

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Koncept konstrukce samonosné podlahy pro nízkopodlažní vozidla

Autor: **Bc. David BOŘ**

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

Akademický rok 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David BOŘ**
Osobní číslo: **S16N0007P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Koncept konstrukce samonosné podlahy pro nízkopodlažní vozidla**
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 :

Proveďte návrh samonosné podlahy nízkopodlažního tramvajového vozidla s ohledem na provozní aspekty. Naznačte varianty řešení konstrukce, které splňuje funkční, výrobní, ekonomické a parametrické požadavky. Uvažujte široké spektrum použitých materiálů. Konstrukční návrhy zpracujte v prostředí CAD. Varianty pevnostně zkontrolujte pomocí analýzy FEM.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Teoretické informace o skříních tramvajového vozidla a provozní aspekty na konstrukci podlahy
3. Patentová a tržní rešerše
4. Vypracování konstrukční varianty a ověření pomocí pevnostní analýzy
5. Zhodnocení výsledků

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

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

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

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

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

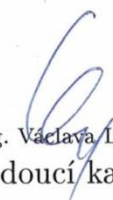
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Vokoun**
Škoda Transportation a.s.

Datum zadání diplomové práce: **19. září 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 19. září 2017

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Boř	Jméno David	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 - „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. HELLER, CSc.	Jméno Petr	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Koncept konstrukce samonosné podlahy pro nízkopodlažní vozidla		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	72	TEXTOVÁ ČÁST	62	GRAFICKÁ ČÁST	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce zaměřená na zpracování konstrukce samonosné podlahy v nízkopodlažním tramvajovém vozidle. Cílem práce je navrhnout optimální konstrukci z hlediska funkce a vyhovujícím provozním požadavkům. Při řešení byla uvažována řada patentů. Přínos práce tkví v nalezení inovační konstrukce s ohledem na minimální celkovou hmotnost a konstrukční výšku
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Konstrukce, podlaha, tramvaj, materiály, Prefagrid, CAD, MKP

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Boř		Name David	
FIELD OF STUDY	N2301 - „Transport 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	Concept of self-supporting floor construction for low-floor vehicles			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	72	TEXT PART	62	GRAPHICAL PART	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis is focused on processing of construction of self-supporting floor in low-floor tram. The aim of the thesis is to design an optimal construction in terms of the functional and operational requirements. A number of patents have been considered. The main benefit is to find innovative design with regard to minimal overall weight and constructional height.
KEY WORDS	Construction, floor, tram, materials, Prefagrid, CAD, FEM

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:.....

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Petrovi Hellerovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Velké poděkování patří mé rodině a přátelům za podporu a v neposlední řadě společnosti Škoda Transportation a. s. za možnost vypracování diplomové práce.

David Boř

Obsah

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI	1
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
1 ÚVOD.....	11
1.1 Představení společnosti Škoda Transportation a.s.....	12
2 TRAMVAJOVÁ VOZIDLA	13
2.1 Rozdělení a charakteristika tramvajových vozidel	13
2.1.1 Tramvajová vozidla dvounápravová (rámová)	13
2.1.2 Tramvajová vozidla čtyřnápravová.....	13
2.1.3 Tramvajová vozidla čtyřnápravová částečně nízkopodlažní	14
2.1.4 Tramvajová vozidla kloubová, vysokopodlažní, s podvozkem Jakobs	14
2.1.5 Tramvajová vozidla kloubová, s kloubem mimo podvozek	14
2.1.6 Tramvajová vozidla kloubová, vysokopodlažní, se dvěma klouby	14
2.1.7 Tramvajová vozidla článková, nízkopodlažní, se zvýšenou kapacitou	14
2.2 Provozní aspekty působící na podlahu	15
2.3 Obecné požadavky na podlahu	15
2.3.1 Další požadavky na systém podlaha	18
2.3.2 Okrajové podmínky	19
2.4 Skříně tramvajových vozidel	20
2.4.1 Hrubá stavba skříně.....	20
2.4.2 Materiály používané na skříně vozidel	23
3 PATENTOVÁ A TRŽNÍ REŠERŠE	27
3.1 Patentová rešerše	27
3.2 Tržní rešerše	30
4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	35
4.1 Konvenční řešení	36
4.2 Návrh skeletu podlahy	37
4.2.1 Dimenzování profilu U	38
4.3 Varianta 1	39
4.3.1 Popis.....	39
4.3.2 Prostup tepla za klidu.....	43
4.4 Varianta 2	45
4.4.1 Popis.....	45

4.4.2	Prostup tepla za klidu.....	48
4.5	Varianta 3	50
4.5.1	Popis.....	50
4.5.2	Prostup tepla za klidu.....	53
4.6	Uložení sendviče.....	54
4.7	Přípravek pro montáž podlahového systému.....	55
4.8	Rozhraní mezi podlahou a bočnicí	56
4.9	Servis a údržba.....	56
5	PEVNOSTNÍ VÝPOČTY POMOCÍ ANALÝZY FEM.....	57
5.1	Varianta 1	57
5.1.1	Podélná síla	58
5.1.2	Svislé spojitě zatížení.....	60
5.2	Varianta 2	63
5.2.1	Svislé spojitě zatížení.....	63
5.3	Varianta 3	65
5.3.1	Svislé spojitě zatížení.....	65
6	ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT	68
6.1	Srovnání VARIANTY 3 a KONVENČNÍ VARIANTY	68
7	ZÁVĚR.....	69
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	70

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Význam	Jednotky
CAD	Computer-aided design	[-]
MKP, FEM	Metoda konečných prvků	[-]
Catia V5	Konstrukční software	[-]
Siemens NX 11.0	Konstrukční a výpočetní software	[-]
Prefagrid	Rošty fy Prefa kompozity, a.s.	[-]
Puroxit	Obchodní značka, překližka	[-]
Altro	Obchodní značka podlahové krytiny	[-]
Bostik	Značka tmelu	[-]
PUR	Polyuretan	[-]
HMH	Energetická hypotéza	[-]
CTETRA	Typ elementu sítě	[-]
CHEXA	Typ elementu sítě	[-]
CQUAD	Typ elementu sítě	[-]
μ	Poissonova konstanta	[-]
G	Modul pružnosti ve smyku	[GPa]
g	Gravitační zrychlení	m/s ²
m	Hmotnost	[kg]
W	Jízdní odpor	[N]
c_1	Součinitel odporu valení	[-]
A	Plocha	[m ²]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W/mK]
Q	Množství tepla	[J]
t	Čas	[s]
k_p	Koeficient prostupu tepla	[W/m ² K]
α_i	Vnější povrch vozové skříně	[W/m ² K]
α_e	Vnitřní povrch podlahy	[W/m ² K]
F	Síla	[N]
M	Moment	[Nm]
M_{omax}	Maximální ohybový moment	[Nm]
E	Youngův modul pružnosti	[MPa]
J	Kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
φ	Úhel natočení	[°]
σ_d	Dovolené napětí	[MPa]
σ_{max}	Maximální napětí	[MPa]
k	Bezpečnost	[-]
W_o	Modul průřezu v ohybu	[mm ³]
Re, σ_k	Mez kluzu	[MPa]

1 Úvod

Doprava je ve světě stále důležitějším odvětvím, a proto patří mezi nejrychleji se rozvíjející sektory národního hospodářství s velkým významem pro ekonomiky jednotlivých států. Ať se jedná o pozemní, leteckou či vodní dopravu, je vždy na místě zajistit určité druhy požadavků. Mezi nejdůležitější aspekty patří stupeň bezpečnosti a komfortu přepravovaných osob nebo zboží, rychlosti přepravy, přiměřené ekonomické náklady, minimalizace hluku a znečištění životního prostředí. S dopravou úzce souvisí určité inženýrské obory zabývající se konstrukcí dopravních prostředků.

Tato práce byla vytvořena pod vedením společnosti Škoda Transportation a.s. a zabývá se koncepcí konstrukce samonosné nízkopodlažní podlahy pro městskou pozemní kolejovou dopravu. Nízká podlaha má velké opodstatnění z hlediska komfortu nástupu a výstupu pasažérů, zpřístupnění dopravy osobám se sníženou pohyblivostí, avšak s sebou přináší konstrukční komplikace, například zástavbové problémy pro umístění a velikost podvozků nebo celá struktura konstrukce, kdy velká těžká zařízení, umístěné dříve vždy pod podlahou, se musela přemístit na střechu. Lidé se pomocí nízkopodlažní konstrukce dostávají blíže k „místu dění“, jsou ve větší spojitosti s okolním provozem. V případě výskytu dopravní nehody je třeba mít na paměti právní a bezpečnostní kritéria. Cestující byl z vyšší pozice ve vysokopodlažní tramvaji lépe chráněn proti kolizi s jiným dopravním prostředkem, který třeba svou fyzickou částí skončil pod nimi.

Každé technické řešení skrývá mnoho problémů, na které skupina vyvíjející toto řešení narazí, a nebo v horším případě až sám každodenní provoz.

1.1 Představení společnosti Škoda Transportation a.s.

Společnost Škoda Transportation je přední evropský výrobce vozidel pro městskou a železniční dopravu. Jedná se o rychle rostoucí dynamickou společnost, jejíž výroba přesahuje více než 150 let.

Škoda Transportation v současnosti zaměstnává přes pět tisíc lidí v Plzni, Praze, Ostravě, nebo Šumperku. Jednotlivé projekty řeší vedle mateřské společnosti Škoda Transportation několik dceřiných společností nebo společných podniků působících vedle České republiky i v Německu, Finsku, USA, Rusku nebo Maďarsku.

Z prostor plzeňského areálu putují k tuzemským i zahraničním zákazníkům moderní elektrické lokomotivy, nízkopodlažní tramvaje, trolejbusy, soupravy metra a další důležité komponenty kolejových vozidel

[5]



Obr. 1.1-1.: Pohled na budovu Škoda Transportation a.s. v Plzni

2 Tramvajová vozidla

Kolejová vozidla v městské hromadné dopravě najdou uplatnění zejména ve městech přesahující 100 000 obyvatel. Tyto města v dnešní době řeší závažný problém ohledně výskytu nadměrného množství silničních vozidel – nejčastěji osobních aut. Vzniká tak mnoho kolon automobilů v centrech měst, zvláště v dopravní špičce, kdy lidé jezdí nebo se vrací ze zaměstnání, škol. K tomu dále automobilová doprava přispívá ke znečištění vzduchu a také nežádoucímu hluku.

Lidé cestující ve 100 automobilech (cca 150 pasažérů) mohou jet ve 3 autobusech nebo pouze v 1 tramvaji.

[3]

2.1 Rozdělení a charakteristika tramvajových vozidel

Kolejová vozidla městské hromadné dopravy, včetně vozidel tramvajových, absolvovala od svého vzniku dlouholetý vývoj.

Hlavní parametry tramvajového vozidla
Délka, výška, šířka
Rozvor vozidla, rozvor podvozku, průměr kola
Nejvyšší provozní rychlost
Rozjezdové a brzdové zrychlení
Hmotnost vozidla, hmotnost podvozku, hmotnost na nápravu
Uspořádání pojezdu
Výkon motoru, počet motorů
Počet sedících/stojících cestujících
Šířka a počet dveří
Podíl nízké podlahy v %

Tab. 2.1-1: Základní technické parametry tramvaje

[1]

2.1.1 Tramvajová vozidla dvounápravová (rámová)

Pro přepravu osob se na začátku vývoje využívala tato kategorie tramvajových vozidel. Jelikož se jednalo o větší vozidlo, jeho velkým problémem byl obtížný průjezd obloukem. Dnes jsou tato vozidla pouze jako historické exponáty.

[6]

2.1.2 Tramvajová vozidla čtyřnápravová

Tyto vozidla disponovala především větší přepravní kapacitou, lepším zrychlením či lepší průjezdností malými směrovými oblouky. V této době už kladl větší důraz na pohodlí cestujících, ergonomii řidičů – využití moderních řídicích prvků. Mezi nevýhody patřila stále vysoká podlaha, která je velkou překážkou pro invalidní cestující nebo pro přepravu kočárků. Příkladem této kategorie jsou tramvaje řady T1 – T3 vyráběné v období od 1971 do 1999. Délka vozu činila 14 000 mm.

[6]

2.1.3 Tramvajová vozidla čtyřnápravová částečně nízkopodlažní

Nedostatky předchozích generací tramvají měly za následek vývoj směřovat k návrhům vozidel s alespoň částečnou nízkopodlažní koncepcí. Vznikla tramvaj s označením Vario LF (PRAGOIMEX), jejíž délka byla prodloužena o 1 100 mm a střední prostor byl nízkopodlažní s výškou 350 mm od temene kolejnice. Výškový rozdíl středního prostoru od krajních prostorů byl kompenzován pomocí třech schodů. Jednalo se tak o stavbu vozidla částečně nízkopodlažní.

[6]

2.1.4 Tramvajová vozidla kloubová, vysokopodlažní, s podvozkem Jakobs

Při požadavku na zvýšenou přepravní kapacitu lze dvě vozidla spojit pomocí spřáhel, kloubovým nebo článkovým vozidlem. Z důvodu nutnosti průjezdu malými oblouky o poloměru 18 m vznikají u delších souprav značné komplikace, se kterými je třeba počítat. Jedním z řešení je právě kloubové vozidlo. Představitelem této kategorie byla tramvaj s označením K2, která vznikla spojením dvou skříňí tramvaje T3 (přední skříň s odstraněným zadním čelem, zadní skříň bez kabiny) na společném podvozku. Podvozek nesoucí dvě skříňe se nazývá Jakobsův.

[6]

2.1.5 Tramvajová vozidla kloubová, s kloubem mimo podvozek

Vozidlo je dvoučlánkové (spojení dvounápravových vozidel pomocí kloubu) s dvěma neotočnými podvozky, jeden pod každým článkem. Důležitou změnou oproti předchozí kategorii je umístění kloubu mimo podvozek. Příkladem tohoto typu je tzv. brémská tramvaj.

[6]

2.1.6 Tramvajová vozidla kloubová, vysokopodlažní, se dvěma klouby

Jedná se o velkokapacitní tříčlánková tramvajová vozidla. Články jsou mezi sebou spojeny dvěma klouby. Typickým představitelem je tramvaj typu KT85D, která své uplatnění našla jak v městských provozech, tak i na provozech rychlodráhy. Tato tramvaj je obousměrná, takže má na obou koncích kabinu řidiče a s výhodou se využívá v místech, kde není možnost se s vozidlem na konečné stanici otočit.

[6]

2.1.7 Tramvajová vozidla článková, nízkopodlažní, se zvýšenou kapacitou

Z důvodů nedostatečné rychlosti výměny cestujících, náročné přepravy osob se sníženou pohyblivostí a dalších aspektů vedoucích k moderním trendům byl kladen požadavek na konstrukce nízkopodlažních vozidel. Všechna řešení musí být v souladu s normami a předpisy určené pro tramvajová vozidla. Spojení více vozů v soupravě umožňuje zvýšit přepravní kapacitu tramvajové dopravy. Významným zástupcem této skupiny je Škoda 15T (Forcity) provozována v Praze.

[6]

2.2 Provozní aspekty působící na podlahu

Zatížení – zatížení působící od přepravovaných osob. Z toho vyplývá požadavek na tuhost celé konstrukce a rozměrovou stálost podlahy.

Koroze – degradace celého materiálu působením vody. Brát na vědomí provoz vozidla hromadné dopravy v zimních měsících, kdy dochází k solení pozemních komunikací. Posypová sůl je velmi agresivní vůči mnoha materiálům, povrchovým vrstvám a laku.



Obr. 2.2-1: Koroze podvozku

Hluk a vibrace – od působení vnitřních sil (počet osob, popř. přepravované zboží) a vnějších sil (síly od podvozku, setrvačné a odstředivé síly působící na skříň vozidla, longitudinální vlna odrazem od země do skříň vozidla). Je třeba zajistit vhodnou konstrukci k zachycení těchto sil a kmitání samotné konstrukce. Dále je žádoucí uvažovat použití vhodných akustických materiálů.



Obr. 2.2-2: Vlnivý pohyb dvojkolí

2.3 Obecné požadavky na podlahu

Tepelná izolace – v nízkopodlažních vozidlech provozovaných zejména v městech severských států je velký problém ochlazování podlahy od studené sněhové pokrývky ležící na povrchu vozovky – zajistit izolační materiál v podlaze, například mezi nosnými profily. V tramvajích se zachování tepelné pohody příliš neřeší, jelikož dochází k častému otevírání dveří, z důvodu krátkých vzdáleností mezi zastávkami, a tím k neustálé výměně teploty vzduchu uvnitř vozidla a venkovního vzduchu.

Bezpečnost – v dnešní době se jedná o jedno z nejdůležitějších kritérií pro provozuschopnou

konstrukci, která musí projít validací dle přísných norem. Při návrhu podlahy se rozumí použití protiskluzového materiálu, barevné označení diskretních zón – zvýšená důležitost u nízkopodlažních vozidel při potenciální dopravní nehodě, nebo například použití nehořlavého materiálu.

Hmotnost – docílit co nejnižší hmotnost, například vhodným úbytkem materiálu (odlehčení pomocí otvorů, zeslabení stěn profilů a plechů), ale mít na vědomí, aby nedocházelo ke vzniku míst náchylných na zachytávání nežádoucího materiálu (odpadky na vozovce, smetí, bahno, sníh) a vody – opět vznik koroze či zápachu.

Hmotnost je třeba redukovat také z důvodu častého urychlování tramvaje a tím omezit spotřebu elektrické energie

Pevnostní požadavky na tramvajová vozidla podléhají normě ČSN EN 12 663-1. Vozidla jsou řazena do kategorie P-V.

Podélné statické zatížení skříně vozidla (síly v kN)	
Tlaková síla v úrovni nárazníků	200
Svislé statické zatížení skříně vozidla (zatížení v N)	
Maximální provozní zatížení	1,2g(m ₁ +m ₂)
Zvedání jednoho konce vozidla	1,1g(m ₁ +m ₃)
Zvedání celého vozidla	1,1g(m ₁ +2m ₃)

Tab. 2.3-1: Požadavky na konstrukci skříně dle ČSN EN 12 663

Hmotnost blízce souvisí s jízdním odporem a dále se spotřebou dodané energie.

$$W = c_1 * m * g \pm s * g * m \pm a * m + C_1 * A * \frac{\rho}{2} * v^2 [N] \quad (1)$$

- W jízdní odpor vozidla,
- g tíhové zrychlení,
- m celková hmotnost vozidla; $m = (m_1+m_2)$,
- m₁ vlastní hmotnost vozidla,
- m₂ užitečná hmotnost vozidla, cestujících nebo nákladu,
- m₃ hmotnost podvozku (resp. pojezdu),
- c₁ součinitel odporu valení,
- C₁ součinitel odporu vzduchu,
- A čelní plocha,
- ρ hustota vzduchu,

[2]

Funkčnost – jednoznačně nejdůležitější faktor. Navržený výrobek musí splňovat požadovanou funkci.

Parametry (parametr. požadavky) – základními parametry jsou zrychlení (resp. zpoždění) vozidla nebo výkon použitých pohonů. Dále je třeba uvažovat zástavbové prostory, tloušťky stěn profilů, aby se vytvořil prostor pro maximální komfort uživatelů. Mít na vědomí vnější prostředí, kde bude výrobek provozován. Řídit se normami upřesňující minimální délkové požadavky.

Ekonomičnost – jeden z nejdůležitějších faktorů. Cílem vyvíjející společnosti je navrhnout produkt ekonomicky výhodněji než konkurenční společnost.

Vyrobitelnost – úzce souvisí s ekonomičností celé konstrukce. Dnes je možné vyrobit téměř cokoliv, ale za jakou cenu. Už v návrhu koncepce je třeba uvažovat finančně dostupnou technologii výroby tím, že když pevnostní analýza dovolí, zvolit méně složitějšího profilování, žeber, použitých šroubů.

Montáž – navržený dopravní prostředek se skládá z různých modulů a komponentů. Je důležité zvolit takovou konstrukci, která umožní snadné, rychlé a spolehlivé spojení komponentů v celek. Optimální konstrukce z hlediska montáže usnadní práci dělníkům ve výrobě či například pracovníkům zabývajícím se pravidelným servisem dopravního prostředku nebo opravě po nehodě.

Servis – zajistit dostupnost náhradních dílů a především snadné, levné a rychlé výměny. V dnešním dopravním světě jsou nehody na denním pořádku a složitá výměna nebo oprava dílu z určitého materiálu může daný prostředek značně prodražit a zkomplikovat.

Ekologie – v rámci „product life cycle“ je na místě po skončení životnosti vhodně daný dopravní prostředek zpracovat a recyklovat šetrně vůči životnímu prostředí. S tím je opět potřeba počítat na samém začátku návrhu produktu použitím ekologických materiálů.



Obr. 2.3-1: Životní cyklus produktu

2.3.1 Další požadavky na systém podlaha

V Tab. 2.3.1.1 jsou zobrazeny další důležité požadavky, se kterými je třeba při konstrukčním návrhu podlahy pracovat. Jedná se o nezbytné dílčí požadavky, které v konečném měřítku mohou zásadně navrhovaný systém ovlivnit. Jsou podmnožinou požadavků výše uvedených.

Další požadavky na systém podlaha	Popis
Plynulý přechod mezi jednotlivými články	nesmí dojít při přepravě k poranění přepravovaných osob (zakopnutí)
Zajištění tepelné pohody	systemem podlahového vytápění, použití tepelně izolačních materiálů v podlaze (materiály s nízkou teplotní vodivostí)
Použití hlukové izolace	pomocí akustických materiálů nebo nástříků (nátěrů)
Použití antivibračních materiálů	
Zajistit barevné označení prostor salónu	rozlišení oblasti nástupní/výstupní, dále oblasti pro invalidy, kočárky, kola...
Zajistit barevnou stálost podlahové krytiny	v rámci životnosti systému dbát na estetický dojem v průběhu používání systému
Zaručit světelnou neodrazivost podlahové krytiny	
Zaopatřit snadno omyvatelný povrch podlahové krytiny	usnadnit práci lidem zabývajícím se údržbou
Nenasákavost podlahové krytiny	
Zabezpečit rozměrovou stálost	při změně teploty nesmí dojít k vlnění ani k jiným nestálostem podlahy
Zamezit usazování vody nanesené cestujícími	drenáž od středu ke dveřím
Zamezit usazování vody ostřikem od kol	nesmí docházet k usazování vody a jiných nečistot, aby se zamezilo nežádoucím vlivům
Zamezit usazování nečistot ve spodku podlahy	
Odolnost vrchní a spodní vrstvy podlahy proti působení chemických vlivů	např. proti soli nebo jiným spotřebním látkám, které se do vozu mohou dostat z důvodu nedbalé kázně cestujících
Zaručit hygienickou nezávadnost	materiály nesmí uvolňovat do prostoru škodlivé látky
Zabezpečit odolnost proti biologickým vlivům	plísň hub, hlodavci, hmyz, mikroorganismy
Opatření proti prošlápnutí podlahové krytiny	z důvodu bezpečnosti cestujících a definované životnosti systému
Zaopatřit nutný protiskluzový povrch i v případě mokra	z důvodu bezpečnosti cestujících
Garantovat elektrické izolační vlastnosti	materiály podlahy se musí vyznačovat elektrickými izolačními vlastnostmi nebo je nutno zajistit jejich správné ukostření
Vyhnout se šroubovým spojům	v případě použití nutná povrchová úprava spojovacích elementů
Zaručit adhezní a kohezní vlastnosti lepidla	použité lepidlo musí tyto vlastnosti zachovat po celou dobu životnosti podlahy

Zajistit plynulé lemy a přechody podlahové krytiny v návaznosti na další systémy skříně	použití např. tmelu k zabránění vniknutí nečistot a jiných látek do podlahy
Odolnost podlahové krytiny proti UV záření	
Minimalizace počtu dílů	uspořeni času při návrhu a výrobě
Snaha o normalizované a dědičné díly	
Nehořlavost	požadavek nehořlavosti použitých materiálů dle normy EN 45545
Odolnost proti vandalizmu	pracovat s odolnými a ošetrzdornými materiály
Odolnost proti dlouhodobému statickému zatížení	
Uvažovat rozměr lisovací linky	na výrobu sendviče 5 500 x 2 500 mm
Bezproblémové vložení sendviče do rámu skeletu	
Nutný výřez rampy do podlahy bez oblastí náchylných k zachytávání nečistot	

Tab. 2.3.1-1.: Dílčí požadavky na systém podlahy

2.3.2 Okrajové podmínky

Okrajové podmínky systému podlahy jsou definovány na základě znalostí a zkušeností Škoda Transportation. Vyznačují hodnoty a intervaly provozních hledisek a cílů. Okrajové podmínky jsou podmnožinou požadavků.

Okrajové podmínky	Hodnoty
Přenos podélné tlakové síly	200 kN dle normy ČSN 12 660-1
Svislé zatížení	5000 N/m ² při průhybu do 10 mm
Tolerance	tolerance podlahy musí počítat při sestavování s tolerancí skříně vozidla a přesností rozmístění prvků 10 mm
Výkon topení	5÷10 kW (teplejší zóna) 10÷15 kW (chladnější zóna)
Tepelně izolační materiály	$\lambda=0,03$ W/mK
Hluk přenášený do vozu	25 dB v salonu
Životnost	30 let, s prodloužením na 40 let
Úhel podlahy	1÷2° z důvodu samovolného odtékání vody
Úhel nástupní rampy	1÷8°
Zakončení okopových plechů	Ve výšce 210 ÷ 230 mm od podlahy

Tab. 2.3.2-1.: Přehled známých okrajových podmínek

2.4 Skříň tramvajových vozidel

Obecně skříň kolejového vozidla máme na mysli nosnou konstrukci vozidla nad systémem vypružení. Zahrnuje všechny součásti, které jsou k této konstrukci připojeny a které zajišťují její pevnost, tuhost a stabilitu. Nosné konstrukci se odborně říká hrubá stavba skříně. Dále obsahuje vnitřní obložení, tepelnou a hlukovou izolaci a podlahu.

[2]

Z historického hlediska se jednalo o smíšený typ konstrukce, kdy spodek tramvajové skříně byl nýtovaný z ocele a k němu připevněny dřevěné prvky bočnic a střechy. Dnes vše podléhá požadavkům provozuschopnosti dle příslušných norem.

[2]



Obr. 2.4-1: Skříň tramvaje EVO1

2.4.1 Hrubá stavba skříně

Hrubá stavba skříně je nosnou konstrukcí a navrhuje se v provedení

Ocelová diferenciální, hliníková diferenciální

Tato kategorie konstrukce je složena z modulů – spodek skříně, bočnice skříně, čelo skříně, střecha

Spodek skříně – tvořen ocelovými profily tvaru U, Z nebo uzavřenými svařovanými profily. V podélné ose, z důvodu síly 200 kN, se nachází páteřový nosník s deskou v přední části pro umístění spřáhla. Z hlediska technologičnosti konstrukce jsou podélníky profilu Z, aby byla umožněna snadná montáž bočnice. Hlavní příčník nad podvozkem má vytvořené dosedací plochy pro sekundární vypružení.

Bočnice – sloupky podélných výztuh opět ve tvaru U nebo Z či uzavřeného profilu a vnějšího oplechování

Čelo – Vnitřní čelo je tvořeno jako plechový svařenec. Vnější čelo složeno z trubkové kostry a laminátového krytu.

Střecha – část vrchní stavby skříně svařená z podélných a příčných výztuh a vaznice. Svařenec je obložen plechem. Vaznice je podélný nosník spojující střechu a bočnici.

Hrubá stavba skříně nízkopodlažního tramvajového vozidla.

Dovolené nápravové zatížení je určeno na 10 t, max. 11 t, a proto i zde je kladen vysoký požadavek na nízkou hmotnost skříně. K docilení tohoto požadavku je s výhodami využívaná právě ocelová diferenciální stavba. Jedná se o svařovanou konstrukci.

Základem spodku skříně je páteřový podélník, dvěma dalšími podélníky tvaru Z a čelníkem, který má konzolu pro zavěšení neseného článku. Dále je zapotřebí na konec páteřového podélníku ukotvit spřáhla. K tomu slouží deska. Mezi další nezbytné prvky konstrukce patří příčníky vymezující šířku plochy.

Na spodek navazuje konstrukční celek zvaný od jeho umístění jako bočnice. Základem jsou vertikální sloupky často uzavřeného dutého obdélníkového profilu, ke kterým jsou přivařeny podokenní a nadokenní profily, podélné profily pro ukotvení sedadel, dále šikmé vzpěry a v neposlední řadě vnější plechové obložení. Obložení se nesvařuje, aby nedocházelo k deformaci působením tepla, ale je využívána technologie lepení a tmelení. Jejich tloušťka je totiž pouze 1 mm.

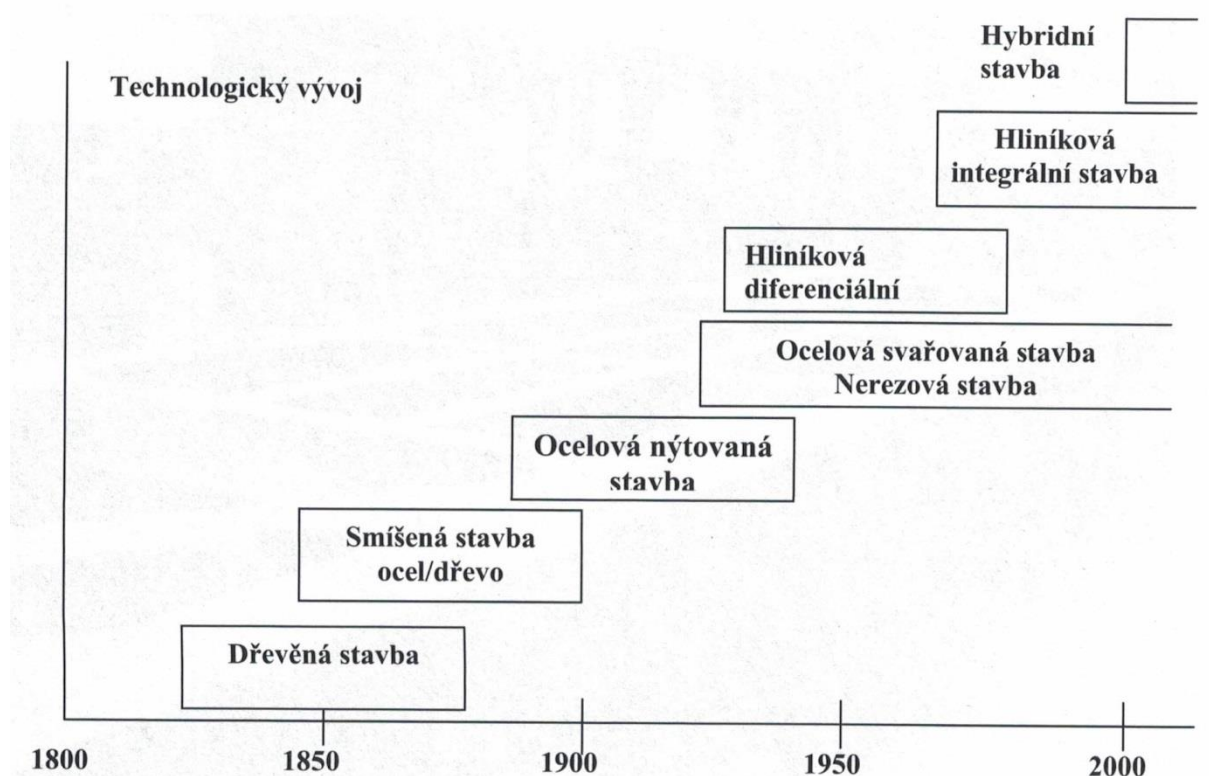
Pomocí vaznic se k bočnicím skříně připojuje střecha, která konstrukci uzavírá. Vaznice jsou uzavřeného profilu. Kolmo na vaznice jsou na krajích skříně mohutnější příčné uzavřené profily zajišťující tuhost skříně. Vnitřní profily jsou naopak otevřené ve tvaru Z a jsou menšího průřezu. V podélné ose střechy mají tyto vnitřní profily největší průřez a směrem k bočnicím se zužují, což vykazuje šípový tvar a spolu s plechovým obložením umožňuje spád vody a bezproblémovou montáž střešní výzbroje. Plech je opět tloušťky 1 mm a z nerezu.

Hliníková integrální

Mimo výše uvedené ocelové diferenciální konstrukce byly vytvořeny hliníkové konstrukce. Místo obtížného vytvoření svarového spoje hliníku přinášející řadu problémů se přistoupilo na spoj pomocí šroubů. Avšak po určité době provozu byl i tento spoj problémový, především v rozích okenních otvorů, kde je největší napětí. Tento problém musel být napraven, což přineslo mnoho konstrukčních složitostí, jejichž důsledkem byla výrazná finanční ztráta.

Výsledkem je vývoj směrem k diferenciálním ocelovým nebo nerezovým konstrukcím.

[3]

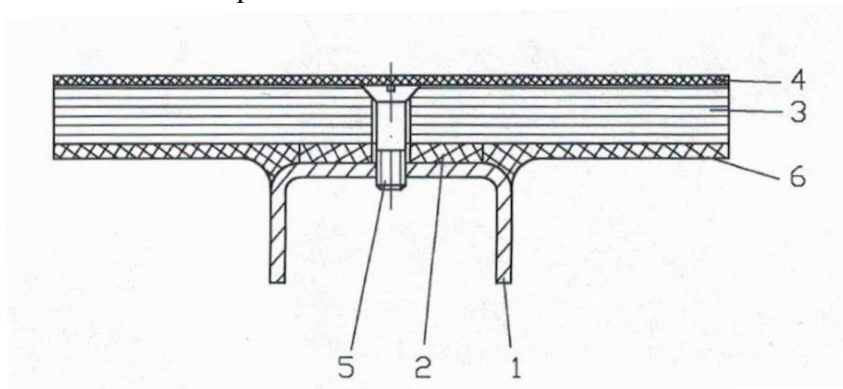


Obr. 2.4.1-1: Technologický vývoj hrubých staveb skříní kolejových vozidel

Podlaha tramvajových vozidel

Úkolem podlahy je přenášet svislé zatížení od stojících cestujících a od sedících cestujících v případě upevnění sedadel k podlaze. Podlaha tramvajového vozidla je víceméně jednoduchá s ohledem na provozní požadavky uvedené v kapitole 2.3 a dále s ohledem na pevnostní požadavky celého skeletu tramvajové skříně.

Nosným prvkem konstrukce podlahy tramvaje je ocelový profil (na Obr. 2.4.1-2 uveden U-profil), na který je nalepena pryž (2). Na pryž připadá vodovzdorná překližka (3), která je skrze pryž k nosnému profilu přišroubována šroubem se zapuštěnou hlavou (5). Jako povrchová vrstva se lepí na překližku protiskuzová krytina (4) s provedením v mnoha barvách a složení. Prostor mezi nosnými profily je vyplněn protihlukovým izolačním nástříkem (6) na vodovzdornou překližku.



Obr. 2.4.1-2: Řez podlahou tramvaje

2.4.2 Materiály používané na skříně vozidel

Obecné požadavky kladené na materiály:

- Nízká měrná hmotnost
- Zvýšená odolnost proti hoření
- Snadná zpracovatelnost
- Odolnost proti vandalizmu
- Snadná údržba v provozu
- Nízká cena

Využívané typy materiálů jsou následující:

- Ocel (vysokopevnostní), hliník – nejčastěji používané na profily hrubé stavby skříně
- Protihlukové nátěry a nástřiky
- Tepelná izolace
- Materiály na podlahu
- Obkladové materiály

[7]

Název materiálu	Charakteristika	Objem. hmotnost [kg/m ³]	Součinitel tepel. vodivosti [W/mK]	Odolnost proti hoření ČSN730862
Vodovzdorná překližka	Deska	700	0,23	B
Dřevěná deska s pěnovým jádrem	Deska	tl. 12mm – 5,6 kg/m ²	1,53 – 1,75	
Podlahová krytina	Vinyl se zrny karbidu křemíku	1400 - 1800	0,016 – 0,018	B
Terophon 123-WF	Nástřík, vodou ředitelná disperze	1300	0,070	B
Rotaflex, Orsil	Minerální vlna	275	0,081	B
Skelný laminát	Kompozit na bázi skelných vláken a pojiva	1600 - 2010	0,209	B
Moniflex	Na bázi celulózy	13	0,056	B

Tab. 2.4.2-1: Přehled používaných materiálů se základními vlastnostmi

[3]

Vodovzdorná překližka – Na pohled rozpoznatelné pomocí hnědých lepených spár mezi dýhami. Pod vrchní dýhou lze vložit hliníkovou fólii. Předností tohoto typu materiálu je jeho tvarová a rozměrová stálost, nedostatkem je stále vyšší objemová hmotnost. Kromě podlah tramvajových vozidel nachází uplatnění všude tam, kde je vyžadována odolnost proti vlhkosti. Společnosti zabývající se výrobou těchto překližek nabízí ve svém portfoliu i překližky se sníženou reakcí na oheň (retardéry hoření) z důvodu bezpečnosti při nehodě dopravního prostředku.

Dřevěná deska s pěnovým jádrem – Kompenzuje nedostatek výše zmíněného materiálu, vyznačuje se totiž nižší objemovou hmotností. Jádro je nejčastěji polyuretanová pěna (PUR pěna).

[8]

Podlahová krytina Altro – Jedná se o podlahový systém zabraňující uklouznutím a pádům. Vyznačuje se dále vysokou trvanlivostí, nepropustností, hygieničností a velmi dobře odolává

vůči vandalizmu. Struktura tohoto materiálu je složena ze skleněných vláken s homogenní vrstvou vysoce kvalitního vinylu s diamantově tvrdými zrnky oxidu hlinitého v celé tloušťce a s karbidem křemíku na povrchu. Výhodou je i nenáročná instalace na většinu existujících podlah. Vyrábí se v provedení až v 18 barvách.

[9]

Terophon 123–WF – Založen na bázi vodní disperze syntetické pryskyřice s nezbytným přídavkem retardérů proti hoření. Neobsahuje žádné těžké kovy nebo azbest, díky čemuž je šetrný vůči přírodě. Prodává se především ve formě hlukové izolace, ale vyznačuje se i dobrou tepelnou izolací. Obdobným materiálem je Terotex 218, který se vyznačuje opravdu vysokou antiabrazivní odolností a nachází tak uplatnění tam, kde je žádoucí ochrana např. proti odskakujícímu šterku či kamení z povrchu silnic nebo kolejnic.

[7]

Rotaflex – Je hygienicky a zdravotně nezávadný (neobsahuje, jako dřívě vyráběné minerální vlny, kousky skla, o které se mohl člověk pořezat), nemění svůj tvar a má neomezenou životnost. Jedná se o materiál s velmi dobrými difúzními vlastnostmi.

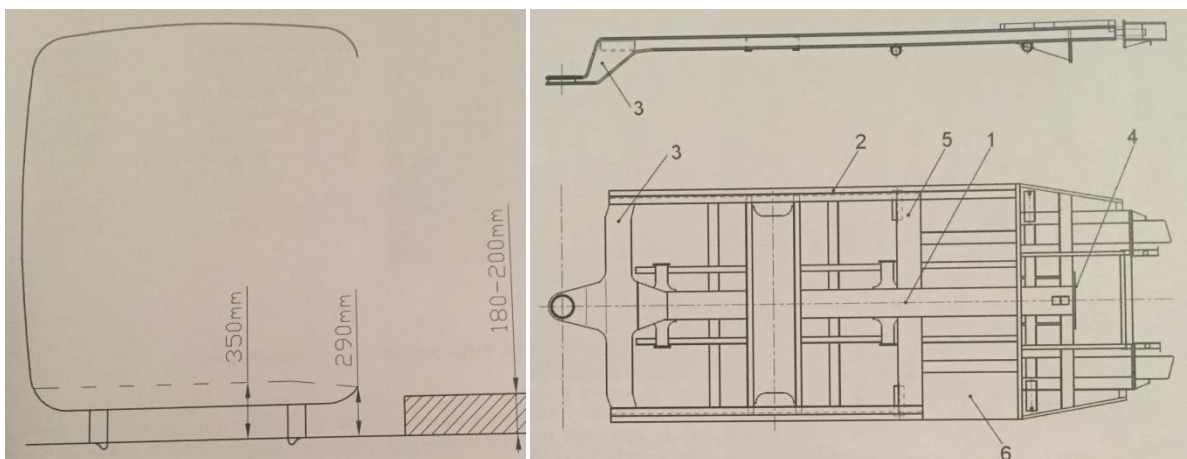
[10]

Moniflex – Materiál patentován v roce 1930 a od té doby byl používán ve skandinávských zemích jako nutná tepelná izolace ve vozech kolejové techniky. Vyrábí se z celulózy, díky tomu je velmi lehký, biologicky rozložitelný, disponuje vysokou životností, snadný ke zpracování a manipulaci. Jedná se především o tepelně izolační, v případě spojení s vláknovou izolací, o tepelně a protihlukově izolační materiál.

[11]

Nízká podlaha – Trendem v současné době. Tramvaje vybavené nízkou podlahou se podílí na zvýšení komfortu pro cestující. Není třeba překonávat schody do vozidla, což vede k rychlejší výměně cestujících a především k snadné mobilitě cestujících se sníženou pohyblivostí nebo maminek s kočárky.

Nízká podlaha je charakterizována tzv. procentem nízké podlahy. 100% nízkopodlažní tramvaj se vyznačuje podlahou vzdálenou 350 mm nad temenem kolejnice (výška nástupní hrany je obvykle nižší – 290 mm, jelikož nástupní ostrůvky mají výšku 180 – 200 mm) v celé délce tramvajového vozidla s mírným překonáním oblasti podvozků. S každou vyvýšenou oblastí se procento snižuje.



Obr. 2.4.2-1: Nákras výšky nízké podlahy Obr. 2.4.2-2: Konstrukce spodku tramvaje

Jak bylo výše uvedeno, problémem se stává oblast podvozků. Zvláště u podvozků hnaných, kdy se motor musí umístit např. z vnější strany skříně podélně (tzv. podélné dvojkoří) a řešení podvozku pomocí nápravnice. Dalším řešením umístění pohonu je vertikální pozice do skříně vozidla.

Nízkopodlažní vozidla se řeší následujícími způsoby:

Částečně nízkopodlažní vozidlo – Nízkopodlažní vozidlo disponující vysokou podlahou v místě neotočného podvozku. Propojení vysoké podlahy a nízké je řešeno pomocí 2 – 3 schodů.

Použití dvojkolí s menším průměrem kol u běžného podvozku – Menší kola sníží vysokou podlahu až na 450 mm. Propojení je řešeno v tomto případě 1 schodem nebo nakloněnou rovinou.

Použití konstrukce trakčního podvozku s nápravnicemi s volně otočnými koly – Podvozek převážně neotočný. Mezi koly vzniká úzké průchozí místo, které by mělo být alespoň 600 mm. Prostor nad koly je využit pro umístění sedadla.

Použití otočného podvozku s nápravnicemi pod kabinou řidiče.

[3]

Struktura podlahy z hlediska tepelné izolace

Konstrukce podlahy se skládá z více materiálů a je třeba mít na vědomí tepelné vlastnosti použitých materiálů. Je kladen požadavek (viz kap. 2.3) na tepelnou izolaci. Izolovat je třeba prostor skříně před únikem tepla z topení, resp. chladu z klimatizace, ze skříně do vnějšího prostředí a zároveň izolace od chladu v zimních měsících (sníh na vozovce), resp. tepla v letních měsících.

Důležitou fyzikální veličinou je **tepelná vodivost**, což je schopnost materiálu vést teplo – rychlost šíření tepla ze zahřátého materiálu do chladnějšího. Tepelná vodivost je charakterizována **součinitelem tepelné vodivosti**, který je definován jako koeficient úměrnosti mezi hustotou tepelného toku (q) v dané látce a záporně vzatým gradientem teploty (T):

$$q = -\lambda \text{grad}(T) \quad (1)$$

Pokud je tepelný tok homogenní a ustálený, lze vztah vyjádřit jako:

$$\frac{Q}{tS} = \lambda \frac{\Delta T}{d} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{d}{tS\Delta T} Q \quad (3),$$

kde **Q** je množství tepla, které přejde za určitý čas **t** dvěma stejnými plochami **obsahu S** kolmými ke směru toku a posunutými v tomto směru o **vzdálenost d**, je-li mezi nimi **rozdíl teplot ΔT** .

[12]

Materiál	λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]
Hliníkový plech	230 (204)
Ocelový plech	45 (58)
Vodovzdorná překližka	0,23
Podlahová krytina	0,16
Pryž	0,16
Terophon 123-WF	0,07

Tab. 2.4.1-1: Konvenční materiály používané na tramvajovou podlahu

[7]

Výpočet ztráty tepla konvenční podlahy tramvaje

Vycházíme z konvenční struktury podlahy (obr. 2.4.1-2) a uvažujeme následující tloušťky jednotlivých komponentů podlahy

Stavební prvek	Tloušťka t [mm]
Nosný ocelový U-profil	1
Pryž	2
Terophon	2
Vodovzdorná překližka	15
Podlahová krytina	2

Tab. 2.4.1-2: Tloušťky použitých materiálů

[7]

Koeficient prostupu tepla

$$k_{pA} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (1)$$

Prostup teploty je počítán ve 2 místech podlahy. V místě A, kde se vyskytuje ocelový plech a pryž a v místě B, které je bez ocelového plechu a místo pryže se zde nachází protihlukový nástřík Terophon.

$$k_{pA} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \left(\frac{0,002}{0,16} + \frac{0,015}{0,23} + \frac{0,002}{0,16} + \frac{0,001}{45} \right) + \frac{1}{23}} = 3,589 \frac{W}{m^2K}$$

$$k_{pB} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \left(\frac{0,002}{0,16} + \frac{0,015}{0,23} + \frac{0,002}{0,07} \right) + \frac{1}{23}} = 3,393 \frac{W}{m^2K}$$

Vnější povrch vozové skříně $\alpha_e = 23W/m^2K$

Vnitřní povrch podlahy $\alpha_i = 6,9W/m^2K$

V úvahu budeme počítat s místem B, což je oblast, která v podlaze zaujímá mnohem větší plochu.

[7]

Ztráta prostupem tepla za klidu

Pro jednoduchost je zvolen obdélníkový obrazec podlahy bez rohových radiusů nebo s vyvýšením pro sedadla.

Plocha podlahy

$$S_p = 2,5 * 5,5 = 13,75 m^2$$

Vnitřní teplota zvolena

$$t_i = 22^\circ C$$

Vnější teplota dle průměrné roční teploty v ČR

$$t_e = 7^\circ C$$

[33]

$$Q_p = \sum k_{pB} * S_p * (t_i - t_e) \quad (2)$$

$$Q_p = 3,393 * 13,75 * (22 - 7)$$

$$Q_p = 699,806 W$$

[7]

3 Patentová a tržní rešerše

3.1 Patentová rešerše

Níže se vyskytují nalezené patenty dostupné pro širokou veřejnost po internetovém rozhraní v elektronické formě nebo v papírové formě na příslušném úřadě uchováující a zaznamenávající patenty a užité vzory. Patenty slouží k rozšíření poznatků z dané problematiky a také jako inspirující nápady při hledání vhodného konstrukčního řešení samonosné podlahy. Nalezené patenty úzce souvisí s podlahou v prostředcích hromadné dopravy, zejména kolejové dopravy. Při konstrukčních návrzích budou tyto patenty respektovány.

1) **Konstrukce vozidla s přípojkou pro pokrytí podlahy, zejména pro kolejová vozidla**

(EN: Floor for vehicles, in particular, rail vehicles for transporting passengers)

Číslo přihlášky: CZ20014418 A3

Datum přihlášení: 06.06.2000

Země priority: Německo

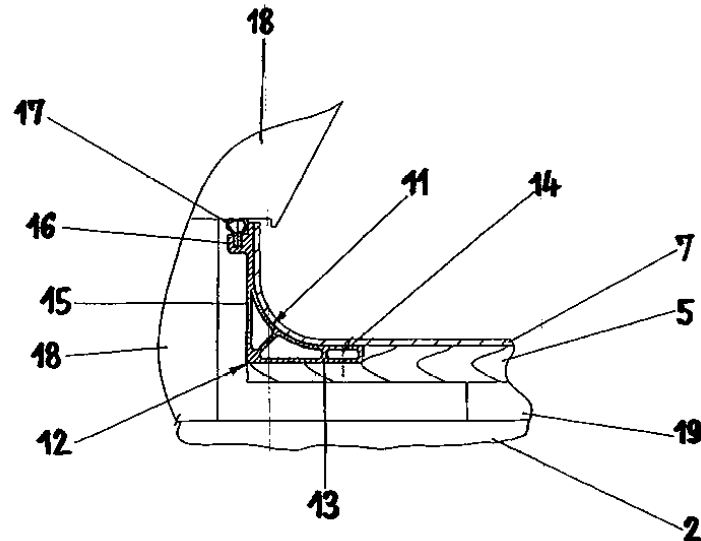
Přihlašovatel/Majitel: BOMBARDIER TRANSPORTATION GMBH, Berlin, DE

Původce: Holger Martens, Berlin, DE

Gerald Erler, Birkenwerder, DE

Popis patentu

Konstrukce vozidla s přípojkou pro pokrytí podlahy, zejména pro kolejová vozidla pro dopravu osob, obsahuje tuhou a na podélných nosnících (1) podepřenou podlahovou profilovanou desku (2), na které jsou umístitelné podlahová konstrukce a jiné vestavné součásti, přičemž pokrytí (7) podlahy je na podlahových deskách (5) celoplošně uloženo a je vanovitě vytaženo vzhůru na nástavbových sekcích (18), které jsou upevněny na hrubé stavbě konstrukce vozidla a které jsou například vytvořeny jako obložení skříní a bočních stěn, podstavce sedadel a oddělovací stěny. Mezi na hrubé stavbě upevněnými nástavbovými sekcemi (18) a mezi podlahovou deskou (5) je uspořádán na nástavbových sekcích (18) podélně a příčně upravený a úložnou plochu (11) pro pokrytí (7) podlahy vytvářející rohový profil (12), který jednak tvoří svým jedním ramenem (13) okrajový uzávěr podlahových desek (5) pro uložení pokrytí (7) podlahy a jednak je svým opačným ramenem (15) uspořádán proti hrubé stavbě posuvně v podélném a v příčném směru, přičemž vodorovné vyrovnávání tolerance je zachycováno prostřednictvím na ramenu (15) upevněného a na hrubou stavbu dosedajícího pružného těsnění (17).



Obr. 3.1-1.: Konstrukce přípojky pro pokrytí podlahy

[13]

2) Sound-proofing floor element for vehicles, especially railway vehicles

Číslo přihlášky: EP0982213 (B1)

Datum přihlášení: 19.08.1999

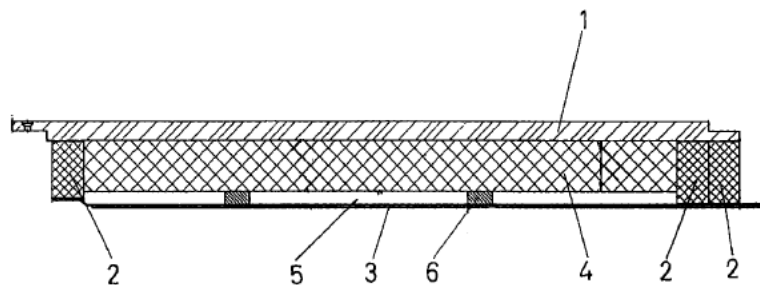
Země priority: Německo

Přihlašovatel/Majitel: ALSTOM LHB GmbH

Původce: Ing. Peter Eichmann, Ing. Joachim Mielisch, Peter Thofern, Michael Hohenstein

Popis patentu

Podlahový systém tvořený nosnou konstrukcí s nosnými prvky (2), které sestávají z materiálu absorbující nežádoucí zvuky. Prvky podlahy jsou umístěny přímo mezi horní nosnou deskou (1) a plochou dolní koncovou deskou (3) a jsou s ní spojeny. Materiál absorbující zvuk (4) mezi nosnými prvky je připevněn ke spodní straně nosné desky. Vzduchová komora (5) mezi spodní stranou vrstvy materiálu absorbujícího zvuk a koncovou deskou je vymezena distančními částmi (6), resp. gumou. Materiálem absorbujícím zvuk je minerální vlna a nosné prvky jsou sylomerem.



Obr. 3.1-2.: Protihlukový element pro kolejová vozidla

[14]

3) Floor board with improved acoustics

Číslo přihlášky: EP2295304 (A1)

Datum přihlášení: 11.09.2009

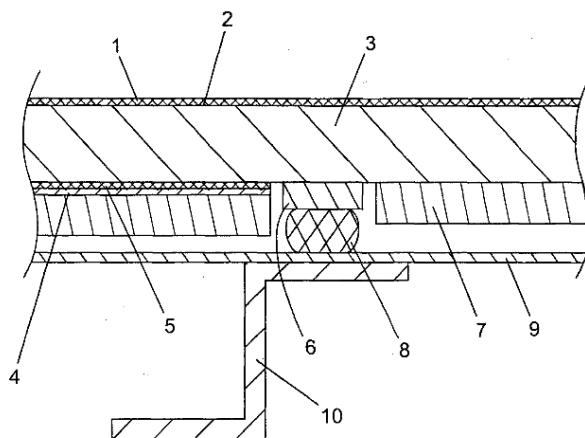
Země priority: Francie

Přihlašovatel/Majitel: ALSTOM TRANSPORT SA

Původce: Lars Krueger

Popis patentu

Podlahový panel je tvořen nosnou deskou (3), na jejíž spodní straně je připevněna přídavná kovová deska (4) tak, že mezi ní a nosnou deskou vzniká vysoká mechanická ztráta. Nosná deska je z překližky, případně materiálu vyztuženého vláknou (kompozit). Z druhé strany je na nosnou desku nalepena podlahová krytina (1). Na distančních plochách (6) nosné desky jsou uspořádány pryžové rozpěrky (8) zajišťující tlumení podlahového systému. Vzduchový prostor v podlaze je vyplněn izolační vrstvou (7). Celý podlahový systém je nesen ocelovými profily (10) tvořící strukturu skeletu skříně.



Obr. 3.1-3.: Skladba podlahy s protihlukovými prvky

[15]

4) Large sized vehicle for transporting passengers especially low floor urban tram

Číslo přihlášky: EP0787636 (B1)

Datum přihlášení: 22.01.1997

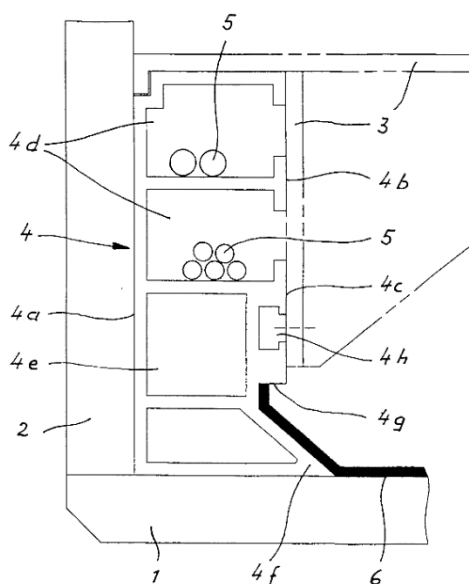
Země priority: Německo

Přihlašovatel/Majitel: Siemens Duewag Schienenfahrzeuge GmbH

Původce: Friedhelm Asbach, Alfred Kortemeyer, Jürgen Schnaas

Popis patentu

Část boční stěny (2) vozidla napojená na podlahu (1) je vyztužena deformačně odolným podlahovým kanálem (4) vytvořeným jako vytlačovaná součást. Celková šířka řezu měřená mezi vnější a vnitřní plochou (4a, b) je větší než odpovídající celková šířka zbývající nosné konstrukce boční stěny. Podlahový kanál je integrován do nosné konstrukce boční stěny jako součást obalu vozidla. Kanál obsahuje dutiny pro vedení elektrických kabelů (5) nebo pro vedení vzduchového potrubí pro ohřívání nebo ventilaci (4d, e). Podlahový kanál má vybrání (4g) pro uložení krytu (6) z plastu nebo textilního materiálu vystupujícího z podlahy.



Obr. 3.1-4.: Spojovací díl mezi bočnicí a podlahou

[16]

Další nalezené patenty

Následující tabulka uvádí další nalezené patenty, které jsou spjaty se systémem podlahy, zejména v kolejových vozidlech. Tyto patenty už nebudou podrobně rozepsány a vysvětleny, protože přesahují rámec této práce, ale budou respektovány a bude na ně brán ohled při návrhu možných konstrukčních řešení.

Seznam patentů	
Číslo přihlášky	Název
DE202010013487 U1	The interior design of vehicles for public transport
EP2733039 (A1)	Local traffic rail vehicle, preferably low floor suspension vehicle, in multi-joint construction
DE19957178B4	Track vehicle
EP1719683 (B1)	Interior fitting for railway vehicle with at least one arrangement to mount components in the floor and/or on the side walls

Tab. 3.1-1.: Seznam patentů

3.2 Tržní rešerše

Samonosné podlahy firmy Výrobní družstvo "Slezská Hořina" Brumovice

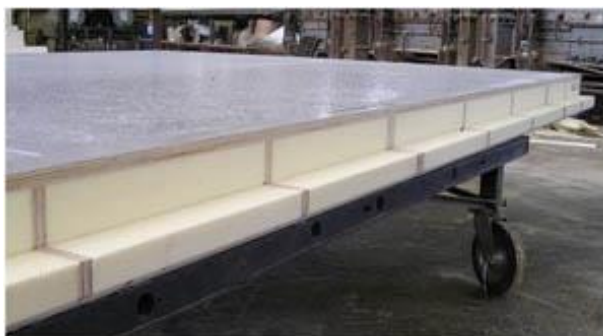
Společnost produkující samonosné podlahy ve formě sendviče. Sendvič je tvořen PUR jádrem, které je kryto jednostranně nebo oboustranně laminátem, VDV překližkou, Al nebo Zn plechy, dřevoštěpy nebo jinými rozličnými materiály.

Vyrábí se také jako lité. Životnost těchto podlah je prodloužena díky výhodné skladbě jednotlivých materiálů, které vynikají vodovzdorností.

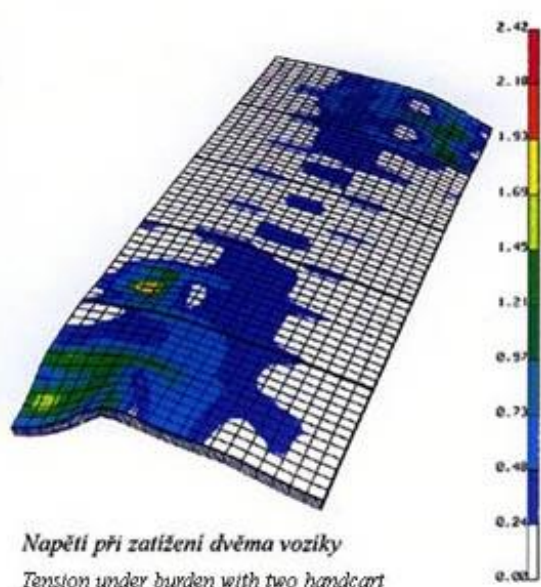
Tyto podlahy se uplatňují především jako panely nástavby vozidel, včetně izolačních pro chladicí a mrazicí nástavby.

Výroba samonosných podlah až do rozměrů
Tloušťka 75, 100, 120, 130 mm
Šířka 11 000 mm
Výška 3 400 mm

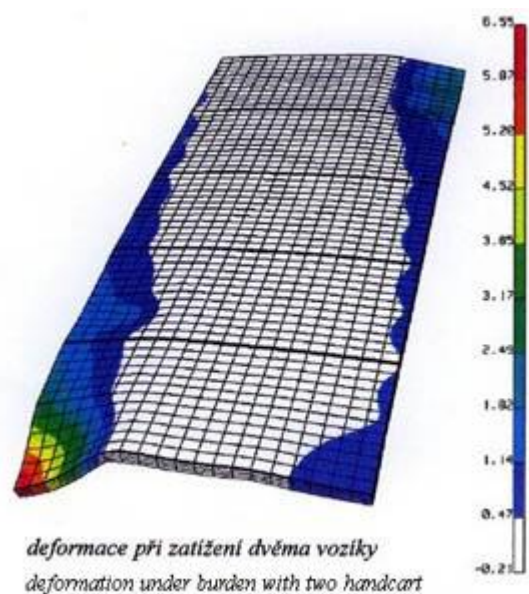
[17]



Obr. 3.2-1: Panel nástavby vozidel



Obr. 3.2-2: Napětí při zatížení nástavby



Obr. 3.2-3: Deformace po zatížení nástavby

Sendvičové panely firmy 5M

Společnost 5M vyvíjí a vyrábí sendvičové panely s voštinovým jádrem ve formě plochých nebo tvarovaných dílů, s širokou škálou povrchů a vnitřních výztuh. Sendvičová konstrukce panelů se vyznačuje hlavně vynikajícími mechanickými vlastnostmi při velmi nízké váze celého panelu.

Lepené panely jsou tvarově a rozměrově stálé, což umožňuje vyměnitelnost náhradních dílů. Firma 5M vyrábí sendvičové panely z oceli a hliníku, ale i z kompozitových materiálů. Tyto panely nalézají uplatnění v letadlech, tramvajích, autobusech, vlacích nebo také v průmyslových strojích.

[18]

Hliníkové sendvičové panely

Určeny jako konstrukční elementy pro nejnáročnější aplikace v letectví, karoserie silničních vozidel a skříní kolejových vozidel. Jedná se o panely s voštinovým jádrem ve formě plochých nebo tvarovaných dílů. Technologie výroby sendvičového panelu umožňuje vyrobit

panel dle přání zákazníka z hlediska rozměrů, velikosti buňky voštiny nebo kvality potahů. V případě potřeby může být hliníková voština nahrazena jádrem pěnovým nebo plastovým.

Výhody: vysoká tuhost, vysoká pevnost, nízká váha

Uplatnění: letectví – stěny, podlahy, sedadla, přepážky, klapky...

kolejová doprava – dveře, podlahy, spoilery, kryty, rampy, přepážky...

strojírenství – konstrukce forem, přípravky, odsávací stoly)

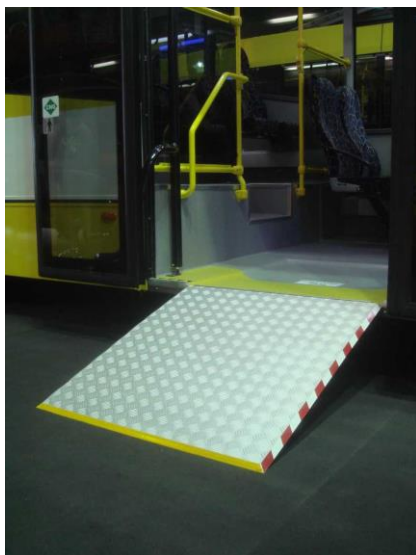
[18]

Kompozitové panely

Vrchní vrstva je z laminátu (sklolaminát nebo uhlíkový laminát) a jádro tvoří voština (Nomex, hliník) nebo pěnové jádro. Výhodou kompozitů je nízká hmotnost a výroba různě prostorově tvarovaných panelů (3D tvary). Struktura sendvičových panelů je navržena tak, aby vyhovovala normě hořlavosti, na kterou je kladen v kolejové dopravě velký vliv. Mimo použití kompozitů na podlahu, se dále hojně využívají jako obložení stěn a stropů nebo jako exteriérové prvky.

Výhody: vysoká pevnost, vysoká tuhost, nízká váha, výroba 3D tvarů

Uplatnění: letectví, výroba vlaků a tramvají, výroba lodí, stavebnictví



Obr. 3.2-4: Nástupní plošina firmy 5M



Obr. 3.2-5 Kompozitový díl použitý v interiéru

[18]

Puroxit

Renomované kompozitové sendvičové panely pod obchodním názvem PUROXIT jsou revolučním konstrukčním prvkem, který disponuje výbornými mechanickými vlastnostmi, především v normálovém směru na desku, při snížené vlastní hmotnosti. Struktura je tvořena speciální jádrovým materiálem obaleným z obou stran laminátovým povrchem. Puroxit je náhradou a inovací standardně používané překližky. Puroxit je lehčí o 35% než překližka o stejné tloušťce. Mezi další výhody toho sendvičového panelu patří naprostá vodovzdornost (i vůči slané vodě – použití na podlahy v přímořských městech nebo v zimních měsících ve městech využívaných posypovou sůl), dále dostatečnými tepelně a akusticky izolačními vlastnostmi. Podstatným a neopomíjícím požadavkem je nehořlavost, kdy desky Puroxit splňují požadavky na použití v dopravních prostředcích dle německé normy DIN 5510-2 nebo evropské normy EN 45 545. Tyto vlastnosti umožňují použití desek Puroxit na konstrukce

podlah ve vlacích, tramvajích či autobusech nebo v jiných prostředcích hromadné dopravy.

Výhody: nízká hmotnost, vysoké mechanické vlastnosti, tepelná a hluková izolace, možnost tvarovat (3D díly), spojení ve větší celky (přičemž spoje nekonzcentrují napětí), dobře se lepí

Uplatnění: prostředky hromadné dopravy, stavebnictví, nástavby na dodávky a návěsy

[18]

Velkoplošné sendvičové panely firmy Variel

V roce 2007 společnost rozšířila své aktivity do oboru kolejových vozidel. Její výrobní program se rozrostl o kompozitové kabiny tramvajů, sendvičové střechy a další komponenty. Unikátní technologie navíjení sklolaminátu umožňuje společnosti realizovat dodávky samonosných kompozitových skeletů hromadných dopravních prostředků.

Společnost VARIEL disponuje výrobní lepicí linkou, která je primárně určena pro sériovou výrobu velkoplošných sendvičových dílců, a to jak rovinných, tak zakřivených. Struktura sendviče se skládá z tzv. skinu (horní a dolní povrch), pěnovým jádrem zpevněným mnoha druhy výztuh a inzerťů uvnitř sendviče. Lepicí linka je navržena tak, aby splňovala požadavky při kusové i sériové výrobě těchto sendvičových panelů. Je maximálně optimalizovaná pro efektivní produktivitu práce s vyloučením lidského faktoru.

Všeobecné parametry lepicí linky:

- zpracování sendvičových dílců o základních rozměrech 7,2 m délky a 2,0 m šířky
- možnost rozšíření až do 18 m délky a 4,5 m šířky
- zpracování jádrových pěnových materiálů standardně do tloušťky 60 mm (možno i více - dle požadavku) a hustoty 600 kg/m³

Technologicko – procesní kroky

1. Skladování a zálohování

- pláštěk a skinů
- přířezů pěn pro sendvičové jádro
- výztužných a okrajových profilů
- odvíjení plechových návinků

2. Manipulace s výrobkem, přísun a posun materiálu, potahů a plechů

- použití speciálních manipulačních rámců s možností sklopení dílce a stropního jeřábu (všechny funkce proveditelné jednou osobou)

3. Příprava povrchu pláštěk

- reprodukční zajištění adhezních parametrů materiálů pro lepicí proces
- ruční rozbrušování, polomechanické čištění, příprava povrchu pomocí aktivní vrstvy, primerování atd.

4. Dávkování a roztírání lepicího systému

- zabezpečení plně strojní aplikace lepicího systému (x-y nanášecí portál) - rovnoměrné nanášení lepidla na pláště a plechy
- systém zaručuje 100 % reprodukovatelnost celého aplikačního procesu

5. Zákládání, těsnění a vakuování

- založení celé skladby sendvičového dílce v základací formě

- stacionární a mobilní stoly zajišťující aplikační plochu pro jednotlivé výrobní kroky

6. Lisování a řízené vytvrzování

- stolní lis – stlačování lepených dílců
- integrovaný topný systém zaručující jednak reprodukovatelné vytvrzovací podmínky a jednak urychlení celého procesu vytvrzování a tím i cyklu výroby sendvičových dílců

7. Zkoušky

- CNC trhací stroj k provádění mechanických zkoušek lepených spojů

Uplatnění: sendvičové střechy, podlahy, dvojité podlahy, stěny, obkladové díly a další prvky

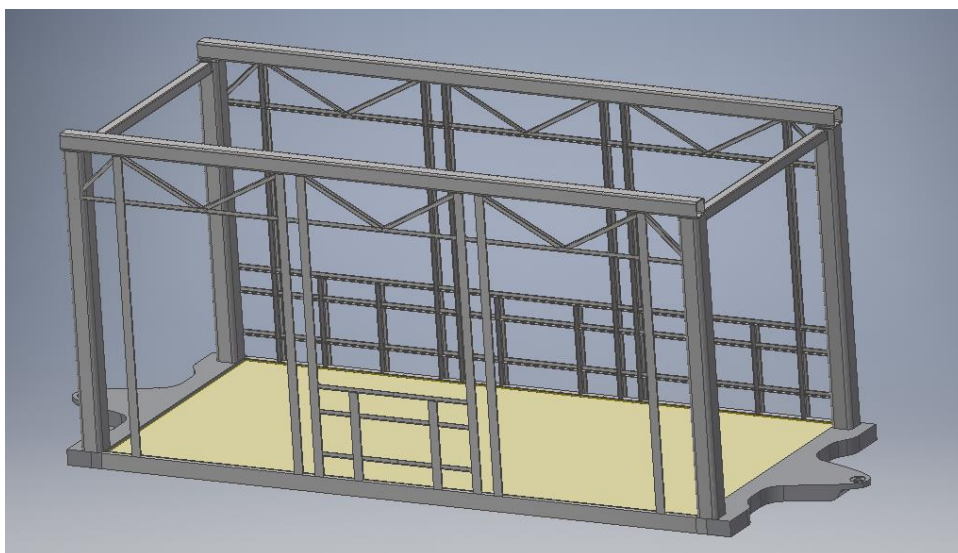
[19]

4 Konstrukční řešení

Konvenčním konstrukčním řešením hrubé stavby je složitě profilovaná nosná podlaha, která nese, s výjimkou cestujících, bočnice se střešou a další výbavou (el. výzbroj...). To znamená stavba „od spoda nahoru“. Vizí je konstrukce samonosné podlahy nesoucí pouze zatížení od přepravovaných cestujících a vlastní hmota podlahy už je nesena přes bočnice a vaznici střešou podlahy. To znamená opačný přístup „od shora dolů“. Myšlenkou je ušetření hmotnosti podlahy, ale také hmotnosti celé hrubé stavby skříně i přes nutnost masivnějšího nadimenzování bočnicových a střešních profilů, dalším cílem je snížení světlé výšky podlahy.

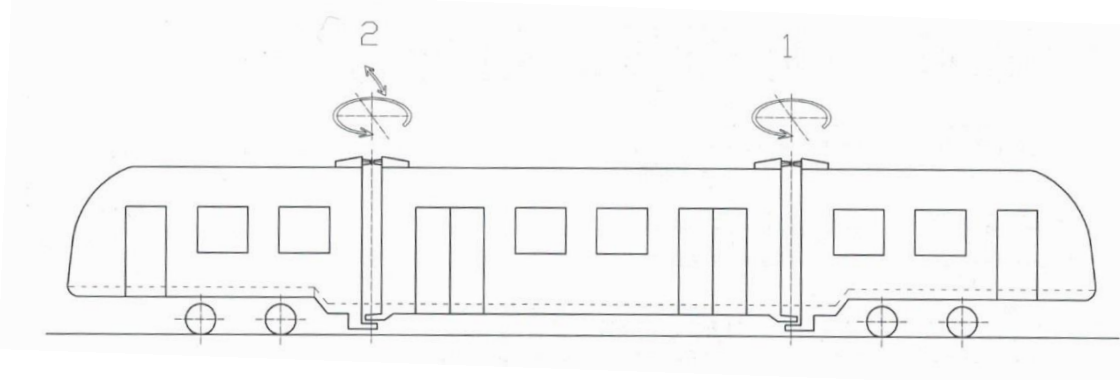
Hrubý návrh vize je uveden na Obr. 4-1. Nosné profily jsou umístěny na podvozkovém článku a musí být nadimenzovány tak, aby přenesli zatížení skříně. Na nosných profilech je umístěna vaznice nesoucí celou střešní konstrukci s dalšími zařízeními jako je elektrická výzbroj, měniče, klimatizační jednotky a další nezbytně nutné komponenty pro provoz vozidla. Podlaha by byla zavěšena přes svislé profily tvořící bočnici a tyto profily by byly spojeny s vaznicí.

Tato práce se bude zabývat pouze konstrukcí struktury samonosné podlahy.



Obr. 4-1: Hrubá stavba skříně

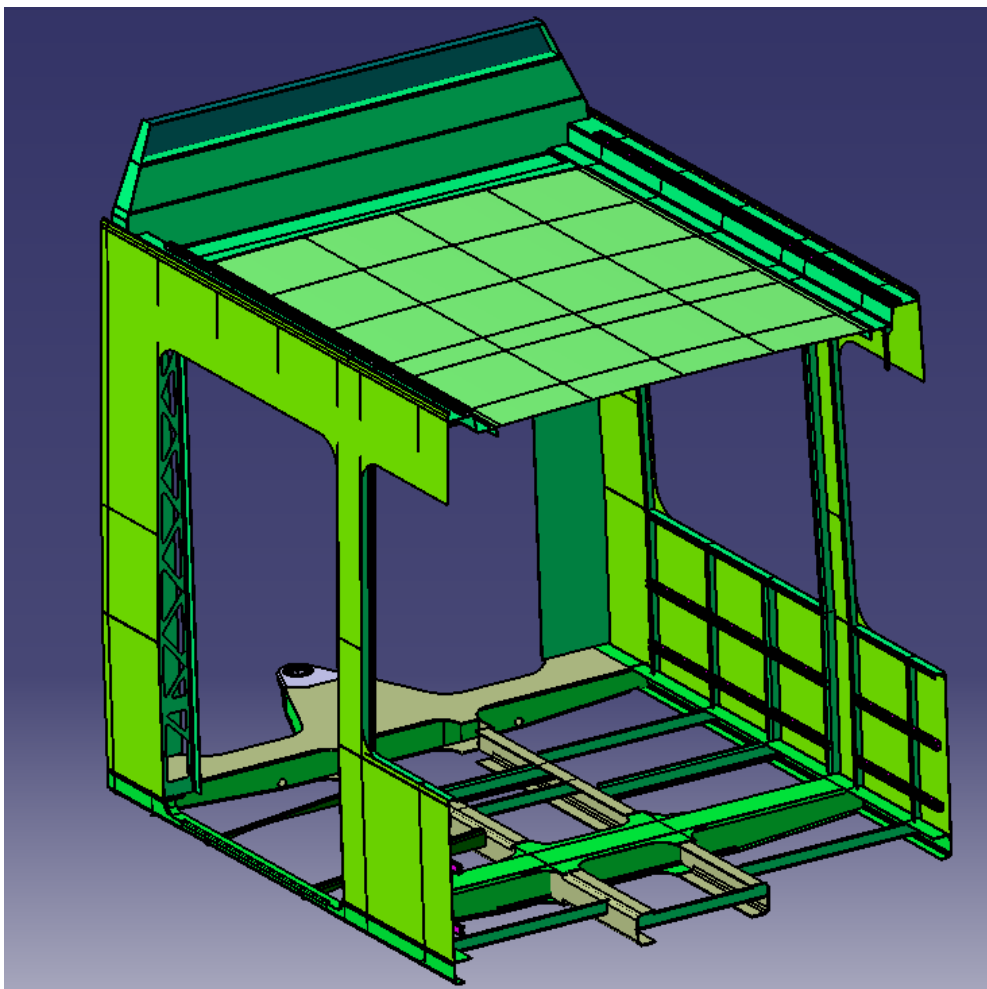
Samonosná podlaha je uvažována v zavěšeném článku vyznačeném na Obr. 4-2. Zavěšený článek tramvajového vozidla je bezpodvozkový článek.



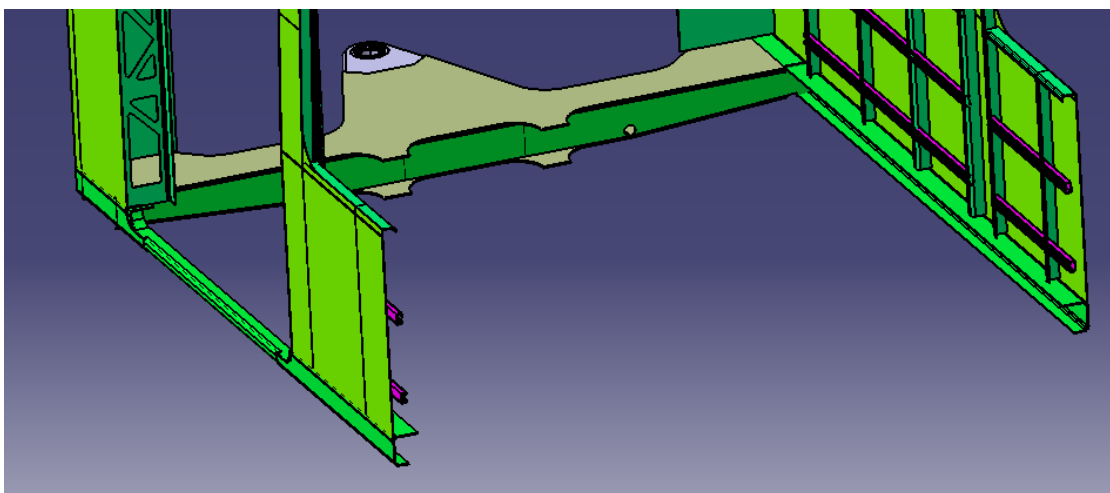
Obr. 4-2: Ukázka zavěšeného článku uprostřed vozidla

4.1 Konvenční řešení

Výchozí konstrukce je na Obr. 4.1-1. Na obrázku je uveden pouze symetrický půlčlánek s profilovanou podlahou s částí určené pro otočný čep. Skládá se ze 2 páteřových profilů typu U a podélnými profily U pro krajích podlahy. Příčná tuhost je zajištěna 2 masivními příčnicími a vícero menšími příčnicími mezi jednotlivými profily. Rozměr celého zavěšeného článku je 5500 x 2500mm.



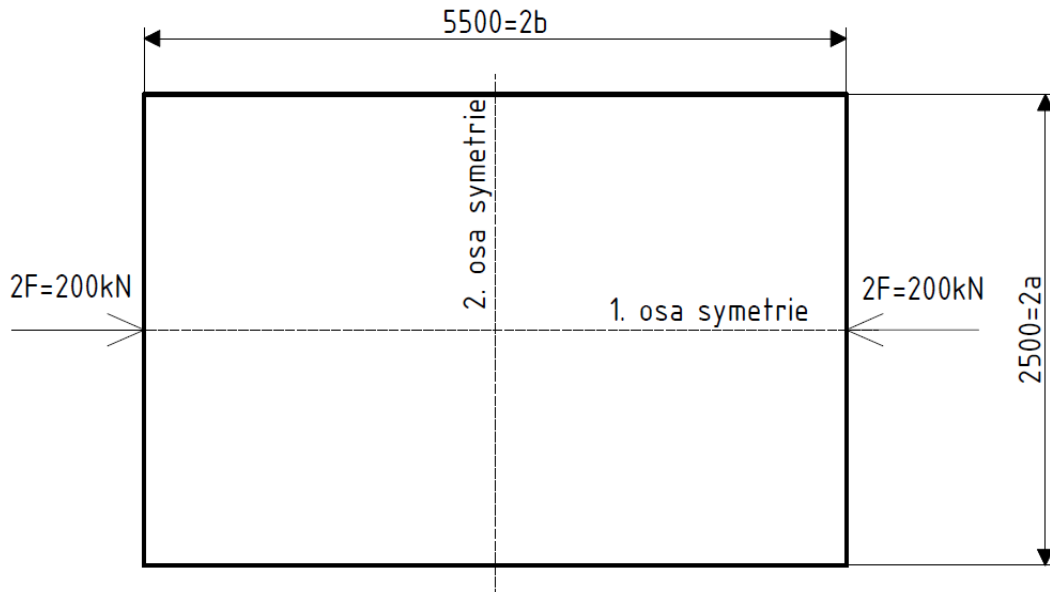
Obr. 4.1-1: Konvenční konstrukce podlahy zavěšeného článku



Obr. 4.1-2: Prostor pro vložení samonosné podlahy

4.2 Návrh skeletu podlahy

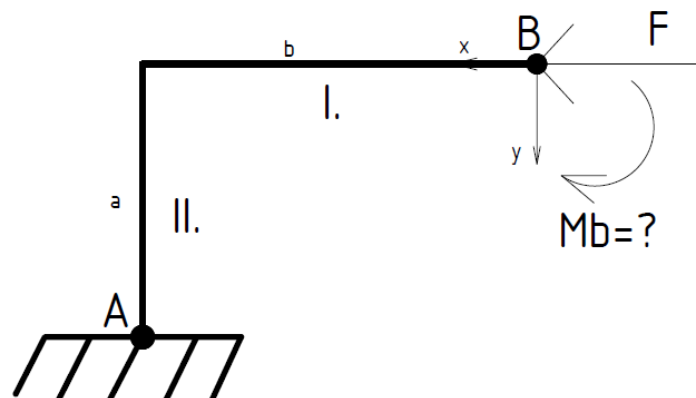
Dle normy ČSN EN 12 663 činí podélná tlaková síla v úrovni nárazníků u tramvaje 200 kN. Tato síla bude přenesena skeletem a samotný podlahový sendvič na ní nemá vliv.



Obr. 4.2-1: Nákres rámu

Je uvažován obdélníkový rám o rozměrech 5 500 x 2 500mm. (viz Obr. 4.2-1). Dle výše zmíněné normy je každý článek tramvajového vozidla zkoušen namáháním podélné tlakové síly v úrovni nárazníků 200 kN.

Jedná se o uzavřený rám, který je vnitřně staticky neurčitý. Nachází se zde 2 roviny symetrie, které lze s výhodou využít při výpočtu.



Obr. 4.2-2: Řez rámu s využitím rovin symetrie

$$\text{I. pole: } x \in (0; b): M_I = M_B; \frac{\partial M_I}{\partial M_B} = 1$$

$$\text{II. pole: } y \in (0; a): M_{II} = F * y - M_B; \frac{\partial M_{II}}{\partial M_B} = 1$$

Využití Castiglianovy věty, která vyjadřuje vztah mezi deformací tělesa a energií akumulovanou v tělese vlivem zatížení

$$\varphi = \frac{1}{EJ} \int M(x) \frac{\partial M(x)}{\partial M_o} ds = 0 \quad (1)$$

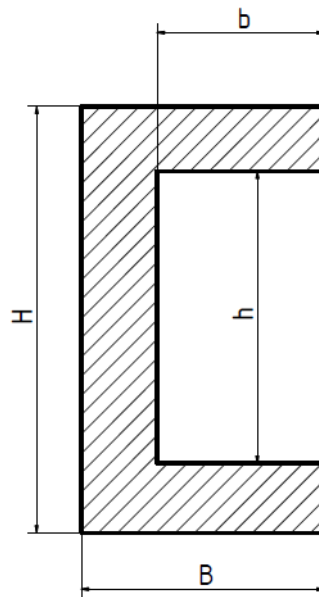
$$\begin{aligned} \varphi = 0 \rightarrow \varphi &= \frac{1}{EJ} \left[\int_0^b M_I * \frac{\partial M_I}{\partial M_B} dx + \int_0^a M_{II} * \frac{\partial M_{II}}{\partial M_B} dy \right] = \frac{1}{EJ} \left[[M_B * x]_0^b \right. \\ &+ \left. \left[F * \frac{y^2}{2} - M_B * y \right]_0^a \right] = \frac{1}{EJ} \left[M_B + F * \frac{a^2}{2} - M_B * a \right] = 0 \rightarrow M_B \\ &= F * \frac{a^2}{2(a+b)} = 100\,000 * \frac{1,25^2}{2(1,25 + 2,75)} = 19,531 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{oMAX} = M_{II} = F * a - M_B = 100\,000 * 1,25 - 19531 = 105\,469 \text{ kNm} \quad (2)$$

[32]

4.2.1 Dimenzování profilu U

Jako konstrukční profil je zvolen profil tvaru U.



Obr. 4.2.1-1: Rozměry profilu U

Mez kluzu vysokopevnostního materiálu $Re = 900 \text{ MPa}$

Požadovaná bezpečnost pro počáteční návrh profilu rámu $k = 1,3$

Průřezový modul v ohybu: $W_o = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$

Rozměrové poměry zvoleny:
 $h = 0,83H$
 $B = 0,5H$
 $b = 0,44H$

$$\sigma_D \geq \sigma_{MAX} \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_k}{k} \geq \frac{M_{oMAX}}{W_o}$$
$$\frac{\sigma_k}{k} \geq \frac{M_{oMAX}}{\frac{BH^3 - bh^3}{6H}}$$
$$\frac{900 * 10^6}{1,3} \geq \frac{105469}{0,04140228667H^3}$$
$$H \geq 155mm$$

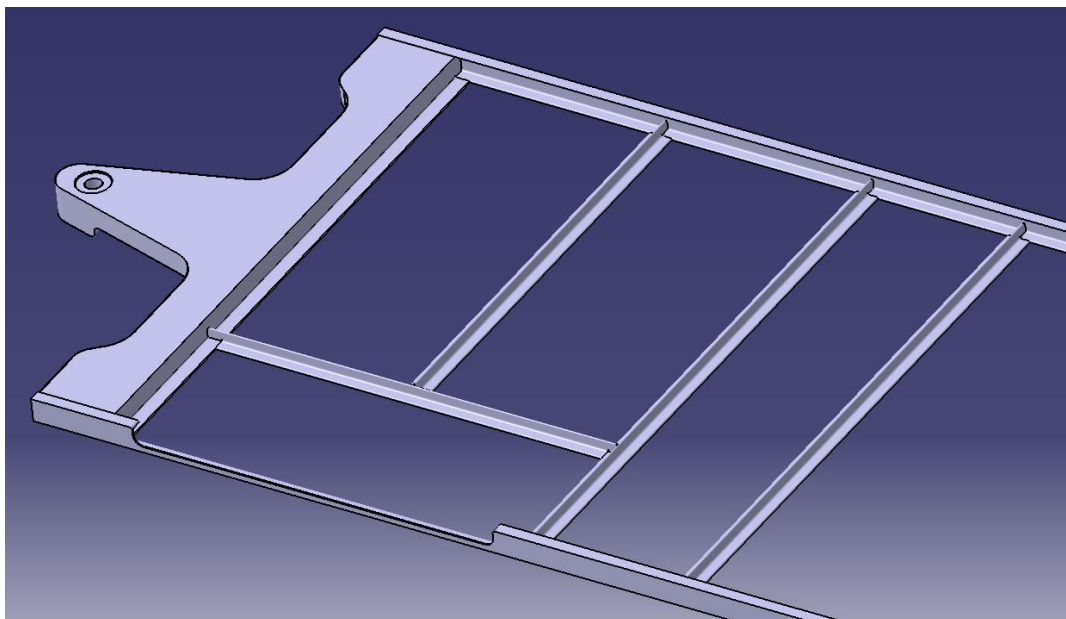
[32]

Dle výrobce zvoleno H = 160mm
h = 133mm
B = 80mm
b = 71mm

4.3 Varianta 1

4.3.1 Popis

Návrh varianty 1 spočívá v konstrukci složené z ocelového skeletu. Nejedná se o samostatný sendvič, ale o konstrukci složenou „po částech“. Zobrazená konstrukce na Obr. 4.3.1-1 je symetrická dle příčné roviny, je tedy vymodelována pouze polovina modelu. Základem jsou postranní podélníky profilu U o výšce 100 mm, šířce 50 mm a tloušťce stěny 8,5 mm navařené na tornu. Do podélníku jsou vloženy a navařeny příčné i podélně výztuhy profilu T o výšce 50 mm, šířce 90 mm a tloušťce stěny opět 8,5 mm. Tyto výztuhy slouží ke zvýšení celkové tuhosti celé konstrukce, ale především jako podpěry pro nosné rošty. Nosné rošty jsou nesený T a U profily. K těmto profilům jsou rošty nalepeny lepidlem Weld On SG300.



Obr. 4.3.1-1: Rám podlahy

Lepidlo Weld On SG300 je složením dvousložkové. Barva je bílá nebo černá. Chemická

struktura se podobá polyesterům a proto je vhodné k lepení k těmto druhům plastů. Dále nalézá uplatnění mezi plasty, kompozity a kovy.

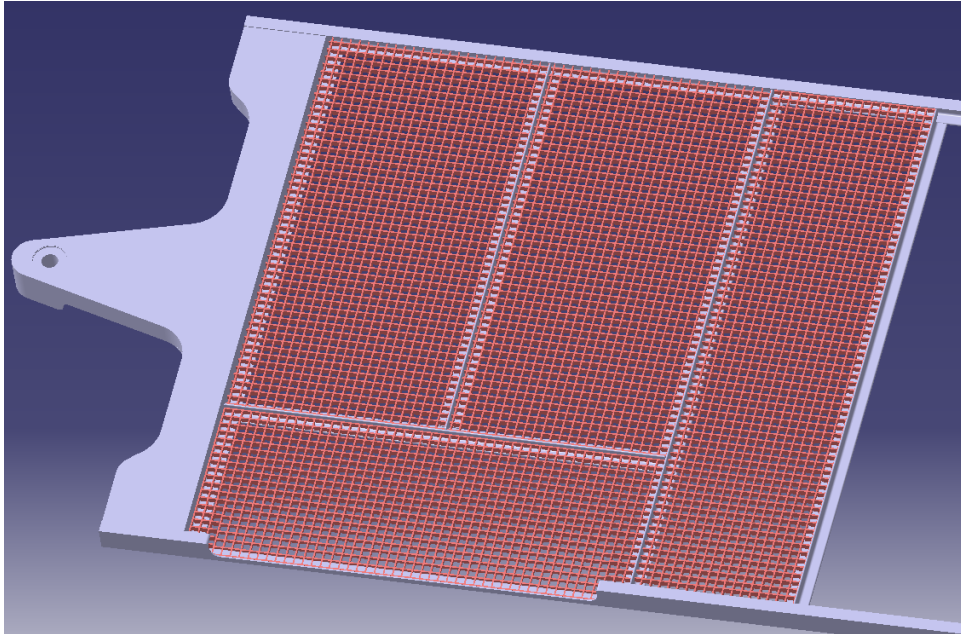
Pevnost v tahu: $14 \div 15$ MPa

Pracovní teplota: $-40 \div 82^\circ\text{C}$

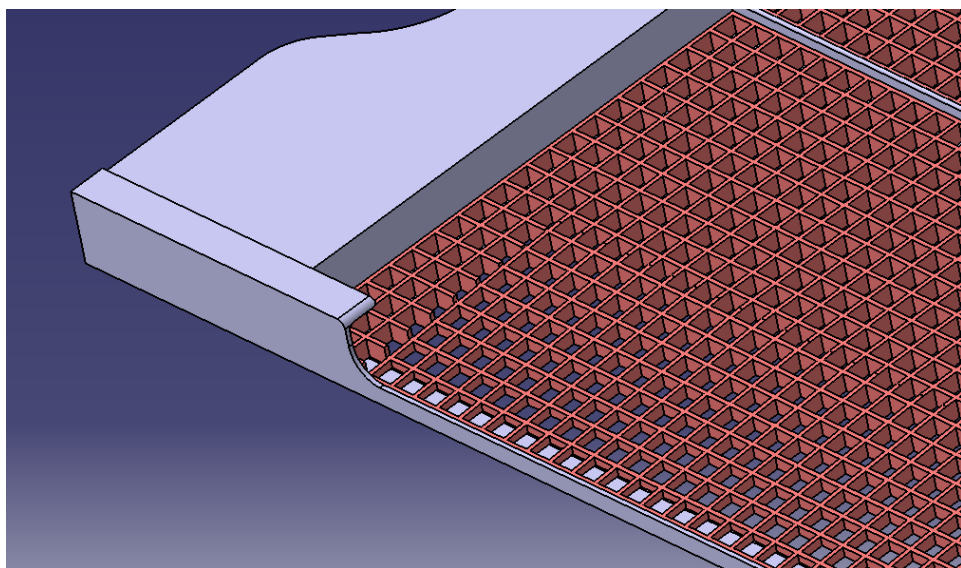
Aplikační čas: $5 \div 40$ minut

[20]

Použité rošty jsou od společnosti Prefa kompozity, a.s. Byly zvoleny rošty typu PREFAGRID.



Obr. 4.3.1-2: Nalepení roštů do T- profilů



Obr. 4.3.1-3: Detail výřezu rampy do roštu

Materiál

Jedná se o výrobky z kompozitních materiálů na bázi matrice a výztuhy. Běžně používanou matricí je polyesterová nebo vinylesterová pryskyřice a výztuhou skelná vlákna. Do pryskyřice se navíc aditivují pohlcovače UV záření. Z důvodu technologie lití je výztuha ze skelných vláken bez povrchové roušky (zvyšuje životnost) a ve tvaru rovingu, což je svazek nekonečných vláken bez zákrutu nebo s minimálním zákrutem. Už z názvu vyplývá „rovně“ tažené, mají tedy v podélném směru vysokou pevnost a tuhost. Povrch roštů je pokryt

epoxidovou vrstvou, která obsahuje zrnka křemičitého písku. Tyto pochůzné rošty z kompozitu jsou ideální náhradou za rošty kovové.

Vyrábí se technologií lití do forem. Matrice je zde zastoupena v 60%, výztuha skelnými vlákny činí 40%.

[21]

Vlastnosti kompozitních roštů

Odolnost proti agresivním vlivům prostředí

Nehořlavost až stupně A

Elektrická nevodivost a nízká tepelná vodivost

Protiskluzový povrch

Jednoduchá montáž

Nízká hmotnost

Odolnost proti rázům

Barevná stálost

Vysoká životnost

[21]

Uvedenými vlastnostmi tak vyhovuje požadavkům v kap. 2.3.1.

Důležité vlastnosti pro tento konstrukční návrh řešení

Díky čtvercovým okům je výborná nosnost v obou směrech – řešení pro přenos podélné síly a svislé síly od cestujících a vlastní hmotnosti konstrukce skříně

Možnost vyřezávání libovolných tvarů – nutný výřez pro nástupní rampu

[21]

Rozměry

Firma Prefa kompozity, a.s. dodává tyto panely nařezané na konvenční míry nebo na přání zákazníka. Avšak maximální rozměry jsou omezeny technologií a závislé na velikosti formy. Dle výrobce se tyto rozměry pohybují kolem 1,2 x 3,6 m

[21]

Uložení

Lité rošty je možné uložit na 2 podpory, nicméně je lepší využít jejich konstrukce a uložit je po obvodě a tak roznést působící síly do všech 4 podpor. Varianta 1 nabízí využití 4 podpor.

[21]

Únosnost

V Tab. 4.3.1-1 jsou uvedeny nosnosti litých roštů. Jsou zde uvedeny únosnosti [kg/m²] v závislosti na typu roštu a vzdálenosti podpěr při maximálním průhybu (L/125) = 6 mm.

Legenda: L = vzdálenost podpěr [mm]

Uvažováno je podepření na 2 podporách. V případě návrhu varianty 1 je uložení na 4 podporách – únosnost bude tedy mnohem vyšší než v uvedené tabulce.

Z důvodu požadavku nízké hmotnosti, nosnosti 5000 N/m² (cca 500 kg/m²) a konstrukčního uložení (< 700 mm) byl zvolen typ PREFAGRID 30x30/25.

Legenda: 30x30 = rozměry ok [mm]

25 = výška panelu [mm]

[21]

SPOJITÉ ZATÍŽENÍ

typ	vzdálenost podpěr (mm)							
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
PREFAGRID 30x30/25	1 450	840	530	330	210	140	90	70
PREFAGRID 30x30/30	2 780	1 610	1 010	640	400	260	180	130
PREFAGRID 30x30/38	4 270	2 470	1 550	980	610	400	270	190
PREFAGRID 44x44/50	9 010	5 220	3 290	2 060	1 290	850	580	410
PREFAGRID 30x30/60	28 830	16 680	10 510	6 600	4 120	2 700	1 850	1 300

Tab. 4.3.1-1: Nosnost roštů v závislosti na vzdálenosti podpěr

Oblasti použití

Použité kompozitní rošty mají všestranné využití prakticky ve všech průmyslových i jiných oblastech. Výrobce udává úspěšné používání ve vodárnách, vodojemech, v energetice, v dopravní technice či na koupalištích a bazénech.

[21]

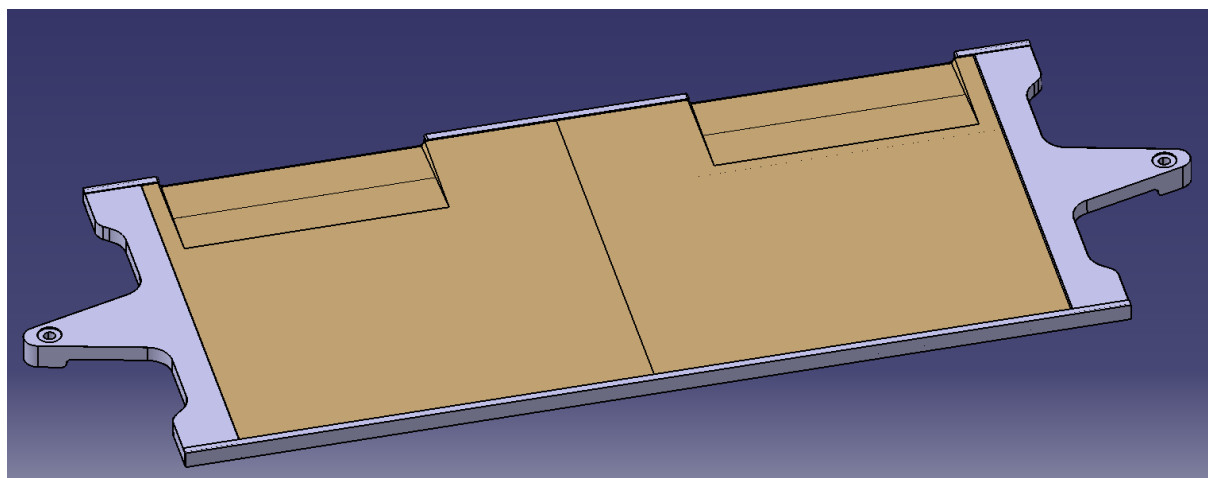
Otvory roštů jsou vyplněny polyuretanovou (PUR) pěnou, která slouží jako tepelný a akustický izolant.

PUR pěna je dvoukomponentní s převážně uzavřenou buněčnou strukturou. Široké uplatnění má v detailech konstrukcí jako výplň a izolace plošných konstrukcí a z důvodu stabilních izolačních vlastností se používá také v sendvičových panelech. Aplikuje se nástřikem nebo litím. Výhodou je její ulpívání na povrchu, díky kterému se přizpůsobí i tvarově složitým povrchům.

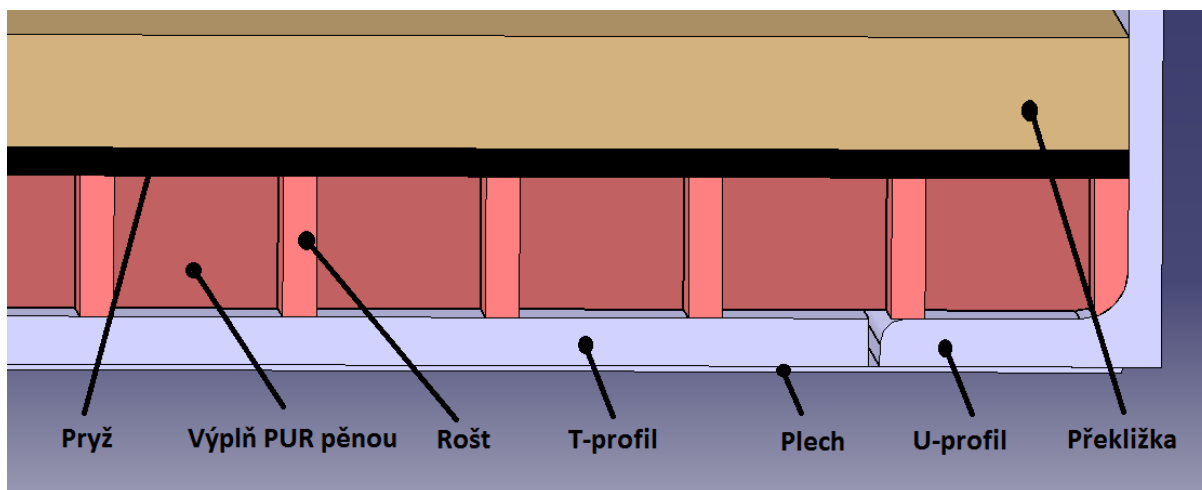
[22]

Z důvodu tlumení je jako pružící element položena na rošty pryž o tloušťce 5 mm. Celek podlahy uzavírá shora překližka Puroxit o výšce 20 mm. Deska, která je nástupcem konvenční překližky, má v sobě vyfrézované tzv. zámky – vybrání pro dosednutí překlenutých T profilů nad rošty. Deska má tímto řešením odebrány 2 rovinné stupně volnosti. Do T profilů je přišroubována šrouby s válcovou zapuštěnou hlavou a tím je zajištěno ukotvení desky i ve 3. směru. V oblasti dveří je vytvořena nástupní rampa pod úhlem 3°. Na svrchní pochozí část podlahy je nalepena 2 mm vysoká protiskluzová krytina Altro. Spodní část konstrukce uzavírá plech o tloušťce 1 mm, který je ke skeletu bodově přivařen a důkladně zatmelen. Plech slouží jako krytí před nežádoucími nečistotami a vlhkostí.

Celková konstrukční výška je 62 mm.

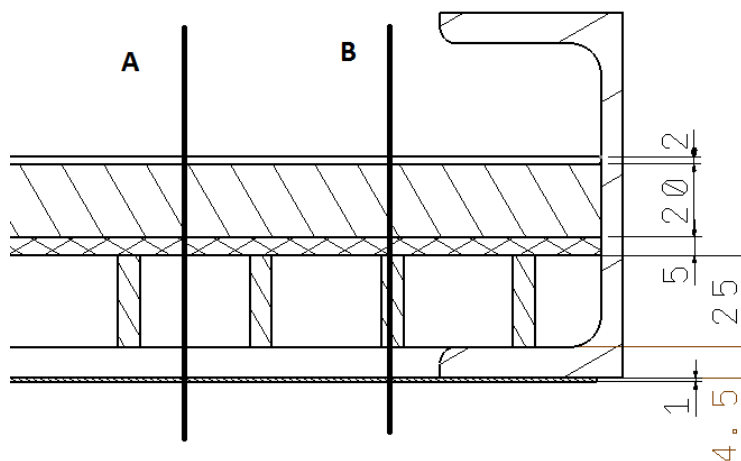


Obr. 4.3.1-4: Podlaha se spodním skeletem



Obr. 4.3.1-5: Řez variantou 1, na obrázku je vidět část profilu T

4.3.2 Prostup tepla za klidu



Obr. 4.3.2-1: Nákres s uvažovanými řezy a rozměry

Stavební prvek	Tloušťka t [mm]	Souč. tepel. vod. λ [W/mK]
Podlahová krytina Altro	2	0,16
Vodovzdorná překližka	20	0,23
Pryž	5	0,16
PUR pěna	25	0,04
Prefagrid	25	0,19
Vzduch	4,5	0,026
Ocel	1	45

Tab. 4.3.2-1: Tloušťky a tepelné vodivosti použitých materiálů

Koeficient prostupu tepla

$$k_{pA} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (1)$$

Prostup teploty je počítán ve 2 místech podlahy. V místě A, kde se vyskytuje výplň PUR pěnou a v místě B, kde je stěna kompozitu.

$$k_{pA} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \left(\frac{0,002}{0,16} + \frac{0,02}{0,23} + \frac{0,005}{0,16} + \frac{0,025}{0,04} + \frac{0,0045}{0,026} + \frac{0,001}{45}\right) + \frac{1}{23}} = 0,9 \frac{W}{m^2K}$$

$$k_{pB} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \left(\frac{0,002}{0,16} + \frac{0,02}{0,23} + \frac{0,005}{0,16} + \frac{0,025}{0,19} + \frac{0,0045}{0,026} + \frac{0,001}{45}\right) + \frac{1}{23}} = 1,6 \frac{W}{m^2K}$$

Vnější povrch vozové skříně $\alpha_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$
Vnitřní povrch podlahy $\alpha_i = 6,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

I přes fakt, že místo A zabírá mnohonásobně větší oblast, budeme brát v úvahu místo B z důvodu méně příznivých výsledků koeficientu prostupu tepla.

[7]

Ztráta prostupem tepla za klidu

Pro jednoduchost je zvolen obdélníkový obrazec podlahy bez rohových radiusů nebo s vyvýšením pro sedadla.

Plocha podlahy

$$S_p = 2,5 * 5,5 = 13,75 \text{ m}^2$$

Vnitřní teplota zvolena $t_i = 22^\circ\text{C}$
Vnější teplota dle průměrné roční teploty v ČR $t_e = 7^\circ\text{C}$

[33]

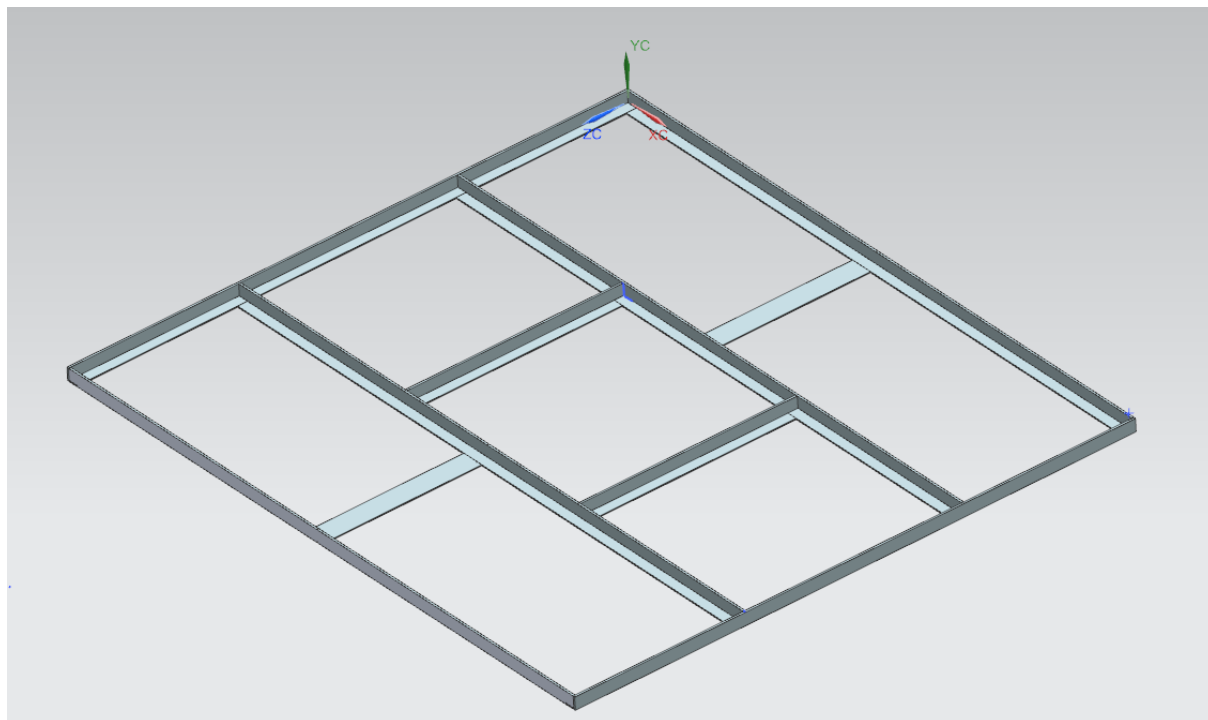
$$\begin{aligned} Q_p &= \sum k_{pB} * S_p * (t_i - t_e) \quad (2) \\ Q_p &= 1,6 * 13,75 * (22 - 7) \\ Q_p &= 330 \text{ W} \end{aligned}$$

[7]

4.4 Varianta 2

4.4.1 Popis

Druhá varianta je sendvič samonosné podlahy vložené přímo do skeletu vozidla. Základem je rámeček do sebe zapadajících L profilů o velikosti ramen 55 mm a tloušťce ramena 4,6 mm, které jsou svařeny koutovými svary. Příčné i podélné profily jsou, jako v předchozí variantě, profilu T. Na delších úsecích byla navržena ještě příčná vzpěra ve formě ploché tyče o šířce 662 mm a výšce 4,6 mm, která je k T profilům bodově přivařena. Příčníky a podélníky rozdělují rámeček symetricky dle 2 rovin.



Obr. 4.4.1-1: Základní rám sendviče

Do každého úseku je vložena pryž, jejíž úkolem je tlumení dynamických účinků z vnějšího prostředí do podlahy a především k zabránění vstupu nečistot a vlhkosti dovnitř do sendviče. Jako hlavní nosné prvky byly navrženy trapézové plechy od firmy Satjam, s. r. o., která působí na trhu od roku 1995 jako dodavatel kovových lehkých střešních krytin, trapézových plechů, okapových systémů a vhodných příslušenství k těmto systémům.

[23]

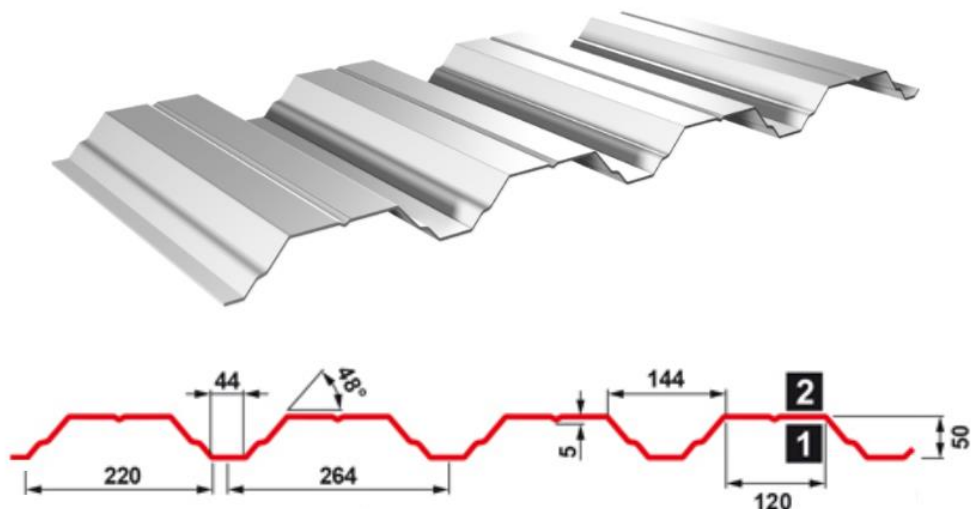
Materiál

Společnost Satjam vyrábí trapézové ocelové plechy zároveň pokovené vrstvou zinku nebo aluzinku. Plechy je možné dodat s antikondenzační úpravou nebo perforované. Perforace plechů, z důvodu požadovaného akustického tlumení a snížení hmotnosti samotného plechu, byla v počátečním návrhu uvažována, avšak z důvodu nižší pevnosti a nepřenesení spojitého zatížení, bylo od tohoto řešení odstoupeno. Nabídka trapézových plechů je rozdělena do 3 typů – střešní, stěnové, konstrukční. Byl zvolen konstrukční typ T50 P/264 o výšce 50 mm a tloušťce plechu 0,5 mm. Materiál plechu je S320GD + Z200.

[23]

Rozměry

T50 P konstrukční – VARIANTA A



Obr. 4.4.1-2: Zvolený konstrukční typ trapézového plechu

Únosnost

T50 P/264

Prostý nosník

P POZITIV

Tloušťka mm	Vlastní tíha kN/m ²	I _y [cm ⁴] (min/max)		Přípustné rovnoměrné zatížení v kN/m ² při vzdálenosti podpor L													
				1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
0,50	0,045	15,02 19,73	1 q _d	5,71	4,57	3,81	3,27	2,86	2,49	2,01	1,66	1,40	1,19	1,03	0,89	0,79	
			2 l/150	5,71	4,57	3,81	3,05	2,22	1,64	1,22	0,93	0,73	0,58	0,47	0,39	0,32	
			3 l/200	5,71	4,57	3,59	2,50	1,77	1,30	0,96	0,74	0,57	0,45	0,36	0,30	0,25	
			4 l/300	5,71	4,24	2,70	1,81	1,27	0,91	0,67	0,50	0,39	0,31	0,25	0,20	0,17	

Obr. 4.4.1-3: Přípustné rovnoměrné zatížení plechu

Vlastnosti

Nevýhodou tohoto profilu je velká konstrukční výška (50 mm). Na druhou stranu, výhodou je nižší hmotnost při zvolení tloušťky plechu 0,5 mm, která přenesne požadované spojité zatížení. Využita byla možná výplň vzduchových mezer mezi stěnami profilu minerální kamennou vlnou, která má za cíl zajistit tepelnou pohodu uvnitř vozidla v zimních i letních měsících, dále přispívá k vyšší vzduchové neprůzvučnosti podlahového sendviče. Jedná se o rozvlákněný materiál, jehož výhodou je i aplikace do tvarově složitých konstrukcí při zachování výborných protipožárních vlastností. Tyto výborné tepelné a akustické vlastnosti jsou dány jejich hlavní složkou, kterou je čedič. Ten se taví s koksem a vzniklá roztavená hmota se po rozvláknění spojí se silikonovým olejem. U kamenné vlny se nedaří ani plísním či bakteriím.

[23], [24]

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,040$ W/mK

Objemová hmotnost: $\rho = 30$ kg/m³

Třída reakce na oheň: A1

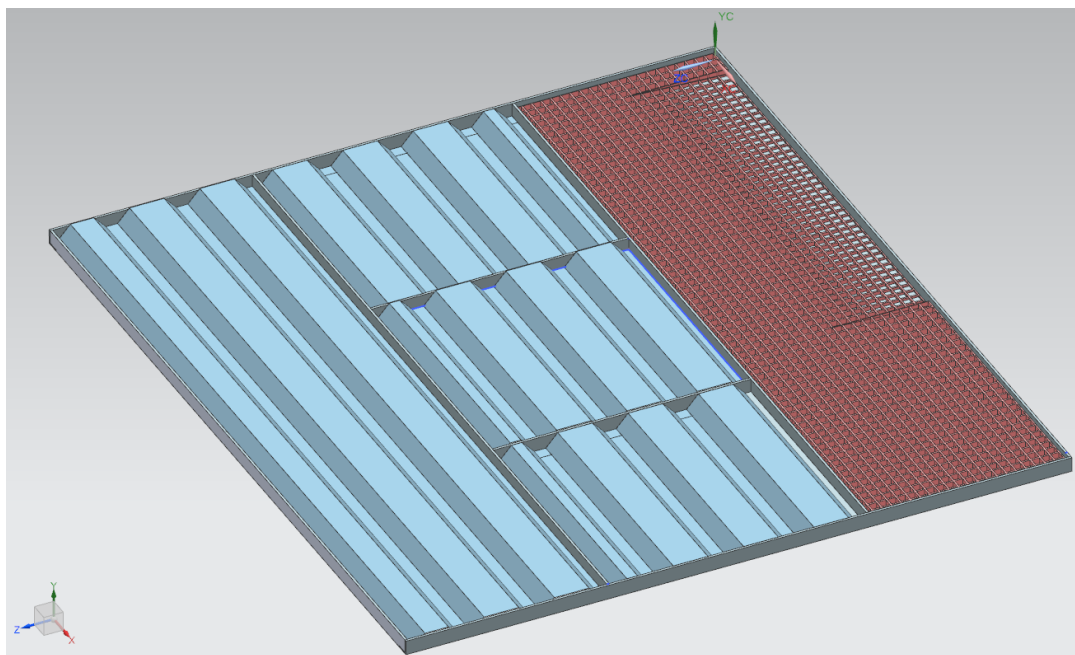
[24]

Výplň dodá firma Knauf Insulation dle požadovaných rozměrů.

[25]



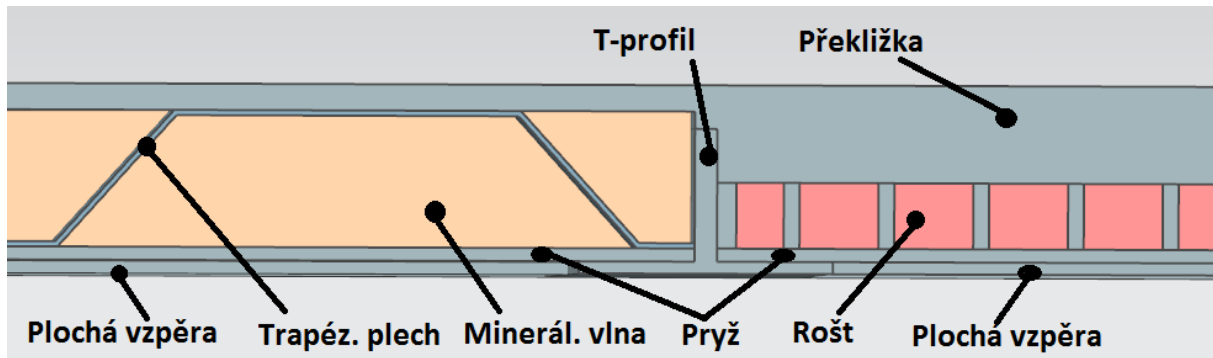
Obr. 4.4.1-4: Výplň kamennou minerální vlnou



Obr. 4.4.1-5: Trapézové plechy vložené do sendviče s vstupním roštem

Jako v předchozí variantě byl do vstupního/výstupního úseku zvolen kompozitový rošt od firmy Prefagrid kvůli své výhodné vlastnosti – vyřezání vstupní rampy. Do tohoto úseku nemohl být použit trapézový plech.

Plechys jsou skrze pryž přišroubovány do nosných profilů. Na plechy je položena a přišroubována vodovzdorná překližka s nalepenou vrchní protiskluzovou krytinou Altro.

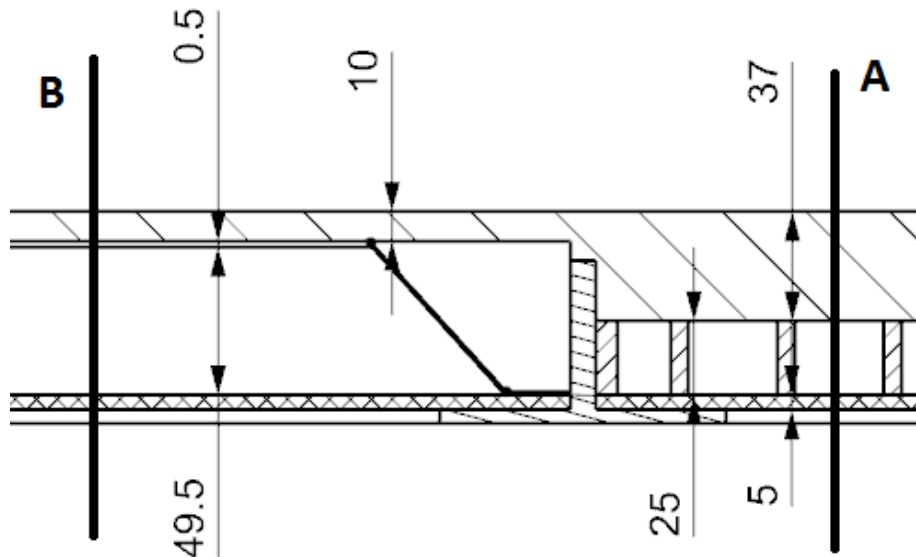


Obr. 4.4.1-6: Řez variantou 2

Celková konstrukční výška je u této varianty 83 mm.

Z důvodu převzetí podélné síly skeletem skříňe, je sendvič počítán pouze na svislou sílu 5000 N/m² od cestujících.

4.4.2 Prostup tepla za klidu



Obr. 4.4.2-1: Nákres s uvažovanými řezy a rozměry

Stavební prvek	Tloušťka t [mm]	Souč. tepel. vod. λ [W/mK]
Podlahová krytina Altro	2	0,16
Vodovzdorná překližka	37 (A); 20 (B)	0,23
Pryž	5	0,16
PUR pěna	25	0,04
Minerální vlna	49,5	0,04
Ocel	0,5	45

Tab. 4.4.2-1: Tloušťky a tepelné vodivosti použitých materiálů

Koeficient prostupu tepla

$$k_{pA} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (1)$$

Prostup teploty je počítán ve 2 místech podlahy. V místě A, která je vstupní a vyskytuje se zde výplň PUR pěnou a v místě B, kde je trapézový plech vyplněn minerální vlnou.

Vstupní část (A)

$$k_{pA} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \left(\frac{0,002}{0,16} + \frac{0,037}{0,23} + \frac{0,025}{0,04} + \frac{0,005}{0,16}\right) + \frac{1}{23}} = 1 \frac{W}{m^2K}$$

Zbylá část plochy (B)

$$k_{pB} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \left(\frac{0,002}{0,16} + \frac{0,01}{0,23} + \frac{0,0005}{45} + \frac{0,0495}{0,04} + \frac{0,005}{0,16}\right) + \frac{1}{23}} = 0,66 \frac{W}{m^2K}$$

Vnější povrch vozové skříně $\alpha_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vnitřní povrch podlahy $\alpha_i = 6,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

[7]

Ztráta prostupem tepla za klidu

Pro jednoduchost je zvolen obdélníkový obrazec podlahy bez rohových radiusů nebo s vyvýšením pro sedadla.

Plocha podlahy

$$S_{pA} = 0,75 * 2,733 = 2,05 \text{ m}^2$$

$$S_{pB} = 13,75 - 2,05 = 11,7 \text{ m}^2$$

Vnitřní teplota zvolena

$$t_i = 22^\circ\text{C}$$

Vnější teplota dle průměrné roční teploty v ČR

$$t_e = 7^\circ\text{C}$$

[33]

Vstupní část (A)

$$Q_{pA} = \sum k_{pA} * S_{pA} * (t_i - t_e) \quad (2)$$

$$Q_{pA} = 1 * 2,05 * (22 - 7)$$

$$Q_{pA} = 30,75 \text{ W}$$

Zbylá část plochy (B)

$$Q_{pB} = \sum k_{pB} * S_{pB} * (t_i - t_e) \quad (2)$$

$$Q_{pB} = 0,66 * 11,7 * (22 - 7)$$

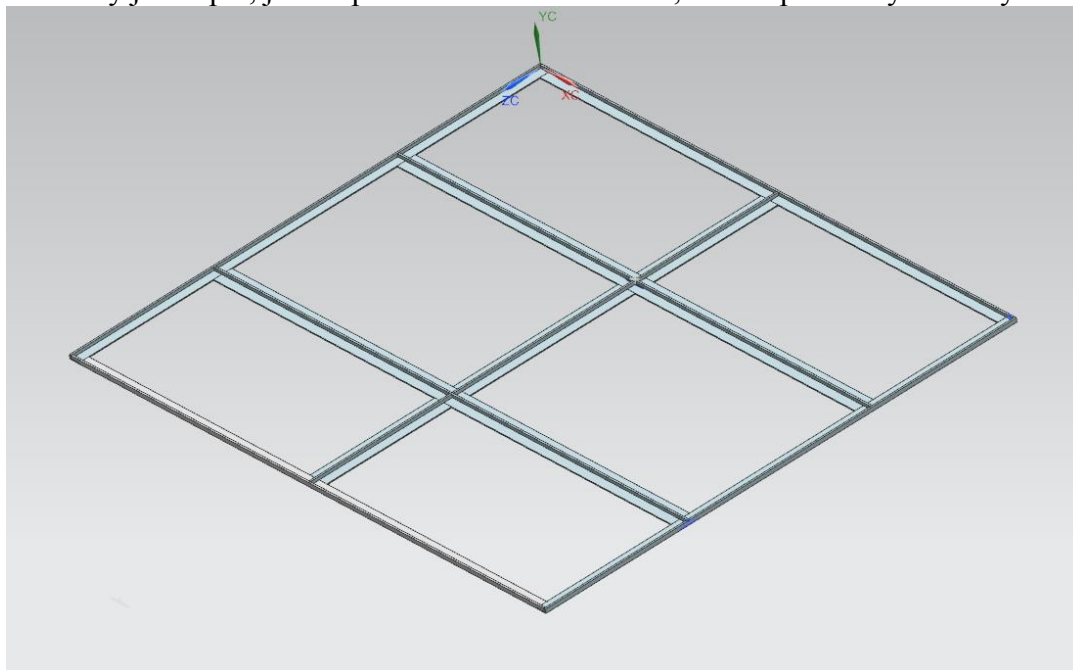
$$Q_{pB} = 115,83 \text{ W}$$

[7]

4.5 Varianta 3

4.5.1 Popis

Varianta 3 je, ve srovnání s předchozími 2 variantami a variantou konvenční, nejnižší. Celková konstrukční výška činí pouze 55 mm. Rám sendviče tvoří nízké L profily s délkou ramen 44 mm a 30 mm, o tloušťce stěny 4,6 mm. Vnitřní stavbu rámu doplňují T profily, jejichž ramena jsou nosnými prvky a zároveň slouží jako prvky k vyztužení sendviče proti působícímu svislému spojitému zatížení a dalším případným silám v příčném a podélném směru. Profily jsou opět, jako v předchozích 2 variantách, k sobě přivařeny koutovými svary.



Obr. 4.5.1-1: Rozvržení rámu varianty 3

Materiál

Vnitřní nosnou strukturu podlahového sendviče tvoří hliníkové vlnité plechy od společnosti Metawell. Tento německý výrobce působí na trhu přes 30 let a zabývá se výrobou a prodejem sendvičových panelů a tzv. „lightweight“ komponentů. Vedle klasických systémů tvořených vlnitým jádrem krytým plechem z každé strany, nabízí tato společnost i speciální řešení přidáním korkové či pěnové vrstvy. V této variantě bylo toto speciální řešení využito a byla zvolena struktura s korkovým jádrem o výšce 20 mm.

[26]

Použití

Metawell nachází celosvětově uplatnění ve všech složkách dopravní techniky napříč kolejových vozidel, lodní dopravy či automotive. Dále jako prvky budov – stropy, fasády, interiéry nebo pochozí prvky hal.

[26]

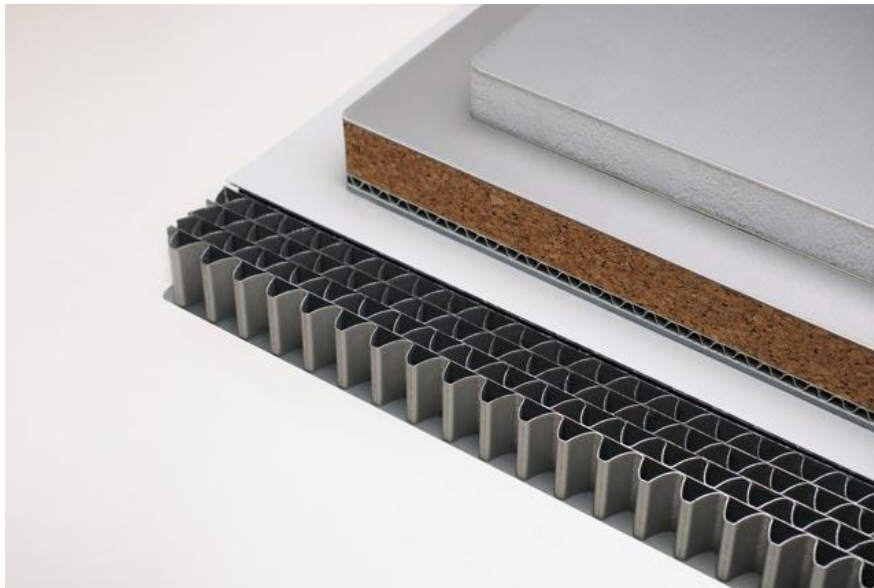
Vlastnosti

Korek má rozmanité použití díky tepelným a výborným hlukovým vlastnostem. Je pružný a velmi lehký, důležitým faktorem je tvarová stálost, nedochází tedy ke smršťování nebo rozpínání po celou jeho provozní životnosti. Odolává poměrně vysokým teplotám (až kolem 120°C). Z hlediska požární odolnosti je řazen do skupiny B1, hořlavost lze ale značně omezit přísadou vodního skla. Je odolný vůči vlivům plísní a hub. V dnešní době nachází použití především ve výrobě zátek nebo podlahových krytin a jelikož se jedná o přírodní materiál, je 100% recyklovatelný.

[27], [28]

Součinitel tepelné vodivosti: $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$
Hustota: $\rho = 480 \text{ kg/m}^3$

[27]



Obr. 4.5.1-2: Speciální řešení nabízející firma Metawell

Z nabídky možných řešení společnosti Metawell byl zvolen typ hliníkového vlnitého panelu ALU hl 10-03-10 hl/H6 (viz Obr. 4.5.1-3), který má vysokou pevnost tlaku a výrobcem je přímo doporučený na použití podlah. Tloušťka postranních plechů je 1 mm a celková výška tohoto panelu bez korku pouze $6 \pm 0,2 \text{ mm}$. Hmotnost je také přijatelná a to $6,9 \text{ kg/m}^2$. Firma tyto produkty prodává pod stejnojmenným obchodním názvem Metawell®. Dle slov výrobce se jedná o velmi lehký a extrémně tuhý sendvičový panel. [29]. Vlastní hmotnost je snížena díky použití hliníkového materiálu, který má výbornou odolnost proti korozi. Úspora hmotnosti je znát především při použití na velké plochy. Obrobitelnost hliníku závisí především na obsahu křemíku, který je abrazivní a náročný na trvanlivost a životnost nástroje. Nevýhodou je vysoká tepelná vodivost materiálu.

Tepelná vodivost: $\lambda = 237 \text{ W/mK}$
Hustota: $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$

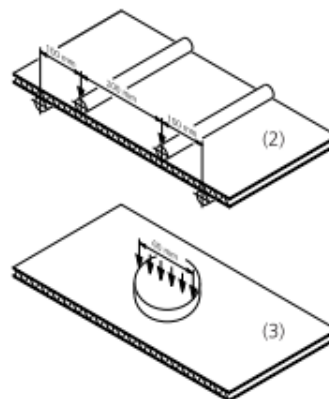
[30]

Rozměry a únosnost

High compressive strength
ideal for floors



Panel type	Alu hl 10-03-10 hl / H6	
Top cover sheet		
Thickness of sheet	1.0 mm	(US: 0.039 in)
Surface	primered	
Alloy / Condition	EN AW-5754 H48	
Proof stress $R_{p0.2}$ [N/mm ²]	≥ 220	
Tensile stress R_m [N/mm ²]	≥ 280	
Back cover sheet		
Thickness of sheet	1.0 mm	(US: 0.039 in)
Surface	primered	
Alloy / Condition	EN AW-5754 H48	
Proof stress $R_{p0.2}$ [N/mm ²]	≥ 220	
Tensile stress R_m [N/mm ²]	≥ 280	
Dimensions		
Overall thickness [mm]*	6 ± 0.2	(US: 0.236 in ± 0.008 in)
Standard width [mm]*	1,500 -0/+6 ⁽⁴⁾	(US: 4.92 ft -0/+0.236 in) ⁽⁴⁾
Standard length [mm]*	3,000 -0/+6	(US: 9.84 ft -0/+0.236 in)
* other dimensions on request		
Mechanical and physical properties ⁽⁷⁾		
Weight [kg/m ²]	6.9	
Rigidity [Nmm ² /mm] ⁽²⁾ E I/b, longitudinal / transverse	1.1 E+6 / 1.0 E+6	
Bending moment [Nmm/mm] ⁽²⁾ Limit of elasticity M_e , longitudinal / transverse	≥ 1,000 / ≥ 900	
Max. bending moment M_{max} , longitudinal / transverse	≥ 1,250 / ≥ 1,000	
Compressive strength [N/mm ²] ⁽³⁾	≥ 12	
Temperature stability ⁽⁶⁾	-40 to 100 °C (US: -40 to 212 °F)	
Approvals / Certificates	on request	



Alu hl 10-03-10 hl / H6

Obr. 4.5.1-3: Technické informace o zvoleném typu produktu Metawell®

Přestože je hliníkové jádro k plechům lepeno za velmi vysokých teplot, nesmí docházet k tečení žádné složky materiálu. V tomto případě systém Metawell® garantuje vysokou chemickou, fyzikální a teplotní konzistenci. Statická i dynamická tuhost sendviče je dána vlnitou strukturou jádra.

[29]

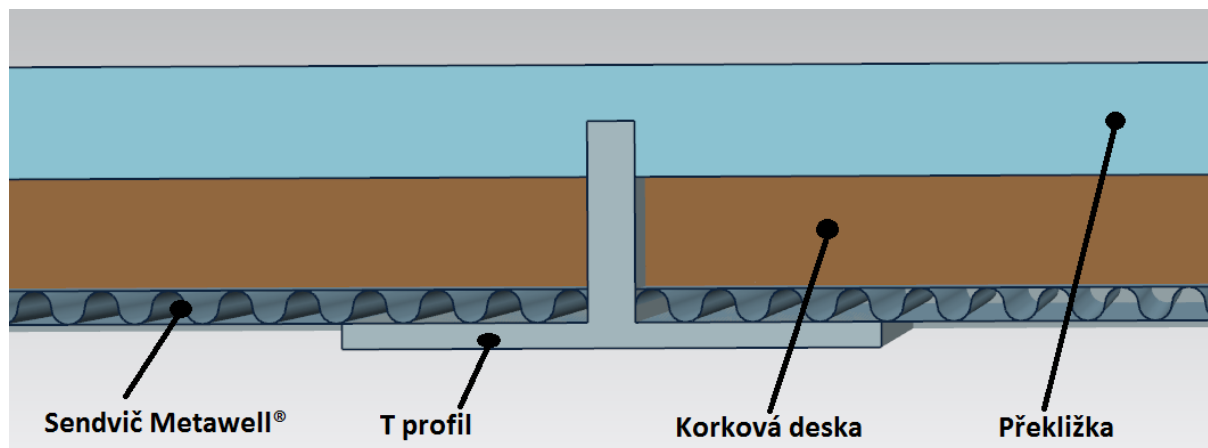
Uložení

Hliníkový panel je nesen pomocí 4 podpěr tvořených L a T profily. Na tyto profily je sendvič lepen a ze spodní strany konstrukce samonosné podlahy řádně vytmelen. Tmel musí být v místech rozhraní mezi sendvičem a podporami. Zvolený tmel je značky Bostik a je nezbytný, aby se dovnitř sendviče nedostávaly nečistoty a hlavně vlhkost, která je příčinou ke

tvorbě plísním a dalším nežádoucím mikroorganismům.

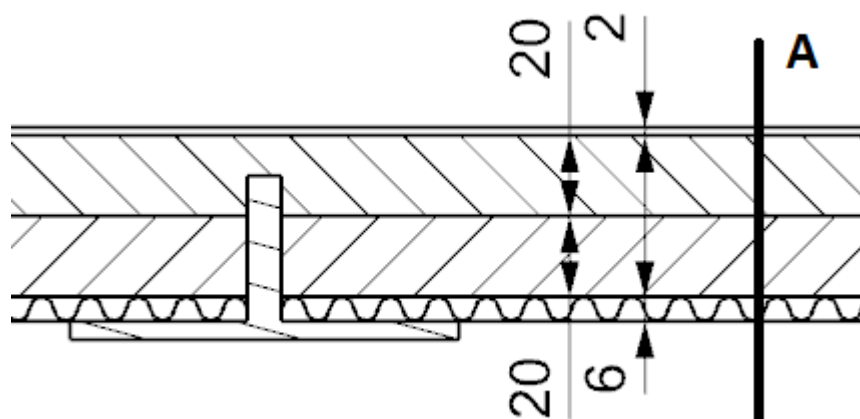
[31]

Na vrstvu korku je položena překližka o výšce 20 mm. V překližce, jako ve variantě 1, jsou vyfrézovány zámky pro zajištění polohy překližky ve 2 směrech. Do zámků zapadají překlenuté T profily. K těmto profilům jsou překližky přišroubovány pomocí šroubů se zapuštěnou válcovou hlavou. Svrchní povrch překližky je opět přelepen krytinou Altro.



Obr. 4.5.1-4: Řez variantou 3

4.5.2 Prostup tepla za klidu



Obr. 4.5.2-1: Nákres s uvažovaným řezem a rozměry

Stavební prvek	Tloušťka t [mm]	Souč. tepel. vod. λ [W/mK]
Podlahová krytina Altro	2	0,16
Vodovzdorná překližka	20	0,23
Korek	20	0,04
Hliník	2,5	237
Vzduch	3,5	0,026

Tab. 4.5.2-1: Tloušťky a tepelné vodivosti použitých materiálů

Koeficient prostupu tepla

$$k_{pA} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (1)$$

Koeficient prostupu tepla je počítán v řezu A

$$k_{pA} = \frac{1}{\frac{1}{6,9} + \left(\frac{0,002}{0,16} + \frac{0,02}{0,23} + \frac{0,02}{0,04} + \frac{0,0025}{237} + \frac{0,0035}{0,026} \right) + \frac{1}{23}} = 1,08 \frac{W}{m^2K}$$

Vnější povrch vozové skříně $\alpha_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$
Vnitřní povrch podlahy $\alpha_i = 6,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

[7]

Ztráta prostupem tepla za klidu

Pro jednoduchost je zvolen obdélníkový obrazec podlahy bez rohových radiusů nebo s vyvýšením pro sedadla.

Plocha podlahy

$$S_{pA} = 2,5 * 5,5 = 13,75 \text{ m}^2$$

Vnitřní teplota zvolena

$$t_i = 22^\circ\text{C}$$

Vnější teplota dle průměrné roční teploty v ČR

$$t_e = 7^\circ\text{C}$$

[33]

$$Q_{pA} = \sum k_{pA} * S_{pA} * (t_i - t_e) \quad (2)$$

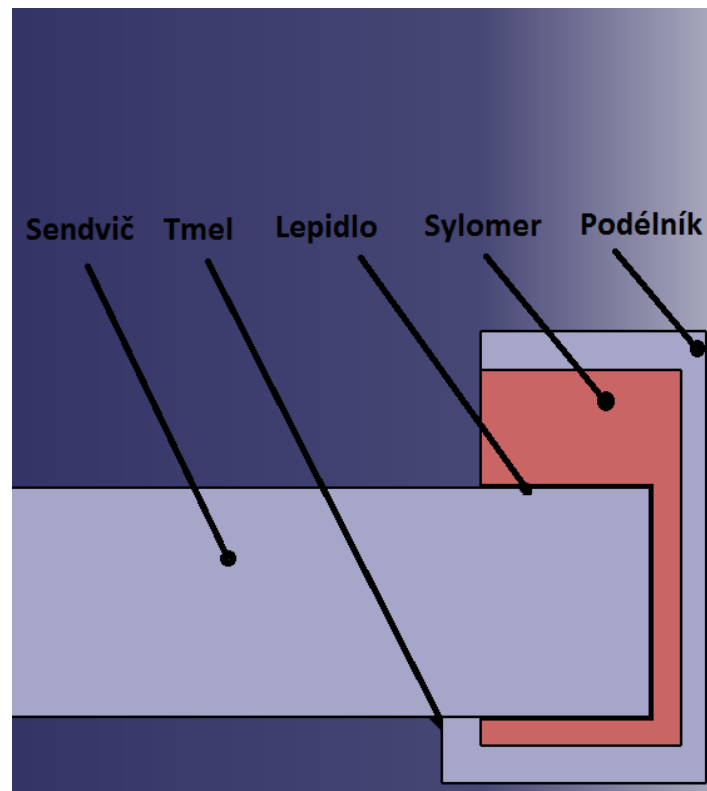
$$Q_{pA} = 1,08 * 13,75 * (22 - 7)$$

$$Q_{pA} = 222,75 \text{ W}$$

[7]

4.6 Uložení sendviče

Sendvič bude uložen do nadimenzovaných podélníků o tvaru U (viz 4.2.1). Podélník bude vyvločkován odpruženými segmenty – sylomery od společnosti Pyrotek [34]. Sendvič bude do sylomerů uložen s přesahem a přilepen lepidlem, použitým ve variantě 1, Weld On SG300. U profil obsahuje krytí, které slouží jako zámek pro sylomer a jako ochrana před nečistotami. Spára mezi podlahovým sendvičem a krytím musí být zatmelena. K tomu je použit opět tmel značky Bostik.



Obr. 4.6-1: Uchycení podlahového sendviče

4.7 Přípravek pro montáž podlahového systému

Pro vložení sendviče do skeletu podlahy je využito manipulační zařízení (přípravek) od firmy Innides typ UHE60.



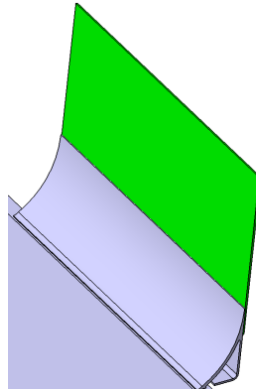
Obr. 4.7-1: Manipulační zařízení k uložení sendviče

4.8 Rozhraní mezi podlahou a bočnicí

U všech navržených variant bude použit na rozhraní mezi podlahou a bočnicí okopový díl. Okopový díl má význam z hlediska zakrytí vzniklého ostrého rohu vytvořením rádiusu. Dalším důvodem použití jsou estetické záležitosti.

Profil – protahovaný

Okopový díl je tvořen protlačeným profilem a plechem na zadní straně. Profil bude lepen (další možností je šroubovat do podlahy)



Obr. 4.8-1: Ukázka okopového dílu

Použitý materiál: Termoplast – lehký a stálý
Další možný materiál: Hliník – bez povrchové úpravy degradují ve vlhkém prostředí mechanické vlastnosti. Hmotnost je vyšší než u termoplastu a proto nebude tento materiál uvažován.

Výhody: Jednoduchá výroba
Tolerance (všechny rádiusy jsou stejné)
Možnost lepení
Přesnost a kvalita povrchu
Hmotnost
Nevýhody: Cena

4.9 Servis a údržba

Údržba a servis	
Podlahová deska	Údržba není, pouze kontrola těsnosti tmelu ze spodní strany desky
Podlahová krytina	Strojní mytí podlahy. Vizuální kontrola – poškození/výměna
Okopový plech	Kontrola stavu/výměna

5 Pevnostní výpočty pomocí analýzy FEM

Metoda konečných prvků (MKP; FEM) byla použita pomocí softwaru Siemens NX 11.0. Typ řešení je pro statické úlohy SOL 101, pro modální úlohy SOL 103.

5.1 Varianta 1

Jedná se o variantu s rošty typu Prefagrid. Jelikož tato varianta nezahrnuje sendvič a je z hlediska montáže stavěna „per partes“, celá podlaha se účastní přenosu podélné síly. Tato varianta je tedy počítána na podélnou sílu a dále na svislou sílu od cestujících.

Model pro výpočet je z výpočetních důvodů zjednodušen – nevyskytují se zde rádiusy v místech kontaktů (vnitřní rohy). Výpočtový model obsahuje nosné profily a rošty. Zbylé komponenty (PUR pěna, pryž, překližka) jsou zanedbány. Roli zde hrají 2 materiály. Z ocele jsou použity nosné T – profily a torna (geometrie převzata z konvenční varianty Škoda Transportation). Ocelové profily jsou k sobě svařeny a na jejich nosné strany přilepeny rošty, které jsou z kompozitu.

Sít'ování

Na ocelové profily byl zvolen 3D element typu CTETRA s meziuzly o velikosti 25,6 mm. Kompozity byly nasít'ovány taženou sít'í s elementem typu CHEXA opět s meziuzly.

Materiál

Ocel

Hustota = 7 850 kg/m³

Youngův modul pružnosti = závislý na teplotě (při 20°C cca 210 000 MPa)

Poissonova konstanta = závislá na teplotě (při 20°C cca 0,3)

Kompozit

Jedná se o pravoúhlé kladení skelných vláken v epoxidové pryskyřici. Tloušťka jednoho vlákna činí 0,5 mm a tvoří 40% složení kompozitu. Vlákná jsou zalita epoxydovou pryskyřicí, jejíž zastoupení je 60%.

Smykové napětí pro spojování: 52 MPa

Teorie selhání vrstvy: Maximální napětí

Epoxidová pryskyřice

Hustota = 3 000 MPa

Poissonova konstanta = 0.37

Skelná vlákna (ortotropní materiál)

Hustota = 2540 kg/m³

Youngův modul pružnosti (E1) = 5200 MPa

Youngův modul pružnosti (E2) = 3900 MPa

Youngův modul pružnosti (E3) = 3900 MPa

Poissonova konstanta (μ_1) = 0,27

Poissonova konstanta (μ_2) = 0.32

Poissonova konstanta (μ_3) = 0.27

Smykový modul (G1) = 2500 MPa

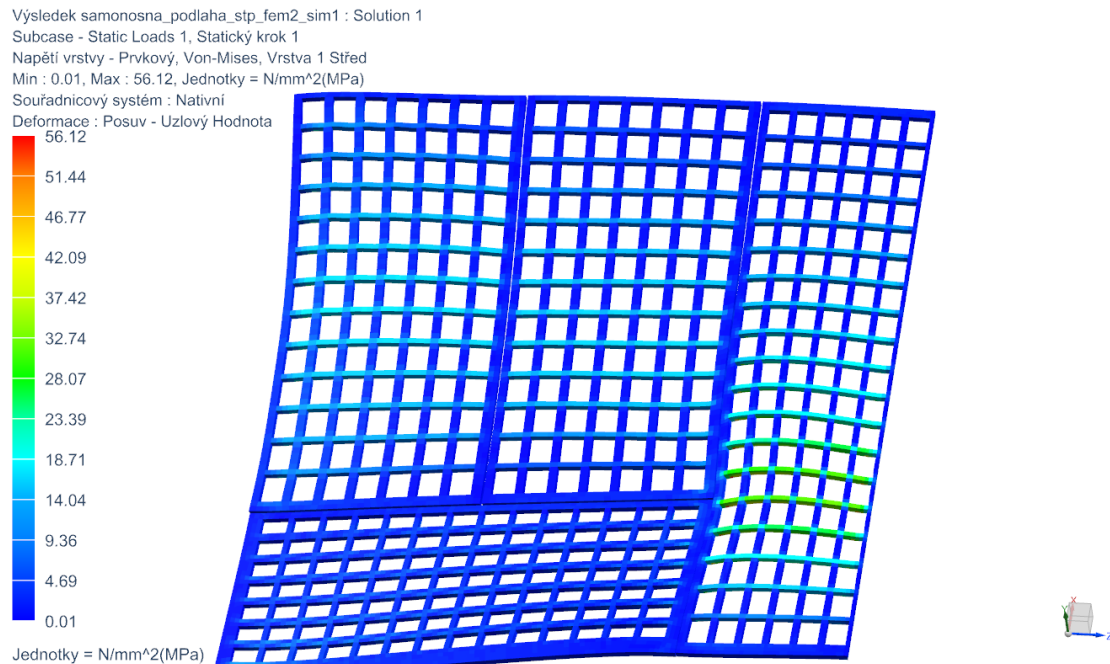
Smykový modul (G2) = 2000 MPa

Smykový modul (G3) = 2000 MPa

5.1.1 Podélná síla

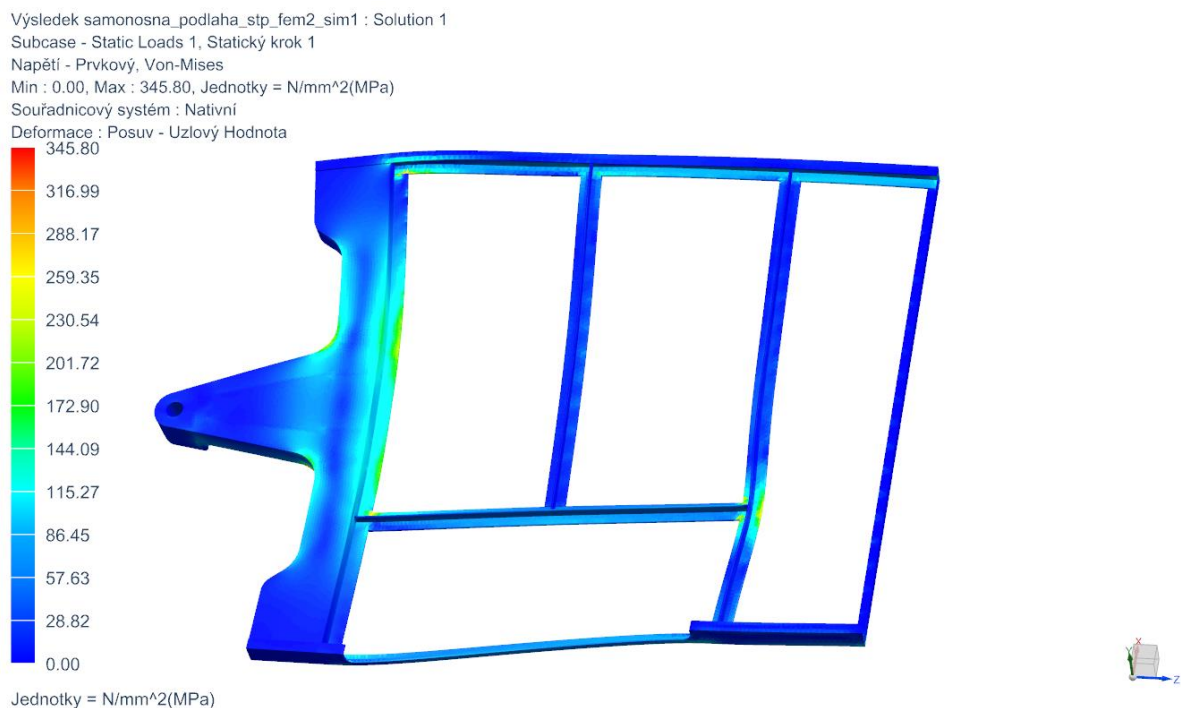
Při výpočtu působení podélné síly byla využita symetrie sestavy. Tím se snížil celkový výpočetní čas. Dle normy ČSN 12 660-1 je uvažována podélná síla působící na podlahu 200 kN.

Napětí kompozitních roštů

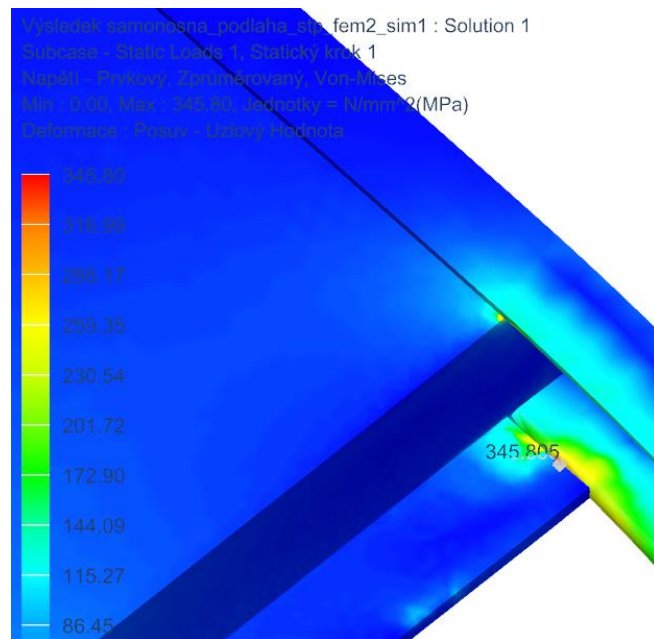


Obr. 5.1.1-1: Napětí přenesené do kompozitních roštů

Napětí skeletu podlahy



Obr. 5.1.1-2: Napětí ve skeletu podlahy



Obr. 5.1.1-3 Detail na maximální redukované napětí dle HMH

Maximální napětí je ve spojení mezi tornou a podélníkem a činí 345,805 MPa (viz Obr. 5.1.1-3). Toto napětí je způsobeno díky ostrému přechodu (koncentrátor napětí) a je lokálního charakteru – nachází se na malé oblasti a lze předpokládat, že v tomto místě dojde ke zplastizování.

Výpočet bezpečnosti k

$$k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red}} \quad (1)$$

a) vysokopevnostní ocel ($R_e = 900$ MPa)

$$k = \frac{900}{317}$$

$$k = 2,84$$

b) konstrukční ocel ČSN 12041 ($R_e = 400$ MPa)

$$k = \frac{400}{317}$$

$$k = 1,26$$

Deformace

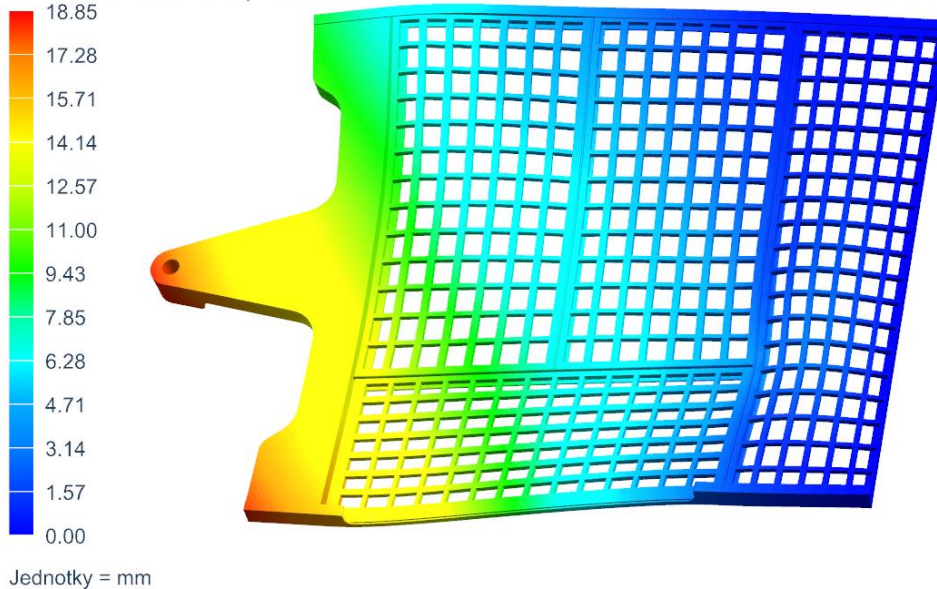
Výsledek samonosna_podlaha_stp_fem2_sim1 : Solution 1

Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1

Posuv - Uzlový, Hodnota

Min : 0.00, Max : 18.85, Jednotky = mm

Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota



Obr. 5.1.1-3: Deformace sestavy podlahy

Výsledkem je maximální deformace 18,85 mm, která se nachází v místě torny.

5.1.2 Svislé spojité zatížení

Z důvodu hlavní funkce podlahy, kterou je bezpečný transport cestujících, je společností Škoda Transportation a.s. kladen požadavek přenosu spojitého zatížení 5000 N/m^2 při průhybu do 10 mm.

Napětí roštů Prefagrid

Výsledek samonosna_podlaha_stp_fem2_sim1 : Solution 1

Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1

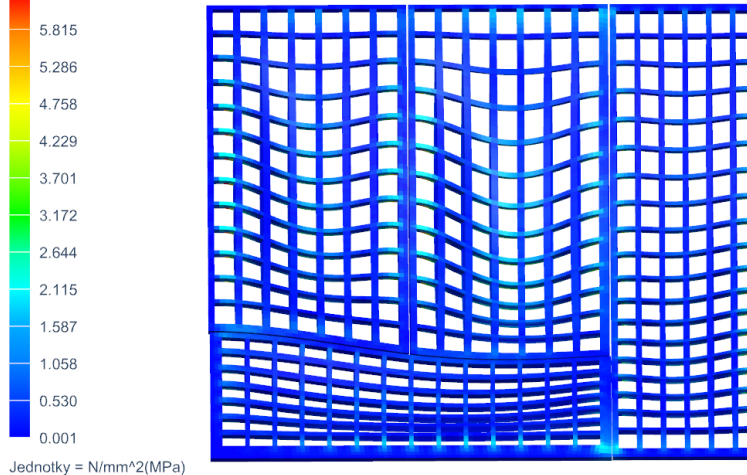
Napětí vrstvy - Prvkový, Von-Mises, Vrstva 1 Sřřed

Min : 0.001, Max : 6.343, Jednotky = N/mm²(MPa)

Souřadnicový systém : Nativní

Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota

6.343



Obr. 5.1.2-1: Napětí v roštích Prefagrid

Napětí skeletu podlahy

Výsledek samonosna_podlaha_stp_fem2_sim1 : Solution 1

Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1

Napětí - Prvkový, Von-Mises

Min : 0.00, Max : 190.18, Jednotky = N/mm²(MPa)

Souřadnicový systém : Nativní

Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota

190.18

174.33

158.49

142.64

126.79

110.94

95.09

79.24

63.39

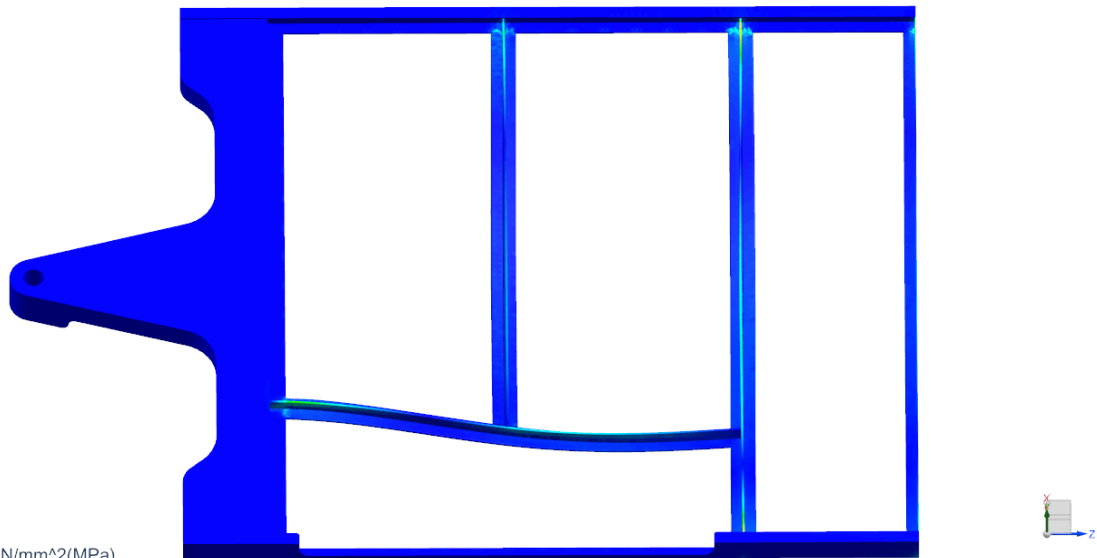
47.55

31.70

15.85

0.00

Jednotky = N/mm²(MPa)



Obr. 5.1.2-2: Napětí přenesené od svislého zatížení do skeletu podlahy

Výsledek samonosna_podlaha_stp_fem2_sim1 : Solution 1

Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1

Napětí - Prvkový, Zprůměrovaný, Von-Mises

Min : 0.00, Max : 190.18, Jednotky = N/mm²(MPa)

Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota

190.18

174.33

158.49

142.64

126.79

110.94

95.09

79.24

63.39

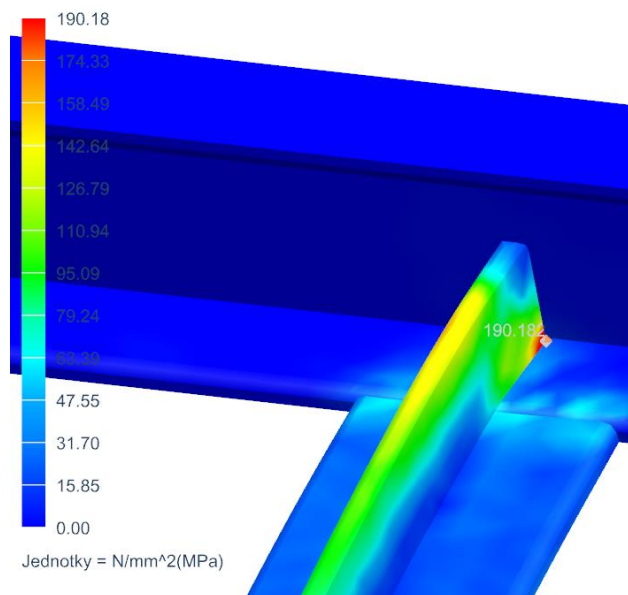
47.55

31.70

15.85

0.00

Jednotky = N/mm²(MPa)



Obr. 5.1.2-3: Detail maximálního redukovaného napětí dle HMM

Maximální napětí je ve svaru mezi příčnickem a podélníkem a činí 190,18 MPa (viz Obr. 5.1.1-3). Toto napětí je způsobeno opět díky ostrému přechodu (koncentrátor napětí) a je lokálního charakteru – nachází se na malé oblasti a lze předpokládat, že v tomto místě dojde ke zplastizování.

Výpočet bezpečnosti k

$$k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red}} \quad (1)$$

a) vysokopevnostní ocel ($Re = 900 \text{ MPa}$)

$$k = \frac{900}{174}$$

$$k = 5,17$$

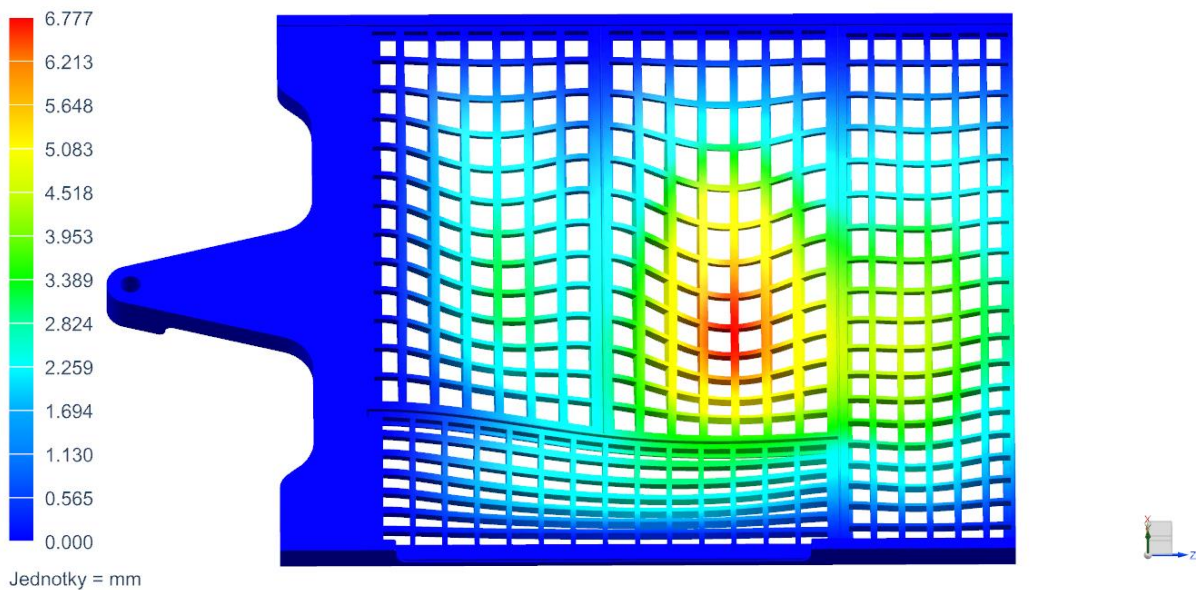
b) konstrukční ocel ČSN 12041 ($Re = 400 \text{ MPa}$)

$$k = \frac{400}{174}$$

$$k = 2,30$$

Deformace sestavy podlahy

Výsledek samonosna_podlaha_stp_fem2_sim1 : Solution 1
Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1
Posuv - Uzlový, Hodnota
Min : 0.000, Max : 6.777, Jednotky = mm
Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota



Obr. 5.1.2-4: Znáznorněná deformace konstrukce podlahy

Maximální průhyb činí přijatelných 6,777 mm

5.2 Varianta 2

Tato varianta je počítána pouze na svislé spojité zatížení. Podélná síla je přenesena skeletem a na podlahový sendvič nemá vliv.

Materiál

Nosné T-profilů jsou opět z ocele, novým konstrukčním prvkem oproti variantě 1 je trapézový plech, který je z důvodu mnoha periodických zakřivení a geometrické složitosti počítán jako 2D objekt s definovanou tloušťkou 0,5 mm. Trapézový plech je také z ocele. Vstupní část obsahuje opět rošt Prefagrid. Dalším zastoupeným materiálem je překližka. Jelikož pryž a minerální vlna nemají podíl na zvýšení celkové tuhosti konstrukce, jsou tyto komponenty při výpočtu zanedbány. Dojde tak k dalšímu zjednodušení výpočtu a úspory výpočetního času.

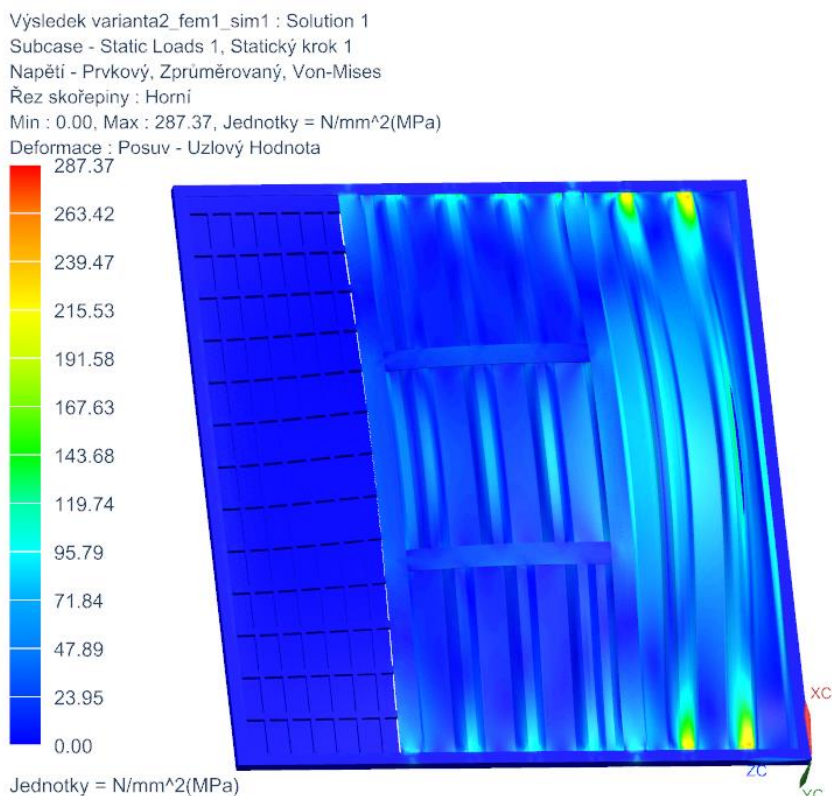
Sítování

Nosné prvky byly nasítovány elementem typu CTETRA s meziuzly o velikosti 20 mm. 2D trapézový plech je definován prvkem CQUAD s meziuzly o velikosti 20 mm. Dřevěná překližka prvkem CTETRA o délce hrany prvku 20 mm.

5.2.1 Svislé spojité zatížení

Z důvodu hlavní funkce podlahy, kterou je bezpečný transport cestujících, je společností Škoda Transportation a.s. kladen požadavek přenosu spojitěho zatížení 5000 N/m^2 při průhybu do 10 mm.

Napětí podlahového sendviče



Obr. 5.2.1-1: Pohled na spodní stranu sendviče a napětí dle hypotézy HMH
Výpočet bezpečnosti k

$$k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red}} \quad (1)$$

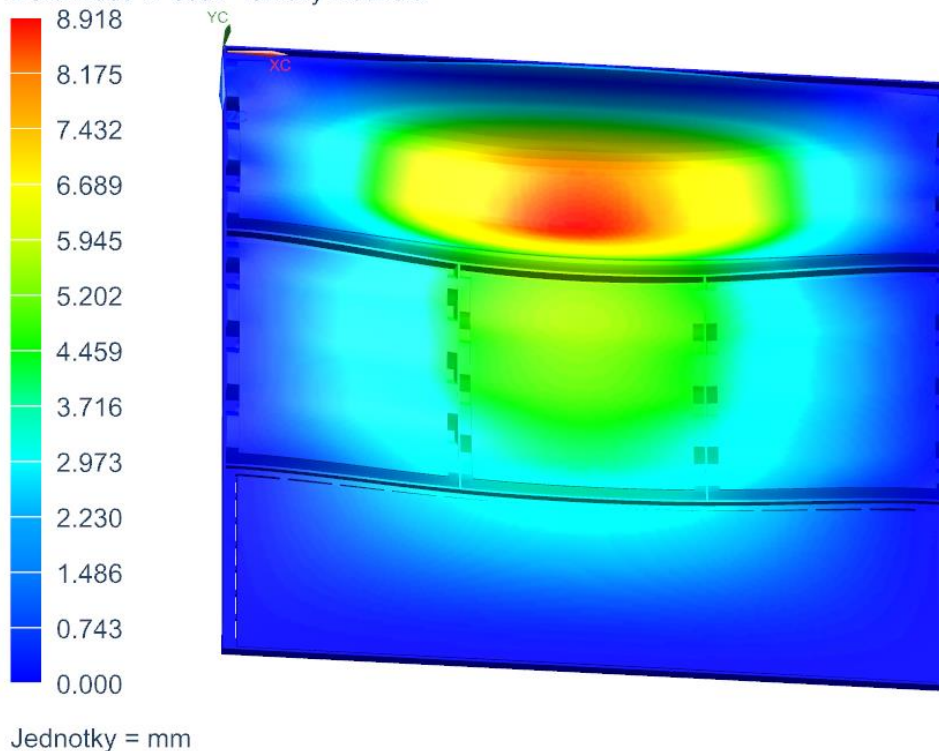
Ocel trapézového plechu (působení maximálního redukovaného napětí)
S320GD (Re = 320MPa)

$$k = \frac{320}{287}$$

$$k = 1,11$$

Deformace podlahové sendviče

Výsledek varianta2_fem1_sim1 : Solution 1
Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1
Posuv - Uzlový, Hodnota
Min : 0.000, Max : 8.918, Jednotky = mm
Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota



Obr. 5.2.1-2: Deformace sestavy

Maximální dovolená deformace je 10 mm. Maximální vypočtená deformace se nachází na největším použitém trapézovém plechu a činí 8,918 mm a podmínku tedy splňuje.

5.3 Varianta 3

Tato varianta je počítána pouze na svislé spojité zatížení. Podélná síla je přenesena skeletem a na podlahový sendvič nemá vliv.

Materiál

Nosné T-profilů jsou opět z ocele, novým konstrukčním prvkem oproti předchozím variantám je vlnový plech opatřený z každé strany plechem, který je z důvodu mnoha periodických zakřivení a geometrické složitosti počítán jako 2D objekt s definovanou tloušťkou. Vlnový plech je v tomto případě z hliníku. Dalším zastoupeným materiálem je překližka. Pryž a korková vrstva mají minimální podíl na zvýšení celkové tuhosti konstrukce a tudíž jsou tyto komponenty při výpočtu zanedbány. Dojde tak k dalšímu zjednodušení výpočtu a úspory výpočetního času.

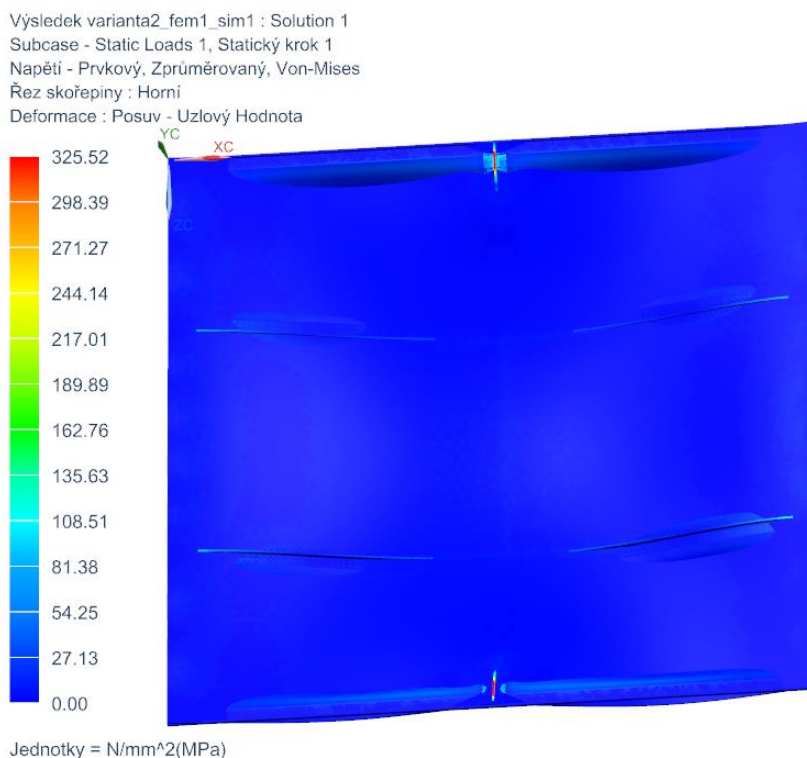
Sít'ování

Nosné prvky byly nasít'ovány elementem typu CTETRA s meziuzly o velikosti 20 mm. 2D vlnový plech s vrchním a spodním rovným plechem je definován prvkem CQUAD s meziuzly o velikosti 15 a 20 mm. Dřevěná překližka prvkem CTETRA o délce hrany prvku 50 mm.

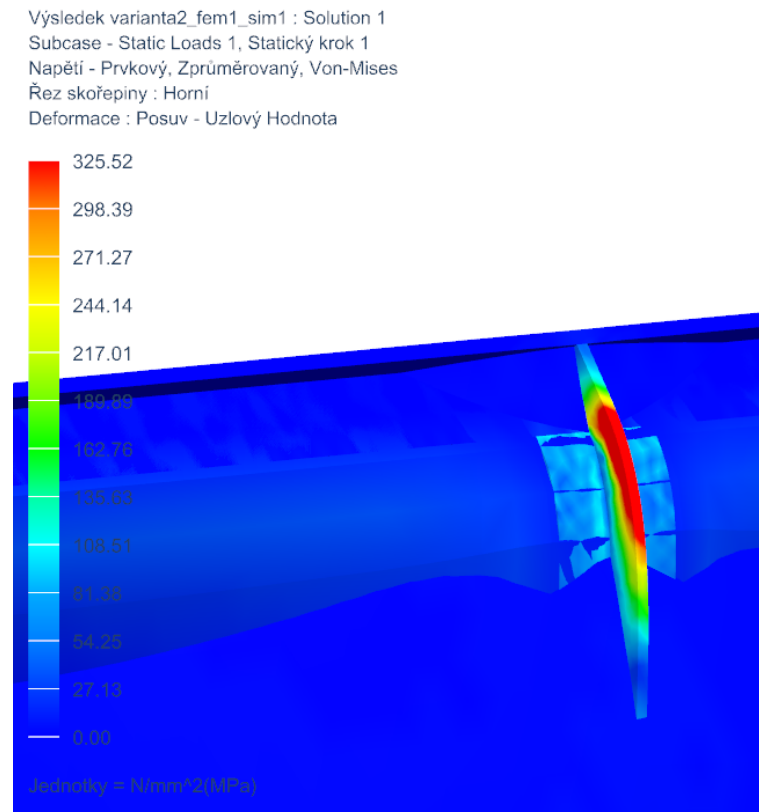
5.3.1 Svislé spojité zatížení

Z důvodu hlavní funkce podlahy, kterou je bezpečný transport cestujících, je společností Škoda Transportation a.s. kladen požadavek přenosu spojitěho zatížení 5000 N/m^2 při průhybu do 10 mm.

Napětí podlahového sendviče



Obr. 5.3.1-1: Redukované napětí dle HMH



Obr. 5.3.1-2: Detail maximálního kritického napětí T profilu

Maximální napětí dle hypotézy HMM se vyskytuje na nosném T-profilu a činí 325,52 MPa. Napětí je rozsáhlejší oblasti než v předchozích případech a nemůže být zanedbáno.

Výpočet bezpečnosti **k**

$$k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red}} \quad (1)$$

a) vysokopevnostní ocel (Re = 900 MPa)

$$k = \frac{900}{326}$$

$$k = 2,76$$

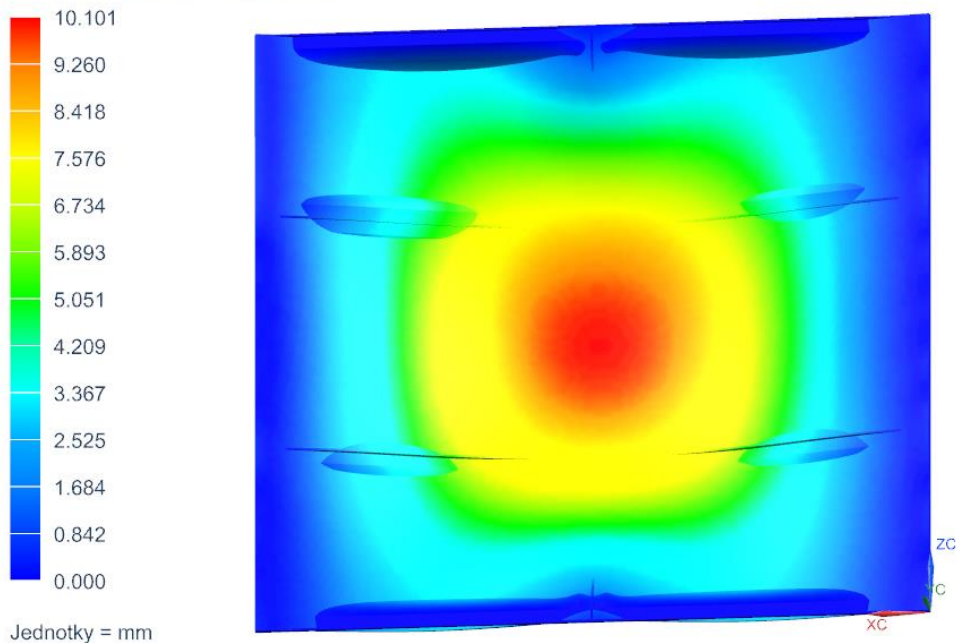
b) konstrukční ocel ČSN 12041 (Re = 400 MPa)

$$k = \frac{400}{326}$$

$$k = 1,23$$

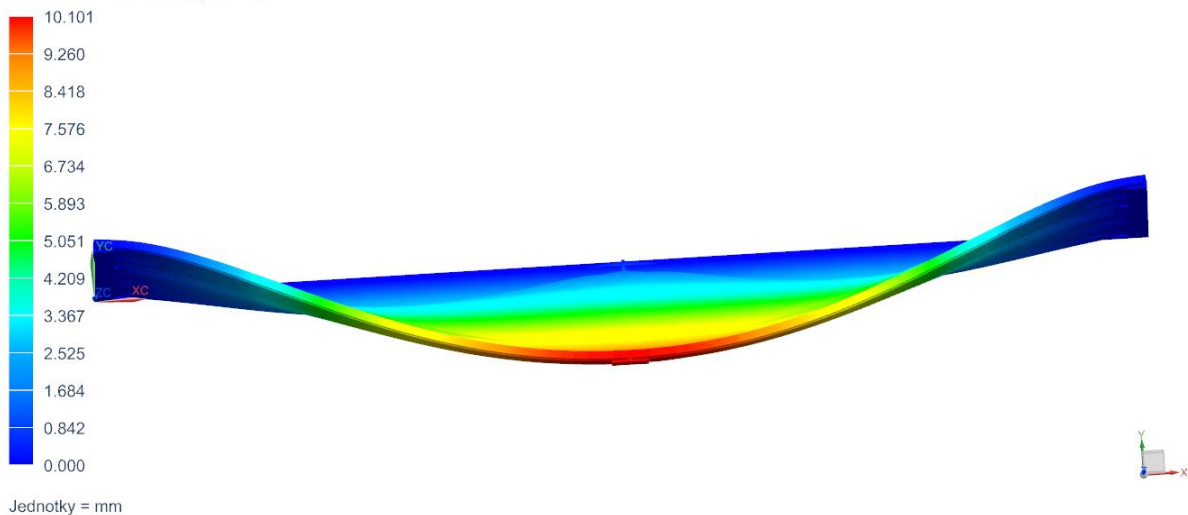
Deformace podlahového sendviče

Výsledek varianta2_fem1_sim1 : Solution 1
Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1
Posuv - Uzlový, Hodnota
Min : 0.000, Max : 10.101, Jednotky = mm
Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota



Obr. 5.3.1-3: Znázorněný průhyb podlahového sendviče

Výsledek varianta2_fem1_sim1 : Solution 1
Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1
Posuv - Uzlový, Hodnota
Min : 0.000, Max : 10.101, Jednotky = mm
Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota



Obr. 5.3.1-4: Znázornění deformace v řezu

Průhyb u této varianty činí 10,101 mm. Tato deformace je těsně za dovoleným průhybem. Jelikož se jedná o velmi malé přesáhnutí stanovené meze a za předpokladu použití korkové desky, je tento výpočet považován jako vyhovující zadané podmínce.

6 Zhodnocení navržených variant

V této kapitole budou zhodnoceny jednotlivé konstrukční varianty. Nepodařilo se získat orientační cenu materiálů použitých v 2. a 3. variantě a proto budou varianty srovnány pouze z technické stránky. Výroba je kusová, nelze tedy kalkulovat náklady na větší množství vyrobených kusů.

Parametry	Navržené varianty			
	Konvenční varianta	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Hmotnost [kg]	458	534 (1)	465 (2)	360 (3)
Konstrukční výška [mm]	170	62 (2)	83 (1)	55 (3)
Průhyb [mm]	do 10 *	6,7 (3)	8,9 (2)	10,1 (1)
Ztráta prostupem tepla [W]	699,80	330,00 (1)	115,83 (3)	222,75 (2)
Cena	-	-	-	-

Tab. 6-1: Technické informace konstrukčních řešení a přidělené známky

* Informace přejaté od Škoda Transportation, a.s.

(1),(2),(3) Znamky přidělené parametrům

Ke srovnání variant je použita metoda bodové stupnice, kdy budou stanoveny jednotlivé váhy podle důležitosti parametru. Váhy jsou v rozmezí 1 – 10. Jednotlivé varianty (kromě konvenční varianty) budou oznámkovány známkou 1 – 3 (1 – nejhorší, 3 – nejlepší). Je žádoucí, aby všechny uvažující parametry byly minimální (např. čím nižší hmotnost, tím více bodů).

Pro společnost Škoda Transportation, a.s. jsou nejdůležitějšími parametry „Hmotnost“ a „Konstrukční výška“.

Parametry	Váhy
Hmotnost	10
Konstrukční výška	8
Průhyb	5
Ztráta prostupem tepla	4

Tab. 6-2: Zvolené váhy dle důležitosti parametru

Varianta 1: $1 * 10 + 2 * 8 + 3 * 5 + 1 * 4 = 45$

Varianta 2: $2 * 10 + 1 * 8 + 2 * 5 + 3 * 4 = 50$

Varianta 3: $3 * 10 + 3 * 8 + 1 * 5 + 2 * 4 = 67$

Nejvhodnější konstrukční variantou je **VARIANTA 3**.

6.1 Srovnání VARIANTY 3 a původní KONVENČNÍ VARIANTY

Varianta 3 má

- o 22% nižší hmotnost
- o 59% menší konstrukční výšku
- o 68% menší ztrátu tepla

7 Závěr

Práce byla zaměřena na nalezení konceptu nového konstrukčního řešení podlahy v nízkopodlažním tramvajovém vozidle. Aby bylo takového řešení dosaženo, bylo třeba prostudovat tramvajová vozidla jako celek. V práci je tedy uvedeno jejich modulární rozdělení, dále provozní aspekty a především požadavky vztažené na systém podlahy. Velmi významnou kapitolou je patentová a tržní rešerše. V rámci patentové rešerše bylo nalezeno několik světových patentů týkající se podlahy v dopravních prostředcích, zejména v prostředcích kolejové dopravy. Patenty sloužili k osvojení dosavadních konstrukčních řešení a také jako inspirace vedoucí k novým nekonvenčním nápadům. Tržní rešerše pojednává o situaci na trhu v oblasti kolejových vozidel. Byly vyhledány společnosti zabývající se výzkumem, návrhem, výrobou, samotným prodejem či servisem jak komponent běžných, tak komponent inovačních v kolejové dopravě. Tyto společnosti byly přínosem práce z důvodu zjištění krajních mezí z hlediska možností – vyrobitelnosti, dostupnosti atp.

Samotné konstrukční řešení bylo provedeno ve 3 variantách, ze kterých 2 varianty jsou typu sendvič. K těmto variantám bylo nutné nadimenzovat skelet podlahy pro přenos podélné síly v úrovni nárazníků. Ve variantách bylo uvažováno použití velkého množství materiálů plnící požadované hmotnostní a pevnostní požadavky, zároveň byl dbán zřetel například na tepelné nebo akustické vlastnosti. Vznikla tak struktura podlahy o několika materiálech s různými vlastnostmi. U každé varianty došlo k výpočtu tepelných ztrát. K dosažení provozních funkcí bylo nutné varianty pevnostně ověřit. K tomu bylo využito metody konečných prvků v příslušném softwaru, kde bylo uvažováno působení podélné síly v úrovni nárazníků a působení svislého spojitého zatížení. Při těchto okrajových podmínkách bylo dosaženo výsledků deformace a napětí. Výsledky sloužily také k optimalizaci návrhu. Nezbytnou součástí práce je srovnání jednotlivých variant dle váhových kritérií a výběr adekvátního konstrukčního řešení splňující maximální počet požadavků.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DOSTÁL, J., HELLER, P. Kolejová vozidla I. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2007
- [2] DOSTÁL, J., HELLER, P. Kolejová vozidla II. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009
- [3] DOSTÁL, J., HELLER, P. Kolejová vozidla III. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011
- [4] LATA, M. Konstrukce kolejových vozidel II. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004
- [5] Škoda Transportation [online]. [cit. 2017-10-16]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/profil-spolecnosti/>
- [6] Plzeňské tramvaje [online]. [cit. 2017-10-17]. Dostupné z: <http://www.plzensketramvaje.cz/?page=kt8d5.htm>
- [7] KKV2, Přednáška KKS z předmětu KKV2; doc. Ing. Petr HELLER, CSc.
- [8] Překližka [online] [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Překližka>
- [9] Podlahová krytina. [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: 1url.cz/ot0bS
- [10] Rotaflex [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://izolacni-vata.cz/rotaflex-tp-01>
- [11] Moniflex [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.isoflex.se/moniflex>
- [12] Tepelná vodivost [online]. [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepelná_vodivost
- [13] Patent - Konstrukce podlahové přípojky [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://1url.cz/Bt9OR>
- [14] Patent - Protihlukový element [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://1url.cz/3t9Ok>
- [15] Patent – Podlaha s akustickým materiálem [online]. [cit. 2018-01-29]. Dostupné z: <https://1url.cz/9t9Oj>
- [16] Patent – Spojení bočnice a podlahy [online]. [cit. 2018-01-29]. Dostupné z: <https://1url.cz/7t9Od>
- [17] Podlahy VD Brumovice [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.vd-brumovice.cz/cz/vyrobni-portfolio/samonosne-podlahy/>
- [18] Materiály dodávané fy 5M [online]. [cit. 2018-03-01]. Dostupné ze: <https://www.5m.cz/produkty>
- [19] Sendvič. panely fy Variel [online]. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://variel.cz/produkty/velkoplosne-sendvicove-panely/>
- [20] Lepidlo Weld On [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.1url.cz/6t6b4>
- [21] PREFA Kompozity [online.] [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.prefa-kompozity.cz/wp-content/uploads/2015/09/katalog-rosty-a-poklopy-cs.pdf>
- [22] PUR pěny [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://www.pur.cz/o-nas/caste-dotazy/tvrda-pena/>
- [23] Trapézové plechy [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.satjam.cz/trapezove-plechy-194.html>
- [24] Minerální vlna 1 [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>
- [25] Výplně trapéz. plechů, [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.knaufinsulation.cz/cedicova-vata/vyplne-trapezovych-plechu>
- [26] Speciální řešení Metawell® [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://1url.cz/st6xz>
- [27] Korek 1 [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Korek>
- [28] Korek 2 [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z:

- <http://www.hobbystranky.cz/hobby/korek-jako-netradicni-stavebni-material>
- [29] Technická data Metawell® [online]. [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: https://www.metawell.com/wp-content/uploads/Metawell_data-sheets.pdf
- [30] Hliník [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hliník>
- [31] Tmel Bostik [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://1url.cz/mt6xK>
- [32] PP2, Přednáška KME z předmětu PP2; Prof. Ing. Vladislav Laš. CSc.
- [33] Průměrná teplota v ČR [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Podnebí_Česka
- [34] Sylomer Pyrotek [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.pyroteknc.com/products/sylomer/>

Obrázky

- Obr. 1.1-1: Škoda Transportation. [online]. [cit. 2017-10-16]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/o-spolecnosti/skoda-transportation-a-s/>
- Obr. 2.2-1: Koroze. [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: www.1url.cz/mtxDS
- Obr. 2.2-2: Vlnivý pohyb.[online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: http://www.vagony.cz/pojezdy/vlnivy_pohyb.html
- Obr. 2.3-1: Životní cyklus produktu. [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: www.1url.cz/ltxD0
- Obr. 2.4-1: Skříň tramvaje EVO1. [online]. [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: <https://1url.cz/lt80b>
- Obr. 2.4.1-1: KKV2, Přednáška KKS z předmětu KKV2; doc. Ing. Petr HELLER, CSc.
- Obr. 2.4.1-2: viz [3] str. 182
- Obr. 2.4.2-1: viz [3] str. 36
- Obr. 2.4.2-2: viz [3] str. 146
- Obr. 3.1-1: Patent - Konstrukce podlahové přípojky. [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://1url.cz/Bt9OR>
- Obr. 3.1-2: Patent - Protihlukový element. [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://1url.cz/3t9Ok>
- Obr. 3.1-3: Patent – Podlaha s akustickým materiálem. [online]. [cit. 2018-01-29]. Dostupné z: <https://1url.cz/9t9Oj>
- Obr. 3.1-4: Patent – Spojení bočnice a podlahy. [online]. [cit. 2018-01-29]. Dostupné z: <https://1url.cz/7t9Od>
- Obr. 3.2-1: Panel nástavby vozidel. [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.vd-brumovice.cz/cz/vyrobni-portfolio/samonosne-podlahy/>
- Obr. 3.2-2: Napětí při zatížení nástavby. [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.vd-brumovice.cz/cz/vyrobni-portfolio/samonosne-podlahy/>
- Obr. 3.2-3: Deformace po zatížení nástavby. [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.vd-brumovice.cz/cz/vyrobni-portfolio/samonosne-podlahy/>
- Obr. 3.2-4: Nástupní plošina firmy 5M. [online]. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.5m.cz/produkty>
- Obr. 3.2-5: Komp. díl v interiéru. [online]. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.5m.cz/produkty>
- Obr. 4.2: viz [3] str. 40
- Obr. 4.4.1-2: Trapézový plech. [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.satjam.cz/trapezy-produkt/t50-p-208-cz15.html#konstrukce>
- Obr. 4.4.1-3: Statické tabulky trap. plechů. [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.satjam.cz/trapezy-produkt/t50-p-208-cz15.html#konstrukce> [str. 144]

Obr. 4.4.1-4: Výplň minerální vlnou. [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z:
<https://www.isover.cz/produkty/isover-trv>

Obr. 4.5.1-2: Speciální řešení Metawell. [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z:
www.lurl.cz/9txhK

Obr. 4.5.1-3: Data sheet Metawell. [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z:
www.lurl.cz/Ntxhr [str. 7]