

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T001 Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh tříčlankového tramvajového vozidla se zaměřením na podrobný
návrh klimatizace prostorů pro cestující

Autor: **Bc. Jiří SCHÖN**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří SCHÖN**
Osobní číslo: **S11N0013P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Návrh tříčlánkového tramvajového vozidla se zaměřením na podrobný návrh klimatizace prostorů pro cestující**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Návrh základních rozměrů tříčlánkového jednosměrného tramvajového vozidla. Typový výkres v měřítku 1:50. Podrobný návrh zabudování klimatizační jednotky pro cestující. Vzduchové rozvody, výpočet potřebného výkonu. Výkres základního schéma klimatizace, upevnění klimatizační jednotky, rozvod vzduchu pro jeden článek.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše současných tramvajových tříčlánkových vozidel.
2. Návrh vlastního koncepčního řešení, celková dispozice vozidla a typový výkres vozidla, popis a zdůvodnění.
3. Volba typu, počtu kusů a umístění klimatizačních jednotek, zdůvodnění a potřebné výpočty.
4. Schématické znázornění klimatizace oddílů pro cestující na celém vozidle a návrh zabudování klimatizační jednotky na jednom libovolně zvoleném článku tramvaje, návrh je doložen výkresy.
5. Návrh rozvodů vzduchu ve zvoleném článku tramvaje od klimatizační jednotky až po rozmístění a směrování výústek, návrh je doložen výkresy a potřebnými výpočty.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla I. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007

HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla II. Plzeň: Západočeská univerzita, 2009

HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla III. Plzeň: Západočeská univerzita, 2011

LATA, M. Konstrukce kolejových vozidel II. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**
Regionální technologický institut
Konzultant diplomové práce: **Ing. Petr Skružný**
VKV Praha, s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **23. září 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září 2013

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 bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském, č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Hellerovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Petru Skružnému, kteří mi svými cennými radami pomohli k napsání této diplomové práce. Poděkování patří též kolektivu pracovníků na Katedře konstruování strojů a ve firmě VKV Praha s.r.o..

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Schön	Jméno Jiří		
STUDIJNÍ OBOR	2301T001 „Dopravní a manipulační technika“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Heller, CSc.	Jméno Petr		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Návrh tříčlánkového tramvajového vozidla se zaměřením na podrobný návrh klimatizace prostorů pro cestující			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	85	TEXTOVÁ ČÁST	76	GRAFICKÁ ČÁST	9
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Diplomová práce se zabývá návrhem tříčlánkového tramvajového vozidla a klimatizace prostorů pro cestující. V první části jsou navrženy základní rozměry, včetně rozmístění jednotlivých komponentů (sedadla, dveře, vytápění apod.) tramvajového vozidla spolu s výkresovou dokumentací. Vozidlo je navrženo jako nízkopodlažní s max. možným podílem nízké podlahy. Obsahem druhé části je navržení potřebného výkonu klimatizačního zařízení a jeho výběr dle nabídky českých a zahraničních firem, spolu s jeho zabudováním na střechu článku tramvajového vozidla a návrhu rozvodů vzduchu. Hlavním cílem práce je objasnit možnosti návrhu a zpracování tramvajového vozidla se zaměřením na klimatizaci.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Tramvajové vozidlo, klimatizace, klimatizační jednotka, výkon klimatizačního zařízení, výkon, rozvod vzduchu.</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Schön	Name Jiří	
FIELD OF STUDY	2301T001 “ Transport Vehicles and Handling Machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Heller, CSc.	Name Petr	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The design of a triple-articulated tramway vehicle focused on the detailed plan of the air-conditioning in space for passengers		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	85	TEXT PART	76	GRAPHICAL PART	9
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The diploma thesis is deal with the design of three segmented tram vehicle and the air-conditioning spaces for passengers.</p> <p>In the first part there are the basic dimensions designed including the placement of every single tram vehicle’s components together with the drawing documentation. In the second part there is a design of the required power of the air conditioner and its selection by the offers of Czech and foreign companies together with its installation on the vehicle’s roof. The main aim of my diploma thesis was to clarify the possibility of the design and the tram vehicle’s elaboration with focus on air conditioning.</p>
KEY WORDS	Tram vehicle, air conditioning, air conditioning unit, power of air conditioning, output, air distribution.

Obsah

Seznam příloh	9
Seznam tabulek	11
Úvod	12
1 Rešerše současných tramvajových tříčlankových vozidel	13
1.1 Koncepce tříčlankových nízkopodlažních tramvajových vozidel	13
1.2 Podrobný popis základních koncepcí tříčlankových tramvajových vozidel	14
1.2.1 Tříčlanková tramvaj s dvěma krajními články s neotočnými podvozky a středním neseným článkem	14
1.2.2 Tříčlanková tramvaj se dvěma delšími krajními články s otočnými podvozky a jedním středním krátkým článkem s neotočným podvozkem	15
1.2.3 Tříčlanková tramvaj se čtyřmi otočnými podvozky	16
1.2.4 Tříčlanková tramvaj se třemi neotočnými podvozky pod každým článkem	17
1.2.5 Tříčlanková tramvaj se dvěma otočnými podvozky pod čelem a dvěma otočnými podvozky pod kloubovým spojením článků	18
2 Vlastní návrh tramvajového vozidla	20
2.1 Základní informace o tramvajovém vozidle	20
2.1.1 Výhody, nevýhody	20
2.1.2 Dveře a výhled z vozidla	20
2.1.3 Sedadla a madla	21
2.1.4 Prostory pro cestující na invalidním vozíku a pro kočárky	21
2.2 Příčné rozměry tramvají	22
2.2.1 Průjezdny průřez	22
2.2.2 Obrys pro tramvajové vozidlo	23
2.3 Výpočet vybočení článku B	25
2.3.1 Výpočet vnitřního vybočení [3]	25
2.3.2 Výpočet vnějšího vybočení [3]	26
2.3.3 Vlastní výpočet vybočení článku B	26
2.4 Výpočet vybočení článku A	28
2.4.1 Vnitřní vybočení	28
2.4.2 Vnější vybočení	29
2.5 Základní rozměry tramvajového vozidla	30

3	Klimatizace a vytápění v MHD	32
3.1	Klimatizační jednotka.....	32
3.2	Evropská norma ČSN EN 14750-1	32
3.2.1	Všeobecné požadavky a předpisy	34
3.3	Výpočet výkonů klimatizační jednotky.....	40
3.3.1	Výpočet vytápěcího výkonu tramvaje	40
3.3.2	Výpočet chladicího výkonu.....	45
3.4	Řešení výpočtu výkonu klimatizačního zařízení	47
3.4.1	Výpočet vnějšího součinitele přestupu k	47
3.4.2	Návrh izolace a výpočet součinitele prostupu tepla	48
3.4.3	Výpočet výkonu vytápěcího zařízení.....	52
3.4.4	Výpočet chladicího výkonu.....	55
3.5	Vyhodnocení, závěr a výběr klimatizační jednotky.....	60
4	Návrh zabudování klimatizační jednotky a rozvodů vzduchu ve středním článku B...62	
4.1	Návrh konstrukce střechy a zabudování klimatizační jednotky	63
4.2	Návrh rozvodů vzduchu.....	65
5	Simulace proudění.....	69
5.1	Řešení analýzy rozvodu vzduchu v kanálu.....	69
5.1.1	Okrajové podmínky a tvorba sítě.....	69
5.1.2	Výsledky rychlostí a teplot na výstupních otvorech.....	71
5.2	Řešení analýzy teplotního pole a rozpětí rychlostí ve středním článku B.....	75
5.2.1	Okrajové podmínky a tvorba sítě.....	75
5.2.2	Výsledky rychlostí a teplot pro střední článek B.....	76
5.3	Optimalizace rozvodů vzduchu a středního článku B	78
5.3.1	Řešení analýzy rozvodu vzduchu v kanálu	78
5.3.2	Řešení analýzy teplotního pole a rozpětí rychlostí ve středním článku B	80
5.3.3	Konečná úprava konstrukce rozvodů.....	81
	Závěr	82
	Použitá literatura.....	83

Seznam příloh

Příloha č. 1: Výsledky výpočtu jednotlivých výkonů klimatizační jednotky od firmy Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o.v Kolíně.

Název	Číslo výkresu	Formát výkresu
Tříčlánková nízkopodlažní tramvaj Aljesky	TRAM-00-00-01	A0
Sestava rozvodu vzduchu	DP-02-001	A0
Střední kanál 1	DP-02-030	A1
Boční nastavovací kanál	DP-02-032	A3
Podélník 467- L	DP-03-033	A3

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: tříčlánková tramvaj s dvěma krajními články s neotočnými podvozky obvyklé koncepce a jedním neseným článkem [3]	13
Obrázek 1.2: tříčlánková tramvaj se dvěma delšími krajními články s otočnými podvozky a jedním středním krátkým článkem s neotočným podvozkem [3]	13
Obrázek 1.3: tříčlánková tramvaj se čtyřmi otočnými podvozky [3]	13
Obrázek 1.4: tříčlánková tramvaj se třemi neotočnými podvozky pod každým článkem [3]	14
Obrázek 1.5: tříčlánková tramvaj se dvěma otočnými podvozky pod čelem a dvěma otočnými podvozky pod kloubovým spojením článků [3]	14
Obrázek 1.6: tříčlánková čtyřnápravová tramvaj [3].....	14
Obrázek 1.7: příklad I	15
Obrázek 1.8: tříčlánková šestnápravová tramvaj [3].....	16
Obrázek 1.9: příklad II	16
Obrázek 1.10: tříčlánková osminápravová tramvaj [3]	17
Obrázek 1.11: příklad III	17
Obrázek 1.12: tříčlánková „Brémská“ tramvaj [3].....	18
Obrázek 1.13: tříčlánková kloubová tramvaj [3].....	18
Obrázek 1.14: příklad IV	19
Obrázek 2.1: návrh tříčlánkového tramvajového vozidla.....	20
Obrázek 2.2: detail výkresu bokorysu článku C.....	21
Obrázek 2.3: detail půdorysu článku A	22
Obrázek 2.4: průjezdový průřez pro jednokolejnou trať [13]	22
Obrázek 2.5: průjezdový průřez pro dvoukolejnou trať [13]	23
Obrázek 2.6: vztahová linie statického obrysu pro rozchod 1435 mm [6]	24
Obrázek 2.7: rozšíření obrysu v oblouku koleje pro tramvaje [3].....	25
Obrázek 2.8: náčrt půdorysu článku B v oblouku koleje	27
Obrázek 2.9: grafická metoda pro vnitřní vybočení článku A.....	28
Obrázek 2.10: grafická metoda pro vnitřní vybočení článku A- detail.....	29
Obrázek 2.11: grafická metoda pro vnější vybočení článku A	29
Obrázek 2.12: grafická metoda pro vnější vybočení článku A- detail	30
Obrázek 2.13: detaily půdorysů článků A,B,C	31
Obrázek 3.1: znázornění základních pojmů [15]	33
Obrázek 3.2: přípustný prostor pro stanovení regulační křivky vozidel kategorie B [15]	36
Obrázek 3.3: přijatelná relativní vlhkost pro kategorii B [15]	37

Obrázek 3.4: dovolená rychlost proudění vzduchu [15].....	38
Obrázek 3.5: produkce tepla od sedících normálně oblečených cestujících [15].....	39
Obrázek 3.6: prostup tepla jednoduchou rovinnou stěnou.....	41
Obrázek 3.7: prostup tepla složenou rovinnou stěnou	43
Obrázek 3.8: návrh izolace bočnice	48
Obrázek 3.9: návrh izolace podlahy.....	49
Obrázek 3.10: návrh izolace střechy	50
Obrázek 3.11: návrh izolace okna.....	51
Obrázek 3.12: jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran	57
Obrázek 3.13: Thermo King LRC 35 ISTANBUL-I [7].....	61
Obrázek 3.14: Thermo King LRC 35 ISTANBUL-II [7].....	61
Obrázek 4.1: střední článek B- I.....	62
Obrázek 4.2: střední článek B- II.....	62
Obrázek 4.3: sestava střechy	63
Obrázek 4.4: podélníky a příčníky.....	63
Obrázek 4.5: podélník	64
Obrázek 4.6: uchycení klimatizační jednotky na pryžových silentblokách	64
Obrázek 4.7: schématické znázornění klimatizace oddílu pro cestující-klimatizace	65
Obrázek 4.8: schématické znázornění klimatizace oddílu pro cestující-vytápění	65
Obrázek 4.9: detail návrhu přívodu recirkulovaného vzduchu do klimatizační jednotky	65
Obrázek 4.10: detail složení plechových dílů a spoj nýtem	66
Obrázek 4.11: prolis vytvořený ve středním kanále pro lepší montáž.....	66
Obrázek 4.12: zakrytování rozvodů vzduchu	67
Obrázek 4.13: upevněná konzole na podélník a detail prolisu u laminátového krytu	67
Obrázek 4.14: drážky vyrobené ve středním kanále	68
Obrázek 5.1: prvotní návrh.....	69
Obrázek 5.2: okrajové podmínky.....	70
Obrázek 5.3: vytvořená síť.....	70
Obrázek 5.4: rychlost na výstupu z bočního kanálu	71
Obrázek 5.5: rychlost na výstupu po úpravě průřezu.....	72
Obrázek 5.6: rychlostní pole-řez rovinou x-y	72
Obrázek 5.7: ukázka funkce rozváděcích plechů	73
Obrázek 5.8: teplotní pole.....	73
Obrázek 5.9: proudění vzduchu bez rozváděcích plechů- I.....	74
Obrázek 5.10: proudění vzduchu s rozváděcími plechy- II.....	74
Obrázek 5.11: ukázka snímku z videa proudění vzduchu v rozvodech	75
Obrázek 5.12: vytvoření vnitřního prostotu článku B	75
Obrázek 5.13: vytvořené okrajové podmínky	76
Obrázek 5.14: rychlostní pole v úrovni hlav sedících cestujících-I	76
Obrázek 5.15: rychlostní pole v úrovni hlav sedících cestujících-II.....	77
Obrázek 5.16: rychlostní pole okolo sedících cestujících v řezu x-z.....	77
Obrázek 5.17: Teplotní pole ve středním článku B.....	78
Obrázek 5.18: teplotní pole- řez x-z.....	78
Obrázek 5.19: nerovnoměrná rychlost po celém průřezu kanálu.....	79
Obrázek 5.20: rychlosti po nastavení rozváděcích plechů	79
Obrázek 5.21: teplotní pole ve středním článku	80
Obrázek 5.22: proudění vzduchu ve středním článku	80
Obrázek 5.23: upravený rozvod vzduchu	81
Obrázek 5.24: detail pěti bočních výstupů po optimalizaci	81

Seznam tabulek

Tabulka 2-1:základní rozměry a informace	30
Tabulka 3-1: rozdělení do jednotlivých kategorií [15].....	34
Tabulka 3-2: stanovené klimatické zóny- zima (příloha E)	35
Tabulka 3-3: stanovené klimatické zóny- léto (příloha E).....	35
Tabulka 3-4: začlenění zemí do klimatických zón- pro příklad jsou uvedeny pouze některé státy (příloha F)..	35
Tabulka 3-5: vnější podmínky pro ČR.....	35
Tabulka 3-6: přípustné rychlosti proudění.....	38
Tabulka 3-7: součinitel k stojícího vozidla podle začlenění zemí do klimatických zón	39
Tabulka 3-8: určení jednotlivých cyklu otevření a uzavření dveří.....	40
Tabulka 3-9: tepelně izolační vlastnosti jednotlivých materiálů	42
Tabulka 3-10: součinitele přestupu povrchu skříně vozidla pro osobní vůz ČD	42
Tabulka 3-11: výsledek vnějšího součinitele přestupu pro různé rychlosti vozidla.....	47
Tabulka 3-12: tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů.....	48
Tabulka 3-13: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	48
Tabulka 3-14: tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů.....	49
Tabulka 3-15: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	49
Tabulka 3-16: tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů.....	50
Tabulka 3-17: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	50
Tabulka 3-18: tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů.....	51
Tabulka 3-19: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	51
Tabulka 3-20: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla.....	52
Tabulka 3-21: výslední součinitele prostupu tepla podle částí skříně	52
Tabulka 3-22: vyhodnocení vytápěcího příkonu	55
Tabulka 3-23: jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran [17]	57
Tabulka 3-24: hodnoty součinitele absorpce a ploch pro jednotlivé části skříně.....	57
Tabulka 3-25: hodnoty součinitele propustnosti sl. záření okny	58
Tabulka 3-26: zisk od slunečního zatížení	59
Tabulka 3-27: porovnání tepelných zisků od slunečního záření	59
Tabulka 3-28: vyhodnocení výsledků.....	60
Tabulka 3-29: výběr klimatizační jednotky	60
Tabulka 3-30: základní údaje	61

Úvod

Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh tříčlánekového tramvajového vozidla a na klimatizaci prostorů pro cestující. Spolu s rozvojem nových technologií vzniká nová moderní pokroková doba a s ní dochází i k rozvoji celého technického průmyslu, včetně kolejových vozidel. Už v dřívějších dobách se stala tramvaj jedním z nejvíce využívaných a významných dopravních prostředků. Jedním z plusů je, že se pohybuje po vlastní dráze, čímž je umožněna přeprava cestujících i při dopravní zácpě. Další výhodou oproti automobilům je ekologická šetrnost.

První kapitola diplomové práce se bude zabývat návrhem tříčlánekového tramvajového vozidla. V úvodu práce jsou uvedeny základní informace o tramvajovém vozidle, jeho výhody a nevýhody. Dále jsou představena jednotlivá uspořádání prostorů pro cestující, rozmístění podvozků a řešení základních příčných rozměrů vozidla.

V druhé části práce jsou uvedeny základní pojmy spojené s klimatizací, určené požadavky a předpisy dané normou. Následuje výpočet vytápěcího, ale také chladicího výkonu. S tím jsou samozřejmě spjaty i návrhy izolací jednotlivých částí skříně. V neposlední řadě bude řešen výběr možné klimatizační jednotky s jeho upevněním na střechu jednoho článku.

V další kapitole bude řešen návrh zabudování klimatizační jednotky a rozvodů vzduchu. Nejdřív bude ukázána konstrukce navržené střechy a poté samotné upevnění klim. jednotky. Jako další následuje ukázka navrhovaných rozvodů vzduchu se simulací proudění.

Hlavním cílem práce je objasnit problémy a zpřístupnit informace, které při výpočtu výkonů klimatizace mohou nastat. U tramvajového vozidla, ale také u jiných dopravních prostředků se klade velký důraz na úsporu hmotnosti a především na ekologičnost.

1 Rešerše současných tramvajových tříčlánkových vozidel

Tramvajové vozidlo je obecně jedním z velmi významných dopravních prostředků městské hromadné dopravy. Využívá se hlavně ve městech s počtem obyvatel nad 100 000. Jednou z hlavní výhod je např., že se pohybuje po vlastní dráze. Tím je umožněna doprava cestujících i při dopravní zácpě. Jako další výhoda může být uvedena ekologická šetrnost vůči ovzduší na rozdíl od silničních dopravních prostředků.

1.1 Koncepce tříčlánkových nízkopodlažních tramvajových vozidel

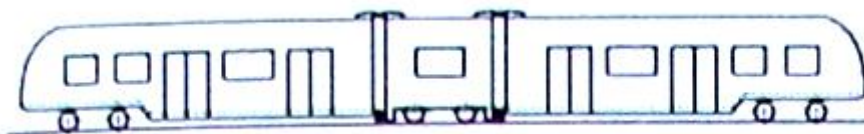
Tříčlánkové tramvajové vozidlo může být rozděleno do 5 základních koncepcí. Jednotlivé koncepce tramvajového vozidla závisí především na druhu podvozku. Ten může být trakční nebo běžný. Další rozdělení je podle možnosti natočení podvozku při průjezdu obloukem. Podvozek, který se může natáčet okolo svislé osy neomezeně, se nazývá otočný. Z toho vyplývá i druhý typ, který se jmenuje neotočný. Dalším prvkem, který neodmyslitelně patří ke každé koncepci je vazba mezi články. Vazba může být různá, podle toho o jaký druh koncepce se jedná.

Neodmyslitelně patří k tramvajovému vozidlu i údaje o jeho výkonu, počtu trakčních motorů a především to, zda se tramvaj bude pohybovat v jednom směru nebo v obou směrech. To má za následek změny v počtu dveří a uspořádání prostoru pro cestující.

5 základních koncepcí tříčlánkového tramvajového vozidla:



Obrázek 1.1: tříčlánková tramvaj s dvěma krajními články s neotočnými podvozky obvyklé koncepce a jedním neseným článkem [3]



Obrázek 1.2: tříčlánková tramvaj se dvěma delšími krajními články s otočnými podvozky a jedním středním krátkým článkem s neotočným podvozkem [3]



Obrázek 1.3: tříčlánková tramvaj se čtyřmi otočnými podvozky [3]



Obrázek 1.4: tříčlánková tramvaj se třemi neotočnými podvozky pod každým článkem [3]

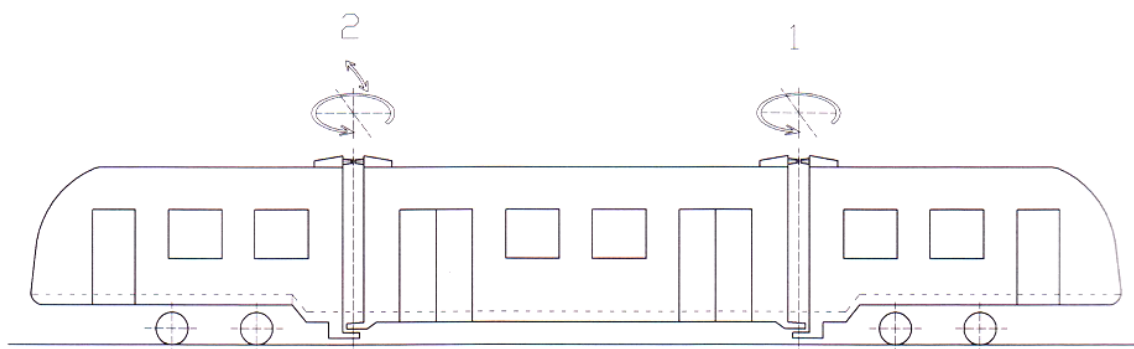


Obrázek 1.5: tříčlánková tramvaj se dvěma otočnými podvozky pod čelem a dvěma otočnými podvozky pod kloubovým spojením článků [3]

1.2 Podrobný popis základních koncepcí tříčlánkových tramvajových vozidel

1.2.1 Tříčlánková tramvaj s dvěma krajními články s neotočnými podvozky a středním neseným článkem

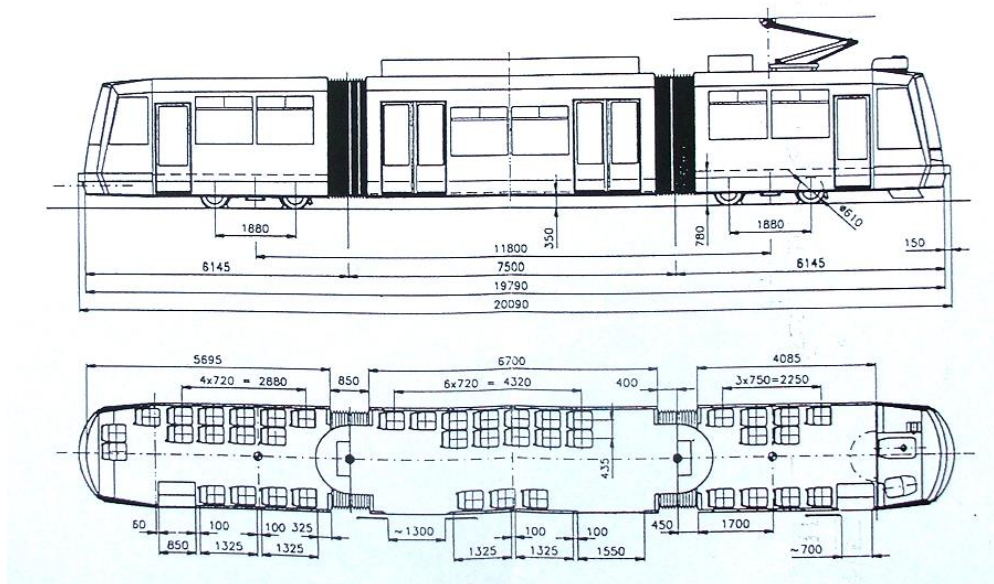
Tato tramvaj se skládá ze tří článků se dvěma podvozky, které jsou neotočné. Její hlavní nevýhodou je větší opotřebení kolejnic a kol při průjezdu obloukem. Zjednodušeně řečeno, dochází k natáčení celé hmotnosti článku okolo svislé osy při průjezdu obloukem. Důvodem tohoto nepříznivého vlivu jsou neotočné podvozky. Z hlediska konstrukce a výroby je vozidlo velmi jednoduché. Další nevýhodou u této koncepce je malý podíl nízké podlahy. [3]



Obrázek 1.6: tříčlánková čtyřnápravová tramvaj [3]

Vazby mezi články, které jsou důležité pro provoz tohoto druhu tramvaje, jsou vidět na obrázku. Kloub dva musí umožňovat kývavý pohyb a zároveň otáčení okolo svislé osy. U kloubu jedna je pouze podmínka otáčení okolo svislé osy.

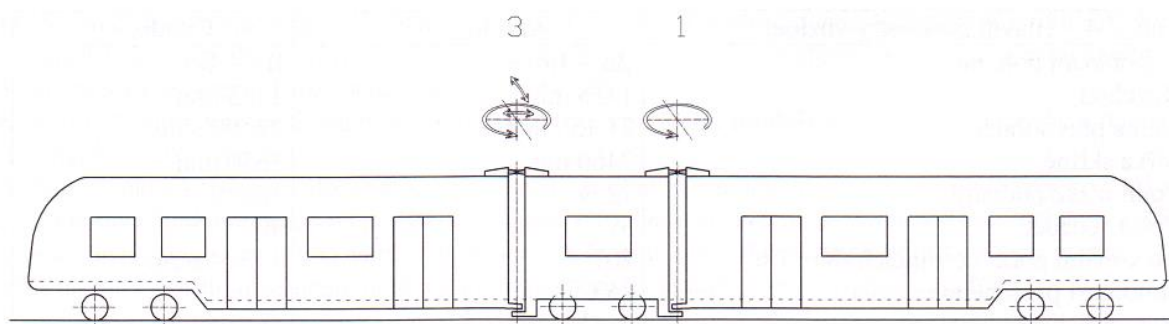
Jako příklad řešení tohoto typu tramvaje můžeme uvést např. tramvajové vozidlo od firmy INEKON typ TRIO, tramvaj Citadis ALSTOM a od firmy ŠKODA Anitra 03T.



Obrázek 1.7: příklad I

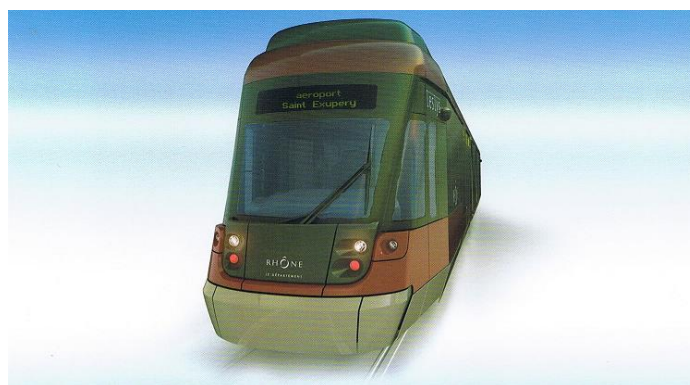
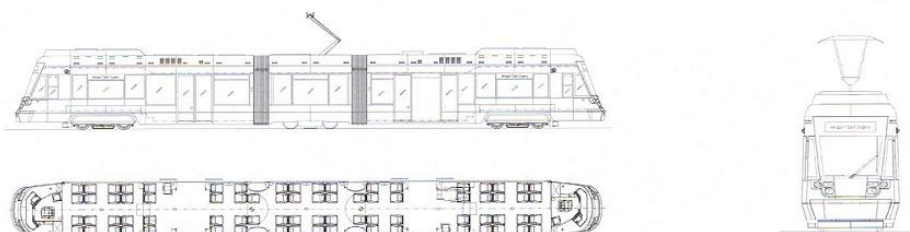
1.2.2 Tříčlánková tramvaj se dvěma delšími krajními články s otočnými podvozky a jedním středním krátkým článkem s neotočným podvozkem

Následující koncepce je vylepšením tramvaje předchozí. Pomocí otočných podvozků zde nedochází k takovému opotřebení kol a kolejnic. Střední článek není už nesený, ale je umístěn na neotočném podvozku. Vazba mezi skříněmi je podobná předchozí koncepci, s tím rozdílem, že klouby tři musí být umožněn podélný a příčný kývavý pohyb. Zasahování podvozku do prostoru skříně středního článku je u této koncepce velmi závažná nevýhoda. [3]



Obrázek 1.8: tříčlávková šestnápravová tramvaj [3]

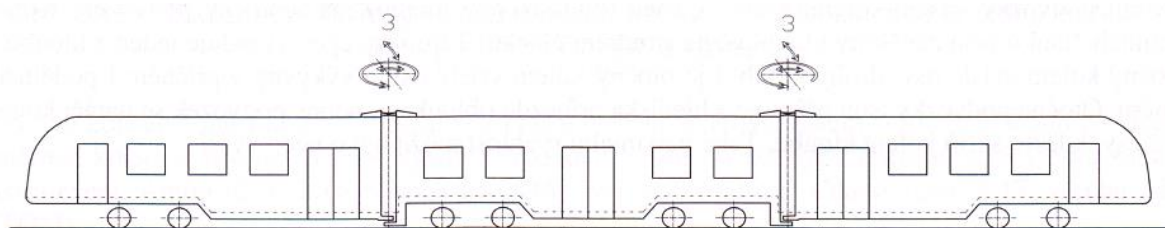
Příklad takové tramvaje je vozidlo s typovým označením Tango od firmy STADLER a FLEXITY Swift firmy BOMBARDIER.



Obrázek 1.9: příklad II

1.2.3 Tříčlávková tramvaj se čtyřmi otočnými podvozky

Tramvajové vozidlo se skládá ze tří článků se čtyřmi otočnými podvozky. Dva jsou umístěné pod krajními články a dva pod středním článkem tramvaje. Průjezd směrovými a výškovými oblouky zajišťují klouby, které umožňují podélný, příčný výkyvný pohyb a otočný pohyb kolem svislé osy. Koncepte této tramvaje může být o něco delší než předchozí dva případy. Při porovnání s ostatními typy se zvýší hmotnost vozidla asi o 2500-3500 kg. Tento nárůst hmotnosti lze považovat za nevýhodu. [3]



Obrázek 1.10: tříčlánková osminápravová tramvaj [3]

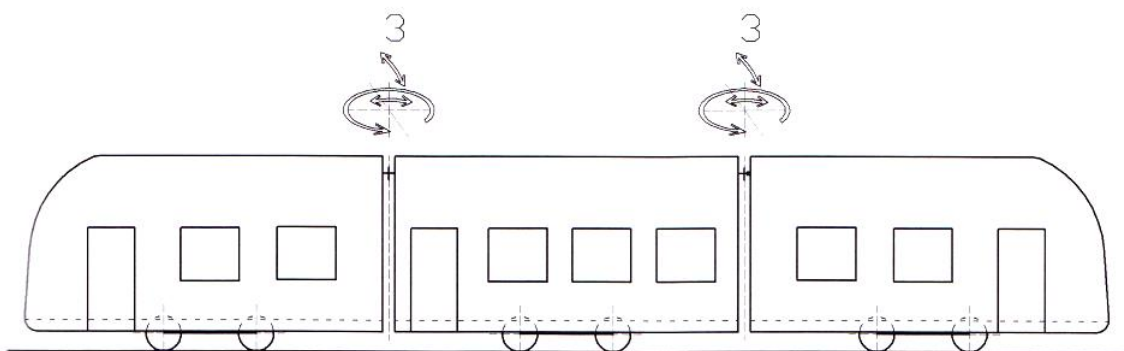
Konkrétní příklad pro tento typ koncepce je typ BOMBARDIER FLEXITY Classic, který je uveden na obrázku níže.



Obrázek 1.11: příklad III

1.2.4 Tříčlánková tramvaj se třemi neotočnými podvozky pod každým článkem

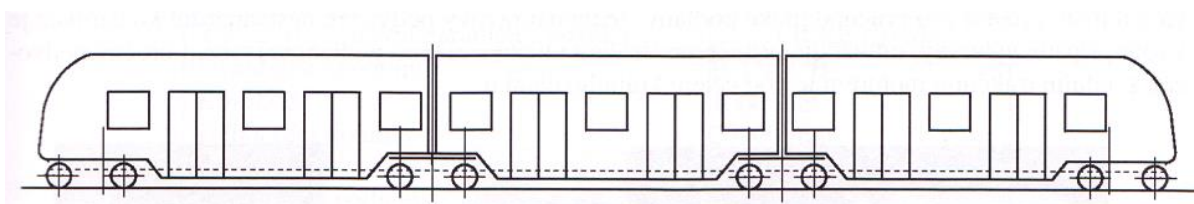
Tato koncepce tříčlánkového tramvajového vozidla obsahuje tři neotočné podvozky pod každým článkem. Jedna náprava na podvozku je vždy trakční, druhá běžná. Pohyb vozidla zajišťují klouby podobné jako v předchozím případě. Toto tramvajové vozidlo se také nazývá „Brémská tramvaj“. [3]



Obrázek 1.12: tříčlánková „Brémská“ tramvaj [3]

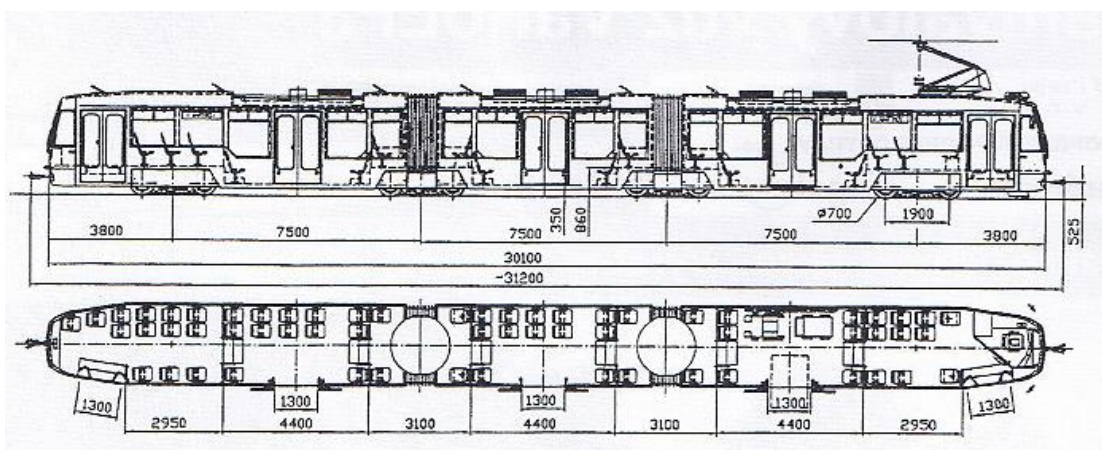
1.2.5 Tříčlánková tramvaj se dvěma otočnými podvozky pod čelem a dvěma otočnými podvozky pod kloubovým spojením článků

Realizace tramvajového vozidla tohoto typu je na obrázku níže. Pod krajními články jsou otočné podvozky, které mají posunutou svislou osu otáčení okolo skříně. Tím je odstraněno omezení podílu nízké podlahy a nadměrné opotřebovávání kol a kolejnic. Další dva podvozky jsou vloženy mezi články. Tímto způsobem odpadá vazba mezi články. V podstatě vše zajišťuje spojení mezi podvozky a článkem. [3]



Obrázek 1.13: tříčlánková kloubová tramvaj [3]

Konkrétní realizace tohoto typu tramvajového vozidla je typ For City 15T od firmy ŠKODA. Tramvaj můžeme vidět např. v Praze. Jako další příklad lze uvést Vario LF3, který je zobrazen na obrázku níže.



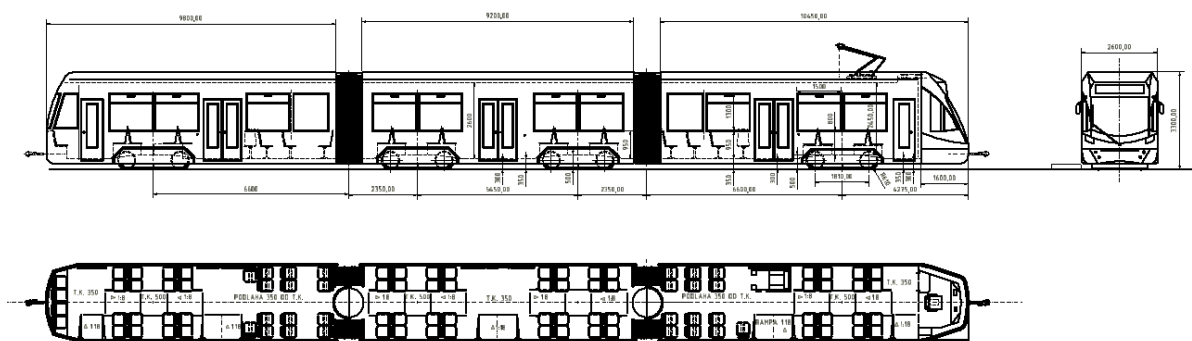


Obrázek 1.14: příklad IV

2 Vlastní návrh tramvajového vozidla

2.1 Základní informace o tramvajovém vozidle

Tříčlánková tramvaj byla vybrána a zvolena dle zadání. Jedná se o tříčlánkové tramvajové vozidlo se 100 % podílem nízké podlahy a se 4 otočnými podvozky s rozchodem 1435 mm. Dva jsou umístěné pod středním článkem. Tyto podvozky jsou běžné. Další dva podvozky jsou umístěny pod krajními články a jsou hnací (trakční podvozky). Rozvor podvozků je zvolen 1810 mm a průměr kol 610 mm. Podobné hodnoty se většinou používají pro tramvajová vozidla.



Obrázek 2.1: návrh tříčlánkového tramvajového vozidla

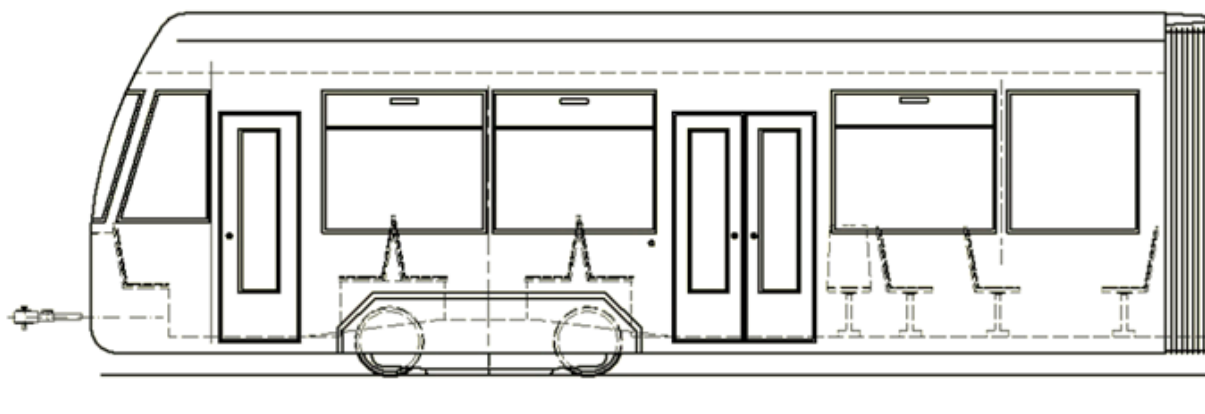
2.1.1 Výhody, nevýhody

Tato koncepce má své výhody a nevýhody. Jednou z hlavních výhod je ta, že při průjezdu obloukem nedochází k takovému opotřebování kol a kolejnic. To je způsobeno tím, že se nenatáčí celková hmotnost článku okolo svislé osy. Další výhody jsou následující. Lepší rozložení hmotnosti na jednotlivé nápravy a s tím související větší umožnění délkových rozměrů vůči tramvajovému vozidlu se dvěma nebo třemi podvozky. Hlavní nevýhodou je zde nárůst hmotnosti o jeden podvozek. Hmotnost podvozku činí přibližně 2500-3500 kg, což není zrovna málo. Samozřejmě zasahování podvozku do skříně jednotlivých článků je také jeden z negativních vlivů. Má totiž za následek zvýšení podlahy od temene kolejnice a tím zhoršení řešení prostoru pro cestující.

Průjezd směrovými a výškovými oblouky zajišťují klouby mezi jednotlivými články. Klouby umožňují pohyb podélný a příčný výkyvný a samozřejmě i pohyb kolem svislé osy.

2.1.2 Dveře a výhled z vozidla

Počet dveří na vozidle byl navrhnut dle vlastní úvahy. Na každém článku jsou jedny dvoukřídlé předsuvné vstupní dveře. Každý krajní článek obsahuje ještě navíc jednokřídlé předsuvné dveře pro lepší časové a nástupní vlastnosti. Základní rozměry dvoukřídlých dveří činí 1300 mm na šířku a 2000 mm na výšku. Jednokřídlé dveře se liší pouze svojí šířkou, která je 750 mm. Větší šířka dveří by měla za následek větší hmotnost a tím i větší zatížení na upevnění a konstrukci mechanismu pro otevírání a zavírání dveří. Na každých dveřích je tlačítko, které po stisknutí otevře dveře.



Obrázek 2.2: detail výkresu bokorysu článku C

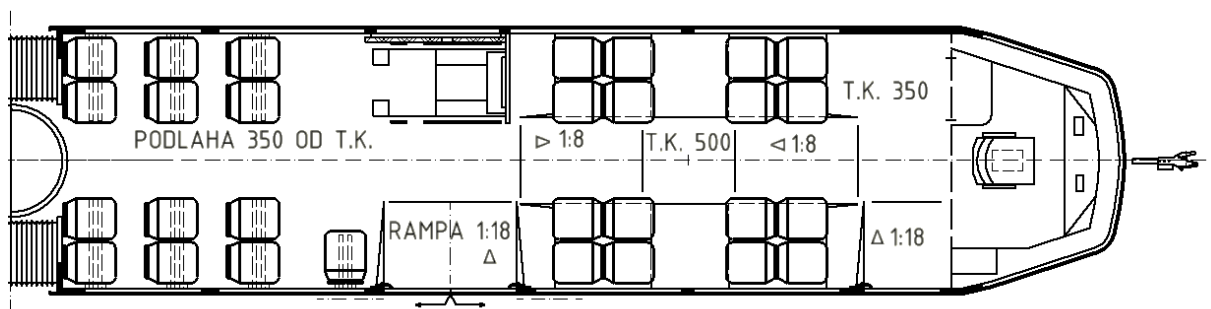
Při výběru typu oken byl brán ohled na jejich hmotnost. Proto bylo zvoleno jednoduché sklo, které má téměř dvakrát větší součinitel prostupu tepla oproti dvojsklu a je přibližně $7,026 \text{ W/m}^2\text{K}$. To lze považovat za nevýhodu. Rozměry oken jsou 1500 mm a 1300 mm . Okna jsou opatřena výklopnou horní částí pro případné nouzové větrání.

2.1.3 Sedadla a madla

Nedílnou součástí každé tramvaje jsou sedačky a madla. Jejich účel je dosti zřejmý. Musí splňovat velké množství požadavků, ať už se jedná o tvarování, pevnostní požadavky, případně i nehořlavost materiálů a odolnost vůči vandalům. Samotné uspořádání sedaček je v tramvaji velmi složité. Např. z důvodu zasahování podvozku do skříně článků. Pro náš případ vyřešení problému s prostorem na kola podvozku byla použita podesta, na které jsou umístěny čtyři sedáky. Provedení sedadel a jejich základní rozměry jsou vytvořeny podle normy ČSN 28 1300, která uvádí minimální šířku plochy sedáku 400 mm a výšku sedáku, která by měla být 450 mm . Sedadla nejsou opatřena opěrkami hlavy a loktů z důvodu snadné a rychlé vyměnitelnosti osob.

2.1.4 Prostory pro cestující na invalidním vozíku a pro kočárky

V článku A je umístěn prostor pro cestujícího na invalidním vozíku. Tento prostor by se měl umístit co nejbližší k řidiči tramvaje. Je to z toho důvodu, aby řidič byl v co nejkratší době u tělesně postiženého člověka, kdyby došlo k nějakému problému nebo kvůli výstupu a nástupu daného cestujícího. Tlačítko pro upozornění řidiče tramvaje se nachází vedle dvoukřídlových dveří v určité výšce. Pomocí tohoto tlačítka se automaticky vysune nájezdová plošina pro najetí vozíku do prostoru tramvaje, která je umístěna pod podlahou. Prostor, který je vyhrazen pro osobu tělesně postiženou, je uveden na obrázku 2.3. Obsahuje madla s opěrkou a bezpečnostním pásem pro dokonalé uchycení vozíku a cestujícího. Zde nesmíme zapomenout na tlačítko, které upozorní řidiče, např. na výstup. Pokud se nepřeváží osoba na invalidním vozíku, lze tento prostor použít pro kočárky nebo stojící cestující. Prostory pro kočárky jsou také umístěny v článku B a C.



Obrázek 2.3: detail půdorysu článku A

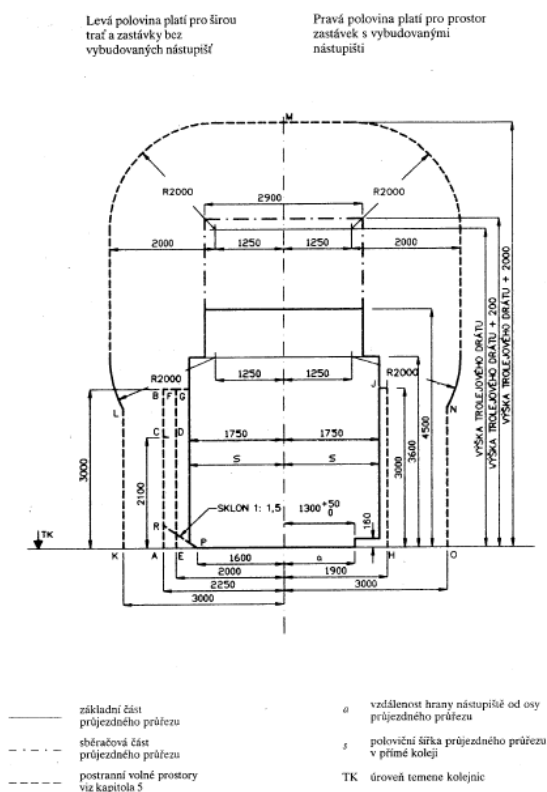
2.2 Příčné rozměry tramvají

Základní rozměry tramvajových vozidel, jako jsou šířka a výška, jsou dány normami. Je to proto, aby nedošlo ke kolizi se stavbami a zařízeními, které jsou v okolí kolejí a ke střetu s vozidlem pohybujícím se na vedlejší koleji. Všechny tyto informace jsou obsaženy v normě ČSN 28 0318:1994- Průjezdny průřezy tramvajových tratí. [3]

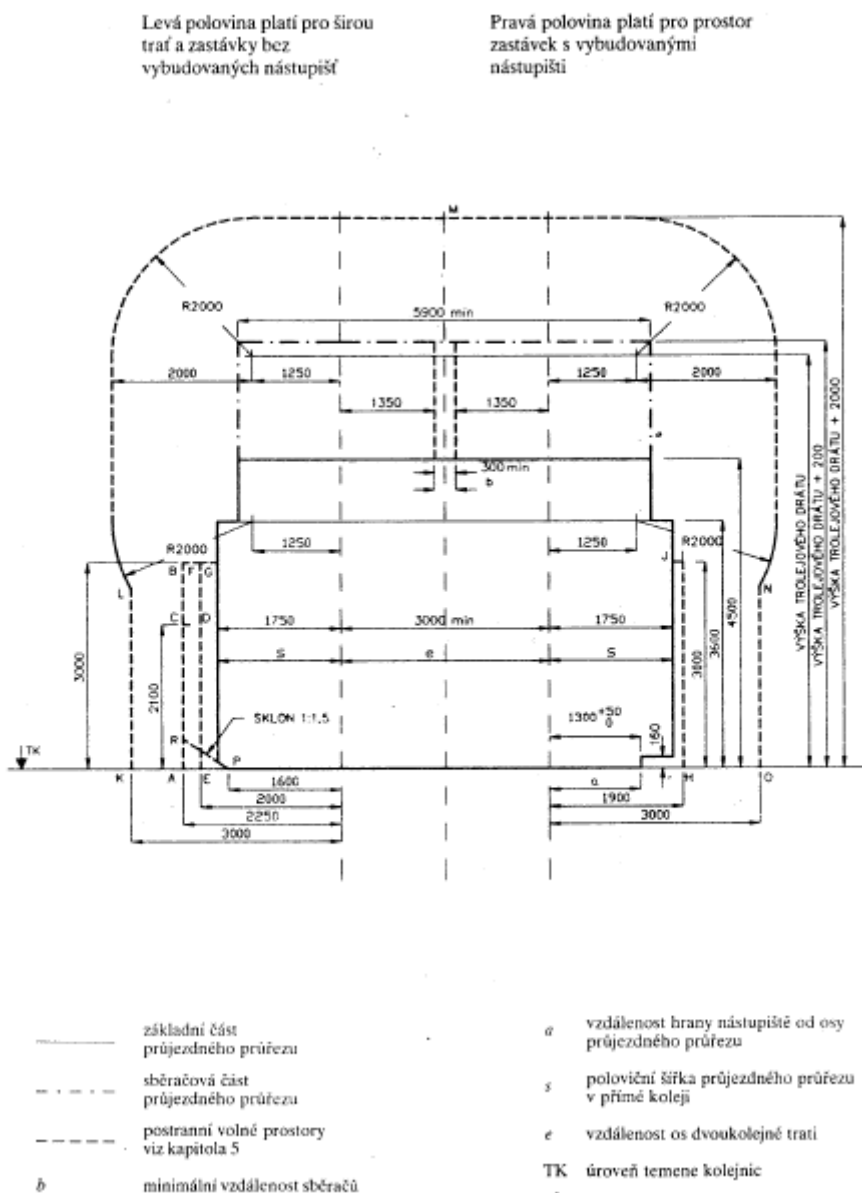
2.2.1 Průjezdny průřez

Do průjezdného průřezu nesmí zasahovat žádná stavba ani pevné zařízení. Průjezdny průřezy můžeme rozdělit do dvou skupin (podle normy ČSN 28 0318:1994):

- průjezdny průřez pro jednokolejnou trať (Obrázek 2.4)
- průjezdny průřez pro dvoukolejnou a vícekolejnou trať (Obrázek 2.5)



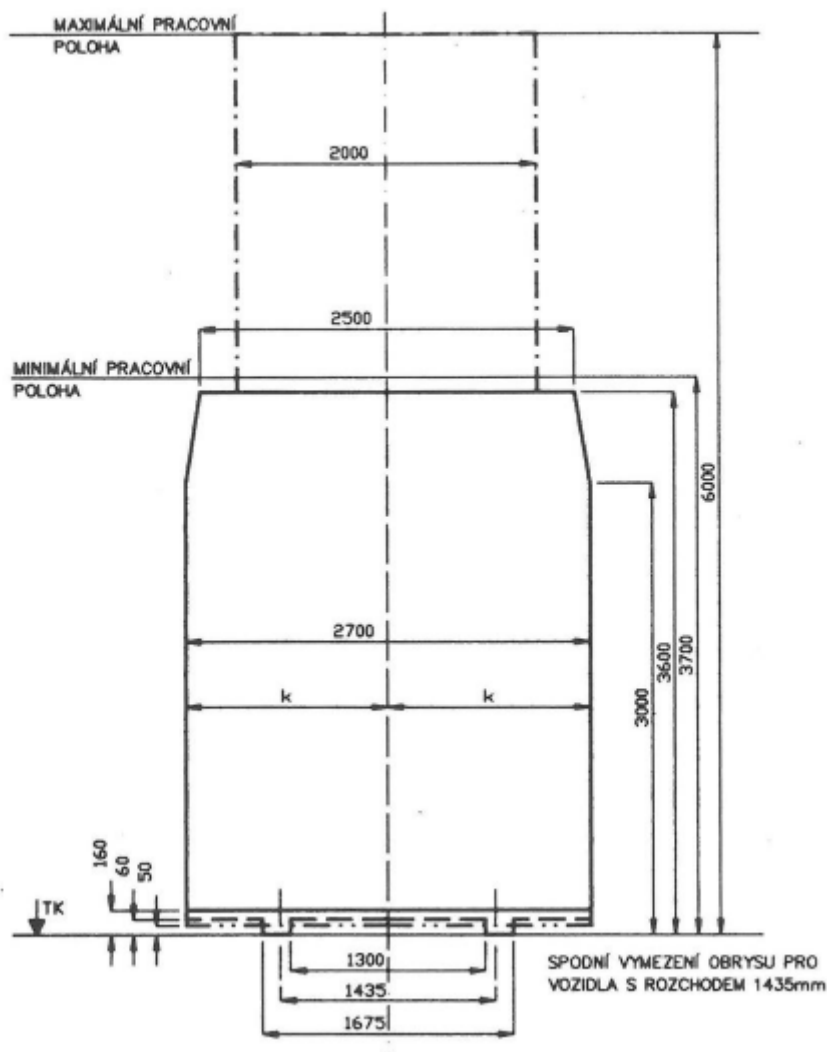
Obrázek 2.4: průjezdny průřez pro jednokolejnou trať [13]



Obrázek 2.5: průjezdný průřez pro dvoukolejnou trať [13]

2.2.2 Obrys pro tramvajové vozidlo

Obrys pro tramvajové vozidlo je silueta v rovině kolmé k podélné ose koleje, která určuje dovolenou vzdálenost jednotlivých bodů obrysu vozidla. S přihlédnutím na to, že tramvajové vozidlo se pohybuje nízkými rychlostmi, bere se jako vztažná linie obrysu tramvaje pro trať o rozchodu 1435 mm vztažná linie statického obrysu podle ČSN 28 0337:1994- Obrysy pro tramvajová vozidla. [3]



Obrázek 2.6: vztažná linie statického obrysu pro rozchod 1435 mm [6]

Podle normy ČSN 28 0318:1994 musí být rozměr mezi průjezdným průřezem a vztažnou linií obrysu vozidla nejméně:

- 400 mm ve výšce 0-3000 mm nad temenem kolejnice
- 450 mm ve výšce 3000-6200 mm nad temenem kolejnice

Při postavení vozidla v oblouku koleje o poloměru $<1000\text{ m}$ se šířka průjezdného průřezu zvětšuje podle toho, o jaký poloměr oblouku se jedná (Obrázek 2.7). [3]

Poloměr oblouku osy koleje r m	Rozšíření vnější části průjezdného průřezu o oblouku δa mm	Rozšíření vnitřní části průjezdného průřezu v oblouku δi mm
20	650	310
22	600	280
25	530	235
30	440	185
35	380	150
40	330	125
45	290	105
50	260	85
75	165	35
100	115	10
150	65	5
200	45	0
250	30	0
300	20	0
400	15	0
500	10	0
750	5	0
1 000	0	0

Obrázek 2.7: rozšíření obrysu v oblouku koleje pro tramvaje [3]

Při porovnání obrysu tramvaje v koleji se vztaznou linií obrysu vozidla jsou dány mezní parametry při dvou předpokladech [3]:

- 1) V přímé koleji- vozidlo stojí v klidu, uprostřed přímé koleje. Žádná jeho část nesmí přesahovat vztaznou linii statického obrysu vozidla s výjimkou zpětných zrcátek a směrových ukazatelů.
- 2) V oblouku- vozidlo stojí v oblouku o poloměru R v té nejnepříznivější poloze na koleji s rozšířeným rozchodem e_k . Jeho části smí přesahovat vztaznou linií (statického) obrysu vozidla o určitou rozšiřovací hodnotu δ , která závisí na poloměru oblouku a na tom, zda se jedná o vnější nebo vnitřní část průjezdného průřezu v oblouku.

2.3 Výpočet vybočení článku B

Výpočtu podle ČSN 28 0337:1994.

2.3.1 Výpočet vnitřního vybočení [3]

Norma udává podmínku pro vzdálenost povrchu vozidla E_i od osy obrysu mezi otočnými čepy podvozků.

$$E_i \leq k + \delta_i$$

kde:

k ... poloviční šířka obrysu pro vozidla v přímé koleji [m]

δ_i ... rozšíření vnitřní části obrysu pro vozidla v oblouku koleje [m]

Pro výpočet E_i použijeme vztah podle normy ČSN 28 0337:1994:

$$E_i = \frac{2el_o - l_o^2}{2r} + d + \frac{p^2}{8r} + b$$

kde:

r ... poloměr oblouku [m]

$2e$... vzdálenost otočných čepů [m]

l_o ... vzdálenost vyšetřovaného bodu povrchu vozidla od roviny příčného řezu v místě otočných čepů [m]

d ... maximální vůle (radiální posuv) otočného čepu ze střední polohy po vyčerpání všech možných vůlí při statické poloze [m]

p ... rozvor podvozku [m]

b ... vzdálenost vyšetřovaného bodu povrchu vozidla od podélné osy vozidla [m]

2.3.2 Výpočet vnějšího vybočení [3]

Norma udává podmínku pro vzdálenost povrchu vozidla E_a měřenou od osy obrysu v místě vně otočných čepů.

$$E_a \leq k + \delta_i$$

kde:

k ... poloviční šířka obrysu pro vozidla v přímé koleji [m]

δ_a ... rozšíření vnější části obrysu pro vozidla v oblouku koleje [m]

Pro výpočet E_a použijeme vztah podle normy ČSN 28 0337:1994:

$$E_a = \sqrt{r^2 + b^2 + l_s^2 - e^2 - q^2 + e^2 d_a^2 + 2l_s d_a \sqrt{r^2 - q^2} + 2b \sqrt{r^2 - q^2 - e^2} \cdot \sqrt{1 - d_a^2}} - r$$

kde:

r - poloměr oblouku [m]

$2e$ - vzdálenost otočných čepů [m]

l_s - vzdálenost vyšetřovaného bodu povrchu vozidla od roviny příčného řezu vozidla od středu vzdálenosti otočných čepů [m]

d - maximální vůle (radiální posuv) otočného čepu ze střední polohy po vyčerpání všech možných vůlí při statické poloze [m]

b - vzdálenost vyšetřovaného bodu povrchu vozidla od podélné osy vozidla [m]

q - poloviční rozvor podvozku [m]

$$d_a = \frac{d}{e} - \text{poměrná vůle [-]}$$

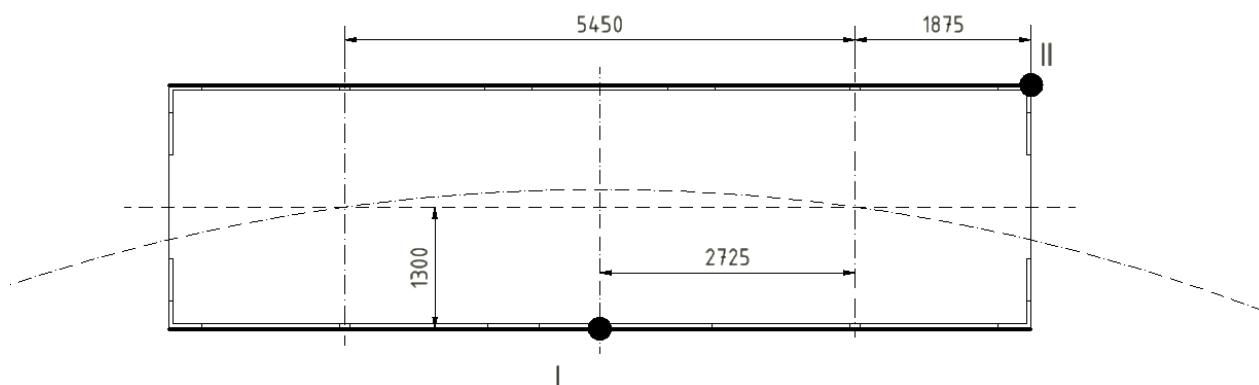
2.3.3 Vlastní výpočet vybočení článku B

Podmínky, které se zjistily z Obrázku 2.7:

$$\delta_i = 310 \text{ mm}$$

$$\delta_a = 650 \text{ mm}$$

Schéma článku B



Obrázek 2.8: náčrt půdorysu článku B v oblouku koleje

a) Vnitřní vybočení- bod I:

Výpočet podmínky pro vnitřní vzdálenost bodů povrchu vozidla

$$E_i \leq k + \delta_i$$

$$E_i \leq 1350 + 310 = 1660 \text{ mm}$$

Výpočet E_i :

$$E_i = \frac{5450 \cdot 2725 - 2725^2}{2 \cdot 20000} + 49 + \frac{1810^2}{8 \cdot 20000} + 1300 = 185,64 + 49 + 20,47 + 1300 = 1555,11 \text{ mm}$$

$$1555,11 \text{ mm} \leq 1350 + 310 = 1660 \text{ mm} \Rightarrow \text{podmínka pro vnitřní vybočení vyhovuje.}$$

b) Vnější vybočení- bod II:

Výpočet podmínky pro vnější vzdálenost bodů povrchu vozidla

$$E_a \leq k + \delta_a$$

$$E_a \leq 1350 + 650 = 2000 \text{ mm}$$

$$E_a = \sqrt{20000^2 + 1300^2 + 4600^2 - 905^2 - 2725^2 + 2725^2 \cdot 0,017^2 + 2 \cdot 4600 \cdot 0,017 \sqrt{20000^2 - 905^2} + 2 \cdot 1300 \sqrt{20000^2 - 905^2 - 2725^2} \cdot \sqrt{1 - 0,017^2}} - 20000 = 1660,7 \text{ mm}$$

$$1660,7 \text{ mm} \leq 1350 + 650 = 2000 \text{ mm} \Rightarrow \text{podmínka pro vnější vybočení vyhovuje.}$$

2.4 Výpočet vybočení článku A

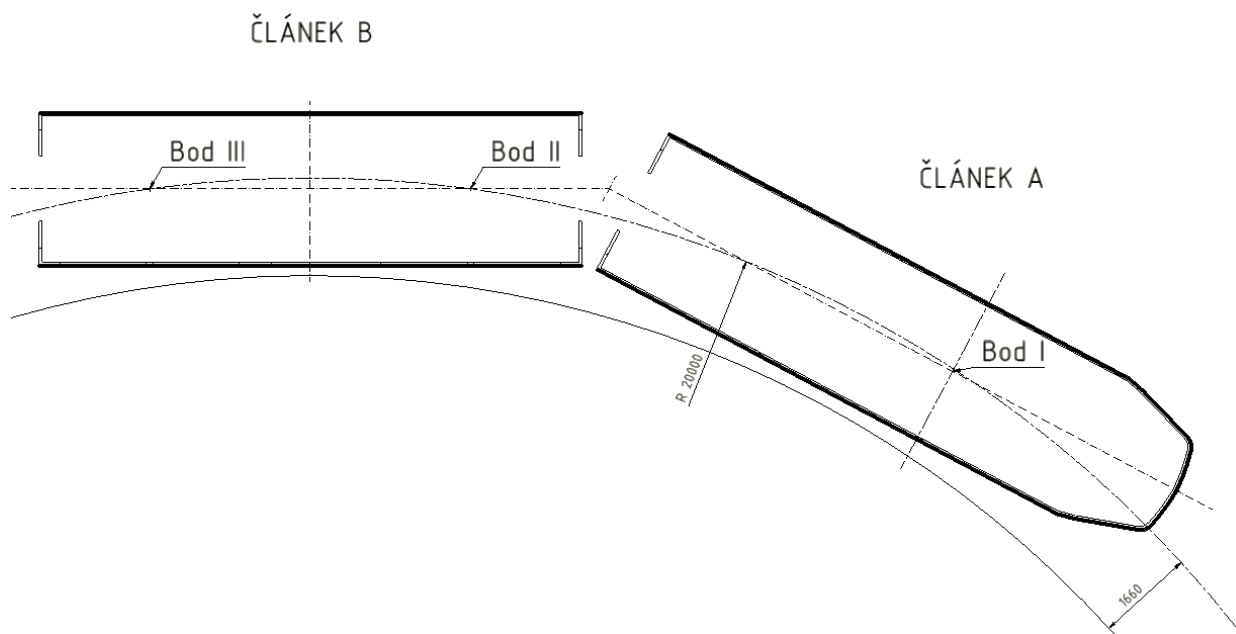
Jelikož nebylo možné přesně určit druhý bod článku A, který se pohybuje po kružnici oblouku o poloměru R , byla zvolena grafická metoda. Poloměr oblouku činí 20 m . Proto jednotlivé vnitřní a vnější rozšíření průřezu jsou:

$$\delta_i = 0,310\text{ m}$$

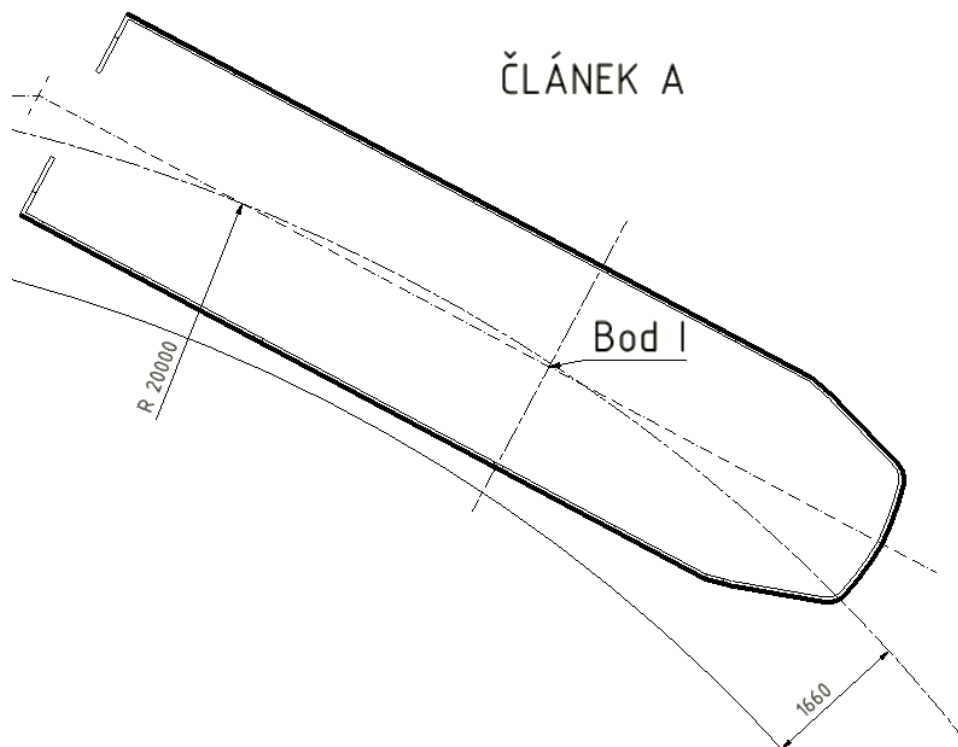
$$\delta_a = 0,650\text{ m}$$

2.4.1 Vnitřní vybočení

Pro grafickou metodu je třeba postavit článek A a článek B do nejnepříznivější polohy. Tedy článek A u podvozku bodu I číslovaný od kabiny řidiče se vychýlí směrem ke svislé ose otáčení o maximální vůli, která může vzniknout. To samé se vytvoří pro druhý bod podvozku článku B, naopak u bodu III se článek B vychýlí od svislé osy oblouku.



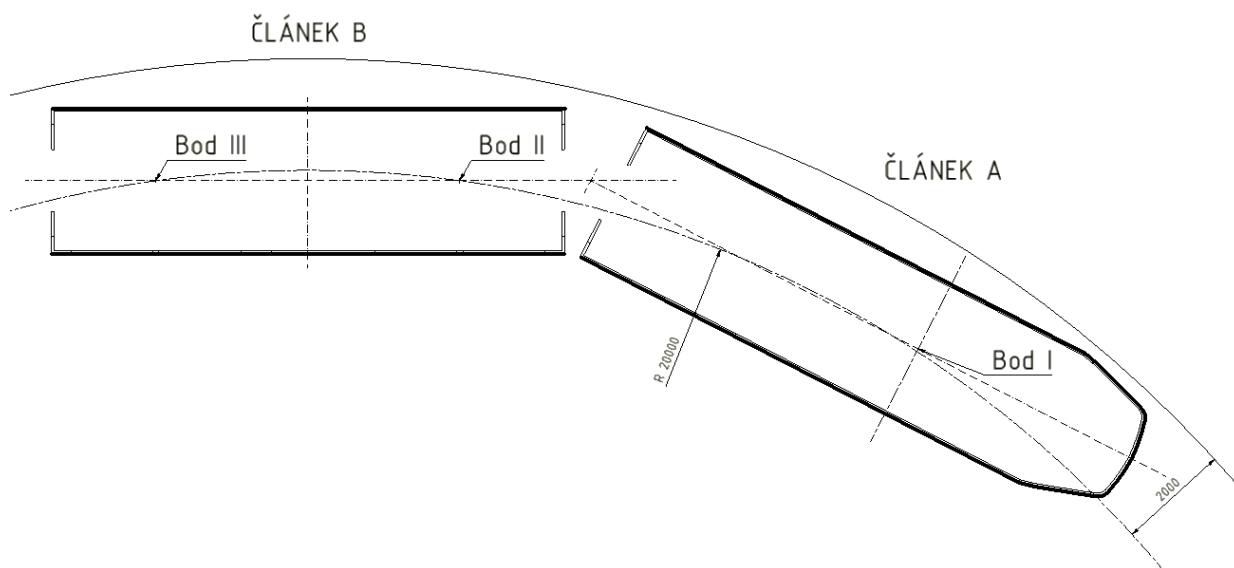
Obrázek 2.9: grafická metoda pro vnitřní vybočení článku A



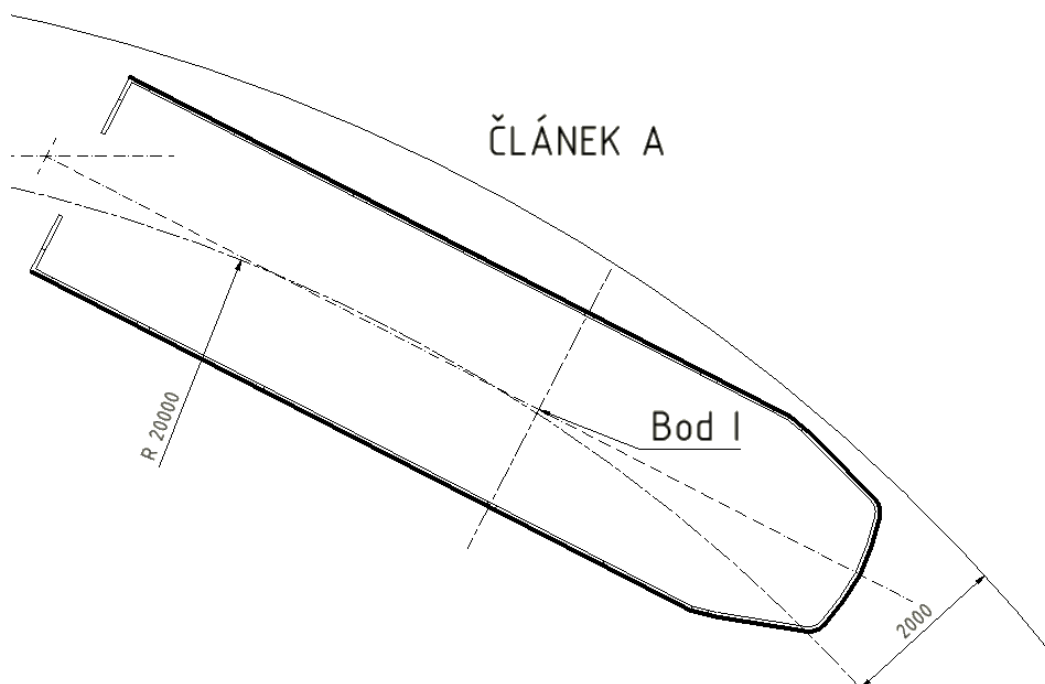
Obrázek 2.10: grafická metoda pro vnitřní vybočení článku A- detail

2.4.2 Vnější vybočení

Pro grafickou metodu je třeba postavit článek A a článek B do nejnepříznivější polohy. Tedy článek A u podvozku bodu I číslovaný od kabiny řidiče se vychýlí směrem od svislé osy otáčení o maximální vůli, která může vzniknout. To samé se vytvoří pro druhý bod podvozku článku B, naopak u bodu III se článek B vychýlí ke svislé ose oblouku.



Obrázek 2.11: grafická metoda pro vnější vybočení článku A

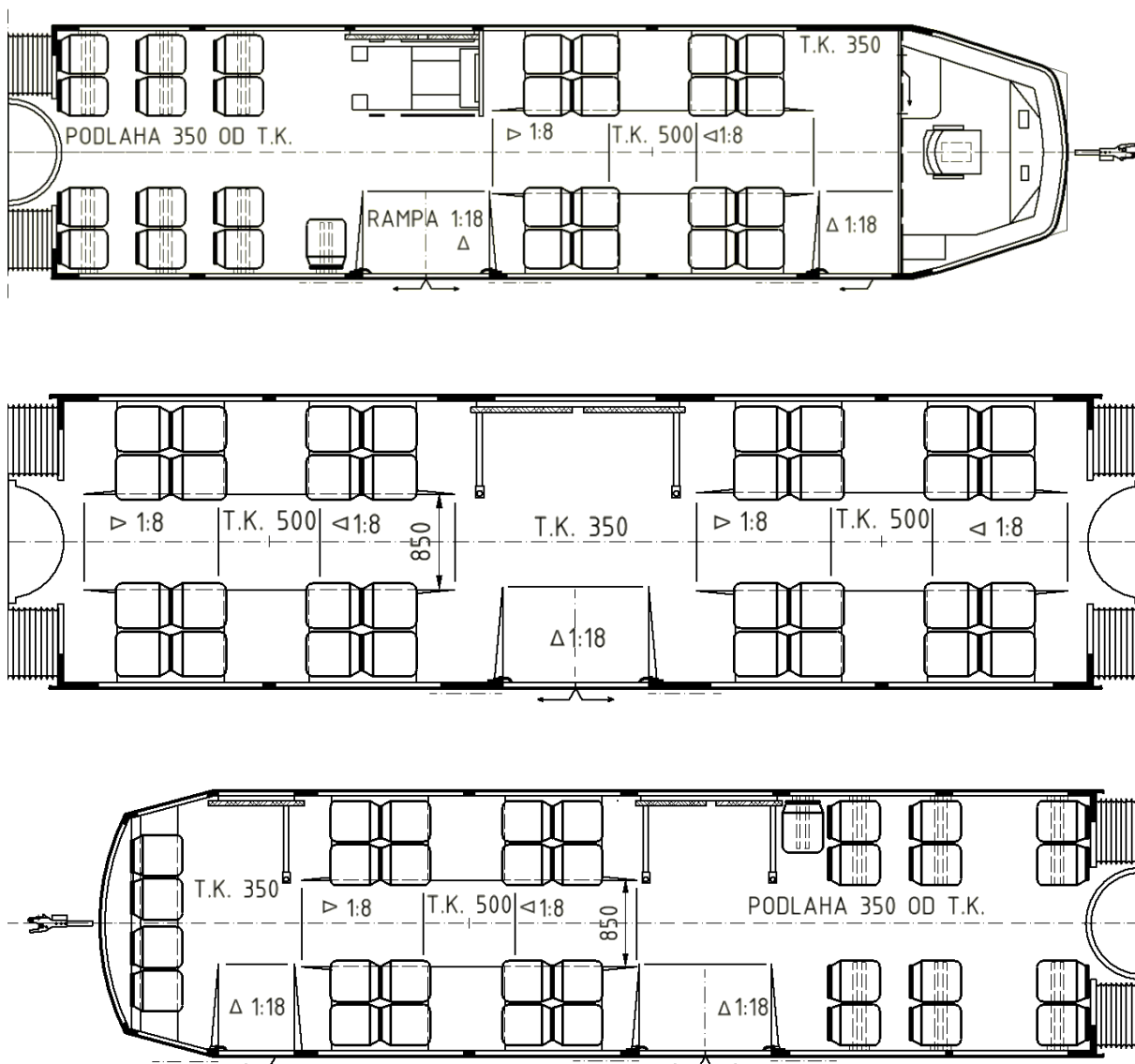


Obrázek 2.12: grafická metoda pro vnější vybočení článku A- detail

2.5 Základní rozměry tramvajového vozidla

Vlastnost	Parametr
Rozhod	1435 [mm]
Hmotnost prázdné tramvaje	39000 ± 10% [kg]
Počet míst k sezení	94
Počet míst pro invalidní vozíky	1
Plocha pro stojící cestující	36 [m ²]
Počet míst ke stání (při 4 os./m ²)	144
Hmotnost max. obsazené tramvaje	65810 ± 5% [kg]
Maximální hmotnost na nápravu	8300 [kg]
Maximální rychlost	65 [km/h]
Minimální poloměr projížděného oblouku	R20 [m]
Pevnostní parametry tramvaje vyhovují	EN 12663
Podíl nízké podlahy tramvaje	100 [%]
Počet trakčních podvozků	2
Počet běžných podvozků	2
Max. obsaditelnost tramvaje (při 8 os./m ²)	382+1

Tabulka 2-1: základní rozměry a informace



Obrázek 2.13: detaily půdorysů článků A,B,C

3 Klimatizace a vytápění v MHD

V dnešní době se setkáváme u tramvají s inovacemi. Ať už se jedná o podvozky, vozové skříně, pohonné jednotky a v neposlední řadě také o vytápění a klimatizace. Všeobecně se zařízení pro zlepšení pohodlí a pohodu cestujících při jízdě nazývá klimatizační jednotka. S klimatizační jednotkou jsou spjaty rozvody vzduchu v interiéru až po vyústění vzduchu do prostoru pro cestující.

3.1 Klimatizační jednotka

Klimatizační jednotka je zařízení, které slouží pro úpravu vzduchu. Hlavním úkolem klimatizace je udržování vnitřní nastavené teploty bez ohledu na to, jaká je vnější teplota. Nasávaný čerstvý vzduch prochází v jednotce filtračním zařízením, dále postupuje k úpravě vlhkosti a teploty na udané hodnoty a smíšený s recirkulovaným vzduchem postupuje do vnitřního prostoru pro cestující.

S postupným vývojem se vytápění u kolejových vozidel velmi rychle změnilo. Začalo to parními a elektrickými konvekčními topidly až po používání teplovzdušných a teplovodních systémů. U těchto systémů může nastat kombinace zdrojů tepla. Tímto se myslí např. zdroj od elektrické energie, odpadní teplo od chladícího média dieselového motoru a spalování nafty u samostatného vytápěcího agregátu.

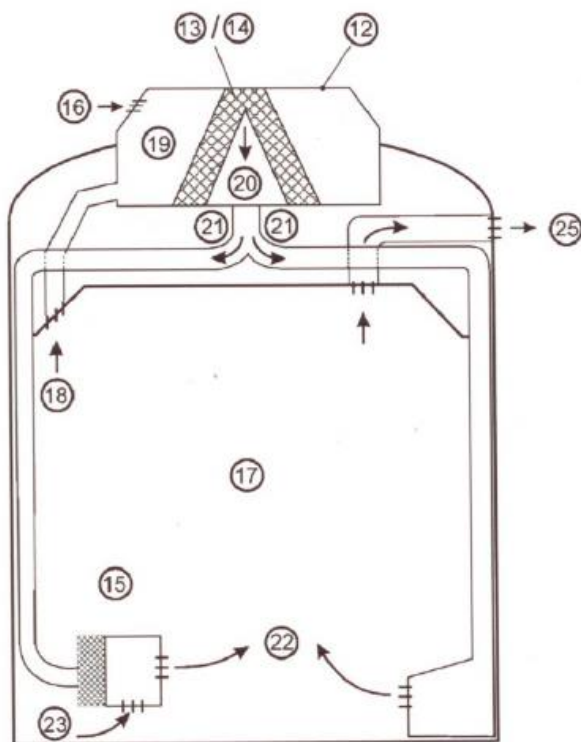
U tramvají se v současnosti používají elektrické teplovzdušné a odporové vytápění, ve většině případů jejich kombinace a doplněné o klimatizaci.

3.2 Evropská norma ČSN EN 14750-1

Norma: Železniční aplikace- klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla- 1. část: parametry pohodlí. Evropská norma udává jednotné parametry pohodlí a pohody cestujících pro evropské železnice. Předmětem této normy je také stanovení klimatizačního zařízení.

Definice a základní pojmy spojené s klimatizací tramvaje [15]:

- pohodlí je příjemný pocit přepravované osoby ve vnitřním prostoru
- klimatizační zařízení je stroj, který upravuje vzduch na požadované vlastnosti (filtrace, chlazení, větrání, vytápění)
- nucené větrání je cirkulace vzduchu pomocí mechanické činnosti
- přirozené větrání je cirkulace vzduchu bez mechanické činnosti
- předtápění je činnost, při níž dochází k vytápění vnitřních prostorů bez cestujících
- předchlazení je činnost, při níž dochází ke chlazení vnitřních prostorů bez cestujících
- vytápění je proces, při němž dochází k nárůstu nebo udržování vnitřní teploty
- chlazení je proces, při němž dochází ke snižování nebo udržování vnitřní teploty
- snižování vlhkosti je proces, při němž se odebere voda ze vzduchu
- klimatizace je systém pro úpravu dopravovaného vzduchu pro cestující



kde:

- 12- jednotka pro úpravu vzduchu
- 13/14- chladicí a vytápěcí jednotka
- 15- pomocné vytápěcí těleso
- 16- vnější vzduch
- 17- vzduch uvnitř prostoru pro cestující
- 18- vzduch určený pro smíchání s čerstvým vzduchem (recirkulovaný vzduch)
- 19- smíšený vzduch
- 20- zpracovaný vzduch
- 21- primární vzduch
- 22- přímý vzduch do prostoru pro cestující
- 23- vzduch, který je přisáván do dodávaného vzduchu
- 25- vzduch, který je odváděn do vnějšího prostoru

Obrázek 3.1: znázornění základních pojmů [15]

- chladicí jednotka je centrální nebo místní uspořádání chladicího systému
- pomocné vytápěcí zařízení je těleso určené pro dodávku přídatného vytápěcího tepla
- jednotka pro úpravu vzduchu je sestava jednotlivých komponentů zajišťující pohyb, vytápění a chlazení vzduchu
- čerstvý nebo vnější vzduch je vzduch nasávaný do klimatizace z venkovního prostředí
- vzduch ve vnitřním prostoru je vzduch v prostoru pro cestující
- recirkulovaný vzduch je část vnitřního vzduchu, který je vrácen do prostoru pro cestující
- smíšený vzduch je smíchaný venkovní a recirkulovaný vzduch
- odsávaný vzduch je vzduch odsávaný z daného prostředí
- upravený vzduch je čistý filtrovaný vzduch, který má dané vlastnosti a teplotu
- primární vzduch je upravený vzduch vstupující do kanálů klimatizace
- přisávaný vzduch je odsávaný vzduch z určitého prostoru a dodáván zpět do samého prostoru
- vyfukovaný vzduch je vzduch, který je odváděn do venkovního prostředí
- nastavená vnitřní teplota je teoretická vnitřní teplota, které se má dosáhnout v daném prostoru
- skutečné interiérová teplota je skutečná teplota v prostoru pro cestující
- průměrná vnitřní teplota je aritmetický průměr teplot ve vnitřním prostoru měřený podle normy ČSN EN 14750-2 ve výšce 1,10 m

-průměrná vnější teplota je aritmetický průměr venkovní teploty měřený v souladu s normou ČSN EN 14750-2

-zóna pohodlí je prostor, ve kterém se pravidelně nacházejí cestující

-vedlejší prostory jsou prostory, ve kterých se cestující pohybují dočasně

-součinitel prostupu tepla je podíl tepelného toku na jednotku povrchu a rozdílu povrchových teplot dělicí stěny prostoru vozidla

-celkový součinitel prostupu pro okna je podíl mezi celkovou energií prostupující do vnitřního prostoru okny a dopadající sluneční energií

-ekvivalentní sluneční zatížení je celkové teplo, které přijme 1 m² plochy, kolmé na směr záření, vyzářené světelným zdrojem pod úhlem k horizontále

-ustálený provoz je provoz, při kterém je průměrná vnitřní teplota v mezích $\pm 2 K$

3.2.1 Všeobecné požadavky a předpisy

Všeobecné požadavky a předpisy pro klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla udává norma ČSN EN 14750-1. Upřesňuje základní požadavky a určuje jednotnou klasifikaci kolejového vozidla na přepravu cestujících.

3.2.1.1 Zatřídění vozidel

Určuje specifikaci daného dopravního prostředku. Jsou dvě kategorie: kategorie A a B. V tabulce je návod k zatřídění vozidla do jednotlivé kategorie.

	Kategorie A	Kategorie B
Stojící cestující	$< 4 \text{ cestující}/m^2$	$\geq 4 \text{ cestující}/m^2$
Průměrná jízdní doba cestujícího	$> 20 \text{ min}$	$\leq 20 \text{ min}$
Průměrná doba mezi dvěma stanicemi	$> 3 \text{ min}$	$\leq 3 \text{ min}$

Tabulka 3-1: rozdělení do jednotlivých kategorií [15]

Do kategorie A se zařazují příměstská a regionální vozidla a ostatní vozidla do kategorie B. Z toho vyplývá, že pro náš případ platí kategorie B.

3.2.1.2 Parametry pohodlí

Ve vozidle se vyhodnocuje pohodlí [15]:

-na základě parametrů prostředí:

- Teplota vzduchu
- Teploty vnitřních povrchů
- Rychlosti proudění vzduchu
- Relativní vlhkosti vzduchu

-na základě vnějších klimatických podmínek, které mají nepřímý vliv

3.2.1.3 Vnější podmínky

3.2.1.3.1 Normální vnější provozní podmínky [15]

Specifikace pohodlí musí být splněna i při mezních hodnotách vnějších podmínek, které jsou uvedeny v normě ČSN EN 14750-1 příloha E a F, pokud není ve smluvní dohodě uvedeno jinak.

Zóna	Minimální vnější podmínky [°C]
I	-10
II	-20
III	-40

Tabulka 3-2: stanovené klimatické zóny- zima (příloha E)

Zóna	Maximální vnější teploty [°C]	Relativní vlhkost [%]	Ekvivalentní sluneční zatížení (E_n) [W/m^2]
I	+40	40	800
II	+35	50	700
III	+28	45	600

Tabulka 3-3: stanovené klimatické zóny- léto (příloha E)

Země	Zima	Léto
Belgie	Zóna II	Zóna II
Bulharsko	Zóna II	Zóna II
Česká Republika	Zóna II	Zóna II
Finsko	Zóna III	Zóna III

Tabulka 3-4: začlenění zemí do klimatických zón- pro příklad jsou uvedeny pouze některé státy (příloha F)

Pro výpočet zadané tramvaje není uvedeno, v jakém státě má být tramvaj provozována. Proto byla zvolena Česká republika. V tabulce níže jsou uvedeny parametry klimatické zóny, které dále budou použity pro výpočet výkonu samotné klimatizace.

Zóna (léto a zima)	Minimální vnější podmínky [°C]	Maximální vnější teploty [°C]	Relativní vlhkost [%]	Ekvivalentní sluneční zatížení (E_n) [W/m^2]
II	-20	+35	50	700

Tabulka 3-5: vnější podmínky pro ČR

3.2.1.3.2 Extrémní vnější provozní podmínky

Klimatizace musí být provozuschopná i při extrémních podmínkách a to 5 K pod minimálními hodnotami a 5 K nad maximálními hodnotami stanovené v příloze E.

3.2.1.4 Výkonnost vytápěcího a chladicího zařízení

3.2.1.4.1 Vytápění

Výkon vytápění musí být schopen vnitřní prostor pro cestující vytopit nebo udržovat na průměrné vnitřní teplotě, která činí $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro kategorii B. Tento požadavek musí splňovat za následujících podmínek [15]:

- Při minimální vnější teplotě (zóna II- $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Nejvyšší provozní rychlosti (65 km/h)
- Bez slunečního svitu
- Bez cestujících
- Při minimální dodávce čerstvého vzduchu

3.2.1.4.2 Chlazení

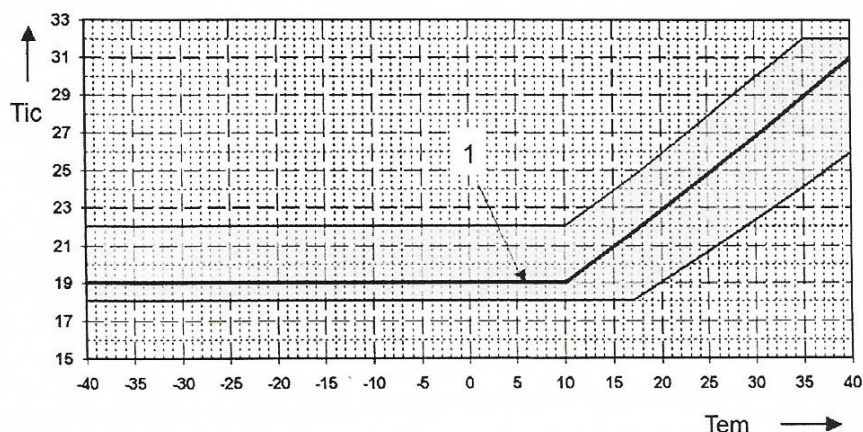
Výkon chladicího zařízení musí být schopný udržet průměrnou vnitřní teplotu, která je dána normou a měla by být $+29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jednotlivé požadavky, které je potřeba dodržet při výpočtu výkonu [15]:

- Maximální vnitřní teplota je $+29\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Se slunečním zatížením
- Při stojícím vozidle
- Při normálně obsazeném vozidle
- Při minimální dodávce čerstvého vzduchu

3.2.1.5 Regulace

Pro parametry pohodlí je stanovené, že na každém vozidle by měl být regulační systém, který umožňuje jejich změnu.

Nastavovaná vnitřní teplota by měla být v rozmezí dle regulační křivky, která je uvedena ve smluvní specifikaci. Pokud není uvedena ve smluvní specifikaci, bere se v úvahu podle normy ČSN EN 14750-1 dle přílohy A pro kategorii B.



Obrázek 3.2: přípustný prostor pro stanovení regulační křivky vozidel kategorie B [15]

kde:

Tic... nastavená vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$]

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

l... vhodná křivka pro vozidla kategorie B

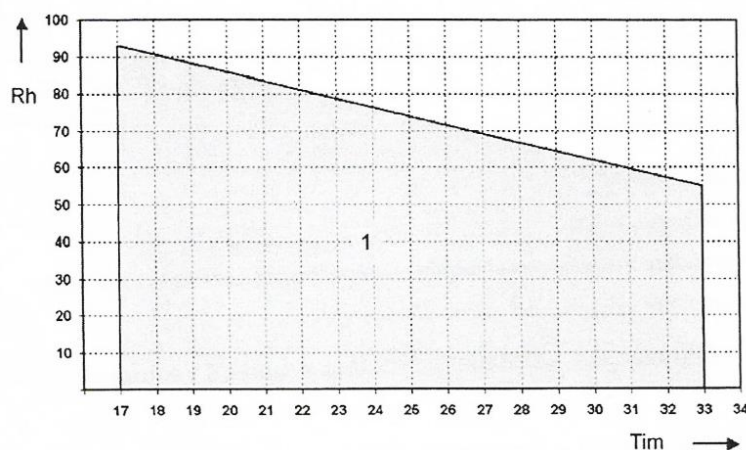
3.2.1.6 Stanovené požadavky pohodlí

Teplota v zóně pohodlí [15]:

- Při provozu klimatizačního zařízení nesmí být odchylka průměrné vnitřní teploty (T_{im}) od nastavené vnitřní teploty (T_{ic}) větší než $\pm 2 \text{ K}$.
- Rozpětí teplot vnitřního vzduchu měřeného 1,10 m od podlahy nesmí být větší než 8 K. Pokud má být rozpětí jiné než 8 K, musí to být uvedeno ve smluvní specifikaci.
- Rozpětí teplot ve svislém průřezu nesmí být větší než 8 K. Pokud má být rozpětí jiné než 8 K, musí to být uvedeno ve smluvní specifikaci. Teplota uvnitř nesmí být menší než 3 °C.

Relativní vlhkost vzduchu

- Relativní vlhkost vzduchu je určena podle normy ČSN EN 14750-1 příloha C.2. Musí být vždy pod danou křivkou v rozmezí všech teplot.



Obrázek 3.3: přijatelná relativní vlhkost pro kategorii B [15]

kde:

T_{im} ... průměrná vnitřní teplota [°C]

R_h ... relativní vlhkost [%]

I ... vhodná relativní vlhkost

Teploty okolních povrchů v zóně pohodlí stojícího vozidla při vytápění [15]:

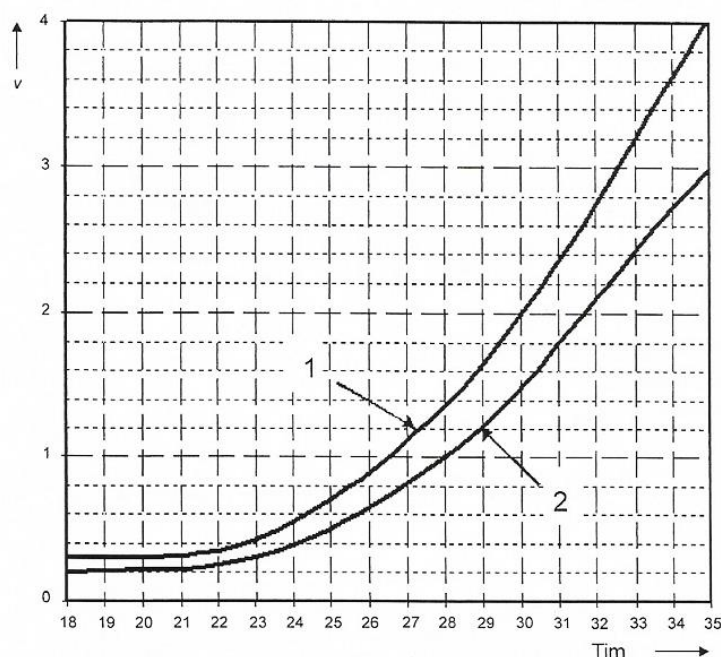
- Stěna a stropy by neměly mít odchylku teploty větší než 13 K od průměrné vnitřní teploty.
- Okna a dveře- vnitřní povrch skel by neměl mít odchylku větší než 15 K od průměrné vnitřní teploty

Teplota vstupů dodávky vzduchu do prostoru pro cestující [15]:

- Teplota vstupujícího vzduchu nebo teplota mřížky při vytápění nesmí přesáhnout +65 °C.
- Teplota vzduchu, který proudí přímo k cestujícímu, nesmí být vyšší než +45 °C
- Teplota při režimu chlazení by neměla klesnout pod +12 °C

Rychlost proudění vzduchu [15]:

- Rychlost proudění musí být rovna nebo menší než křivka v grafu pro dovolenou rychlost vzduchu



Obrázek 3.4: dovolená rychlost proudění vzduchu [15]

kde:

T_{im} ... průměrná vnitřní teplota [°C]

v ... rychlost proudění vzduchu [m/s]

1... dovolená maximální hodnota rychlosti proudění vzduchu při vytápění pro kategorii B

2... dovolená maximální hodnota rychlosti proudění vzduchu při vytápění pro kategorii A

T_{im} [°C]	Kategorie B [m/s]
+18	0,3
+22	0,35
+25	0,7
+28	1,4
+30	2,0
$\geq+35$	4,0

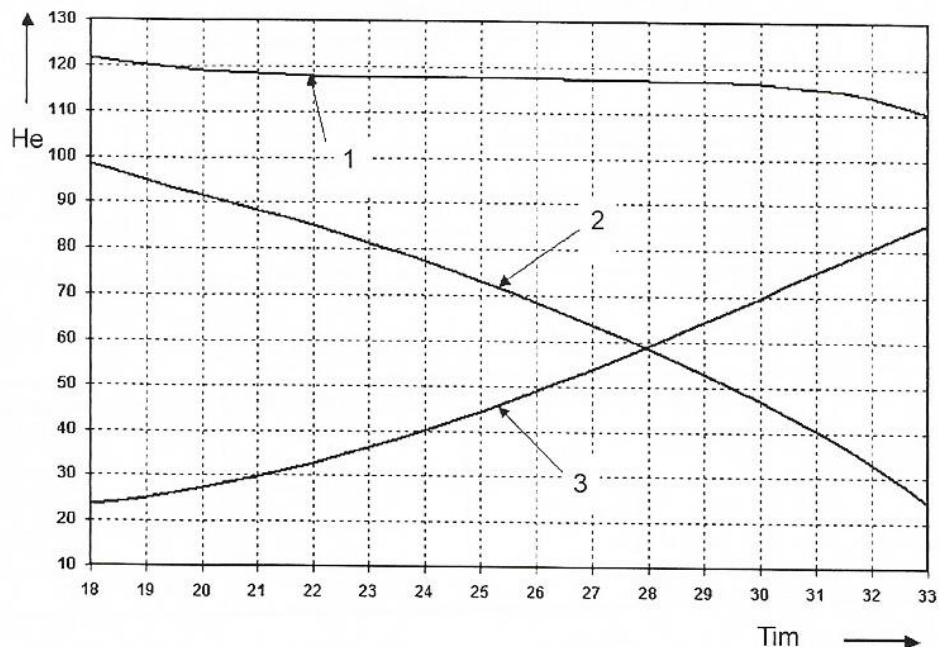
Tabulka 3-6: přípustné rychlosti proudění

Množství čerstvého vzduchu [15]:

- Norma ČSN EN 14750-1 udává pro kategorii B, že množství čerstvého vzduchu dodávaného do prostoru pro cestující musí být větší nebo rovno $12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{cestujícího}$. Avšak množství daného vzduchu může být redukováno z důvodu sjednocení vytápěcího a chladicího výkonu na $8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{cestujícího}$.
- Recirkulovaný vzduch- funkčnost systému pro recirkulovaný vzduch musí být provozuschopný i v případě dočasného zablokování přívodu čerstvého vzduchu.

3.2.1.7 Tepelná emise sedící normálně oblečené osoby

Produkce tepla osobami ve vozidle je velmi důležitá při výpočtu výkonu chladicího zařízení.



Obrázek 3.5: produkce tepla od sedících normálně oblečených cestujících [15]

kde:

T_{im} ... průměrná vnitřní teplota [°C]

v ... tepelná emise [W]

I ... celkové teplo [W]

2 ... vnímané teplo [W]

3 ... latentní teplo [W]

3.2.1.8 Doplnkové požadavky [15]

Součinitel prostupu tepla k

- Součinitel prostupu tepla se měří na stojícím vozidle
- Součinitel musí být menší nebo rovno předepsané hodnotě podle tabulky 3-7
- Pro náš případ činí hodnota součinitel prostupu tepla $k=3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Zóna	Kategorie B [$\text{W/m}^2\text{K}$]
I	3,5
II	3,0
III	2,5

Tabulka 3-7: součinitel k stojícího vozidla podle zařazení země do klimatických zón

Cykly otevření a zavření dveří

- Klimatizační zařízení musí být schopno dosáhnout hodnoty uvedené v kapitole 3.2.1.3 během 10 cyklů otevření a uzavření dveří před započítáním dalších cyklů.

Pokud mají být jiné hodnoty cyklu otevření, musí to být uvedeno ve smluvní specifikaci.

	Kategorie B
Doba trvání otevřených dveří	20 s
Doba trvání uzavřených dveří	2 min

Tabulka 3-8: určení jednotlivých cyklu otevření a uzavření dveří

Odlučování částic ze vzduchu

- Klimatizační zařízení musí splňovat normu EN 779:2002. Pokud není ve smluvní specifikaci uvedeno jinak, stupeň filtru by měl být G3 podle výše uvedené normy.

Emise hluku a vibrace

- Hluk způsobený zařízením je pro cestující nepříjemný, proto by měla být celková úroveň hluku nižší než 66 dB.
- Vibrace, které vytváří klimatizační zařízení, musí být shodné podle uvedené smluvní specifikace.

Další doplňkové požadavky jsou např., bezpečnostní pojistka proti přetížení klimatizačního zařízení, ochrana proti vodě, prachu a sněhu a zajištění určité spolehlivosti a udržitelnosti zařízení.

3.3 Výpočet výkonů klimatizační jednotky

3.3.1 Výpočet vytápěcího výkonu tramvaje

Od prvotních výpočetních operací až po dopracování k výsledku je třeba si uvědomit, že důležitým aspektem jsou normy. Ty udávají základní požadavky. Hlavním předpokladem pro dosažení dostačujícího výkonu vytápěcího zařízení je, aby byly pokryté veškeré tepelné ztráty, které na dopravním prostředku vzniknou. Ve vozidle jsou ještě navíc určité vnitřní zdroje tepla, které napomáhají ke snížení celkového výkonu vytápění. Důležité je také zařazení do klimatické zóny, ve které se tramvajové vozidlo bude pohybovat.

Vytápěcí zařízení musí doplňovat tepelné ztráty vznikající:

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

3.3.1.1 Tepelná ztráta vzniklá prostupem tepla za klidu

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:

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

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:

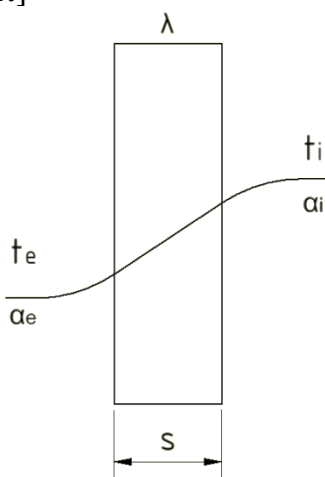
k_j ... součinitel tepelného prostupu [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

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

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

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

s ... tloušťka materiálu stěny [m]



Obrázek 3.6: prostup tepla jednoduchou rovinnou stěnou

Tepelná vodivost λ udává izolační a tepelné vlastnosti materiálu. Běžně používané materiály mají hodnoty, které jsou uvedené v tabulce níže.

Materiál	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
hliníkový plech	230
ocelový plech	45; 58
umakart	0,17
fibrex	0,047
itaver, polystyren	0,035
moniflex	0,0565
antivibral	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
Korkové desky	0,062

Tabulka 3-9: tepelně izolační vlastnosti jednotlivých materiálů

Vnější a vnitřní součinitel přestupu

Jedná se o hodnoty závislé na proudění, sálání a vlastnostech povrchu ve vzduchové vrstvě v bezprostřední blízkosti povrchu skříně. Pro praktický výpočet součinitele prostupu tepla za klidu se zjišťují veličiny experimentálně a lze je zahrnout pouze přibližně. 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 3-10: 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

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

kde:

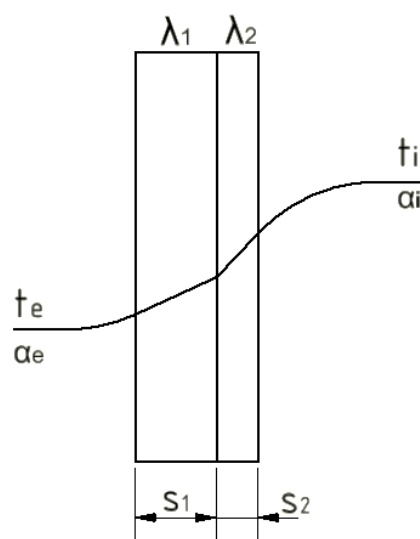
α_e ... vnější součinitel přestupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

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

Základní vzorec pro výpočet součinitele tepelného prostupu složenou rovinnou stěnou:

$$k_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_e}} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

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



Obrázek 3.7: 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.

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

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

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 [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]

ρ_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 %.

3.3.1.3 Tepelná ztráta větráním

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

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

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)

3.3.1.4 Výpočet celkových tepelných ztrát

Jedná se o součet všech jednotlivých ztrát.

$$Q = Q_k + Q_i + Q_v \quad [W]$$

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]

3.3.1.5 Výpočet tepelného zisku

Tento výpočet se skládá z tří produkcí tepla. Je to tepelný zisk od osob normálně obsazené tramvaje, oslnění vozové skříně slunečním zářením a produkce tepla od vnitřních zdrojů (osvětlení, obrazovky, ventilátory).

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

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:

$$Q_z = Q_m \quad [W]$$

V celé tramvajové jednotce 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 7500 W.

3.3.1.6 Celkový příkon vytápění vozidla

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

$$P_v \geq Q - Q_z \quad [W]$$

kde:

Q_z ... celkový tepelný zisk [W]

P_v ... příkon vytápěcího zařízení [W]

3.3.2 Výpočet chladícího výkonu

Jako v předchozím případě pro výpočet výkonu vytápění se berou v úvahu klimatické podmínky, ve kterých se bude dopravní prostředek pohybovat. To je popsáno již v dřívější kapitole. Samotný výpočet je velmi podobný výpočtu pro vytápění. Liší se pouze ve vnitřních a vnějších teplotách a v tepelných ziscích, které jsou navýšeny o produkci tepla od cestujících a od oslnění vozové skříně slunečním zářením. Výpočty uvedené v kapitole 3.3.1 je možné aplikovat i pro tento výpočet, avšak je nutné, doplnit je i o ostatní hodnoty.

3.3.2.1 Výkon chladícího zařízení

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

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

kde:

P_{CH} ... výkon chladícího zařízení [W]

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

Q_z ... celkový tepelný zisk [W]

3.3.2.2 Výpočet celkových tepelných zisků vedením tepla

Viz. Kapitola 3.3.1.

3.3.2.3 Výpočet tepelného zisku

Tento výpočet je podobný jako u výpočtu výkonu vytápění, navýšený o tepelný zisk od slunečního záření a produkce tepla od cestujících se zde uvažuje nenulová.

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

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]

3.3.2.4 Tepelný zisk od slunečního záření

a) Varianta 1

Tepelný zisk od slunečního záření se skládá ze dvou částí.

$$Q_{sl} = Q_{osvk} + Q_{psz} [W]$$

kde:

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

Q_{osvk} ... tepelný zisk vozové skříně od slunečního záření [W]

Q_{psz} ... tepelný zisk od propustnosti slunečního záření okny [W]

Pro výpočet tepelných zisků od oslnění vozové skříně slunečním zářením a od propustnosti slunečního záření okny jsou dány vztahy:

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

kde:

Q_{osvk} ... tepelný zisk od oslnění vozové skříně slunečním zářením [W]

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

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

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

I_{Sj} ... Intenzita slunečního záření na vnější ploše j-té části skříně vozidla, která ohraničuje vytápěcí prostor [W/m^2]

ϑ_j ... poměrný součinitel absorpce slunečního záření [-]

$$Q_{psz} = S_o \cdot I_{Sj} \cdot \zeta_j \quad [W]$$

kde:

Q_{psz} ... tepelný zisk od propustnosti slunečního záření okny [W]

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

I_{Sj} ... Intenzita slunečního záření na vnější ploše j-té části skříně vozidla, která ohraničuje vytápěcí prostor [W/m^2]

ζ_j ... poměrný součinitel propustnosti slunečního záření [-]

b) Varianta 2 [16]

Tepelný zisk od slunečního záření se vypočítá podle vztahu:

$$Q_{sl} = Q_{S,F} + Q_{S,W} + Q_{S,D} \quad [W]$$

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:

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

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 přílohy E, ČSN EN 14740-1 [$W \cdot m^{-2}$]

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

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

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]

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

ε ... 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:

$$Q_{S,D} = \frac{k_d}{\alpha_e} \cdot A_d \cdot q_{s,d} \cdot \varepsilon = \frac{k_d}{9} \cdot A_d \cdot \varepsilon \cdot E_n \cdot \sin 30^\circ [W]$$

kde:

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

A_d ... celkový povrch střechy [m^2]

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

ε ... 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 přílohy E, ČSN EN 14740-1 [$W \cdot m^{-2}$]

3.3.2.5 Produkce tepla od cestujících ve vozidle

Pro případ výpočtu výkonu chladicího zařízení tramvaje je produkce tepla od osob nenulová, jelikož je to jeden z požadavků podle normy ČSN EN 14750-1. Podle obrázku 3.5 se určí při dané vnitřní teplotě vnímané a latentní teplo a poté podle počtu osob normálně obsazené tramvaje celková produkce tepla všech cestujících.

3.4 Řešení výpočtu výkonu klimatizačního zařízení

3.4.1 Výpočet vnějšího součinitele přestupu k

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

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

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

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

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
65	64,028

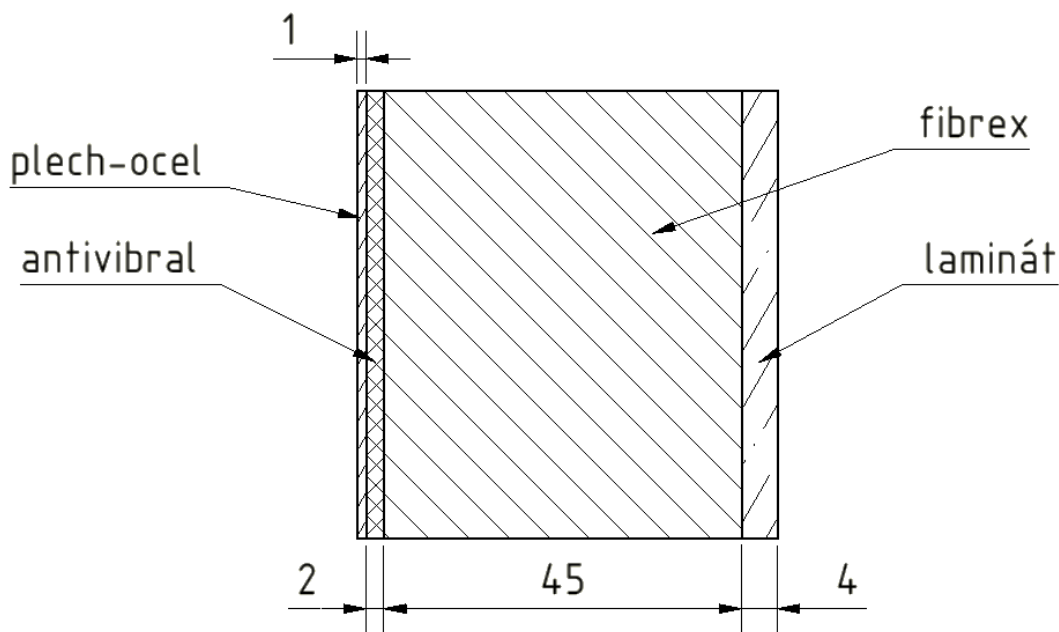
Tabulka 3-11: výsledek vnějšího součinitele přestupu pro různé rychlosti vozidla

3.4.2 Návrh izolace a výpočet součinitele prostupu tepla

Základní vzorec pro výpočet součinitele prostupu:

$$k_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}\right) + \frac{1}{\alpha_e}} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

a) Bočnice



Obrázek 3.8: návrh izolace bočnice

Materiál	Tloušťka [mm]	Tepelná vodivost λ [W/mK]
plech-ocel	1	45
antivibrál	2	0,605
fibrex	45	0,047
laminát	4	0,209

Tabulka 3-12: tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů

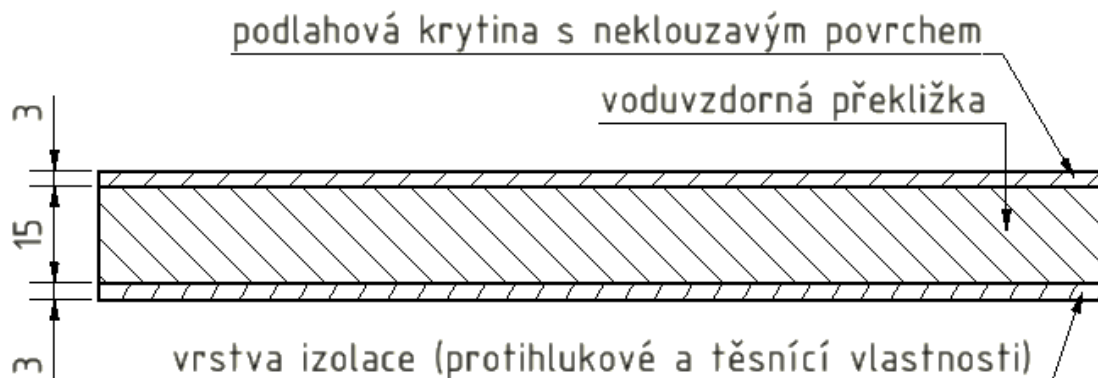
Výpočet součinitele tepelného prostupu $k_{Bočnice}$ při rychlosti vozidla 5 [km. h⁻¹] :

$$k_{Bočnice} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + \frac{0,001}{45} + \frac{0,002}{0,605} + \frac{0,045}{0,047} + \frac{0,004}{0,209} + \frac{1}{19,125}} = 0,865 \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Rychlost vozidla w [km. h ⁻¹]	Základní součinitel prostupu tepla [W. m ⁻² . K ⁻¹]
5	0,865
65	0,893

Tabulka 3-13: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

b) Podlaha



Obrázek 3.9: návrh izolace podlahy

Materiál	Tloušťka [mm]	Tepelná vodivost λ [W/mK]
Podlahová krytina	3	0,160
vodovzdorná překližka	15	0,230
Vrstva izolace	3	0,160

Tabulka 3-14: tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů

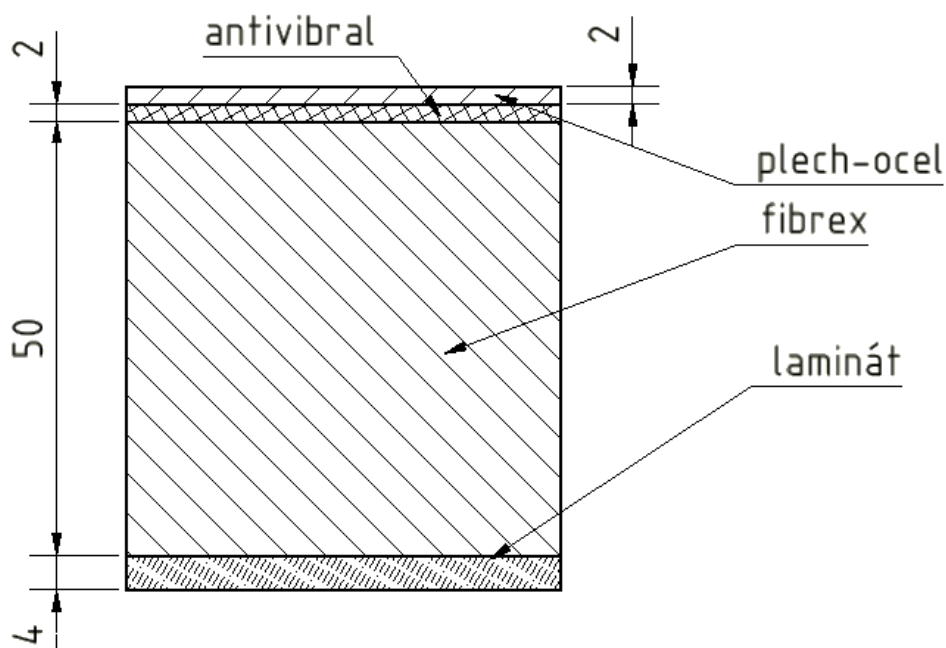
Výpočet součinitele tepelného prostupu $k_{podlaha}$ při rychlosti vozidla 5 [km. h⁻¹]:

$$k_{podlaha} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \frac{0,003}{0,16} + \frac{0,015}{0,230} + \frac{0,003}{0,16} + \frac{1}{19,125}} = 3,334 \text{ [W. m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

Rychlost vozidla w [km. h ⁻¹]	Základní součinitel prostupu tepla [W. m ⁻² . K ⁻¹]
5	3,334
65	3,798

Tabulka 3-15: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

c) Střecha



Obrázek 3.10: návrh izolace střechy

Materiál	Tloušťka [mm]	Tepelná vodivost λ [W/mK]
plech-ocel	2	45
antivibrál	2	0,605
fibrex	50	0,047
laminát	4	0,209

Tabulka 3-16: tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů

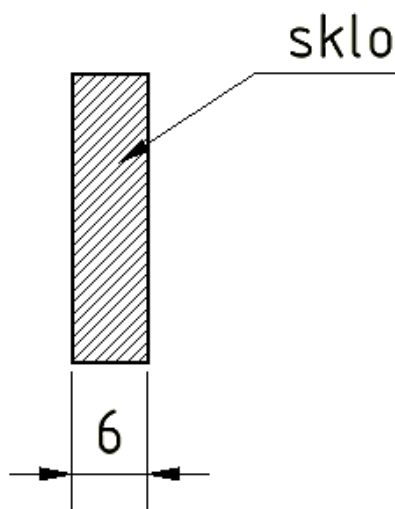
Výpočet součinitele tepelného prostupu $k_{střecha}$ při rychlosti vozidla 5 [km. h⁻¹]:

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

Rychlost vozidla w [km. h ⁻¹]	Základní součinitel prostupu tepla [W. m ⁻² . K ⁻¹]
5	0,797
65	0,821

Tabulka 3-17: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

d) Okno



Obrázek 3.11: návrh izolace okna

Materiál	Tloušťka [mm]	Tepelná vodivost λ [W/mK]
sklo	6	0,756

Tabulka 3-18: tloušťka a tepelná vodivost jednotlivých materiálů

Výpočet součinitele tepelného prostupu k_{Okno} při rychlosti vozidla 5 [km. h⁻¹]:

$$k_{Okno} = \frac{1}{\frac{1}{11} + \frac{0,006}{0,756} + \frac{1}{19,125}} = 6,616 \text{ [W. m}^{-2}. \text{K}^{-1}\text{]}$$

Rychlost vozidla w [km. h ⁻¹]	Základní součinitel prostupu tepla [W. m ^{-2}. K⁻¹]}
5	6,616
65	8,736

Tabulka 3-19: základní součinitele prostupu tepla dle rychlostí vozidla

e) Dveře

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

$$k_{Bočnice} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + \frac{0,001}{45} + \frac{0,0005}{0,605} + \frac{0,045}{0,047} + \frac{0,004}{0,209} + \frac{1}{19,125}} = 0,867 \text{ [W. m}^{-2}. \text{K}^{-1}\text{]}$$

Rychlost vozidla w [$km \cdot h^{-1}$]	Základní součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
5	0,867
65	0,895

Tabulka 3-20: 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 [$km \cdot h^{-1}$]	Základní součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Navýšený součinitel prostupu tepla o 5% [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Bočnice	5	0,865	0,908
	65	0,893	0,938
Podlaha	5	3,334	3,501
	65	3,798	3,988
Střecha	5	0,797	0,837
	65	0,821	0,862
Okna	5	6,616	6,947
	65	8,736	9,173
Dveře	5	0,865	0,908
	65	0,893	0,938

Tabulka 3-21: výslední součinitele prostupu tepla podle částí skříně

3.4.3 Výpočet výkonu vytápěcího zařízení

Vytápěcí zařízení musí doplňovat tepelné ztráty vznikající:

- Prostupem tepla za klidu, 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)

3.4.3.1 Varianta 1

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

- $t_i = 10$ [$^{\circ}C$]
- $t_e = -20$ [$^{\circ}C$]
- Nejvyšší provozní rychlost
- Bez cestujících

3.4.3.1.1 Základní ztráta prostupu tepla za jízdy

Základní vzorec:

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

Potom výpočet pro jednotlivé části skříně vozidla:

$$Q_{Bočnice} = k_{Bočnice} \cdot S_B (t_i - t_e) = 0,938 \cdot 74,5358 (10 - (-20)) = 2097,4 [W]$$

$$Q_{Podlaha} = k_{Podlaha} \cdot S_P (t_i - t_e) = 3,998.87,9608 (10 - (-20)) = 10550,01 [W]$$

$$Q_{Střecha} = k_{Střecha} \cdot S_S (t_i - t_e) = 0,862.70,72 (10 - (-20)) = 1828,81 [W]$$

$$Q_{Okna} = k_{Okna} \cdot S_O (t_i - t_e) = 9,173.58,1795 (10 - (-20)) = 16010,41 [W]$$

$$Q_{Dveře} = k_{Dveře} \cdot S_D (t_i - t_e) = 0,938.6,84 (10 - (-20)) = 192,47 [W]$$

$$Q_k = \sum Q_j = 2097,4 + 10550,01 + 1828,81 + 16010,41 + 192,47 = 30679,1 [W]$$

3.4.3.1.2 Tepelná ztráta netěsnostmi skříně a zhoršenými poměry při jízdě (infiltrací)

Jak už bylo dříve řečeno, základní vzorec nedává exaktní výsledky, bere se v úvahu procentuální část základní tepelné ztráty prostupu tepla za klidu.

$$Q_i = 20\%. Q_k = 20\%. 30679,1 = 6135,82 [W]$$

3.4.3.1.3 Tepelná ztráta větráním

Základní vzorce pro tento výpočet jsou:

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

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

V_x je hodnota, která se určila z normy ČSN EN 14750-1 a činí 12 m³/h/cestujícího a počet cestujících v normálně obsazené tramvaji je 238.

$$Q_V = 0,335 \cdot V_L (t_i - t_e) = 0,335 \cdot 238 \cdot 12 \cdot (10 - (-20)) = 28702,8 [W]$$

3.4.3.1.4 Výpočet celkových tepelných ztrát a zisků

$$Q = Q_k + Q_i + Q_V = 30679,1 + 6135,82 + 28702,8 = 65517,72 [W]$$

Jak již bylo dříve zmíněno, odhad tepelných zdrojů činí přibližně 7500 W.

$$Q_z = Q_m = 7500 [W]$$

3.4.3.1.5 Celkový výkon vytápění vozidla

Celkový výkon vytápění tramvaje musí pokrýt celkové tepelné ztráty, které jsou ještě snižené o celkový tepelný zisk.

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

$$P_V \geq 65517,72 - 7500 [W]$$

$$P_V \geq 58017,72 [W]$$

3.4.3.2 Varianta 2

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

- $t_i = 19 [^{\circ}C]$
- $t_e = -20 [^{\circ}C]$
- Při stojícím vozidle
- S cestujícími
- Bez slunečního záření

3.4.3.2.1 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:

$$Q_{Bočnice} = k_{Bočnice} \cdot S_B (t_i - t_e) = 0,908.74,5358 (19 - (-20)) = 2639,46 [W]$$

$$Q_{Podlaha} = k_{Podlaha} \cdot S_P (t_i - t_e) = 3,501.87,9608 (19 - (-20)) = 12010,07 [W]$$

$$Q_{Střecha} = k_{Střecha} \cdot S_S (t_i - t_e) = 0,837.70,72 (19 - (-20)) = 2308,51 [W]$$

$$Q_{Okna} = k_{Okna} \cdot S_O (t_i - t_e) = 6,947.58,1795 (19 - (-20)) = 15762,74 [W]$$

$$Q_{Dveře} = k_{Dveře} \cdot S_D (t_i - t_e) = 0,908.6,84 (19 - (-20)) = 242,21 [W]$$

$$Q_k = \sum Q_j = 2639,46 + 12010,07 + 2308,51 + 15762,74 + 242,21 = 32962,99 [W]$$

3.4.3.2.2 Tepelná ztráta netěsnostmi skříně a zhoršenými poměry při jízdě (infiltrací)

$$Q_i = 20\% \cdot Q_k = 20\% \cdot 32962,99 = 6592,6 [W]$$

3.4.3.2.3 Tepelná ztráta větráním

$$Q_V = 0,335 \cdot V_L (t_i - t_e) = 0,335 \cdot 238 \cdot 12 \cdot (19 - (-20)) = 37313,64 [W]$$

3.4.3.2.4 Výpočet celkových tepelných ztrát

$$Q = Q_k + Q_i + Q_V = 32962,99 + 6592,6 + 37313,64 = 76869,23 [W]$$

3.4.3.2.5 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 7500 W.

$$Q_m = 7500 [W]$$

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:

$$Q_{li} = Q_{os1} \cdot n = 120 \cdot 94 = 11280 [W]$$

$$Q_z = Q_{os1} + Q_{li} = 11280 + 7500 = 18780 [W]$$

3.4.3.2.6 Celkový příkon vytápění vozidla

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

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

$$P_V \geq 76869,23 - 18780 [W]$$

$$P_V \geq 58089,23 [W]$$

3.4.3.3 Závěr a vyhodnocení vytápěcího výkonu

Po zhlédnutí výsledků příkonů jsme došli k závěru, že jsou si velmi podobné. Hlavní podmínkou je dodržení příkonu v obou případech. Jelikož se liší přibližně o 100 W, je možné použít oba výkony pro navržení celkového vytápěcího příkonu.

Varianta	Příkon vytápění [W]
I	58017,72
II	58089,23

Tabulka 3-22: vyhodnocení vytápěcího příkonu

3.4.4 Výpočet chladícího 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

3.4.4.1 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:

$$Q_{Bočnice} = k_{Bočnice} \cdot S_B (t_i - t_e) = 0,908.74,5358 (29 - 35) = -406,07 [W]$$

$$Q_{Podlaha} = k_{Podlaha} \cdot S_P (t_i - t_e) = 3,501.87,9608 (29 - 35) = -1847,70 [W]$$

$$Q_{Střecha} = k_{Střecha} \cdot S_S (t_i - t_e) = 0,837.70,72 (29 - 35) = -355,15 [W]$$

$$Q_{Okna} = k_{Okna} \cdot S_O (t_i - t_e) = 6,947.58,1795 (29 - 35) = -2425,03 [W]$$

$$Q_{Dveře} = k_{Dveře} \cdot S_D (t_i - t_e) = 0,908.6,84 (29 - 35) = -37,26 [W]$$

$$Q_k = \sum Q_j = -406,07 - 1847,70 - 355,15 - 2425,03 - 37,26 = -5071,21 [W]$$

3.4.4.2 Tepelná ztráta netěsnostmi skříně a zhoršenými poměry při jízdě (infiltrací)

$$Q_i = 20\% \cdot Q_k = 20\% \cdot (-5071,21) = -1014,24 \text{ [W]}$$

3.4.4.3 Tepelná ztráta větráním

$$Q_V = 0,335 \cdot V_L(t_i - t_e) = 0,335 \cdot 238 \cdot 12(29 - 35) = -5740,56 \text{ [W]}$$

3.4.4.4 Výpočet celkových tepelných zisků vedením tepla

$$Q = Q_k + Q_i + Q_V = -5071,21 - 1014,24 - 5740,56 = -11826,01 \text{ [W]}$$

3.4.4.5 Tepelný zisk od pasažérů

Produkce tepla osobami ve vozidle je velmi důležitá při výpočtu výkonu chladícího zařízení. Podle obrázku 3.5 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: $Q_{os1} = 118 \text{ [W]}$

Celkové teplo od produkce osob v normálně obsazeném vozidle je:

$$Q_{li} = Q_{os1} \cdot n = 118 \cdot 238 = 28084 \text{ [W]}$$

3.4.4.6 Tepelný zisk od vnitřních zdrojů

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

$$Q_m = 7500 \text{ [W]}$$

3.4.4.7 Tepelný zisk od slunečního záření

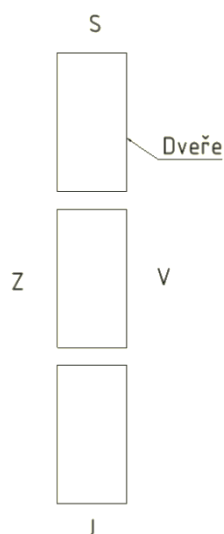
a) Varianta 1

Tepelný zisk od slunečního záření se vypočítá podle vztahu:

$$Q_{sl} = Q_{osvk} + Q_{psz} \text{ [W]}$$

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

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



Obrázek 3.12: jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran

Jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran jsou určeny podle normy ČSN EN 73 0540: část 3. Hodnota intenzit je brána pro 15. hodinu.

Světové strana	Intenzita slunečního záření [W.m ⁻²]
SEVER	116
JIH	420
ZÁPAD	637
VÝCHOD	116
HORIZONTÁLNÍ	567

Tabulka 3-23: jednotlivé intenzity slunečního záření podle světových stran [17]

Část skříně		Plocha [m ²]	Intenzita slunečního záření [W.m ⁻²]	Poměrný součinitel absorpce slunečního záření [W.m ⁻²]
Bočnice	Z	38,142	637	0,8
	V	32,7195	116	0,8
	J	3,6743	420	0,8
Střecha	H	70,72	567	0,65
Okno	Z	28,0665	637	0,92
	V	26,649	116	0,92
	J	3,464	420	0,92
Dveře	V	6,84	116	0,8

Tabulka 3-24: hodnoty součinitele absorpce a ploch pro jednotlivé části skříně

Potom výpočet pro jednotlivé části skříně vozidla:

$$Q_{osvk-bočnice-Z} = \frac{k_{Bočnice}}{\alpha_e} \cdot S_{Bz} \cdot I_{SBz} \cdot \vartheta_B = \frac{0,910}{19,125} \cdot 38,142 \cdot 637 \cdot 0,8 = 924,85 [W]$$

$$Q_{osvk-bočnice-V} = \frac{k_{Bočnice}}{\alpha_e} \cdot S_{Bv} \cdot I_{SBv} \cdot \vartheta_B = \frac{0,910}{19,125} \cdot 32,7195 \cdot 116 \cdot 0,8 = 144,47 [W]$$

$$Q_{osvk-bočnice-J} = \frac{k_{Bočnice}}{\alpha_e} \cdot S_{Bj} \cdot I_{SBj} \cdot \vartheta_B = \frac{0,910}{19,125} \cdot 3,6743 \cdot 420 \cdot 0,8 = 58,74 [W]$$

$$Q_{osvk-střecha} = \frac{k_{Střecha}}{\alpha_e} \cdot S_S \cdot I_{SS} \cdot \vartheta_S = \frac{0,839}{19,125} \cdot 70,72 \cdot 567 \cdot 0,65 = 1143,40 [W]$$

$$Q_{osvk-okno-Z} = \frac{k_{Okno}}{\alpha_e} \cdot S_{Oz} \cdot I_{SOz} \cdot \vartheta_O = \frac{6,947}{19,125} \cdot 28,0665 \cdot 637 \cdot 0,92 = 5974,63 [W]$$

$$Q_{osvk-okno-V} = \frac{k_{Okno}}{\alpha_e} \cdot S_{Ov} \cdot I_{SOv} \cdot \vartheta_O = \frac{6,947}{19,125} \cdot 26,649 \cdot 116 \cdot 0,92 = 1033,05 [W]$$

$$Q_{osvk-okno-J} = \frac{k_{Okno}}{\alpha_e} \cdot S_{Oj} \cdot I_{SOj} \cdot \vartheta_O = \frac{6,947}{19,125} \cdot 3,464 \cdot 420 \cdot 0,92 = 486,19 [W]$$

$$Q_{osvk-Dveře} = \frac{k_{Dveře}}{\alpha_e} \cdot S_D \cdot I_{SD} \cdot \vartheta_D = \frac{0,910}{19,125} \cdot 6,84 \cdot 116 \cdot 0,8 = 30,20 [W]$$

$$Q_{osvk-podlahy} = \frac{k_{Podlahy}}{\alpha_e} \cdot S_P \cdot I_{SP} \cdot \vartheta_P = 0 [W]$$

Celkový zisk od oslnění skříně slunečním zářením je dán:

$$Q_{osvk} = \sum_{j=1}^n Q_{osvk-j} \\ = 30,20 + 486,19 + 1033,05 + 5974,63 + 1143,40 + 58,74 + 144,47 \\ + 924,85 = 9795,54 [W]$$

Výpočet zisku od propustnosti slunečního záření okny je dán vztahem:

$$Q_{psz} = S_o \cdot I_{Sj} \cdot \zeta_j [W]$$

Část skříně	Světová strana	Plocha [m ²]	Intenzita slunečního záření [W.m ⁻²]	Poměrný součinitel absorpce slunečního záření [W.m ⁻²]
Okno	Z	28,0665	637	0,43
	V	26,649	116	0,43
	J	3,464	420	0,43

Tabulka 3-25: hodnoty součinitele propustnosti sl. záření okny

$$Q_{psz-z} = S_o \cdot I_{SO-z} \cdot \zeta_j = 28,0665 \cdot 637 \cdot 0,43 = 7687,69 [W]$$

$$Q_{psz-v} = S_o \cdot I_{SO-v} \cdot \zeta_j = 26,649 \cdot 116 \cdot 0,43 = 1329,25 [W]$$

$$Q_{psz-j} = S_o \cdot I_{SO-j} \cdot \zeta_j = 3,464 \cdot 420 \cdot 0,43 = 625,59 [W]$$

Celkový zisk od propustnosti slunečního záření okny je dán:

$$Q_{psz} = \sum_{j=1}^n Q_{psz-j} = 7687,69 + 1329,25 + 625,59 = 9642,53 [W]$$

Typ	Tepelný zisk od slunečního zatížení [W]
Od oslnění skříně slunečním zářením	9785,5
Od propustnosti slunečního záření okny	9642,53
	$\Sigma=19438,07$

Tabulka 3-26: zisk od slunečního zatížení

b) Varianta 2

Výpočet zisku od propustnosti slunečního záření okny je dán vztahem:

$$\begin{aligned} Q_{S,F} &= A_F \cdot d_F \cdot q_{S,W} \\ &= A_F \cdot d_F \cdot E_N \cdot \cos 30^\circ \\ &= 0,43 \cdot (21,693.2 + 21,429.2 + 23,0865.2 + 3,6743 + 3,464) \cdot 700 \cos 30^\circ \\ &= 0,43 \cdot (139,5553) \cdot 700 \cos 30^\circ = 36378,38 [W] \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{S,W} &= \frac{k_w}{\alpha_e} \cdot A_w \cdot q_{S,w} \cdot \varepsilon = \frac{k_w}{9} \cdot A_w \cdot \varepsilon \cdot E_n \cdot \cos 30^\circ \\ &= \frac{0,91}{9} (12,5805 + 12,8415 + 12,72) \cdot 0,8 \cdot 700 \cdot \cos 30^\circ = 1870,34 [W] \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{S,D} &= \frac{k_d}{\alpha_e} \cdot A_d \cdot q_{S,d} \cdot \varepsilon = \frac{k_d}{9} \cdot A_d \cdot \varepsilon \cdot E_n \cdot \sin 30^\circ = \frac{0,839}{9} \cdot 70,72 \cdot 0,8 \cdot 700 \cdot \sin 30^\circ \\ &= 1845,94 [W] \end{aligned}$$

Tepelný zisk od slunečního záření se vypočítá podle vztahu:

$$Q_{sl} = Q_{S,F} + Q_{S,W} + Q_{S,D} = 36378,38 + 1870,34 + 1845,94 = 40094,66 [W]$$

Varianta	Celkový tepelný zisk od slunečního záření [W]
I	19438,07
II	40094,66

Tabulka 3-27: porovnání tepelných zisků od slunečního záření

3.4.4.8 Výpočet celkového tepelného zisku

Pro výpočet celkového tepelného zisku byla zvolena varianta II, jelikož výsledky se velmi liší a je nutné brát v úvahu vyšší hodnotu.

$$Q_z = Q_{li} + Q_m + Q_{sl} = Q_{li} + Q_m + Q_{osvk} + Q_{psz} = 28084 + 7500 + 40094,66 = 72678,66 [W]$$

3.4.4.9 Celkový výkon chladícího zařízení vozidla

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

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

$$P_{CH} \leq -11826,01 - 72678,66 [W]$$

$$P_{CH} \leq -84504,66 [W] \Rightarrow P_{CH} \geq 84504,66 [W]$$

3.5 Vyhodnocení, závěr a výběr klimatizační jednotky

Po zhodnocení výsledků byly zvoleny navržené výkony klimatizace dle tabulky 3-28. Vytápěcí výkon je 62 kW a chladící 70 kW pro celé vozidlo. Jelikož bude každý článek obsahovat jednu klimatizační jednotku, je potřeba výkony rozdělit a podle toho zvolit správnou klimatizační jednotku.

	Vypočítaný výkon [W]	Navržený celkový výkon [kW]
Vytápění	58017,72	60
Klimatizace	84504,66	90

Tabulka 3-28: vyhodnocení výsledků

	Výkon klimatizační jednotky [kW]
Vytápění	20
Klimatizace	30

Tabulka 3-29: výběr klimatizační jednotky

Při vyfukování teplého vzduchu pouze ke stropnímu prostoru, dochází k nepříjemnému pocitu a k narušení pohodlí cestujících. Teplý vzduch se drží spíše nahoře, proto je třeba ho vířením dostat po celém průřezu vozidla. Toto řešení je technicky velmi náročné, proto dochází k montáži pomocných topných zařízení [8]. Toto zařízení umožňuje vhnět teplý vzduch do prostoru pro cestující. Jeho umístění je většinou na rámu pod sedačkami cestujících. Skládá se z topného tělesa, na které vhnějí vzduch dva ventilátory. Teplota výstupního vzduchu je maximálně 60°C a je redukována elektrickým regulátorem a teplotními snímači. Skříň pomocného topného zařízení je vytvořena z ocelového plechu, chráněného povrchovou úpravou proti korozi. Výkon jednoho zařízení je 3000 W.

Při použití 2-3 topných zařízení na jeden článek se sníží vytápěcí výkon pro výběr klimatizační jednotky na 11,5-14,5 kW.

Pro tento případ byla vybrána klimatizační jednotka od firmy Thermo King s označením LRC. Jedná se o novou generaci určenou pro tramvajová vozidla. Její výhodou je velmi dobrý poměr mezi hmotností a výkonem. Hlučnost zařízení je také velmi nízká. Volba jednotky proběhla dle vypočtených parametrů. Zvolený typ jednotky se nazývá LRC 35 ISTANBUL.



Obrázek 3.13: Thermo King LRC 35 ISTANBUL-I [7]

Základní údaje	Parametry
Chladicí výkon	31700 [W]
Vytápěcí výkon	20000 [W]
Délka	2,060 [m]
Výška	0,757 [m]
Šířka	1,602 [m]
Hmotnost	472 [kg]

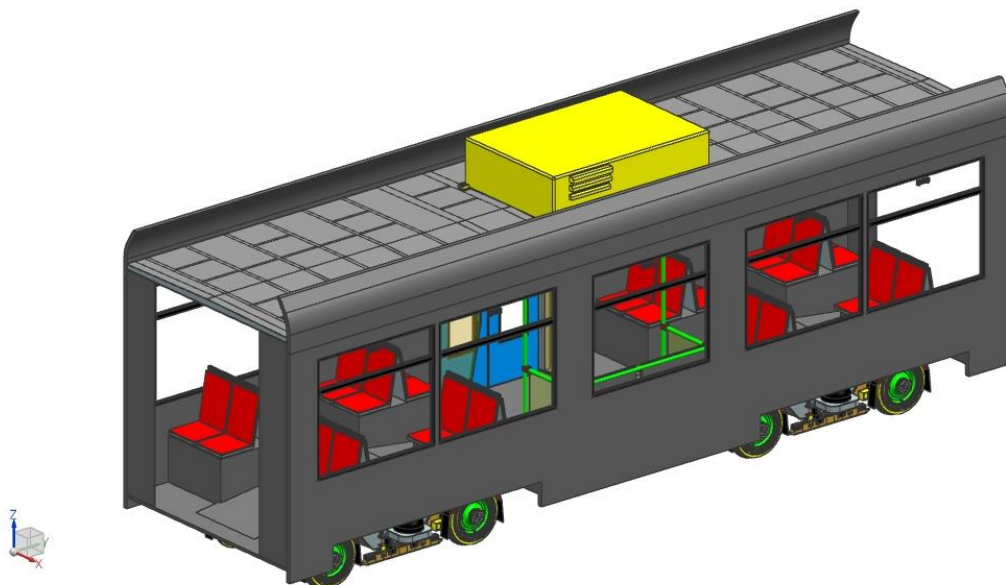
Tabulka 3-30: základní údaje



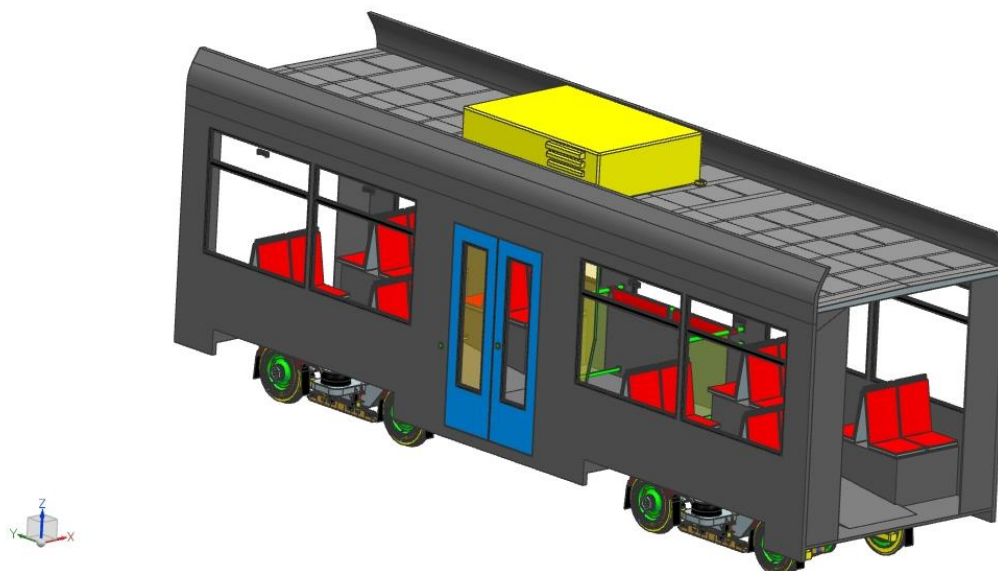
Obrázek 3.14: Thermo King LRC 35 ISTANBUL-II [7]

4 Návrh zabudování klimatizační jednotky a rozvodů vzduchu ve středním článku B

Na níže uvedeném obrázku se nachází kompletní článek B. Daný článek se vytvořil dle úvodního návrhu tříčlánkového tramvajového vozidla, který byl popsán v kapitole 2. Střední článek obsahuje všechny konstrukční celky, které se u tramvajového vozidla vyskytují (podvozek, sedačky, madla, prostor pro kočárky, dveře, mechanismus otevírání dveří, okna, rozvody vzduchu, zakrytování rozvodů, klimatizační jednotka).



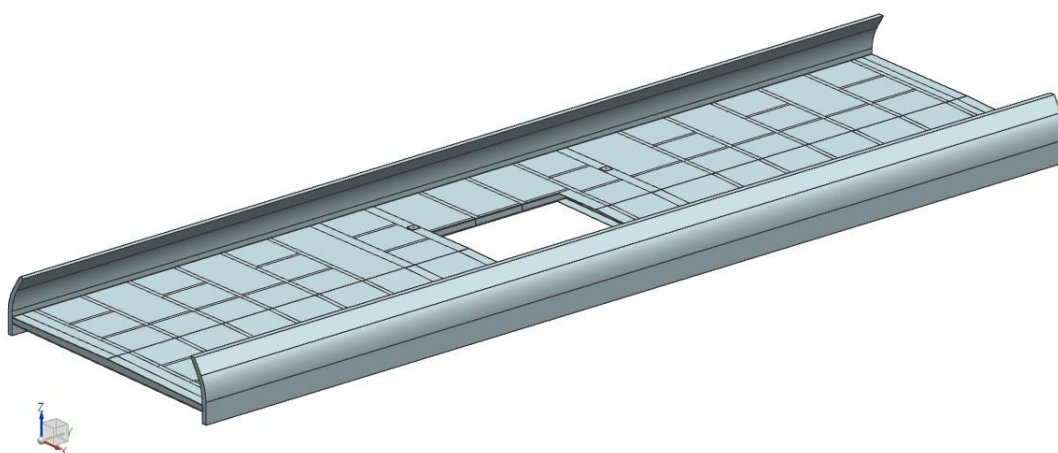
Obrázek 4.1: střední článek B- I



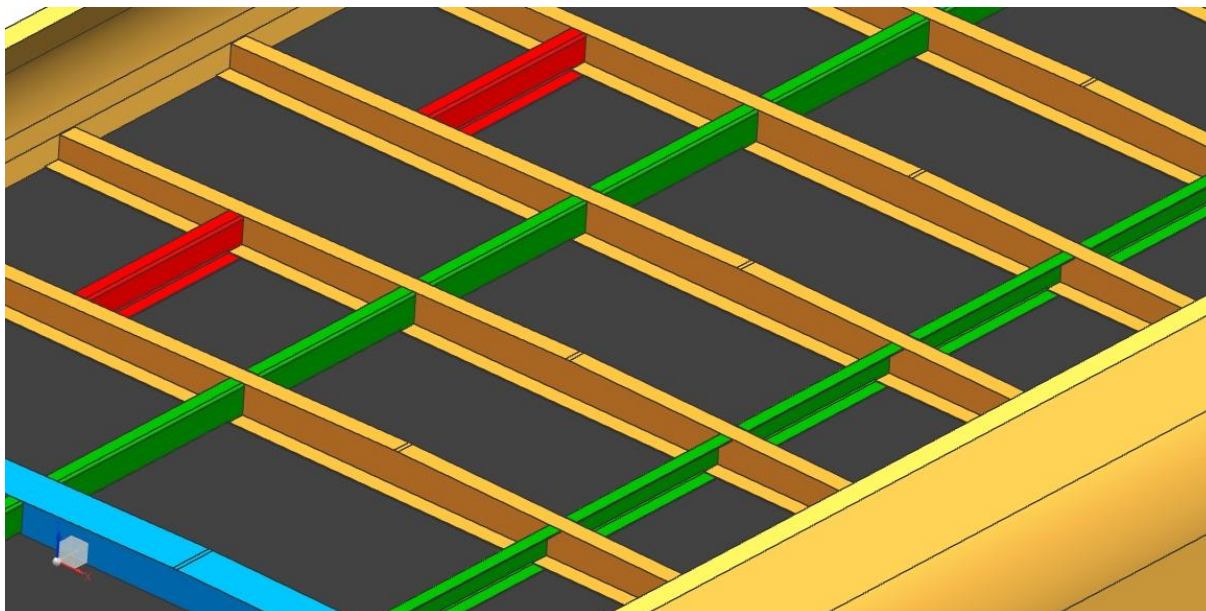
Obrázek 4.2: střední článek B- II

4.1 Návrh konstrukce střechy a zabudování klimatizační jednotky

Následující obrázky ukazují návrh střechy středního článku B. Jedná se o jednoduchou svařovanou konstrukci, která se skládá ze dvou vaznic uzavřeného profilu. Krajní střešní uzavřené profily jsou obdélníkového průřezu o tloušťce 3 mm. Na rozdíl od vnitřních příčníků jsou mohutnější a duté. Vnitřní střešní profily jsou otevřené ve tvaru Z. Jednotlivé příčníky jsou spojeny podélníky, které mají profil tvaru C. Pevné spojení mezi jednotlivými částmi se vytvoří pomocí svarového spoje. Všechny příčníky a podélníky jsou vyrobeny z plechu o tloušťce 3 mm. Výroba podélníku je velmi jednoduchá. Jeho základní tvar se získá po řezání na laserovém řezacím stroji. Takto upravený plech se dále ohýbá na konečný tvar pomocí ohraňovacího lisu.



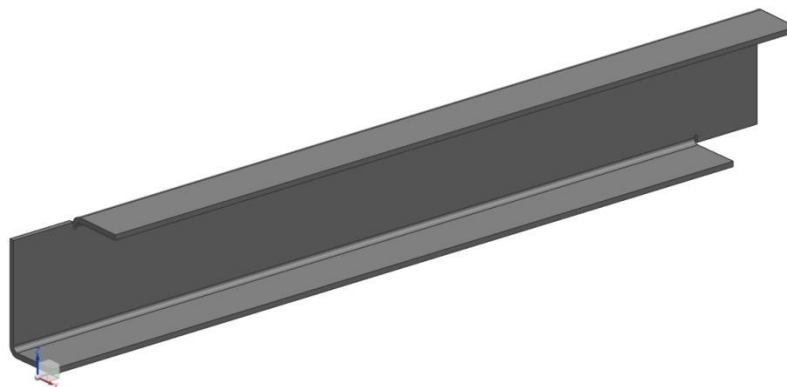
Obrázek 4.3: sestava střechy



Obrázek 4.4: podélníky a příčníky

Oba příčníky v ose střechy mají největší svoji výšku, která se postupně k vaznicím snižuje. Tímto je docíleno šípovitého tvaru střechy, který slouží k lepšímu stékání dešťové vody. Voda je potom odváděna odpadními trubkami v rozích střechy. Na profily se z vnější strany pokládá

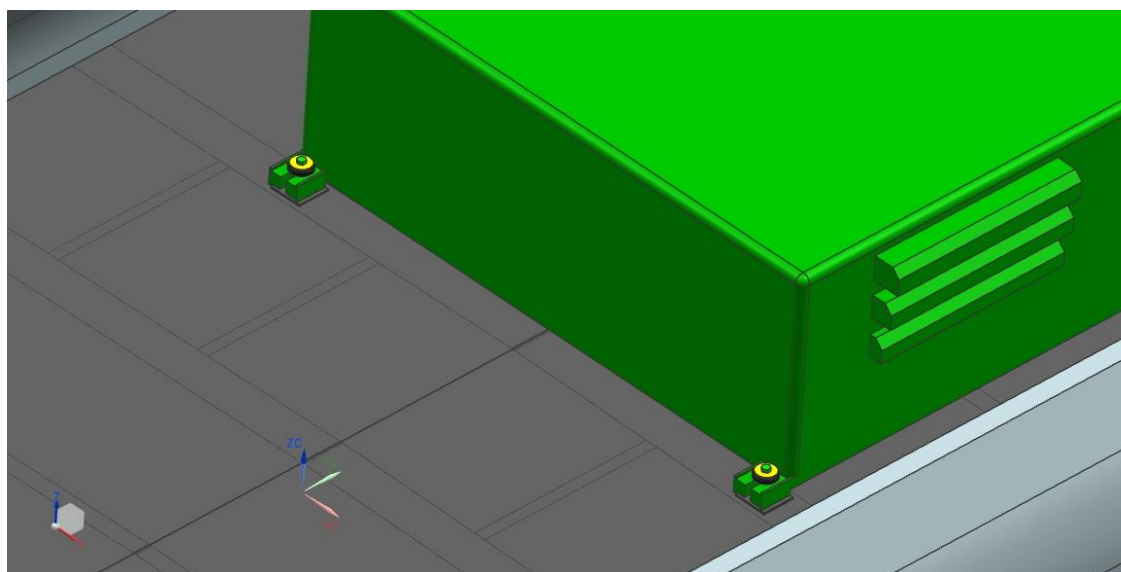
neruzový plech o tloušťce 2 mm z důvodu lepších vlastností vůči povětrnostním podmínkám. Kvůli možné deformaci se pro jeho montáž a usazení používá technologie tmelení a lepení. Naopak do vnitřního prostoru pro cestující se dává pozinkovaný plech. Zde je třeba zdůraznit cenu plechů, kde nerezový plech je 4 krát dražší než obyčejný pozinkovaný o stejném rozměru.



Obrázek 4.5: podélník

Prostory mezi příčníky a podélníky se vyplňují izolačním materiálem, který se nazývá FIBREX nebo také ROCKWOOL. Jedná se o kamennou vlnu s velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi. Kamenná vlna také výrazně tlumí hluk, chrání konstrukci před účinky ohně a požáru, je snadno recyklovatelná a především nedochází ke střásavosti při jízdě tramvaje v koleji.

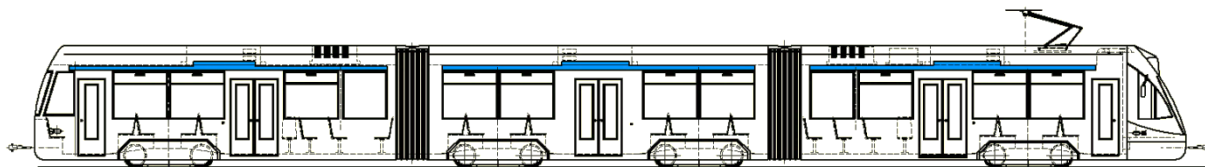
Vnitřní příčníky pro uchycení klimatizační jednotky jsou podobné jako krajní s tím, že jsou opatřeny konzolemi pro přichycení ke střeše článku. Klimatizační jednotka váží 472 kg, proto bylo potřeba použít uzavřené, obdélníkové profily. Jednotlivé rozteče uchycení klimatizačního zařízení byly navrženy dle specifikace výrobce. Jelikož u klimatizační jednotky vznikají vibrace, musí docházet k montáži pryžových silentbloků, které se umísťují mezi konzole jednotky a nosné příčníky. Ty způsobují odstranění přenosu těchto nežádoucích vlivů na konstrukci střechy.



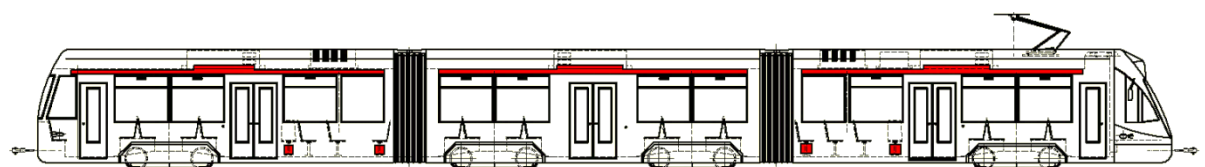
Obrázek 4.6: uchycení klimatizační jednotky na pryžových silentblokách

4.2 Návrh rozvodů vzduchu

Rozvod vzduchu je velmi důležitý hlavně z hlediska pohodlí cestujících při jízdě, ale i při stání a rozjezdu dopravního prostředku ze zastávky. Rozváděcí kanály by měly být konstruovány tak, aby upravený vzduch z klimatizační jednotky proudil rovnoměrně po celém tříčlánkovém vozidle a nevznikaly prostory, kde vzduch tzv. stojí. Na obrázcích níže je uvedeno základní schématické řešení klimatizace na celém vozidle.

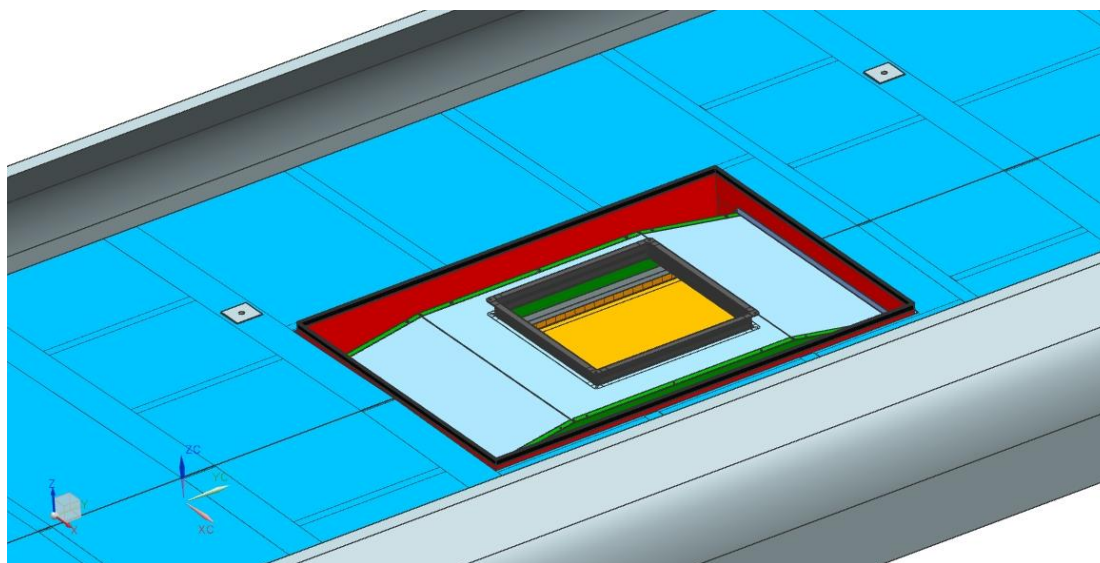


Obrázek 4.7: schématické znázornění klimatizace oddílu pro cestující-klimatizace



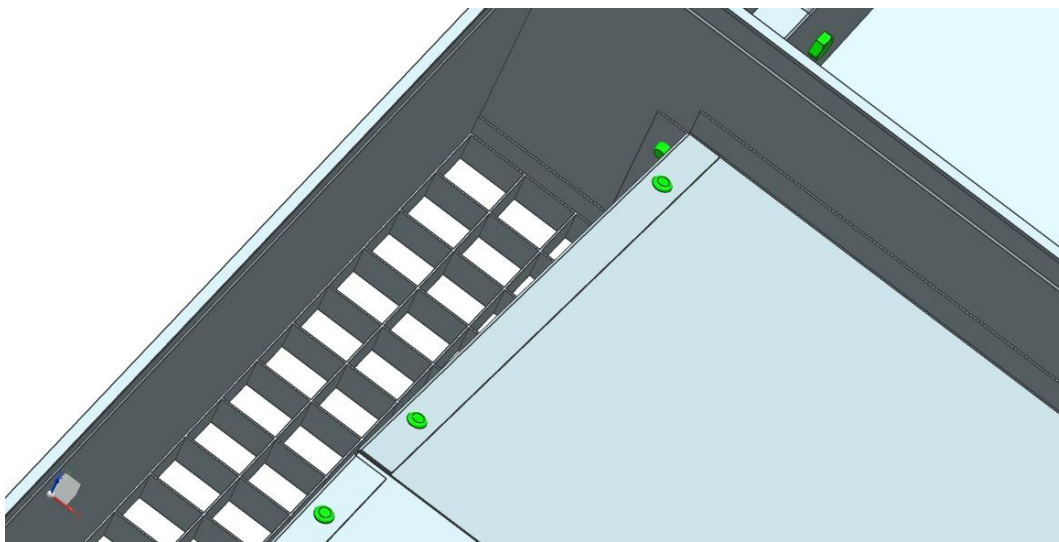
Obrázek 4.8: schématické znázornění klimatizace oddílu pro cestující-vytápění

Ve střeše nízkopodlažní tramvaje byl navržen otvor pro umístění základní skříň, která slouží pro přívod recirkulovaného vzduchu do klimatizační jednotky a rozvod upraveného vzduchu z jednotky dále do kanálů. Základní rozměry byly vytvořeny dle výkresů klimatizační jednotky poskytnuté firmou INGERSOLL RAND v Kolíně. Skříň byla vyrobena z pozinkovaného plechu o tloušťce 1 mm. Na vrchní část skříň se nasadí profil, který zajišťuje vyztužení a držení obdélníkového tvaru. Profil zajišťuje také funkci utěsnění, kde se na klimatizačním zařízení montuje do drážky těsnící pryž. Obdélníková skříň se připevňuje šrouby na podélníky ve střeše. Mezera mezi plechem součástí a střešou se musí vyplnit pryžovým těsněním.

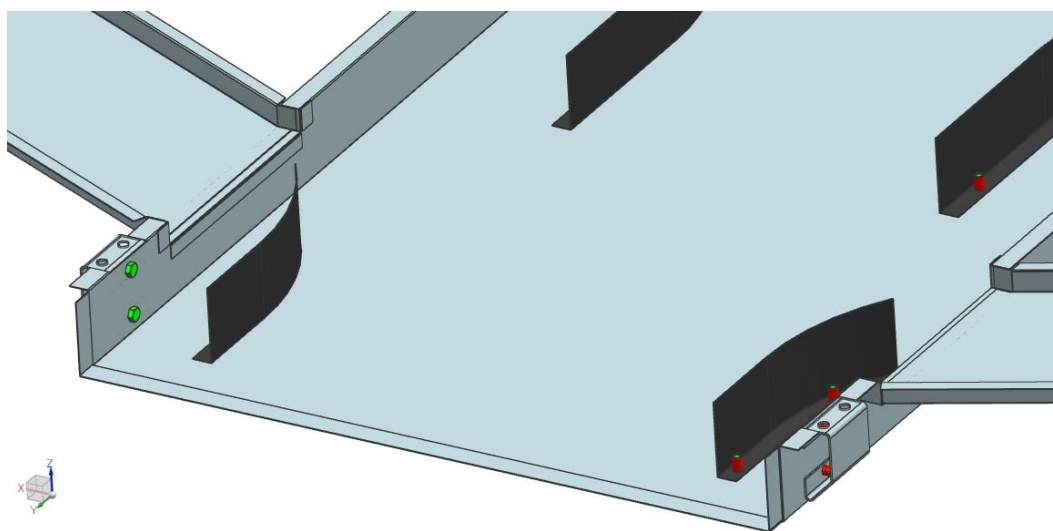


Obrázek 4.9: detail návrhu přívodu recirkulovaného vzduchu do klimatizační jednotky

Na skříň se postupně připevňují jednotlivé plechové části také o tloušťce 1 mm. Jak již bylo dříve uvedeno, základní rozměry těchto plechových dílů se vyrábí na laserovém řezacím stroji. Jejich konečný tvar se získá po úpravě na ohraňovacím lisu. Jednotlivé části se k sobě připevňují pomocí trhacích nýtů. Střední kanály mají vždy vytvořený proti sobě prolis z důvodu lepší a rychlejší montáže. Spoj mezi výústkou na středním kanále a bočním výdechem se může uskutečnit pomocí bodového svařování. To nám umožní zkrátit čas na rozdíl od vrtání a nýtování.



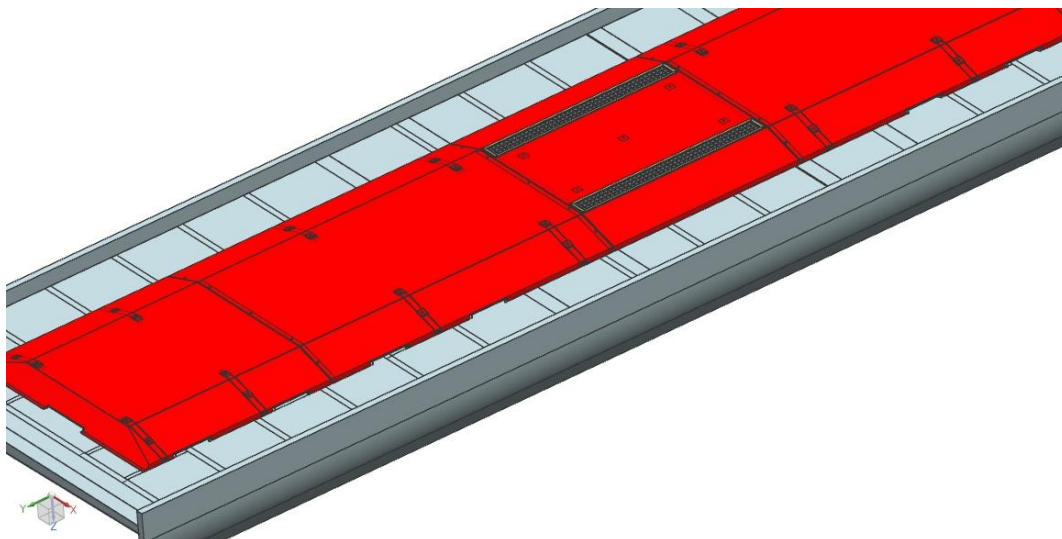
Obrázek 4.10: detail složení plechových dílů a spoj nýtem



Obrázek 4.11: prolis vytvořený ve středním kanále pro lepší montáž

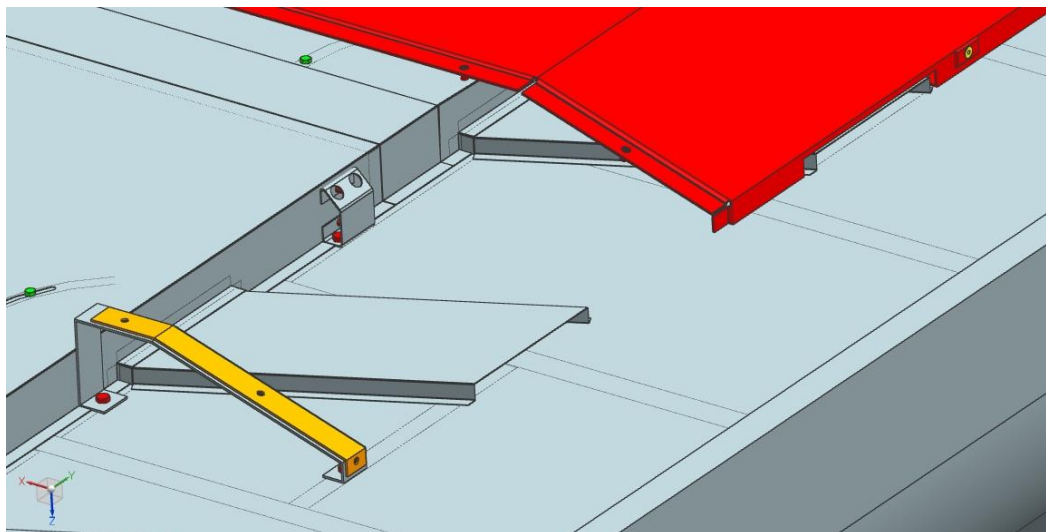
Na obrázku výše je znázorněno řešení upevnění kanálu pomocí držáku vytvořeného z plechu o tloušťce 3 mm. Držák se přichycuje na kanál a na podélníky pomocí nýtovacích matic M8, které jsou normalizované. Pro úplnost se musí uvést, že veškeré plechy jsou pozinkované.

Rozvody vzduchu jsou zakrytovány laminátovými částmi. Laminátové kryty mají pro lepší skládání vytvořené prolisy, ve kterých jsou vyvrtané díry pro nýtovací matice. Kryty se přišroubují na konzole, na kterých je nalepena pryžová páska kvůli odbourání přenosu vibrací.



Obrázek 4.12: zakrytování rozvodů vzduchu

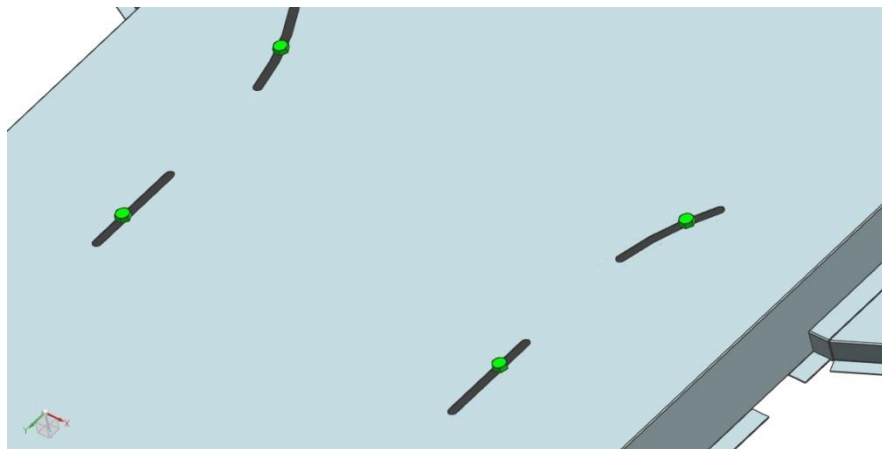
Konzole se spojují s podélníky střechy zase pomocí nýtovacích matic tentokrát rozměru M10. Z obrázku níže je patrné, že vyústění kanálu směřuje na boční laminátovou desku, která svádí proud upraveného vzduchu na okna vozidla. Je to z toho důvodu, že okna mají největší součinitel tepelného prostupu.



Obrázek 4.13: upevňná konzole na podélník a detail prolisu u laminátového krytu

Aby bylo docíleno rovnoměrného rozložení průtoku vzduchu je střednímu kanálu postupně od klimatizační jednotky měněn průřez. Průřez se mění snižováním výšky kanálu. Jak již dříve bylo uvedeno, rychlost vzduchu, který proudí na cestující, nesmí přesáhnout hodnotu $1,6 \text{ m/s}$ pro vnitřní teplotu 29°C . Redukce rychlosti vystupujícího vzduchu bude ukázáno v další kapitole s názvem simulace proudění. Vzduch v kanále se v podstatě chová jako tekutina, postupuje vždy cestou nejmenšího odporu. Aby vzduch proudil stejnou rychlostí a o stejném objemovém průtoku ze všech bočních kanálů rovnoměrně, nám slouží rozváděcí

plechy (žebra). Ty musí být možné nastavovat dle potřeby. To je zajištěno pomocí nýtovacích matic, šroubů a drážkami vyrobenými ve středním kanále.



Obrázek 4.14: drážky vyrobené ve středním kanále

Díky nýtovacím a šroubovým spojům je zajištěna možnost demontáže a výměna jednotlivých komponentů. S tím souvisí také i čištění kanálů, což je velmi důležitý parametr, který je nutné dodržet. Do vnitřní části kanálů je ještě potřeba vložit izolaci. My jsme zvolili tepelně zvukovou izolaci, která je odolná proti vodě. Zde je třeba podotknout, že izolace se musí vybírat s ohledem na zdraví a pohodu pasažérů. Některé druhy izolací mohou obsahovat karcinogenní látky, prach, plísně a bakterie, které se s upraveným vzduchem dostávají do vnitřních prostor pro cestující. Pro tento případ byla zvolena izolace Kaiflex Duct [9], která je odolná proti vlhkosti a vzniku bakterií.

Když proudí ventilací studený suchý vzduch z klimatizační jednotky, může nastat situace, kdy dochází ke kondenzaci vlhkosti na vnější straně kanálu. Tento výskyt vody je nežádoucí. Voda začne kapat na laminátové kryty, až se dostane do prostoru pro cestující. Po určitém čase může také ovlivnit životnost plechových kanálů. Vznikání kondenzace vlhkosti lze odstranit izolací, případně pokrytím vnější části kanálu nátěrem, který se nazývá THERMOSHIELD [10]. Funguje tak, že keramická dutá tělesa v nátěru absorbují přebytečnou vlhkost do sebe. Nátěr nevylučuje žádné karcinogenní látky a škodlivé emise.

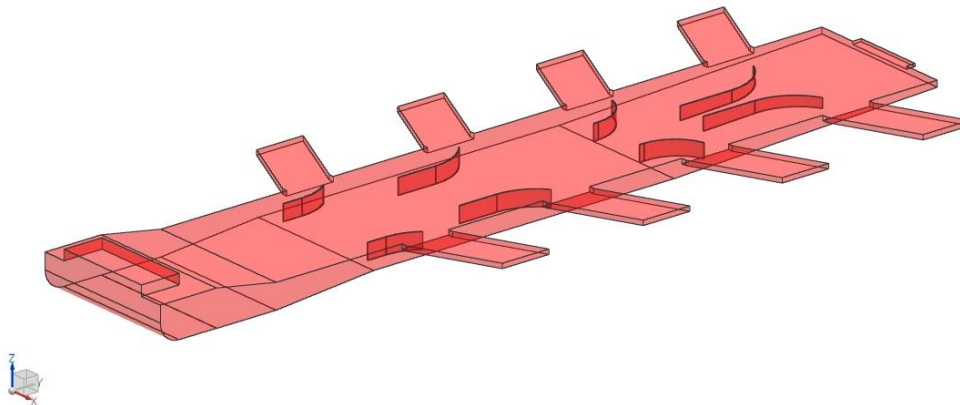
5 Simulace proudění

Po návrhu rozvodů vzduchu se musí ověřit splnění jednotlivých podmínek, které udává norma ČSN EN 14 750-1. Simulace by měla ukázat, zda je dostatečné množství vzduchu vháněno do prostoru pro cestující, případně zda je potřeba vzduch směřovat pod jiným úhlem nebo přidat větší množství výstupních míst. Bude také ověřena maximální rychlost, která proudí v okolí cestujících. Analýza se provede pro podmínky v letním období, to znamená přísun studeného vzduchu do vnitřních prostorů pro cestující.

Jelikož je úloha značně složitá a budou počítány různé varianty, použijeme pro analýzu program NX UNIGRAPHICS.

5.1 Řešení analýzy rozvodu vzduchu v kanálu

Jednotlivé výpočty a analýzy budou provedeny dle návrhu uvedeného v kapitole 4. Jelikož je geometrie rozvodu symetrická, lze ji rozdělit na polovinu, případně na čtvrtinu. Z podmínky, kdy celkový objemový průtok pro celé vozidlo činí $8500 \text{ m}^3/\text{h}$, vyjádříme vstupní parametr průtoku. Po početní úpravě vychází objemový průtok pro symetrickou upravenou úlohu $0,393 \text{ m}^3/\text{s}$. Jednotlivé výpočty se budou vždy počítat podle této okrajové podmínky.

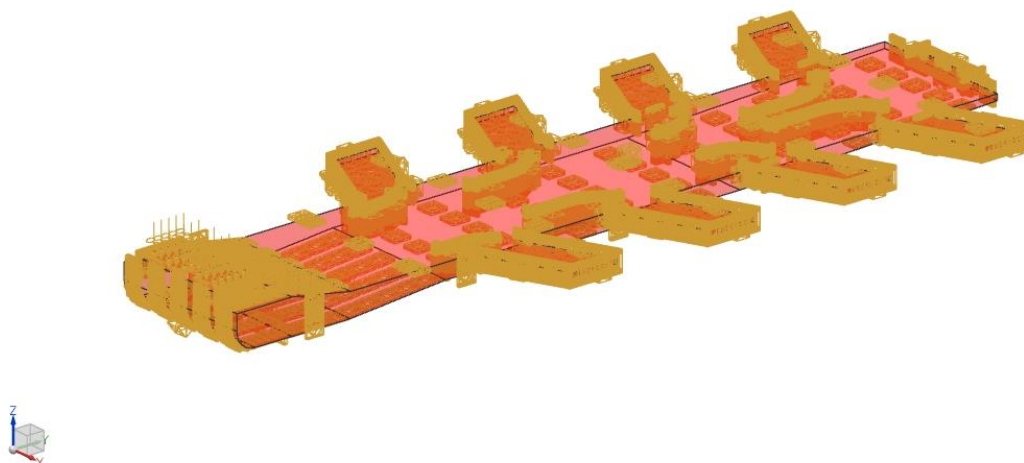


Obrázek 5.1: prvotní návrh

5.1.1 Okrajové podmínky a tvorba sítě

Jak už bylo dříve popsáno, první okrajovou vstupní podmínkou je objemový průtok. Druhou okrajovou podmínkou je předepsaný normální atmosférický tlak na jednotlivých výstupech. Ten činí 101325 Pa . Tekutina, která proudí nízkými rychlostmi kanálem, byla zvolena jako nestlačitelná o konstantní hustotě $1,225 \text{ kg/m}^3$ a dynamické viskozitě $1,85 \cdot 10^{-8} \text{ kg/mm.s}$. Další podmínkou bylo zadání drsnosti materiálu jednotlivých stěn. Pro pozinkovaný plech se drsnosti pohybují v rozmezí od $1\text{-}15 \mu\text{m}$. Model pro turbulentní proudění byl zvolen K-Epsilon a směr jízdy je ve směru osy y . Velmi důležité je také zajištění podmínky nulové rychlosti na pevných stěnách.

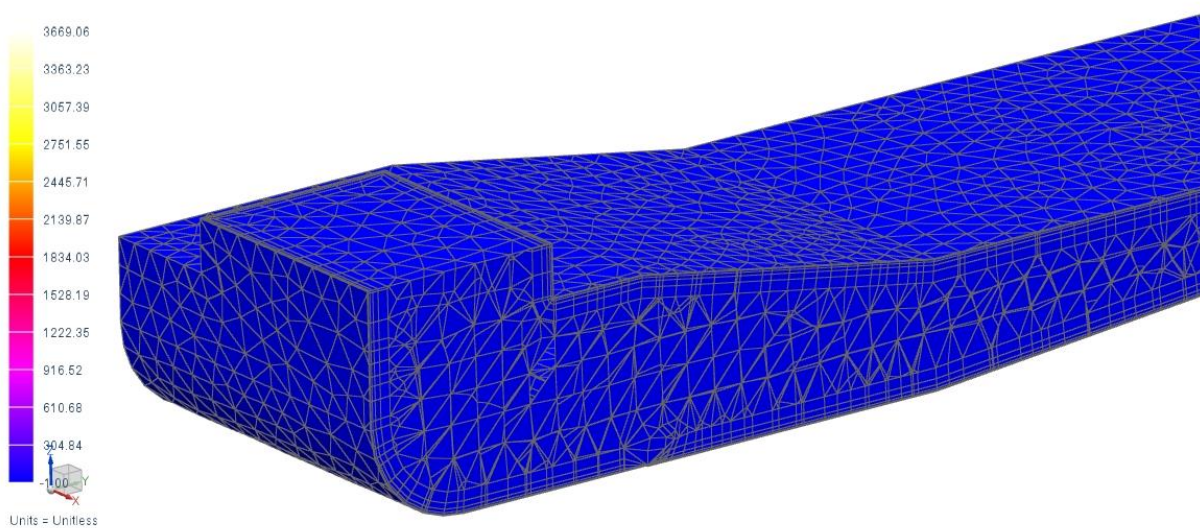
Teplota vnějšího okolí je definována na 30 °C a teplota upraveného vzduchu odpovídá hodnotě 20 °C.



Obrázek 5.2: okrajové podmínky

Síť byla vytvořena ve výpočtové oblasti sim. Samozřejmě ji lze vytvořit, jako u výpočtu běžných statických úloh, v modeláři fem analýzy. Problémem je, že je velmi složité vytvořit postupně se zvětšující elementy tak, aby byly zvětšovány lineárně. Toho docílíme v objektu simulace, kde se vybere položka Fluid Domain. Označí se stěny, které jsou pro výpočet důležité a určí se jim, v jakém rozmezí a počtu řad mají vzniknout.

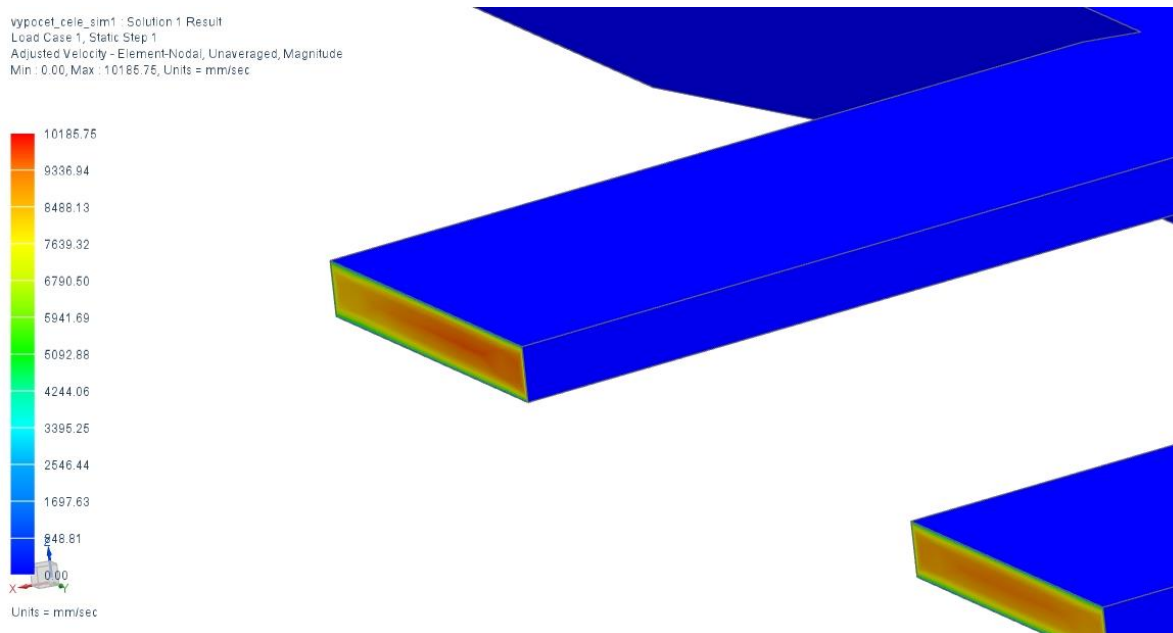
vypocet_ccele_sim1 - Copy of Solution 1 Result
Load Case 1, Static Step 1
Element Aspect Ratio - Elemental, Scalar
Min: -1.00, Max: 3669.06, Units = Unitless



Obrázek 5.3: vytvořená síť

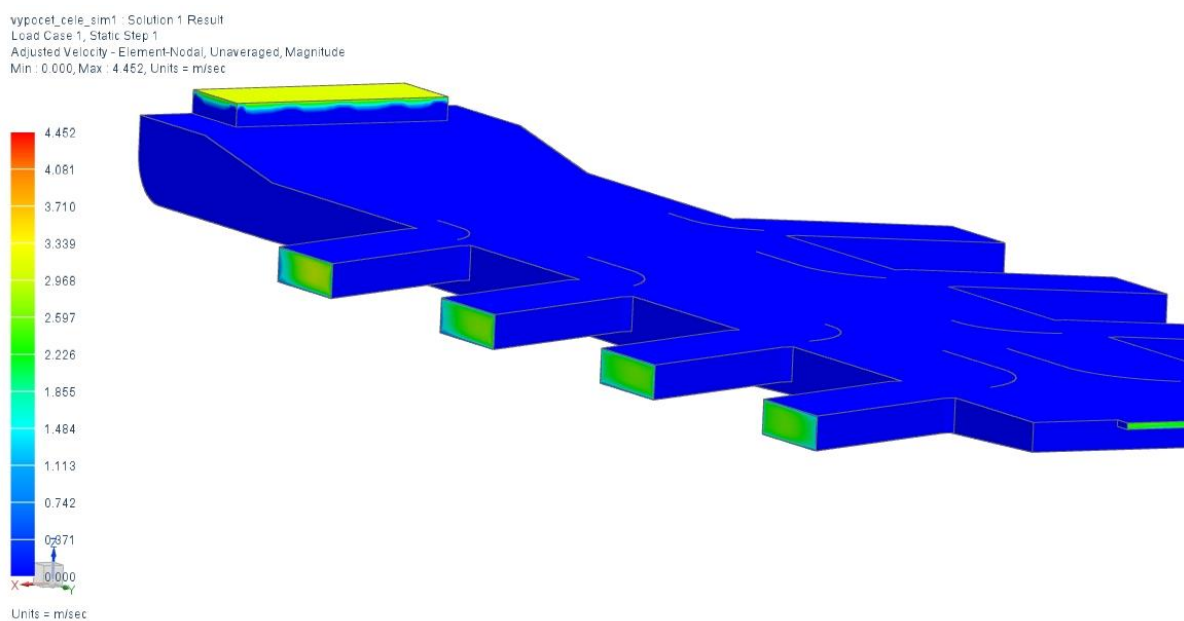
5.1.2 Výsledky rychlostí a teplot na výstupních otvorech

Na níže zobrazeném obrázku je zřejmé, že úvodní návrh jednotlivých výstupních průřezů neodpovídá podmínce maximální rychlosti. Nejvyšší rychlost je $9,336 \text{ m/s}$. Z toho důvodu se jednotlivé průřezy postupně upravují až na vhodnou velikost výstupní rychlosti ze vzduchovodů.

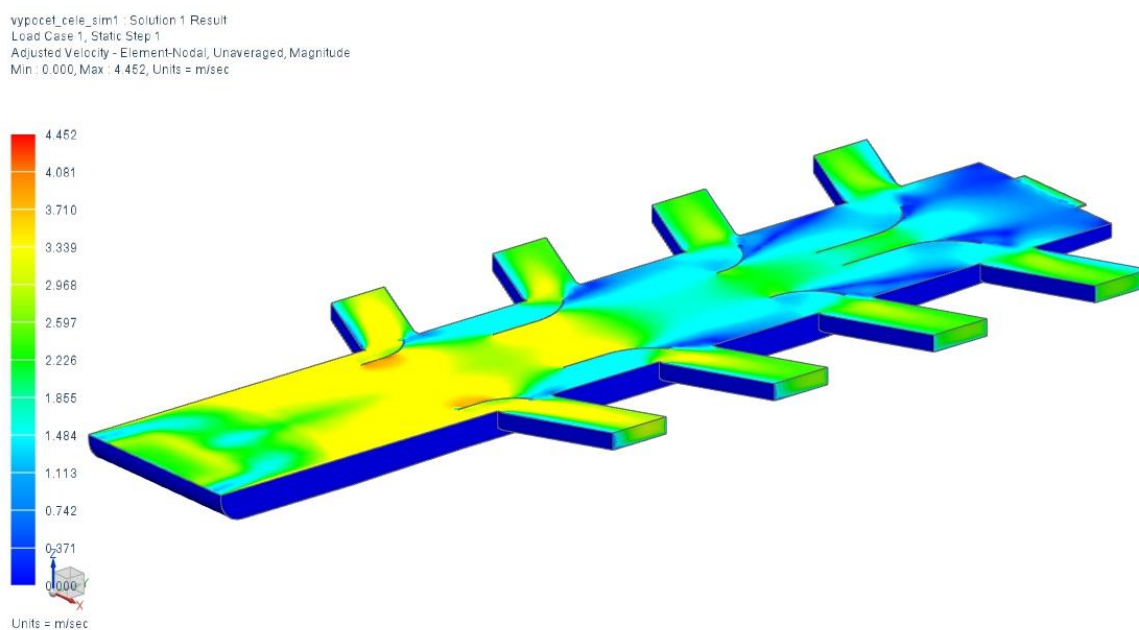


Obrázek 5.4: rychlost na výstupu z bočního kanálu

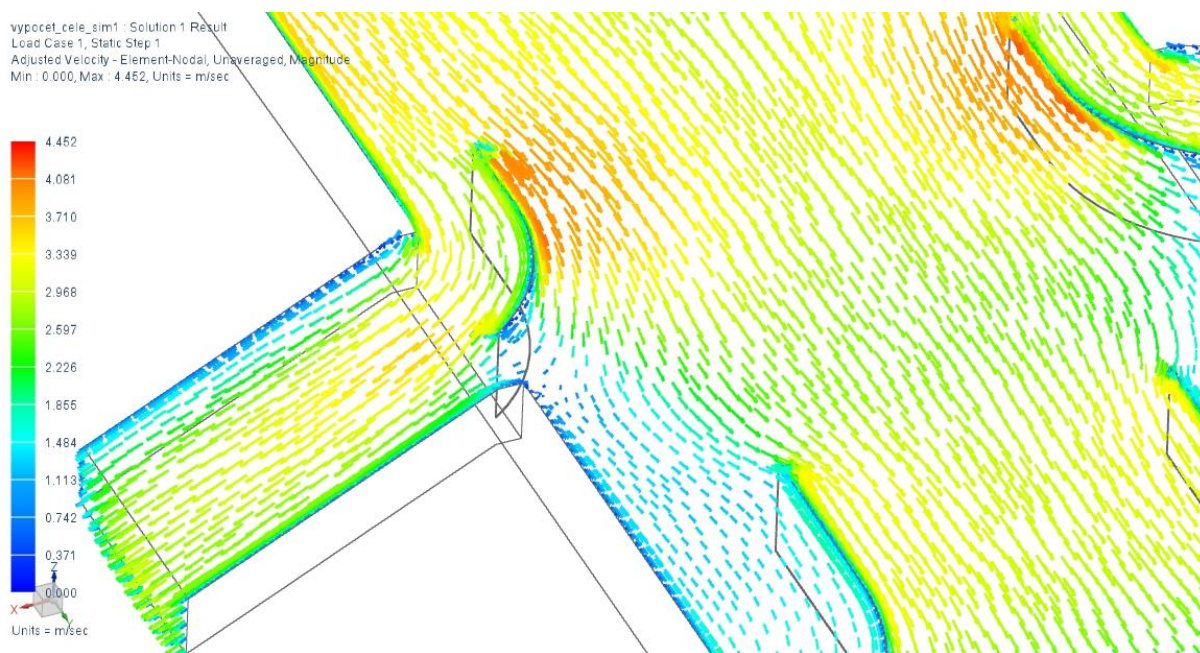
Následující obrázek znázorňuje hodnotu rychlostí, které jsou po celé délce rozvodů stejné. Z toho vyplývá, že rozváděcí plechy ve středním kanále byly navrženy a rozmístěny správně. Hodnota rychlosti v celém průřezu jednoho bočního kanálu se liší o $0,4 \text{ m/s}$, což je zanedbatelné. Pro další simulační výpočet se bere průměrná rychlost na výstupu v celém průřezu o hodnotě $2,2 \text{ m/s}$.



Obrázek 5.5: rychlost na výstupu po úpravě průřezu

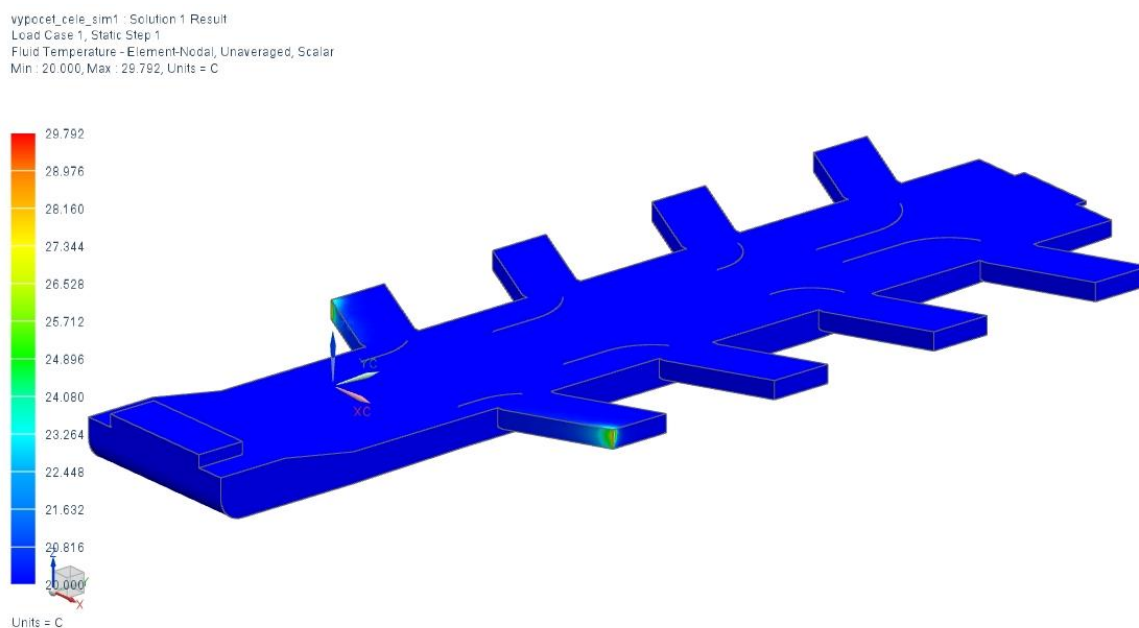


Obrázek 5.6: rychlostní pole-řez rovinou x-y



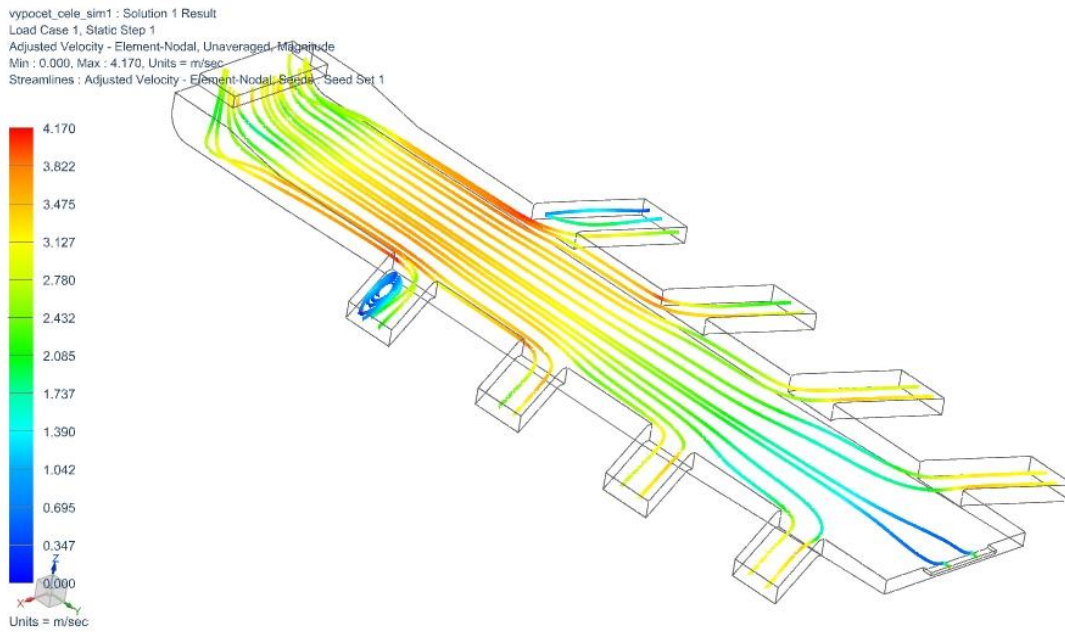
Obrázek 5.7: ukázka funkce rozváděcích plechů

Teplotní pole v celém průřezu vzduchovodu odpovídá obrázku 5.8. Upravený vzduch z klimatizační jednotky proudí do rozvodů o teplotě 20 °C a vystupuje z bočních výdechů do prostoru pro cestující také o teplotě 20 °C. Tyto parametry budou brány pro další výpočet teplotního pole ve středním článku B.

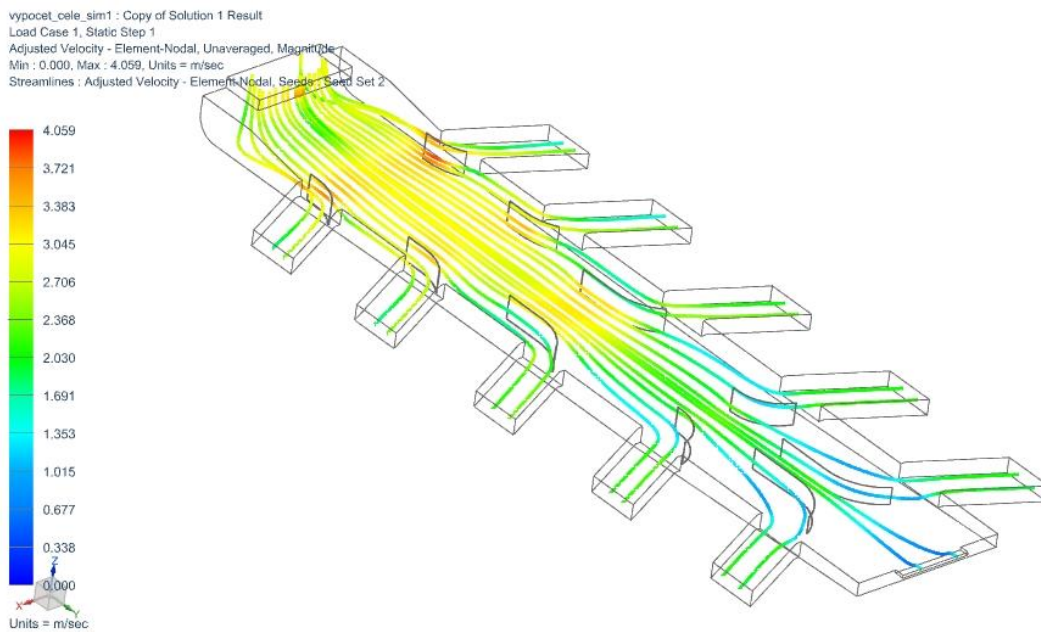


Obrázek 5.8: teplotní pole

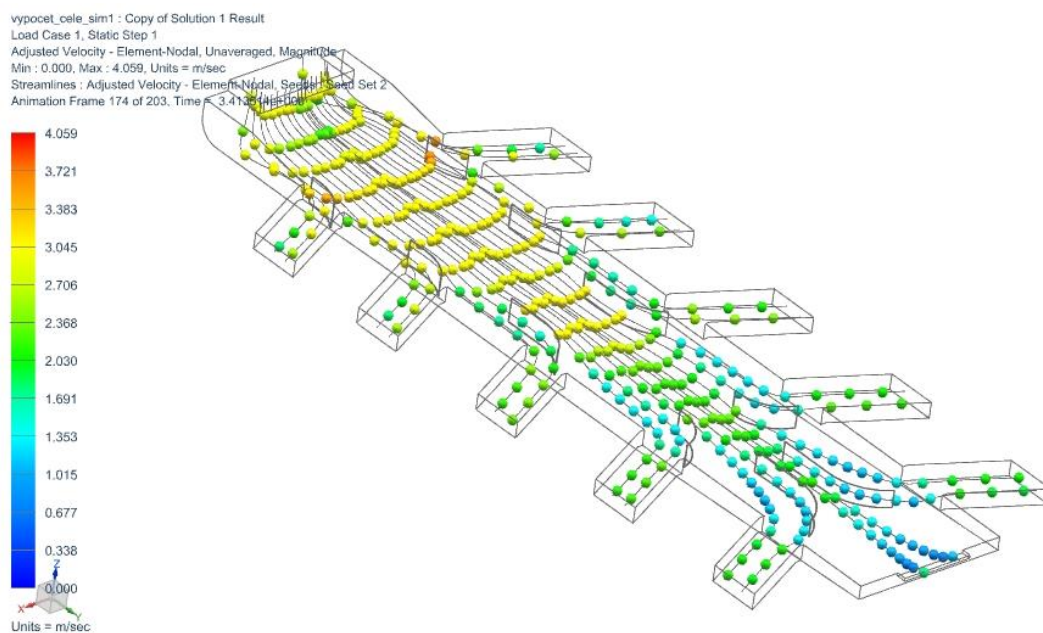
Vzduch se chová v kanálu jako tekutina, snaží se jít cestou nejmenšího odporu. Níže je ukázáno, jak ovlivňují a napomáhají rozváděcí plechy proudění a rychlosti vzduchu.



Obrázek 5.9: proudění vzduchu bez rozváděcích plechů- I



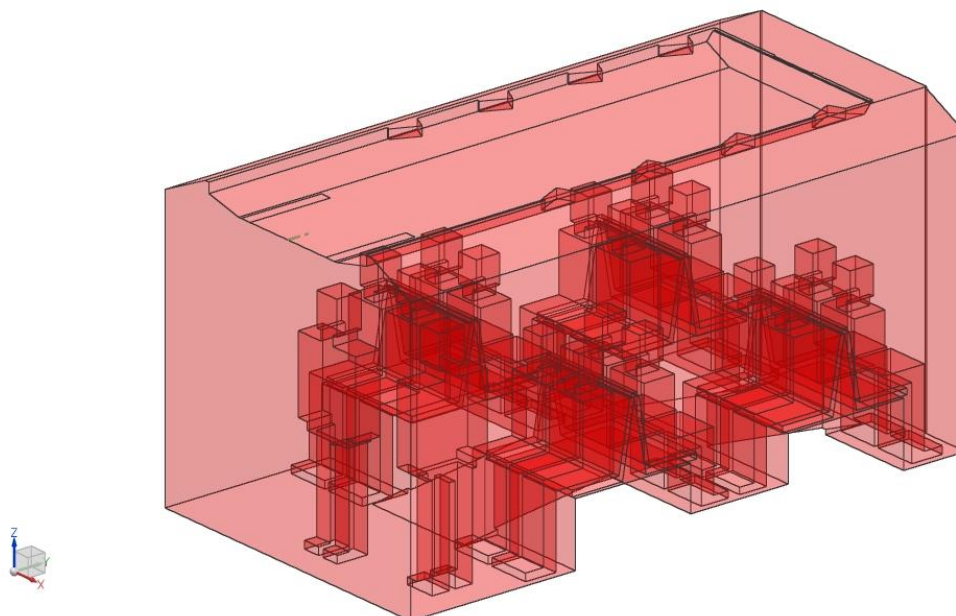
Obrázek 5.10: proudění vzduchu s rozváděcími plechy- II



Obrázek 5.11: ukázka snímku z videa proudění vzduchu v rozvodech

5.2 Řešení analýzy teplotního pole a rozpětí rychlostí ve středním článku B

Jelikož má úloha symetrickou geometrii článku, lze ji rozdělit na polovinu. Do článku jsou umístěny jednotlivé komponenty a cestující. Komponenty se myslí podesty a sedačky.

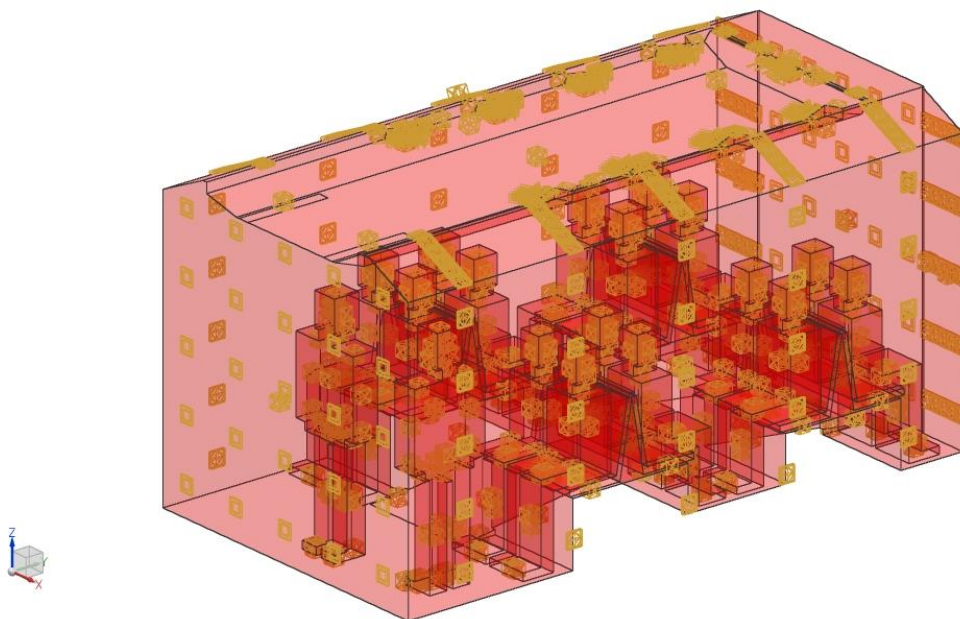


Obrázek 5.12: vytvoření vnitřního prostotu článku B

5.2.1 Okrajové podmínky a tvorba sítě

Okrajové vstupní podmínky se berou z předchozího řešení tzn. z výstupní rychlosti a teplota vzduchu. Teplota okolo středního článku byla zvolena 30 °C.

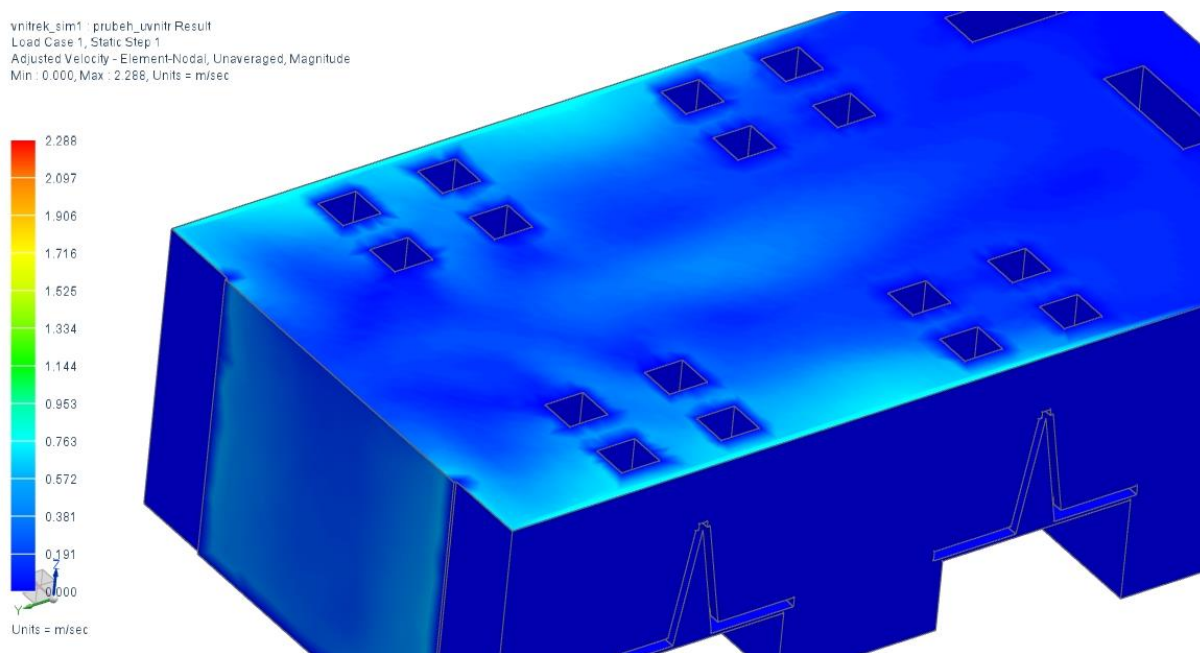
Síť a zbytek okrajových podmínek se tvoří s ohledem na dříve popsané vlastnosti v kapitole 5.1.1.



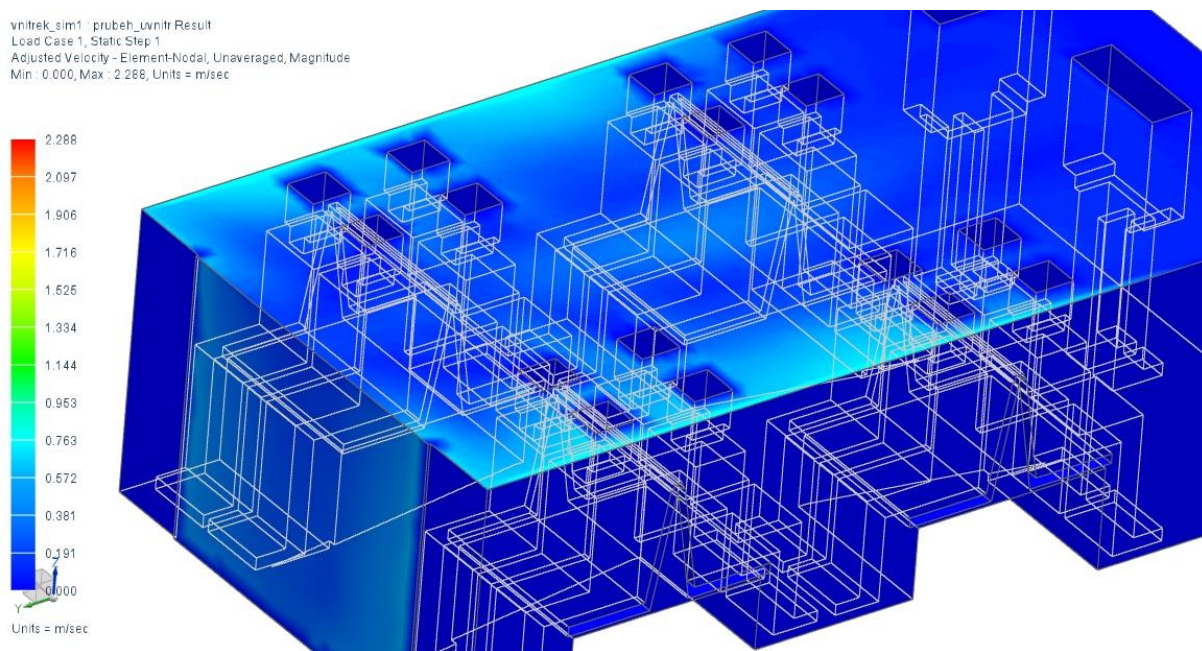
Obrázek 5.13: vytvořené okrajové podmínky

5.2.2 Výsledky rychlostí a teplot pro střední článek B

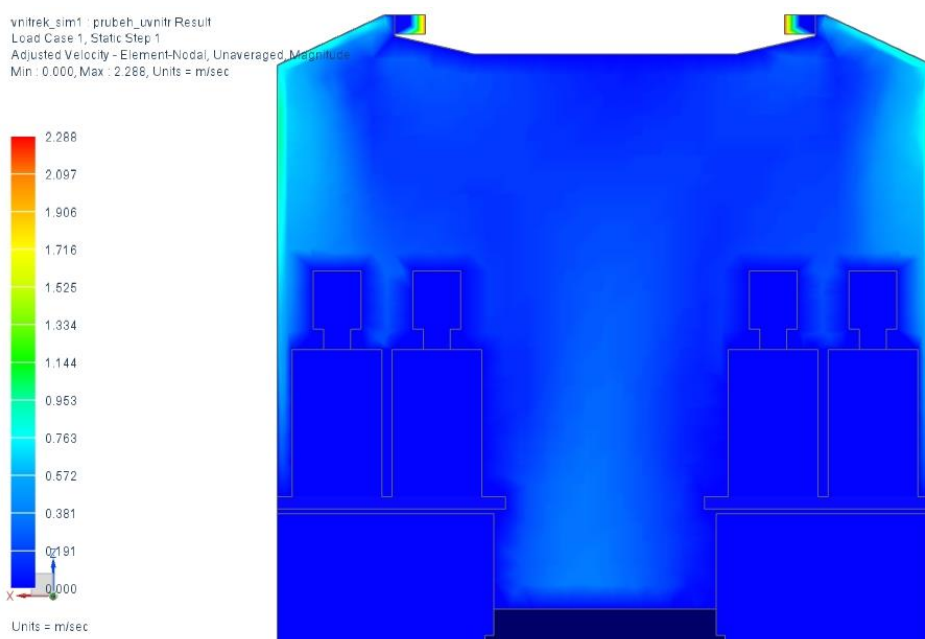
Hlavním omezením pro vyhodnocení rychlostí je hodnota, která je dána normou ČSN EN 14 750-1 a vychází pro vnitřní teplotu 29 °C 1,6 m/s. Vstupující vzduch proudí rychlostí 2,2 m/s, proto se musí, než dojde k cestujícímu, zredukovat na danou hodnotu. Na základě výsledků je možné říct, že rychlost vzduchu v blízkosti sedících a stojících cestujících je v mezích od 0,381-1,121 m/s, tudíž daný průřez a uspořádání bočních kanálů vyhovuje.



Obrázek 5.14: rychlostní pole v úrovni hlav sedících cestujících-I

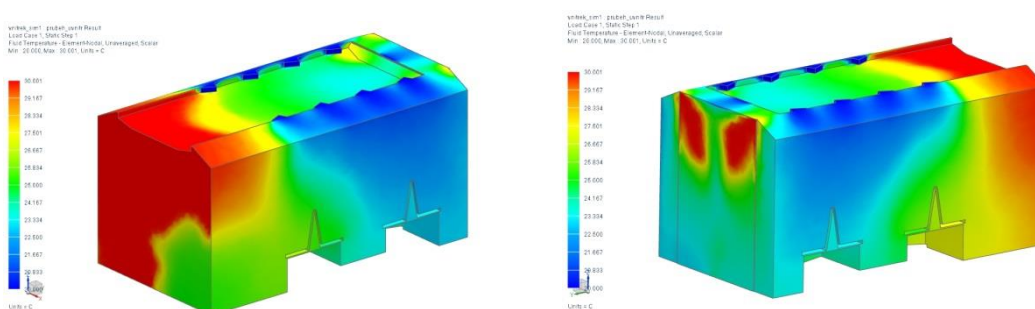


Obrázek 5.15: rychlostní pole v úrovni hlav sedících cestujících-II

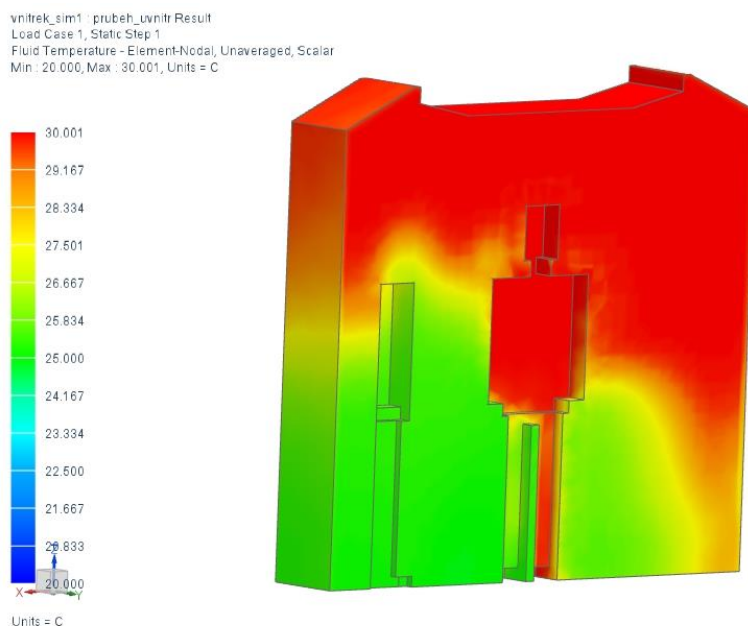


Obrázek 5.16: rychlostní pole okolo sedících cestujících v řezu x-z

Podle obrázku teplotního pole vzniká v článku místo, kde nedochází k promíchání a výměně vzduchu, což je neakceptovatelné. Proto musí být změněn počet výstupních kanálů.



Obrázek 5.17: Teplotní pole ve středním článku B



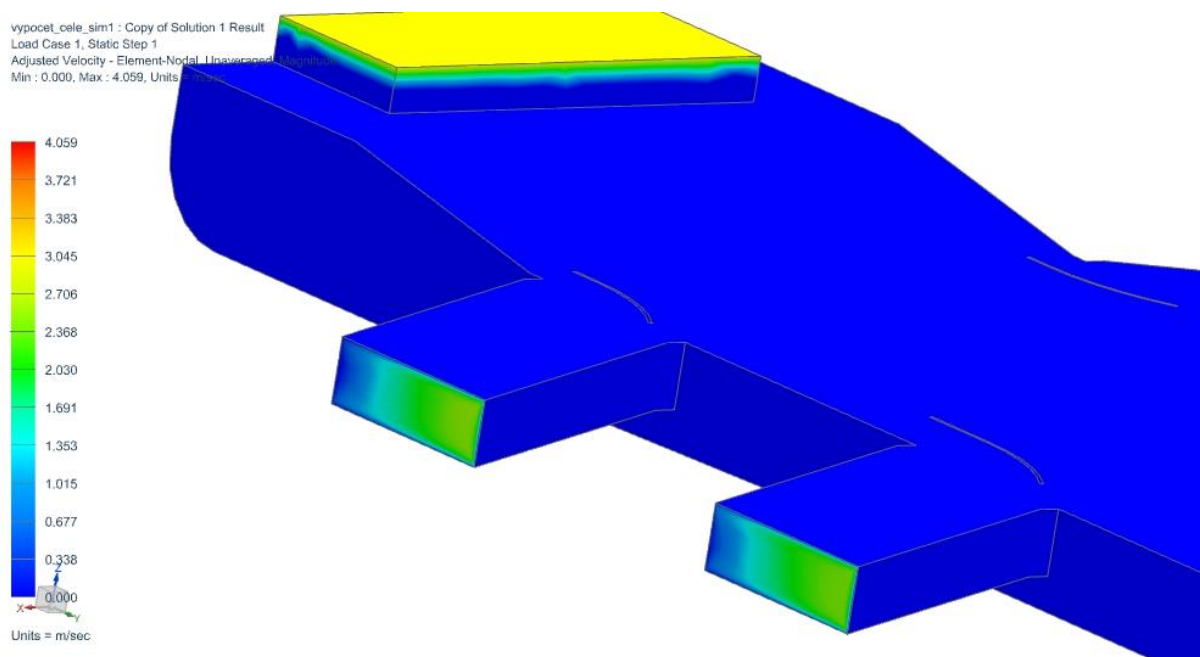
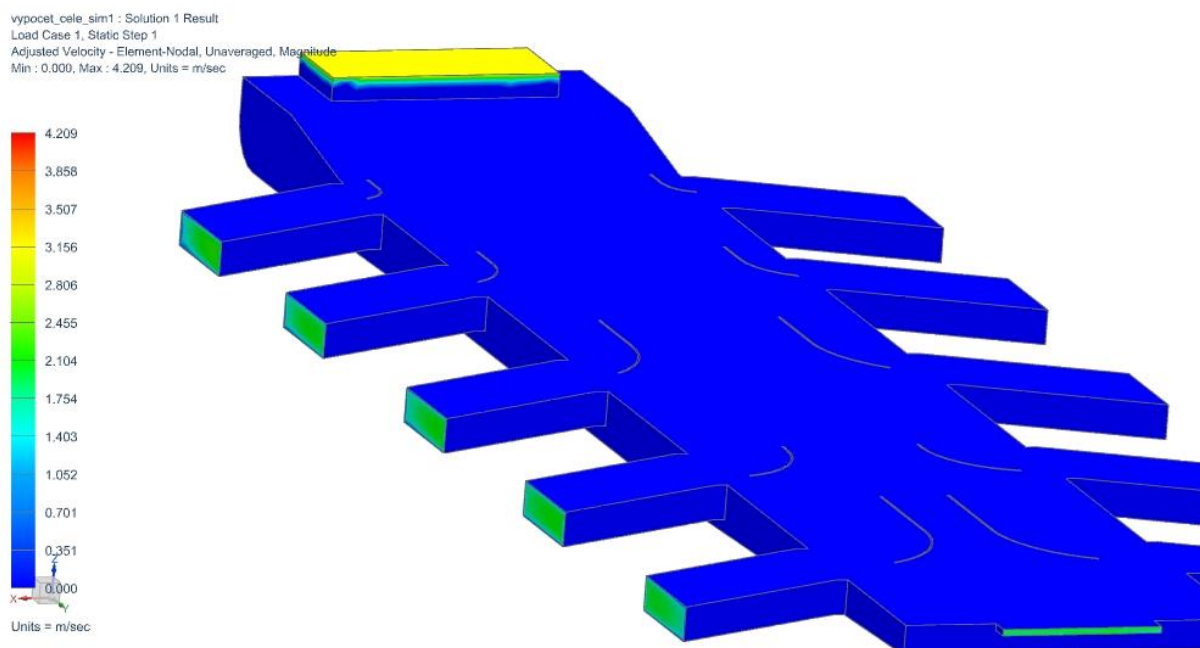
Obrázek 5.18: teplotní pole- řez x-z

5.3 Optimalizace rozvodů vzduchu a středního článku B

Následující kapitola ukazuje úpravu úvodního řešení, kdy došlo ke změně počtu a rozmístění bočních kanálů. Postup zadání okrajových podmínek a tvorby sítě je podobný jako v předchozím řešení.

5.3.1 Řešení analýzy rozvodu vzduchu v kanálu

U této úlohy došlo k výrazné nerovnoměrnosti proudění u prvního a druhého kanálu z důvodu špatného umístění rozváděcího plechu. Bylo tedy nutné tento rozváděcí plech nastavit tak, aby byl nežádoucí vliv odstraněn. Výsledky jsou vidět na obrázcích níže.

**Obrázek 5.19: nerovnoměrná rychlost po celém průřezu kanálu****Obrázek 5.20: rychlosti po nastavení rozváděcích plechů**

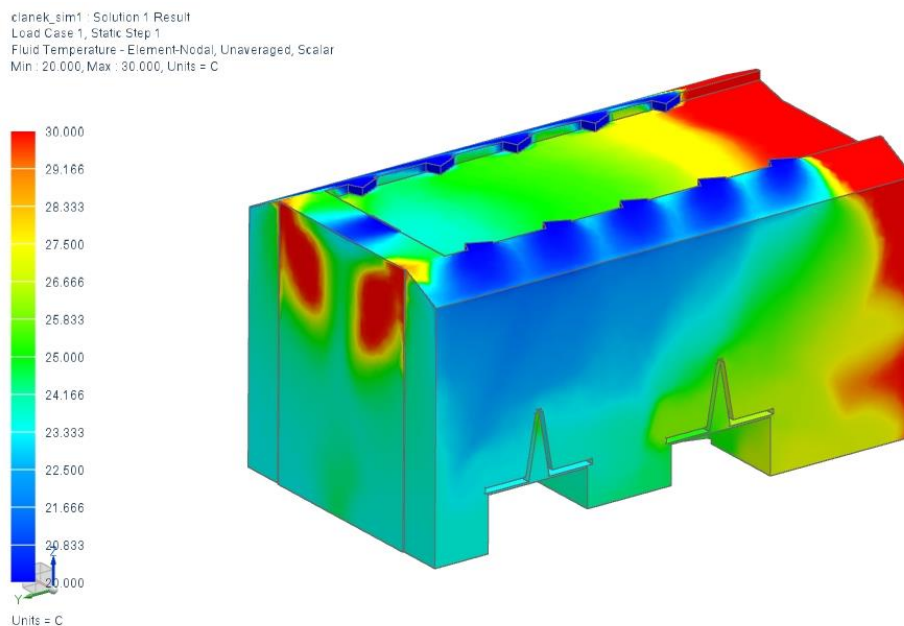
Hodnota rychlosti v celém průřezu jednoho bočního kanálu se liší o 0,45 m/s , což je zanedbatelné. Pro další simulační výpočet se bere průměrná rychlost v celém průřezu o hodnotě 1,9 m/s pro boční výstupy a 1,6 m/s pro čelní výstup.

Teplotní pole v celém průřezu odpovídá obrázku Obrázek 5.8.

5.3.2 Řešení analýzy teplotního pole a rozpětí rychlostí ve středním článku B

.Vstupující vzduch proudí rychlostí $1,9 \text{ m/s}$, což odpovídá přibližně hodnotě v normě. Jelikož v předchozím případě výsledky rychlostí upraveného vzduchu byly v pořádku, nemusíme se dále tímto řešením zabývat.

Podle obrázku teplotního pole vzniká v článku místo u stropu, kde nedochází k promíchání a výměně vzduchu. Z toho vyplývá, že přidaný kanál by měl být natočen pod menším úhlem.



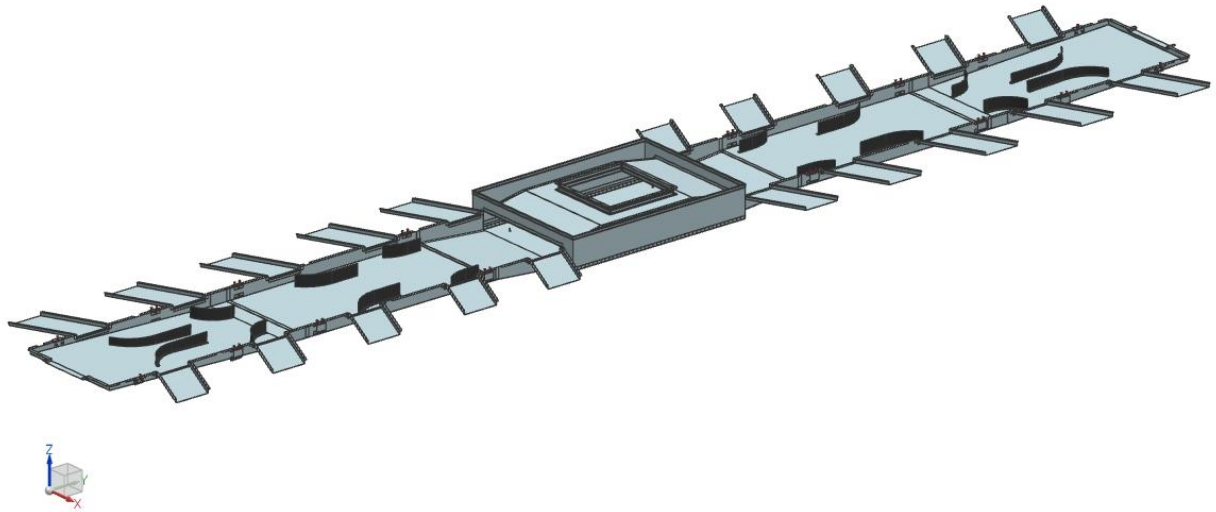
Obrázek 5.21: teplotní pole ve středním článku



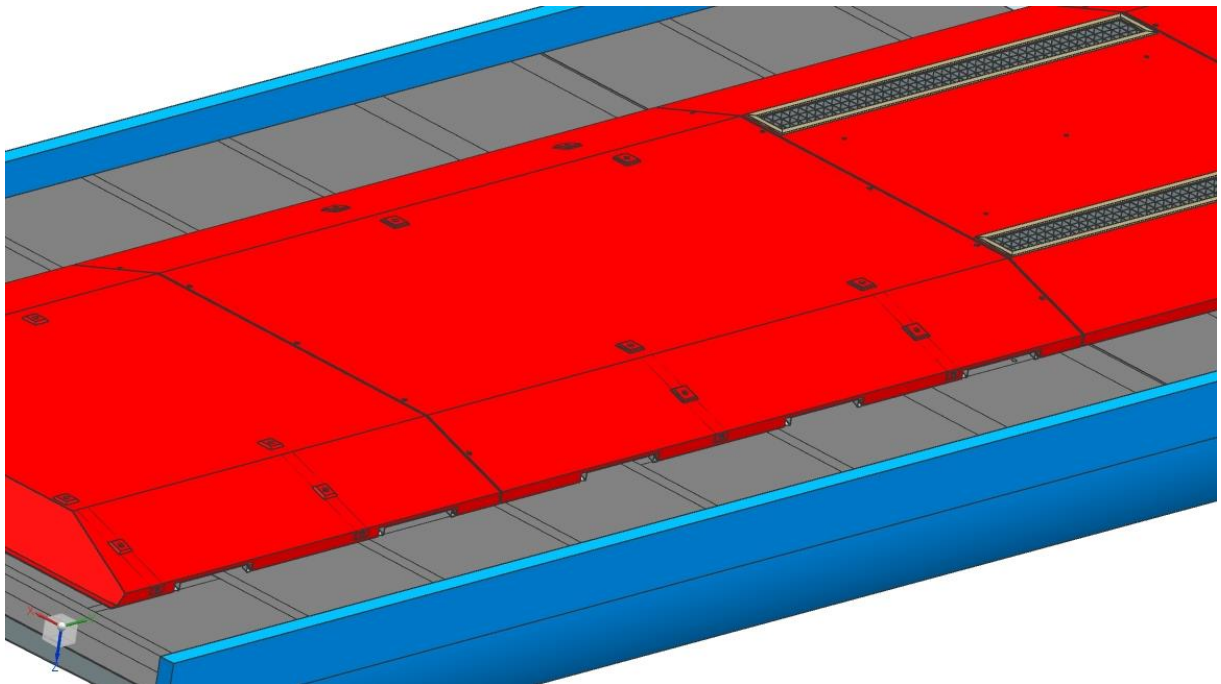
Obrázek 5.22: proudění vzduchu ve středním článku

5.3.3 Konečná úprava konstrukce rozvodů

Po vyřešení části problémů s proudem vzduchu a místem, kde nedochází k promíchání a výměně vzduchu, se musí úvodní návrh rozvodu vzduchu předělat. Tím je dosaženo konečného optimálního řešení a je vše dokončeno.



Obrázek 5.23: upravený rozvod vzduchu



Obrázek 5.24: detail pěti bočních výstupů po optimalizaci

Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na návrh tříčlankového tramvajového vozidla a klimatizace prostorů pro cestující.

V první části jsem určil základní parametry a informace o celém tramvajovém vozidle. Je třeba si uvědomit, že každá tříčlanková koncepce má své výhody a nevýhody. Proto nelze jednoznačně určit, která koncepce je nejlepší. Zde jsem se ještě potýkal s rozmístěním komponentů, jako jsou sedadla, dveře, atd.

V druhé kapitole jsem se zaměřil na řešení výpočtu výkonu klimatizační jednotky pro námi navrženou tramvaj. Nejprve jsem provedl návrh izolací jednotlivých částí skříně, poté došlo k výpočtu daných součinitelů a následoval výpočet výkonů. Zde jsem si uvědomil, s jakými parametry se musí počítat a na co brát větší zřetel.

V příloze je uveden dokument od firmy Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o. v Kolíně, kde si můžeme zkontrolovat vypočtené výkony klimatizační jednotky. Pokud porovnáme příkony vytápění, je zde vidět odchylka. Po konzultaci v dané firmě, mi bylo řečeno, že záleží na požadavku na udržení teploty uvnitř vozu při otevřených dveřích. Někdy se vůbec nepočítá s tím, že se teplota "dorovná" mezi stanicemi. Většinou se vybere nějaký rozumný kompromis hlavně pro topení. Přidávat 18,27 kW jen jako ochranu proti otevřeným dveřím je zbytečné. Proto po odečtení hodnoty od příkonu vytápění se výsledky téměř shodují. Při porovnání výkonu klimatizace je odchylka 3 kW, což je zanedbatelné.

V následující kapitole jsem se zabýval návrhem zabudování klimatizační jednotky na střechu a návrhem vzduchovodů. Pokud si uvědomíme všechny problémy, které mohou nastat při provozu, montáži a například i při výrobě jednotlivých součástí, neměla by nastat žádná nečekaná situace. Když přihlédnu k výrobě komponentů z plechů, je velmi jednoduchá, pokud osoba, která vše navrhuje ví, jak, co a pod jakým úhlem jde ohýbat, např. na ohraňovacím lisu. Všechny konstrukční součásti rozvodu vzduchu jsem volil tak, aby výroba byla co nejjednodušší a nejlehčí.

Z úlohy pro simulaci proudění je vidět, že výsledky z CFD numerických metod dávají informace, které poté můžeme aplikovat pro návrh daného rozvodu. Hlavním cílem příspěvku numerické simulace je zjištění parametrů, které jsou důležité, ať už z hlediska konstrukce, tak z hlediska pohodlí cestujících. Přesvědčil jsem se o tom, že navržení jednotlivých průřezů bočních kanálů není tak jednoduché.

S ohledem na to, že v dnešní době se klade velký důraz na ekologičnost, ale hlavně na výrobní náklady a úsporu hmotnosti dopravního prostředku, je nutné dbát na využívání nových trendů, technologií a inovací.

Použitá literatura

Knižní publikace

- [1] HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla I*, Plzeň: Západočeská univerzita, 2007, ISBN 978-80-7043-520-5
- [2] HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla II*, Plzeň: Západočeská univerzita, 2009, ISBN 978-80-7043-641-7
- [3] HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla III*, Plzeň: Západočeská univerzita, 2011, ISBN 978-80-261-0028-7
- [4] LATA, M. *Konstrukce kolejových vozidel II*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004
- [5] KALINČÁK, D., JANÍČEK, F., KORECZ, K., LANG, A. *Kolajová vozidla- řešené příklady*, Žilina: Žilinská univerzita, 2004, ISBN 80-8070-352-3

Kvalifikační práce

- [6] MAŘÍK, Jan. *Designová studie tramvajového vozu: bakalářská práce*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2012. 70 l., 21 l. příloh. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Jiří STANĚK, CSc.
- [18] TŮMA, Tomáš. *Zhodnocení přirozené klimatizace v objektech: bakalářská práce*. České Budějovice: Vysoká škola technická a ekonomická, Katedra stavebnictví, 2013. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Galko, Ph.D.

Publikace na internetu

- [7] *Ingersoll Rand THERMOKING* [online]. [cit. 2014-02-29]. Dostupné z WWW: <<http://www.directindustry.com/prod/thermo-king/refrigeration-units-railway-applications-34535-452473.html>>
- [8] *Topné jednotky* [online]. [cit. 2014-04-5]. Dostupné z WWW: <<http://sub.infnet.net/mep-postrelmov/trakcni-pristroje/topne-jednotky.aspx>>
- [9] *KAIFLEX- izolace* [online]. [cit. 2014-05-3]. Dostupné z WWW: <http://www.alfa-izolace.cz/kaiflex__vzduchotechnika/>
- [10] *Thermoshield* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.thermoshield.sk/cz/view/thermoshield-interieur/>>
- [11] *Morfologie povrchu plechů* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/mtk/Morfologie.pdf>
- [12] *Soundpaint* [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.pyroteknc.com/fast-drying-water-based-vibration-damping-compound-soundpaint.html>>

Ostatní zdroje

- [13] ČSN 28 0318. *Průjezdne průřezy tramvajových tratí*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [14] ČSN 28 0337. *Obrysy pro tramvajová vozidla*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [15] ČSN EN 14750-1. *Železniční aplikace- klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla- 1. část: Parametry pohodlí*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [16] ČSN EN 14750-2. *Železniční aplikace- klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla- 2. část: Typové zkoušky*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [17] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov- Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

PŘÍLOHA č. 1

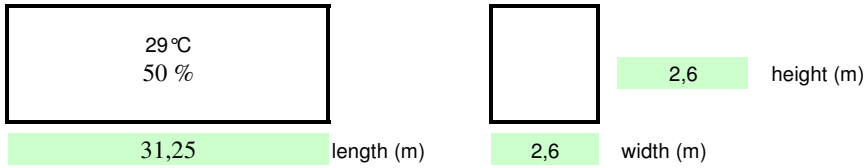
**Výsledky výpočtu jednotlivých výkonů klimatizační jednotky od firmy
Ingersoll-Rand Equipment Manufacturing Czech Republic s.r.o. v Kolíně.**

Project: **Aljesky - V1** Date: **31.03.14**

City: **Praha** Altitude: **288 m** Latitude: **50°**

Conditions:	db °C	wb °C	RH%
outside _(winter) :	-20	-20	100,0
outside _(summer) :	35	26,06	50,0
inside _(winter) :	10	5,25	48,0
inside _(summer) :	29	21,09	50,0
total air flow	8 500	(m ³ /hour)	

Body:



Summer:

Heat Transfer Coef.: **3,00** W/m².K
 Heat Convection Coef.: **17,5** W/m².K
 Absorption Coef.: **0,6**

	North End	East Wall	South End	West Wall	Roof	Floor	
Surface:	6,63	79,6875	6,63	79,6875	81,25	81,25	m ²
Equiv.Solar Temperature:	37,88	55,74	46,07	37,88	52,18	35,00	°C
Q _{b,i} (summer)	0,18	6,39	0,34	2,12	5,65	1,46	kW

Q_b (summer) **16,14** kW

Winter:

Heat Transfer Coef.: **3,00** W/m².K
 Δt_(winter): **30** W/m².K

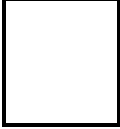
	North End	East Wall	South End	West Wall	Roof	Floor	
Surface:	6,63	79,6875	6,63	79,6875	81,25	81,25	m ²
Q_b (winter)	30,16						kW

Solar Radiation:

Windows - walls (one side only): m²
 Windshield back: m²
 Windshield front: m³
 Choose the latitude:

Solar Intensity:	<input type="text" value="W/m<sup>2</sup>"/>	<input type="text" value="W/m<sup>2</sup>"/>	<input type="text" value="W/m<sup>2</sup>"/>	<input type="text" value="W/m<sup>2</sup>"/>	<input type="text" value="W/m<sup>2</sup>"/>
	North	East	South	West	Horizont.
	<input type="text" value="84"/>	<input type="text" value="605"/>	<input type="text" value="323"/>	<input type="text" value="84"/>	<input type="text" value="501"/>

Shading Factor (windshield): 0 m²
 Shading Factor (walls):

N	<input type="text" value="0,00"/>	kW			
E	<input type="text" value="7,30"/>	kW			
S	<input type="text" value="0,90"/>	kW	28 m ²		28 m ²
W	<input type="text" value="1,01"/>	kW			
Q_{solar}	<input type="text" value="9,21"/>	kW			3 m ²

Passengers:

No. of passengers:

Heat load:	<input type="text" value="Sensible 95"/>	<input type="text" value="Latent 25"/>	<input type="text" value="Total 120"/>	W/per
Q_{pass}	<input type="text" value="22,61"/>	<input type="text" value="5,95"/>	<input type="text" value="28,56"/>	kW

Fresh Air:

Fresh Air per pers.:	<input type="text" value="12"/>	m ³ /h	<input type="text" value="12"/>	m ³ /h
Fresh Air Flow:	<input type="text" value="2856"/>	m ³ /h	<input type="text" value="2856"/>	m ³ /h

Q_{fresh air (summer)}	<input type="text" value="Sensible 5,31"/>	<input type="text" value="Latent 11,89"/>	<input type="text" value="Total 17,20"/>	kW
Q_{fresh air (winter)}	<input type="text" value="33,22"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input type="text" value="33,22"/>	kW

Door Infiltration:

Door Dimensions:	<input type="text" value="3"/>	No. on 1 side	<input type="text" value="2"/>	Height	<input type="text" value="0,8"/>	Width	m
Opening cycles:	<input type="text" value="30"/>			cycles/h	<input type="text" value="20"/>		seconds

Infiltrated Air Flow:	<input type="text" value="537"/>	m ³ /h	<input type="text" value="1 571"/>	m ³ /h
-----------------------	----------------------------------	-------------------	------------------------------------	-------------------

Q_{infiltration air (summer)}	<input type="text" value="Sensible 1,00"/>	<input type="text" value="Latent 2,24"/>	<input type="text" value="Total 3,24"/>	kW
Q_{infiltration air (winter)}	<input type="text" value="18,27"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input type="text" value="18,27"/>	kW

Summary:

	<i>summer</i>			
	Sensible	Latent	Total	
Q_{body}	16,14	-	16,14	kW
Q_{pass}	22,61	5,95	28,56	kW
$Q_{fresh\ air}$	5,31	11,89	17,20	kW
$Q_{infiltration\ air}$	1,00	2,24	3,24	kW
Q_{solar}	9,21	-	9,21	kW
$Q_{blower\ +\ HVAC\ heat\ gain}$	4,5	-	4,5	kW
$Q_{lighting+other\ heat\ sources}$	3	-	3	kW
Total heat gains	61,78	20,08	81,86	kW
Total net cooling capacity (On the refrigeration circuit side)			81,86	kW
Total cooling capacity of the unit(s) (On the air side)			77,36	kW

Sensible heat ratio 0,75

SUMMARY

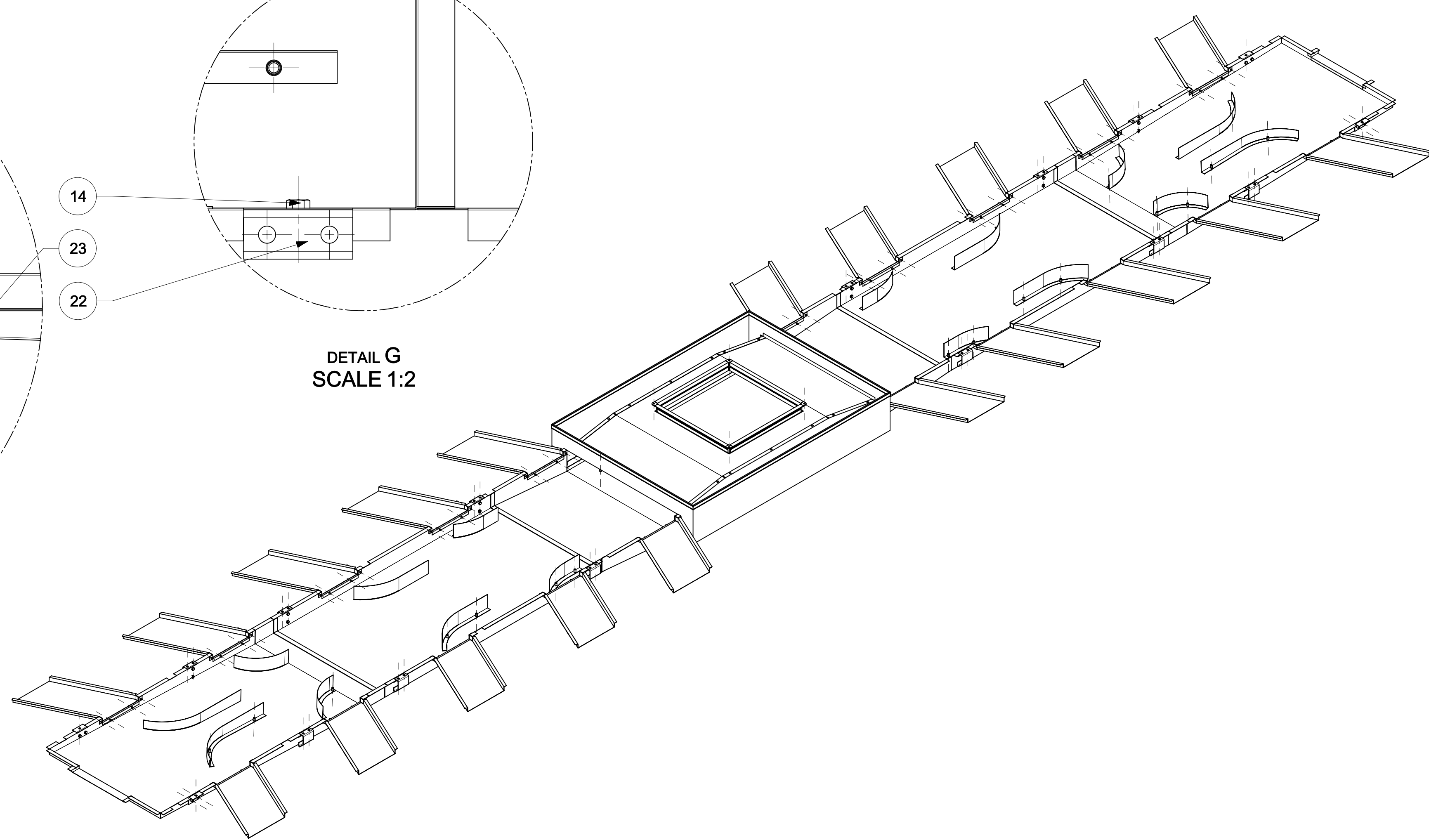
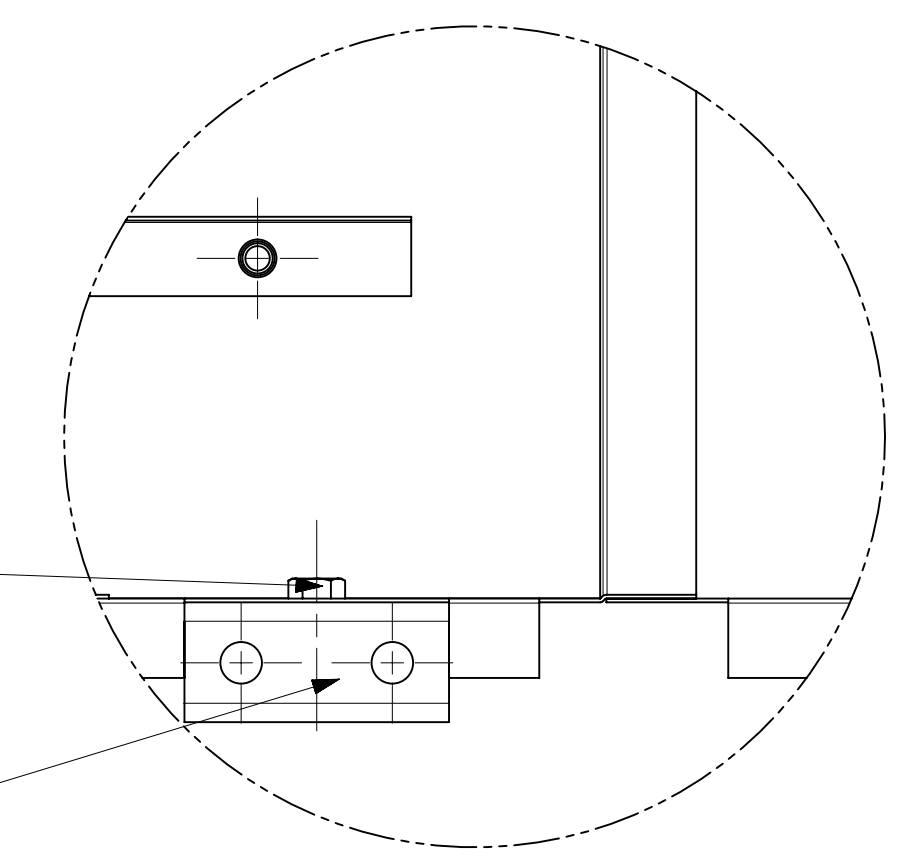
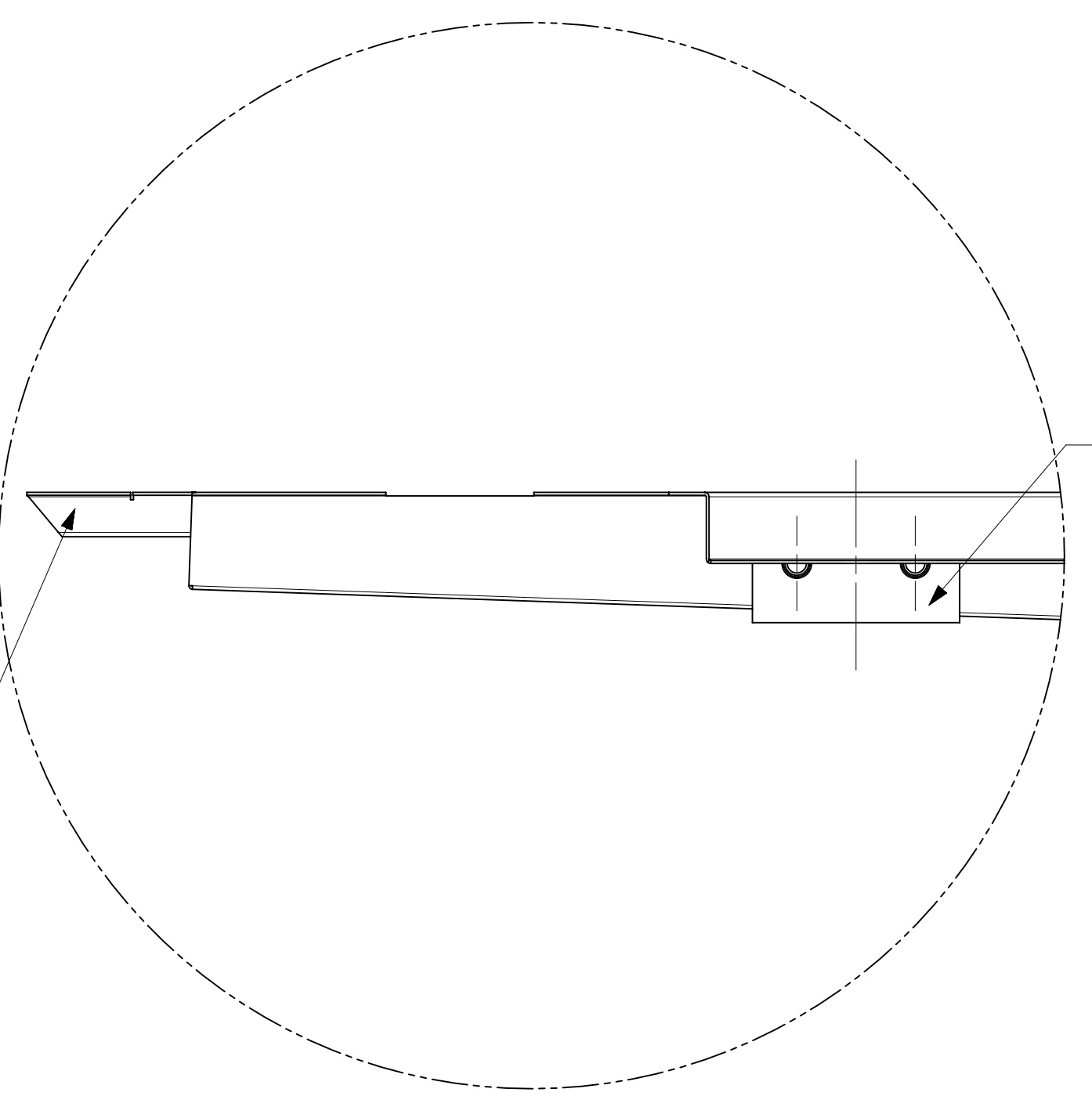
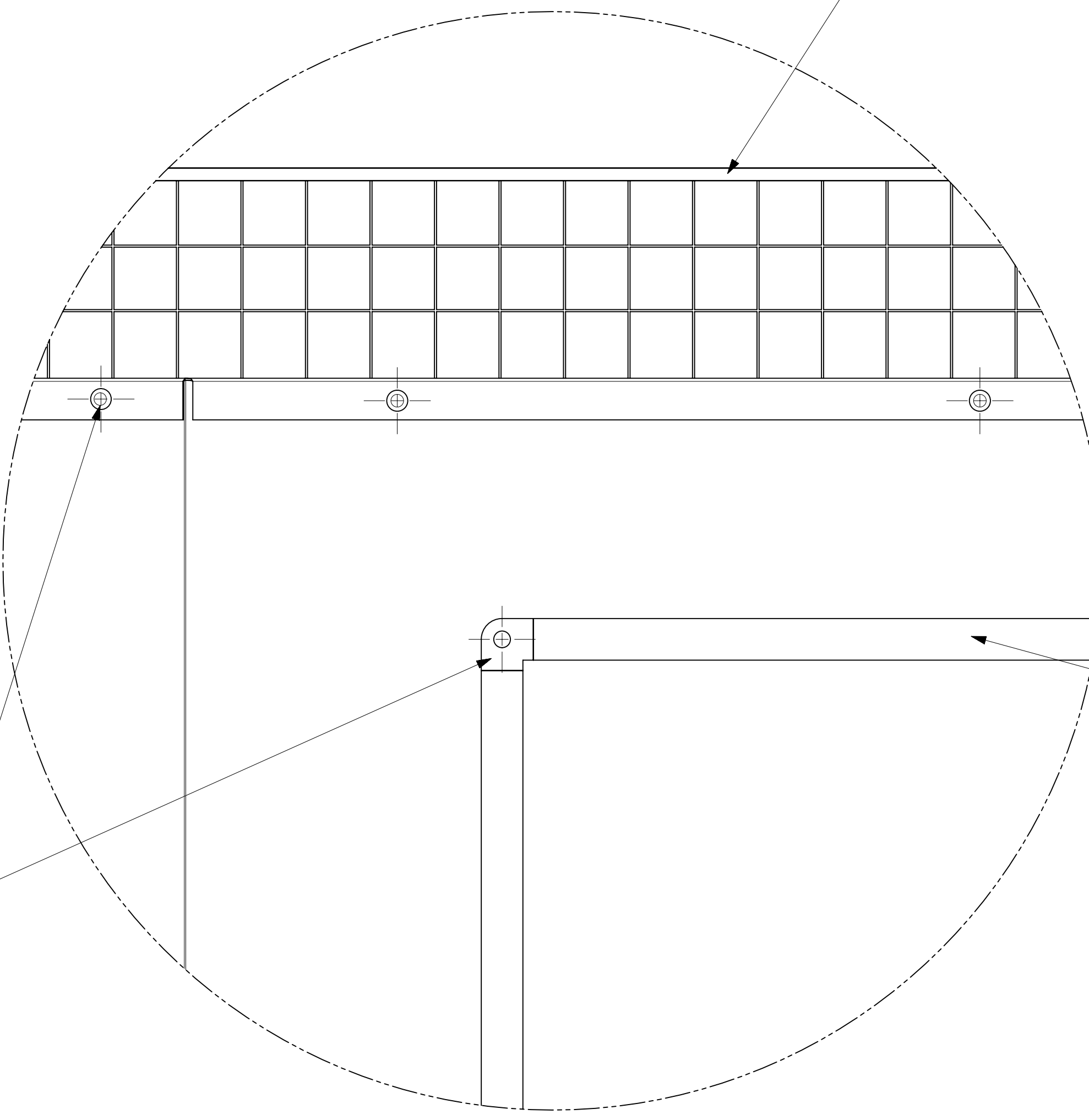
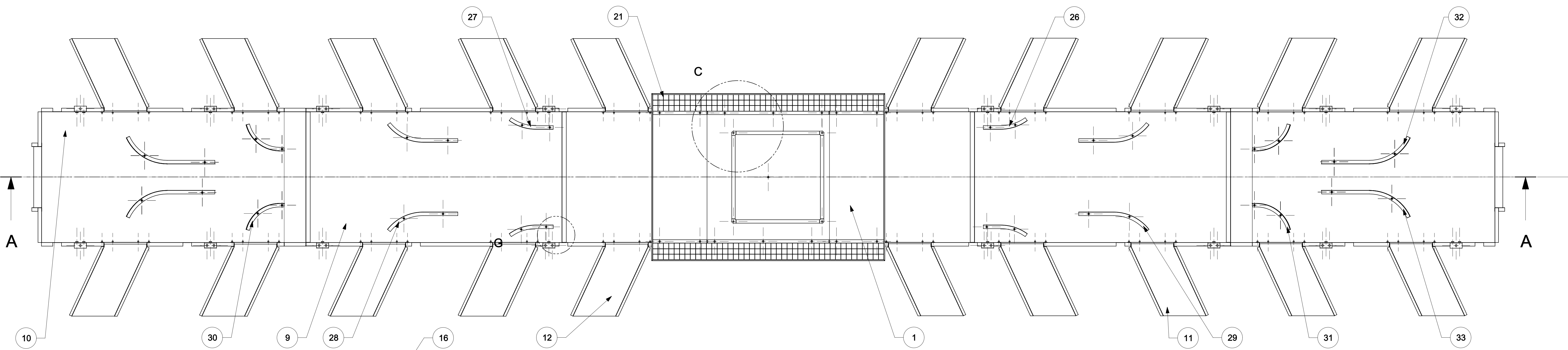
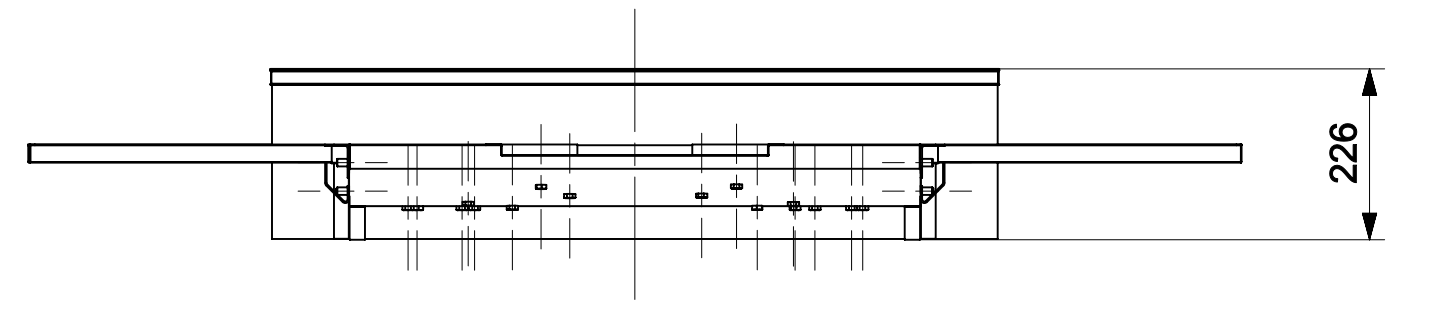
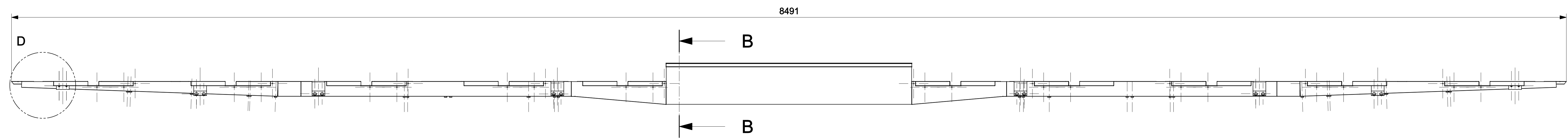
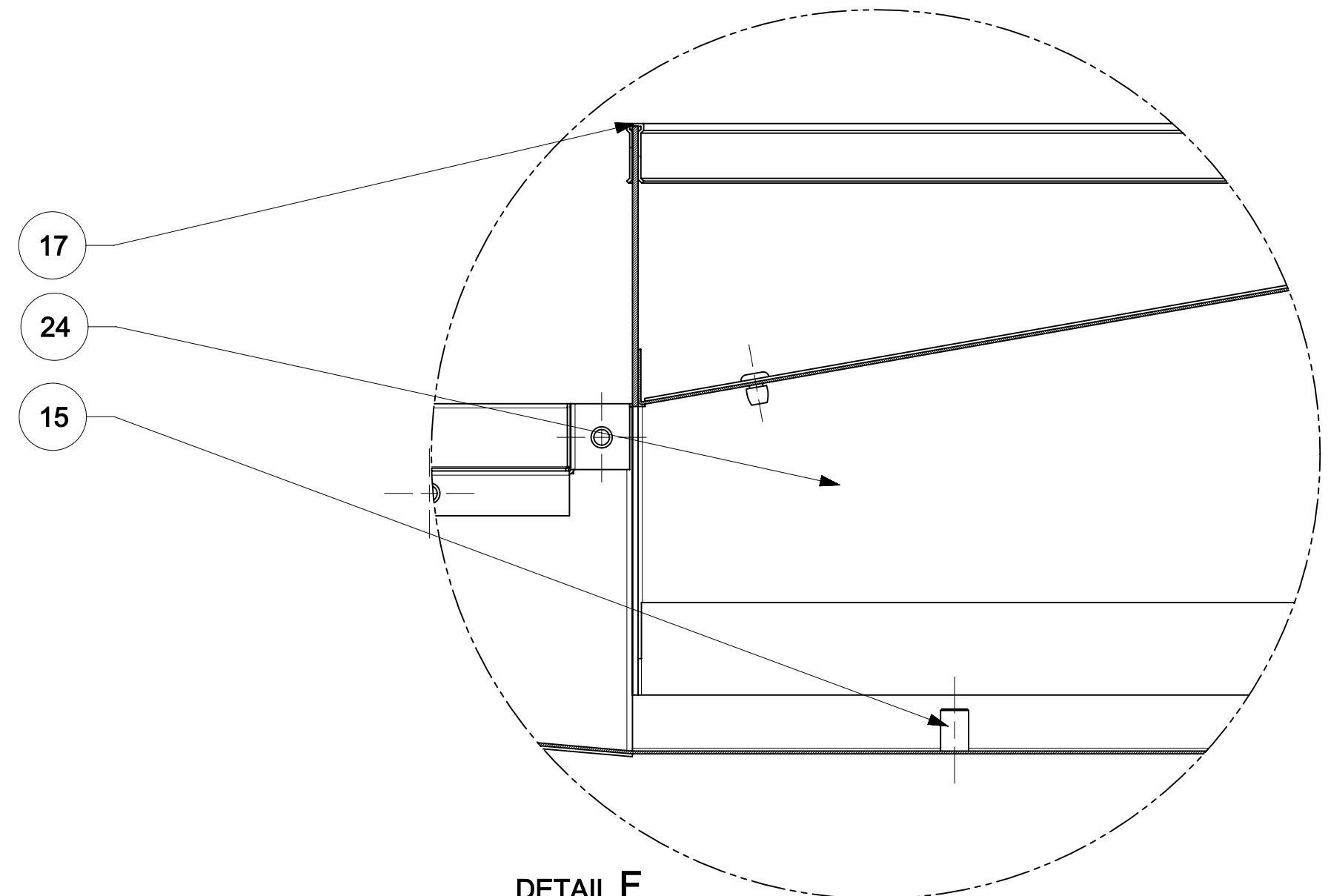
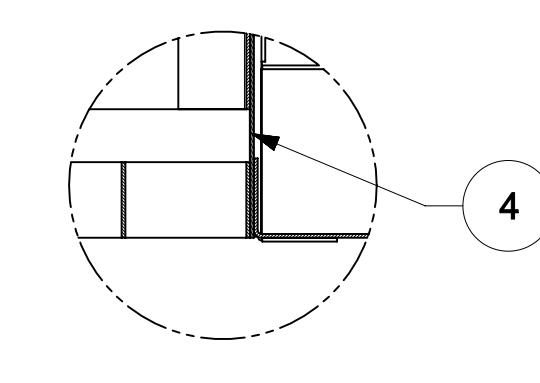
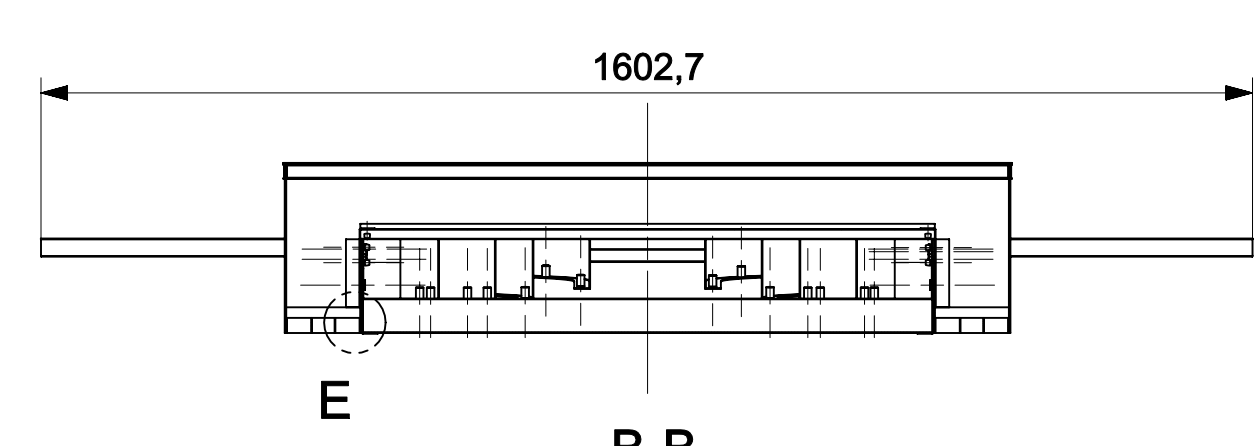
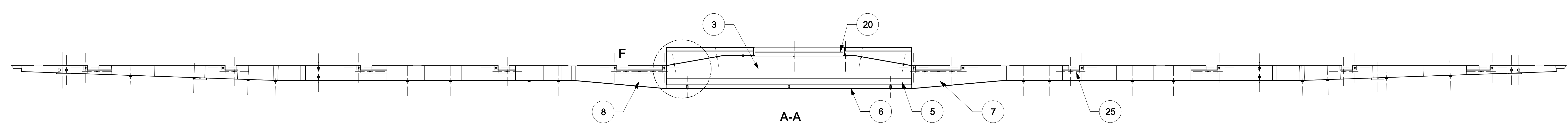
	<i>winter</i>			
	Sensible	Latent	Total	
Q_{body}	30,16	-	30,16	kW
Q_{pass}				kW
$Q_{fresh\ air}$	33,22	0	33,22	kW
$Q_{infiltration\ air}$	18,27	0	18,27	kW
Q_{solar}	0,00	-	0,00	kW
Q_{blower}			0	kW
Total heat losses			81,66	kW

Sensible heat ratio 1,00

Total Heating Required	81,66 kW
Overhead Heating Available (LRV HVAC unit(s))	24,00 kW
Floor Heat Required	57,66 kW

Sensible for psychrometric	51 965 W
Latent for psychrometric	8 188 W
Heat from blowers	4 500 W
Fresh air for psychrometric	48 m3/min
Total air flow per vehicle	142 m3/min





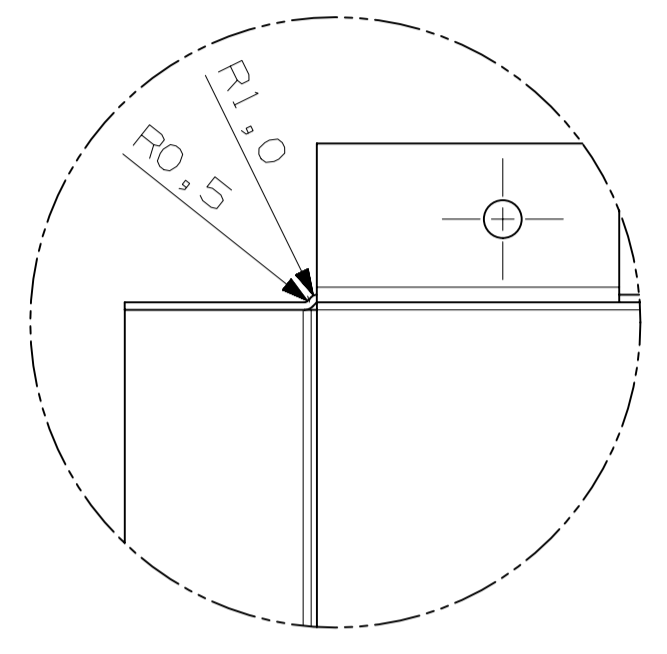
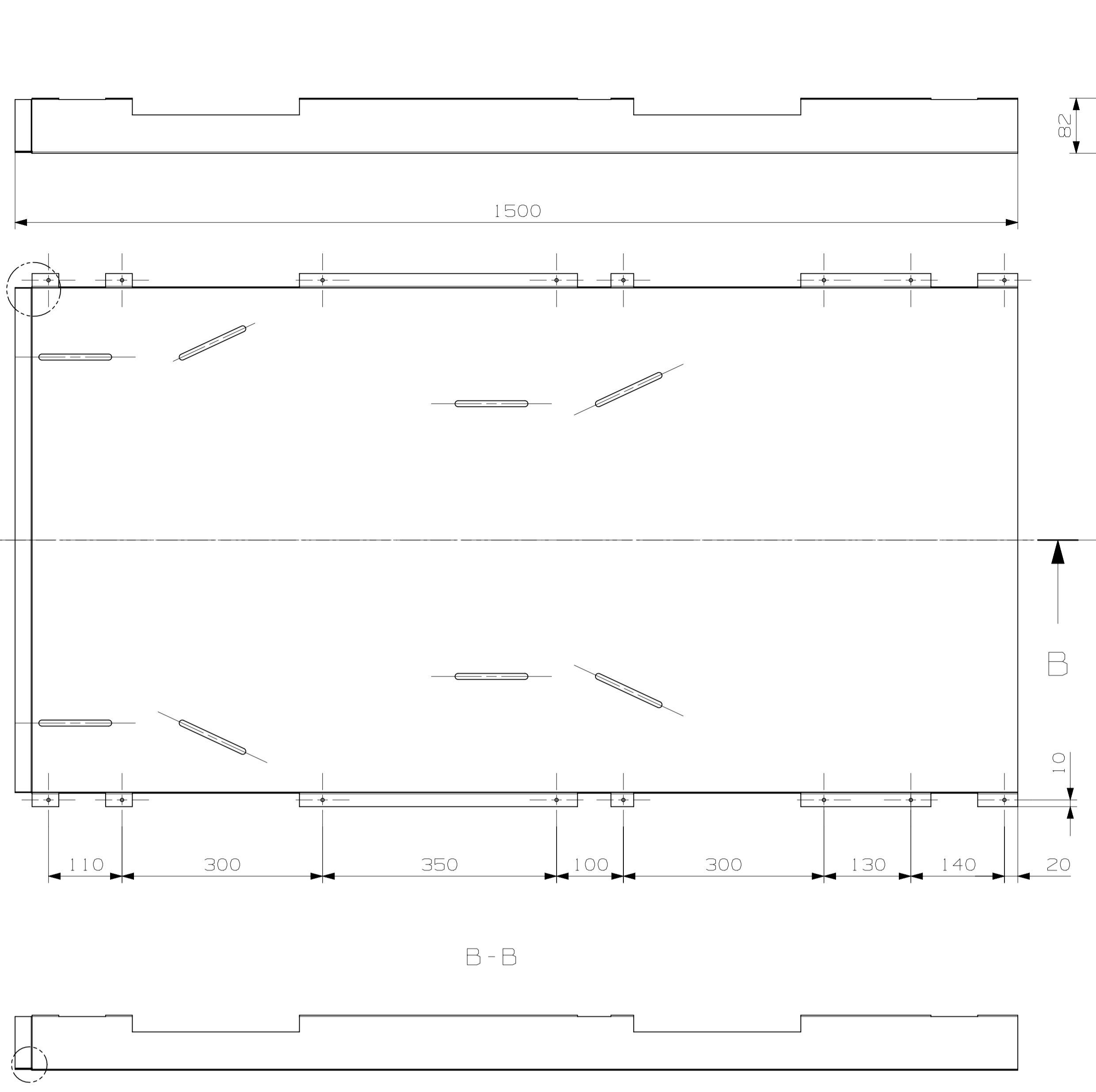
33	Rozváděcí plech 8	DP-02-033	0,340541	ČSN 11 373	2
32	Rozváděcí plech 7	DP-02-025	0,340540	ČSN 11 373	2
31	Rozváděcí plech 6	DP-02-031	0,214073	ČSN 11 373	2
30	Rozváděcí plech 5	DP-02-034	0,214076	ČSN 11 373	2
29	Rozváděcí plech 4	DP-02-029	0,338832	ČSN 11 373	2
28	Rozváděcí plech 3	DP-02-028	0,338832	ČSN 11 373	2
27	Rozváděcí plech 2	DP-02-027	0,204405	ČSN 11 373	2
26	Rozváděcí plech 1	DP-02-026	0,204405	ČSN 11 373	2
25	Boční nastavovací kanál	DP-02-032	0,092904	ČSN 11 373	20
24	Boční plech-recirkulace	DP-02-024	1,628413	ČSN 11 373	2
23	Konzole středního kanálu 2	DP-02-023	0,075032	ČSN 11 373	4
22	Konzole středního kanálu 1	DP-02-022	0,157710	ČSN 11 373	12
21	Mřížka	DP-02-021	1,483436	ČSN 11 373	2
20	Vstupní kanál	DP-02-020	0,649880	ČSN 11 373	1
19	Rámeček-spojovací díl	DP-02-019	0,018048	ČSN 11 373	8
18	Rámeček	DP-02-018	0,291777	EN AW-7000 A	8
17	Výztuha 2	DP-02-017	0,358119	EN AW-7000 A	2
16	Výztuha 1	DP-02-016	0,500171	EN AW-7000 A	2
15	Nýťovací matice M8 80CSH40		0,003121		69
14	Šroub M8x16 ISO 4017	ČSN EN 24017	0,012306		64
13	Čelní kanál	DP-02-015	0,193054	ČSN 11 373	2
12	Boční kanál- L	DP-02-014	1,063098	ČSN 11 373	10
11	Boční kanál- P	DP-02-013	1,061697	ČSN 11 373	10
10	Střední kanál_2	DP-02-012	12,385380	ČSN 11 373	2
9	Střední kanál_1	DP-02-030	12,320222	ČSN 11 373	2
8	Boční plech- P	DP-02-010	0,505117	ČSN 11 373	2
7	Boční plech- L	DP-02-009	0,505117	ČSN 11 373	2
6	Spodní plechový část recirkulace	DP-02-008	14,494867	ČSN 11 373	1
5	Podpěrný plech 2	DP-02-007	0,616581	ČSN 11 373	1
4	Podpěrný plech 1	DP-02-006	0,616581	ČSN 11 373	1
3	Skříň recirkulace	DP-02-005	13,165248	ČSN 11 373	1
2	Trhací nýt 4.8x14	ČSN 02 2391	0,003328		94
1	Horní plechový díl- recirkulace	DP-02-003	6,229084	ČSN 11 373	1

Poz.	Název- rozměr	Výkres- norma	Hmotnost	Materiál	Mn.
Poz. 129,0148 kg Název: Sestava rozvodu vzduchu Číslo výkresu: DP-02-001 Měřítko: 1:10 AO					

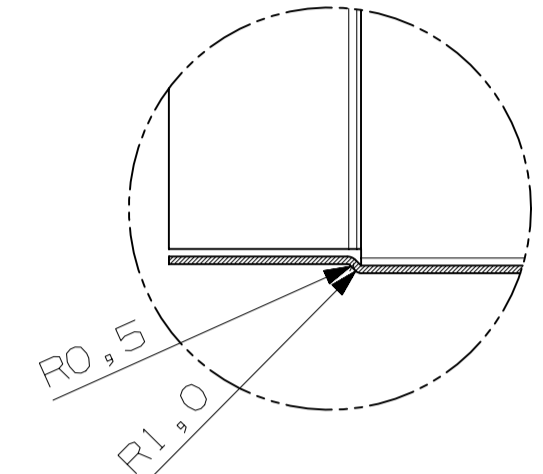
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

H
G
F
E
D
C
B
A

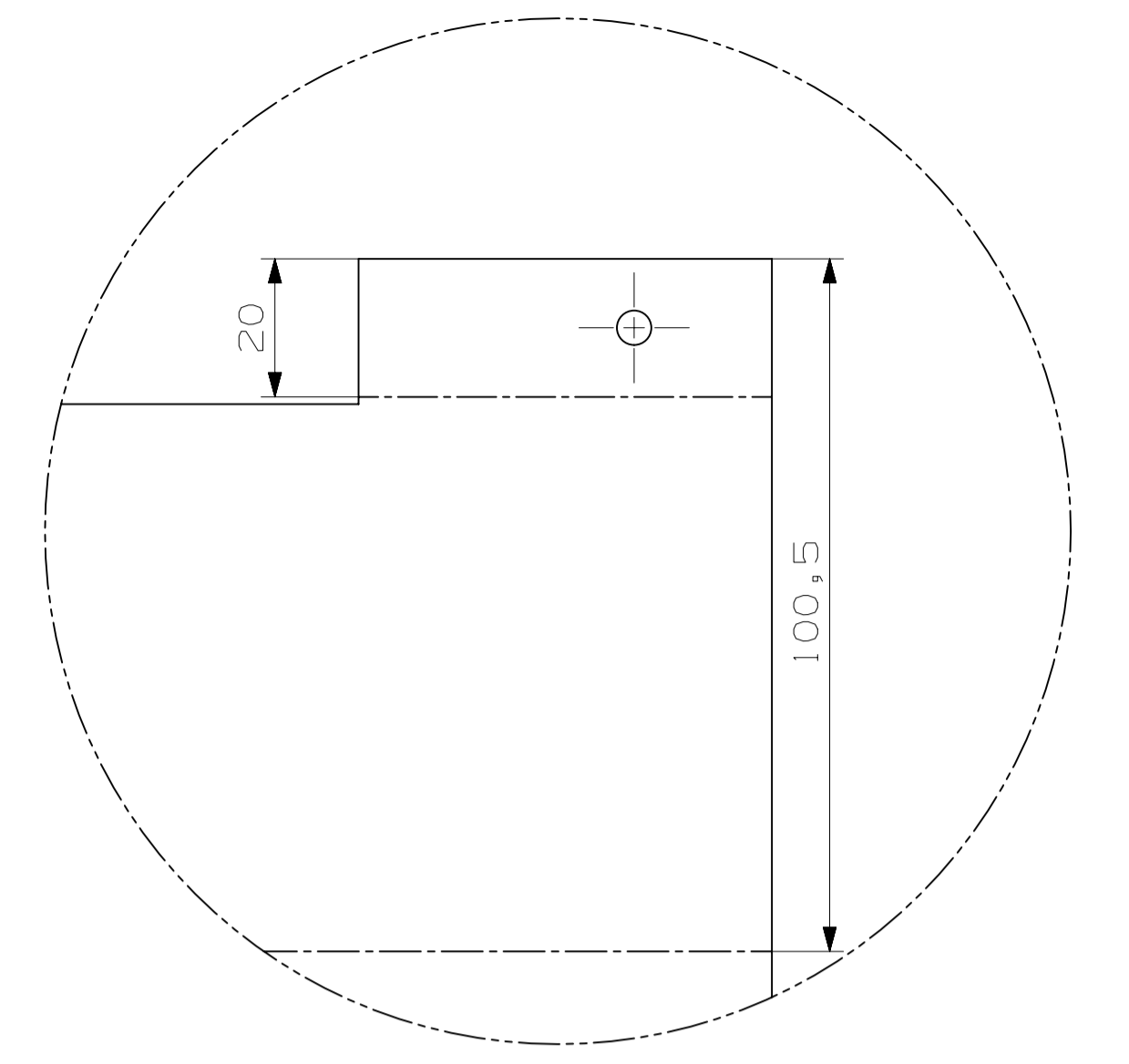
H
G
F
E
D
C
B
A



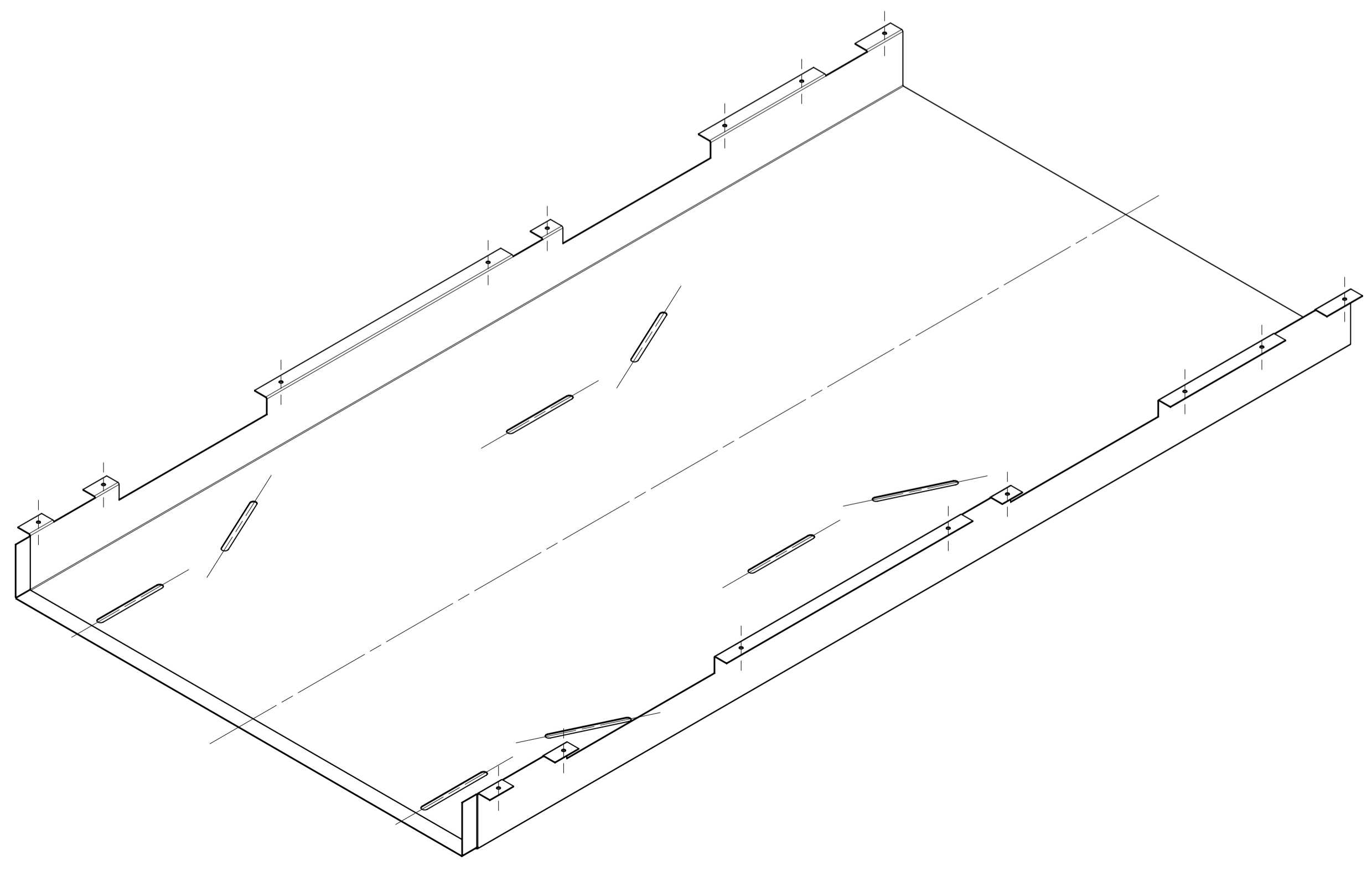
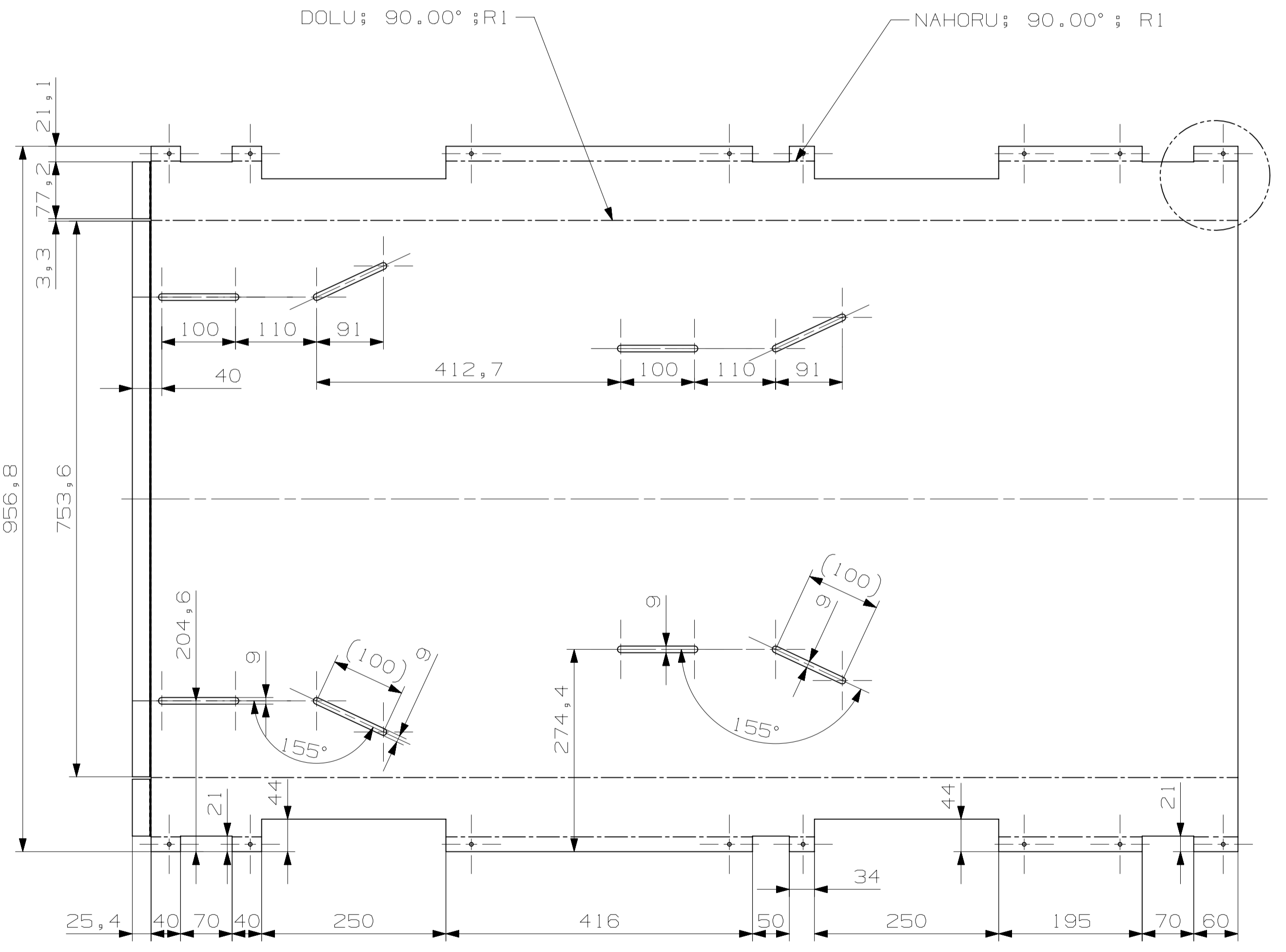
DETAIL A
SCALE 1:1



DETAIL D
SCALE 1:1



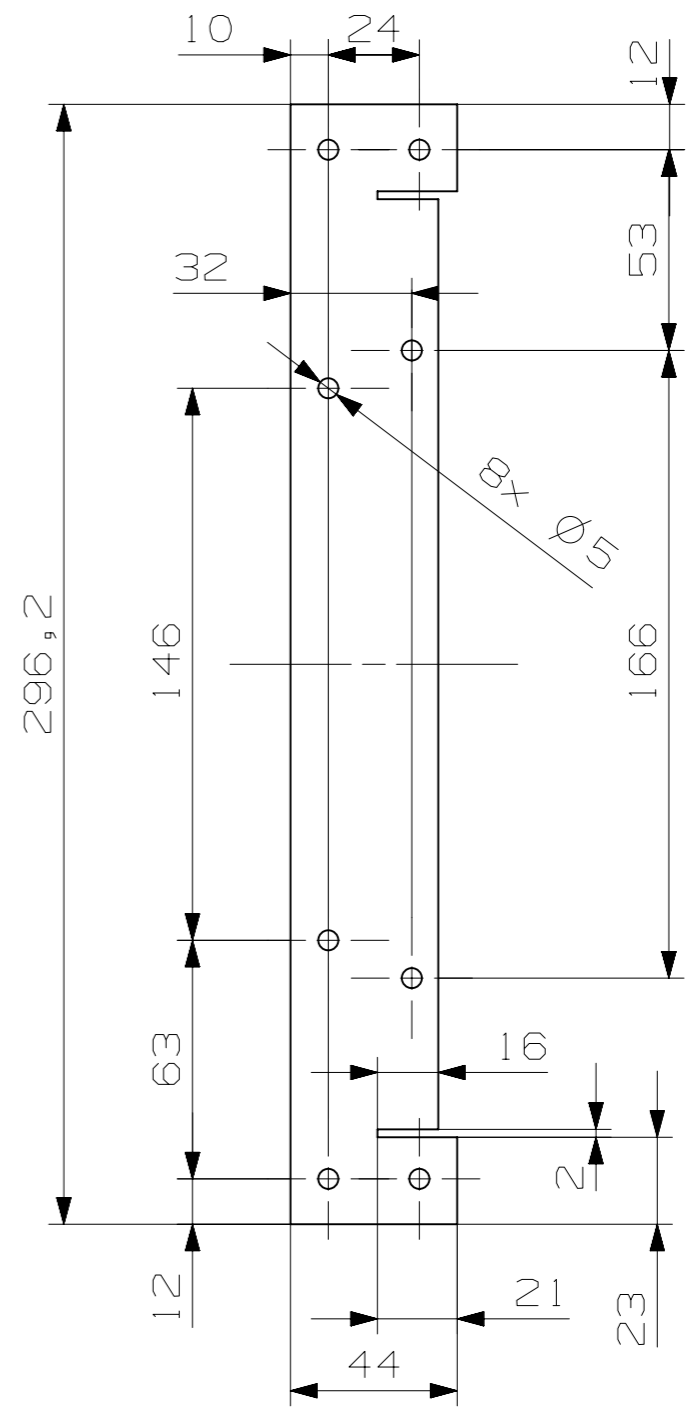
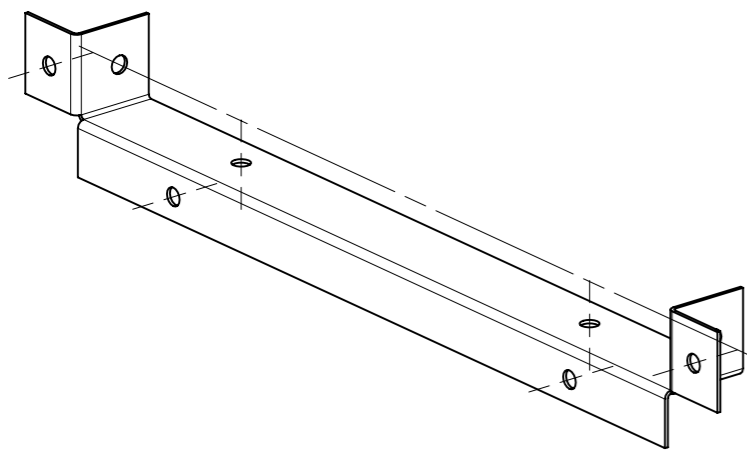
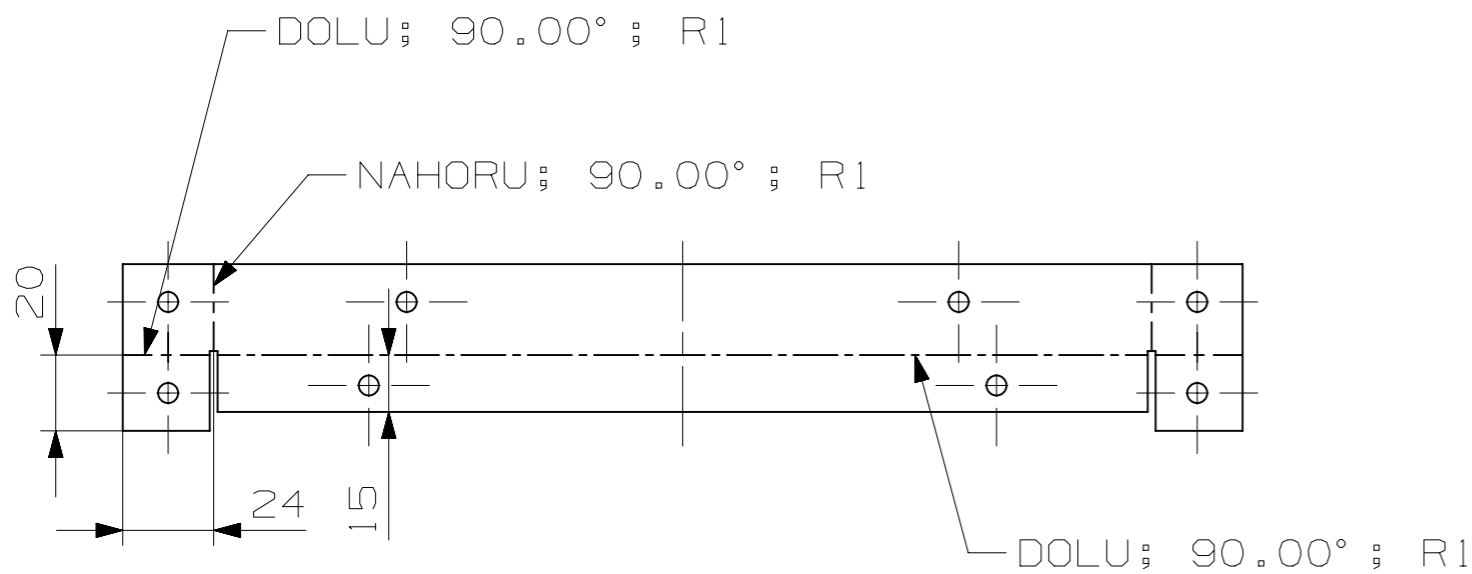
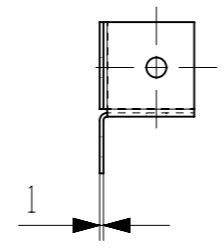
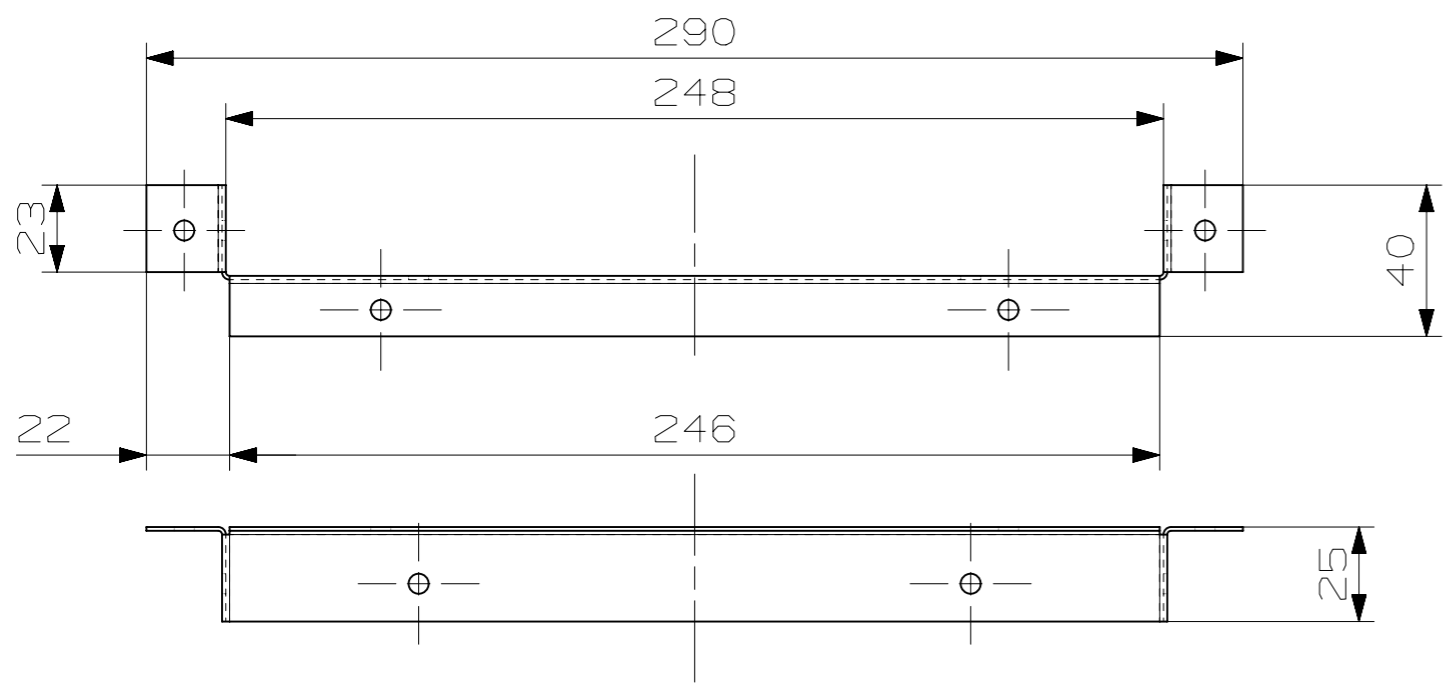
DETAIL C
SCALE 1:1




✓
Srazit hrany na 0.2x45°,
vytvorit prolis a pote ohnout.

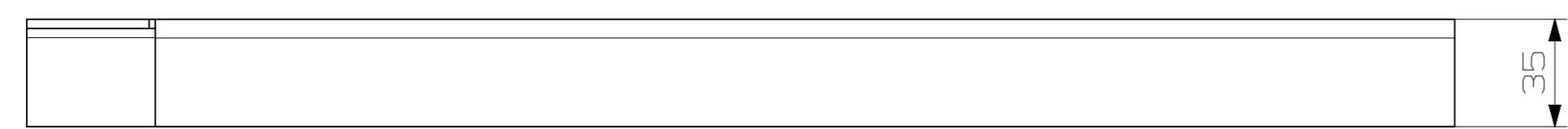
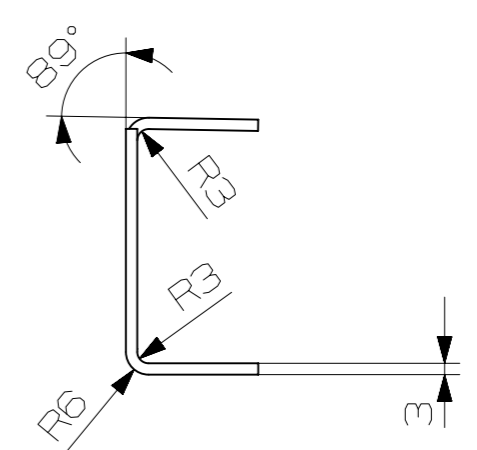
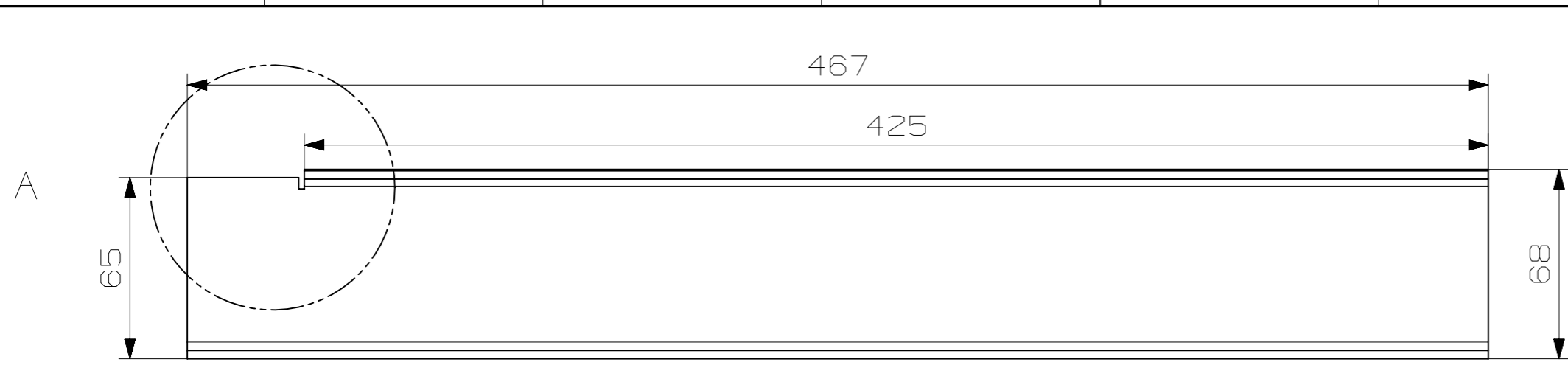
Projekční norma	ČSN EN ISO 15021-1	Nezpracované drsnosti	TB a rovinné podle ISO 2768	Číslo kresla	15021-1
Navrhl	Jiri Schon	Datum	29.4.2014	Polotovary	Plech 1x1000x2000
Kreslil	Jiri Schon	Datum	30.4.2014	Sestava	DP-02-001
Schválil	Kusovník				
Projekt	Skupina	Materiál	CSN 11 373	Hmotnost	12,2851 kg
ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI		Střední kanál_1		Měřítka 1:5	
Císlo výkresu DP-02-030		Císlo listu 1		A1	

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

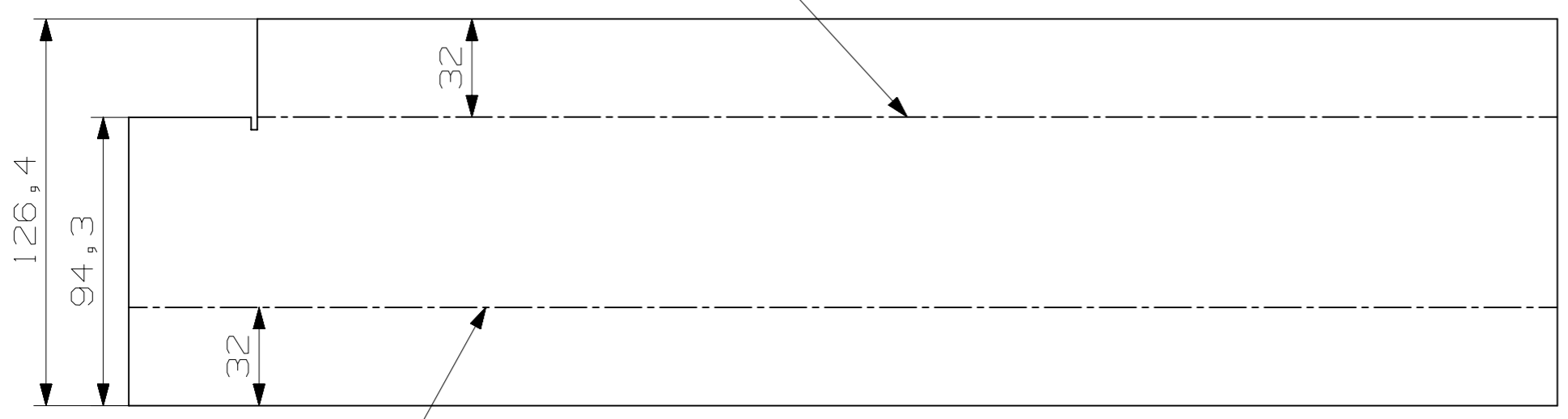


✓
Srazit hrany na 0.2x45° a pote ohnout.

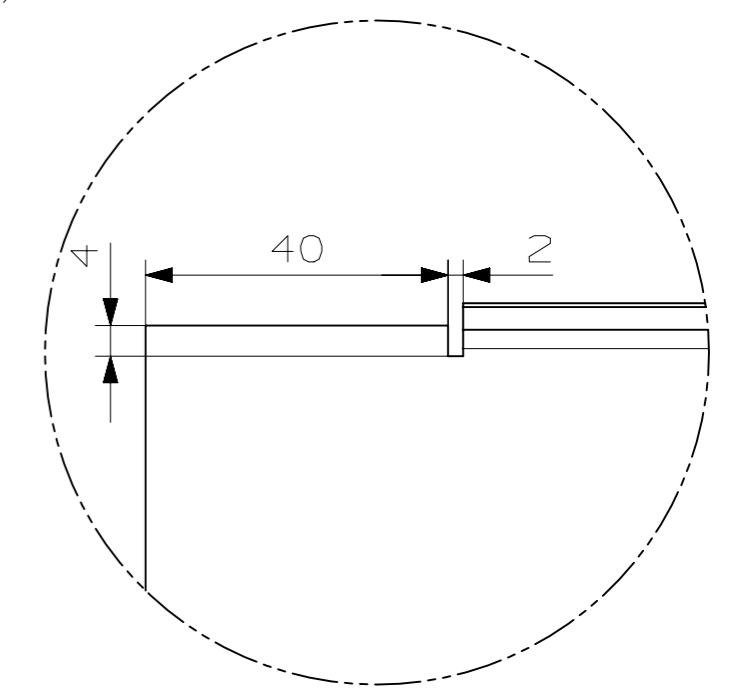
Promítání	ISO E	Neozna. drs. Ra	Toler. podle ISO 801	Presnost ISO 2768	mK
Navrhl	Jiri Schon	12.4.2014	Polotovary	Plech 1x1000x2000	
Kreslil	Jiri Schon	15.4.2014	Sestava	DP-02-001	
Schválil			Kusovník		
Projekt	Skupina	Material	Hmotnost		
		CSN 11 373	0,0839 kg		
 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI	Název			Meritko	
	Bocni nastavovací kanal			1 : 2	
Císlo vykresu			cis. listu		A3
DP-02-032			poc. listu		



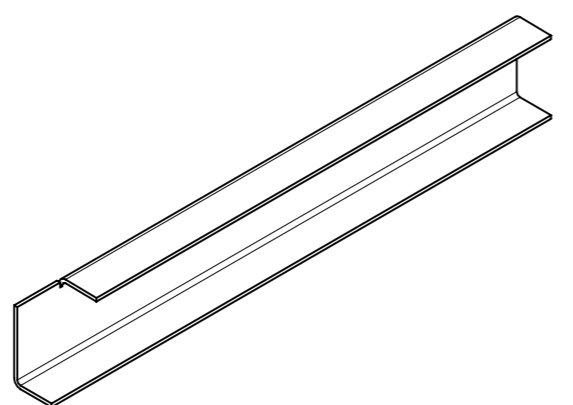
DOLU: 91° ; R3



DOLU: 90° ; R3



DETAIL A
SCALE 1:1



✓
Srazit hrany na 0.5x45° a pote ohnout.

Promítání	☒ ISO E	Neoznac. drs. Ra	Toler. podle ISO 8015	Přesnost ISO 2768	mk
Navrhl	Jiri Schon	12.4.2014	Polotovár	Plech 3x1000x2000	
Kreslil	Jiri Schon	20.4.2014	Sestava	DP-03-001	
Schválil			Kusovník		
Projekt		Skupina	Material	Hmotnost	
			CSN 11 373	1,3721 kg	



Název	Podělník 467- L		Meritko	1:2
Číslo výkresu	DP-03-033	čís. listů	1	A3
		poč. listů	1	