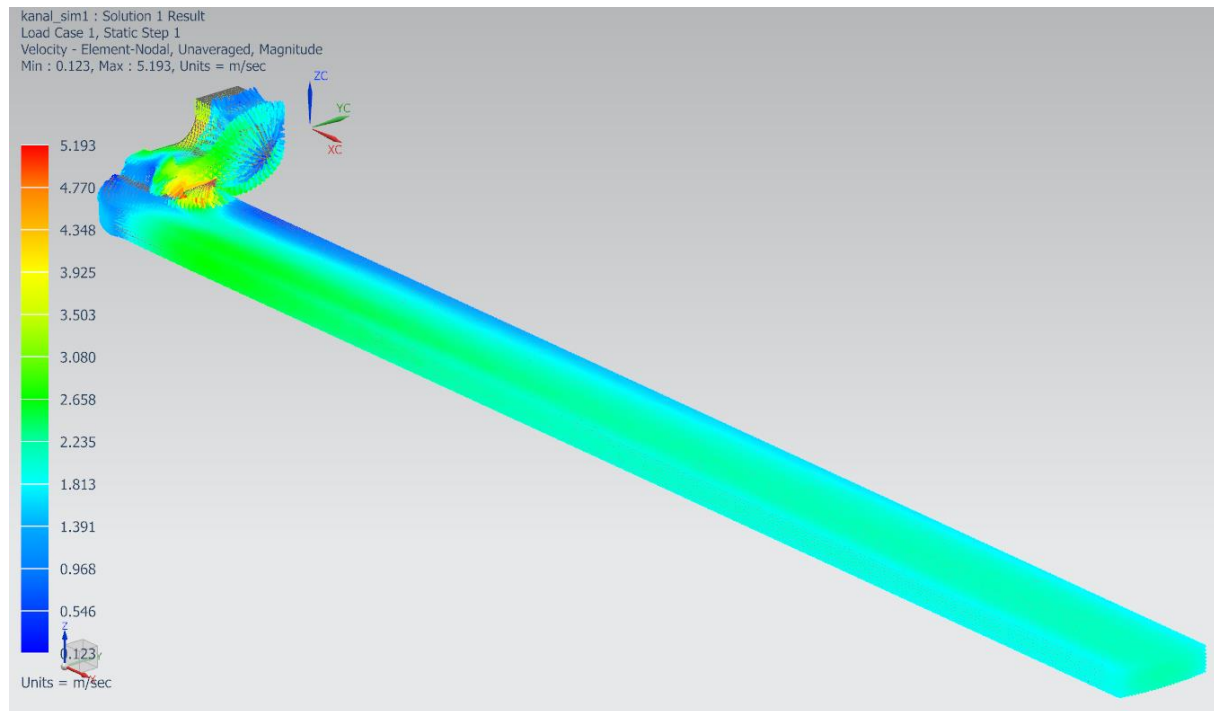
- *Inlet flow* – pro vstupní tok volíme příslušnou oblast a stanovujeme rychlost;
- *Opening* – definuje většinou volný okraj domény, nebo otvor na okraji oblasti;
- *Boundary flow surface* – simuluje povrch, který je v kontaktu s tekutinou na jedné straně;
- *Screen* – simuluje tenký perforovaný plech.

Na níže zobrazeném obrázku je zobrazená simulace proudění vzduchu na výstupu z klimatizační jednotky a spojovacího potrubí, které rozvádí vzduch do dalších klima kanálů. V daném případě se jedná o symetrickou úlohu. Objemový průtok podle výpočtu činí 600 m<sup>3</sup>/hod. Vzduch se chová v kanálu jako tekutina, snaží se jít cestou nejmenšího odporu. Proto spojovací kanál byl navržen takovým způsobem, aby snížil vliv proudění vzduchu v ostrém koleni a minimalizovat negativní vliv turbulentního proudění.



Obr. 5,2 – Proudění vzduchu v spojovacím kanálu

Jelikož je geometrie vzduchovodů symetrická, lze ji rozdělit na polovinu, v dalším případně na čtvrtinu. Z podmínky, kdy celkový objemový průtok pro celé vozidlo činí  $\approx 1200$  m<sup>3</sup>/h plyne, že pro čtvrtěční úlohu objemový průtok činí 300 m<sup>3</sup>/h. Všechny ostatní nastavení simulace zůstávají stejné.



Obr. 5,3 – Proudění vzduchu v jednotlivém kanálu

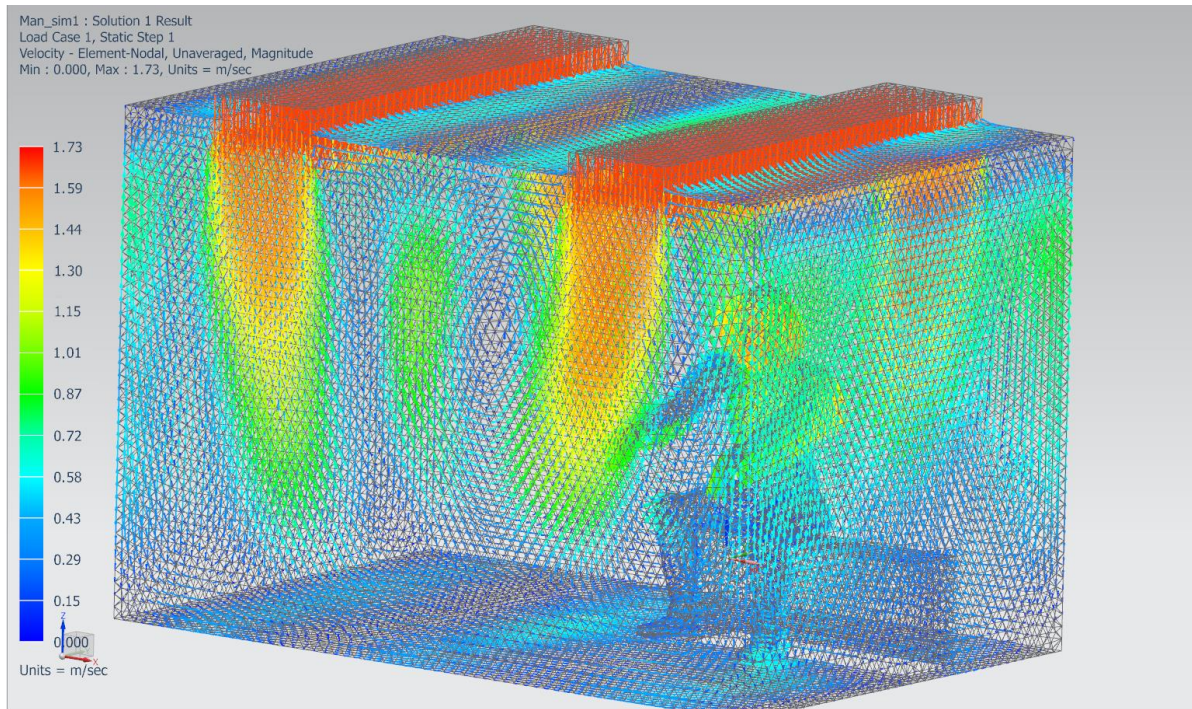
Další text této práce se bude věnovat právě simulaci vnitřního prostředí pro cestující. Pro CFD modelování je vždy zapotřebí vytvořit kvalitní objemovou síť buněk vyplňující prostor, ve kterém simulace dějů probíhá. Byla vygenerována síť o velikost buněk 50 mm.

Hlavním kritériem pro vyhodnocení rychlostí je hodnota, která je dána normou ČSN EN 14 750-1 a vychází pro vnitřní teplotu 29°C a rychlosti 1,6 m/s. Vstupující vzduch proudí rychlostí 2,5 m/s, proto se musí, než dojde k cestujícímu, snížit na danou hodnotu.

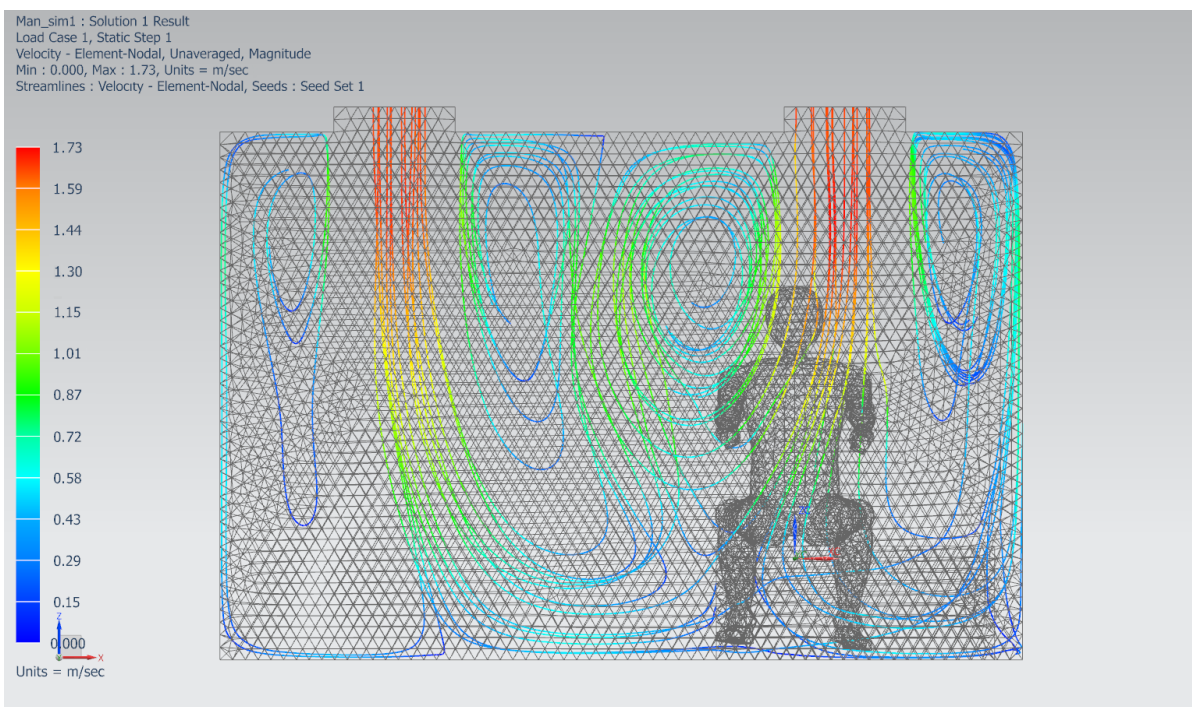
Výsledná rychlostní škála je zobrazená na obrázku, ze kterého je zřejmé, že výstupní rychlost vzduchu je v souladu s požadovanou normou. Pro zobrazení rychlostního pole byly vybrány režimy „arrows“ a „Streamlines“, které využívá více barev k zobrazení sledované veličiny, tím vynikne rozdíl mezi jednotlivými rychlostmi. Červená a oranžová vyznačuje maximum a modrá minimum. Výsledky všech těchto případů byly prezentovány nejdříve jednotlivě formou rychlostních polí.

Obrázky 5,4 a 5,5 zobrazují rychlost proudění vzduchu uvnitř vozu pomocí proudnic (*Streamlines*). Jedná se o zobrazení trajektorie částic vzduchu proudících uvnitř vozu. Pomocí této simulace, lze následně vyhodnotit např. *index obtěžování průvanem* (Draught risk) na jednotlivých místech ve vozu.





Obr. 5,4 – Proudění vzduchu uvnitř vozu



Obr. 5,5 – Proudění vzduchu uvnitř vozu

## 6 Technicko-ekonomické hodnocení

Technicko-ekonomické hodnocení - představuje informace, z nichž je posouzena účelnost (nebo ne účelnost) vytvoření produktu nebo služby.

Aby jakýkoli technický systém byl v praxi použitelný, tedy aby přinášel nejen technické výhody, ale aby byl také konkurenceschopný, musí se při jeho návrhu zvažovat nejen hledisko technické, ale také hledisko ekonomické. Vliv konstruktéra na ekonomickou stránku je nesporný.

Mimořádně vysoké teploty přináší komplikace cestování vlakem. V současnosti se stále zvyšují nároky na komfort v dopravních prostředcích. Na rozdíl od klimatizačních zařízení budov, musí vlakové klimatizace splňovat především podmínky dynamického namáhání při jízdě vozu a dále musí respektovat způsob elektrického napájení nejčastěji z frekvenčního měniče.

Pro potenciálního zákazníka je rozhodujícím kritériem prodejní cena konečného produktu. Snahou proto bylo, aby v navrženém řešení bylo použito co nejvíce nakupovaných, sériově vyráběných komponentů. Přesné určení konečné ceny rekonstrukce střechy s uvedením klimatizační jednotky je obtížné z důvodu kalkulace nákladů na montáž klimatizační jednotky, a není to ani cílem této diplomové práce. Navíc je těžké dopředu odhadnout pracnost jednotlivých operací. Konečná cena rekonstrukce bude tvořena náklady na materiál a náklady na výrobu (mzdové a režijní náklady).

### Výpis cen hlavních komponentů

Následuje předběžný výpis nákladů na materiál. Veškeré ceny jsou bez DPH.

Název komponenty (hlavní komponenty)	Počet [ks]	Označení/Rozměr [mm]	Hmotnost [kg]	Cena [Kč]
Thermo King LRV-10T-ARZ	1	4226 x 1800 x 425	600	135 000
Profil uzavřený	10	50 x 50 x 4	5,6	180
Profil uzavřený	8	70 x 50 x 4	7,1	200
Držák	32	464 x 160 x 20	0,3	300
Podložky	64	60 x 20 x 2	0,05	5
Zatlačovací šroub se závitem	32	FHS-M6-20	0,002	2,96
Nýtovací matice (plochá hlava)	96	M6	0,002	3
Šroub šestihranný Nerez A2	128	DIN 931 M10-60	0,002	1,02
Matice Nerez A2	128	DIN 934 M10	0,001	2,8
Podložka Nerez A2	256	DIN 433 M10	0,001	2
Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem	32	DIN 912/A2-70 M6-25	0,002	2,1
Šroub se vnitřním šestihranem	64	DIN 912/A2-70 M6-30	0,002	2,8
Trhací nýt	50	4x8 mm DIN 7337, A2	0,001	0,75
Ventilační potrubí pozinkované	25	400 x 100 L-1000 (t = 0,8 mm)	3,9	306

Rohové potrubí pozinkované	2	90 400x100 (t=0,8 mm)	4,1	280
Závěs (skrytý)	20	100 x 75 x 2	0,1	300
Kompozitní panel Zenitbond	6	1500 x 3050 x 2	11,4	2056
Izolace MAAD MF 20	3	2100 x 1250 x 20	0,9	250
Pěnová komprimační páska	10	L = 1 m	0,2	2
Samolepicí pěnová páska	1	3x50 mm	0,3	280
Chránička hran	2	6,5 x 9,5 (10 m)	0,5	490
Lepidlo	2	Loctite 3474	0,5	1 250
Tmel	2	Mapei Mapeflex PU45	0,3	190
<b>CELKEM</b>	<b>974</b>		<b>910,5</b>	<b>181 444</b>

Tabulka 6,1 – Předběžné náklady na materiál navrženého konstrukčního řešení

Výše uvedené ceny jsou pouze informativní a můžou se lišit o 5-10%. Dále je zapotřebí k ceně přičíst svařování, výrobní a dopravní náklady, výrobní režie, přímé mzdy pracovníkům, atd.

Zavedení klimatizačního systému v tomto případě by mělo být považováno za součást celkové rekonstrukce vlaku.

Cena konečného výrobků je úzce svázána s množstvím použitého materiálu a jeho cenou. Pokud chceme snížit materiálovou náročnost výrobku, je tedy nezbytné znát rozložení deformační energie ve výrobku a na základě této znalosti upravit tvar. V moderních CAD systémech je možné vytvořit výpočtový model dílů a sestav, který umožní pro dané zatížení výrobku ověřit výsledné chování. Aplikace výpočtů již v konceptu výrobku umožňuje zcela zásadně optimalizovat množství materiálu a velice často při současném zvýšení tuhosti výrobku. Na základě získaných informací se konstruktér může snadno a rychle rozhodnout, kam materiál přidá a odkud ho naopak odebere.

Nedílným aspektem této modernizace je smontování. Montáž klimatizace by měla vždy provádět odborná firma, která disponuje potřebnými znalostmi, technickým vybavením a v neposlední řadě potřebnými oprávněními. Tato firma pak přebírá záruku za funkčnost dodaného systému a za odvedenou práci. Od solidní montážní firmy očekávejte, že používá kvalitní instalační materiál, je vybavena profesionálním nářadím, personál je pravidelně školen dodavateli klimatizací.

## Závěr

Výstupem této diplomové práce je ucelený návrh klimatizace motorového vozu ř. 810 včetně úpravy střechy. Během tvorby celého návrhu byl kladen důraz na co nejmenší zmenšování výšky stropu.

Klimatizační zařízení se stávají nedílnou součástí nových kolejových vozidel. Klimatizace poskytují vysoký komfort pro pasažéry, a to nejen při dopravě na delší vzdálenosti. V dnešní době je těžké představit si moderní dopravní prostředek bez klimatizace. Postupem času došlo ke zvýšení komfortu pro cestující zabudováním klimatizací do vozidel. S ohledem na specifické požadavky zákazníka je také navržen rozvod vzduchu. Nové vozy stále více využívají teplovzdušného vytápění namísto tradičních podlahových konvektorů.

Diplomová práce obsahuje výpočet tepelných ztrát skříně a návrh dimenze klimatizačního systému jednoho vozu. Pro výpočet byly využity především normy pro komfort prostoru cestujících – ČSN EN 14750 a UIC 553. Podle provedeného výpočtu byla zvolena vhodná HVAC jednotka – Thermo King LRV-12T. Ve výpočtu mohlo dojít k určitým odchylkám, které mohly výsledek v konečné fázi ovlivnit.

V práci byl dále proveden konstrukční návrh úpravy střechy dle zadaných požadavků, které byly kladené na konstrukci. Odchyly mohly být zapříčiněny použitím již starých izolačních materiálů.

V dnešní době modernizace dopravních prostředků je to jednou z cest, které umožňují ušetřit peníze a dát nový život technicky a morálně zastaralým vlakům. Je to velmi důležité v době, kdy se každý snaží ušetřit co nejvíc.

Zejména při modernizacích starších vozidel by proto bylo vhodné v daleko větší míře zaměřit pozornost na eliminaci tepelně vodivých můstků, zlepšení tepelných izolací, zejména podlah a stropů, zajištění dobrého těsnění oken i dveří a v tomto smyslu důsledně požadovat od dodavatelů i příslušné ověřovací zkoušky.

Závěrem tedy můžu dodat, že konstrukční návrh vzduchotechnických kanálů v kolejovém vozidle splňuje veškeré zadané parametry a podmínky.

## Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 14750-1, Železniční aplikace - Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla – Část 1: Parametry pohodlí. Praha: ČNI, 2006
- [2] UIC 553, Heating, ventilation and air-conditioning in coaches. Paris: UIC, 2005, ISBN 2-7461-0443-1
- [3] ČSN EN 13129-1, Železniční aplikace - Klimatizace pro kolejová vozidla hlavních tratí – Část 1: Parametry pohodlí. Praha: ČNI, 2004
- [4] Vědeckotechnický sborník ČD č. 42/2016. Petr Jasanský  
Elektronická skripta. Dostupné z WWW: <<https://docplayer.cz/121961633-Vedeckotechnicky-sbornik-cd-c-42-2016-petr-jasansky1.html>>
- [5] Popis teplovodního agregátu VA20. Elektronická skripta. Dostupné z WWW: <[https://www.vagony.cz/vagony/vytapeni\\_naftove.html](https://www.vagony.cz/vagony/vytapeni_naftove.html)>
- [6] OLDŘICH Chytilík: Motorový vůz 810 a 809 , 194 s. ; Metis EPV Olomouc, 2008 .
- [7] Nucené větrání s rekuperací tepla. Dostupné z WWW: <<http://www.usporedomy.cz/technologie/rekuperace>>.
- [8] OLDŘICH Chytilík: Motorový vůz 810 , 86 s. ; METIS 1995 Olomouc, 2008
- [9] Prof. Ing. František Drkal, Csc. - Vzduchotechnika, Praha 2009
- [10] VERSTEEG, H. K. a W. MALALASEKERA. An introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. 2 vyd. B.m.: Pearson Education Ltd, 2007 [vid. 2018-03-27]. ISBN 978-0-13-127498-3. Dostupné z WWW: <<https://www.amazon.com/Introduction-Computational-Fluid-Dynamics-Finite/dp/0131274988>>
- [11] HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla I, Plzeň: Západočeská univerzita, 2007, ISBN 978-80-7043-520-5
- [12] HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla II, Plzeň: Západočeská univerzita, 2009, ISBN 978-80-7043-641-7
- [13] HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla III, Plzeň: Západočeská univerzita, 2011, ISBN 978-80-261-0028-7
- [14] SCHÖN Jiří. Návrh tříčlánkového tramvajového vozidla se zaměřením na podrobný návrh klimatizace prostorů pro cestující: diplomová práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2014. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Petr Heller, CSc.
- [15] VALENTA Ladislav. Návrh osazení klimatizace oddílu cestujících v modernizovaném motorovém voze řady 814 : bakalářské práce. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2013. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vladislav Ochodek
- [16] KOPECKÝ Michal. Přehled klimatizace, ventilace a vytápění kolejových vozidel: bakalářská práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2014. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Petr Heller, CSc.