



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

**Tepelně izolovaný sklápěč S1 na podvozku
IVECO**

**Thermally insulated S1 tipper on IVECO
chassis**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Lukáš HLAVÁČEK

Studijní program: N2301 ŠROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus, CSc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hlaváček** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **460001**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Tepelně izolovaný sklápěč S1 na podvozku IVECO

Název diplomové práce anglicky:

Thermally insulated S1 tipper on IVECO chassis

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte tepelně izolovaný sklápěč S1 s převážně silničním použitím na podvozek IVECO AD 340X40Z/P 8x4/4 (2+2) OFF na přepravu asfaltu. Proveďte rešerši obdobných řešení u jiných výrobců. Vyberte základní geometrická data podvozku z možných variant a stanovte základní parametry kompletního vozidla z hlediska rozměrů a hmotnosti. Optimalizujte nosnost tepelně izolovaného sklápěče na legislativní povolený limit hmotnost a dovolené zatížení náprav. Navrhněte tepelnou izolaci nástavby. Proveďte pevnostní kontrolu vybraného dílu nástavby. Zpracujte technický list vozidla.

Seznam doporučené literatury:

Podklady IVECO

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Josef Morkus, CSc., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


Datum zadání diplomové práce: **27.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **15.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Ing. Josef Morkus, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Oldřich Víttek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Tepelně izolovaný sklápěč S1 na podvozku IVECO“ vypracoval(a) samostatně pod vedením Ing. Josefa Morkuse, CSc. a s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze

.....

Lukáš Hlaváček

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Ing. Josefovi Morkusovi, CSc. za vedení této diplomové práce, cenné rady a ochotu při konzultacích. Dále bych rád poděkoval Ing. Josefovi Kazdovi za pomoc s tvorbou výpočtového modelu v programu Abaqus. V neposlední řadě děkuji rodině za podporu během celé doby mého studia.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora: Lukáš Hlaváček

Název práce: Tepelně izolovaný sklápěč S1 na podvozku IVECO

Anglický název: Thermally insulated S1 tipper on IVECO chassis

Akademický rok: 2019/2020

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Obor studia: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Ústav: Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Vedoucí práce: Ing. Josef Morkus, CSc.

Bibliografické údaje:

počet stran	95
počet obrázků	78
počet tabulek	17
počet příloh	4

Klíčová slova: sklápěč, asphalt, izolace, MKP, korba

Keywords: tipper, asphalt, insulation, FEM, tipper body

ABSTRAKT:

Tato diplomová práce obsahuje návrh konstrukce tepelně izolovaného sklápěče na podvozek IVECO X-Way. V úvodní části je představeno vozidlo IVECO X-Way, je rozebrána problematika izolovaných sklápěčů a převozu asfaltových směsí. Dále práce obsahuje vlastní návrh sklápěče včetně ověření izolačních vlastností dle DIN 700001:2018-4. Poslední částí práce je ověření pevnosti konstrukce korby a zadního čela pomocí metody konečných prvků.

ABSTRACT:

This master thesis includes design of thermally insulated tipper on IVECO X-Way chassis. First part contains details about IVECO X-Way chassis, describes existing solutions of thermally insulated tippers and explains specifics of asphalt transport. Further, the thesis focuses on own solution of the insulated tipper design and verification of insulation based on DIN 700001:2018-4 standard. Last part contains structural analysis of tipper body using the finite element method.

OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Zadání	2
3. Teoretický rozbor.....	3
3.1. Vozidlo IVECO Stralis X-Way.....	3
3.1.1. Možnosti konfigurace podvozku	3
3.1.2. Vlastnosti podvozku AD 340X40Z/P 8x4/4 (2+2) OFF	5
3.2. Nastavby nákladních vozidel	7
3.2.1. Typy nastaveb	7
3.2.2. Sklápěčkové nastavby.....	7
3.2.3. Tepelně izolované sklápěče	8
3.2.4. Speciály pro převoz asfaltových směsí	10
3.2.5. Korby s vytlačovacím mechanismem.....	11
3.2.6. Legislativní požadavky	12
3.3. Asfalt a jeho doprava	13
3.4. Izolované nastavby v Německu	15
4. Koncepční návrh	16
4.1. Návrhový objem nastavby, hmotnostní parametry.....	16
4.2. Volba rozvoru, základní rozměry nastavby	18
4.3. Určení optimální polohy těžiště vozidla s nastavbou.....	18
4.4. Optimální umístění nastavby	20
4.5. Zatížení náprav dle provozního režimu	21
5. Konstrukce nastavby.....	22
5.1. Korba.....	23
5.1.1. Nosná konstrukce.....	23
5.1.1.1. Materiál	23
5.1.1.2. Přední čelo	24
5.1.1.3. Zadní čelo.....	25
5.1.1.4. Podlaha a bočnice	27
5.1.2. Izolační vrstva	29
5.1.3. Krycí vrstva	30
5.2. Základní a pomocný rám	30
5.3. Příslušenství sklápěče	33
5.3.1. Zábrana proti podjetí.....	33
5.3.2. Zaplachtování korby	34
5.3.3. Blatníky.....	35
5.3.4. Teplotní senzory	36
5.4. Zatížení korby sklápěče	37
5.5. Zatížení zadního čela.....	37
5.6. Uchytení zadního čela, kontrola čepů.....	39

5.7.	Hydraulická soustava	41
5.7.1.	Úhel sklápění, zdvih válce	41
5.7.2.	Hydraulický systém Hyva	42
5.7.3.	Síla ve válci, pracovní tlak	45
6.	Návrh izolace nástavby	50
6.1.	Volba izolace, tloušťka izolační vrstvy	50
6.2.	Ověření izolačních vlastností výpočtem	51
6.2.1.	Referenční hodnota tepelného toku	51
6.2.1.1.	Boční stěna.....	52
6.2.2.	Skutečná hodnota tepelného toku	54
6.2.2.1.	Boční stěna.....	55
6.2.3.	Srovnání referenční a skutečné hodnoty	59
7.	Pevnostní výpočet konstrukce pomocí MKP	61
7.1.	Tvorba výpočtového modelu.....	61
7.2.	Výsledky pevnostní analýzy.....	69
7.2.1.	Korba v dolní poloze	70
7.2.2.	Začátek sklápění.....	73
7.2.3.	Sklápění při úhlu 30° a bočním náklonu	75
7.3.	Rozbor výsledků pevnostní analýzy	77
8.	Závěr	79
	Použitá literatura	80
	Seznam obrázků.....	82
	Seznam tabulek	84
	Seznam příloh.....	85
	Seznam zkratk a symbolů	85
	PŘÍLOHA 1	89
	PŘÍLOHA 2	90
	PŘÍLOHA 3	91

1. Úvod

Hustota automobilové dopravy se neustále zvyšuje a s ní rostou i nároky na silniční síť. Při výstavbě nových silnic s asfaltovým povrchem, ale i opravě těch stávajících, hraje klíčovou roli teplota použité asfaltové směsi, která nesmí klesnout pod předepsanou mez. Výsledná kvalita povrchu se nejen odráží v životnosti vozovky a prodloužení intervalu oprav, ale také v bezpečnosti dopravy.

Asfaltové směsi jsou vyráběny v obalovnách a na místo pokládky jsou zpravidla převáženy nákladními vozidly na vzdálenosti desítek kilometrů. Během přepravy je nutné směs chránit před povětrnostními vlivy. Z tohoto důvodu se při převozu stále více využívá tepelně izolovaných nástaveb, speciálně uzpůsobených právě pro převoz asfaltu. Kromě požadavku dobrých izolačních vlastností je u těchto vozidel snaha o maximalizaci užitečného zatížení.

Zvýšený důraz na problematiku převozu asfaltu klade především Německo, kde Spolkové ministerstvo dopravy ze zákona předepisuje od roku 2019 převoz asfaltu pouze s použitím izolovaných vozidel a tento trend lze očekávat i v dalších zemích. S tím je spojená zvýšená poptávka po těchto specializovaných vozidlech a jejich výrobou se zabývá stále více firem. Tato diplomová práce se zabývá návrhem klíčových částí izolované sklápěcí nástavby na podvozek vozidla IVECO X-Way.

2. Zadání

Zadavatelem této práce je IVECO Trucks Česká republika. Společnost IVECO sídlí v italském Turíně a zabývá se výrobou užitkových vozidel, autobusů, speciálních vozidel a motorů. Její divize IVECO Trucks v České republice zajišťuje především prodej a poprodejní služby.

Jelikož společnost IVECO je hlavně výrobcem podvozků, probíhá vývoj nástaveb v externích specializovaných firmách. Každý výrobce nástaveb se zavazuje k implementaci modifikací na vozidlo dle doporučení IVECO, jejich dokumentaci a vyhovění všem legislativním požadavkům v zemi registrace i provozu vozidla.

Zadáním této práce je vytvoření návrhu sklápěcí nástavby typu S1 na podvozek IVECO X-Way AD 340X40Z/P 8x4/4 (2+2) OFF, určené primárně k převozu asfaltových směsí. Vozidlo bude provozováno převážně na silničních komunikacích a z části rovněž po nezpevněných površích v místě stavby. Specifikem zadání je požadavek na izolaci nástavby za účelem snížení tepelných ztrát při převozu asfaltových směsí. Konstrukce nástavby by měla mít dostatečnou izolační schopnost pro splnění podmínek certifikace dle normy DIN 70001:2018-4.

Dalším přáním zadavatele je zachování dostatečné univerzálnosti nástavby. Cílem práce tedy není návrh speciálu určeného čistě pro převoz asfaltových směsí, ale sklápěč by měl být vhodný i pro další běžné stavební materiály, které se používají při výstavbě silničních komunikací.

Poslední částí práce by měla být pevnostní kontrola vybrané části nástavby. Po domluvě se zadavatelem byla k analýze zvolena nosná část konstrukce korby a zadního čela.

3. Teoretický rozbor

V následující části textu je blíže představeno vozidlo IVECO Stralis X-Way, jsou uvedeny vlastnosti dané konfigurace podvozku a je shrnuto, jaká zákonná omezení platí pro tento typ nákladních vozidel v ČR. Dále se tato část práce zabývá problematikou nástaveb na nákladní automobily, specifiky nástaveb pro převoz asfaltu a základními pravidly, která je nutné dodržovat při převozu asfaltových směsí.

3.1. Vozidlo IVECO Stralis X-Way

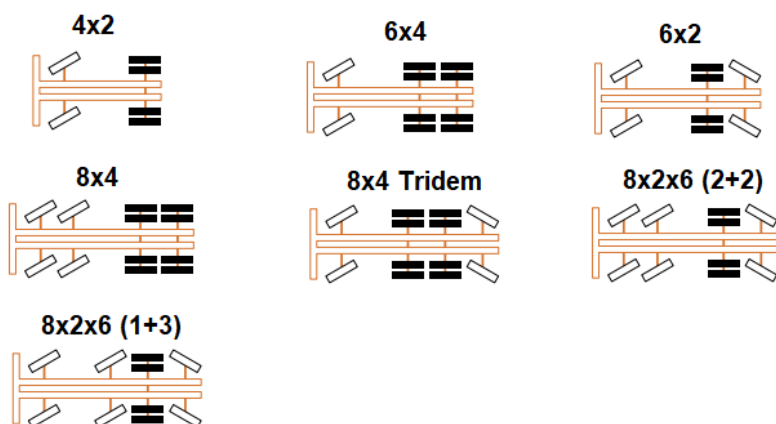
Vozidlo Stralis X-Way (Obr.1) je novou řadou nákladních vozidel společnosti IVECO. Jedná se o mezistupeň mezi silničním modelem pro dálkovou dopravu Stralis a terénním modelem Trakker. Jak udává výrobce, tato nová třída si dává za cíl kombinovat výhody silničních a terénních modelů v jediném vozidle. Modulární systém konstrukce umožňuje přizpůsobení specifickým požadavkům zákazníka. Vozidlo vyniká zejména nízkou pohotovostní hmotností, díky které lze maximalizovat užitečné zatížení. [1]



Obr. 1: Iveco Stralis X-Way [2]

3.1.1. Možnosti konfigurace podvozku

Pro vozidlo Stralis X-Way výrobce nabízí několik konfigurací podvozku s kabinou (Obr.2). Zákazník může zvolit variantu, která se nejlépe hodí pro konkrétní účel. Hlavním rozlišovacím znakem jednotlivých uspořádání je počet hnaných náprav a počet řízených náprav. U vozidel, které disponují zadní řízenou nápravou, je výhodou menší poloměr otáčení. [1]



Obr. 2: Varianty konfigurace podvozku [1]

Podvozek je možné vybavit systémem HI-TRACTION, který v případě potřeby zajišťuje hydrostatický pohon předních kol. Zvyšuje se tak trakce vozidla v náročném terénu. [1]

Jednou ze základních možností konfigurace jsou také tři varianty uspořádání vozidla dle objemu terénního využití, se kterým se u vozidla počítá. Lze volit z variant ON, ON+ a OFF (Obr.3), které se liší zejména světlou výškou. Varianta ON, homologovaná pro silniční provoz, poskytuje veškeré výhody silničního vozidla, jako je snadný přístup do kabiny, maximální viditelnost z kabiny a komfort silničního podvozku. Varianta OFF, určená pro provoz v náročném terénu, disponuje větší světlou výškou, předním nájezdovým úhlem přes 25° a ochrannými prvky karoserie. Varianta ON+ je mezistupněm mezi těmito dvěma konfiguracemi. [1]



Obr. 3: Konfigurace ON, ON+, OFF [1]

Další možností konfigurace je volba odpružení. Nabízeno je buď mechanické odpružení pomocí listových pružin, nebo pneumatické odpružení. Zavěšení s pneumatickým odpružením zvyšuje jízdní komfort a minimalizuje jízdní odpor prázdného vozidla. Dle zatížení pneumatického systému je možné snadno měřit hmotnost nákladu. Díky tomu lze včas rozpoznat případné přeložení vozidla přes povolený limit bez nutnosti vážení na nájezdových vahách. Výhodou je také možnost snížit světlou výšku vozidla při nakládání. [1]

Vozidlo je možné osadit třemi různými kabinami:

- Kabina AD (Active Day) je krátká denní kabina s nízkou střechou bez místa pro spaní
- Kabina AT (Active Time) je spací kabina s nízkou nebo vysokou střechou
- Kabina AS (Active Space) je nejprostornější varianta navržená pro dálkovou dopravu

Zákazník může rovněž volit ze tří různých motorů (Tab.1). Jedná se o vznětové přeplňované řadové šestiválce. Na výběr je z devíti výkonnostních variant od 228kW do 420kW s maximálním točivým momentem až 2500Nm. Motory jsou doplněny celou řadou chytrých komponent, jako je například systém pro úpravu výfukových plynů HI-SCR (DOC+DPF+SCR+CUC), který snižuje emise a zvyšuje efektivitu využití paliva bez potřeby použití systému EGR. K úspornému provozu dále napomáhá systém HI-CRUISE, který poskytuje asistenční systémy jako prediktivní tempomat, prediktivní řazení nebo systém Eco-roll. I díky těmto opatřením všechny motorizace splňují emisní normu Euro VI_d. [1]

Tab. 1: Motorizace vozidla IVECO Stralis X-Way [1]

STRALIS X-WAY EURO VI/STEP D					
FPT engine	Displacement (litres)	Maximum power hp/kW @ rpm	Maximum torque Nm @ rpm	Emission technology	Emission standard
CURSOR 9 (6 cylinders)	8.7	310/228 @ 1,675 – 2,200	1,300 @ 1,100 – 1,675	HI-SCR	Euro VI/C
		330/243 @ 1,655 – 2,200	1,400 @ 1,100 – 1,655		
		360/265 @ 1,530 – 2,200	1,650 @ 1,200 – 1,530		
		400/294 @ 1,655 – 2,200	1,700 @ 1,200 – 1,655		
CURSOR 11 (6 cylinders)	11.1	420/309 @ 1,475 – 1,900	2,000 @ 870 – 1,475	HI-SCR	Euro VI/C
		460/338 @ 1,500 – 1,900	2,150 @ 925 – 1,500		
		480/353 @ 1,465 – 1,900	2,300 @ 970 – 1,465		
CURSOR 13 (6 cylinders)	12.9	510/375 @ 1,560 – 1,900	2,300 @ 900 – 1,560	HI-SCR	Euro VI/C
		570/420 @ 1,605 – 1,900	2,500 @ 1,000 – 1,605		

Pro vozidlo jsou k dispozici tři typy převodovek:

- Manuální převodovka ZF Ecosplit – 16 rychlostních stupňů
- Automatická převodovka Allison – 6 rychlostních stupňů
- Automatizovaná převodovka ZF HI-Tronix – 12 nebo 16 rychlostních stupňů

3.1.2. Vlastnosti podvozku AD 340X40Z/P 8x4/4 (2+2) OFF

Pro účely návrhu nastavby popsaného v této práci byl zadán podvozek s označením AD 340X40Z/P 8x4/4 (2+2) OFF. Jedná se o čtyřnápravovou variantu vozidla IVECO X-Way, dvě nápravy vpředu, dvě nápravy vzadu, osazené pneumatikami 315/80 R22,5. Vozidlo je v konfiguraci OFF, tedy v úpravě pro provoz v náročnějším terénu.

Přední tuhé nápravy s kovanou nápravnicí jsou řízené, odpružené pomocí dvoulistových pružin. Maximální technická nosnost předních náprav je s ohledem na použité pneumatiky 16 000kg v součtu. [1]

Zadní tandemová dvojnáprava je poháněná, osazená mezinápravovým diferencíálem s uzávěrkou. Odpružení je vzduchové s osmi vaky, což umožňuje upravovat světlou výšku vozidla. Součástí zadní nápravy je také jednoduchá hypoidní redukce. Maximální nosnost dvojnápravy je 21 000kg. Zvýšená nosnost zadních náprav je dána především dvojmontáží kol. Všechny nápravy jsou osazeny vzduchem ovládanými kotoučovými brzdami. [1]

Vozidlo je vybaveno motorem s označením Cursor 9, konkrétně variantou o výkonu 400hp/294kW při 1 655 – 2 200ot/min a maximálním točivým momentem 1700Nm při 1 200 – 1 655ot/min. Jedná se o vznětový řadový šestiválec o objemu 8,7 litru s vrtáním 117mm a zdvihem 135mm. Motor je přepínaný pomocí turbodmychadla s variabilní geometrií lopatek, vstřikování paliva probíhá pomocí systému Common rail. Charakteristika motoru je zobrazena na obrázku 4. [1]



Obr. 4: Charakteristika motoru Cursor 9 [1]

Součástí pohonného ústrojí je automatizovaná převodovka ZF HI-Tronix ve variantě s dvanácti rychlostními stupni. Jedná se o tříhřídelovou převodovku s elektronickou synchronizací a suchou spojkou. [1]

3.2. Nástavby nákladních vozidel

Nástavba nákladního vozidla je zařízení či konstrukce, rozšiřující základní schopnosti vozidla o další funkce. Jelikož existuje rozsáhlé spektrum jejich využití, probíhá stavba nástaveb často kusově, případně v malých sériích. Výrobce se řídí požadavky zákazníka, zároveň musí dbát na dodržení zákonných ustanovení a bezpečnostních předpisů. [3]

3.2.1. Typy nástaveb

Nástavby nákladních vozidel jsou využívány k velkému množství úkolů a lze je rozdělit několika způsoby. Vzhledem k zaměření této práce je nejvhodnější rozdělení podle konstrukce prostoru pro náklad na:

- Valníkové – Ložný prostor je omezený bočnicemi, případně zcela otevřený. Může být opatřen shrnovací či pevnou plachtou.
- Skříňové – Ložný prostor je uzavřen pevnou konstrukcí – skříní. V případě převozu nákladu citlivého na teplotu, jako jsou potraviny, jsou skříně izolovány a opatřeny chladírenským agregátem.
- Plachtové – Celý ložný prostor je uzavřen plachtou
- Sklápěčkové – Celý ložný prostor je sklopný. Přeprava převážně sypkého nákladu.
- Speciální – Všechny ostatní druhy nástaveb, např. hasičské cisterny, jeřáby, domíchávače a další.

3.2.2. Sklápěčkové nástavby

Sklápěčkové nástavby jsou nejčastěji používaným typem nástavby nákladních vozidel pro převoz sypkých materiálů. Dle způsobu sklápění je lze rozdělit do tří kategorií:

- Jednostranný sklápěč S1 – Sklápění jedním směrem dozadu s pevnými bočnicemi a otevíratelným zadním čelem. Nástavba je v zadní části rotačně uložena k pomocnému rámu na čepech. Hydraulický válec je nejčastěji umístěn v přední části korby, bývá doplněn stabilizátorem korby. Používá se u větších nákladních vozidel pro větší stabilitu při sklápění. [4] [5]
- Dvoustranný sklápěč S2 – Nástavba sklopná do dvou směrů, nejčastěji dozadu a na levou stranu. Sklápění na levou stranu upřednostňují zejména řidiči, kteří tak mají lepší přehled o průběhu vykládky. [6]
- Třístranný sklápěč S3 – Sklápěč díky uložení korby na koulích umožňuje sklápění do všech tří stran. Důvodů, proč je vyžadováno sklápění do stran, je celá řada. Využívá se například v místech, kde je třeba složit náklad souběžně s vozovkou, nebo v případě, kdy je za vozidlem připojen přívěs. Bočnice takové nástavby jsou otevírané samovolně, případně ovládané hydraulicky. Hydraulický válec musí být umístěn ve středu korby. [4] [5]

Zejména u třístranných sklápěčů je třeba dbát na stabilitu vozidla při sklápění. V případě sklápění na nakloněné rovině hrozí nebezpečí převrácení vozidla vlivem změny polohy těžiště, a to především při vykládce směrem ze svahu.

Důležitým faktorem pro správnou funkci sklápěče je také maximální sklápěcí úhel korby. Ten je závislý hlavně na typu převáženého materiálu. Při nedostatečném úhlu sklápění hrozí problémy s vykládkou soudržných a přilnavých materiálů. Hydraulický válec musí umožnit dosažení potřebného úhlu sklápění. [6]

Objem sklápěcí nástavby a její celkové rozměry se odvíjí především od materiálu, pro jehož převoz je primárně určena. Hlavním limitujícím faktorem je maximální povolená hmotnost vozidla. O objemu nákladu, který lze vozidlem převézt, rozhoduje sypaná hmotnost převáženého materiálu. Jako sypaná hmotnost materiálu se označuje hmotnost objemové jednotky sypkého materiálu včetně dutin, pórů a mezer mezi zrny. U materiálů s vyšší sypanou hmotností, jako jsou například právě asfaltové směsi, jsou dostačující nástavby spíše o menším objemu. Naopak náklad o nižší sypané hmotnosti je možné převážet ve velkoobjemových nástavbách. [6]

Délka nástavby je omezena především rozvorem podvozku a požadavkem umístění těžiště nástavby do určitého místa podvozku pro optimální rozložení hmotnosti na nápravy. Šířka nástavby je limitována maximální povolenou šířkou vozidla. V případě potřeby vyššího objemu sklápěče je tedy nutné zvyšovat výšku bočnic. U příliš vysokých bočnic se však komplikuje nakládání vozidla, kdy je nutné použít větší bagry a nakladače. U třístranných sklápěčů se rovněž zvyšuje namáhání sklápěcího mechanismu, což se projevuje zkrácením jeho životnosti. [6]

3.2.3. Tepelně izolované sklápěče

Tepelně izolované sklápěče se uplatňují především při transportu asfaltových směsí. Jejich převoz s sebou nese určitá specifika, a to se odráží i v konstrukci nástaveb určených pro tento účel. V kategorii speciálů pro převoz asfaltu se lze setkat téměř výhradně s jednostrannými sklápěči typu S1.

Stěna korby izolovaných sklápěčů (Obr.5) se zpravidla skládá ze tří hlavních vrstev. Vnitřní nosná vrstva je tvořena svařovanými plechy. Pro zajištění dostatečné nosnosti konstrukce je tloušťka podlahy často o něco větší než tloušťka bočních stěn. Tloušťku stěn jen nutné dimenzovat dle zatížení, orientačně se její velikost v závislosti na objemu korby pohybuje mezi 3 – 8mm. Ložný prostor má půlkulatý tvar se zaoblenými či zkosenými hranami. Snižuje se tak riziko chladnutí směsi a jejího usazování v rozích. U některých výrobců se lze setkat s korbami kónického tvaru, které se směrem k zadnímu čelu rozšiřují. Toto opatření usnadňuje vykládku. Korby jsou doplněny několika senzory teploty, které měří teplotu v předepsaných místech. [8] [9] [10]

Prostřední vrstva je tvořena izolací a slouží k minimalizaci tepelných ztrát převážené směsi. Izolace je instalována segmentově, což usnadňuje její výměnu v případě porušení.

Jako izolace se využívá celá řada materiálů, jako jsou duroplastické hmoty, minerální vaty a další. Krom nízké tepelné vodivosti je hlavním požadavkem na tyto materiály také dlouhodobá odolnost vůči vysokým teplotám alespoň 200°C. Tloušťka izolace se běžně pohybuje mezi 50 – 80mm. Izolované jsou všechny stěny korby, včetně zadního čela a podlahy. [7] [9]

Vnější vrstva je nejtenčí, a kromě designové funkce především slouží jako ochrana izolace před povětrnostními vlivy. Často bývá dělena na jednotlivé segmenty, které jsou flexibilně uchyceny ke kompenzaci tepelné roztažnosti. Jako materiál se používá hliník, případně nerezová ocel. [7] [10]

Z horní strany je korba uzavřena pomocí shrnovací plachty, která může být ovládána ručně nebo elektricky. Slouží k ochranně asfaltové směsi před nepříznivými vlivy a podílí se na izolaci. Uzavření ložného prostoru navíc zlepšuje aerodynamiku vozidla, čímž se snižuje spotřeba paliva. Materiál plachty musí mít dobré izolační vlastnosti a být tepelně odolný. Používá se například polyuretan, neopren nebo PVC. [5] [7]



Obr. 5: Izolovaný sklápěč [11]

Zadní část sklápěče je třeba uzpůsobit tak, aby bylo možné vozidlo využít ke společné práci s finišerem. Během tohoto způsobu plnění finišer před sebou nákladní vozidlo tlačí. Ke kontaktu dochází odvalováním mezi koly nákladního vozidla a válečky finišeru (Obr.6). Aby nedošlo k jeho poodjetí (například při jízdě z kopce), musí nákladní vozidlo klást určitý odpor. Vozidlo je lehce brzděno, buď manuálně řidičem nebo pomocí asistenčních systémů

vozidla. Aby byl umožněn přístup k zadním kolům, je při práci s finišerem nutné zvednout zadní zábranu proti podjetí, která slouží jako bezpečnostní prvek pro případ nehody. [6]



Obr. 6: Spolupráce s finišerem [12]

Pozornost je také nutné věnovat délce zadního převisu korby. V případě příliš velkého převisu hrozí, že při korbě v horní poloze sklápění nebude dostatečný prostor pro násypku finišeru. Dle typu finišeru se doporučuje vzdálenost mezi nejnižším bodem korby a vozovkou při sklápění alespoň 750 až 800mm. U vozidel vybavených pneumatickým odpružením lze za tímto účelem dočasně zvýšit světlou výšku (u vozidla IVECO X-Way až o 75mm). [6] [13]

3.2.4. Speciály pro převoz asfaltových směsí

Zvláštní kategorii sklápěčů jsou speciály pro převoz asfaltových směsí. Díky zaměření pouze na převoz asfaltu je u těchto nástaveb dosaženo vynikajících izolačních vlastností. Například nástavba od výrobce Meiller (Obr.7) je osazena dvěma vrstvami izolace v celkové tloušťce 180mm. To umožňuje přepravu na výrazně delší vzdálenosti při zachování požadované teploty směsi. Vnitřní povrch korby je zcela bez hran a je svým tvarem plně optimalizován pro převoz asfaltu, čímž se usnadňuje vykládka a snižuje se pravděpodobnost usazování zbytků směsi. Ložný prostor je zpravidla zcela uzavíratelný izolovaným, hydraulicky sklopným víkem, což poskytuje ještě vyšší stupeň ochrany před povětrnostními vlivy než běžné zaplachtování. Zadní hydraulicky ovládaná výsypka umožňuje přesné dávkování při plnění finišeru. [14]



Obr. 7: Speciál od výrobce Meiller pro převoz asphaltových směsí [14]

3.2.5. Korby s vytlačovacím mechanismem

Vozidla vybavená korbou s vytlačovacím mechanismem dokáží provést vykládku i v místech, kde nelze použít sklápěcí nástavby, jako jsou například tunely. Celý náklad je v horizontální poloze korby vytlačen pohyblivým předním čelem (Obr.8). Výhodou tohoto systému je kromě absence nutnosti sklápění především teplotní a mechanická homogenita položeného asfaltu. Při vykládce běžnými sklápěči se nejdříve uvolní horní, chladnější vrstva, která navíc vlivem segregace vzniklé při převozu obsahuje hrubší zrna. Tomu lze předejít použitím speciálních podavačů, které směs promíchají ještě před vstupem do finišeru. Při použití vytlačování se směs díky vykládce celého objemu korby dostatečně promíchá i bez použití podavače. Dalším benefitem je kompletní vyložení nákladu bez usazených zbytků směsi v ložném prostoru. Nevýhodou je složitější konstrukce korby a menší ložný prostor, jehož část zabírá vytlačovací mechanismus. [15]



Obr. 8: Korba s vytlačovacím mechanismem [15]

3.2.6. Legislativní požadavky

Aby se mohlo vozidlo legálně pohybovat po veřejných komunikacích, musí se při jeho návrhu počítat se zákonem danými požadavky, platnými v místě jeho provozu. Jelikož se tato práce zabývá návrhem vozidla pro Českou republiku, je nutné vycházet z vyhlášky 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Úvodní část dělí vozidla do jednotlivých kategorií, kde nákladní vozidla o nevyšší přípustné hmotnosti nad 12 tun nesou označení N3. [16]

Základním zákonným požadavkem jsou omezené rozměry vozidla. Největší povolená šířka pro nákladní vozidla kategorie N je 2,55m. Výjimkou jsou pak vozidla s tepelně izolovanou nástavbou s tloušťkou stěn větší než 45mm s povolenou šířkou až 2,6m. Největší povolená výška nákladního vozidla je stanovena na 4m. Délka vozidla nesmí přesáhnout 12m. [16]

Velmi důležitým parametrem je také maximální povolená hmotnost vozidla a její rozdělení na jednotlivé nápravy. Limity se liší dle počtu a uspořádání náprav. U motorových vozidel se čtyřmi a více nápravami nesmí celková okamžitá hmotnost překročit 32 tun. Pro případ znečištění vozidla například blátem nebo sněhem se připouští překročení tohoto limitu o tři procenta. [16] Maximální hmotnosti na jednotlivé nápravy pro případ použitého podvozku vozidla X-Way jsou dle zákona:

- Přední dvě samostatné nápravy – maximální hmotnost 10 tun každá
- Zadní dvojnáprava při dílčím rozvoru max 1,8m – maximální hmotnost 19 tun

3.3. Asfalt a jeho doprava

Asfaltová směs je směsí kameniva, asfaltového pojiva a dalších příměsí. Zrna kameniva vytváří kostru směsi, zatímco asfaltové pojivo spojuje jednotlivá zrna. Rozhodující pro správnou volbu směsi je právě podíl těchto dvou složek. V případě silničního stavitelství vychází požadavky na vlastnosti směsi z funkce vozovky, pro kterou je určena, s ohledem na dopravní vytížení, klimatické podmínky apod. Požadavky na jednotlivé směsi a jejich vlastnosti popisuje norma ČSN EN 13108. [19] Nejčastěji používané typy asfaltových směsí jsou:

- Asfaltový beton – Označován zkratkou AC. Jedná se o nejčastěji používaný typ asfaltové směsi při stavbě silnic. Mezery v kamenivu jsou zcela vyplněny pojivem. [17] [19]
- Asfaltová směs s vysokým modulem tuhosti – Označována zkratkou VMT. Směs je určena pro vysoce vytížené silniční komunikace. Obsahuje vyšší podíl pojiva s vysokou tuhostí. [17] [19]
- Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy – Označován zkratkou BBTM. Směs je určena do obrusných vrstev vozovky. Lze ji dle velikosti kameniva pokládat ve velmi malých tloušťkách, což je výhodné v případě nutnosti odfrézování obrusné vrstvy vozovky. [17] [19]
- Asfaltový koberec mastixový – Označován zkratkou SMA. Obsahuje vysoký podíl kameniva, mezery vyplněny směsí drobného kameniva s nízkou zrnitostí zvanou mastix. [17] [19]
- Litý asfalt – Označován zkratkou MA. Litý asfalt obsahuje vysoký podíl asfaltového pojiva, které je hlavním přenašečem zatížení. Kamenivo má pouze výplňovou funkci. [17] [19]

Asfaltové směsi se skládají z 93 – 96% hmotnostního podílu z kameniva a 4 – 7% asfaltového pojiva. Objemová hmotnost kameniva je přibližně 2650kg/m^3 , objemová hustota asfaltového pojiva je zhruba 1000kg/m^3 . Z důvodu různých podílů složek pro jednotlivé směsi se pohybuje objemová hustota směsí od 2000 do 2600kg/m^3 . [17]

Výroba asfaltových směsí probíhá ve specializovaných zařízeních – obalovnách. Z obalovny na stavbu se směsi dopravují nákladními vozidly. Ložný prostor vozidel musí být vystříkán speciálními separačními roztoky, které zamezují lepení směsi ke konstrukci vozidla. Pro zachování správných technologických vlastností směsi je během dopravy nutné dodržet určitá pravidla. Zejména je důležité zabránit rychlému chladnutí směsi. Vliv na chladnutí směsi má teplota okolního prostředí, vítr, déšť a čas dopravy na stavenišť. Nutná je ochrana směsi před větrem. Při proudění vzduchu se ke směsi přivádí velké množství kyslíku, což způsobuje oxidaci pojiva. Výsledkem je degradace pojiva, ztráta přilnavosti povrchu směsi a nedostatečně soudržné spojení pojiva se zrny kameniva. [17] [18]

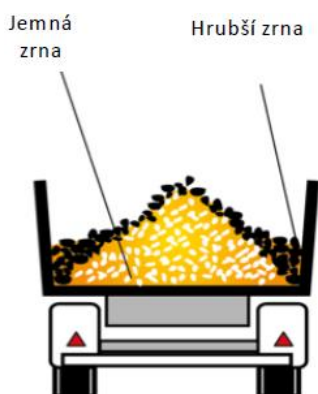
Vzdálenost, na kterou lze směs dopravovat, je závislá především na dopravní situaci a povětrnostních podmínkách. Obecně se doporučuje doprava maximálně do dvou hodin jízdy. Minimální dovolená teplota (Tab.2), při které je ještě možné provést pokládku, by

měla být dle typu směsi mezi 100°C až 175°C. U běžných nákladních vozidel dochází k chladnutí přibližně o 10°C za hodinu. U speciálních vozidel s izolací se udává rychlost chladnutí zhruba 5°C za hodinu, což umožňuje přepravu směsi na delší vzdálenosti. Je nutné, aby směs byla pokládána finišerem plynule a bez přestávek. Proto je nezbytné její dopravu velmi dobře plánovat a nasadit dostatečné množství vozidel. [18]

Tab. 2: Nejnižší dovolená teplota při pokládce [19]

Asfaltová směs	Druh asfaltu	Nejnižší přípustná teplota při rozprostírání podle tloušťky položené vrstvy		
		do 40mm	40 až 70mm	70 až 100mm
AC BBTM SMA	100/150	130	120	105
	70/100	145	130	110
	50/70	155	140	120
	40/60	160	145	125
	35/50	175	160	140
	30/45	175	160	140
PA AKO	100/150	100	100	-
	70/100	105	100	-
	50/70	105	100	-
	40/60	110	105	-

Směs v násypce finišeru musí být rozdělena rovnoměrně vzhledem k její teplotě a struktuře kameniva. Nerovnoměrnost směsi negativně ovlivňuje výslednou kvalitu vozovky. Při převozu dochází v korbě sklápěče k segregaci asfaltových směsí. Segregace je proces, při kterém se vlivem vibrací při dopravě mění homogenita směsi. Větší zrna směsi se shlukují a oddělují od menších (Obr.9). Tento jev lze omezit vhodným plněním korby, kdy se směs naloží ve třech různých dávkách. Nejdříve se začíná s plněním v přední části korby. Druhá dávka se vysype naopak na konec korby a poslední třetí dávka do jejího středu. Díky tomuto způsobu plnění se sníží množství větších zrn směsi, která se hromadí během dopravy u stěn korby. [15]



Obr. 9: Segregace nákladu [15]

3.4. Izolované nástavby v Německu

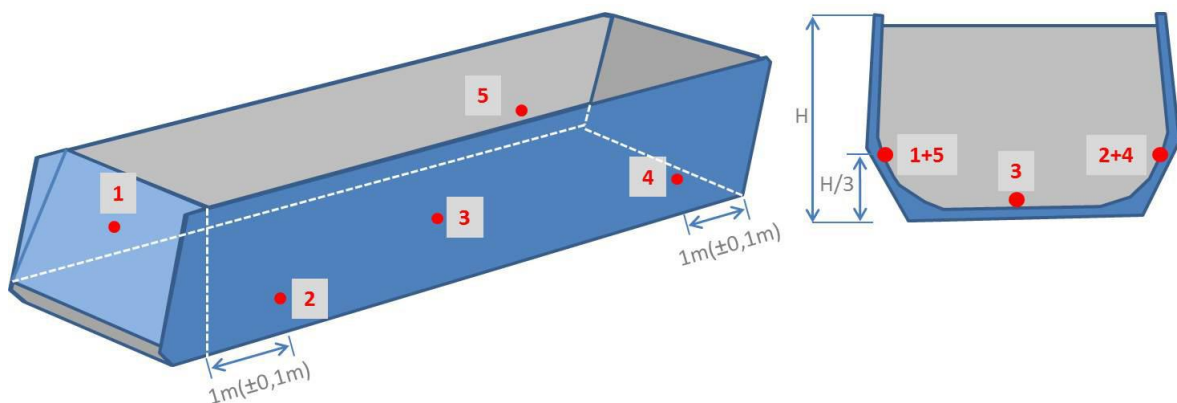
Za účelem zvýšení kvality a životnosti silničních komunikací v Německu byla přijata Spolkovým ministerstvem dopravy řada opatření. Aby měly stavební a dopravní společnosti dostatek času na zavedení změn, vstupují tato opatření v platnost ve třech stupních [20]:

- Stupeň 1 s platností od roku 2015: Při provádění asfaltových ploch od 18 000m² do 60 000m²
- Stupeň 2 s platností od roku 2017: Při provádění asfaltových ploch do 18 000m²
- Stupeň 3 s platností od roku 2019: Při provádění všech asfaltových ploch

Jejich součástí jsou i požadavky na přepravu asfaltových směsí na místo stavby, kdy je vyžadováno použití vozidel s tepelně izolovaným ložným prostorem. Pro zajištění dostatečné izolace korby vozidel je předepsáno, že celá konstrukce včetně podlahy a zadního čela musí dosahovat tepelného odporu alespoň 1,65m²K/W při 20°C. Použitý izolační materiál musí mít trvalou teplotní odolnost alespoň 200°C. [20]

Stávající neizolovaná vozidla je nutné opatřit dodatečnou izolací všech stěn korby včetně podlahy a zadního čela. Korba musí být také shora uzavřena teplotně odolnou plachtou nebo sklopným uzavíracím zařízením. Nová vozidla (zakoupená po roce 2016) musí být vybavena izolací již z výroby. [20]

Teplota asfaltové směsi během dopravy musí být monitorována. Měří se pomocí kalibrovaných teploměrů ve čtyřech, případně pěti místech korby (Obr.10). Měřicí přístroj je součástí vozidla, záznam dat je digitální a obsahuje údaje o teplotě v závislosti na čase, čas dodání směsi a identifikaci vozidla. Teplota je snímána po celou dobu od nabládky po vykládku směsi. Požadavky na teplotu směsi jsou splněny, pokud je aritmetický průměr ze všech měřících míst korby před zahájením vykládky nad předepsanou hodnotou. Pakliže tento požadavek není splněn, pokládka směsi nesmí být provedena. [20]



Obr. 10: Měření teploty asfaltové směsi - body měření [20]

4. Koncepční návrh

4.1. Návrhový objem nástavby, hmotnostní parametry

Jedním z hlavních požadavků na sklápěcí nástavby je schopnost pojmout co největší množství nákladu. Základním limitujícím faktorem je maximální, zákonem dovolená hmotnost celého vozidla, která je v případě použití čtyřnápravového podvozku 32 tun. Tuto hmotnost vozidlo během jízdy po silničních komunikacích nesmí překročit. Při jízdě mimo silnice (například v prostoru stavby) však vozidlo může být naloženo přes zákonný limit. V tomto případě hraje hlavní roli technický limit vozidla stanovený výrobcem, který je zpravidla dán maximální nosností náprav. Jednotlivé hmotnostní charakteristiky podvozku AD 340X40Z/P 8x4/4 (2+2) OFF jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3: Základní hmotnostní parametry vozidla

Maximální technická hmotnost	36 000	kg
Pohotovostní hmotnost podvozku	9 110	
Nosnost přední dvojnápravy	16 000	
Nosnost zadní dvojnápravy	21 000	
Nosnost vozidla bez nástavby	26 890	
Nosnost vozidla s nástavbou	23 690	

Nosnost náprav je v součtu o tunu vyšší než maximální technická nosnost vozidla deklarovaná výrobcem. Tím je zajištěna rezerva pro případ nerovnoměrného rozložení nákladu v ložném prostoru.

Aby bylo možné správně určit maximální užitečné zatížení, kterým lze vozidlo při dodržení zákonných a konstrukčních limitů naložit, je nezbytné znát hmotnost samotné nástavby. Nejdříve byl proveden odhad na základě parametrů obdobných nástaveb, které jsou již na trhu. Po vytvoření 3D modelu návrhu nástavby a jeho následném změření bylo zjištěno, že hmotnost nástavby je zhruba $m_n = 3\,200\text{ kg}$. Tato hmotnost je uvažována včetně všech prvků nástavby, popsanych v dalších částech práce (hydraulická soustava, zaplachtování apod.)

Pro určení návrhového objemu nástavby je důležité uvažovat objemovou hmotnost pro různé druhy nákladu, které se budou převážet. Objemovou (někdy též sypanou) hmotností se rozumí poměr hmotnosti tělesa ku jeho objemu včetně pórů. Například v případě šterku se jeho objem uvažuje i s mezerami mezi jednotlivými zrny. Jedná se tedy o obdobu hustoty materiálu, která se užívá zejména ve stavebnictví.

Navrhovaná sklápěcí nástavba by měla sloužit primárně k převozu asfaltových směsí. Při znalosti objemové hmotnosti asfaltové směsi (její hodnota se liší dle typu) a nosnosti vozidla lze stanovit minimální objem nástavby potřebný k převozu požadovaného množství směsi:

$$V_{návrh} = \frac{m_{MAX} - m_{pdv} - m_n}{\rho_{asf}} = \frac{36\,000 - 9\,110 - 3\,200}{2\,200} = 10,77\text{m}^3$$

$\rho_{asf} = 2\,200\text{kg/m}^3$Obj. hmotnost asfaltové směsi [34]

$m_{MAX} = 36\,000\text{kg}$Maximální technická hmotnost vozidla

$m_{pdv} = 9\,110\text{kg}$Hmotnost podvozku

$m_n = 3\,200\text{kg}$Návrhová hmotnost nástavby

Aby bylo možné sklápěč plně využít i na převoz materiálů s nižší objemovou hmotností, je nezbytné uvažovat dostatečný objem ložného prostoru. V tabulce 4 jsou uvedeny některé další typické materiály, které je nutné při stavbě silnic převážet.

Tab. 4: Objemová hmotnost běžných stavebních materiálů [6] [21]

Materiál	Obj. hmotnost ρ_v [kg.m^{-3}]
Hlína suchá	1 500 – 1 800
Hlína vlhká	1 800 – 2 100
Písek suchý	1 500
Písek mokrý	1 900 – 2 100
Štěrka drcená	1 650 – 1 800
Štěrka oblázková	2 000
Struska	2 500 – 3 500

Objemová hmotnost jednotlivých typů materiálu se v závislosti na jejich složení, vlhkosti, velikosti zrn apod. může velmi lišit. Některé objemové hmotnosti jsou proto udávány v poměrně velkém intervalu. Uvažujeme-li z hlediska objemu nejméně příznivou variantu, tedy suchou hlínu, vychází minimální nutný objem nástavby takto:

$$V_{návrh} = \frac{m_{MAX} - m_{pdv} - m_n}{\rho_{hl}} = \frac{36\,000 - 9\,110 - 3\,200}{1\,500} = 15,79\text{m}^3$$

Pro plné využití nosnosti podvozku při převozu výše zmíněných materiálů je tedy nutné, aby nástavba disponovala objemem ložného prostoru alespoň $15,8\text{m}^3$.

4.2. Volba rozvoru, základní rozměry nástavby

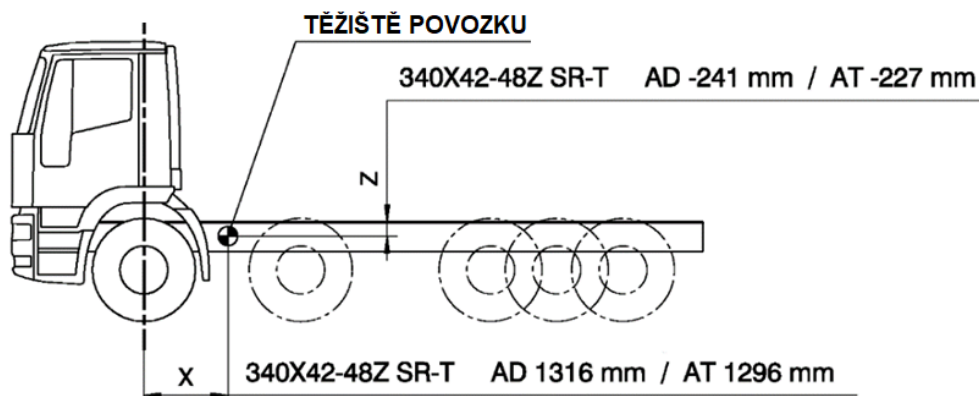
Dle návrhového objemu je možné zvolit základní rozměry nástavby. Délka nástavby je závislá především na rozvoru. U vozidla IVECO X-Way je možnost volby z několika variant rozvorů, a to od 4 250mm do 5 820mm. Výrobce doporučuje pro běžné sklápěcí nástavby dvě nejkratší varianty, konkrétně podvozky o rozvoru 4 250mm nebo 4 500mm. Po dohodě se zadavatelem byl zvolen rozvor 4 500mm. Při této délce lze vozidlo osadit korbou o požadovaném objemu bez nutnosti použití příliš vysokých bočnic.

Šířka nástavby je omezena maximální dovolenou šířkou vozidla, která je v případě nákladních vozidel s izolovanou nástavbou 2,6m. [16] U volby šířky je nutné brát v úvahu i umístění zpětných zrcátek tak, aby nástavba nebránila výhledu řidiče.

Dosáhnout většího objemu nástavby lze především pomocí vyšších bočnic. Nástavby s příliš vysokými bočnicemi na druhou stranu snižují stabilitu vozidla v zatáčkách a během sklápění. Při jejich nakládce je navíc nutné použití větších nakladačů a bagrů.

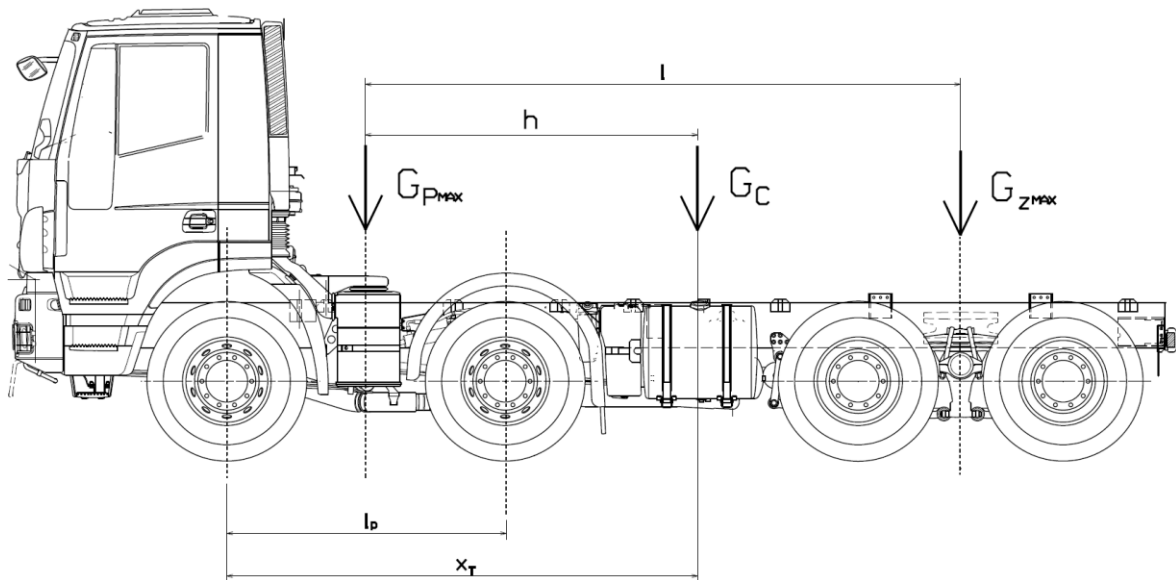
4.3. Určení optimální polohy těžiště vozidla s nástavbou

Pro maximální využití nosnosti vozidla je důležitá poloha jeho těžiště. Vzdálenost těžiště od středu přední dvojnápravy podvozku AD 340X40Z/P 8x4/4 (2+2) OFF s rozvorem 4500mm je stanovena výrobcem (Obr.11). Tato hodnota je určena pro vozidlo bez nástavby, s uvažováním řidiče, nezbytným vybavením a s nádrží naplněnou z 90% její kapacity. [22]



Obr. 11: Těžiště podvozku [22]

Z hlediska zatížení náprav je důležitá zejména podélná poloha těžiště vozidla. Aby bylo dosaženo optimálního rozložení hmotnosti na nápravy, je nezbytné vhodně určit místo, ve kterém by se mělo nacházet těžiště vozidla při naložení na maximální hmotnost 36 tun. Jelikož je součet nosností náprav o tunu vyšší, než výrobcem stanovený limit hmotnosti vozidla, je výhodné této skutečnosti využít a umístit nástavbu tak, aby při jejím rovnoměrném naložení byla rezerva jedné tuny rozdělena rovným dílem mezi přední a zadní nápravy. Je tak zajištěna určitá pojistka pro případ nerovnoměrného vyplnění ložného prostoru. U zadaného podvozku (Obr.12) lze určit optimální vzdálenost těžiště od osy předních kol x_T následovně:



Obr. 12: Poloha těžiště vozidla s nástavbou

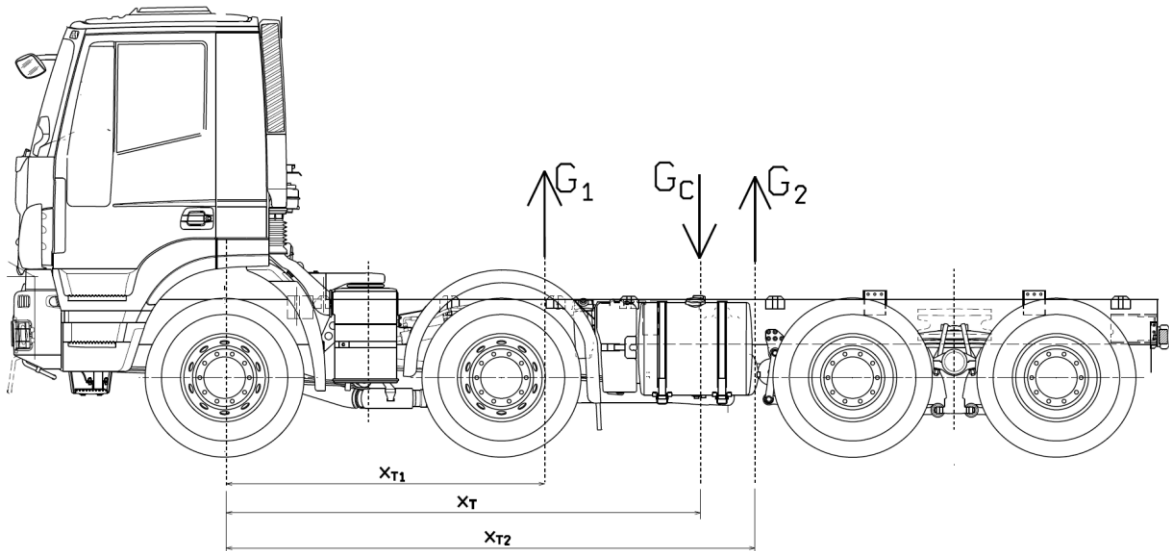
$$h = \frac{G_{zMAX} \cdot l}{G_c} = \frac{20\,500 \cdot 4\,231}{36\,000} = 2\,409\text{mm}$$

$$x_T = \frac{l_p}{2} + h = \frac{1\,875}{2} + 2\,409 = 3\,346\text{mm}$$

- $G_{pMAX} = 15\,500\text{kg}$Maximální návrhové zatížení přední dvojnápravy
- $G_{zMAX} = 20\,500\text{kg}$Maximální návrhové zatížení zadní dvojnápravy
- $G_c = 36\,000\text{kg}$Maximální technická celková hmotnost vozidla
- $l = 4\,231\text{mm}$Technický rozvor (skutečná vzdálenost uchycení náprav)
- $l_p = 1\,875\text{mm}$Rozvor kol přední dvojnápravy
- $h = ?$Optimální vzdálenost těžiště od přední dvojnápravy
- $x_T = ?$Optimální vzdálenost těžiště vozidla od předních kol

4.4. Optimální umístění nástavby

Rozhodující pro výslednou polohu těžiště vozidla, a tím pádem i pro správné rozložení hmotnosti na jednotlivé nápravy, je umístění nástavby. Z obrázku 13 lze z momentové rovnováhy učit vzdálenost od předních kol, ve které by mělo být těžiště nástavby umístěno, aby těžiště vozidla s nástavbou bylo ve vzdálenosti x_T :



Obr. 13: Optimální poloha umístění těžiště nástavby

$$G_1 x_{T1} + G_2 x_{T2} = G_C x_T$$

$$x_{T2} = \frac{G_C x_T - G_1 x_{T1}}{G_2} = \frac{36\,000 \cdot 3\,346 - 9\,110 \cdot 2\,253}{26\,890} = 3\,717\text{mm}$$

$G_1 = 9\,110\text{kg}$Hmotnost podvozku

$G_2 = 26\,890\text{kg}$Hmotnost plně naložené nástavby

$G_C = 36\,000\text{kg}$Maximální technická celková hmotnost vozidla

$x_T = 3\,346\text{mm}$Optimální vzdálenost těžiště vozidla od předních kol

$x_{T1} = 2\,253\text{mm}$Vzdálenost těžiště podvozku od předních kol

$x_{T2} = ?$Optimální vzdálenost těžiště nástavby od předních kol

Při umístění těžiště nástavby ve vzdálenosti x_{T2} od předních kol lze dosáhnout ideálního rozložení zatížení na jednotlivé nápravy a splnění jak zákonných, tak technických limitů vozidla.

4.5. Zatížení náprav dle provozního režimu

V tabulce 5 jsou uvedeny vypočtené hodnoty rozložení hmotnosti na nápravy při jednotlivých zátěžných situacích pro podvozek s nástavbou.

Tab. 5: Přehled rozložení hmotností na nápravy dle nákladu

	BEZ NÁKLADU	NALOŽENO NA LEGÁLNÍ LIMIT	NALOŽENO NA MAXIMÁLNÍ NOSNOST	
Celková hmotnost	12 310	32 000	36 000	kg
Užitečné zatížení	0	19 690	23 690	
Hmotnost na přední dvojnápravě	7 374	14 127	15 500	
Hmotnost na zadní dvojnápravě	4 935	17 872	20 500	

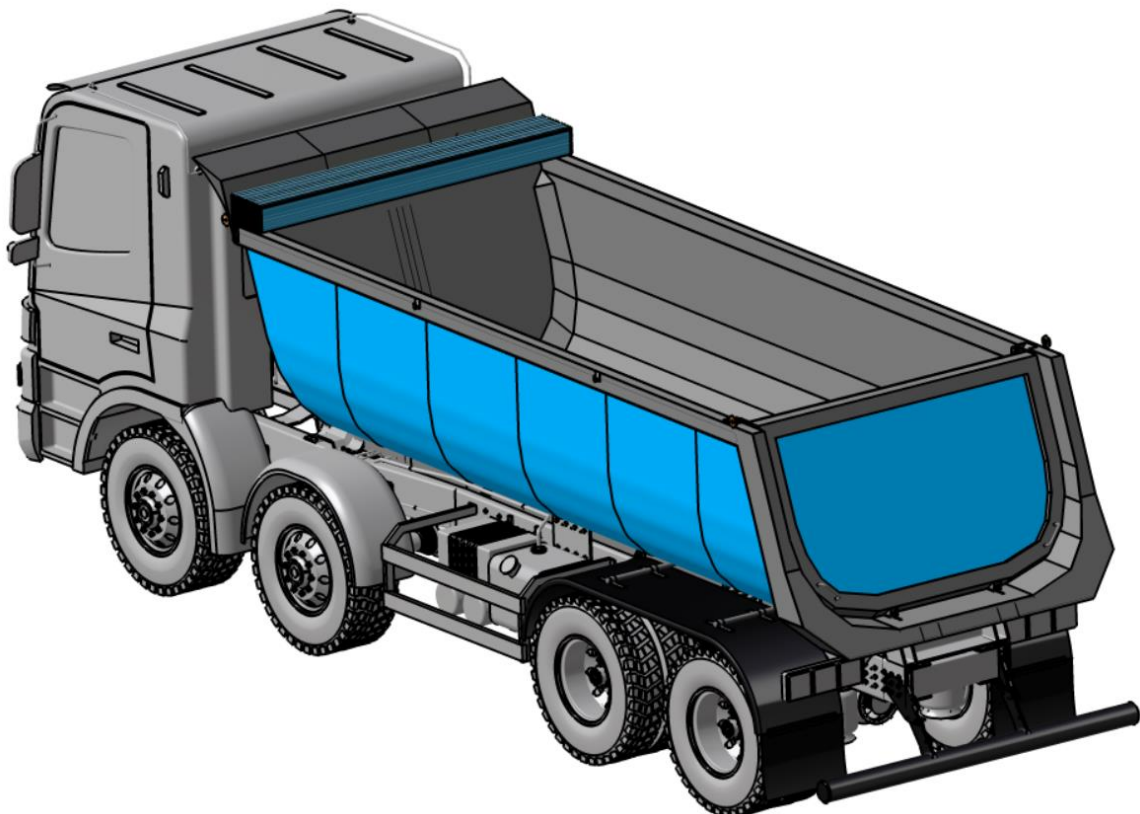
Uvedené hodnoty jsou vypočteny při uvažování ideálního rozložení nákladu v ložném prostoru nástavby. V praxi je však nutné počítat s neideálním rozložením nákladu vlivem špatného naložení, případně způsobeným pohybem nákladu během přepravy. Proto je nástavba umístěna tak, aby při jejím plném naložení byla rezerva 500kg vůči maximální nosnosti obou dvojnáprav.

5. Konstrukce nástavby

Sklápěcí nástavba se skládá ze tří základních částí: korby, pomocného rámu a hydraulické soustavy. Pro konstrukci byly v předchozí části textu popsány následující požadavky:

- Sklápěč typu S1 (zadní sklápěč)
- Objem alespoň 15,8m³
- Maximální šířka 2,6m
- Vzdálenost těžiště od přední nápravy při plném naložení: 3 717mm
- Prostor pro nasytku finišeru při sklápění alespoň 750mm
- Maximální dovolená vzdálenost mezi upevněním zadní tandemové nápravy a sklápěcím hřídelem: 1 400mm
- Optimalizace tvaru ložného prostoru pro převoz asfaltových směsí
- Izolace nástavby v souladu s DIN 70001

Návrh vychází z již existujících konstrukcí a běžně používaných prvků nástaveb. K tvorbě 3D modelu nástavby byl využit software Catia V5. Model (Obr.14) neobsahuje některé díly, jako například šrouby či součásti zaplachtování, protože nejsou z hlediska další analýzy modelu podstatné. Část dílů je vymodelována pouze zjednodušeně. Především v případě tvorby výrobních výkresů je nutné model uzpůsobit skutečným výrobním postupům a doplnit například díry pro šrouby, osazení dílů pro svařování apod.



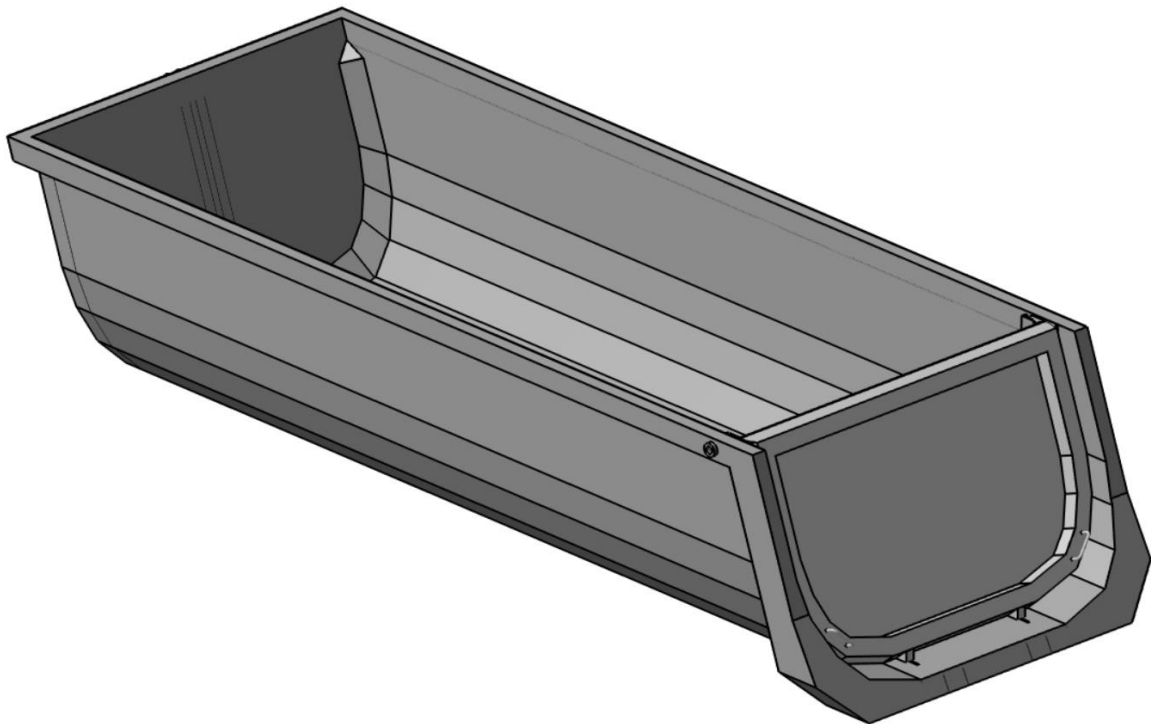
Obr. 14: Model nástavby s podvozkem

5.1. Korba

Hlavní částí celé nástavby je korba, která je tvořena samonosnou konstrukcí. Jelikož se jedná o izolovaný sklápěč, je navíc nosná část konstrukce doplněna izolační a krycí vrstvou.

5.1.1. Nosná konstrukce

Vnitřní nosná část konstrukce (Obr. 15) slouží k uložení nákladu a zajišťuje vhodné rozložení zatížení na pomocný rám vozidla. Jedná se o celoocelovou svařovanou konstrukci. Skládá se ze tří hlavních částí: předního čela, podlahy a bočnic. Ložný prostor je vzadu uzavřen samostatným zadním čelem.



Obr. 15: Nosná část korby

5.1.1.1. Materiál

Většina konstrukce je svařena z plechů materiálu Hardox 450, což je obchodní označení tohoto druhu vysokopevnostní oceli. Číslice 450 udává střední hodnotu tvrdosti dle Brinella HB. [23] Mechanické vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce 6:

Tab. 6: Mechanické vlastnosti materiálu HARDOX 450 [24]

MATERIÁL	TVRDOST	MEZ PEVNOSTI A KLUZU		TAŽNOST	HOUŽEVN.	UHL. EKVALENT	
	HB Brinell	Rp0,2 [Mpa]	Rm [Mpa]	A5 [%]	KV-40°C [J]	CEV	CET
HARDOX 450	425 - 475	1200	1400	10	35	0,47	0,34

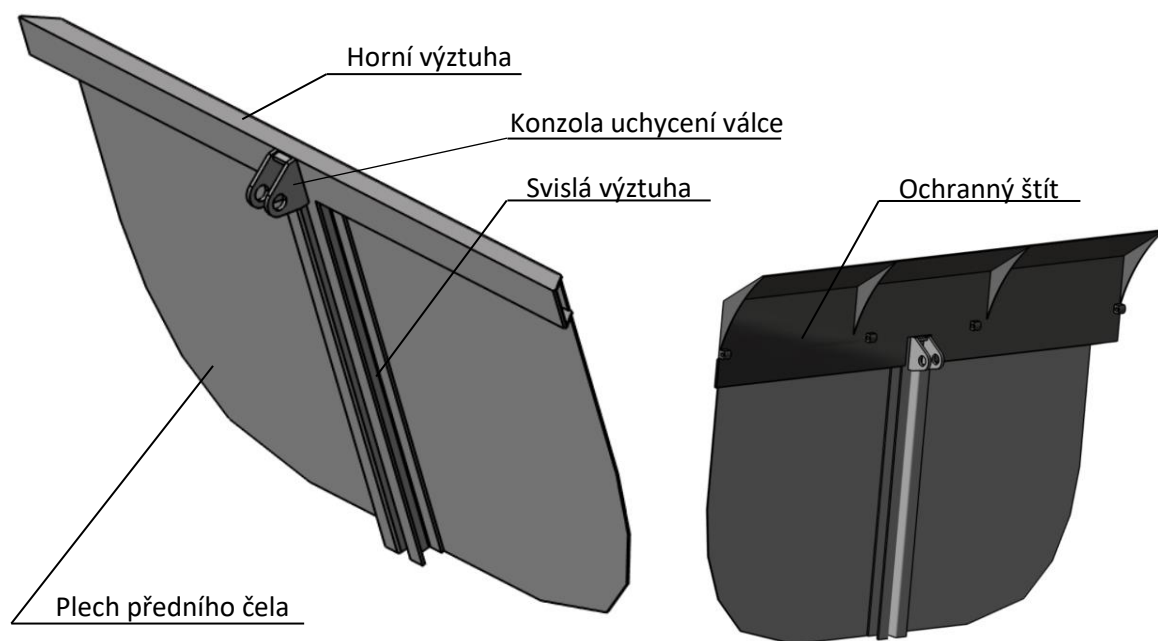
Jedná se o materiál, který je velmi často využíván výrobci sklápěcích nástaveb a umožnil konstrukci téměř bezvýztuhových koreb. Vyniká zejména vysokou otěruvzdorností, tvrdostí a houževnatostí. Materiál je dodáván v jednotlivých plátech. Například výrobce Gama Ocel nabízí plechy tloušťky 3,2mm až 130mm o rozměrech až 3,4m x 14,6m. [23] Plechy lze dělit běžnými způsoby, nejčastěji se používá řez plamenem nebo plazmou. Díky nízkému uhlíkovému ekvivalentu je materiál dobře svařitelný. [24]

Tvarování plechů pro bočnice korby se provádí pomocí ohraňovacího lisu. Se zvyšující se pevností plechu se zvyšuje síla ohnutí a odpružení materiálu. Čím je ocel pevnější a tvrdší, tím větší musí být razící úhel, který je zapotřebí pro ohnutí plechu. Minimální poloměr ohybu by u Hardoxu 450 měl být alespoň čtyřnásobek tloušťky plechu. [23]

5.1.1.2. Přední čelo

Přední čelo (Obr. 16) je šikmé, sklopené pod úhlem 20°. Je tvořeno jedním plechem o tloušťce 6mm, který je vyztužen dvěma svislými U profily 100x60x5. K horní části čela je přivařen další nosný profil, který vyztužuje horní část korby. Jeho součástí je konzola pro spojení s hydraulickým válcem prostřednictvím čepu. Profil je na konci seříznut tak, aby ho bylo možné plynule spojit s nosným profilem po celém horním okraji korby. Svařením předního čela s podlahou a bočnicemi vzniká v místě spojení hrana, kde může docházet k výraznějšímu chladnutí směsi a usazování jejích zbytků při vykládce. Proto jsou v tomto místě navařeny další plechy (Obr. 15), kterými je vytvořeno zkosení hrany ložného prostoru.

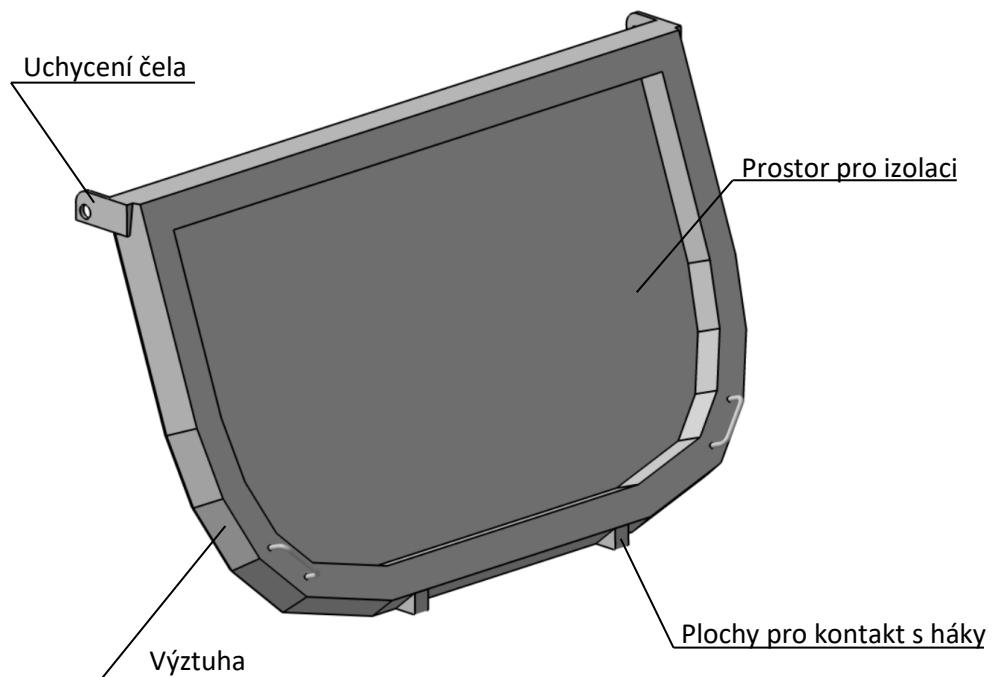
K přednímu čelu je rovněž připevněn ochranný štít, který kryje citlivé části vozidla (motor, převodovka a hydraulický systém) před zasypáním nákladem při převozu či nakládání. Štít zároveň vytváří prostor pro upevnění systému zaplachtování, který je podrobněji popsán v další části práce.



Obr. 16: Přední čelo

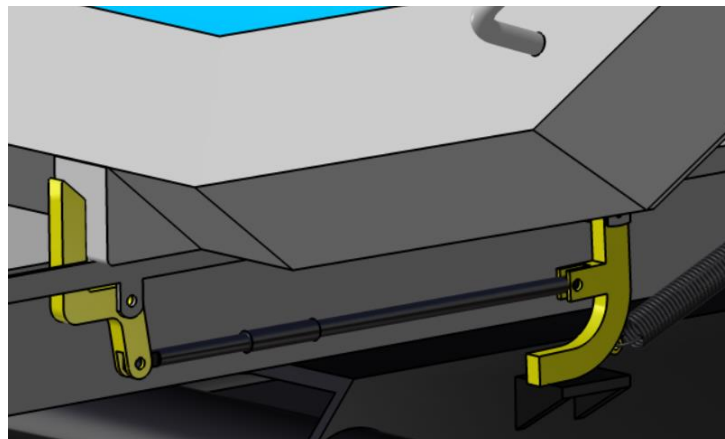
5.1.1.3. Zadní čelo

Úkolem zadního čela (Obr. 17) je zadržet náklad v korbě sklápěče při převozu a umožnit jeho bezproblémovou vykládku při sklápění. Zadní otevíratelné čelo je výkyvné, zavěšené na dvou čepích a sklopené pod úhlem 20°. Má tloušťku stěny 6mm a je po obvodu vyztuženo. Prostor, který vyztuha ohraničuje, je vyplněn deskou izolace a jejím krytím. Vyztuhy samotné jsou vyplněny izolační pěnou. Čelo je vsazeno do korby ve vzdálenosti 220mm od výsypné hrany. Díky tomu je dosaženo požadovaného umístění těžiště nákladu při zachování dostatečného zadního převisu výsypné hrany. Na svislé části bočnic v ložném prostoru jsou navařeny plechy, které vytváří dosedací plochu čela.



Obr. 17: Zadní čelo

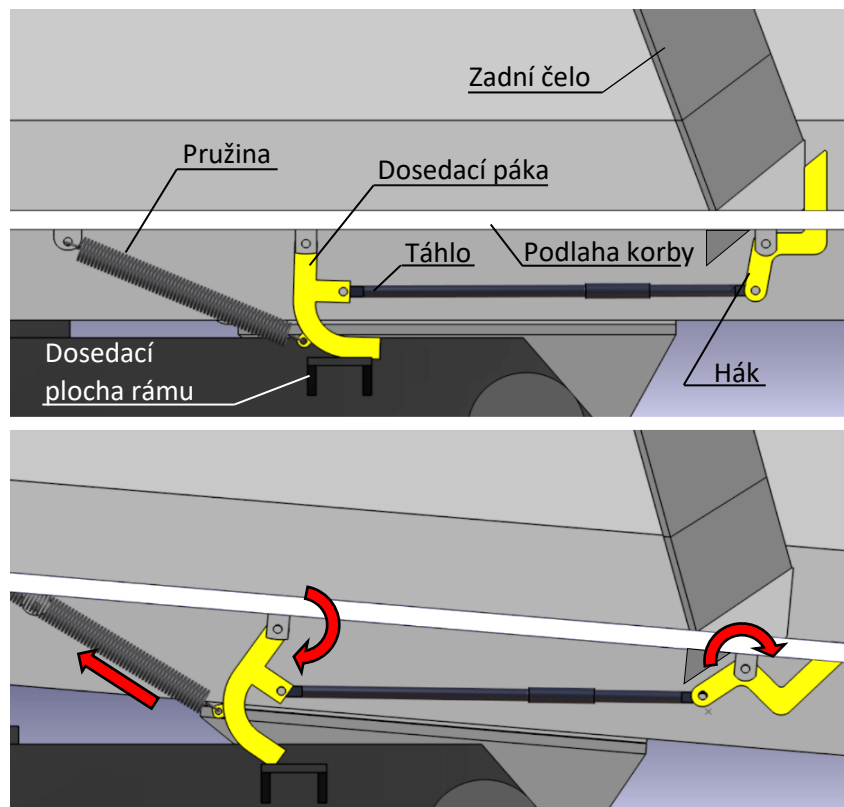
Čelo je proti samovolnému otevření zajištěno dvěma háky. Háky jsou upevněny pomocí čepů ke spodní straně korby a dotýkají se čela skrze otvory v podlaze (Obr.18).



Obr. 18: Mechanismus uzavírání zadního čela

Při zvedání korby během sklápění se háky pootočí, uvolní čelo a zároveň částečně zakryjí otvory v podlaze. Pootočení háků je dosaženo prostřednictvím jednoduchého mechanismu táhel a dosedacích pák, který háky při zvedání korby uvolní, a ty se vrátí díky vratné pružině do otvorů v podlaze. Tato krajní poloha je vymezena navařenými výstupky podlahy, které brání dalšímu otáčení háků vlivem tahu pružiny. Po odjištění se čelo otevírá působením vlastní tíhy při zvyšujícím se úhlu sklápění a tlakem nákladu.

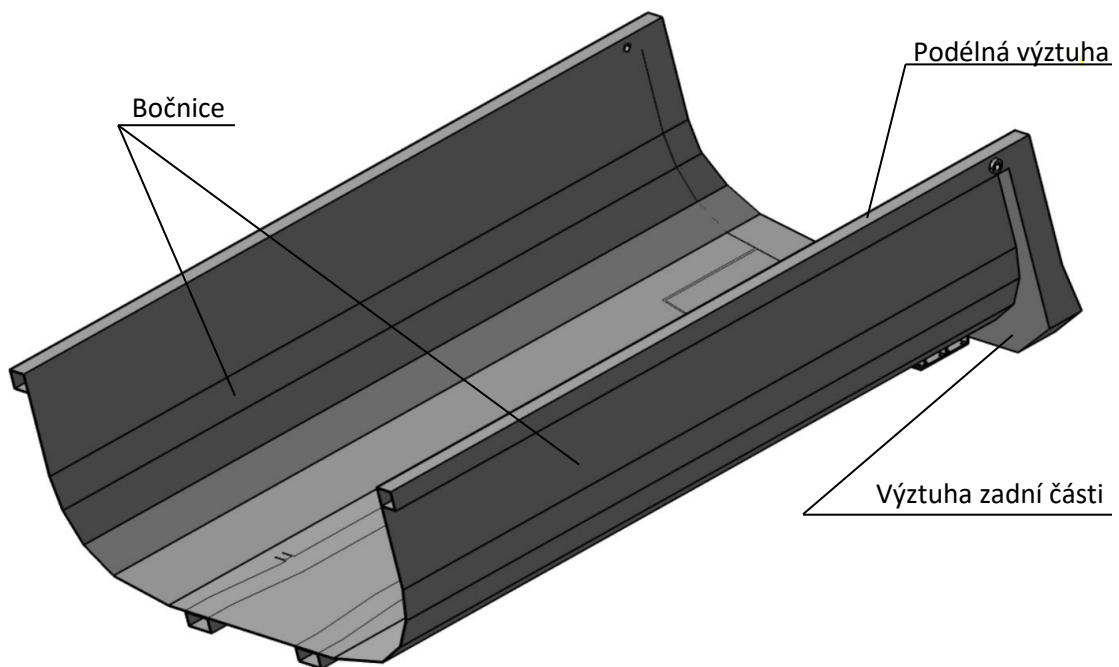
Po ukončení sklápění a dosednutí pák na pomocný rám přitlačí mechanismus háky zpět k čelu a uzavře ho. Háky jsou tedy při sklápění uvolněny a opět uzavřeny automaticky a řidič nemusí během vykládky opustit vozidlo. Sklopením zadního čela pod úhlem 20° se snižuje jeho namáhání tlakem nákladu, což rovněž vede ke snížení zatížení uzavíracího mechanismu. Funkce mechanismu je znázorněna na obrázku 19.



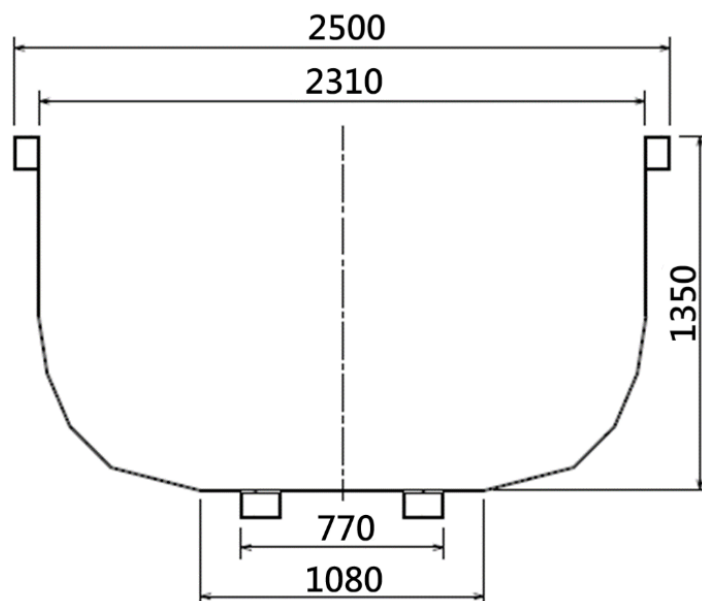
Obr. 19: Mechanismus uzavírání zadního čela. Nahoře zajištěné čelo, dole odjištěné.

5.1.1.4. Podlaha a bočnice

Na obrázku 20 je střední část korby, která se skládá z podlahy a dvou bočnicových částí. Každá z bočnic je tvořena z jednoho plechu o tloušťce 6mm, který je naohýbán tak, aby bylo dosaženo půlkruhového profilu korby (Obr. 21). Takový tvar ložného prostoru snižuje riziko vzniku míst s výrazným chladnutím směsi a s tím spojeným usazováním zbytků směsi při vykládání, jako se tak děje například v rozích u nástaveb s rovnými, svislými bočnicemi. Horní část bočnic je vyztužena podélnou nosnou strukturou z obdélníkového profilu, která přímo navazuje na horní výtuhu předního čela.

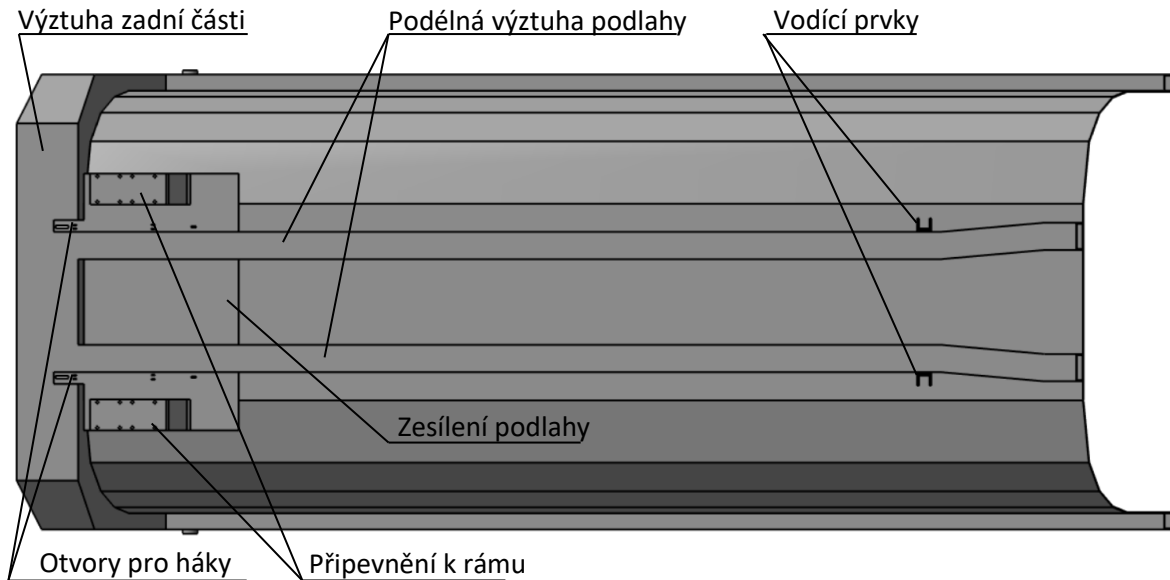


Obr. 20: Podlaha a bočnice



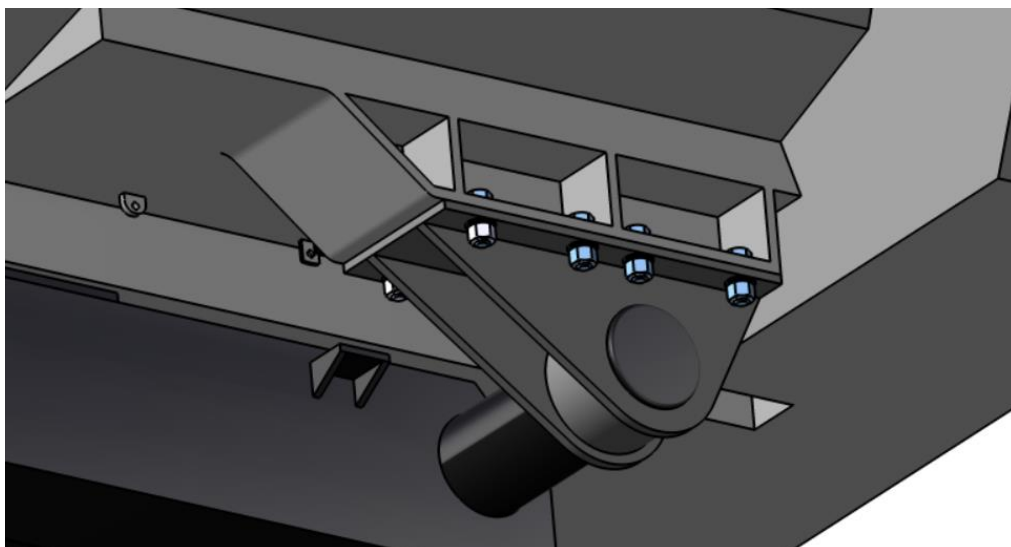
Obr. 21: Tvar a základní rozměry korby v řezu

Podlahu tvoří plech o tloušťce 6mm. V zadní oblasti korby, kde dochází k jejímu největšímu abrazivnímu opotřebení, je podlaha zesílena na 8mm. K podlaze (Obr.22) jsou po celé její délce přivařeny dva podélné profily 150x100x8, které ji vyztužují a tvoří kontaktní plochu mezi korbou a pryžovými bloky pomocného rámu podvozku. Aby bylo zamezeno příčnému pohybu korby po pomocném rámu, jsou podélníky v přední části korby doplněny dvěma svislými vodícími prvky. Podélné nosné profily bočnic a podlahy zajišťují, že korba sklápěče je schopna odolávat různým typům statického a dynamického zatížení.



Obr. 22: Podlaha korby

V zadní, zesílené části podlahy, jsou po obou stranách umístěny svařence několika plechů, jenž tvoří plochy pro připevnění nástavby k pomocnému rámu. Korba je k příčnicku sklápění pomocného rámu upevněna v kluzných ložiscích prostřednictvím samostatných součástí (Obr.23). Tyto součásti jsou s korbou spojeny pomocí šroubů M16.

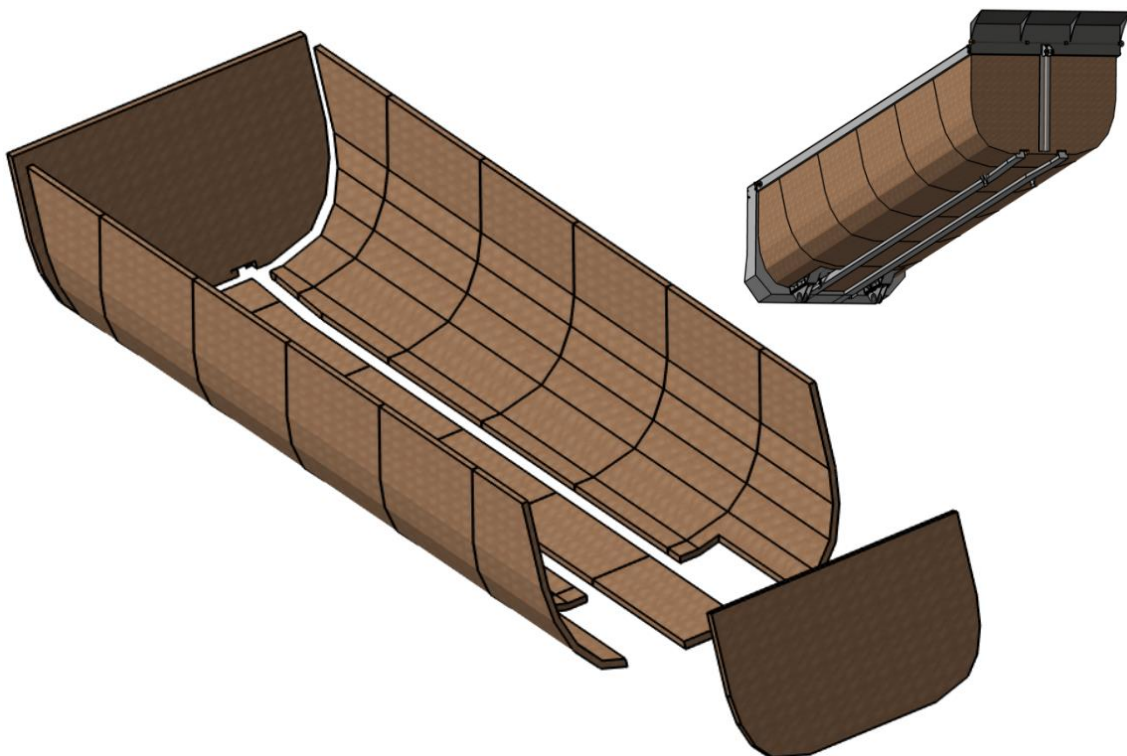


Obr. 23: Spojení korby s pomocným rámem

Koncová část korby je po svém obvodu zesílena nosnou strukturou, která navazuje na podélnou výztuhu bočnic. Zesílení zadní části je nezbytné, aby nedocházelo k příliš velké deformaci a rozevírání konce korby vlivem zatížení od nákladu. Zadní čelo je totiž v korbě zavěšeno volně na čepech a nefunguje jako část nosné struktury. Prodloužená podlaha zároveň slouží jako odsypová hrana, která svým dostatečným přesahem za rám vozidla brání zasypání zadní nápravy při sklápění. Výška odsypové hrany při maximálním úhlu sklápění 48° je 815mm, což splňuje požadavek na minimální prostor pro násypku finišeru. Celkový objem ložného prostoru je 16,1m³. Podrobné rozměry a detaily konstrukce korby jsou zobrazeny na výkrese nástavby, který je součástí přílohy 4 této práce.

5.1.2. Izolační vrstva

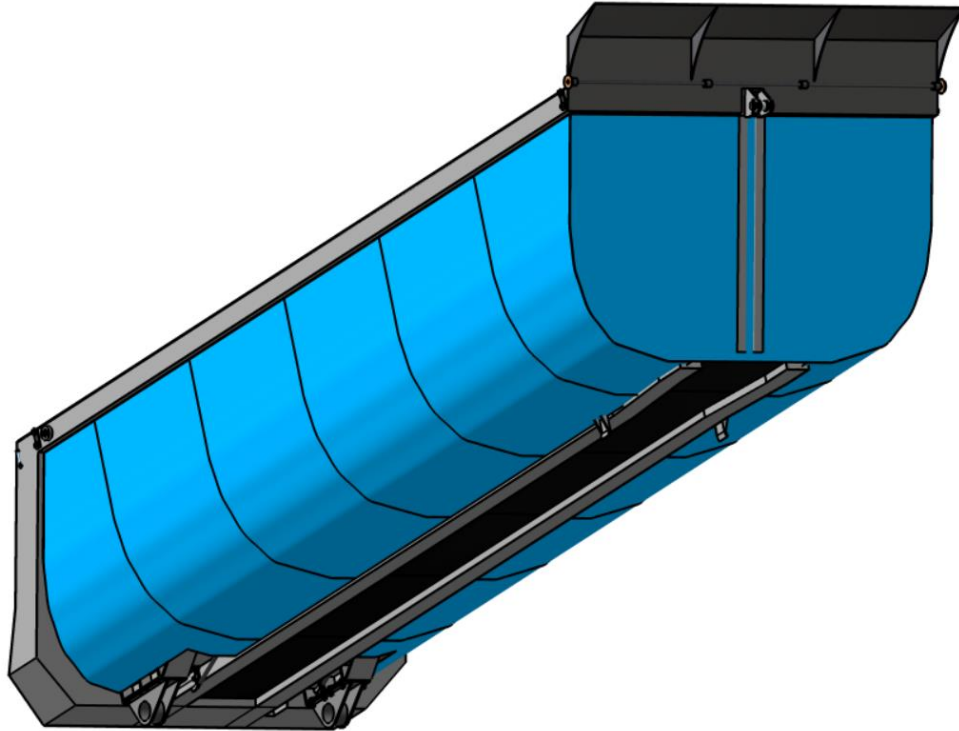
Tepelné ztráty nástavby snižuje izolační vrstva (Obr.24) o tloušťce 50mm. Izolace těsně doléhá na všechny stěny konstrukce, včetně čel a podlahy. Je rozdělena na několik segmentů, které lze v případě jejich poškození vyměnit za nové. V místě nosných prvků a uchycení korby k rámu jsou části izolace vyříznuty a kde je to možné, jsou nahrazeny vystřikáním výztuh izolační pěnou. Podrobný popis návrhu izolační vrstvy včetně ověření izolačních schopností nástavby je uveden v další části této práce.



Obr. 24: Izolační vrstva korby

5.1.3. Krycí vrstva

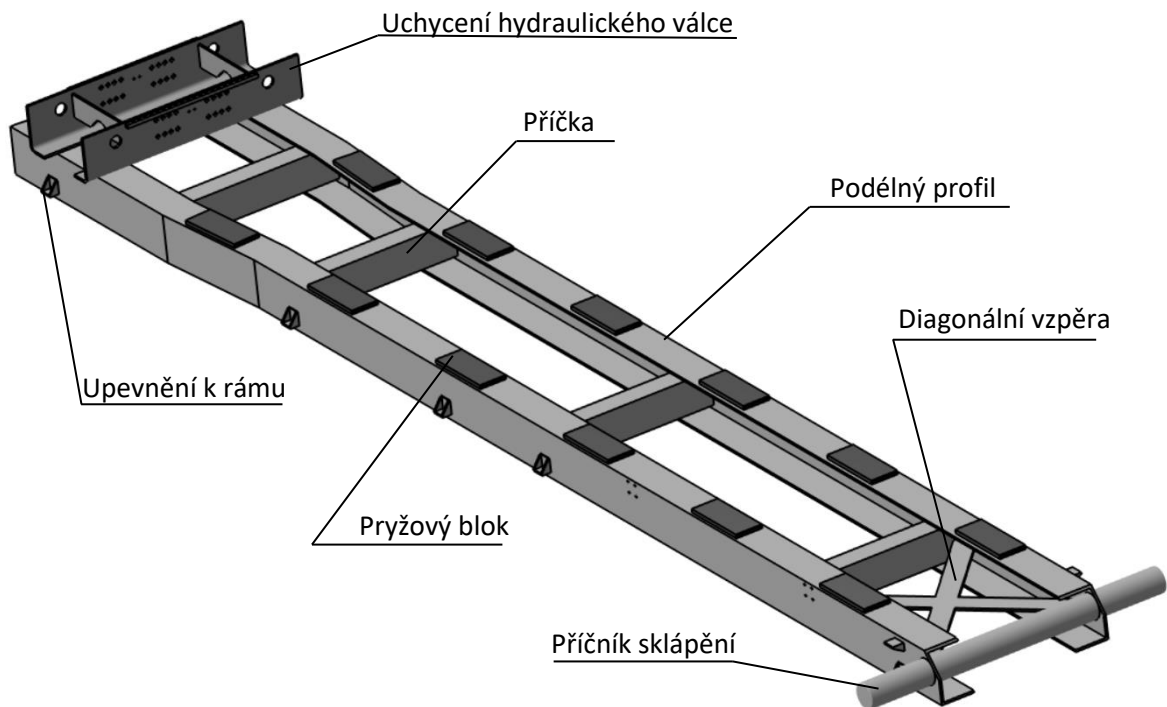
Vnější vrstva nástavby je tvořena pláštěm (Obr.25) o tloušťce 1mm. Slouží především k ochraně izolace před povětrnostními vlivy. Skládá se ze samostatných hliníkových plechů, které lze v případě poškození vyměnit. Krycí plechy jsou upevněny k nosným podélníkům podlahy a bočnic pomocí šroubů.



Obr. 25: Krycí vrstva sklápěče

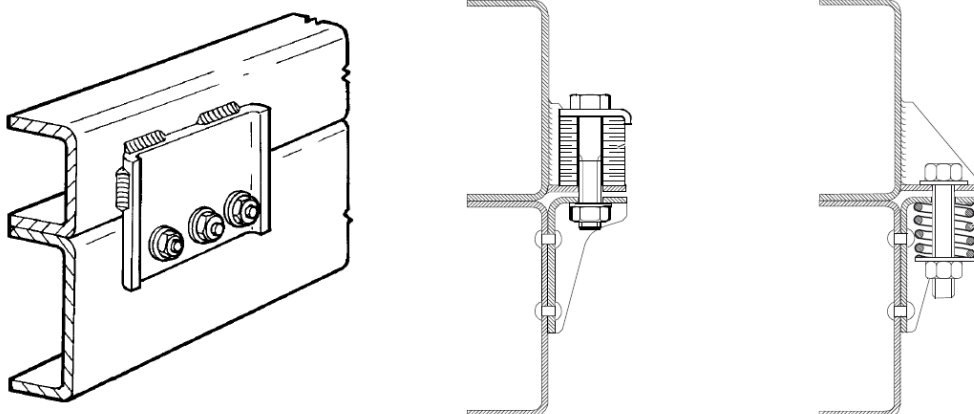
5.2. Základní a pomocný rám

Pro správné fungování nástavby je důležitý způsob jejího připevnění k podvozku nákladního vozidla. Základní rám podvozku je možné upravovat pouze v omezené míře. Nástavbář při přestavbě musí dodržet všechny zásady, které mu předepisuje výrobce podvozku. Pro tyto účely vydává IVECO ke svým vozům příručku pro nástavbáře, která obsahuje rozsáhlé instrukce k úpravě jednotlivých částí vozidla. Příručka podrobně popisuje konstrukci podvozku, elektroniku vozidla a detaily o pohonném ústrojí. Veškerá doporučení jsou výrobcem odzkoušená řešení, která splňují všechny normy a ustanovení. Nástavbář zodpovídá za schválení technické způsobilosti vozidla. Podvozek s nástavbou jako celek musí po přestavbě plnit platné právní předpisy pro provoz na pozemních komunikacích v zemi jeho registrace i provozu. [22]



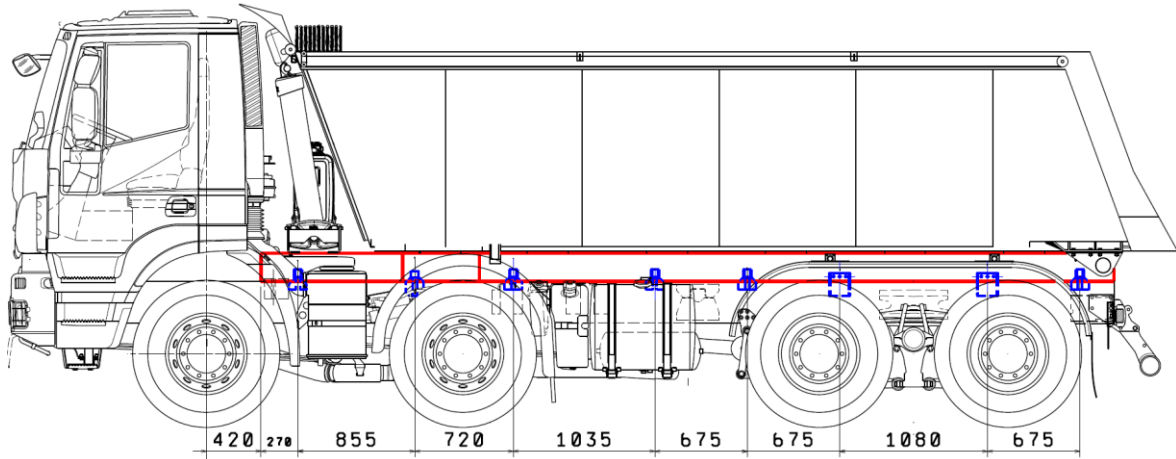
Obr. 26: Pomocný rám

V případě sklápěcích nástavby je vhodné základní rám navíc osadit pomocným rámem, který na základní rám podvozku přímo dosedá a kopíruje jeho tvar. Pomocný rám slouží k rovnoměrnému rozložení zatížení na podvozek, přispívá k tlumení vibrací podvozku a je opatřen prvky pro připevnění korby sklápěče. Pomocný rám (Obr.26) popisované nástavby je tvořen svařovanou konstrukcí, jejíž hlavní částí jsou dva podélné U profily 200x150x5, které jsou spojeny několika příčkami rovněž z U profilu. Pro sklápěcí nástavby se obecně doporučuje, aby pomocný rám byl v zadní části tužší než v přední. Oba podélníky jsou proto v zadní části vyztuženy diagonální vzpěrou. Spojení mezi pomocným a základním rámem vozidla je řešeno dvěma způsoby. V přední části je spojení pružné, jenž umožňuje relativní pohyb mezi pomocným rámem a podvozkem, zatímco v zadní části je spojení tuhé (Obr.27). [22]



Obr. 27: Spojení základního a pomocného rámu: Tuhé (vlevo), Pružné s pryží (usprostřed), Pružné s pružinou (vpravo) [22]

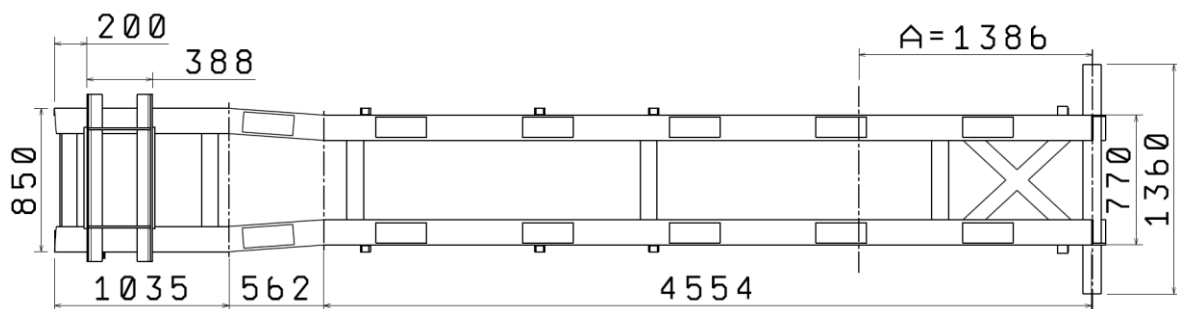
K pomocnému rámu jsou prostřednictvím šroubů připevněny desky s obdélníkovými pryžovými bloky s dosedací plochou o rozměrech 300x120mm a tloušťkou 16mm, na které dosedají podélníky podlahy korby. Pryžové bloky tlumí vibrace a chrání kontaktní plochy korby a rámu proti poškození. Jsou rozmístěny rovnoměrně po celé kontaktní ploše v počtu sedmi kusů na každém podélníku pomocného rámu.



Obr. 28: Upevnění pomocného rámu

Pro odpružení kmitů rámu musí být pomocný rám vytažen vpřed a přichycen k rámu podvozku co nejbližší k přední nápravě. Poloha pomocného rámu vůči podvozku a rozmístění upevnění je znázorněno na obrázku 28. Pomocný rám je zvýrazněn červeně, jednotlivá upevnění k podvozku modře.

Příčník sklápění je tvořen trubkou o průměru 110mm a tloušťce stěny 10mm. Je přivařen k zadnímu konci pomocného rámu. Pro co největší stabilitu a snížení namáhání podvozku při sklápění je vhodné jej umístit co nejbližší k zadní nápravě a minimalizovat tak převis rámu. V případě odpružení zadních náprav listovými pružinami by dle výrobce podvozku neměla vzdálenost mezi uchycením tandemové nápravy a příčníkem sklápění přesáhnout 1400mm. Při použití náprav s pneumatickým odpružením by tato vzdálenost neměla přesáhnout 1410mm. [22] Dle obrázku 29 byla tato podmínka splněna (rozměr A).



Obr. 29: Základní rozměry pomocného rámu

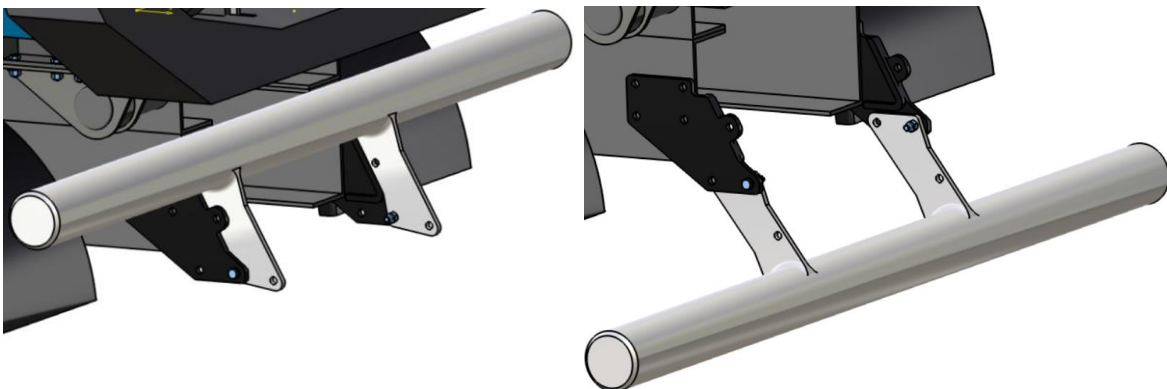
V koncích příčnicku jsou umístěny kluzné náboje, ke kterým je upevněna korba nástavby. V čelech nábojů jsou umístěny mazací otvory, kterými lze do kluzných ložisek aplikovat plastické mazivo. Zřetel je třeba brát i na umístění hydraulického válce. Je nezbytné jej umístit před těžiště nástavby a nákladu, jinak by při sklápění docházelo ke zvedání zadního konce nástavby. Hydraulický válec musí být uchycen k pomocnému rámu vozidla. [22]

5.3. Příslušenství sklápěče

Pro správnou funkci a bezpečný provoz vozidla s nástavbou je nezbytné doplnit její základní části (korba, pomocný rám, hydraulický systém) dalším příslušenstvím. Pozornost je nutné věnovat především zadní části vozidla, jelikož nástavba může zasahovat do zákonem předepsaných částí podvozku (koncová světla, SPZ), případně měnit poměry v zadní části vozidla z pohledu pasivní bezpečnosti. Kromě níže popsaného příslušenství je v případě sklápěcí nástavby nutné počítat například s umístěním rezervního kola na předním čele, podkládacích klínů nebo se skladovacím prostorem pro nářadí a vybavení.

5.3.1. Zábřana proti podjetí

Zadní hrana korby sklápěče výrazně přesahuje přes základní rám vozidla. Navíc je v takové výšce, která u běžných osobních vozidel odpovídá výšce čelního skla. V případě zadního nárazu osobního automobilu do nákladního vozidla s takovou nástavbou dochází k podjetí přední části automobilu. Výsledkem jsou velmi vážné nehody i při nižších rychlostech, jelikož dochází k nárazu na A-sloupek a výrazné deformaci prostoru pro posádku. Aby se snížily následky takové nehody, je na nákladní vozidla tohoto typu instalována zábřana proti podjetí (Obr.30). Tento prvek pasivní bezpečnosti funguje jako deformační zóna, která je v obdobné výšce jako deformační zóna osobních vozidel.



Obr. 30: Zábřana proti podjetí.

Jelikož je navrhovaná nástavba učena pro převoz asfaltových směsí, je nezbytné umožnit spolupráci s finišerem. Zábrana proti podjetí však omezuje prostor pro násypku finišeru. Z tohoto důvodu lze použitou zábranu zvednout, čímž se vytvoří dostatečný pracovní prostor pro kontakt válečků finišeru s koly zadní nápravy. Zábrana je zvedána ručně a v horní i dolní poloze je zajištěna pomocí pojistných kolíků. Umístění zábrany se řídí předpisem EHK č.58 a vyhláškou č. 341/2014 Sb. [13] Požadované parametry dle předpisů a jejich dosažené hodnoty jsou uvedeny níže:

- Minimální prostor pro násypku finišeru pod zvednutou zábranou: 750mm
Dosaženo: 780mm
- Maximální výška spodní hrany nezvednuté zábrany nad zemí: 550mm.
Dosaženo: 422mm
- Maximální převis obrysu vozidla za zábranu: 400mm
Dosaženo: 134mm
- Minimální výška profilu zábrany: 100mm
Dosaženo: 150mm

Jelikož zábrana proti podjetí ani další prvky nástavby nebrání výhledu na koncová světla a SPZ, není nutné upravovat tuto část podvozku.

5.3.2. Zaplachtování korby

Korba je z horní strany uzavřena plachtou, která snižuje tepelné ztráty, chrání asfaltovou směs před oxidací vlivem proudění vzduchu při převozu a dalšími povětrnostními vlivy. Uzavření ložného prostoru navíc zlepšuje aerodynamiku vozidla, čímž se snižuje spotřeba paliva.

Nástavba je osazena systémem zaplachtování řady Cabriolé od výrobce Cramaro (Obr.31). Jedná se o elektromotorem shrnovanou plachtu, která je ovladatelná z kabiny. Celý systém je umístěn v horní části předního čela korby. Plachta je umístěna na kladkách a je shrnována po ocelových lankách, umístěných na vnější straně horní výztuhy bočnic. Toto řešení nevyžaduje instalaci kolejnic, u kterých by mohlo docházet k zanášení nákladem. [25]

Použitá neoprenová plachta je odolná vůči vysokým teplotám přes 200 °C a dosahuje součinitele prostupu tepla $k_{pl} = 3,7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Plachta je připevněna k obloukovým nosným žebrům, která zajišťují její stálý tvar a vytváří mezeru mezi plachtou a nákladem. [25]



Obr. 31: Zaplachtování Cramaro [25]

5.3.3. Blatníky

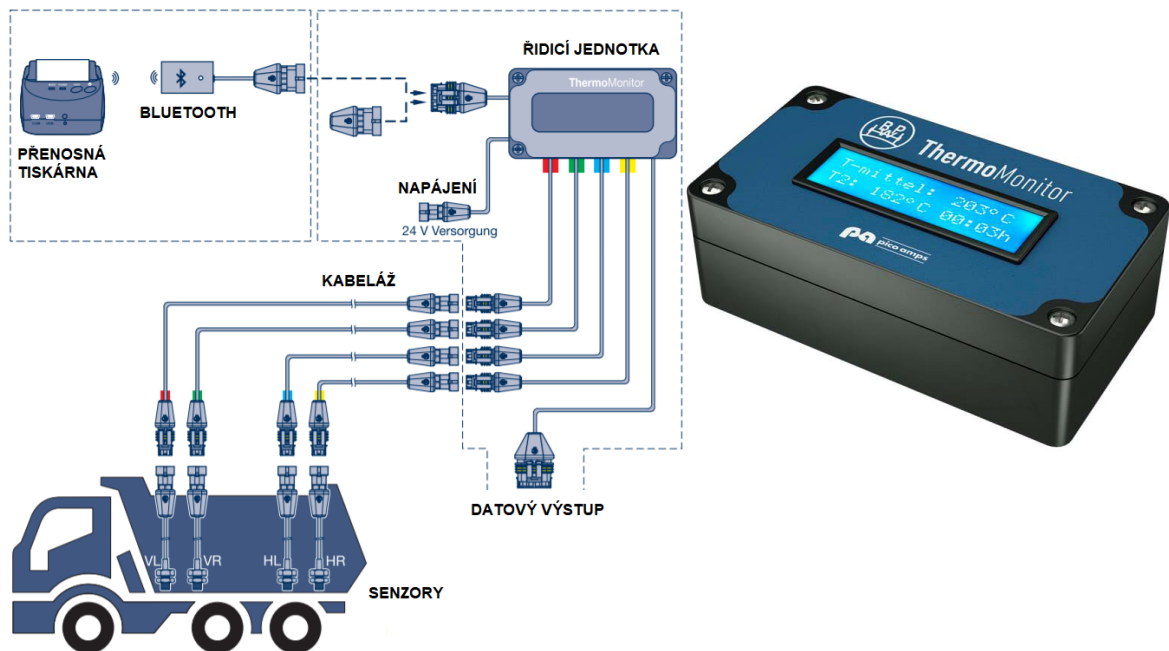
Podvozek IVECO není z výroby vybaven blatníky zadní dvojnápravy. Tato část výbavy vozidla tak zůstává na výrobci nástavby. Navrhovaná nástavba je vybavena plastovými blatníky (Obr.32). Jsou upevněny k pomocnému rámu a jejich součástí jsou i zástěrky, které jsou pomocí řetízků spojeny se zábranou proti podjetí. V případě spolupráce sklápěče s finišerem dojde ke zvednutí zástěrek společně se zábranou, což umožní přístup odvalovacích válečků násypky finišeru k zadním kolům sklápěče.



Obr. 32: Blatníky se zástěrkami

5.3.4. Teplotní senzory

Aby bylo možné měřit a zaznamenávat teplotu asfaltové směsi během přepravy, je v korbě sklápěče instalován monitorovací systém ThermoMonitor (Obr.33) od výrobce BPW. Skládá se z řídicí jednotky, čtyř teplotních senzorů PT1000, kabeláže a přenosné tiskárny. Senzory jsou umístěny na předepsaných místech korbě (Obr. 10). Součástí senzorů je závit M8x10, pomocí kterého jsou zašroubovány do matic navařených z vnější strany korbě. Teplota asfaltu tedy není měřena přímo, ale systém zaznamenává teplotu stěn korbě a řídicí jednotka dopočítává průměrnou teplotu směsi. Teplota je snímána v závislosti na čase každých 60 sekund po celou dobu převozu směsi. Systém automaticky zahájí měření po překročení teploty 80°C a ukončí ho v okamžiku, kdy teplota opět klesne pod tuto mez. Rozsah měřitelné teploty je -10 až 260°C. [26]



Obr. 33: Systém měření teploty: vlevo schéma zapojení, vpravo řídicí jednotka [26]

5.4. Zatížení korby sklápěče

Korba sklápěče je zatížena především nákladem v ložném prostoru. Náklad působí na stěny tlakem. Jeho velikost a rozložení jsou závislé na vlastnostech naloženého materiálu. Jelikož je sklápěč určen pro převoz nesoudržných sypkých materiálů, především asfaltových směsí, lze použít pro výpočet tlaku na stěny vztahy z hydrostatiky. Ty jsou však určeny pro výpočty s kapalinami, které mají nízké vnitřní tření. Hodnoty hydrostatického tlaku se proto musí násobit koeficientem zemního tlaku K dle Jákyho [27]:

$$K = 1 - \sin\varphi$$

Materiály, se kterými je nutné pro převoz počítat, byly uvedeny tabulce 4. Jejich důležitou vlastností je úhel vnitřního tření φ . Jedná se o úhel, při kterém udrží materiál stabilní svah. Čím vyšší je úhel vnitřního tření, tím více soudržný materiál je a působí na stěny nižším tlakem. Stanovení úhlu vnitřního tření je poměrně obtížné a u jednotlivých asfaltových směsí se liší. Navíc se nejedná o údaj, který dodavatelé stavebních materiálů běžně udávají. V případě horké asfaltové směsi je $\varphi \approx 40^\circ$. [28]

Při návrhu a pevnostní kontrole je potřeba počítat s nejméně příznivou variantou. Proto je v dalších výpočtech uvažováno lineární rozložení tlaku na stěnách a tlaky nejsou korigovány koeficientem K .

K definování zatížení v pevnostním výpočtu, jenž je popsán v kapitole 7 této práce, je potřeba určit maximální hodnotu působícího tlaku. Na základě této hodnoty pak program vypočte rozložení tlaku na stěny korby. Maximální tlak na podlahu korby při naložení na technickou hmotnost asfaltovou směsí do výšky 920mm je:

$$p = h_{\text{nákl}} \cdot \rho_{\text{asf}} \cdot g = 0,92 \cdot 2200 \cdot 9,81 = 19\,855\text{Pa}$$

5.5. Zatížení zadního čela

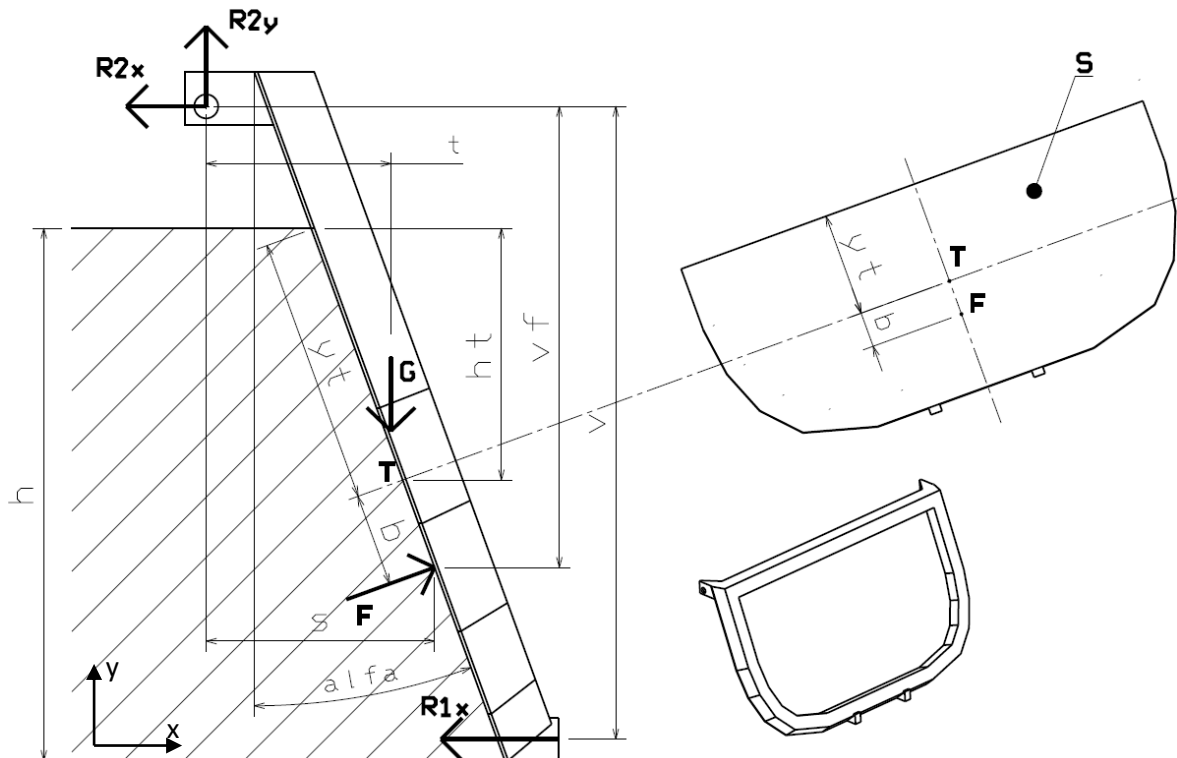
Pro další výpočty je třeba znát zatížení zadního čela, na které působí tlak nákladu. Čelo je v uzavřené poloze sklopené pod úhlem 20° od vodorovnice. Působí tlakové síly na čelo se v takovém případě nenachází přímo v těžišti zatěžované plochy (Obr.34), ale o něco níž. Odlehlost působí tlakové síly od těžiště zatěžované plochy se vypočte [29]:

$$b = \frac{I_x}{y_T \cdot S} = \frac{0,154}{0,460 \cdot 2,071} = 0,162\text{m}$$

SZatěžovaná plocha

y_T Vzdálenost těžiště zatěžované plochy od hladiny nákladu

I_xKvadratický moment zatěžované plochy k ose x



Obr. 34: Zadní čelo – rozbor zatížení

Při výpočtu je jako náklad uvažována asfaltová směs o hustotě $\rho_{asf} = 2200 \text{ kg/m}^3$, která v případě rovnoměrného rozložení nákladu vyplňuje ložný prostor do výšky 920mm. To přibližně odpovídá objemu nákladu při naložení na maximální technickou nosnost vozidla. Velikost tlakové síly od nákladu na zadní čelo je:

$$F = y_t \cdot \cos \alpha \cdot \rho_{asf} \cdot g \cdot S = 0,460 \cdot \cos 20 \cdot 2200 \cdot 9,81 \cdot 2,071 = 19\,320 \text{ N}$$

Zadní čelo je uloženo v horní části na dvou čepích a v uzavřeném stavu ho v jeho dolní části zajišťují dva háky. Uvolněním zadního čela (Obr. 34) a nahrazením vazeb získáváme neznámé reakce v čepích R_{2x} a R_{2y} a reakci od háků R_{1x} , které lze určit z rovnice momentové rovnováhy k ose děr pro čepy a dvou rovnic silové rovnováhy:

$$\begin{aligned} x: -R_{2x} - R_{1x} + F_x &= 0 \\ y: R_{2y} + F_y - G &= 0 \\ M: F_x \cdot v_f + F_y \cdot s - R_{1x} \cdot v - G \cdot t &= 0 \end{aligned}$$

Dopočet složek sil a určení tíhové síly od hmotnosti čela:

$$\begin{aligned} F_x &= F \cdot \cos \alpha = 19\,320 \cdot \cos 20 = 18\,155 \text{ N} \\ F_y &= F \cdot \sin \alpha = 19\,320 \cdot \sin 20 = 6\,607 \text{ N} \\ G &= m \cdot g = 260 \cdot 9,81 = 2551 \text{ N} \end{aligned}$$

Pro zjednodušení byla část parametrů nezbytných k výpočtu změřena přímo z 3D modelu:

$$y_t = 460\text{mm}$$

$$s = 459\text{mm}$$

$$t = 347\text{mm}$$

$$v_f = 968\text{mm}$$

$$v = 1272\text{mm}$$

$$I_x = 0,154\text{m}^4$$

$$S = 2,071\text{m}^2$$

K vyřešení soustavy třech rovnic o třech neznámých byl využit program Matlab. Jednoduchý skript pro výpočet reakcí je součástí přílohy 1. Silové reakce od tlaku nákladu, které jsou přenášeny ze zadního čela na korbu, vyšly:

$$R_{1x} = \frac{15\,504}{2} = 7\,752\text{N}$$

$$R_{2x} = \frac{2\,650}{2} = 1\,325\text{N}$$

$$R_{2y} = \frac{-4\,058}{2} = -2\,029\text{N}$$

5.6. Uchycení zadního čela, kontrola čepů

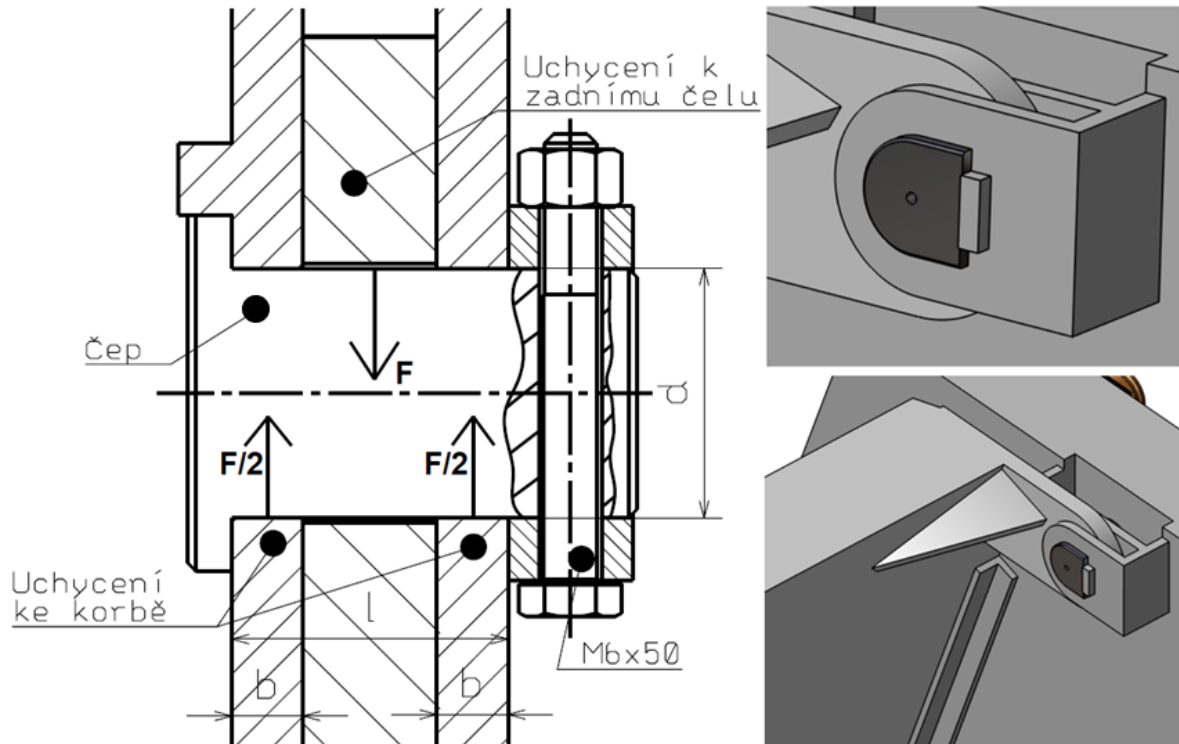
Zadní čelo je v horní části zavěšeno na dvou čepích, které ho spojují s korbou nástavby. Hlava obou čepů se svojí hranou opírá o výstupek úchyty, čímž je zabráněno rotaci čepu vůči uložení v korbě. Vůči nehybnému čepu se tak otáčí pouze úchyt čela. Jednotlivé součásti musí být vzájemně spojeny s dostatečnou vůlí umožňující otevírání čela. Čep je axiálně zajištěn pomocí kroužku a šroubu. V ose čepu je navrtán mazací kanálek, který ústí na kontaktní ploše čepu a úchyty čela. Detail spojení čela s korbou je na obrázku 35. Čep je vystaven dvěma základním druhům zatížení. Při uzavření zadního čela přenáší čepy zatížení od nákladu do korby. Velikost působící sily lze získat složením reakcí R_{2x} a R_{2y} , vypočtených v předchozí části textu:

$$F_{\text{čep}} = \sqrt{R_{2x}^2 + R_{2y}^2} = \sqrt{1\,325^2 + 2\,029^2} = 2\,423\text{N}$$

Při otevření čela jsou čepy zatíženy pouze tíhovou silou od hmotnosti čela. Její velikost na jeden čep je při hmotnosti čela 260kg přibližně 1 275N. Čepy jsou nejvíce zatíženy při uzavřeném čele, pevnostní výpočet je tedy proveden pro sílu $F_{\text{čep}} = 2\,423\text{N}$.

Kontrola čepu je realizována dle postupu popsaného v [30]. Čep se kontroluje na ohyb, smyk a tlak. Průměr čepu je $d = 28\text{mm}$. Materiál čepu je ocel 11 500 s dovoleným

ohybovým napětím $\sigma_{Do} = 100\text{MPa}$ a dovoleným smykovým napětím $\tau_D = 70\text{MPa}$. Materiál úchytů je ocel 11 343 s dovoleným tlakem $p_D = 100\text{Mpa}$.



Obr. 35: Uložení zadního čela. Vlevo řez v ose čepu, vpravo detail uchycení čela ke korbě

Kontrola čepu na ohyb:

$$M_o = \frac{1}{8} \cdot F_{\text{čep}} \cdot l = \frac{1}{8} \cdot 2\,423 \cdot 31 = 9\,390\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{oD} = \frac{1}{10} \cdot d^3 \cdot \sigma_{Do} = \frac{1}{10} \cdot 28^3 \cdot 100 = 219\,520\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_o \leq M_{oD} \rightarrow \text{Vyhovuje kontrole na ohyb}$$

Kontrola čepu na smyk:

$$\tau = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{2}} = \frac{2\,423}{\frac{\pi \cdot 28^2}{2}} = 1,96\text{MPa}$$

$$\tau \leq \tau_D \rightarrow \text{Vyhovuje kontrole na smyk}$$

Kontrola čepu na tlak

$$p_1 = \frac{F}{(l - 2 \cdot b) \cdot d} = \frac{2\,423}{(31 - 2 \cdot 8) \cdot 28} = 5,77\text{MPa}$$

$$p_2 = \frac{F}{2 \cdot b \cdot d} = \frac{2\,423}{2 \cdot 8 \cdot 28} = 5,41 \text{ MPa}$$

$$p_1 \leq p_D$$

$$p_2 \leq p_D$$

→ *Vyhovuje kontrole na tlak*

Z výsledků vyplývá, že čepy jsou při uvažovaném statickém zatížení výrazně naddimenzovány. Během provozu však dochází k dynamickému zatížení čela a čepů (např. při nakládání), jehož velikost nelze přesně definovat. Aby byla zajištěna dlouhá životnost a odolnost, je nezbytné, aby zavěšení čela bylo dostatečně robustní.

5.7. Hydraulická soustava

Hydraulická soustava ovládá pohyblivé části nástavby. Jelikož je zadní čelo nástavby výkyvné, je jediným ovládaným prvkem hydraulický válec, který se stará o sklápění nástavby. Aby došlo k úplnému vyložení nákladu z ložného prostoru, musí hydraulický válec umožnit sklápění pod dostatečným úhlem.

5.7.1. Úhel sklápění, zdvih válce

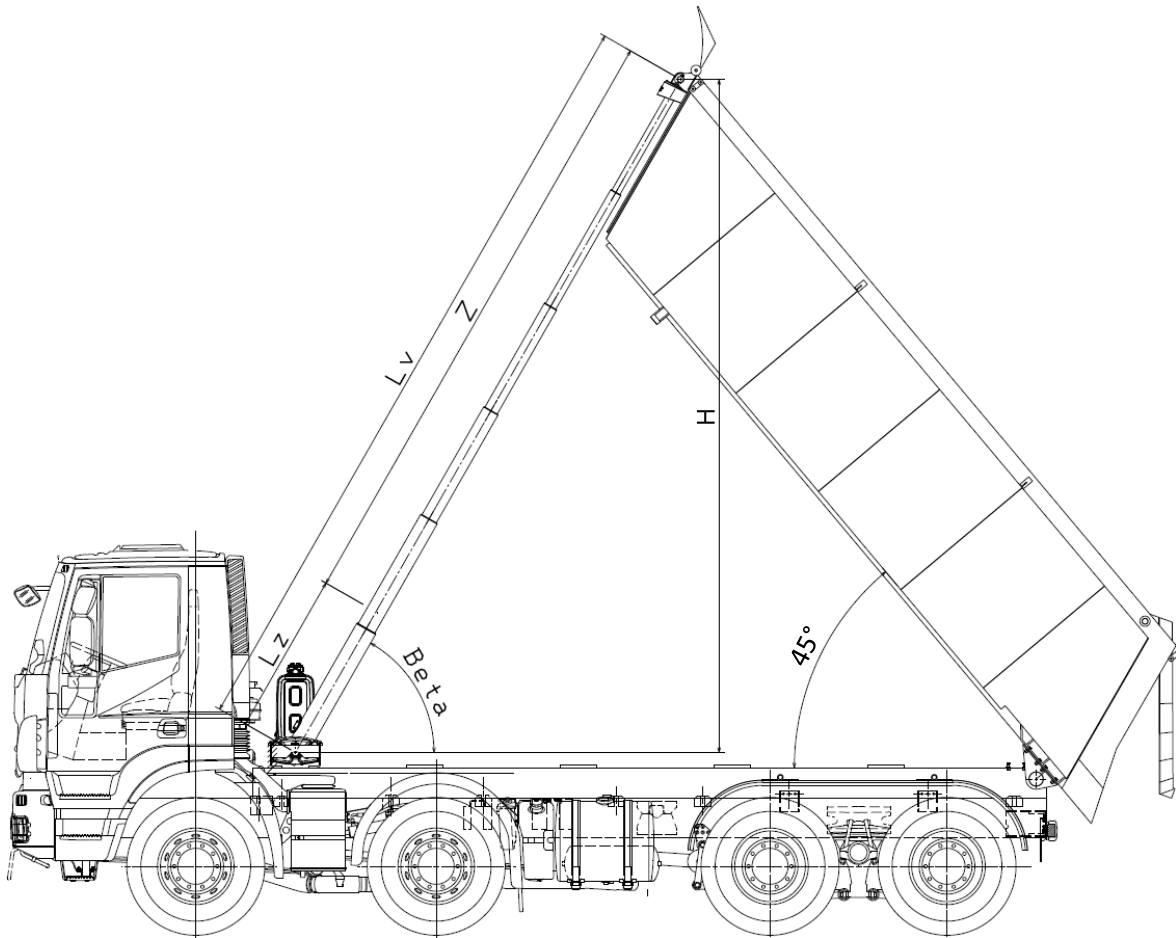
Minimální úhel, kterého je při sklápění korby nástavby nezbytné dosáhnout, byl stanoven na 45 stupňů. Tato hodnota je dostačující pro vyložení všech běžných stavebních materiálů včetně asfaltových směsí. Je nutné zvolit hydraulický válec s dostatečným zdvihem, který dosažení tohoto úhlu umožní. Požadovaný zdvih lze dle obrázku 36 určit následovně:

$$Z = \frac{H}{\sin \beta} - L_z = \frac{5\,142}{\sin 62,2} - 1\,265 = 4\,549 \text{ mm}$$

H Vzdálenost mezi čepy uložení válce

L_z Délka válce v zasunutém stavu

β Úhel natočení válce vůči rámu



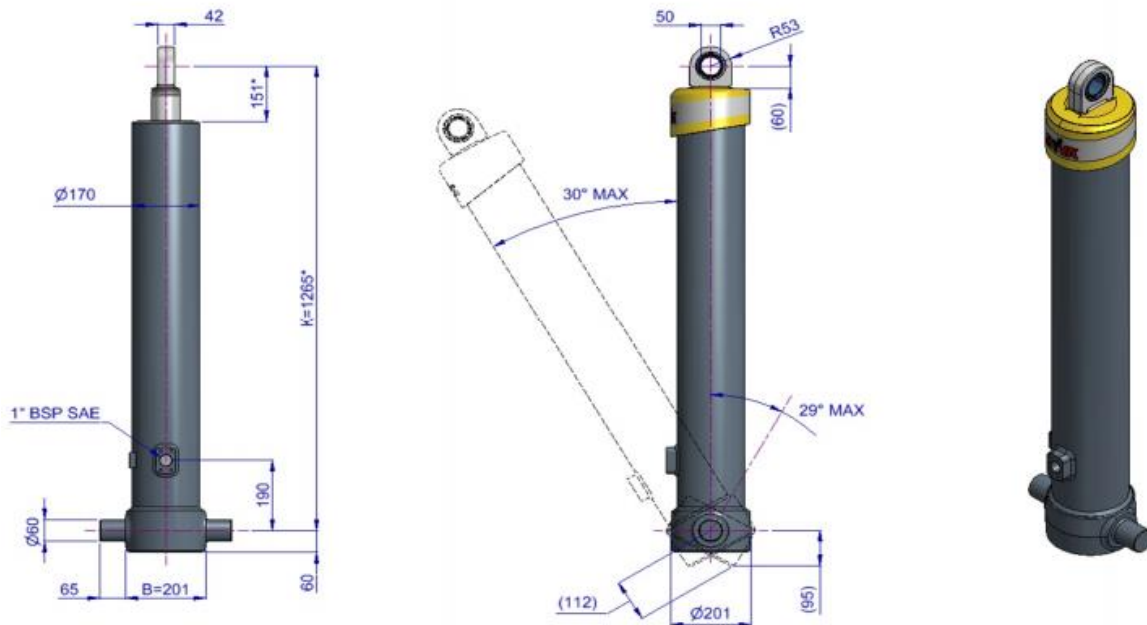
Obr. 36: Horní poloha korby při úhlu sklápění 45°

Horní poloha korby při sklápění není vymezena zdvihem válce. K zastavení jeho výsuvu slouží omezovač zdvihu, který při dosažení nastaveného úhlu přeruší přítok oleje do válce. Hydraulický válec musí mít během celého zdvihu dostatečný prostor, aby nedošlo k jeho kontaktu s konstrukcí podvozku a předním čelem korby. [32]

Pokud je korba sklápěna proti svahu, je snížen sklonný úhel a nemusí dojít k jejímu vyprázdnění. Pokud je korba sklápěna po svahu, je zvýšen sklonný úhel a hrozí možnost převržení sklápěče. Toto riziko lze snížit pouze částečným zvednutím korby. Pro zvýšení stability se u vozidel se vzduchovým odpružením doporučuje snížit výšku vozidla na minimum. Zvolený hydraulický sklápěcí systém, který je popsán v další části textu, automaticky kontroluje stabilitu vozidla během sklápění a v případě rizika nedovolí sklápění provést. [6]

5.7.2. Hydraulický systém Hyva

Na základě požadovaného úhlu sklápění a zdvihu byl zvolen hydraulický válec s označením FE A149-5-04655-009-K1265 od výrobce Hyva. Válec (Obr. 37) je určený pro korby s šikmým předním čelem. Jeho základní parametry jsou uvedeny v tabulce 7.



Obr. 37. Hydraulický válec Hyva [31]

Tab. 7: Parametry hydraulického válce Hyva [31]

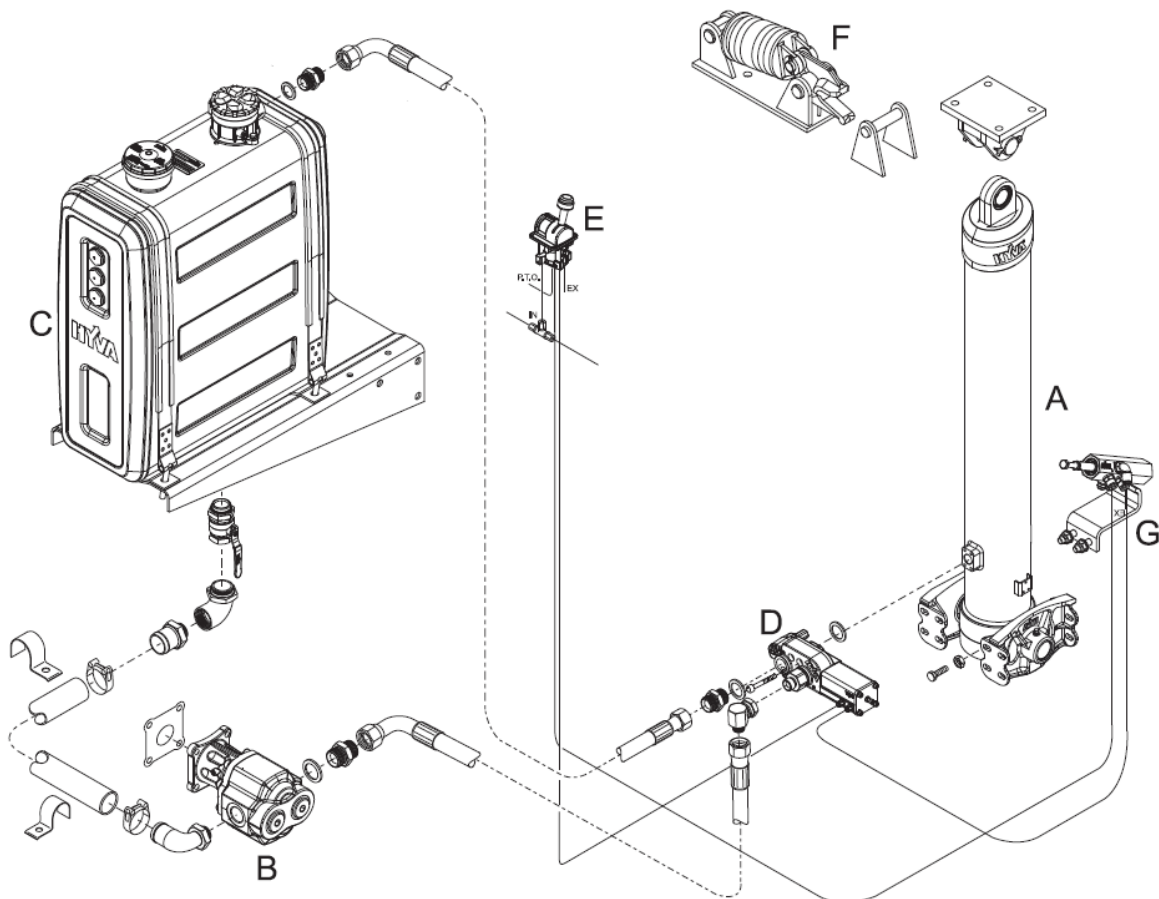
Maximální pracovní tlak	250	Bar
Hmotnost válce	157	kg
Objem válce	51	l
Celkový zdvih	4 655	mm
Počet stupňů	5	
Maximální síla do válce		
Začátek sklápění	175	kN
Konec sklápění	103	kN
Maximální průtok		
S regulačním ventilem	122	l/min
Bez regulačního ventilu	86	l/min
Čas sklápění		
S regulačním ventilem	23	s
Bez regulačního ventilu	33	s

Celkový zdvih válce je 4655mm, což je dostačující pro dosažení úhlu sklápění až 48°. Tohoto zdvihu je dosaženo pomocí pěti samostatných stupňů, které se do sebe vzájemně zasouvají. Nutné je dodržet povysunutí prvního stupně válce o alespoň 15 až 50mm, aby v případě zasunutého válce nedošlo při zatížení nákladem k poškození těsnících kroužků. [31] Rozměry jednotlivých stupňů válce jsou uvedeny v tabulce 8:

Tab. 8: Stupně hydraulického válce [31]

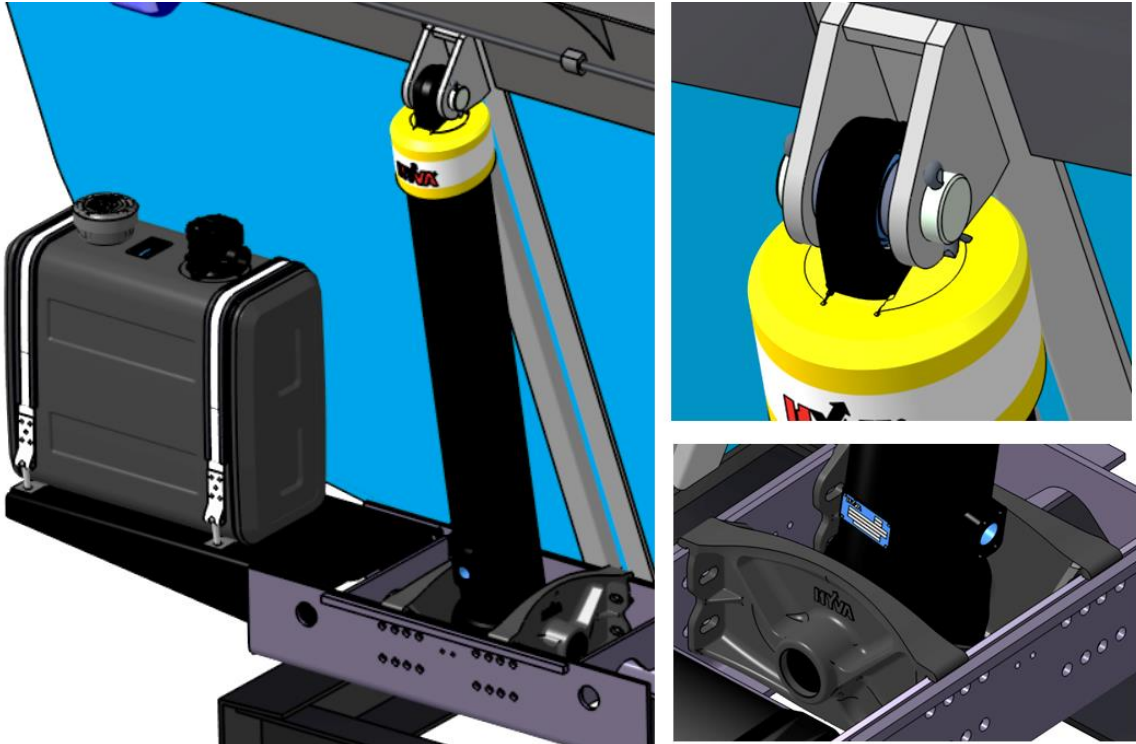
Stupeň	Průměr [mm]	Zdvih [mm]
1	149	915
2	129	935
3	110	935
4	91	935
5	72	935

Hydraulický válec je doplněn kompletním řešením hydraulického sklápěcího systému od výrobce Hyva. Systém je zobrazen na obrázku 38 a skládá se z hydraulického válce (A), čerpadla (B), nádrže na olej (C), regulačního ventilu (D), ovládání v kabině (E), fixace korbě – Hyfix (F), omezovače zdvihu (G) a hadic.



Obr. 38: Schéma hydraulického systému [32]

Hydraulický válec je ke korbě připevněn prostřednictvím přivařené konzoly Hyva a čepu se závlačkami. Spodní uložení je vyřešeno pomocí dvou čepů po stranách válce a dvou konzol, které jsou spojeny šrouby s pomocným rámem (Obr. 39). Hydraulický válec slouží pouze ke zdvihu a nesmí být používán jako konstrukční prvek. Zejména je třeba předejít jeho bočnímu zatížení. [32]



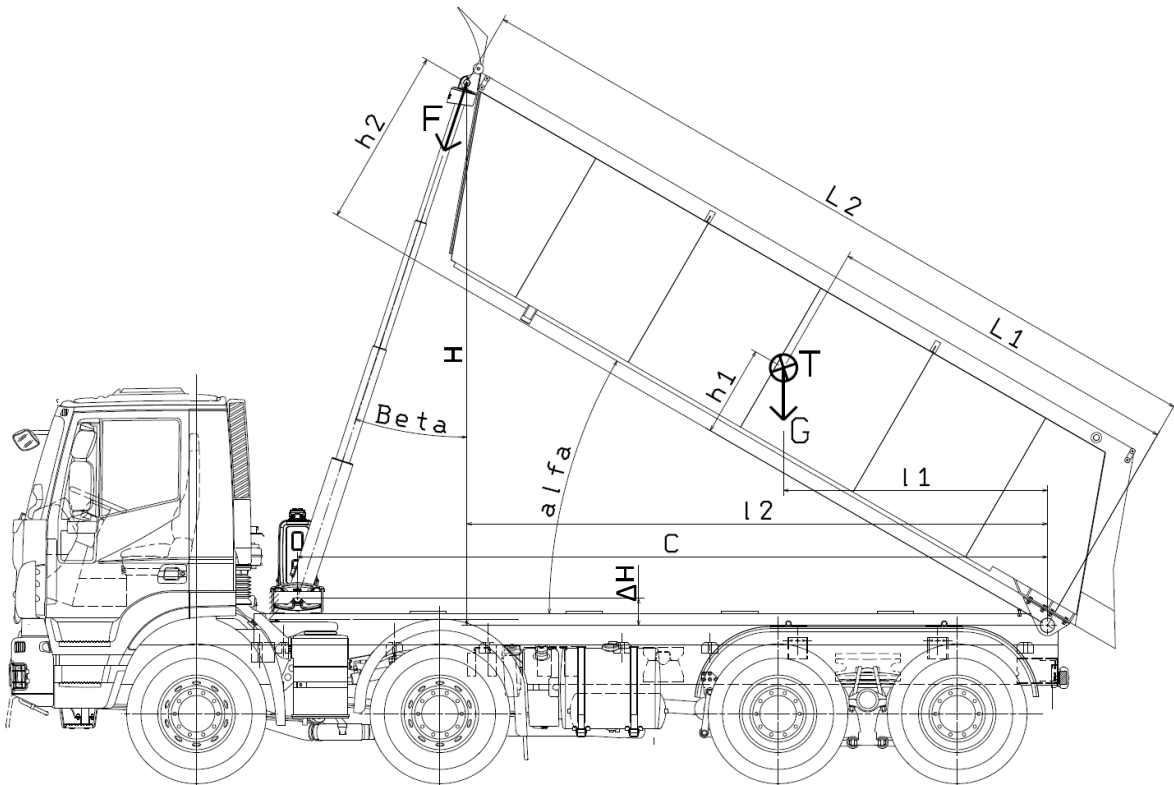
Obr. 39: Uložení hydraulického válce

Výrobce poskytuje konfigurátor, který usnadňuje volbu hydraulického válce vhodného pro danou aplikaci. Nejprve je nutné zadat základní hmotnostní a geometrické parametry nástavby. Konfigurátor poté vypočte nezbytné údaje pro volbu válce a dalších komponent hydraulického systému. Ukázka z konfigurátoru včetně dat použitých pro volbu válce jsou v příloze 2.

Podvozek IVECO lze z výroby vybavit pomocným pohonem (tzv. PTO), který spojuje převodovku s čerpadlem hydraulického systému, případně jiným hnaným zařízením. Pohon je nabízen v několika variantách v závislosti na typu převodovky vozidla. V případě převodovky ZF HI-Tronix 12TX je možné volit z rozsahu výstupního kroutícího momentu 400 – 1000Nm. Dle konfigurátoru Hyva je pro zvolený hydraulický sklápěcí systém nutné použít PTO s výstupním kroutícím momentem alespoň 348Nm. Na základě toho byla zvolena základní varianta PTO NH/4c o maximálním kroutícím momentu 430Nm při 1500ot/min a převodovým poměrem 0,9. [22]

5.7.3. Síla ve válci, pracovní tlak

Dalším důležitým parametrem pro volbu válce je síla, která je ve válci vyvozena během sklápění. Síla nabývá maxima v samém počátku sklápění, kdy je korba nástavby v téměř vodorovné poloze, a ještě nedošlo k odsypání nákladu. Postupným zvedáním síla ve válci klesá a více se přitěžuje čep sklápění. Z tohoto důvodu byl zvolen pro výpočet síly minimální úhel sklápění $\alpha = 0,01^\circ$ a uvažována maximální hmotnost naložené korby $m = 26\,180\text{kg}$.



Obr. 40: Obecná poloha korby při sklápění

Z obecné polohy korby (Obr.40) lze sílu do válce vypočítat z momentové rovnováhy vztažené k hřídeli sklápění:

$$M_{hs}: G \cdot l_1 - F_v \cdot l_2 \cdot \cos \beta - F_v \cdot H \cdot \sin \beta = 0$$

$G = m \cdot g$ Tíhová síla působící v těžišti nástavby

F_v Síla na válec

β Úhel náklonu válce od svislice

HSvislá vzdálenost mezi hřídely sklápění a čepem válce na korbě

Neznámé rozměry (Obr.40) včetně polohy těžiště korby byly změřeny přímo z 3D modelu:

$$L_1 = 2,752m$$

$$L_2 = 5,962m$$

$$h_1 = 0,713m$$

$$h_2 = 1,461m$$

$$C = 5,776m$$

$$\Delta H = 0,207m$$

Část z nich lze odvodit z obecné polohy (Obr. 40):

$$l_1 = (L_1 - \tan \alpha \cdot h_1) \cdot \cos \alpha = (2,752 - \tan 0,01 \cdot 0,713) \cdot \cos 0,01 = 2,752m$$

$$l_2 = (L_2 - \tan \alpha \cdot h_2) \cdot \cos \alpha = (5,962 - \tan 0,01 \cdot 1,461) \cdot \cos 0,01 = 5,961m$$

$$H = (L_2 - \tan \alpha \cdot h_2) \cdot \sin \alpha + \frac{h_2}{\cos \alpha} = (5,962 - \tan 0,01 \cdot 1,461) \cdot \sin 0,01 + \frac{1,461}{\cos 0,01} = 1,462m$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{C - l_2}{H - \Delta H} = \tan^{-1} \frac{5,776 - 5,961}{1,462 - 0,207} = -8,43^\circ$$

Vyjádřením z momentové rovnováhy získáváme maximální sílu, která při úhlu sklápění $\alpha = 0,01^\circ$ působící na válec:

$$F_{v1} = \frac{G \cdot l_1}{l_2 \cdot \cos \beta + H \cdot \sin \beta} = \frac{256\,826 \cdot 2,752}{5,961 \cdot \cos(-8,423) + 1,462 \cdot \sin(-8,423)} = 124\,348N$$

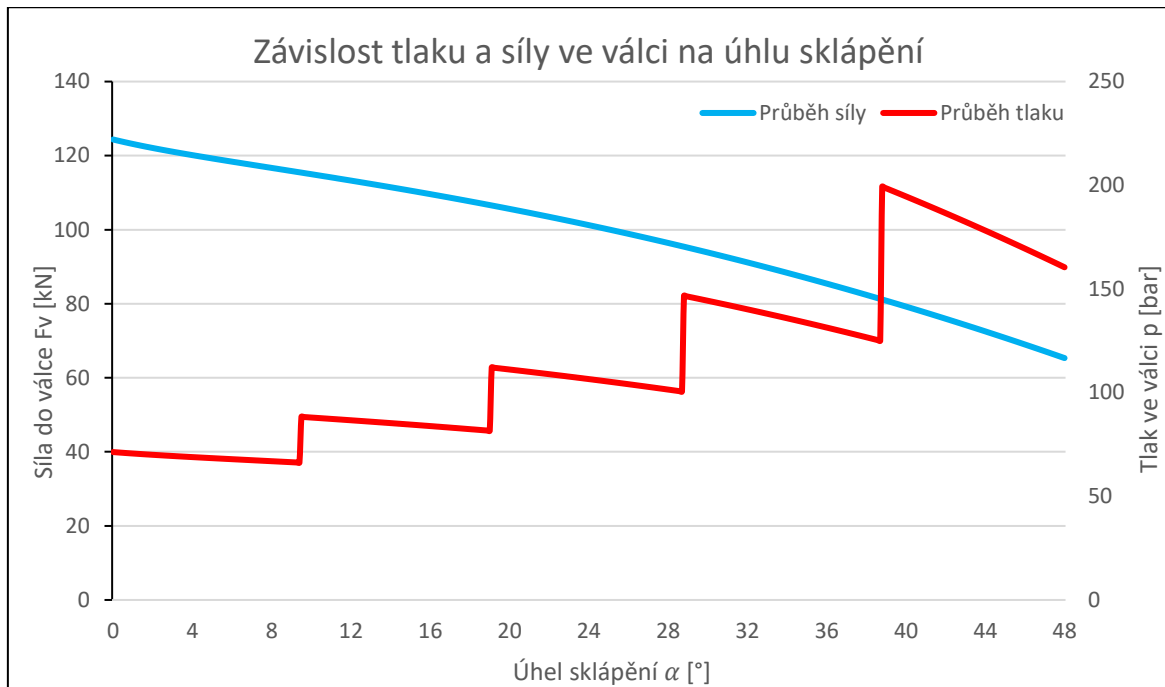
Obdobně lze také určit sílu působící na válec v plně vysunutém stavu, tedy na konci sklápěcího zdvihu. Při standardní průběhu sklápění se náklad z korby sklápěče postupně odsypává a sklápěná hmotnost se snižuje. Přesný průběh zatížení se však může výrazně lišit v závislosti na druhu nákladu a zjistit zatížení korby v daném okamžiku sklápění je obtížné. Možné je také zachycení nákladu v korbě. Z tohoto důvodu bylo při výpočtu využito návrhového postupu výrobce Hyva, který uvažuje plné zatížení při celém pracovním zdvihu válce. Síla působící na válec při maximálním úhlu sklápění 48° je:

$$F_{v2} = \frac{G \cdot l_1}{l_2 \cdot \cos \beta + H \cdot \sin \beta} = \frac{256\,826 \cdot 1,312}{2,904 \cdot \cos(28,908) + 5,408 \cdot \sin(28,908)} = 65\,321N$$

Dále je důležité určit tlak, který je potřeba vyvinout v hydraulickém systému při sklápění korby. Jeho velikost je závislá na síle ve válci a na průměru stupně válce (Tab.8), na který v dané fázi sklápění působí. Tlak na první stupeň válce o průměru 149mm, který je na počátku sklápění zatížen silou 124,3kN se vypočte:

$$p_v = \frac{F_{v1}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{124\,348 \cdot 10}{\frac{\pi \cdot 149^2}{4}} = 71,3Bar$$

Analogicky je možné určit zatížení válce pro celý průběh sklápění. Závislost síly a tlaku na úhlu sklápění je vynesena na obrázku 41.



Obr. 41: Závislost tlaku a síly ve válci na úhlu sklápění

Z grafu je zřejmé, že síla od korby zatěžující válec s rostoucím úhlem sklápění klesá. Klesající je v průběhu výsuvu jednotlivých stupňů také tlak, který je nutné ve válci vyvolat. Na konci zdvihu jednoho stupně válce a začátku výsuvu dalšího stupně však potřebný tlak skokově roste. To je způsobeno snižujícím se průměrem sekcí, kdy pro vyvinutí potřebné síly je nutné na menší plochu nutné působit větším tlakem. Skutečný průběh tlaku ve válci je řízen regulačním ventilem (Obr. 38), který zajišťuje plynulý nárůst tlaku v závislosti na síle působící na válec. Regulační orgán ventilu je ovládán pneumaticky. Maximální pracovní tlak ventilu lze upravit vyměnitelnou tlakovou patronou. [32]

Vypočtené hodnoty úhlu sklápění, při kterém dochází k začátku výsuvu nového stupně, jsou spolu s hodnotami potřebného tlaku ve válci a působící síly uvedeny v tabulce 9. Výsledky odpovídají hodnotám vypočteným v konfigurátoru výrobce hydraulického válce, které jsou uvedeny v příloze 2.

Tab. 9: Vypočtené hodnoty tlaku a síly v hydraulickém válci

	Začátek výsuvu	Začátek výsuvu dalšího stupně válce				Konec výsuvu
Úhel sklápění [°]	0,01	9,5	19,1	28,8	38,8	48
Průměr stupně [mm]	149	129	110	91	72	72
Síla do válce [kN]	123,3	115,4	106,5	95,4	81,2	65,3
Tlak ve válci [Bar]	71,3	88,3	112,1	146,7	199,3	160,4

Výrobce pro zvolený hydraulický válec udává maximální dovolené zatížení uvedené v tabulce 7. Vypočtené hodnoty sil a tlaků těmto požadavkům vyhovují:

- Maximální síla na začátku sklápění: $F_{v1DOV} = 175kN > F_{v1} = 124,5kN$
- Maximální síla na konci sklápění: $F_{v2DOV} = 103kN > F_{v2} = 65,3kN$
- Maximální dovolený tlak: $p_{vDOV} = 250Bar > p_{vmax} = 199,3Bar$

Na obrázku 42 je pro přehled zobrazen kompletní model nástavby s hydraulickým sklápěcím systémem a s korbou v horní poloze při maximálním úhlu sklápění 48°.



Obr. 42: Nástavba při maximálním úhlu sklápění

6. Návrh izolace nástavby

Jak již bylo uvedeno, izolované nástavby pro převoz asfaltových směsí jsou rozšířené především v Německu. Dopravci jsou dle vyhlášky Federálního ministerstva dopravy povinni používat k převozu asfaltu při stavbě silnic izolované sklápěče. V reakci na tyto požadavky vznikla norma DIN 70001:2018-4, která poskytuje výrobcům postup výpočtu k ověření izolačních vlastností a certifikaci nástavby.

6.1. Volba izolace, tloušťka izolační vrstvy

Základním kritériem, které je nutné pro certifikaci dle normy DIN 70001:2018-4 dodržet, je tepelný odpor konstrukce korby alespoň $R_{DIN} = 1,65 \frac{m^2 K}{W}$ při 20°C. Toho lze dosáhnout dostatečnou vrstvou vhodného izolačního materiálu. Pro účely této práce byla zvolena izolace WILLPUR® HT od výrobce F.Willich Isoliersysteme. Jedná se o polyuretanovou izolaci speciálně určenou k použití na izolovaných nástavbách pro převoz asfaltových směsí. Materiál má vysokou tepelnou odolnost až 200°C a je rezistentní vůči vlhkosti. Izolaci lze zakoupit v jednotlivých segmentech dle tvaru korby. Vlastnosti izolace jsou uvedeny níže (Tab.10). [20] [33]

Tab. 10: Vlastnosti izolace WILLPUR® HT [33]

HUSTOTA	30 - 70	kg/m ³
PROVOZNÍ TEPLOTA	-80/200	°C
PÓROVITOST	90 - 95	%
NASÁKAVOST	3	%
TEPELNÁ VODIVOST PŘI 20 °C	0,023	W/mk
TEPELNÁ VODIVOST PŘI 90 °C	0,03	W/mk
TEPELNÁ VODIVOST PŘI 200 °C	0,04	W/mk

Konstrukce korby navrhované nástavby je opatřena vrstvou izolace s tloušťkou 50mm. Izolované jsou všechny stěny korby, včetně podlahy a zadního čela. Izolační materiál (Obr.43) je nařezán na jednotlivé segmenty, které svým tvarem kopírují stěny korby a v případě poškození je možné daný segment vyměnit. Izolace přiléhá přímo na nosnou konstrukci a před povětrnostními vlivy je chráněna hliníkovým pláštěm o tloušťce 1mm.

Součástí izolace korby je také zaplachtování, které bylo popsáno dříve. Norma DIN 70001:2018-4 ověřuje výpočtem pouze izolační schopnost stěn korby. Jediným požadavkem na zaplachtování je dostatečná tepelná odolnost plachty. Použitá neoprenová plachta je odolná vůči vysokým teplotám přes 200 °C a dosahuje součinitele prostupu tepla $k_{pl} = 3,7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Izolační schopnost zvyšuje i uzavřená vzduchová mezera mezi plachtou a vrstvou nákladu v ložném prostoru korby. [25]



Obr. 43: Izolační materiál [33]

6.2. Ověření izolačních vlastností výpočtem

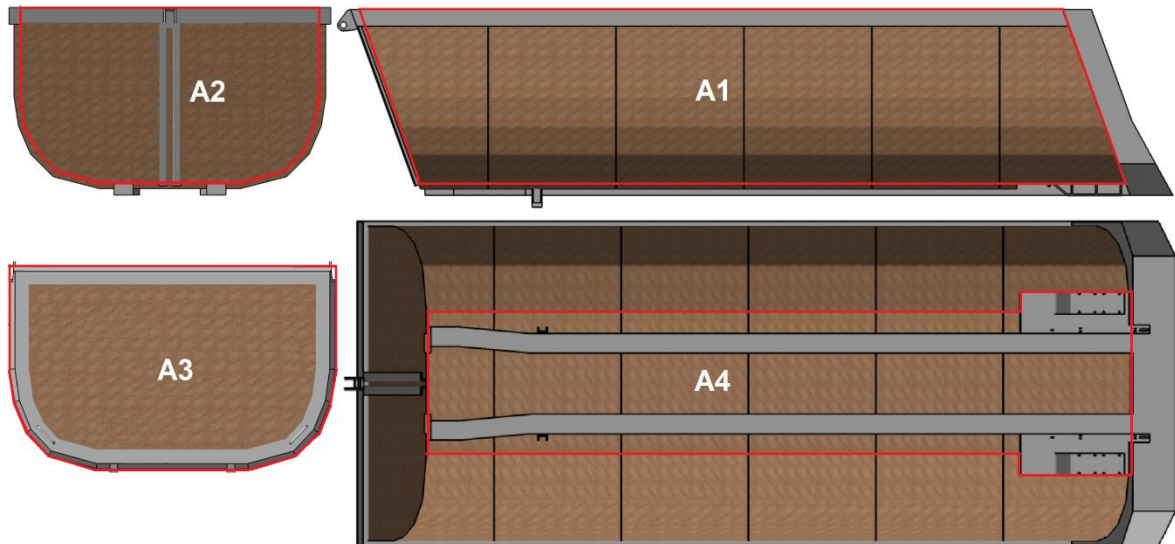
Ověření izolačních vlastností izolované korby bylo provedeno v souladu s normou DIN 70001:2018-4. Jedná se o výpočet tepelných ztrát konstrukce korby kondukcí. Nejdříve je třeba určit referenční hodnotu tepelného toku stěnami bez izolace, dále stanovit skutečný tepelný tok stěnami izolované korby a na závěr tyto dvě hodnoty porovnat a vyhodnotit izolační schopnost konstrukce.

Při výpočtech je třeba respektovat následující okrajové podmínky [34]:

- Součinitel přestupu tepla mezi asfaltem a stěnou $\alpha_{asf} = 7,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
- Referenční teplota asfaltu $t_{asf} = 200^{\circ}C$
- Součinitel přestupu tepla mezi stěnou a vzduchem $\alpha_{amb} = 7,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
- Referenční teplota vzduchu $t_{amb} = 20^{\circ}C$

6.2.1. Referenční hodnota tepelného toku

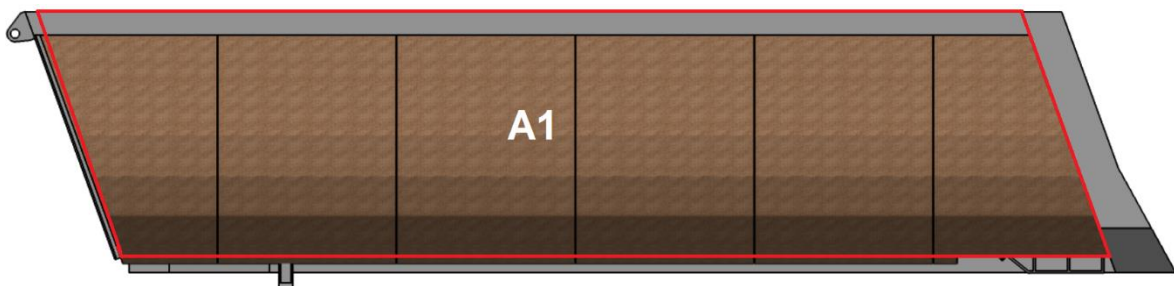
Pro určení celkového referenčního toku tepla se korba nejdříve rozdělí na jednotlivé stěny, tedy na boční stěny, podlahu, přední a zadní čelo. Rozdělení je znázorněno na obrázku 44, kde výpočetní plochy stěn jsou ohraničeny červeně, značeny písmenem A a čísly 1 až 4 (A1 – boční stěny, A2 – přední čelo, A3 – zadní čelo, A4 – podlaha). Obrázky jsou pouze orientační, plochy uvažované ve výpočtech odpovídají skutečné ploše povrchu korby a nejedná se o průměty stěn korby. Tepelné toky se stanoví pro každou stěnu samostatně, jejich součtem získáme celkový referenční tepelný tok stěnami korby. Referenční hodnotou se rozumí množství tepla, které je konstrukcí ztraceno při předepsané mezní hodnotě tepelného odporu stěn $R_{DIN} = 1,65 \frac{m^2 K}{W}$. [34]



Obr. 44: Rozdělení korby pro výpočet referenční hodnoty tepelného toku

6.2.1.1. Boční stěna

Výpočet referenční hodnoty tepelného toku je předveden na příkladu boční stěny. Ta je tvořena plochou A1 (Obr.45).



Obr. 45: Výpočetní plocha boční stěny

Hustotu tepelného toku lze obecně určit pomocí Newtonova ochlazovacího zákona dle vztahu:

$$q = k_p \cdot (t_{asf} - t_{amb})$$

V případě rovinné stěny se součinitel prostupu tepla k_p vypočte ze vzorce:

$$\frac{1}{k_p} = \frac{1}{\alpha_{asf}} + R_p + \frac{1}{\alpha_{amb}}$$

Tepelný odpor pro referenční případ lze při znalosti tepelné vodivosti izolace (Tab.10) určit ze vztahu:

$$R_p = \frac{R_{izo} \cdot \lambda_{20^\circ\text{C}}}{\lambda_{200^\circ\text{C}}} = \frac{1,383 \cdot 0,023}{0,04} = 0,795 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

kde R_{izo} je tepelný odpor samotné izolační vrstvy bez uvažování přestupu tepla z asfaltu do stěny a ze stěny do vzduchu:

$$R_{izo} = -\frac{1}{\alpha_{asf}} + R_{DIN} - \frac{1}{\alpha_{amb}} = -\frac{1}{7,5} + 1,65 - \frac{1}{7,5} = 1,383 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Dosažením do obecného vztahu lze vypočítat hustotu tepelného toku boční stěnou:

$$q = \frac{t_{asf} - t_{amb}}{\frac{1}{\alpha_{asf}} + R_p + \frac{1}{\alpha_{amb}}} = \frac{200 - 20}{\frac{1}{7,5} + 0,795 + \frac{1}{7,5}} = 169,478 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Součinem s plochou boční stěny získáváme celkový tepelný tok stěnou:

$$\dot{Q}_1 = q \cdot A_1 = 169,478 \cdot 9,206 = 1\,560,2\text{W}$$

Analogický postup je využit pro výpočet ostatních stěn. Plochy jednotlivých stěn byly změřeny z přímo z CAD modelu. Výsledky pro jednotlivé stěny jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11: Referenční tepelné toky stěnami

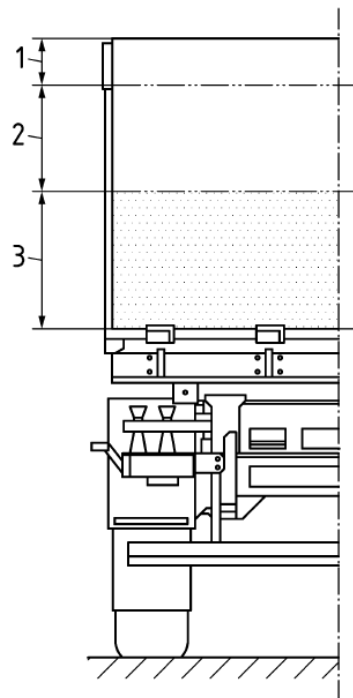
	A [m ²]	Q̇ [W]
BOČNÍ STĚNY	18,412	3 120,4
PŘEDNÍ ČELO	3,149	533,7
ZADNÍ ČELO	2,878	487,8
PODLAHA	6,041	1 023,8
CELKEM	30,481	5 165,7

Celkový referenční tepelný tok všemi stěnami konstrukce je:

$$\dot{Q}_{ref} = 5\,165,7\text{W}$$

6.2.2. Skutečná hodnota tepelného toku

Při výpočtu skutečné hodnoty tepelného toku je postup obdobný. Narozdíl od referenčního výpočtu je cílem co nej přesněji určit skutečný tepelný tok stěnou s ohledem na vlastnosti izolace a konstrukční prvky. Jednotlivé stěny jsou dále rozděleny na zóny (Obr.47) a tepelný tok se stanovuje pro každou zónu zvlášť. Je třeba rozlišovat části stěny dle kontaktu s asfaltem na smáčené a nesmáčené (Obr.46). Brát v úvahu je nutné také takzvané narušené a nenarušené zóny. Nenarušené zóny jsou tvořeny běžnou stěnou bez výrazných paralelních tepelných toků. Narušené zóny jsou výrazně ovlivněny tepelnými mosty, způsobenými konstrukčními prvky korby (duté profily, výztuhy apod.). Dle tohoto dělení je nezbytné stěny vhodně rozvrhnout na zóny, zvolit okrajové podmínky a hodnoty tepelné vodivosti. [34]



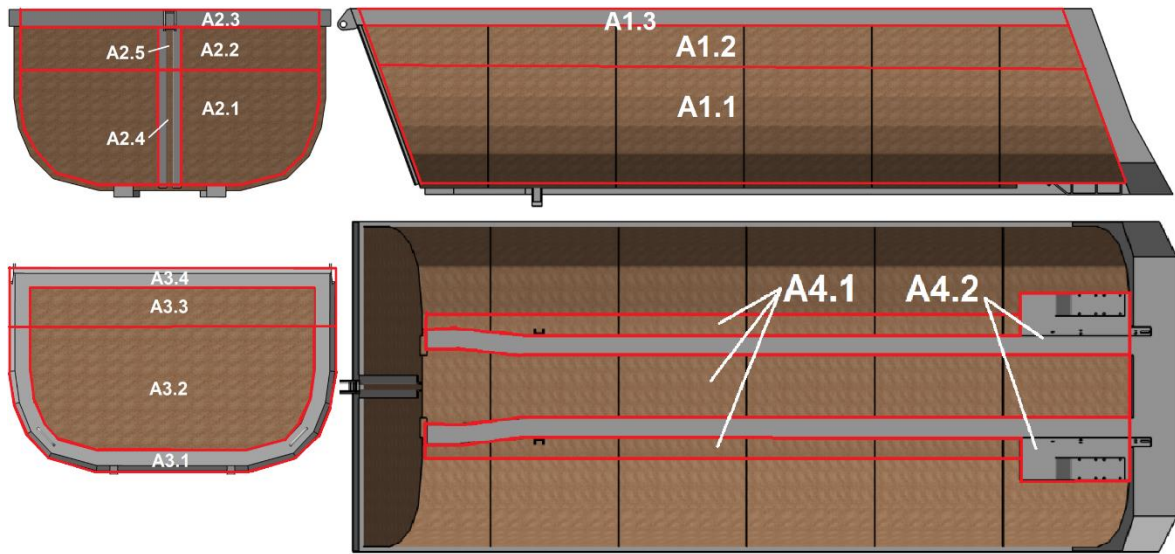
Obr. 46: Zóny stěny korby (1 – nesmáčená, narušená zóna s nosným profilem, 2 – nesmáčená, nenarušená zóna, 3 – smáčená, nenarušená zóna) [34]

Teplota vnitřního povrchu korby ve smáčených zónách se uvažuje stejná, jako teplota asfaltové směsi. U nesmáčených zón teplota stěny se vzdáleností od směsi směrem k hornímu výztuze korby postupně klesá a v případě výpočtu se nahrazuje pomocí tabulky 12. Dle materiálu korby byly při výpočtu uvažovány hodnoty vnitřní teploty stěn pro ocel.

Aby se zohlednil vliv komprese izolace po montáži, doporučuje se přidavek 10% k hodnotě tepelné vodivosti izolace udávané výrobcem. [34]

Tab. 12: Teplota vnitřní stěny korby [34]

Materiál korby	Teplota vnitřní stěny dle oblasti [°C]		
	Horní výztuha	Nesmáčená zóna	Smáčená zóna
Ocel	35	90	200
Hliník	45	100	200

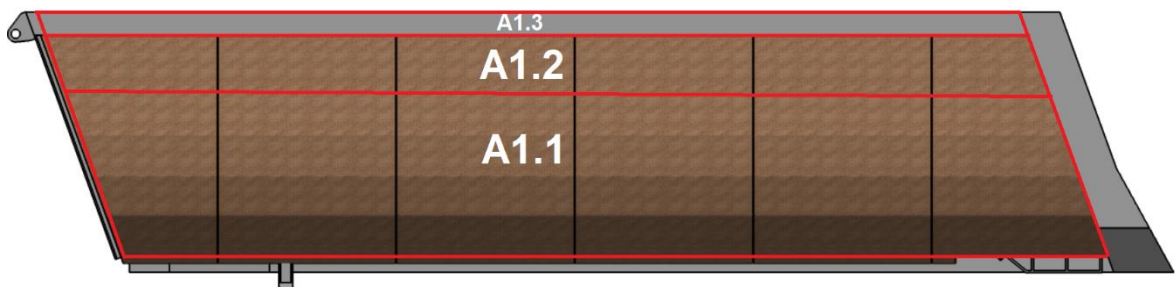


Obr. 47: Rozdělení korby pro výpočet skutečné hodnoty tepelného toku

6.2.2.1. Boční stěna

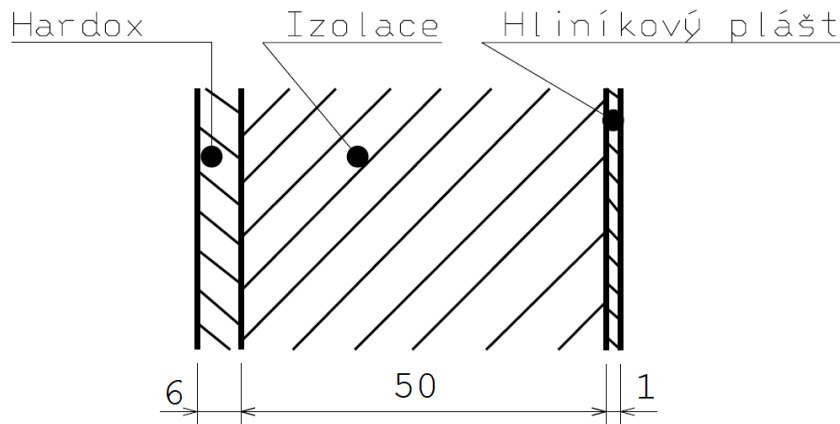
Výpočet je opět předveden na příkladu boční stěny (Obr 48). Dle členění, které je popsáno v předchozí části textu, je třeba stěnu rozdělit na zóny následovně:

- A1.1 – Smáčená, nenarušená zóna
- A1.2 – Nesmáčená, nenarušená zóna
- A1.3 – Nesmáčená, narušená zóna



Obr. 48: Výpočetní zóny boční stěny

Boční stěna v zóně A1.1 je tvořena ocelovou nosnou vrstvou, izolační vrstvou a krytím z hliníku. Jednotlivé vrstvy (Obr. 49) jsou v dotyku.



Obr. 49: Vrstvy stěny v zóně A1.1

Tepelný odpor této složené stěny se při znalosti tloušťky a tepelné vodivosti jednotlivých vrstev (Obr.49) vypočte:

$$R_p = \frac{d_1}{\lambda_{ocel}} + \frac{d_2}{\lambda_{200^\circ C}} + \frac{d_3}{\lambda_{al}} = \frac{0,006}{47} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,001}{215} = 1,2501 \frac{m^2 K}{W}$$

V případě rovinné stěny se součinitel prostupu tepla k_p stanoví ze vzorce:

$$\frac{1}{k_p} = \frac{1}{\alpha_{asf}} + R_p + \frac{1}{\alpha_{amb}} = \frac{1}{7,5} + 1,2501 + \frac{1}{7,5} = 1,5168 \rightarrow k_p = 0,6593 \frac{W}{m^2 K}$$

Teplota stěny se ve smáčené zóně se dle tabulky 12 uvažuje stejná jako teplota asfaltové směsi, tedy 200°C. [34] Dosazením do základního vztahu získáváme hustotu tepelného toku zónou A1.1:

$$q = k_p \cdot (t_{asf} - t_{amb}) = 0,6593 \cdot (200 - 20) = 118,671 \frac{W}{m^2}$$

Tepelný tok zónou A1.1 je:

$$\dot{Q}_{1.1} = q \cdot A_{1.1} = 118,671 \cdot 7,034 = 834,7W$$

Při výpočtu tepelného toku zónou A1.2 je postup obdobný. Stěna je v této zóně nesmáčená a tepelný tok není narušen žádným nosným prvkem, což mění okrajové podmínky výpočtu. Střední teplota stěny se v této oblasti uvažuje dle tabulky 12, tedy 90°C. Tepelný odpor této složené stěny se vypočte:

$$R_p = \frac{d_1}{\lambda_{ocel}} + \frac{d_2}{\lambda_{90^\circ C}} + \frac{d_3}{\lambda_{al}} = \frac{0,006}{47} + \frac{0,05}{0,03} + \frac{0,001}{215} = 1,6667 \frac{m^2 K}{W}$$

V případě rovinné stěny se součinitel prostupu tepla k_p stanoví ze vzorce:

$$\frac{1}{k_p} = \frac{1}{\alpha_{asf}} + R_p + \frac{1}{\alpha_{amb}} = \frac{1}{7,5} + 1,6667 + \frac{1}{7,5} = 1,9333 \rightarrow k_p = 0,5172 \frac{W}{m^2 K}$$

Dosazením do základního vztahu získáváme hustotu tepelného toku zónou A1.2:

$$q = k_p \cdot (t_{asf} - t_{amb}) = 0,5172 \cdot (90 - 20) = 36,207 \frac{W}{m^2}$$

Tepelný tok zónou A1.2 je:

$$\dot{Q}_{1.1} = q \cdot A_{1.2} = 36,207 \cdot 1,446 = 52,4W$$

Zóna A1.3 je tvořena ocelovým nosným profilem, který je vyplněn izolační pěnou. Jedná se tak o narušenou a nesmáčenou zónu. Norma uvádí tabulku hodnot tepelné vodivosti pro profily různých typů a rozměrů. V tomto případě tvoří horní výztuha společně se stěnou korby uzavřený obdélníkový profil 150x100x5, což dle normy přibližně odpovídá teplotní vodivosti $\lambda_{profil} = 3,55 \frac{W}{m \cdot K}$. [34] Tepelný odpor se v takovém případě určí následovně:

$$R_p = \frac{d_{profil}}{\lambda_{profil}} = \frac{0,1}{3,55} = 0,0282 \frac{m^2 K}{W}$$

Součinitel prostupu tepla k_p se opět stanoví ze vzorce:

$$\frac{1}{k_p} = \frac{1}{\alpha_{asf}} + R_p + \frac{1}{\alpha_{amb}} = \frac{1}{7,5} + 0,0282 + \frac{1}{7,5} = 0,2948 \rightarrow k_p = 3,3917 \frac{W}{m^2 K}$$

Střední teplota stěny u horního nosného profilu je dle tabulky 12 přibližně 35°C
Hustota tepelného toku zónou je:

$$q = k_p \cdot (t_{asf} - t_{amb}) = 3,3917 \cdot (35 - 20) = 50,876 \frac{W}{m^2}$$

Tepelný tok zónou A1.3 je:

$$\dot{Q}_{1.3} = q \cdot A_{1.3} = 50,876 \cdot 0,726 = 36,9W$$

Analogicky se provede výpočet pro všechny stěny korby. V tabulce 13 jsou uvedeny plochy jednotlivých zón a vypočtený tepelný tok skrz ně:

Tab. 13: Tepelné toky zónami

ZÓNA	A [m ²]	Q̇ [W]	ZÓNA	A [m ²]	Q̇ [W]
A1.1	7,034	834,7	A2.5	0,048	10,9
A1.2	1,446	52,4	A3.1	0,354	207,8
A1.3	0,726	36,9	A3.2	1,647	195,5
A2.1	1,981	236,2	A3.3	0,579	20,9
A2.2	0,616	161,4	A3.4	0,298	41,3
A2.3	0,332	18,5	A4.1	4,021	477,1
A2.4	0,163	94,7	A4.2	2,021	1186,9

V tabulce 14 je přehled skutečných tepelných ztrát jednotlivými stěnami a celkový skutečný tepelný tok konstrukcí.

Tab. 14: Tepelné toky stěnami

	A [m ²]	Q̇ [W]
BOČNÍ STĚNY	18,412	1848,1
PŘEDNÍ ČELO	3,149	521,6
ZADNÍ ČELO	2,878	465,6
PODLAHA	6,041	1663,9
CELKEM	30,481	4499,2

Z výsledků je patrné, že k největším tepelným ztrátám obecně dochází skrz smáčené plochy s nosnými prvky. Některé z těchto ploch není možné izolovat (upevnění k pomocnému rámu) a rozdíl mezi teplotou vnitřního a vnějšího povrchu je největší.

V případě ověřované konstrukce jsou největší tepelné ztráty skrze podlahu. Ta je celou svou plochou v kontaktu s asfaltem a její významnou část navíc tvoří podélné nosné prvky, které přerušují souvislou izolaci podlahy. Pro snížení ztrát jsou nosné profily vyplněny izolační pěnou.

Pro porovnání jsou v tabulce 15 uvedeny vypočtené hodnoty skutečného tepelného toku konstrukcí korby pro různé tloušťky izolační vrstvy:

Tab. 15: Skutečný tepelný tok konstrukcí dle tloušťky izolace

Tloušťka izolace		\dot{Q}_{skut}	
30	mm	5833,3	W
40	mm	5034,3	W
50	mm	4499,2	W
60	mm	4115,9	W

6.2.3. Srovnání referenční a skutečné hodnoty

Izolační vlastnosti konstrukce se hodnotí srovnáním referenčního a skutečného tepelného toku stěnami korby. Izolační schopnost konstrukce se vyjadřuje pomocí srovnávacího čísla VZ_{iso} [34]:

$$VZ_{iso} = \frac{\dot{Q}_{ref}}{\dot{Q}_{skut}}$$

Pokud je dosaženo hodnoty $VZ_{iso} > 1$, tak je izolace korby dostatečná a konstrukce splňuje požadavek na minimální tepelný odpor alespoň $R_{DIN} = 1,65 \frac{m^2K}{W}$ při $20^\circ C$. Pakliže je hodnota $VZ_{iso} < 1$, je nutné konstrukci upravit, například větší tloušťkou izolační vrstvy nebo vyplněním dutých profilů izolací. [34]

V případě popsaného návrhu izolace korby je hodnota srovnávacího čísla větší než jedna a konstrukce při tloušťce izolační vrstvy 50mm splňuje požadavky pro certifikaci dle DIN 70001:2018-4:

$$VZ_{iso} = \frac{\dot{Q}_{ref}}{\dot{Q}_{skut}} = \frac{5\,165,7}{4\,499,2} = 1,148 > 1 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vynásobením předepsaného tepelného odporu $R_{DIN} = 1,65 \frac{m^2K}{W}$ se srovnávacím číslem VZ_{iso} lze zjistit tepelný odpor konstrukce korby. Výsledný tepelný odpor je o $0,24 \frac{m^2K}{W}$ vyšší než normou předepsaná hodnota, což poskytuje dostatečnou tepelnou izolaci.

$$R = R_{DIN} \cdot VZ_{iso} = 1,65 \cdot 1,148 = 1,894 \frac{m^2K}{W}$$

Pro úplnost je níže uvedena souhrnná tabulka (Tab.16) vypočtených hodnot srovnávacího čísla a tepelného odporu v případě použití jiných tloušťek izolační vrstvy. Z ní vyplývá, že normou předepsaného tepelného odporu dosahuje i varianta s tloušťkou izolace 40mm. V případě použití vrstvy izolace o tloušťce 30mm nesplňuje konstrukce podmínky certifikace.

Tab. 16: Hodnoty srovnávacího čísla a tepelného odporu v závislosti na tloušťce izolace

Tloušťka izolace		VZ _{ISO}	$R \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$
30	mm	0,885	1,461
40	mm	1,026	1,693
50	mm	1,148	1,894
60	mm	1,255	2,071

7. Pevnostní výpočet konstrukce pomocí MKP

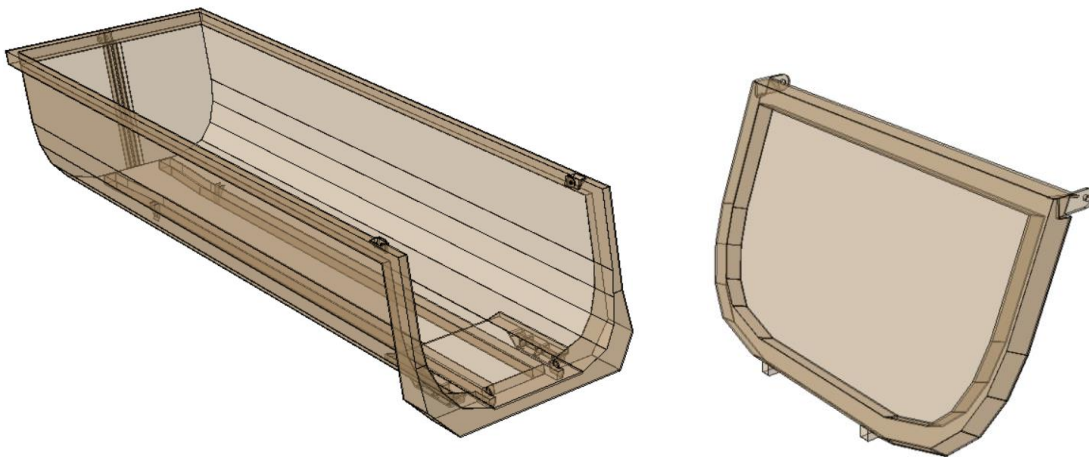
Tato část práce se zabývá pevnostním výpočtem pomocí metody konečných prvků (MKP). Metoda konečných prvků je numerická metoda, která umožňuje řešení širokého spektra technických úloh, jako je strukturální analýza, přenos tepla, proudění tekutin, elektromagnetické jevy apod. Princip metody spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého množství elementů (prvků), jejichž vrcholy se nazývají uzly. Pro všechny uzly diskretizovaného modelu se určí rovnice popisující jeho posuvy, ze kterých se dále aplikací rovnic všeobecné teorie pružnosti numericky vypočtou hodnoty napětí a deformace. Nezbytné je také vložení okrajových podmínek, které reprezentují zatížení a uložení tělesa v prostoru, a jejich vhodné zavedení rozhoduje o správnosti výsledku. Řešení je v případě deformační varianty MKP nejčastěji založeno na Lagrangeově variačním principu (těleso je v rovnováze, jestliže celková potenciální energie deformace je minimální). [35]

K pevnostnímu výpočtu pomocí MKP byla zvolena nosná část korby sklápěče, která se skládá ze svařenců korby a zadního čela. Konstrukce byla podrobena lineárnímu statickému výpočtu pro tři zátěžné stavy. Cílem analýzy bylo ověření správnosti návrhu z hlediska pevnosti a odhalit potenciálně nebezpečná místa konstrukce.

7.1. Tvorba výpočtového modelu

Pro výpočet byl zvolen program Abaqus. Jelikož byl 3D model nástavby vytvořen v programu Catia V5, bylo nutné součásti určené pro výpočet převést do vhodného formátu a vložit do programu Abaqus. Vzhledem k tomu, že nebylo potřeba přenášet komplexní model, kde by bylo výhodně zachovat například pozice a vazby dílů vůči sobě, k přenesení souborů byl zvolen klasický formát *.step*. Po importu modelů program Abaqus uživatele upozorní na případné nedokonalosti geometrie modelu. V modelu korby se nacházelo několik nepřesností, které bylo nutné upravit a opravený model znovu importovat.

Po úspěšném vložení 3D modelu byla zahájena tvorba výpočtového modelu. Program Abaqus je členěn na jednotlivé moduly, které přehledně dělí tvorbu výpočtového modelu do jednotlivých fází. Prvním z nich je modul *Part*. Jelikož jsou korba a zadní čelo svařeny z plechů, jejichž tloušťka je výrazně menší, než zbývající dva rozměry, je vhodné takovou konstrukci převést na skořepinový (shell) model. Lze tak snížit náročnost výpočtu a zkrátit výpočtový čas. Jelikož je studentská licence programu Abaqus limitována maximálním počtem 250 000 uzlů, je nahrazení modelu skořepinou výhodné i z hlediska přesnosti výpočtu, kdy je možné jednotlivé plechy rozdělit na větší množství elementů. Proto byly obě části korby nejdříve převedeny na střednicové plochy (Obr.50).



Obr. 50: Převedení na střednicové plochy

V modulu *Property* byly nejdříve zadány následující materiálové vlastnosti oceli:

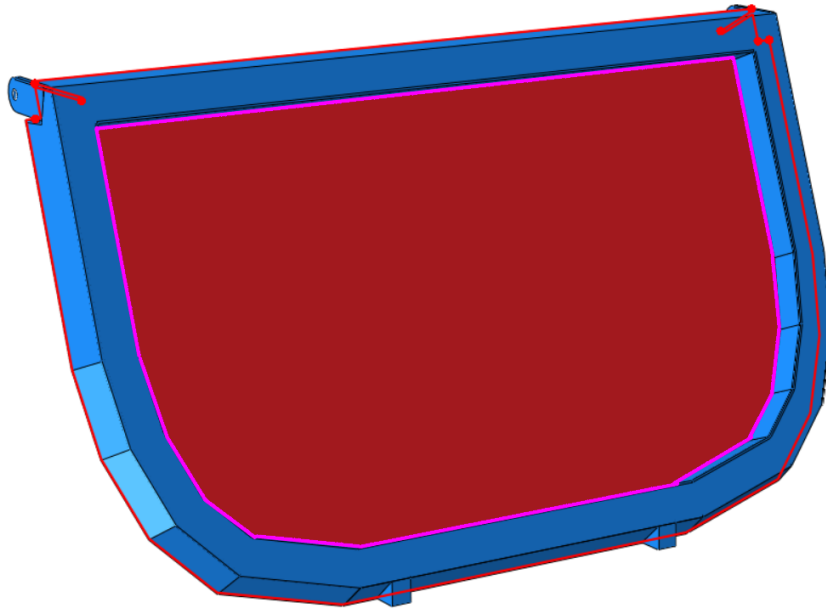
- Hustota: $\rho = 7\,850\text{kg/m}$
- Youngův modul: $E=210\,000\text{MPa}$
- Poissonovo číslo: $\nu=0,3$

Pomocí nástroje *Section manager* byly vytvořeny jednotlivé sekce, které reprezentují plechy různých tloušťek použitých v konstrukci. Sekce byly poté přiřazeny plochám střednicového modelu, čímž byla definována tloušťka plechů pro výpočet. Výsledný tvar skořepinového modelu však neodpovídal původnímu modelu, kdy se tloušťka plechu u některých sekcí přiřadila v opačném směru normály střednicových ploch. Z tohoto důvodu bylo nutné směry normál některých ploch upravit.

V modulu *Assembly* lze uspořádat jednotlivé součásti modelu vůči sobě v rámci globálního souřadného systému sestavy. Jelikož byly svařence korby a zadního čela řešeny v samostatných modelech, nebylo vzájemné pozicování nutné. U zátěžných stavů, kde je uvažován úhel sklápění korby, byl model potočen pro dosažení požadovaného úhlu vůči globálnímu souřadnému systému.

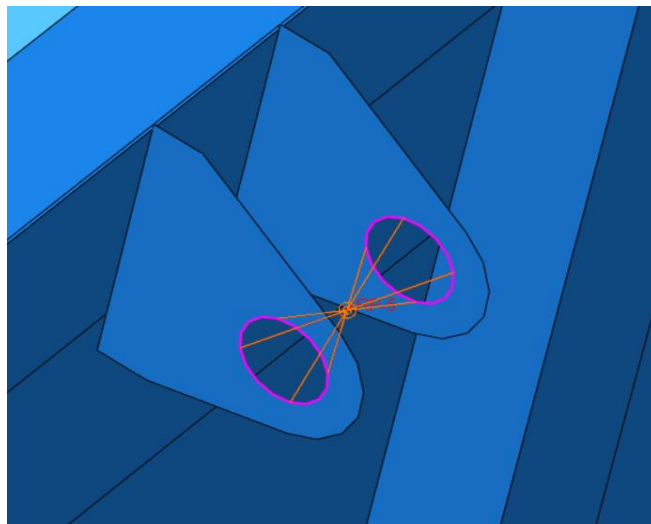
V další části byly zadány podrobnosti výpočtu v modulu *Step*, kde je možné vytvořit jednotlivé kroky, ve kterých má výpočet proběhnout a zvolit jeho požadované výstupy. Jelikož bylo uvažováno pouze zatížení od nákladu, byl pro každý zátěžný stav zvolen statický lineární výpočet pro jeden výpočetní krok. V nastavení výpočtu byly ponechány parametry přednastavené programem.

V modulu *Interaction* bylo nutné mezi plechy konstrukce vytvořit vazby. K tomu slouží vazba *Tie*, která vzájemně sváže dva zvolené povrchy. Při definování vazby je nutné zvolit povrch typu *slave* a typu *master*. Každý uzel povrchu *slave*, který leží v dané vzdálenosti od *master* povrchu, se při deformaci pohybuje stejně, jako nejbližší bod *master* povrchu. Jednotlivé plechy modelu bylo nutné pomocí vazby *Tie* spojit tak, jak by byly svařeny. Ukázka volby povrchu *master* (červený) a povrchu *slave* (fialový) je na obrázku 51. [36]



Obr. 51: Zavedení vazby Tie: povrch master (červeně), povrch slave (fialově)

Dále byly v modulu *Interaction* definovány vazby typu *Coupling*, které ve výpočtu simulují kontakt s dalšími částmi konstrukce. Konkrétně byla použita vazba *Coupling – Structural distributing*, která umožňuje deformaci ploch, ke kterým je vztažena. Takto byly nahrazeny čepy spojující korbu se zadním čelem, rámem a hydraulickým válcem (Obr.52).



Obr. 52: Zavedení vazby Coupling

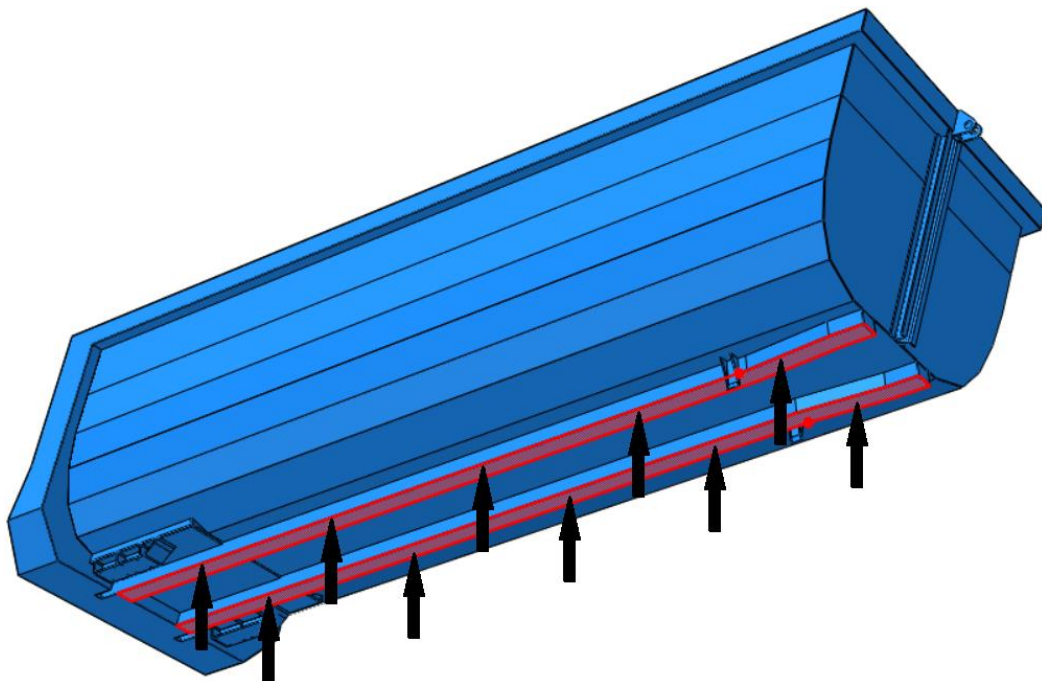
Následuje modul *Load*, kde byly zadány okrajové podmínky výpočtu a bylo definováno zatížení konstrukce. Pevnostní výpočet korby sklápěče byl proveden pro tři základní statické zátěžné stavy, kterým je vozidlo během provozu vystaveno nejčastěji. Naznačení všech tří zátěžných stavů je zobrazeno na obrázku 53.



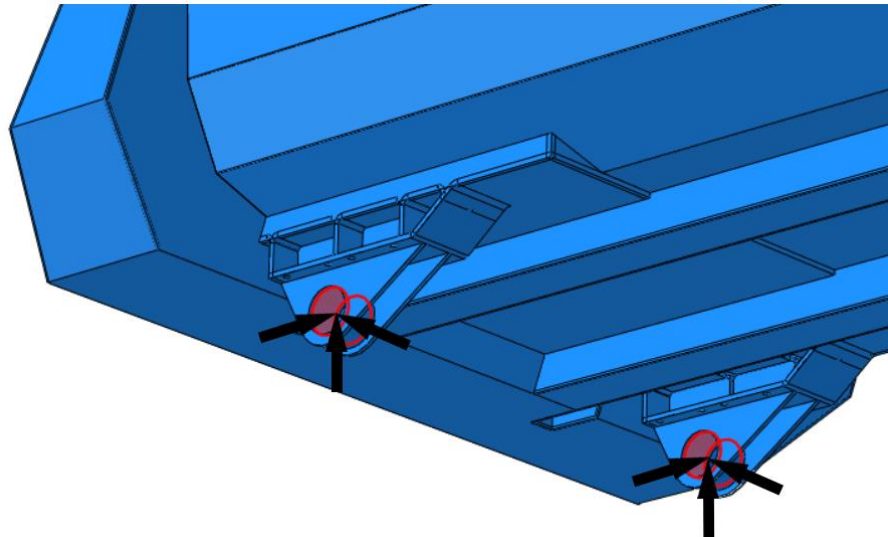
Obr. 53: Přehled zátěžných stavů [37]

V závislosti na zátěžném stavu je nutné do výpočtového modelu zavést odpovídající okrajové podmínky. Směry, ve kterých byl v modelu zakázán posuv, jsou zobrazeny na obrázcích pomocí černých šipek. Plochy, ke kterým se okrajová podmínka vztahuje, jsou zvýrazněny červeně.

Prvním zátěžným stavem je nulový úhel sklápění, kdy je korba sklápěče v dolní poloze a dosedá podélnými výztužnými profily podlahy na pryžové bloky pomocného rámu podvozku. Tento kontakt byl ve výpočtovém modelu zjednodušen uvažováním dotyku celou plochou podélníků, protože rozdělení na plochy reprezentující pryžové bloky mělo na výsledek zanedbatelný vliv. Okrajová podmínka je v této oblasti řešena zakázaným svislým posuvem dle obrázku 54. Uchycení zadní části korby k hřídeli sklápění představují v modelu zakázané posuvy ve třech osách zavedené přes vazbu *Coupling*. (Obr. 55)

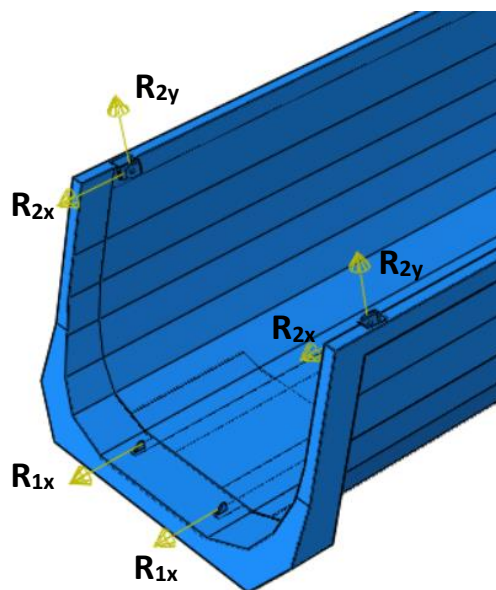


Obr. 54: Nahrazení kontaktu podélníků podlahy s pomocným rámem okrajovou podmínkou



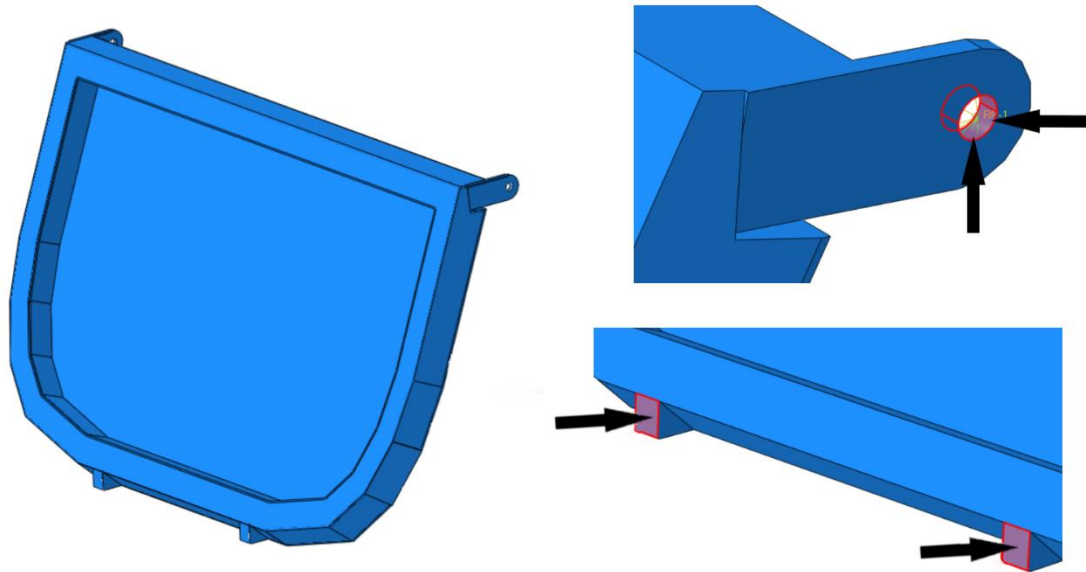
Obr. 55: Nahrazení uchycení k pomocnému rámu okrajovou podmínkou

Při tomto zátěžném stavu je zadní čelo je uzavřeno a je tedy stejně jako ostatní stěny zatíženo hydrostatickým tlakem. Jelikož byly výpočtové modely korby a zadního čela vytvořeny samostatně, bylo nutné nahradit vazbu mezi nimi odpovídajícími silovými účinky, které byly vypočteny v kapitole 5.5. Jejich zavedení je zobrazeno na obrázku 56.



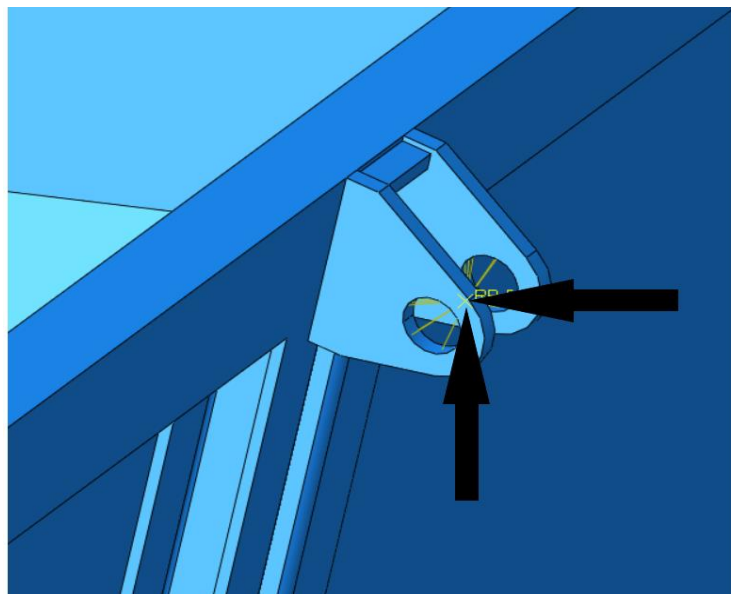
Obr. 56: Nahrazení zadního čela silovými reakcemi

Samostatný model zadního čela včetně okrajových podmínek je zobrazen na obrázku 57. Zavěšení na čepech je zavedeno zakázanými posuvy skrze vazbu *Coupling*, zajištění čela pomocí háků reprezentuje zakázaný podélný posuv na plochách v dolní části čela.



Obr. 57: Okrajové podmínky aplikované na zadní čelo

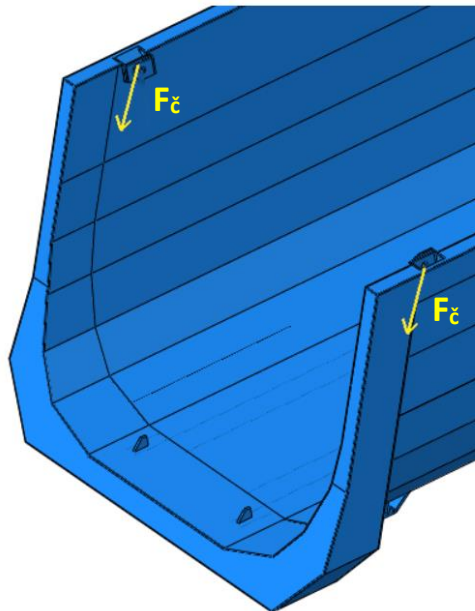
Druhým uvažovaným zátěžným stavem je začátek zvedání korby při minimálním úhlu sklápění. V tomto případě korba nedosáhá podélníky podlahy na pomocný rám, ale je zvedána pomocí hydraulického válce. Zadní čelo je odjištěno, zároveň však vlivem nízkého úhlu sklápění nedochází k odsypání nákladu. Z tohoto důvodu bylo opět uvažováno plné zatížení korby nákladem. Jak bylo popsáno v kapitole 5.7., největší síla ve válci je vyvozena právě na začátku sklápění. Tato síla se se zvyšujícím úhlem sklápění snižuje a je více přitěžován hřídel sklápění. Okrajová podmínka uchycení k hřídeli sklápění, zobrazená na obrázku 55, zůstává v tomto zátěžném stavu zachována. Kontakt podélníků podlahy s pomocným rámem (Obr.54) je však nahrazen uchycením k hydraulickému válci prostřednictvím zakázaného svislého a podélného posuvu skrze vazbu *Coupling* (Obr.58).



Obr. 58: Nahrazení spojení čepem s hydraulickým válcem okrajovou podmínkou

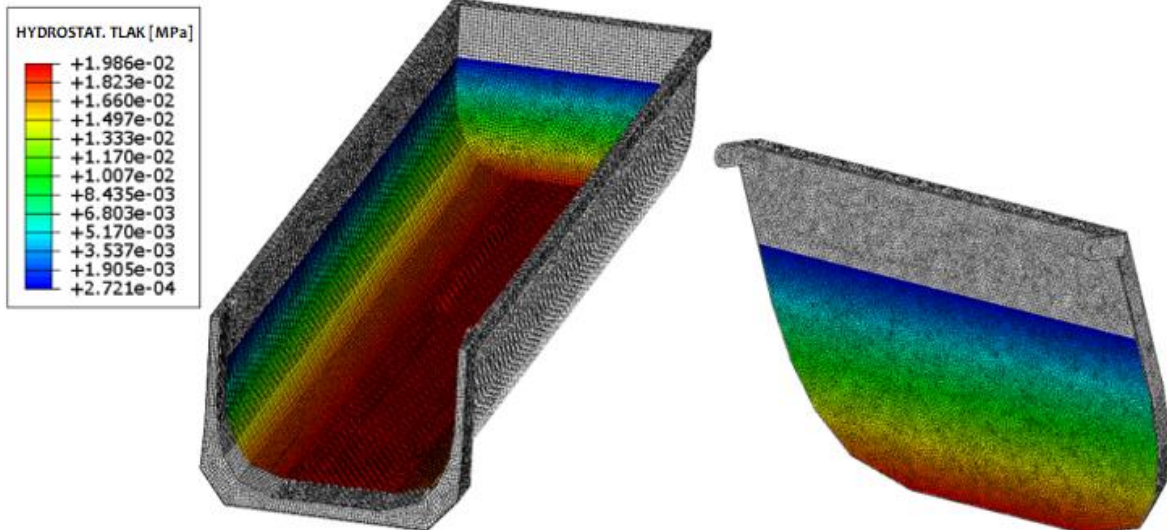
V třetím zátěžném stavu je uvažován úhel sklápění 30 stupňů a příčný náklon vozidla 4 stupně. Jelikož je sypný úhel asfaltových směsí až 30°, je možné, že při tomto úhlu dojde k odsypání pouze minimální části nákladu. Korba je tedy v tomto zátěžném stavu uvažována jako plně naložená na maximální nosnost vozidla. Vlivem zvýšeného úhlu sklápění se více přitěžuje hřídel sklápění. Příčný náklon o 4° simuluje situaci, kdy dochází ke sklápění na nakloněné rovině. Sklápění by ideálně mělo probíhat na rovném povrchu, aby nedošlo k neosovému zatížení hydraulického válce nebo ztrátě stability vozidla. Hydraulický sklápěcí systém vozidla je vybaven asistentem kontroly sklápění, který dovoluje maximální příčný náklon právě 4°. Při překročení tohoto úhlu není možné sklápění provést.

Okrajové podmínky odpovídají předchozímu zátěžnému stavu. Jelikož při tomto úhlu sklápění již dochází k otevření výkyvného zadního čela, jsou v místě zavěšení čela zavedeny dvě síly (každá o velikosti 1 275N), které nahrazují zatížení korby od hmotnosti čela (Obr.59).



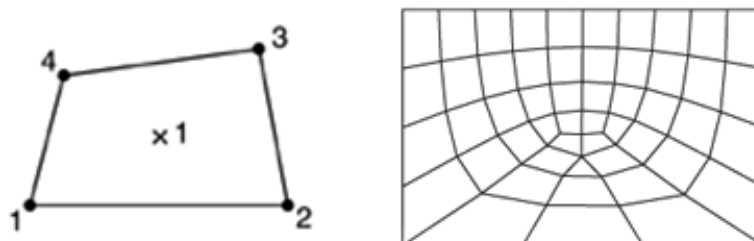
Obr. 59: Nahrazení zavěšeného čela silami

Ve všech zátěžných stavech bylo uvažováno naložení korby asfaltovou směsí na maximální technickou nosnost vozidla, což při rovnoměrném rozložení nákladu v ložném prostoru znamená naplnění do výšky 0,92m od podlahy. Ve výpočtovém modelu bylo toto zatížení zavedeno ve formě hydrostatického tlaku na vnitřní stěny ložného prostoru. Při definování zatížení bylo nutné zvolit zatěžovanou oblast a zadat maximální hodnotu tlaku $p = 19\,855\text{Pa}$, která byla určena v kapitole 5.4. Z těchto dat poté program vypočetl rozložení tlaku na stěny ložného prostoru, které je zobrazeno na obrázku 60.



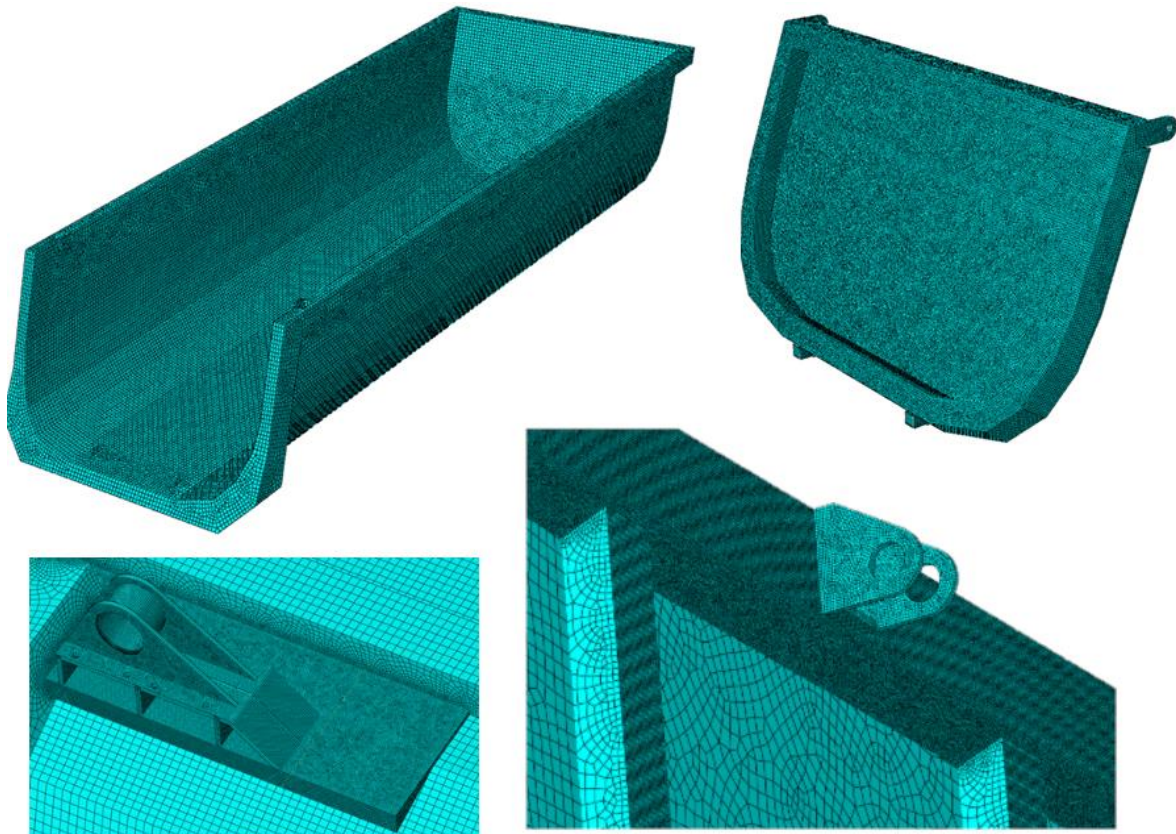
Obr. 60: Rozložení tlaku od nákladu na stěny korby

Po zavedení okrajových podmínek a nadefinování zatížení byla v modulu *Mesh* provedena diskretizace, neboli vysíťování geometrie modelu konečnými prvky. Nejprve bylo nutné zvolit typ a velikost elementů. Jelikož byla konstrukce převedena na skořepinu, byly k vysíťování použity lineární shell elementy typu S4R. Tyto elementy jsou tvořeny čtyřmi uzly a jsou určeny pro deformačně-napěťové analýzy tenkostěnných konstrukcí. [38] Jako způsob síťování modelu byla ponechána přednastavená varianta *Quad-dominated* (Obr.61), která umožňuje použití elementů se třemi uzly v přechodových oblastech. [39]



Obr. 61: Ukázka vysíťování typu *Quad-dominated* (pravo) elementy se 4 uzly (vlevo) [38] [39]

Velikost strany elementu pro diskretizaci korby byla zvolena 20mm, v případě zadního čela 5mm. Po provedení zkušebního výpočtu bylo u korby provedeno zahuštění sítě elementy o velikosti 2mm v místech, ve kterých vyšly maximální hodnoty napětí (místa uchycení korby k hydraulickému válci a pomocnému rámu) pro zvýšení přesnosti výpočtu. Vysíťovaný model korby a zadního čela je zobrazen na obrázku 62. Zvolená velikost elementů je nejmenší možná s ohledem na omezení studentské licence programu Abaqus, která je limitována maximálním počtem 250 000 uzlových bodů sítě.



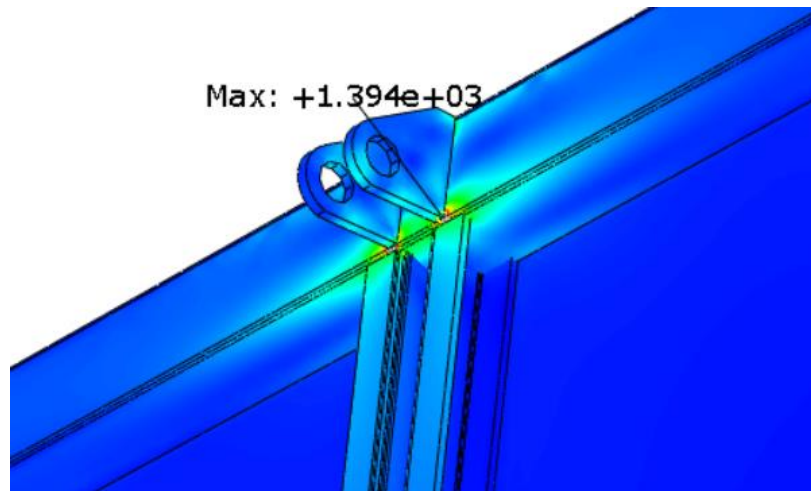
Obr. 62: Vysíťovaný model

Posledním krokem při tvorbě výpočtového modelu bylo vytvoření výpočtového úkolu v modulu *Job*. Tam je možné spustit výpočet, sledovat jeho průběh a upravit jeho nastavení s ohledem na výpočetní výkon počítače. Byly ponechány hodnoty přednastavené programem.

7.2. Výsledky pevnostní analýzy

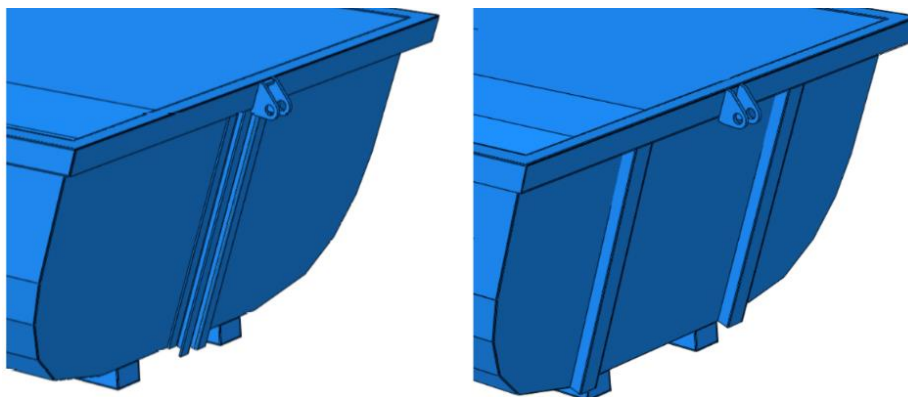
Výsledky výpočtu je možné v programu zobrazit v modulu *Visualization*. Napětí bylo vypočteno podle teorie HMM, která v programu Abaqus nese označení *Von Mises*. Průběhy napětí a deformací byly vykresleny v barevném spektru, kde vypočtené hodnoty odpovídají barevné stupnici. Hodnoty napětí jsou uvedeny v megapascálech a hodnoty deformací v milimetrech. V případě výsledků napětí je konstrukce zobrazena v nezdeformovaném stavu, u výsledků deformace je pro zvýraznění velikost deformace v měřítku 50:1.

Při první sérii výpočtů bylo zjištěno, že v případě zvednuté korby (druhý a třetí zátěžný stav) je špička napětí na předním čele v místě, kde je svařen horní nosný profil se svislými výztuhami (Obr.63).



Obr. 63: Zkušební výpočet - maximum napětí

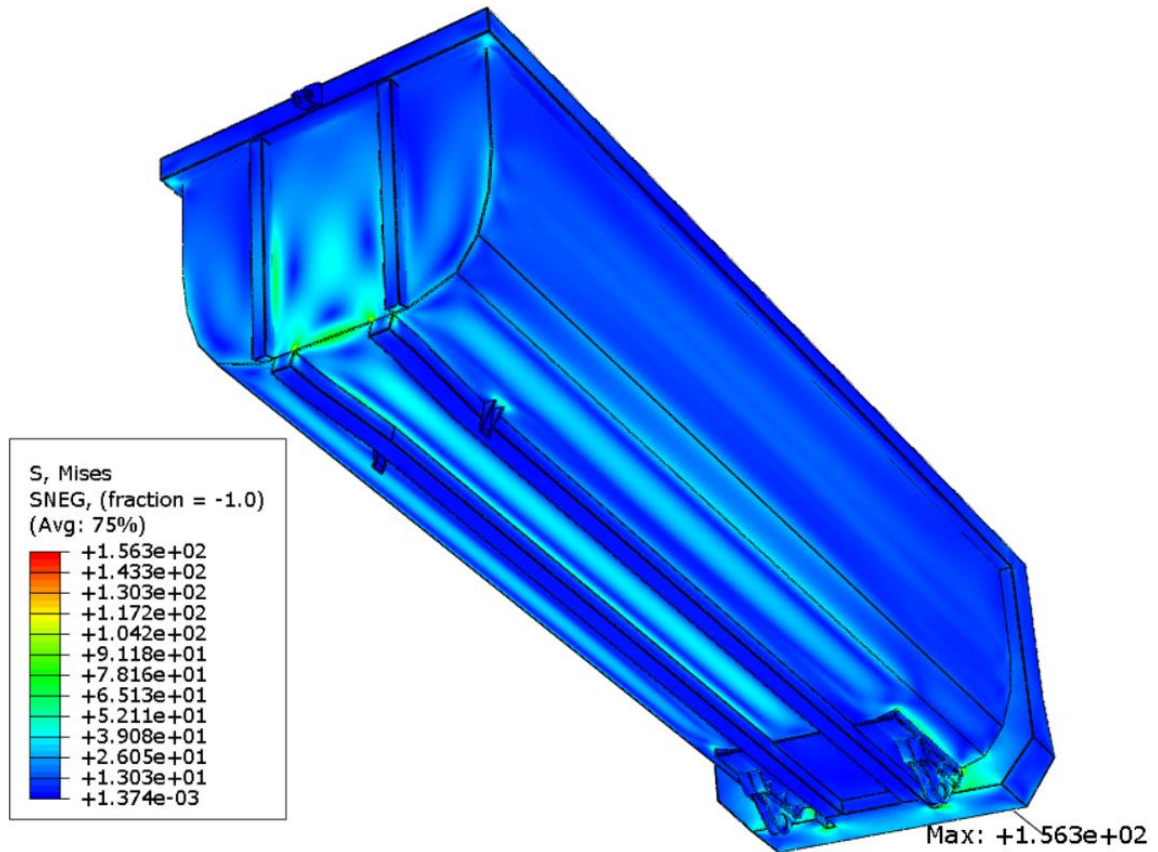
Napětí v tomto místě vyšlo až 1394MPa, což přesahuje mez kluzu materiálu. Jelikož výpočet proběhl pouze v lineární oblasti chování materiálu, nelze s jistotou říct, zda takto vysoké napětí odpovídá skutečnosti. Vysoké hodnoty napětí se vyskytovaly ve velmi malém pásmu, což může vést pouze k místní plastizaci materiálu a nižším hodnotám napětí. Napětí je však v místě maxima tahové a může způsobit vznik a šíření trhliny. Z tohoto důvodu byla konstrukce nosné části korby upravena a výztužné U profily ve středu předního čela byly nahrazeny dvěma obdélníkovými profily 100x60x5 dle obrázku 64. Zároveň byl zesílen horní nosný profil o 2mm. Tato drobná úprava má za cíl více využít horní nosný profil a rozložit tak napětí v materiálu.



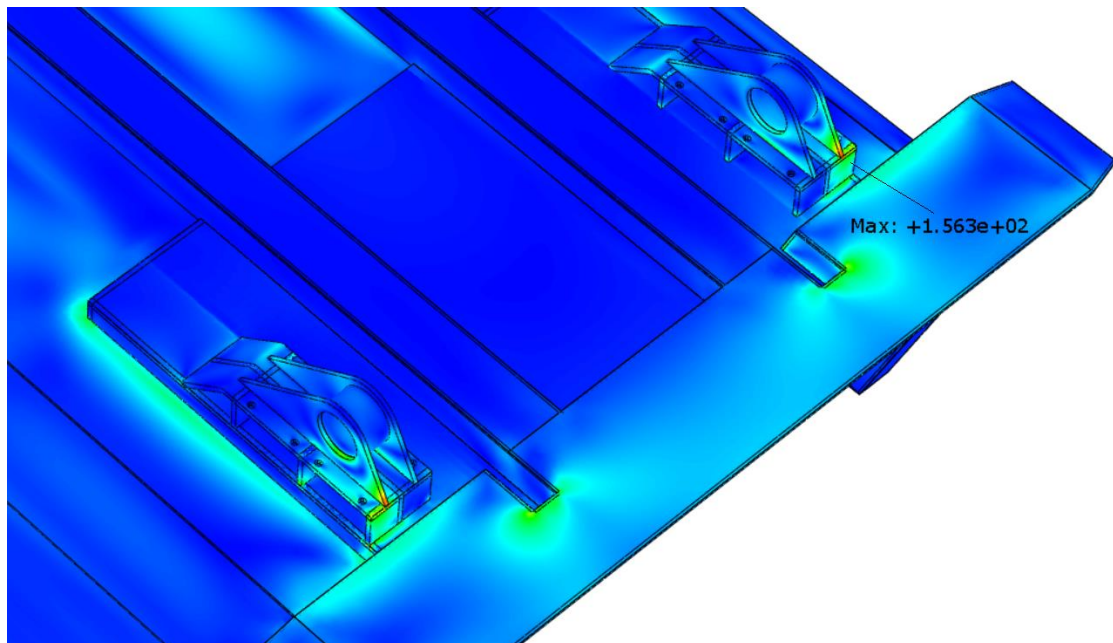
Obr. 64: Úprava předního čela

7.2.1. Korba v dolní poloze

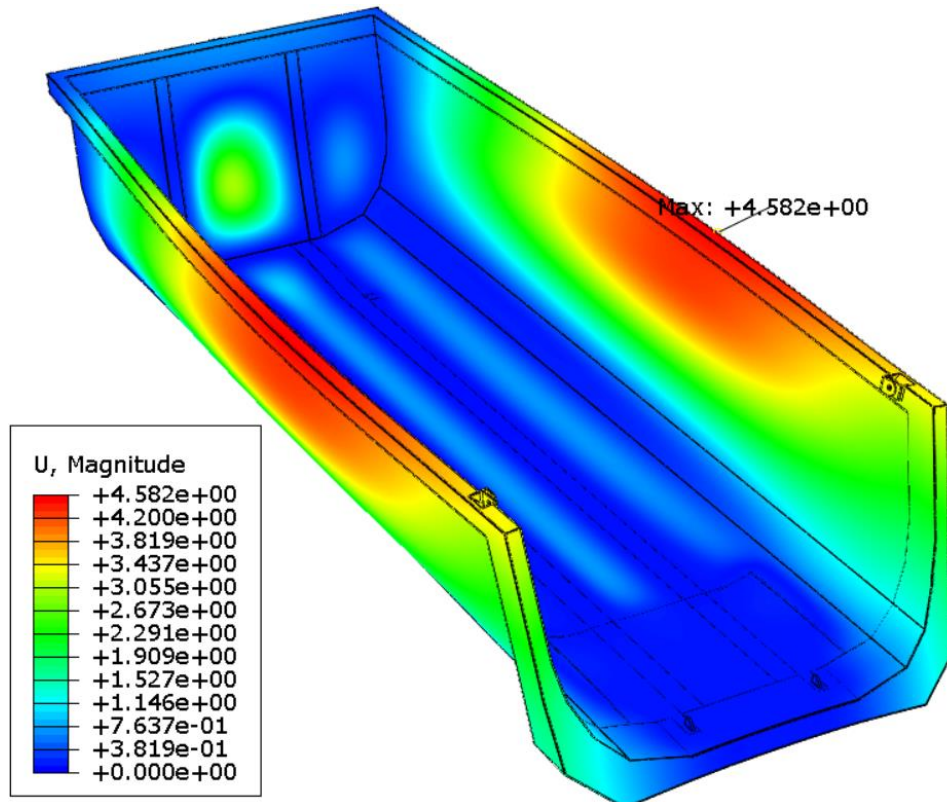
Výpočtem prvního zátěžného stavu bylo získáno rozložení napětí (Obr.65) a deformace (Obr.67) v konstrukci korby. Z výsledků bylo zjištěno, že na konstrukci je při uvažovaném zatížení dosaženo špičkové hodnoty napětí 156MPa v zadní části podlahy (Obr.66). K maximální deformaci 4,6mm dochází prohnutím bočnic od tlaku nákladu přibližně ve středu jejich horního okraje.



Obr. 65: Dolní poloha korby - rozložení napětí

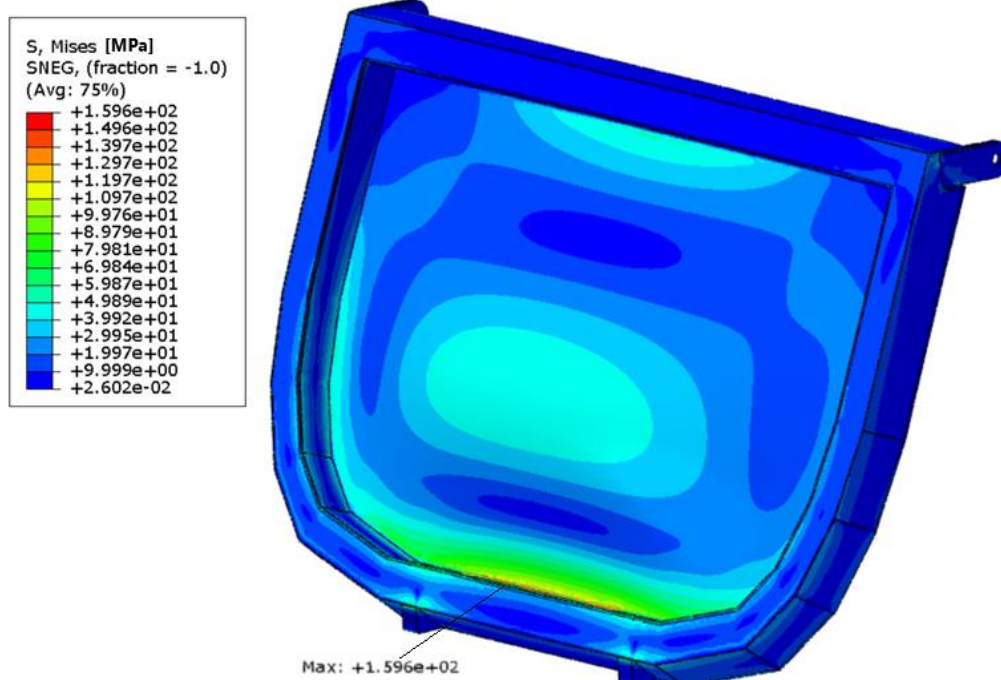


Obr. 66: Dolní poloha korby - detail maxima napětí

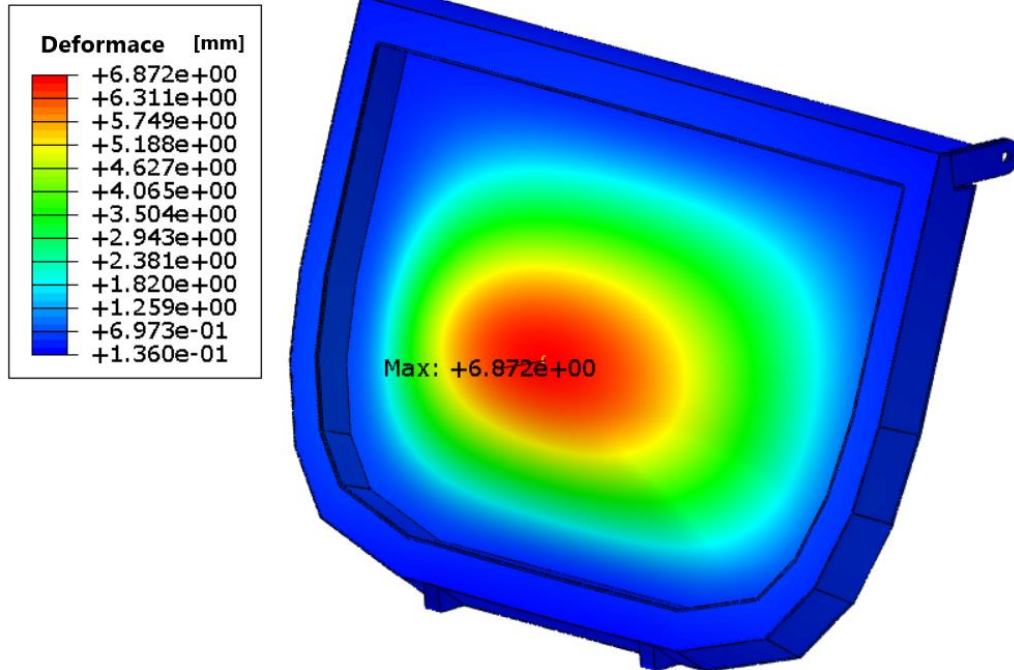


Obr. 67: Dolní poloha korby - deformace

Jak již bylo popsáno během tvorby modelu, v tomto zátěžném stavu byl samostatně proveden i výpočet zadního čela. Maximální hodnota napětí 160MPa vyšla v místě hrany mezi výztuhou a stěnou čela (Obr.68). K maximální deformaci 6,9mm dochází přibližně ve středu čela, v místě vyznačeném na obrázku 69.



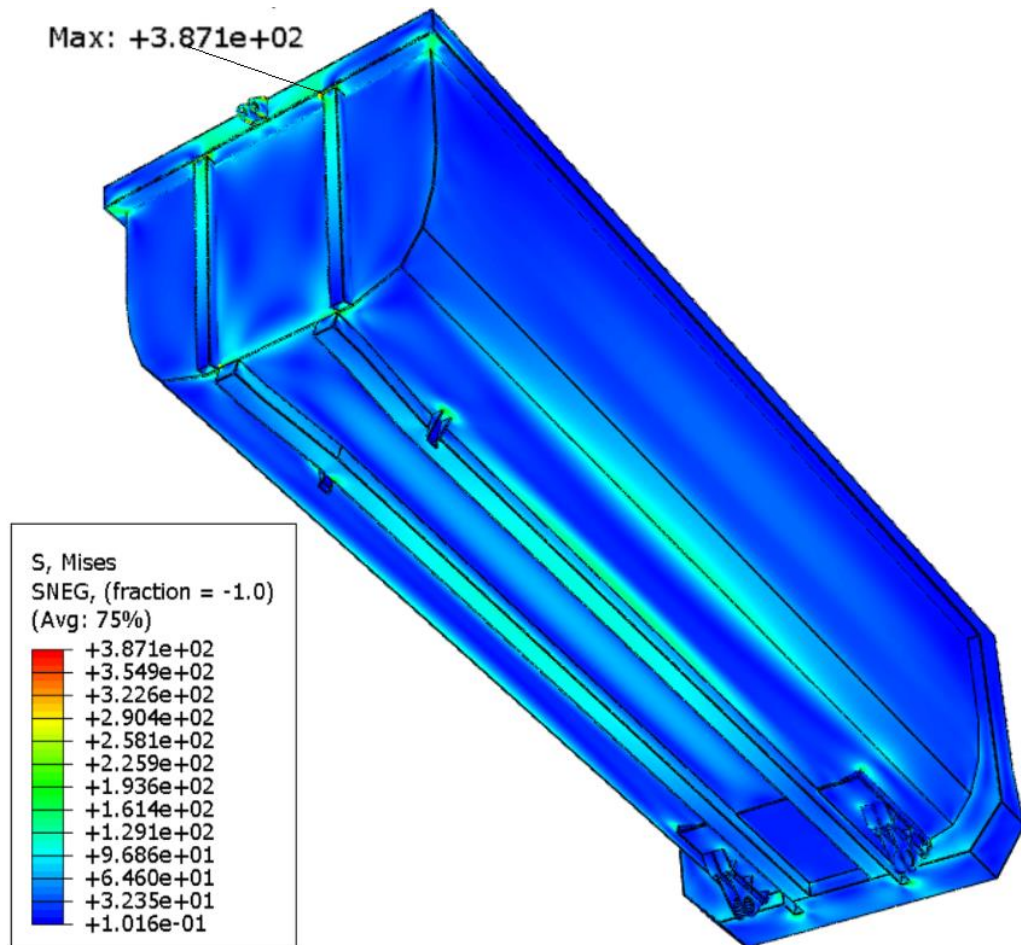
Obr. 68: Dolní poloha korby – napětí na zadním čele



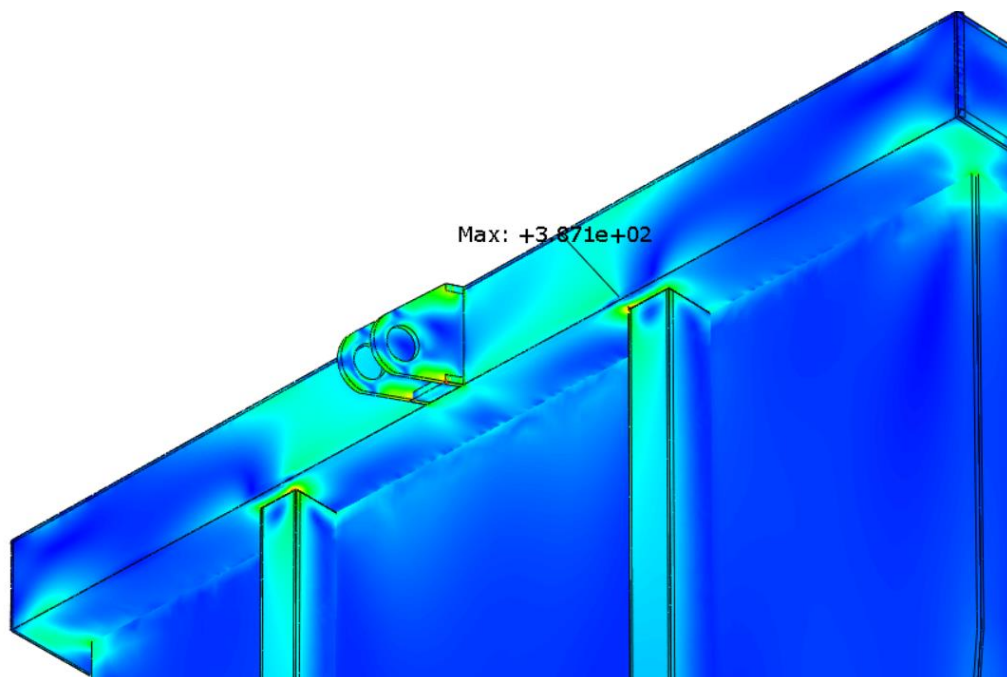
Obr. 69: Dolní poloha korby – deformace zadního čela

7.2.2. Začátek sklápění

Na obrázku 70 je znázorněn průběh napětí na začátku sklápění. V porovnání s předchozím zátěžným stavem je patrné, že vlivem zvyšujícího se úhlu sklápění a odlehnutí podélníků korby od pomocného rámu dochází k namáhání konstrukce především v místě uchycení hydraulického válce na předním čele. Špičková hodnota napětí 387MPa se nachází v místě spojení příčné a svislé výztuhy předního čela (Obr.71)

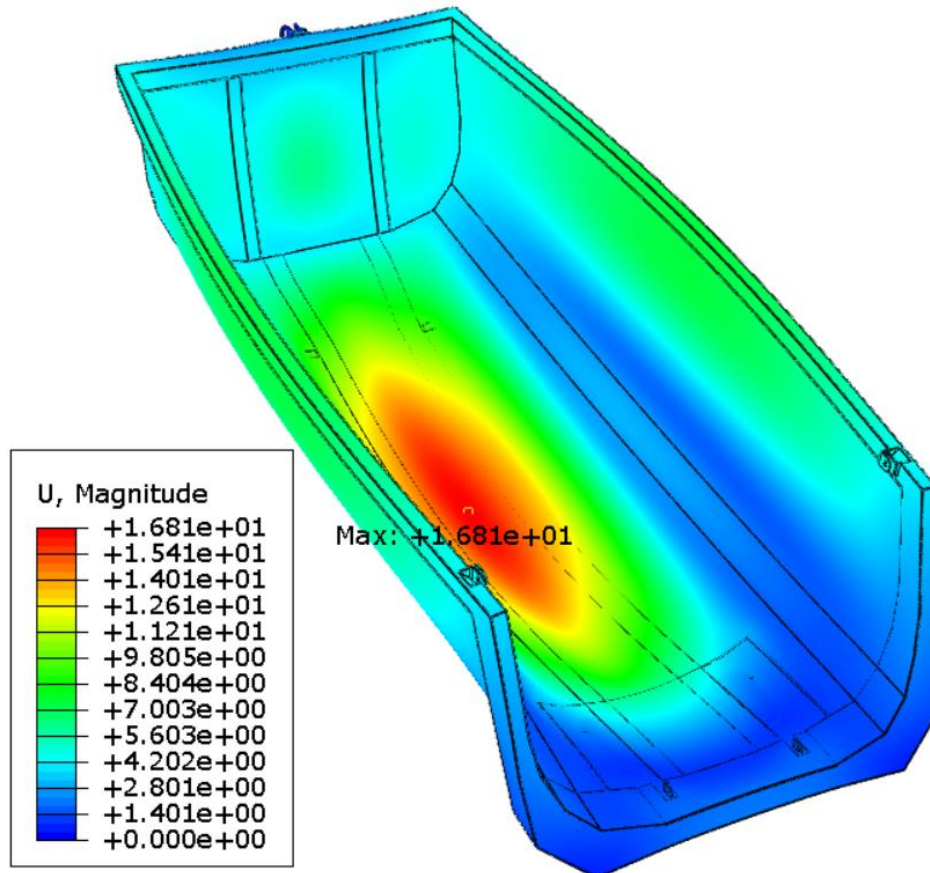


Obr. 70: Začátek sklápění - rozložení napětí



Obr. 71: Začátek sklápění – detail maxima napětí

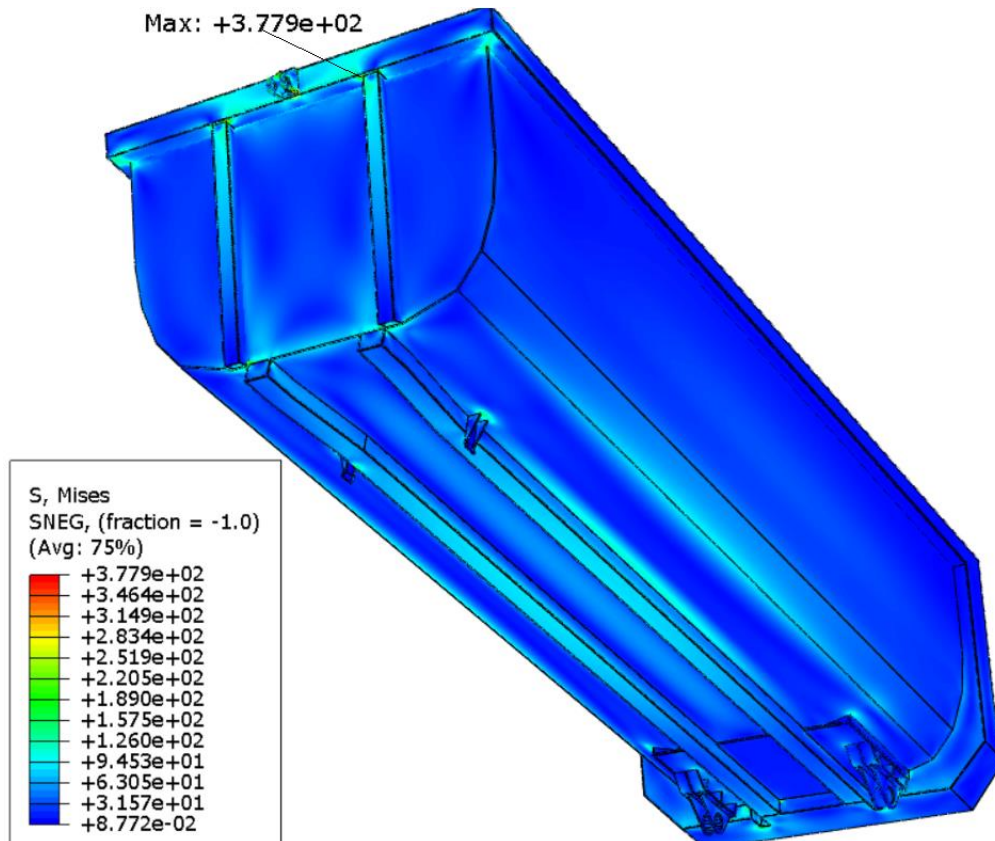
Zvednutí korby se rovněž projevilo i na její deformaci. Jak je vidět na obrázku 72, k maximální deformaci 16,8mm dochází ve středu podlahy, která již nedosedá podélníky na pomocný rám a vlivem zatížení od nákladu dochází k jejímu průhybu.



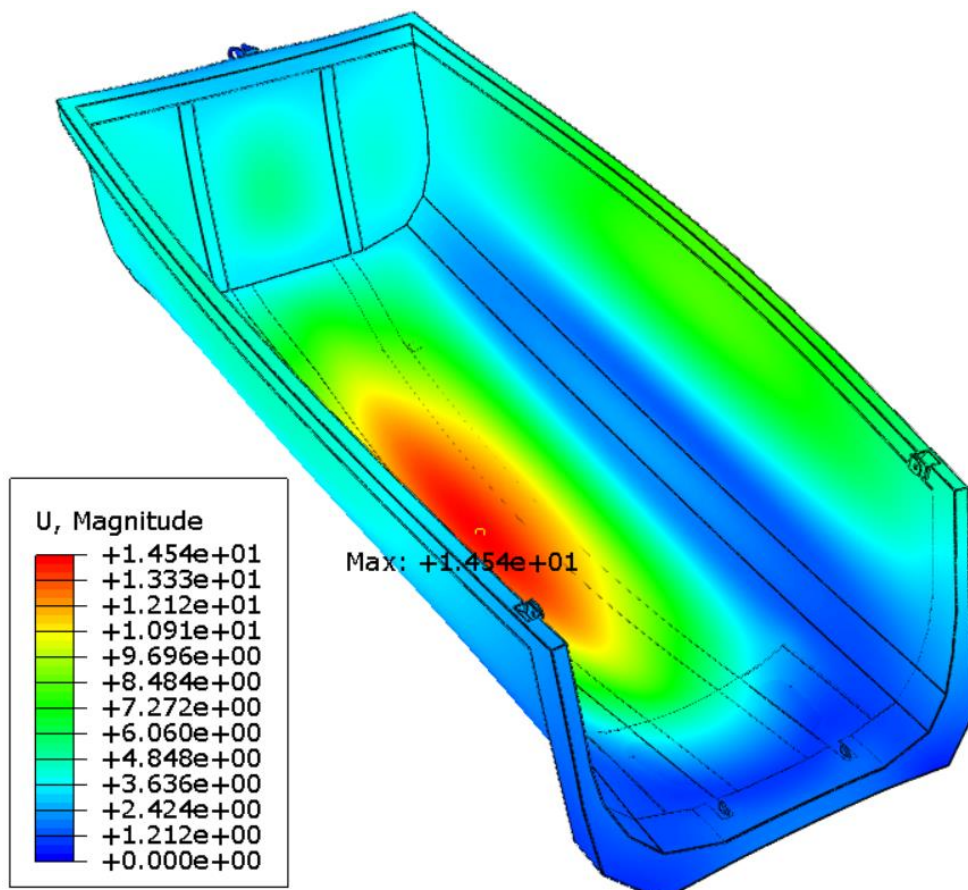
Obr. 72: Začátek sklápění - deformace

7.2.3. Sklápění při úhlu 30° a bočním náklonu

Při výpočtu třetího zátěžného stavu byl uvažován úhel sklápění 30° a současný boční náklon o 4° při plném zatížení od nákladu. Špička napětí 378MPa je v tomto případě opět na výztuze předního čela (Obr.73). Maximální deformace 14,5mm je znovu způsobena průhybem ve středu podlahy (Obr.74). Vlivem bočního náklonu dochází k mírně větší deformaci pravé bočnice.



Obr. 73: Úhel sklápění 30°, boční náklon 4° - rozložení napětí



Obr. 74: Úhel sklápění 30°, boční náklon 4° - deformace

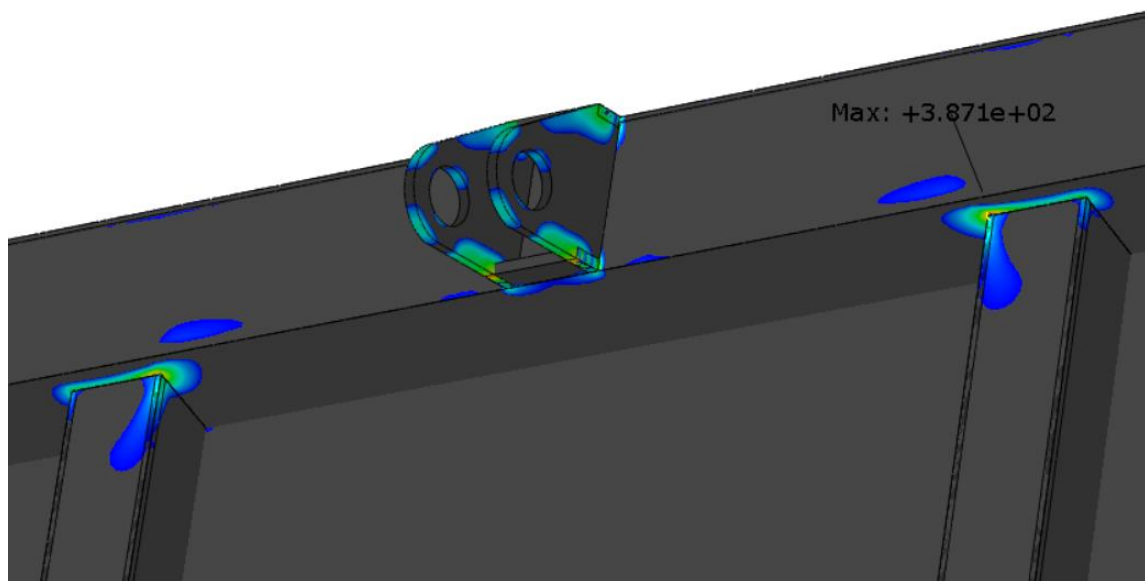
7.3. Rozbor výsledků pevnostní analýzy

V tabulce 17 jsou shrnuty výsledky statické pevnostní analýzy pro jednotlivé zátěžné stavy.

Tab. 17: Výsledky statické pevnostní analýzy

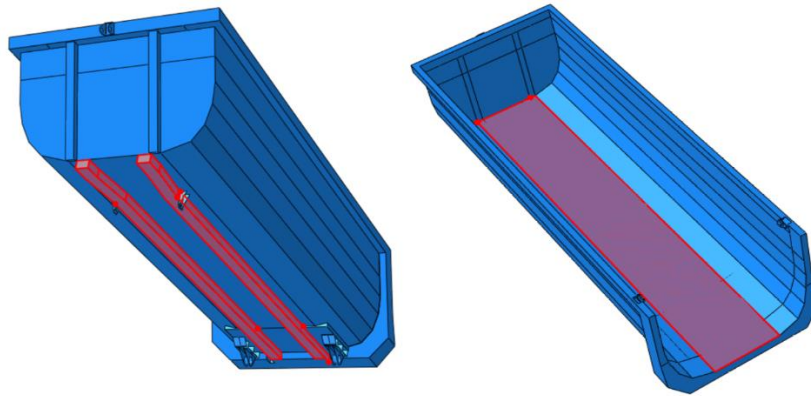
Zátěžný stav	Součást	Max. napětí [MPa]	Max. deformace [mm]
Dolní poloha	Korba	156	4,6
	Zadní čelo	160	6,9
Začátek sklápění	Korba	387	16,8
Úhel sklápění 30° a náklon 4°	Korba	378	14,5

Nejvyššího napětí bylo dle očekávání dosaženo na začátku sklápění, kdy je korba plně zatížena nákladem, ale vlivem zvyšujícího se úhlu sklápění již nedosedá podélníky podlahy k pomocnému rámu. Celou hmotnost korby tak nese pouze hydraulický válec a hřídel sklápění, čímž roste namáhání v místě jejich uchycení. Maximální hodnota napětí 387MPa se nachází právě v oblasti uchycení hydraulického válce k přednímu čelu korby. Na obrázku 75 jsou v barevném spektru zobrazeny pouze ty oblasti předního čela, kde bylo zjištěno napětí vyšší než 150MPa. Špičkové napětí nad 350MPa se vyskytuje pouze v malých, do červena zbarvených oblastech. Upravený způsob vyztužení předního čela vychází z hlediska maximálního napětí a deformací výrazně lépe, než původní řešení (Obr.64).



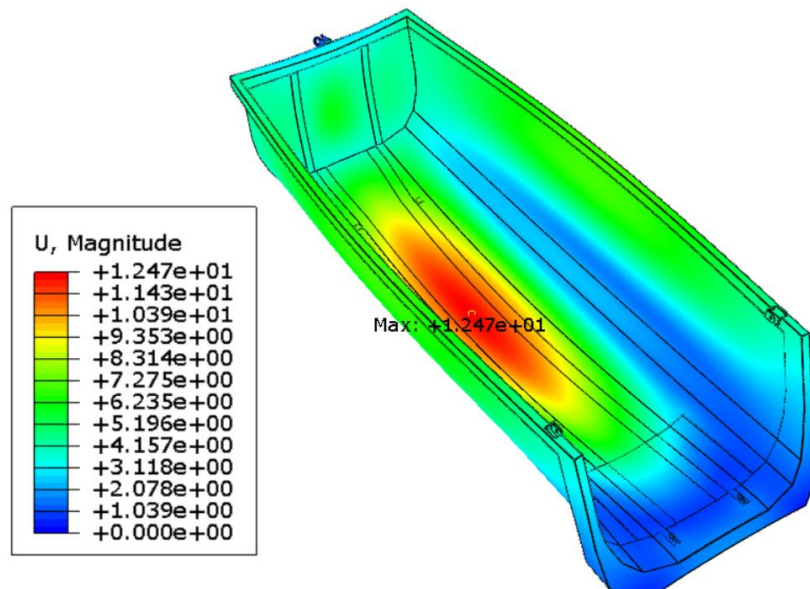
Obr. 75: Detail kritického místa – zobrazeno napětí nad 150MPa

K maximální deformaci rovněž dochází na začátku sklápění. Střed podlahy se při plném naložení nákladem prohýbá o 16,8mm. Vzhledem k velikosti konstrukce a jejímu zatížení se nejedná o nadměrnou deformaci. Průhyb vzhledem k velké ploše podlahy plynule narůstá směrem k jejímu středu a není spojen s výraznými hodnotami napětí. Pro porovnání byl proveden výpočet zesílené varianty korby, kdy byla zvýšena tloušťka celé podlahy na 8mm a tloušťka nosných podélníků na 10mm (Obr.76).



Obr. 76: Zesílení podélníků a podlahy

Zesílením podlahové části bylo dosaženo snížení maximální hodnoty deformace na 12,5mm (Obr.77). Napětí vyšlo téměř totožně, jako při výpočtu nezesílené konstrukce.



Obr. 77: Deformace zesílené konstrukce

Jelikož je mez kluzu použitého materiálu Hardox 1200MPa (Tab.6), je vypočtená maximální hodnota napětí 387MPa výrazně pod touto mezí. Aby však bylo možné prohlásit konstrukci za pevnostně vyhovující, bylo by nutné ji podrobit další sérii výpočtů s uvažováním kvazistatického a dynamického zatížení. Samotný statický výpočet by bylo vhodné provést s vyšší hustotou sítě, což by vedlo k dalšímu zpřesnění výsledků. To bohužel neumožňují omezení studentské verze programu Abaqus a potřebný výpočetní výkon. Dosažené výsledky výpočtu však postačují k nalezení potenciálně nebezpečných míst, na které je vhodné se při dalším vývoji a ověřování konstrukce zaměřit podrobněji. Zároveň lze prohlásit, že dimenze nosných profilů a tloušťek plechů ložného prostoru je dostatečná, protože konstrukce není vystavena výrazné napjatosti a nedochází k její nadměrné deformaci.

8. Závěr

V rámci této diplomové práce byl proveden návrh vybraných klíčových částí sklápěcí nástavby, určené pro nákladní automobil IVECO Stralis X-Way. Důraz byl kladen zejména na konstrukci korby sklápěče, která je svými rozměry a půlkruhovým tvarem přizpůsobena především pro převoz asfaltových směsí. Pomocný rám nástavby byl konstruován speciálně pro zadaný podvozek IVECO. Při návrhu rámu bylo postupováno dle příručky pro nástavbáře IVECO, ale při dalším vývoji by bylo vhodné se na jeho konstrukci zaměřit detailněji.

Izolovaná korba sklápěče byla podrobena výpočtu izolačních vlastností podle normy DIN 70001. Konstrukce dosahuje tepelného odporu přibližně $1,9 \frac{m^2K}{W}$ a splňuje tak podmínky certifikace dle požadavků normy. Velký vliv na tepelné ztráty mají výztužné prvky korby v místech, kde je stěna v kontaktu s asfaltovou směsí. I přes jejich vyplnění izolační pěnou by bylo při dalších úpravách konstrukce výhodné minimalizovat jejich plochu.

Podle výsledků základní statické analýzy bylo upraveno rozmístění a tloušťka výztuh předního čela v oblasti upevnění hydraulického válce, kde byly zjištěny vysoké hodnoty napětí. Upravená konstrukce korby sklápěče pevnostně vyhovuje při uvažovaných zátěžných stavech. Bylo by však vhodné výpočet dále rozšířit o kvazistatické, případně dynamické zátěžné stavy zohledňující další způsoby zatížení korby, jako je například analýza namáhání korby při dopadu nákladu během plnění korby, simulace mezních jízdních stavů, posouzení abrazivního opotřebení apod.

Jelikož je u nákladních vozidel kladen důraz na maximalizaci množství nákladu, které lze při dodržení zákonných požadavků převézt, hraje podstatnou roli vlastní hmotnost nástavby a podvozku vozidla. Na základně kompletní pevnostní analýzy by bylo možné konstrukci dále optimalizovat i co se týče snížení její hmotnosti a nahrazení částí konstrukce lehčími nebo levnějšími materiály.

Použitá literatura

- [1] IVECO Czech Republic, katalog IVECO X-Way [on-line]. [cit. 2020-04-08]
Dostupné z: <https://www.iveco.com/czech/produkty/pages/stralis-x-way-on-off-road.aspx>
- [2] Iveco Stralis X-WAY. In: Auto.cz [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/galerie/profi/57884/iveco-stralis-x-way-miri-na-silnice-i-do-terenu?foto=32>
- [3] VLK, František. Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
- [4] CEJLEK, Ivo. Dopravní zařízení I. Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky. České Budějovice, 2017.
- [5] Sklápěče Meiller [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.meiller.com/cz/vyrobky/zadni-sklapec/>
- [6] Stralis X-WAY MISSION ORIENTED. IVECO TRUCKS, 2017. Dostupné z: interní materiál firmy
- [7] Sklápěcí vozidla [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.schwarzmuller.com/cs/vozidla/sklapec-vozidla/?setLang=2>
- [8] Vozidla Schwarzmüller pro stavebnictví [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/vozidla-znacky-schwarzmuller-pro-stavebnictvi>
- [9] Solutions for Asphalt Transport [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: https://www.cargobull.com/files/com/filemanager_files//Neufahrzeuge/Kipper/SattelaufliiegerKipper/tipper trailer with thermal insulation S.pdf
- [10] Jednostranný sklápěč – termo varianta S1GT [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <http://novy.vsmont.sk/produkt/jednostranne-nadstavby-polkruhovye-termo/>
- [11] Zadní sklápěč MEILLER. In: Auto.cz [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.meiller.com/media/Fahrzeugbau/CZ/documents/vybaveni-vozidel/pachtove-systemy-1633-cs.pdf>
- [12] Vögele Super 1700-3i [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.forconstructionpros.com/asphalt/pavers/product/12306990/vogele-wirtgen-group-vgele-super17003i-super17033i-pavers>
- [13] Design zádě s optimalizovanou zábranou proti podjetí pro práci s finišerem [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.ewt.cz/sqlcache/09-cs-ski-novy-design-zade.pdf>
- [14] Přepravník obalovaných směsí [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.meiller.com/cz/vyrobky/prepravnik-obalovanych-smesi/>
- [15] Výzkumy v oblasti výroby a zpracování asfaltových směsí [online]. 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://fliegl-baukom.de/files/smfiledata/1/2/9/5/0/7/2018AsphaltprofiDokuCZweb.pdf>
- [16] Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. In: 341/2014. Ministerstvo dopravy, 2014. Dostupné také z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=341&r=2014>

- [17] HÝZL, Petr. Praktické aplikace v pozemních komunikacích: Asfaltové směsi [online]. 2006. VUT BRNO. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12868821-Prakticke-aplikace-v-pozemnich-komunikacich.html>.
- [18] TANCOŠOVÁ, Nikola. Zhutňování asfaltových směsí [online]. Praha, 2016 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12868821-Prakticke-aplikace-v-pozemnich-komunikacich.html>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [19] ČSN EN 13108. Asfaltové směsi: Specifikace pro materiály. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [20] Einsatzankündigung von Maßnahmen zur Steigerung der Asphalteinbauqualität [online]. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 18.10.2013 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://www.langendorf.de/fileadmin/downloads/news/Einsatzankuendigung_Thermomulde_Beschicker.pdf?r=1015895151
- [21] VOHLÍDAL, Jiří; et al. Chemické a analytické tabulky. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-855-5.
- [22] Stralis X-Way: Bodybuilders instructions [online]. 2017 [cit. 2020-06-24]. Dostupné po registraci z: <http://ibb.iveco.com/en/SitePages/Home.aspx>
- [23] Hardox 450 [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.gamaocel.cz/4861/hardox/>
- [24] NOVÁK, Stanislav a Jiří MRÁČEK. Svařování ocelí s vyšší pevností [online]. 2009 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://allforpower.cz/UserFiles/files/2009/svarovani%20oceli%20ovys%20pevnosti.pdf>
- [25] CAMARO Taurpaulin systems: Products catalogue [online]. CRAMARO ITALIA S.r.l. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://www.balkanhidraulik.rs/images/1KATALOZI/CRAMARO-cerade--catalog.pdf>
- [26] Einbau- und Bedienungsanleitung: ThermoMonitor und Protokolldrucker [online]. BPW [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.bpw.de/uploads/tx_szdownloadcenter/Einbau_Bedienungsanleitung-ThermoMonitor_Protokolldrucker-37541701d.pdf
- [27] Zemní tlaky [online]. Přednáška FSv: České vysoké učení technické v Praze [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2016/12/sylab_12-zemni-tlaky.pdf
- [28] Sypný úhel. In: Wikipedia [online]. 2019 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sypn%C3%BD_%C3%BAhel
- [29] LINHART, Jiří. Mechanika tekutin I [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009 [cit. 2020-06-24]. ISBN Mechanika tekutin I. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~bebrl/mechtekutin_linhart.pdf
- [30] BOLEK, Alfréd a Josef KOCHMAN. Části strojů. 1. svazek. 5. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Česká matice technická, č. spisu 349. ISBN 80-03-00046-7.

- [31] Alpha series: FE A149-5-04655-009-K1265 Front end cylinder with single eye [online]. Hyva [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.hyva.com/globalassets/product-catalog-images/01.tipping/tipping-brochures/fe-cylinders/70545284.pdf>
- [32] MOUNTING INSTRUCTIONS: FRONT-END CYLINDER FE TYPE ALPHA [online]. Hyva [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: https://www.truck-components.cz/uploads/files/2105/N%C3%A1vod_k_mont%C3%A1%C5%BEi_FE_A.pdf
- [33] WILLPUR® HT: Thermal insulation for tipper trailer [online]. F. Willich Isoliersysteme GmbH + Co. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.f-willich.de/en/product/willit-high-temperature/>
- [34] DIN 70001: 2018-04. Road vehicles - Thermoinsulated dump bodies: Procedure for calculation of thermoinsulated dump bodies. Německo, 2018-04.
- [35] Metoda konečných prvků. In: Wikipedia [online]. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_kone%C4%8Dn%C3%BDch_prvk%C5%AF
- [36] DOUBRAVA, Karel, Tomáš MAREŠ, Karel VÍTEK a Zdeněk KULIŠ. Excentricita u odvrátací metody. Bulletin of Applied Mechanics [online]. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta strojní, 2006(5) [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <http://www.bulletin-am.cz/index.php?journal=vam&page=article&op=view&path%5B%5D=50>
- [37] Vector dump truck [online]. In: 123rf. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.123rf.com/stock-photo/tipper.html?imgtype=0&sti=nhzzj8jlhb8ybsub97|&mediapopup=76489630>
- [38] Choosing a shell element [online]. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://abaqus-docs.mit.edu/2017/English/SIMACAEELMRefMap/simaelm-c-shellelem.htm>
- [39] Two-dimensional structured meshing [online]. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://abaqus-docs.mit.edu/2017/English/SIMACAECAERefMap/simacae-c-mgnconcmapped2d.htm>

Seznam obrázků

Obr. 1: Iveco Stralix X-Way [2]	3
Obr. 2: Varianty konfigurace podvozku [1]	4
Obr. 3: Konfigurace ON, ON+, OFF [1]	4
Obr. 4: Charakteristika motoru Cursor 9 [1]	6
Obr. 5: Izolovaný sklápěč [11]	9
Obr. 6: Spolupráce s finišerem [12]	10
Obr. 7: Speciál od výrobce Meiller pro převoz asfaltových směsí [14]	11
Obr. 8: Korba s vytlačovacím mechanismem [15]	12
Obr. 9: Segregace nákladu [15]	14
Obr. 10: Měření teploty asfaltové směsi - body měření [20]	15
Obr. 11: Těžiště podvozku [22]	18
Obr. 12: Poloha těžiště vozidla s nastavbou	19
Obr. 13: Optimální poloha umístění těžiště nastavby	20
Obr. 14: Model nastavby s podvozkem	22

Obr. 15: Nosná část korby	23
Obr. 16: Přední čelo	24
Obr. 17: Zadní čelo	25
Obr. 18: Mechanismus uzavírání zadního čela	25
Obr. 19: Mechanismus uzavírání zadního čela. Nahoře zajištěné čelo, dole odjištěné.	26
Obr. 20: Podlaha a bočnice	27
Obr. 21: Tvar a základní rozměry korby v řezu	27
Obr. 22: Podlaha korby	28
Obr. 23: Spojení korby s pomocným rámem	28
Obr. 24: Izolační vrstva korby	29
Obr. 25: Krycí vrstva sklápěče	30
Obr. 26: Pomocný rám	31
Obr. 27: Spojení základního a pomocného rámu: Tuhé (vlevo), Pružné s pryží (usprostřed), Pružné s pružinou (vpravo) [22].....	31
Obr. 28: Upevnění pomocného rámu	32
Obr. 29: Základní rozměry pomocného rámu.....	32
Obr. 30: Zábrana proti podjetí.	33
Obr. 31: Zaplachtování Cramaro [25]	35
Obr. 32: Blatníky se zástěrkami	35
Obr. 33: Systém měření teploty: vlevo schéma zapojení, vpravo řídicí jednotka [26].	36
Obr. 34: Zadní čelo – rozbor zatížení	38
Obr. 35: Uložení zadního čela. Vlevo řez v ose čepu, vpravo detail uchycení čela ke korbě	40
Obr. 36: Horní poloha korby při úhlu sklápění 45°	42
Obr. 37: Hydraulický válec Hyva [31]	43
Obr. 38: Schéma hydraulického systému [32]	44
Obr. 39: Uložení hydraulického válce	45
Obr. 40: Obecná poloha korby při sklápění	46
Obr. 41: Závislost tlaku a síly ve válci na úhlu sklápění	48
Obr. 42: Nastavba při maximálním úhlu sklápění.....	49
Obr. 43: Izolační materiál [33]	51
Obr. 44: Rozdělení korby pro výpočet referenční hodnoty tepelného toku	52
Obr. 45: Výpočetní plocha boční stěny	52
Obr. 46: Zóny stěny korby (1 – nesmáčená, narušená zóna s nosným profilem, 2 – nesmáčená, nenarušená zóna, 3 – smáčená, nenarušená zóna) [34]	54
Obr. 47: Rozdělení korby pro výpočet skutečné hodnoty tepelného toku	55
Obr. 48: Výpočetní zóny boční stěny	55
Obr. 49: Vrstvy stěny v zóně A1.1	56
Obr. 50: Převedení na střednicové plochy.....	62
Obr. 51: Zavedení vazby Tie: povrch master (červeně), povrch slave (fialově).....	63
Obr. 52: Zavedení vazby Coupling	63
Obr. 53: Přehled zátěžných stavů [37]	64

Obr. 54: Nahrazení kontaktu podélníků podlahy s pomocným rámem okrajovou podmínkou	64
Obr. 55: Nahrazení uchycení k pomocnému rámu okrajovou podmínkou	65
Obr. 56: Nahrazení zadního čela silovými reakcemi	65
Obr. 57: Okrajové podmínky aplikované na zadní čelo	66
Obr. 58: Nahrazení spojení čepem s hydraulickým válcem okrajovou podmínkou	66
Obr. 59: Nahrazení zavěšeného čela silami	67
Obr. 60: Rozložení tlaku od nákladu na stěny korby	68
Obr. 61: Ukázka vysítování typu Quad-dominated (pravo) elementy se 4 uzly (vlevo) [38] [39].....	68
Obr. 62: Vysítovaný model.....	69
Obr. 63: Zkušební výpočet - maximum napětí.....	70
Obr. 64: Úprava předního čela.....	70
Obr. 65: Dolní poloha korby - rozložení napětí.....	71
Obr. 66: Dolní poloha korby - detail maxima napětí	71
Obr. 67: Dolní poloha korby - deformace	72
Obr. 68: Dolní poloha korby – napětí na zadním čele	72
Obr. 69: Dolní poloha korby – deformace zadního čela	73
Obr. 70: Začátek sklápění - rozložení napětí.....	74
Obr. 71: Začátek sklápění – detail maxima napětí.....	74
Obr. 72: Začátek sklápění - deformace	75
Obr. 73: Úhel sklápění 30°, boční náklon 4° - rozložení napětí	76
Obr. 74: Úhel sklápění 30°, boční náklon 4° - deformace.....	76
Obr. 75: Detail kritického místa – zobrazeno napětí nad 150MPa.....	77
Obr. 76: Zesílení podélníků a podlahy	78
Obr. 77: Deformace zesílené konstrukce.....	78

Seznam tabulek

Tab. 1: Motorizace vozidla IVECO Stralis X-Way [1]	5
Tab. 2: Nejnižší dovolená teplota při pokládce [19]	14
Tab. 3: Základní hmotnostní parametry vozidla	16
Tab. 4: Objemová hmotnost běžných stavebních materiálů [6] [21]	17
Tab. 5: Přehled rozložení hmotností na nápravy dle nákladu	21
Tab. 6: Mechanické vlastnosti materiálu HARDOX 450 [24].....	23
Tab. 7: Parametry hydraulického válce Hyva [31]	43
Tab. 8: Stupně válce [31].....	44
Tab. 9: Vypočtené hodnoty tlaku a síly v hydraulickém válci	48
Tab. 10: Vlastnosti izolace WILLPUR® HT [33]	50
Tab. 11: Referenční tepelné toky stěnami	53
Tab. 12: Teplota vnitřní stěny korby [34].....	55
Tab. 13: Tepelné toky zónami	58
Tab. 14: Tepelné toky stěnami.....	58
Tab. 15: Skutečný tepelný tok konstrukcí dle tloušťky izolace	59

Tab. 16: Hodnoty srovnávacího čísla a tepelného odporu v závislosti na tloušťce izolace	60
Tab. 17: Výsledky statické pevnostní analýzy	77

Seznam příloh

- Příloha 1: Skript pro výpočet sil působících na zadní čelo pomocí programu MATLAB
- Příloha 2: Ukázka z konfigurátoru hydraulického sklápěcího systému výrobce HYVA
- Příloha 3: Technický list
- Příloha 4: Výkres podvozku s nástavbou

Seznam zkratk a symbolů

$V_{návrh}$	[m ³]	Návrhový objem nástavby
ρ_{asf}	[kg/m ³]	Objemová hustota asfaltové směsi
ρ_{hl}	[kg/m ³]	Objemová hustota suché hlíny
m_{MAX}	[kg]	Maximální technická hmotnost vozidla
m_{pdv}	[kg]	Hmotnost podvozku
m_n	[kg]	Návrhová hmotnost nástavby
h	[mm]	Optimální vzdálenost těžiště od přední dvojnápravy
l	[mm]	Technický rozvor
l_p	[mm]	Rozvor kol přední dvojnápravy
x_T	[mm]	Optimální vzdálenost těžiště vozidla od předních kol
x_{T1}	[mm]	Vzdálenost těžiště podvozku od předních kol
x_{T2}	[mm]	Optimální vzdál. těžiště nástavby od předních kol
G_{pMAX}	[kg]	Maximální návrhové zatížení přední dvojnápravy
G_{zMAX}	[kg]	Maximální návrhové zatížení zadní dvojnápravy
G_C	[kg]	Maximální technická celková hmotnost vozidla
G_1	[kg]	Hmotnost podvozku
G_2	[kg]	Hmotnost plně naložené nástavby
k_{pl}	[$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]	Součinitel prostupu tepla plachtou
K	[-]	Koeficient zemního tlaku dle Jákyho
φ	[°]	Úhel vnitřního tření materiálu
p	[Pa]	Hydrostatický tlak

g	[m.s ⁻²]	Tíhové zrychlení
$h_{nákl}$	[mm]	Výška hladiny nákladu
b	[mm]	Odlehlost působíště tlakové síly
I_x	[mm ⁴]	Kvadratický moment zatěžované plochy k ose x
y_T	[mm]	Vzdál. těžiště zatěžované plochy od hladiny nákladu
S	[m ²]	Zatěžovaná plocha
α	[°]	Úhel sklápění
F	[N]	Tlaková síla od nákladu na zadní čelo
R_{x1}	[N]	Silová reakce od zadního čela
R_{x2}	[N]	Silová reakce od zadního čela
R_{y2}	[N]	Silová reakce od zadního čela
F_y	[N]	Tlaková síla od nákladu na zadní čelo v ose y
F_x	[N]	Tlaková síla od nákladu na zadní čelo v ose x
G	[N]	Tíhová síla od zadního čela
v_f	[mm]	Svislá vzdálenost působíště tlakové síly od čepů čela
s	[mm]	Vodorovná vzdál. působíště tlakové síly od čepů čela
v	[mm]	Svislá vzdál. zajištění čela od čepů čela
t	[mm]	Vodorovná vzdálenost těžiště čela od čepů čela
$F_{čep}$	[N]	Síla působící na čep
d	[mm]	Průměr čepu
σ_{Do}	[MPa]	Dovolené ohybové napětí
τ_D	[MPa]	Dovolené smykové napětí
p_D	[MPa]	Dovolený tlak
M_o	[Nm]	Ohybový moment
M_{oD}	[Nm]	Dovolený ohybový moment
τ	[MPa]	Smykové napětí
p_1	[MPa]	Tlak na čep od úchytu korby
p_2	[MPa]	Tlak na čep od čela
Z	[mm]	Zdvih válce
H	[mm]	Svislá vzdálenost mezi čepy uložení válce
β	[°]	Úhel natočení válce
L_z	[mm]	Délka válce v zasunutém stavu

m	[kg]	Hmotnost plně naložené korby
F_v	[N]	Síla působící na hydraulický válec
l_1	[mm]	Vodorovná vzdál. těžiště korby od příčnicku sklápění
l_2	[mm]	Vodorovná vzdál. čepu válce od příčnicku sklápění
L_1	[mm]	Vzdálenost těžiště korby od příčnicku sklápění
L_2	[mm]	Vzdálenost čepu válce od příčnicku sklápění
h_1	[mm]	Svislá vzdál. těžiště korby od příčnicku sklápění
h_2	[mm]	Svislá vzdál. čepu válce od příčnicku sklápění
C	[mm]	Vodorovná vzdál. příčnicku sklápění a čepu válce
ΔH	[mm]	Svislá vzdál. čepu válce od příčnicku sklápění
F_{v1}	[N]	Síla působící na válec na začátku sklápění
F_{v2}	[N]	Síla působící na válec na konci sklápění
p_v	[Bar]	Maximální dovolený tlak v hydr. válci
F_{v1DOV}	[N]	Maximální síla do válce na začátku sklápění
F_{v2DOV}	[N]	Maximální síla do válce na konci sklápění
p_{vDOV}	[Bar]	Maximální dovolený tlak v hydraulickém válci
R_{DIN}	$[\frac{m^2K}{W}]$	Předepsaný tepelný odpor stěny dle DIN 70001
α_{asf}	$[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$	Součinitel přestupu tepla mezi asfaltem a stěnou
t_{asf}	[°C]	Referenční teplota asfaltu
α_{amb}	$[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$	Součinitel přestupu tepla mezi stěnou a vzduchem
t_{amb}	[°C]	Referenční teplota vzduchu
q	$[\frac{W}{m^2}]$	Hustota tepelného toku
k_p	$[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$	Součinitel prostupu tepla stěnou
R_p	$[\frac{m^2K}{W}]$	Tepelný odpor stěny
R_{izo}	$[\frac{m^2K}{W}]$	Tepelný odpor izolační vrstvy
$\lambda_{20^\circ C}$	$[\frac{W}{m \cdot K}]$	Tepelná vodivost izolace při teplotě 20°C
$\lambda_{90^\circ C}$	$[\frac{W}{m \cdot K}]$	Tepelná vodivost izolace při teplotě 90°C
$\lambda_{200^\circ C}$	$[\frac{W}{m \cdot K}]$	Tepelná vodivost izolace při teplotě 200°C
A	[m ²]	Plocha zóny stěny korby



\dot{Q}_{ref}	[W]	Referenční tepelný tok konstrukcí
λ_{ocel}	$[\frac{W}{m \cdot K}]$	Tepelná vodivost oceli
λ_{al}	$[\frac{W}{m \cdot K}]$	Tepelná vodivost hliníku
$\dot{Q}_{1.1}$	[W]	Tepelný tok zónou
λ_{profil}	$[\frac{W}{m \cdot K}]$	Tepelná vodivost výztužného profilu
d_{profil}	[mm]	Průměr výztužného profilu
\dot{Q}_{skut}	[W]	Skutečný tepelný tok konstrukcí
VZ_{iso}	[-]	Srovnávací číslo
R	$[\frac{m^2 K}{W}]$	Tepelný odpor konstrukce

PŘÍLOHA 1

```
clear all
format long

v=1.272;
vf=0.968;
s=0.459;
alfa=20;
yt=0.460;
ro=2200;
g=9.81;
S=2.071;
m=260;
t=0.347;

F=yt*cosd(alfa)*ro*g*S;
Fx=cosd(alfa)*F;
Fy=sind(alfa)*F;
G=m*g
fprintf('F = %f \n',F)
fprintf('Fx = %f \n',Fx)
fprintf('Fy = %f \n',Fy)

syms R1x R2x R2y
eqn1=-R2x-R1x+Fx==0;
eqn2=R2y+Fy-G==0;
eqn3=Fx*vf+Fy*s-R1x*v-G*t==0;

sol = solve([eqn1, eqn2, eqn3], [R1x, R2x, R2y]);
R1xSol = sol.R1x;
R2xSol = sol.R2x;
R2ySol = sol.R2y;

double(R1xSol)
double(R2xSol)
double(R2ySol)

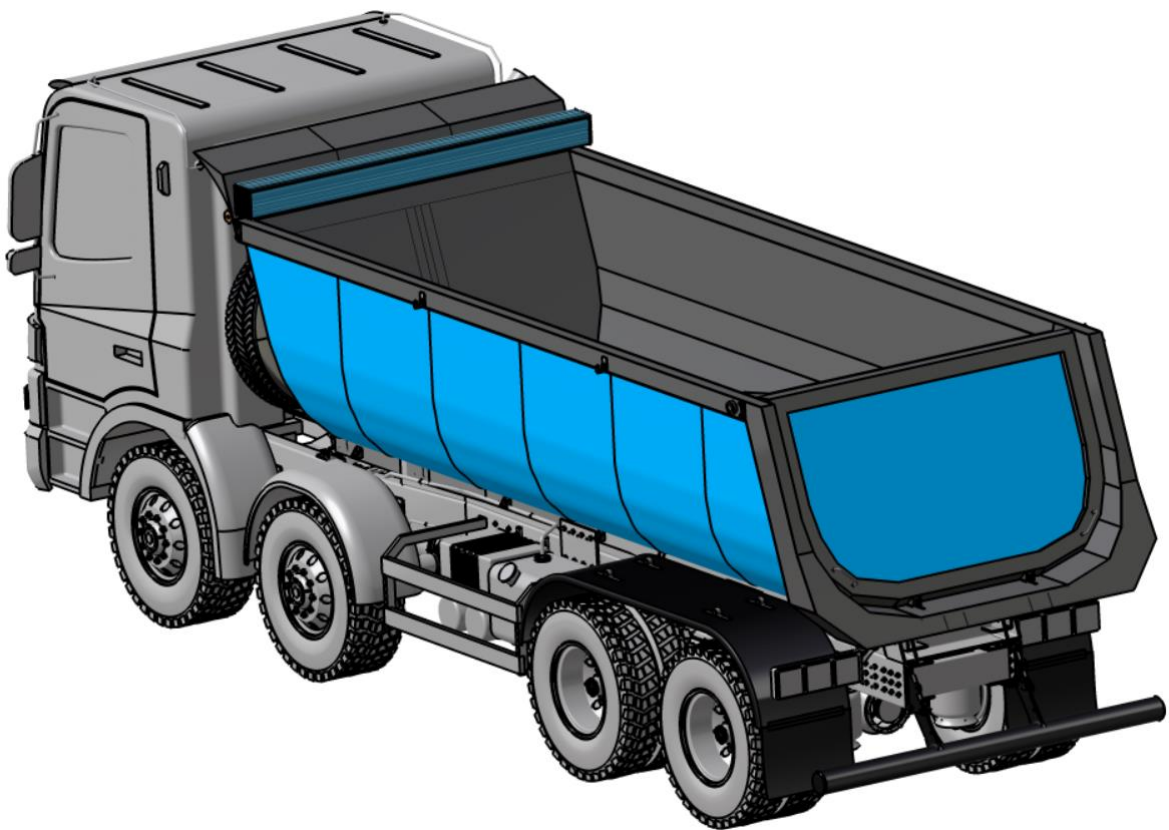
fprintf('R1x = %f \n',R1xSol)
fprintf('R2x = %f \n',R2xSol)
fprintf('R2y = %f \n',R2ySol)
```

PŘÍLOHA 2

Tipper.Hyva.com		Verze 1.0.15					
Datum: 27-04-2020							
Vstupní válec							
Typ válce: FE (frontální válec s okem) FL							
celková délka korby	BL	6000	mm				
výška korby	BH	1342	mm				
vnitřní šířka korby (volitelně)	W	2308	mm				
úhel šířky čela od vertikálního směru (volitelně)	AHB	20	stupňů				
úhel zadních dveří od vertikálního směru (volitelně)	ATD	20	stupňů				
zadní přesah	ROH	270	mm				
svislá vzdálenost zadního pantu od spodní části korby	YRH	190	mm				
vodorovný posun těžiště k čelu (volitelně)	XZS	-45	mm				
svislý posun těžiště směrem nahoru (volitelně)	YZS	-25	mm				
požadovaná hmotnost sklápění	RTW	27.0	t				
úhel válce od svislého směru	β ₀	9.0	stupňů				
svislá vzdálenost zadního pantu od konzole šasi	YA	207	mm				
vodorovná vzdálenost konzole korby od horního čela	CX	80	mm				
počet válců	nCyl	1					
redukce průtoku před úvratí?	Kn	Ano					
vzdálenost mezi šasi a konzolí korby, délka válce při zavření	K	1260	mm				
průměr při první fázi	OD1	149 FL	mm				
počet fází, včetně pistu	nStage	5					
zdvih	Zdvih	4655	mm				
délka zataženého pistu (volitelně)	ShPi	0	mm				
pracovní tlak	Pmax	200	bar				
Výstupní válec							
průměr fázi		149	129	110	91	72	konec zdvihu
úhel sklápění	stupňů	0.0°	9.5°	19.1°	28.8°	38.8°	47.6°
úhel válce	stupňů	9.0°	-3.2°	-11.0°	-17.5°	-23.6°	-28.6°
axiální válec	t	13.2	12.1	11.0	9.7	8.1	6.4
tlak	bar	74	91	114	147	195	155
max. hmotnost sklápění	t	-	-	-	37	28	-
pracovní tlak	195	bar	pro 27.0 t				
maximální hmotnost sklápění	27.7	t	při 200 bar				
maximální úhel sklápění	47.6	stupňů					
pracovní objem na válec	48	dm ³					
minimální pracovní objem nádrže	52	dm ³					
maximální průtok čerpadla	122	dm ³ /min.					
objem korby	17.1	m ³					
Vstupní čerpadlo							
požadovaný průtok čerpadla	122	dm ³ /min.					
objemová účinnost čerpadla	0.97						
otáčky motoru	1500	1/min					
poměr výstupního hřídele 1	0.90						
hydromechanická účinnost čerpadla	0.85						
nastavení snížení tlaku	200	bar					
velikost čerpadla	93	cm ³ /ot.					
Výstupní čerpadlo							
rychlost čerpadla	1350	1/min					
kroučící moment výstupního hřídele	348	Nm					
výkon výstupního hřídele	49	kW					
aktuální průtok čerpadla	122	dm ³ /min.					
min. vnitřní průměr tlakové hadice	1	inch					
min. vnitřní průměr sací hadice	1¼	inch					
doba sklápění	24	s	pro pracovní objem na válec 48 dm ³				

PŘÍLOHA 3

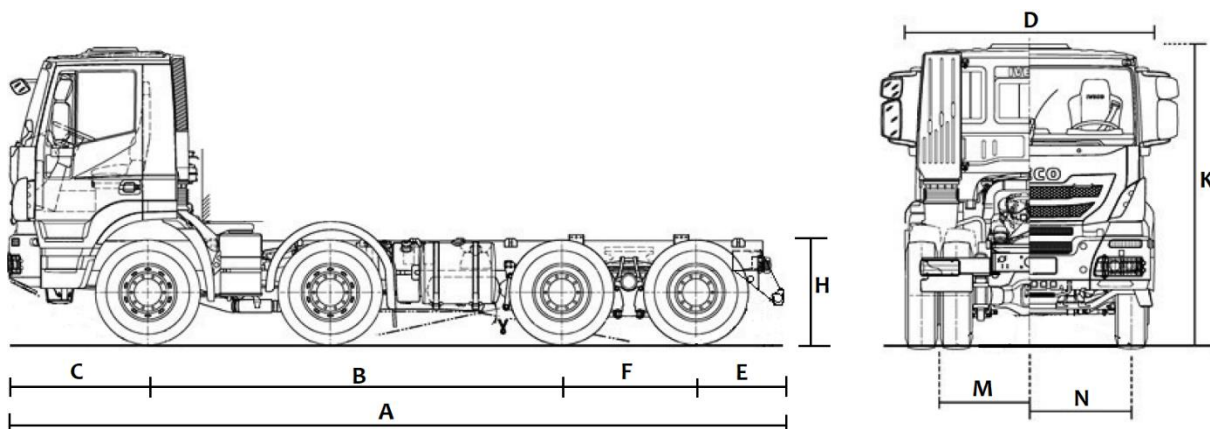
Izolovaná sklápěcí nástavba na podvozku IVECO STRALIS X-WAY AD340X40Z/P OFF



Technický list vozidla

PODVOZEK IVECO STRALIS X-WAY AD340X40Z/P OFF

Víceúčelový čtyřnápravový podvozek pro těžkou silniční a stavební dopravu se zvýšenou přední světlou výškou a nájezdovým úhlem. Vysokopevnostní žebřinový rám, tuhé nápravy. Přední dvojnáprava řízená, odpružená listovými pery. Zadní hnaná náprava se vzduchovým odpružením. Vznětový šestiválec Cursor 9 o objemu 8,7 litru s maximálním výkonem 294kw při 1655-2200ot/min a kroutícím momentem 1700 při 1200-1700ot/min. Automatizovaná dvanáctistupňová převodovka ZF HI-TroniX 12 DD. Krátká denní kabina AD (Active Day). Příprava pro nástavbáře.



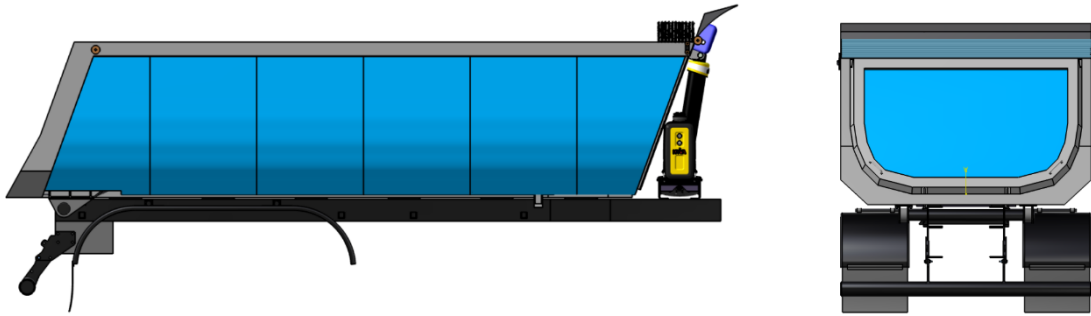
Rozměry pro pneumatiky 315/80R22.5

Maximální délka (A):	8 163 mm
Maximální šířka (D):	2 550 mm
Maximální výška (K):	3 130 mm
Šířka kabiny:	2 280 mm
Výška na konci rámu (H):	1 107 mm
Rozvor náprav (B):	4 500 mm
Rozvor přední dvojnápravy:	1 875 mm
Rozvor zadní dvojnápravy (F):	1 380 mm
Přední světlá výška:	316 mm
Zadní světlá výška	250 mm
Rozchod přední dvojnápravy (N):	2 040 mm
Rozchod zadní dvojnápravy (M):	1 827 mm
Přední převis (C):	1 440 mm
Zadní převis (E):	775 mm
Průměr otáčení stopový	17 800mm
Průměr otáčení obrysový	19 400mm
Přední nájezdový úhel:	27°
Přechodový úhel	31°

Hmotnosti:

Pohotovostní hmotnost:	9 110 kg
Maximální technická hmotnost vozidla:	36 000 kg
Maximální legislativní hmotnost vozidla:	32 000 kg
Nosnost přední dvojnápravy:	16 000 kg
Nosnost zadní dvojnápravy:	21 000 kg

IZOLOVANÁ SKLÁPĚCÍ NÁSTAVBA



ÚČEL NÁSTAVBY

Zadní izolovaný sklápěč primárně určený pro převoz asfaltových směsí.

KONSTRUKCE

Půlkruhová ocelová korba z otěruvzdorného materiálu Hardox 450. Tloušťka stěn 6mm, v zadní části zesílená podlaha o tloušťce 8mm. Možnost přepravy kamenitého materiálu do frakce 63. Výztuha bočnic a podlahy. Zadní výkyvné čelo zavěšené na čepech, uzavřené dvěma háky s automatickým odjištěním. Pomocný rám přizpůsoben pro vozidlo IVECO X-Way. Hlavní podélné nosníky pomocného rámu

IZOLACE KORBY

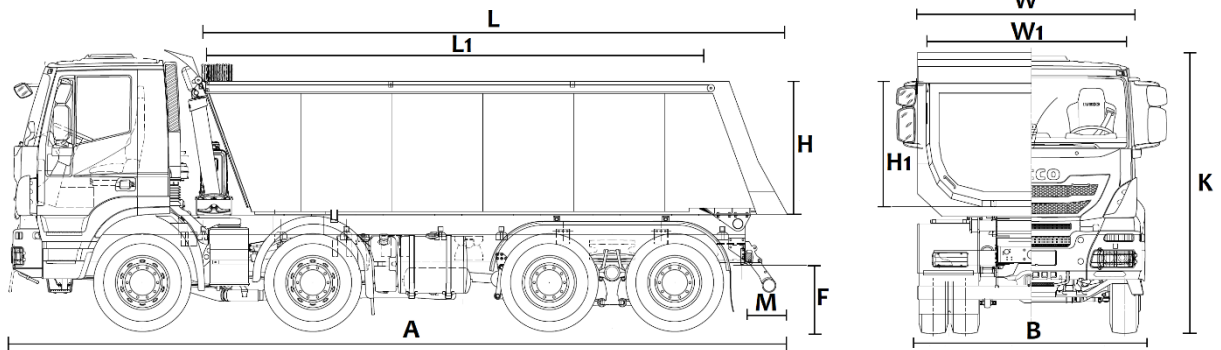
Korba izolována polyuretanovou izolací o tloušťce 50mm. Izolovány jsou všechny stěny, včetně zadního čela a podlahy. Tepelný odpor konstrukce dle DIN 70001: $R = 1,9 \frac{m^2K}{W}$. Izolace je dělena na vyměnitelné segmenty a je chráněna hliníkovým krytím.

HYDRAULIKA

Hydraulický sklápěcí systém od výrobce Hyva se zubovým čerpadlem a hydraulickým válcem umístěným na předním čele. Maximální úhel sklápění 48°, součástí systému je omezovač zdvihu. Pohon hydraulického systému pomocí PTO umístěného na převodovce.

VÝBAVA

Systém zaplachtování Cramaro s elektricky shrnovanou plachtou, systém monitorování teploty směsi se čtyřmi měřícími body, ochranný štít na předním čele, sklopná zábrana proti podjetí uzpůsobená pro spolupráci s finišerem, blatníky zadní dvojnápravy, držák se zakládacími klíny



Parametry vozidla s nástavbou

Celková délka vozidla (A):	8 523 mm
Celková šířka vozidla (B):	2 550 mm
Celková výška vozidla (K):	3 165 mm
Objem korby:	16,1 m ³
Výška ložného prostoru (H1):	1 350 mm
Délka ložného prostoru: (L1)	5 490 mm
Šířka ložného prostoru: (W1)	2 310 mm
Vnější délka korby (L)	6 427 mm
Vnější šířka korby (W)	2 500 mm
Vnější výška korby (H):	1 455 mm
Zadní přesah nástavby (M):	465 mm
Prostor pro násypku finišeru při zvednuté zadní zábraně (F):	780 mm
Délka pomocného rámu:	6 234 mm
Vzdálenost mezi uchycením dvojnápravy a hřídelem sklápění:	1 386 mm
Výška při maximálním úhlu sklápění:	7 151 mm
Maximální úhel sklápění:	48°
Úhel náklonu předního čela:	20°
Úhel náklonu zadního čela:	20°
Hmotnost nástavby (včetně popsaného vybavení):	3 200 kg
Celková hmotnost vozidla s nástavbou:	12 310 kg
Hmotnost na přední dvojnápravě:	7 434 kg
Hmotnost na zadní dvojnápravě:	4 876 kg
Maximální legální užitečná hmotnost:	20 490 kg
Maximální technická užitečná hmotnost:	23 690 kg

